



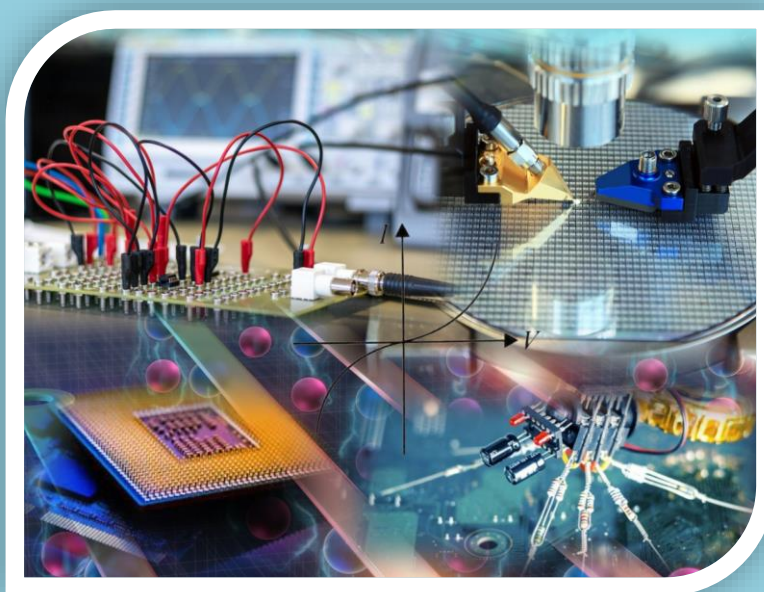
**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ЎЗБЕКИСТОН ФИЗИК-ТАЛАБАЛАРИ ВА
ЁШ ОЛИМЛАР АССОЦИАЦИЯСИ**

**ЁШ ОЛИМЛАР ВА ФИЗИК
ТАЛАБАЛАРНИНГ V РЕСПУБЛИКА ИЛМИЙ
АНЖУМАНИ (ЁОФТРИА-V)
МАТЕРИАЛЛАРИ**



Тошкент-2025



ЁШ ОЛИМЛАР ВА ФИЗИК ТАЛАБАЛАРНИНГ
V РЕСПУБЛИКА ИЛМИЙ АНЖУМАНИ (ЁОФТРИА-V)
Тошкент 2025 йил, 3-4 апрел



**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР
ВАЗИРЛИГИ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

**ЎЗБЕКИСТОН ФИЗИК-ТАЛАБАЛАРИ ВА ЁШ ОЛИМЛАР
АССОЦИАЦИЯСИ**

**ЁШ ОЛИМЛАР ВА ФИЗИК ТАЛАБАЛАРНИНГ
V РЕСПУБЛИКА ИЛМИЙ АНЖУМАНИ
(ЁОФТРИА-V)**

МАТЕРИАЛЛАРИ

2025 йил, 3-4 апрель



Ёш олимлар ва физик талабаларнинг V Республика илмий анжумани
(ЁОФТРИА-V) материаллари тўпламини тайёрлаш учун масъуллар

ДАСТУРИЙ ҚЎМИТА

Раис: И.У. Маджидов - ЎзМУ ректори

Раис ўринбосари: Ш.Б. Утамурадова - ЯФМ

ИТИ директори

Масъул котиблар: А.Ш. Мавлянов

Қ.М. Файзуллаев

Қўмиата аъзолари:

А.Т. Мамадалимов, академик-ЎЗР ФА

Ё.С. Эргашев, ЎзМУ

Т.М. Разиков- ЎЗР ФА ФТИ

К.А. Исмаилов-ҚДУ

Н.Ф. Зикриллаев-ТДТУ

К.Э. Онарқулов -ФарДУ

Р.Я. Расулов -ФарДУ

Э.Х. Бозоров-ЎЗР ФА ЯФИ

С.М. Отажонов -ФарДУ

К.С. Аюпов - ТДТУ

З.Т. Азаматов-ЯФМ ИТИ

Н.А. Тургунов – ЯФМ ИТИ

О.Х. Қўлдашов – ЯФМ ИТИ

С.А. Музафарова-ЯФМ ИТИ

Ж.Ж. Ҳамдамов-ЯФМ ИТИ

О.Ф. Тукфатуллин-ЯФМ ИТИ

Я.А. Сайдимов-ЯФМ ИТИ

Тўплам Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлигининг 2024 йил 27 декабрдаги 490-сон буйруғи 1-илова 88-бандига асосан нашрга тайёрланди.

ТАШКИЛИЙ ҚЎМИТА

Раис: Х.С. Далиев («МЭИ» МТУ филиали)

Раис ўринбосарлари: И.Х. Хамиджонов

Д.А.Рахманов

Масъул котиблар: Н.К. Хакимова,

М.Б. Бекмуратов,

Ташкилий қўмиата аъзолари:

А. Утениязова-ЯФМ ИТИ

Н.К. Хакимова-ЯФМ ИТИ

Р.Г. Закиров-ЯФМ ИТИ

Х.Ж. Матчонов-ЯФМ ИТИ

Ш.Б. Норқулов-ЯФМ ИТИ

З.М. Хусанов-ЯФМ ИТИ

Ф. Сапаров-ЯФМ ИТИ

К.А. Джумамуратов-ЯФМ ИТИ

М. Маннанов-ЯФМ ИТИ

Ф. Йўлдошев-ЯФМ ИТИ

З. Бахронқулов-ЯФМ ИТИ

У. Йўлдошев-ЯФМ ИТИ

А. Бахромов-ЯФМ ИТИ

Б. Сайдуллоев-ЯФМ ИТИ

Б.Р. Бокиев-ЯФМ ИТИ

Н.Б. Хайтимметов -ЯФМ ИТИ

Ё. Мардиев – ЯФМ ИТИ

Н. Ахмедова – ЯФМ ИТИ

Матнларда фойдаланилган маълумотлар, илмий натижалар ва хулосалар аниқлиги учун муаллифлар жавобгардирлар.

© ЯФМ ИТИ, 2025

МУНДАРИЖА

I ШЎЪБА. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР МАТЕРИАЛШУНОСЛИГИ МУАММОЛАРИ	
A.T. Mamadalimov, D.E. Xazratov. <i>G'ovakli kremniyning fotoo'tkazuvchanlik kinetikasi va fotoo'tkazuvchanlik spektri orqali elektrofizik xususiyatlarini tadqiq qilish.</i>	9
X.C. Далиев, Ж.Ж. Хамдамов, Ш.Б. Норқулов, Ф.Р. Йўлдошов. <i>Диспрозий билан легирланган кремнийнинг структуравий ва оптик хоссалари</i>	11
Sh.B. Utamuradova, J.J. Hamdamov, U.M. Yuldoshev, O.S. Iskandarov. <i>Diffusion of Gold atoms in silicon and the formation of new bonds.</i>	14
X.S. Daliev, J.J. Hamdamov, Z.E. Bahronqulov. <i>Lyutetsiy bilan legirlangan kremniyning strukturaviy xususiyatlari</i>	18
O.O. Mamatkarimov, M.O. Turgunov. <i>Determination of the surface state density at the semiconductor–dielectric interface.</i>	21
Sh.X.Daliyev, J.A Ergashev, A.T. Djubatov. <i>The Effect of Technological Impurities on the Formation of Radiation Defects in Hf-doped Silicon (Si<Hf>) Under Gamma Irradiation.</i>	23
Q.A. Ismaylov, N.F. Zikrillaev, Sh.Z. Ollamberganov, T.B. Ismailov, Z.T. Kenjaev. <i>Polikristall kremniyni elektrofizik parametrlariga nikel kirishma atomlarni ta'sirini dlts metodi yordamida o'lchash.</i>	25
M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, B.A. Xusanboyev. <i>2D o'lchamdagi grafın kvant sig'iminin o'yuch maydon ta'sirida o'zgarishi.</i>	27
Sh.B. Utamuradova, J.J. Khamdamov, Y.Z.Mardiyev, S.M. Abduraimov, F.O. Boboyev. <i>Volfram bilan legirlangan kremniyda hosil bo'lgan nuqsonlarni o'rganish</i>	29
H.A. Тургунов, Ш.А. Собирова, Н.Б. Хайтимметов. <i>Формирование примесных скоплений в образцах n-Si<Ni></i>	33
Ш.Х. Далиев, Ф.А. Сапаров. <i>Снижение воздействия внешних факторов при создании оксидных структур на основе кремния.</i>	36
Kh.S. Daliev, J.J. Khamdamov, Kh.Y. Utemuratova, M.B. Bekmuratov. <i>Study of electrophysical properties of defect formation in ytterbium-doped silicon</i>	39
O.O. Mamatkarimov, M.O. Turgunov. <i>Study of the capacitance dependence on time using the adopted model of the metal-glass-semiconductor structure.</i>	41
M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, A. Mahmudov. <i>Bir qatlamli MOS₂ elektr o'tkazuvchanligining kuchlanishga bog'liqligi.</i>	44
C.A. Музафарова, А.С. Ачилов А.С. Есбергенова, Н.А. Ахмедова, У.М. Юлдашев, К. Джумамурадов, О.Ш. Норкулов, З.С. Кенжаева, Н.О. Одилова. <i>Свойства границы раздела фоточувствительной ПДП структуры pCdTe/ZAО.</i>	46
A.M. Касимахунова, Р.А. Нурдинова. <i>Особенности применения полупроводников для изготовления термогенераторов в медицине.</i>	49
G.H. Mavlonov, Y.A. Abduganiev, Sh.B. Bekturaeva. <i>Microscopic analysis of europium-doped monocrystalline silicon.</i>	52



X.S. Daliyev, I.X. Xamidjonov, Y.Z. Mardiyev. Ittiri bilan legirlangan kremniydagi tuzilmaviy o'zgarishlar.	54
Ш.Б. Утамурадова, Қ.М.Файзуллаев. Хром атомлари билан легирланган кремний намунасининг сирт морфологияси	56
J.J.Hamdammov, J.Sh.Zarifbayev, B.Sh. Alikulov. The effect of Erbium on the defect structure and properties of silicon.	58
A.T.Mamadallimov, M.Sh.Isayev, S.Q. Musayev. Kobalt silitsidi elektr o'tkazuvchanligi va harakatchanligining temperaturaga bog'liqligini tadqiq etish	60
Sh.B. Utamuradova, J.J. Hamdamov, H.J. Matchonov, F.O. Boboyev. The effect of silicon doping by holmium on structure and properties by scattering spectroscopy.	62
A.S. Achilov, S.A. Muzaffarova, Sh. Utamuradova, G.A. Muzaffarova, A. Kutlimratov. Magnetron ionli purkash usuli bilan olingan ito qatlamlarining xususiyatlari.	63
X.C. Далиев, З.М. Хусанов. Темир атоми билан легирланган монокристалл кремнийнинг инфрақизил спектри.	66
M.K. Uktamova, A.A. Mamatshoyev, Z. Weber. Calculation of the On-Off Time of a Tunnel Diode Based on the Nott and De-Massa Theory.	68
Ш.Б. Утамурадова, Д.А. Рахманов. Рамановская спектроскопия кремния, легированного родием.	70
M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, A.K. G'aniyeva. Au – SiO ₂ – Si Tunnel diodi tunnellanish ehtimolligining potentsial to'siq balandligiga bog'liqligi.	72
M. Каримов, М. Отабаев. Исследование рассеяния ионов со ступенчатой поверхностью двухкомпонентных монокристаллов.	74
O.O. Mamatkarimov, M.O. Turgunov. The effect of ultra-high frequency (uhf) treatment on the relaxation characteristics of photosensitive metal-dielectric-semiconductor structures.	76
Ш.Н. Ибодуллаев, О.М. Бегимов, Й.А. Абдуганиев, Ж.У. Шухратович, А.С. Каримов. Особенность электрических свойств кремния с нанокластерами атомов марганца для фотоэлементов.	78
K.I. G'aynazarova. Bi ₂ (B ^{VI}) ₃ va Sb ₂ (B ^{VI}) ₃ , (B ^{VI} –Se, Te) asosidagi birikmalarining tuzilishi.	81
L.A. Abdullayev, R.X. Ibragimov, D.D. Yusupov. Yassi kondensator misolida dielektrik materiallarning elektr maydonga ta'siri.	83
N.M. Komilova. Size-dependent energy levels and band gaps.	85
N.G'. Ibragimova, R.X. Ibragimov, N.Y. Sharibayev. Yangi avlod yarimo'tkazgichlari-perovskitlar, ularning xususiyatlari va texnologik imkoniyatlari.	87
H. Qo'chqorov, X. Voxobjonova. Kristall yarimo'tkazgichlar yorug'lik yutish koeffitsientiga haroratni ta'siri.	89
B.U. Omonov. Vismut va surma xalkogenidlari asosidagi yupqa pardali elementlarning solishtirma qarshiligini temperaturaga bog'liqligini to'rt zondli usuli bilan o'rganish.	92
M.A. Махмудов, Б.Т. Элгазаров. Динамические изменения в электронной структуре нанокристаллов кремния: анализ роли термического отжига и электронной бомбардировки.	95
У.С. Бабаходжаев, М.А. Усманов. Кристалл ва аморф гидридланган кремнийда фотоэлектрик ўтказувчанлик ва унинг механизми.	98
A. Shavkatov, A. Yarbekov. Synthesis of cu nanoparticles using electrochemical method.	100
M.B. Rasulova, Z.Sh. Madaminova, B.D. Xoshimova. Nikel metaloksid plyonkalarining elektrofizik xususiyatlari.	102



K.I. G'aynazarova . Defective structure of silicon doped with gadolinium.	104
Sh.S. Nazirjonova. Texnika oliy ta'lim muassasalarida energetika muxandisligi yo'nalishida ta'lim jarayonini zamonaviy yondashuvlar asosida tashkil etish.	106
J.X. Murodov, Sh.U. Yuldashev, M.S. Mirkamilova, U.E. Jurayev. P-Si/SiO₂/CO:ZNO asosidagi memristorlik xususiyatini o'rganish.	109
M.A. Mamatova, M.M. Obbozova, D.U. Xojiakbarova. Magnetic field-dependent fermi energy oscillations in two-dimensional electron gases with landau levels.	110
G.N. Majidova, F.R. Muxitdinova, Sh. Malikov. P-n o'tishli diodlarga magnit maydon ta'sirini o'rganish.	112
M.A. Mamatova, M.N Toshtemirova. Investigation of the fermi surfaces of two-dimensional electron gases via magnetotunneling spectroscopy.	115
M.B. Yusupjanova, Z.J. Jakhanova. Defects in semiconductors and their impact on photoelectric properties.	118
S. Z. Sirojiddinova Bi₂Te₃ asosidagi termoelektrik materiallarning xususiyatlariga legirlovchi kirishmalar ta'sirini o'rganish.	120
F. Umarova. Lazer bilan induksiyalangan grafen asosidagi fizik va kimyoviy sensor mexanizmlari.	124
М.Б. Набиев, С.М. Зайнолобидинова, М.А. Абдуллаева, Н.С. Камолдинов, У.А. Юнусов. Исследование и получения эффективные термоэлементы из легированных p-Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te₃ материалов на основе поликристаллов твердых растворов теллурида висмута.	126
B. Ashurov, M. Kurbanov. O'zbekistonda pullik yo'llar uchun 3.8GHz chastotada ishlovchi past shovqinli kuchaytirgich (LNA) dizayni va uning samaradorligini oshirish.	128
G. Xolyigitova, A. Ikromov, A. Abdurahmonov, G. Abdumajidova, X.M. Madaminov. Yarimo'tkazgichli tuzilmalarning subchiziqli volt-amper xarakteristikasi.	132
R. Burkhanov. Study of oxygen precipitate formation process in silicon crystals.	136
K.I. G'aynazarova. Bi₂Te₃ va Bi₂Se₃ asosidagi termoelektrik materiallarning xususiyatlari.	138
A.M. Naimjonov, M.A Ergasheva, H.K Rahmonberdiyeva. Zamonaviy fotovoltaika: birinchi avloddan kelajak quyosh paneligacha.	140
А.Й.Бобоев, Б.М. Эргашев, Ж.С. Мадаминжонов. Деформация кристаллической решётки кремния и формирование оксидных слоёв под воздействием диффузии платины	143
M.Y. Shaydullayeva. M.A. Usmanov. Puasson tenglamasining nazariy asoslari va yechim usullari.	146
A. Boboyev, B. Ergashev, M. Khotamov. Structural changes in monocrystalline silicon doped with platinum	149
II ШЎЪБА. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ВА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МУАММОЛАРИ	
О.Х. Кулдашов, Г.У. Каримбоева, У.С. Рустамов. Автоматизированная система управления водными ресурсами на основе элементов микроэлектроники	152
M.G. Dadamirzaev , M.K. Uktamova, A.A. Mamatshoyev, A.B. Rakhmatulina. Technology for obtaining an effective disinfection environment from ecologically clean and multifunctional quartz lamps	154



S.A. Muzafarova, A.S. Achilov, Z.M. Xusanov, O.Sh. Norqulov, N.A.Axmedova, N.O. Odilova. <i>Gaz tashish usuli orqali teksturali kremniyning ustiga yupqa qatlamli CdTe o‘stirish</i>	156
U.T. Berdiyev, O‘.B. Sulaymonov, O.F. Sayfilloyev. <i>Energiya samarador kompozitsion materiallardan elektrotexnika sanoatida foydalanish</i>	159
Г.О. Кулдашов, М.У. Эркинов. <i>Трехцветный светодиодный излучатель для контроля влажности</i>	161
M.I. Mannanov, I.M. Nishanov. <i>n-Si<Ni> namunalar asosidagi harorat datchiklar tayyorlashda omik kontakt olish texnologiyasi</i>	163
Р.А. Нурдинова, Г.Х. Ахмадалиева. <i>Перспективы применения полупроводниковых транзисторов в медицинских аппаратах</i>	165
А.А. Гуломов, С.А. Тачилин. <i>Разработка лабораторного стенда для изучения работы цифро-аналогового преобразователя</i>	168
А.О. Комилов, Ш.У. Эргашев. <i>Оптоэлектронное устройство для контроля концентрации углеводов в воздухе</i>	171
A.A. Valixonov. <i>STM32 Bilan Infraqizil Nurni Boshqsarish Tizimini Yaratish</i>	173
М.У. Эркинов, Б.А. Гулумбаев. <i>Светодиодный фитооблучатель для теплиц</i>	176
J. Sh.Abdullayev. <i>Electrophysical features of radial p-n and p-i-n junction structures at cryogenic temperatures</i>	179
З. Байсафарова, М.А. Азамова. <i>Преобразователь расстояний с волоконно-оптическим анализатором</i>	181
Ж.М. Шохимардонов. <i>Электрические и оптические свойства полупроводниковых силицидов</i>	182
Б.М. Абдукаххоров. <i>Многобарьерные волноводные фотоприемники на основе арсенида галлия с внутренним фотоэлектрическим усилением</i>	184
З.А. Байсафарова. <i>Оптоэлектронный контроль неплоских объектов</i>	185
III ШЎБА. ФОТОНИКА МУАММОЛАРИ	
Z.T. Azamatov, A.B. Bahromov, M.A. Yo‘ldoshev, A.A. Sapayeva, G.G. Kulbayev. <i>Infraqizil introskopiya yordamida kremniy plastinalaridagi nuqsonlarni aniqlash</i>	188
M. Axmedov, I.Y. Davletov. <i>Nd:YAG pikosekundli lazer nurlanishi ta’sirida molibden sirtida krater hosil bo‘lish jarayonini o‘rganish</i>	191
Z.T.Azamatov, M.A. Yo‘ldoshev, A.B. Bahromov. <i>LiNbO₃ VA LiNbO₃:Fe monokristallarining sirt morfologiyasini tadqiq qilish</i>	192
A.I. Jaraqov, M.E. Vapayev, I.Y. Davletov. <i>Ikki elementli natriy xlor qotishmasi sirtida hosil bo‘lgan plazma sohasidagi elektronlar konsentratsiyasi</i>	195
M. Axmedov, I.Y. Davletov. <i>Lazer nurlanishi ta’sirida mis folga yuzasida hosil bo‘lgan kraterda rayleigh–taylor sturukturalarini tadqiq qilish</i>	198
G.G. Kulbayev. <i>KFS-12 spektrometrida 400-4000 nm spektral oraliqda yarimo‘tkazgichlarning yutilish va lyuminessensiya spektrlarini tadqiq qilish</i>	200
A.G. Qakhkhorov, Sh.D. Payziyev, A.A. Sherniyoov. <i>Chiziqli parabolik konsentrator asosidagi neodim kiritilgan kvars tolali lazerlar</i>	203
A.I. Jaraqov, M.E. Vapayev, I.Y. Davletov. <i>Yengil gaz atomlari kiritilgan Zr [H,N] plazma ko‘p zaryadli ionlarining massa spektrlari</i>	204



M. K. Khusanova. <i>Monitoring optical illumination of biological tissues</i>	206
D. Qurbonov. <i>Ai-based beam tracking in 5G and beyond networks</i>	208
IV ШЎБА. МУҚОБИЛ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
G.Gulyamov, G.N.Majidova, M. A. Xoliqova. <i>p-n o'tishli quyosh fotoelementning samaradorligiga qizigan zaryad tashuvchilarning ta'siri</i>	210
K.A. Djumamuratov, O.F. Tukfatullin, S.A. Daminov, B.N. Butunbaev. <i>Fotoelektrik modulga salbiy tasirlaridan oqilona foydalanish va boshqarish texnologiyasi</i>	212
N.Y. Sharibayev, A.Q. Ergashov, S.B. Fazliddinov. <i>Ru asosidagi sezgir yupqa qatlamli quyosh elementlari fotoanodi uchun fotoelektrik kattaliklar</i>	215
O.K. Ataboev, A.S. Titov. <i>Influence of 1 MeV electron irradiation on output parameters of the p-type silicon heterojunction solar cells</i>	218
С.А. Даминов, К.А. Джумамуратов, С.Ш. Мухитдинов. <i>Разработка датчика на основе фотодиодов для системы слежения за Солнцем</i>	221
A.A. Abdullayev, J.V. Ochilov, U.B. Xalilov. <i>Natriy-ion akkumulyatori uchun qattiq uglerod strukturasi shakllanishini modellash</i>	223
J.F. O'Imasov. <i>Akkumulyator stansiyalarini qo'llash orqali farg'ona vodiysini elektr energiya iste'molini muvozanatlash</i>	224
З.И.Жураева, И.А.Юлдошев, И.Р.Жураев. <i>Симуляция работы фотоэлектрической установки интегрированной на фасад здания</i>	227
M.Z. Axmadjonov. <i>Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimlarini loyihalash</i>	230
M.U. Nosirov. <i>Vodorod gazi olishda quyosh panellarining o'rni</i>	233
M.A. O'Imasova. <i>Shamol generatorlari va ularning konstruksiyalari</i>	234
A.A. Rakhimov. <i>Analysis of generator efficiency in wind energy systems</i>	237
С.С. Шарипбаев. <i>Упрощенная технология сенсibilizированных солнечных элементов DSSC с применением однослойного TiO₂</i>	239
I.X. Izzatullayev, A.A. Abdusamiyev. <i>Biogaz qurilmasida ajralgan chiqindidan o'g'it sifatida va ozuqaviy maqsadlarda foydalanish usullarini rivojlangan davlatlar tajribasi misolida o'rganish.</i>	242
Sh.A. Abriev, T.Z. Axtamov, Y.M. Qurbanov. <i>Yangi metod asosida quyosh energiyasidan foydalanib minerallashgan suvni ichimlik suviga aylantirish</i>	246
T.Z. Axtamov, S.A. Bobomuratov, Sh.J. Qarshiyev. <i>Fotoissiqlik qurilmasining fotoelektrik batareyasiga nisbatan elektro-fizik analizlari tahlili</i>	249
G.Gulyamov, G.N.Majidova, S.Q.Madumarova, Sh.O.Mamadaliyev. <i>Bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichlarda fotomagnitoelektrik hodisalarni o'rganish</i>	251
A.U. Haqiqov. <i>Kichik quyosh elektr stansiyasi uchun akkumulyator batareyalarini tanlash</i>	255
С.Ф. Эргашев, У.С. Рустамов, Д. Ботиров. <i>Свободнопоточные микро-гэс как перспективный источник возобновляемой энергии в ферганской долине</i>	257
M.A. Alinazarova. <i>Zamonaviy quyosh elementlarining asosiy fotoelektrik parametrlarini tajribada aniqlash</i>	259



V ШЎБА. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРНИНГ РАДИАЦИОН ФИЗИКАСИ

А.Т. Mamadalimov, N.K. Hakimova, Sh.M. Norbekov. γ - ^{60}Co –Nurlanishini bambuk tolalarining elektrofizik xossalriga ta'sirini tadqiq qilish	262
Я.А. Сайдимов, Ф.Б. Умаров. ИК-спектры P-Si легированного Tb и Tm	266
Г. Ахматова, Ф.А. Искандарова, Р. Иброхимов. Методы теории катастроф в моделировании радиационных процессов в конденсированных живых и неживых объектах	268
Ш.А. Махмудов, А.К. Рафиков, Р.Рустамов. Кинетика релаксации фотопроводимости в кремнии, компенсированном атомами родия и нейтронно-легированном кремнии	271
З.А. Исаханов, М.М. Махмудов, М.А. Махмудов. Влияние адсорбции атомов ва на состав и электронную структуру оксидов WO_3	275
Я.А. Сайдимов, Р.Ф. Руми, Ф.Б. Умаров. Установка для экспериментального изучения распределения тока ускоренных протонов на ускорителе ЭГ-2	278

VI ШЎБА. КОНДЕНСАЦИЯЛАНГАН МУҲИТЛАР ФИЗИКАСИ

С.З. Зайнабидинов, Н.А. Тургунов, Н.Б. Хайтимметов, Р.М. Турманова, Ш.А. Собирова. Формирование примесных скоплений Ni и Cu в Si	280
M.K. Haqqulov, F.Q. Shakarov, G.O. Abdurazzaqova. Mathcad dasturida rux va oltingugurt kirishma atomlarini kremniyga legirlashning diffuziya usulini matematik modeli	282
Sh.T. Ahmedov. Xlorbenzol molekularlarining deformatsion tebranish chastotalarini raman spektrlari yordamida tahlil qilish	284
U.Holikulov, A.Jumabaev. Investigation of the interactions between amino acids and urea molecules	287
Y.I. Ismoilov, D.B.Ahmadjonova. Xoll effektini korpuskular nazariya yordamida aniqlash	288
A.Jumabaev, U.Holikulov. Spectroscopic and computational investigation of molecular complexes of ibuprofen with solvent molecules	291
B. Khudaykulov. Intermolecular interactions in aqueous aniline: raman spectroscopy and dft study	292
B. Khudaykulov . Investigation of intermolecular interactions in ethyl acetate solutions	293
M. Sulaymonov, X. Yusupov, A. Uzoqov, Sh. Nurmatov, X. Rahimov. Zig-zag kabi takrorlanuvchi doiraviy potensial to'siqli grafenda elektron sochilishi	295
F. Yo'lchiyeva, G.Abdurahmonov. Oksid perovskitlarning termoelektrik material sifatida xossalari	297
Sh.Yormatov, A.Jumabaev. Intermolecular interactions informamide-dmso solutions	299
A.S. Ashirov, M.K. Karimov, S.B. Bobojonova, F.K Masharipov, Sh.F. Bardiboyeva. $\text{SiO}_2(001)$ yupqa qatlam sirtidan sochilgan ionlarning energetik taqsimotini modellash	300
A.Sh. Mavlyanov, B.A. Abdurahmonov, G.O. Abdurazzaqova, M.A. Maxmudov. $\text{Si}(\text{Mn}, \text{S})$ namunalarining o'tkazuvchanligini haroratga bog'liqligi	302
Н.А. Тургунов, Н.Б.Хайтимметов, М.М Давлатов. Влияние диффузионных параметров на электрофизические свойства образцов n-Si<Ni>	304

**I ШЎБА. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР МАТЕРИАЛШУНОСЛИГИ МУАММОЛАРИ**

**G'OVAKLI KREMNIYNING FOTOO'TKAZUVCHANLIK KINETIKASI VA
FOTOO'TKAZUVCHANLIK SPEKTRI ORQALI ELEKTROFIZIK
XUSUSIYATLARINI TADQIQ QILISH**

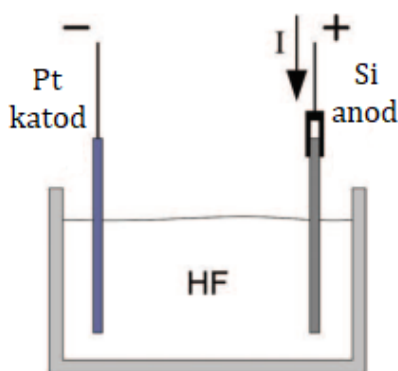
A.T. Mamadalimov^{1,2}, D.E. Xazratov¹

¹O'zMU huzuridagi yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

²Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

Hozirgi vaqtda zamonaviy qurilmalar tayyorlashda asosiy material vazifasini kremniy asosli strukturalar ko'p qo'llanilmoqda. Shunga asosan kremniyning optik, elektrofizik, termik hamda fotovoltaik xususiyatlarini o'zgartirish maqsadida juda ko'plab kirishmalar kiritiladi. Bu holatda kremniy asosli na'munalarga boshqa element atomlarini kiritish, ya'ni legirlashdan oldin unga mexanik, termik va kimyoviy ishlovlar berish zarur bo'ladi [1, 2]. Ushbu ishda asosan na'muna sifatida 2KDЭ markali n-tipli kremniynidan bir nechta na'munalardan olindi. Keyingi bosqichda na'munalarni M8 (zarralarining o'lchami 8 mikron) marka kukunda, shlifovka (jilvirlash) qilinadi. Bu orqali na'muna sirti silliqqlanib, ko'pgina sirtiy nuqsonlari bartaraf qilindi. Bu bizga kontakt olishda yoki na'munani xususiyatlarini o'rganishda xatoliklarni bartaraf qilish maqsadida bajarildi. Na'munalar mexanik ishlov berilgandan so'ng distillangan suvda 100°C haroratda 30 minut davomida tozalandi. G'ovakli kremniy olish uchun kremniy plastinkasidan tayyorlangan na'muna HF kislotasining 10% li suvdagi eritmasida $t=5$ soat davomida elektroliz qilindi.

1- rasmda anodik o'yish orqali g'ovakli kremniy olish sxemasi keltirilgan bo'lib anod sifatida kremniy monokristali katod sifatida platinadan foydalaniladi.

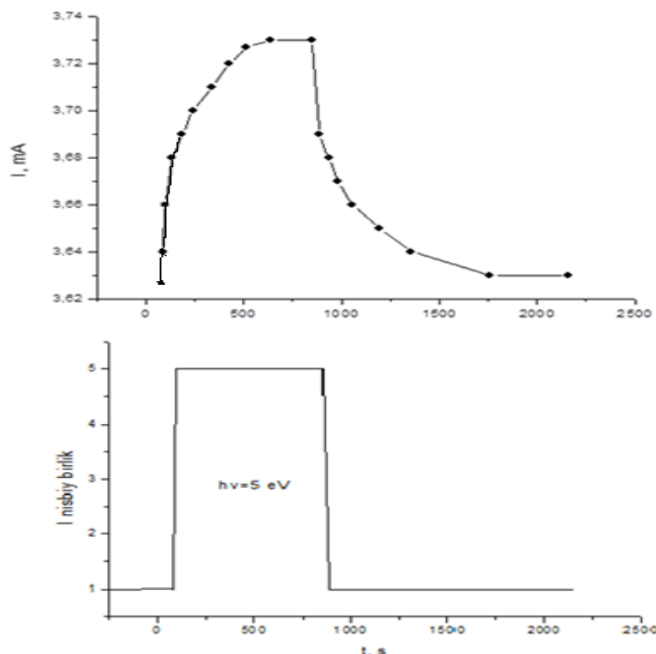


1-rasm. Anodik o'yish orqali g'ovakli kremniy olish sxemasi [3]

Omik kontakt olish uchun n-Si ekanligini hisobga olgan holda 50% In (indiy) va 50% Sn (qalay) moddalaridan foydalanildi.

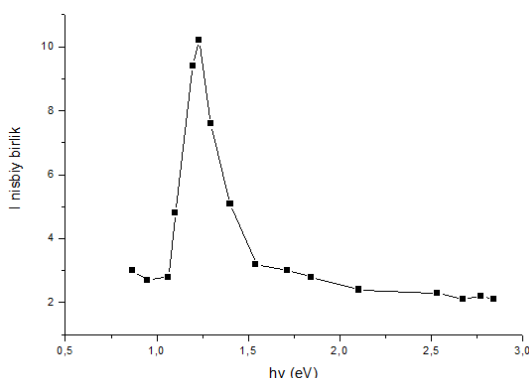
2-rasmda g'ovakli kremniyning fotoo'tkazuvchanlik kinetikasi tasvirlangan bo'lib bu uning elektr o'tkazuvchanligi yorug'lik ta'sirida qanday o'zgarishini ko'rsatuvchi jarayon hisoblanadi. Ushbu jarayon fizikaviy va kimyoviy omillarga bog'liq bo'lib, elektronlarning qanday harakatlanishini, ularning rekombinatsiya vaqtini va o'tkazuvchanlikning qanday o'zgarishini tushunish uchun muhim hisoblanadi. Fotoo'tkazuvchanlik kinetikasini tushunish uchun elektronlar va teshikchalar harakatini tushunish kerak. Boshlang'ich holatda yorug'lik yoqilmagan vaqtda g'ovakli kremniy tarkibida kam sonli erkin elektron va teshikchalar mavjud bo'ladi, elektr

o'tkazuvchanlik juda kam bo'ladi. Yorug'lik yoqilishi bilan yorug'lik fotonlari kremniy ichidagi elektronlarni qo'zg'atadi. Bu esa o'z navbatida elektron-teshik juftlarini hosil qiladi. Elektronlar o'z energiyasini olganidan keyin harakatlana boshlaydi va tok kuchi keskin o'sish kuzatiladi. Yorug'lik doimiy ravishda ta'sir qilsa, elektron-teshik juftlari doimiy ravishda hosil bo'ladi va rekombinatsiyalanadi.



2-rasm. G'ovakli kremniyning fotoo'tkazuvchanlik kinetikasi $T=300\text{K}$ $U=10\text{V}$

Agar hosil bo'lish va rekombinatsiya tezligi bir xil bo'lsa, o'tkazuvchanlik barqaror bo'lib qoladi va tok kuchining to'yinishi kuzatiladi. Yorug'lik o'chirilgandan keyin, elektron va teshiklar rekombinatsiyalanadi. Bu jarayon bir oz vaqt oladi, shuning uchun tok kuchi darhol nolgacha tushib ketmaydi, balki asta-sekin kamayadi. Grafikda egri chiziqli tushish kuzatiladi. Bu kamayish tezligi materialning rekombinatsiya xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Ushbu natijalar orqali biz materialning yorug'likka sezgirliги, rekombinatsiya tezligi va o'tkazuvchanlik o'zgarishini tahlil qilishimiz mumkin [4].



3-rasm. G 'ovakli kremniyning fotoo'tkazuvchanlik spektri

3-rasmida G'ovakli kremniyning fotoo'tkazuvchanlik spektri keltirilgan bo'lib ushbu holatda yorug'lik energiyasi ($h\nu$) ortishi bilan nisbiy yorug'lik yutilishi (I nisbiy) orasidagi quyidagi

bog'likni kuzatishmiz mumkin. 1.08 – 1.23 eV oralig'ida yorug'lik yutilishi ortib boradi va 1.23 eV da maksimal qiymatga erishgan 1.23 eV dan keyin pasayish kuzatiladi.

G'ovakli kremniy an'anaviy kremniydan farqli xususiyatlarga ega bo'lib, u sensorlar, optoelektronika va nanoelektronika qurilmalarida qo'llanilishi mumkin. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, bu material past haroratli sensorlar, LED texnologiyalari va quyosh batareyalari uchun istiqbolli hisoblanadi

Adabiyotlar

1. Lehmann V, Stengl R, Luigart A. On the morphology and the electrochemical formation mechanism of mesoporous silicon. Materials Science and Engineering B. 2000;69-70:11-22. DOI: 10.1016/S0921-5107(99)00286-X
2. Zhang XG. Morphology and formation mechanisms of porous silicon. Journal of the Electrochemical Society. 2004;151(1):C69-C80. DOI: 10.1149/1.1632477
3. Farshid Karbassian Porous silicon. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72910>
4. Canham L. Tunable properties of porous silicon. In: Canham L, editor. Handbook of Porous Silicon. Switzerland: Springer; 2014. pp. 201-206

ДИСПРОЗИЙ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙНИНГ СТРУКТУРАВИЙ ВА ОПТИК ХОССАЛАРИ

Х.С. Далиев¹, Ж.Ж. Хамдамов², Ш.Б. Норкулов², Ф.Р. Йўлдошов²

¹*Тошкент шаҳридаги "МЕИ" Миллий тадқиқот университети" федерал давлат
бюджети олий таълим муассасасининг филиали, Ёзду кўчаси, 1-уй, Тошкент, Ўзбекистон*

²*Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва
микроэлектроника илмий-тадқиқот институти, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй, Тошкент,
Ўзбекистон*

e-mail: nshb19990@gmail.com

Ушбу тадқиқотда кремнийни диспрозий (Dy) билан легирлаш унинг тузилиши ва оптик хусусиятларига таъсири ўрганилади. n-Si кремний 1473 К ҳароратда 50 соат давомида термодиффузия усули орқали диспрозий билан легирланди. Таҳлил учун Раман спектроскопияси ва рентген фазавий таҳлил усулларида фойдаланилди. Раман спектроскопияси натижалари n-Si оптик фононларига мос келадиган 523,93 см⁻¹ даги асосий чўққини кўрсатди. n-Si<Dy> намуналарида чўққи интенсивлиги ва ярим баландликдаги кенглиги (FWHM) ортганлиги кузатилди, бу эса тузилманинг кристалланиш даражаси яхшиланганидан далолат беради. Аморф фазалар билан боғлиқ 127,16 см⁻¹ ва 196,24 см⁻¹ даги чўққилар интенсивлигининг камайиши нуқсонлар миқдори пасайганини тасдиқлайди. 307,94 см⁻¹ да янги чўққининг аниқланиши Dy₂O₃ кубик фазасидаги 2TA фонон тебраниши билан боғлиқ бўлган диспрозийнинг муваффақиятли легирланганини кўрсатади.

Ушбу ишда кремнийни диспрозий (Dy) билан легирлашнинг унинг тузилиши ва оптик хусусиятларига таъсири ўрганилади. Легирлаш термодиффузия усули билан амалга оширилди: n-Si намуналари юқори вакуум шароитида 50 соат давомида 1473 К ҳароратда

ишлов берилди [1-5]. Легирлаш жараёнидан сўнг кимёвий тозалаш, жумладан оксид қатламини йўқотиш учун HF эритмаси билан ишлов берилди. Бу кристалл панжарадаги ўзгаришларни ва материалнинг нуқсонли тузилишини баҳолаш имконини берди.

Намуналарни таҳлил қилиш учун иккита асосий усул қўлланди: Раман спектроскопияси. Ўлчовлар $50\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ оралиғида 532 нм лазерли QE Pro High-Sensitivity Spectrometer ёрдамида ўтказилди. Кремнийнинг барча монокристалл намуналарининг биринчи тартибли комбинацион спектри (Γ нуқта, $k\sim 0$) хона ҳароратида $523,93\text{ см}^{-1}$ да кузатилади [6, 7]. Чўққи n-Si нанокристалл ичида оптик фононнинг сочилиши натижасида ҳосил бўлади ва n-Si нинг LO ва TO оптик фонон модаларига мос келади [8]. Маълумки, диффузия панжара параметрларининг кенгайиши Раман чўққисини кичик тўлқин сони томон, панжара параметрларининг сиқилиши эса катта тўлқин сони томон силжитади [9]. Тажриба натижалари асосида кремнийнинг аморф соҳаси учун Раман чўққиларининг характерли силжишлари кўрсатилган бўлиб, улар тахминан $127,16\text{ см}^{-1}$ (TA) ва $196,24\text{ см}^{-1}$ (LA) ни ташкил этади [9, 10, 11]. Термик ишлов берилган n-Si намунаси учун FWHM назорат намунасига (n-Si) қараганда пастроқ. Бундан ташқари, термик ишлов берилган намунанинг комбинацион спектрида $127,16\text{ см}^{-1}$ ва $196,24\text{ см}^{-1}$ да пайдо бўлган чўққиларнинг юқори интенсивлиги, ишлов бериш жараёнида кристаллда нуқсонларнинг юқори концентрациясига эга бўлган аморф кремний ҳосил бўлганлигини кўрсатади.

Олинган n-Si<Dy> намуналарининг комбинацион сочилиш спектрлари (Раман спектрлари) таҳлил қилинганда, n-Si сиртида диспрозийнинг диффузияси натижасида $523,93\text{ см}^{-1}$ даги чўққининг интенсивлиги (FWHM) қиймати билан сезиларли даражада ошгани, $127,16\text{ см}^{-1}$ ва $196,24\text{ см}^{-1}$ даги аморф соҳа чўққиларининг интенсивлиги эса кескин камайгани аниқланди. Ушбу кузатувлар шуни кўрсатадики, диспрозийнинг диффузияси n-Si намуналарида нуқсон концентрациясини камайтириш орқали структуравий кристалланишни кучайтиради. Бундан ташқари, $307,94\text{ см}^{-1}$ да пайдо бўлган янги чўққи Dy₂O₃ кубик фазасидаги Fg (2TA) чизиги билан боғлиқлиги аниқланди [12, 13]. Ушбу чўққи FWHM интенсивлиги ва кенглиги мос равишда $307,94\text{ см}^{-1}$, $1157,84$ ва $44,15\text{ см}^{-1}$ ни ташкил этади. Шундай қилиб, комбинацион сочилиш спектроскопияси ёрдамида кремний сиртида диспрозийнинг (n-Si<Dy> шаклида) вакуум шароитида 1473 К ҳароратда 50 соат давомида муваффақиятли диффузиясини тасдиқлаш мумкин. 15 мкм қалинликдаги сирт қатлами олиб ташлангандан сўнг, $307,94\text{ см}^{-1}$ соҳада Dy₂O₃ чўққиси интенсивлигининг сезиларли даражада пасайгани кузатилди, бунда n-Si га нисбатан кристалл структуранинг интенсивлиги камайди ва аморф соҳанинг интенсивлиги ошди. n-Si<Dy> намунасини таҳлил қилишда кимёвий ва механик ишлов бериш натижасида Dy₂O₃ қатлами кремний сиртидан йўқолганлиги аниқланди.

Дастлабки n-Si ва олинган n-Si<Dy> намуналарининг физик-кимёвий тузилишини чуқур ўрганиш мақсадида рентген фазали таҳлил ўтказилди. Дастлаб n-Si намунасининг рентген спектри олинди ва таҳлил қилинди.

Намунанинг структуравий аксланишлари орасида $2\theta = 27,99^\circ$ бурчакда $d/n = 3,188\text{ нм}$ билан кузатилган структура чизиги энг юқори интенсивликка эга бўлиб, бу тажриба таҳлили натижасида аниқланганидек, (111) кристаллографик йўналишга мос келади. Тажриба натижалари бўйича аниқланган бу аксланишнинг юқори интенсивлиги ($21779\text{ имп}\cdot\text{сек}^{-1}$) ва унинг ярим кенглиги ($0,01\text{ рад}$) ўрганилаётган намуналарнинг яхши кристалланиш даражасини ва улар (111) таркибидаги атомларнинг кўпчилиги кристаллографик тартибда жойлашганлигини кўрсатади. Ушбу структуравий аксланишга

кўра, унинг бета (β) компоненти $2\theta = 25,31^\circ$ бурчакда $d/n = 3,5096$ нм да кузатилган бўлса, иккинчи (222) ва учинчи (333) тартибли аксланишлар мос равишда $2\theta = 57,9^\circ$ бурчакда $d/n = 1,5933$ нм ва $2\theta = 94,68^\circ$ бурчакда $d/n = 1,0474$ нм да кузатилган. Одатда, иккинчи тартибли (222) аксланиш биринчи тартибли (111) кристаллографик аксланишга нисбатан тақиқланган структура чизиғи ҳисобланади ва кўп ҳолларда кристалл панжаранинг микробузилишлари мавжудлиги туфайли рентгенограммаларда намоён бўлади. Иккинчи тартибли структура чизиғи интенсивлигининг асосий структура чизиғи интенсивлигига нисбати $I(222)/I(111) = 3,6 \cdot 10^{-3}$ ни ташкил этади ва бу қиймат 10^{-4} дан катталиги ўрганилаётган n-Si (бошланғич) намунасининг кристалл панжараларида нуқсонлар мавжудлигини яна бир бор тасдиқлайди. Кристалл панжаранинг бундай нуқсонлари кремний ҳажмида асосий фон аралашмалари бўлган кислород атомларининг нотекис тақсимланиши натижасида ҳосил бўлади. Кристалл панжарадаги нуқсонлар мавжудлиги рентгенограммада ноэластик фон даражасининг номонотон хусусияти билан ҳам тасдиқланади. Бу даража кичик, ўрта ва катта сочилиш бурчакларида ўзгарувчан қийматларни қабул қилади.

Dy атомлари билан легирланган n-Si намуналарининг рентген дифракцион спектрлари олинди. Олинган спектрлар дастлабки намуна спектрларига нисбатан сезиларли фарқлар кўрсатди. Асосий структура чизиғи (111) нинг катта сочилиш бурчаклари томон $\Delta = 0,19^\circ$ га силжиши кузатилди, бунда унинг интенсивлиги ўзиникига нисбатан 18 баробар ошди. Бу эса муайян кристаллографик йўналишга мансуб атомлар сони ортганини англатади. Катта сочилиш бурчаклари томон силжиш Dy атомларининг кремний кристалл панжарасига кириб, деформация юзага келганини кўрсатади. Бу эса панжара параметрларининг $a_{Si} - a_{Si<Dy>} = 5,4451$ нм - $5,4080$ нм = $0,037$ нм фарқланишига олиб келди. Натижада, рентгенограммадаги иккинчи тартибли (222) (тақиқланган) структура чизиғининг нурланиш интенсивлиги 25 баробар ортди. Ушбу структура чизиғи интенсивлигининг асосий структура чизиғи (111) интенсивлигига нисбати $I(222)/I(111) = 0,005$ ни ташкил этади. Бу 10^{-4} дан катта бўлиб, диспрозий атомларининг диффузияси натижасида мавжудлигини кўрсатади. n-Si<Dy> намунаси $P4m2$ фазовий гуруҳга мансуб бўлиб, параметрлари $a = b = 3,8116$ нм ва $c = 5,4933$ нм бўлган тетрагонал элементар ячейкалардан ташкил топган.

Умуман олганда, тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, кремнийни диспрозий билан легирлаш кристалл тузилишининг яхшиланишига ва оптик хусусиятларининг ўзгаришига олиб келади. Раман спектроскопияси ва рентген фазали таҳлил усулларини қўллаш нодир ер элементларининг кремний билан ўзаро таъсир механизмларини ва уларнинг яримўтказгич материаллар хусусиятларига таъсирини чуқурроқ тушуниш имконини берди.

Адабиётлар

1. K.S. Daliev, Sh.B. Utamuradova, J.J. Khamdamov, Sh.B. Norkulov, and M.B. Bekmuratov, "Study of Defect Structure of Silicon Doped with Dysprosium Using X-Ray Phase Analysis and Raman Spectroscopy," East Eur. J. Phys. 4, 311-321 (2024). <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-4-35>
2. K.S. Daliev, Sh.B. Utamuradova, J.J. Khamdamov, M.B. Bekmuratov, O.N. Yusupov, Sh.B. Norkulov, and Kh.J. Matchonov, "Defect Formation in MIS Structures Based on Silicon with an Impurity of Ytterbium," East Eur. J. Phys. 4, 301-304 (2024). <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-4-33>

3. K.S. Daliev, Sh.B. Utamuradova, J.J. Khamdamov, M.B. Bekmuratov, Sh.B. Norkulov, and U.M. Yuldoshev, "Changes in the Structure and Properties of Silicon During Ytterbium Doping: The Results of a Comprehensive Analysis," East Eur. J. Phys. 4, 240-249 (2024). <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-4-24>
4. K.S. Daliev, S.B. Utamuradova, A. Khaitbaev, J.J. Khamdamov, S.B. Norkulov, and M.B. Bekmuratov, "Defective Structure of Silicon Doped with Dysprosium," East European Journal of Physics, (2), 283-287 (2024). <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-2-30>
5. S.B. Utamuradova, K.S. Daliev, A.I. Khaitbaev, J.J. Khamdamov, J.S. Zarifbayev, and B.S. Alikulov, "Defect Structure of Silicon Doped with Erbium," East European Journal of Physics, (2), 288-292 (2024). <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2024-2-31>
6. W.-J. Lee, and Y.-H. Chang, "Growth without Postannealing of Monoclinic VO₂ Thin Film by Atomic Layer Deposition Using VCl₄ as Precursor," Coatings, 8, 431 (2018). <https://doi.org/10.3390/coatings8120431>
7. K. Ali, S. Khan, M. Zubir, and M.Z.M. Jafri, "Spin-on doping (SOD) and diffusion temperature effect on re-combinations/ideality factor for solar cell applications," Chalcogenide Letters, 9, 457–463 (2012). https://www.chalcogen.ro/457_KhuraamAli.pdf
8. V. Mankad, S. Gupta, P. Jha, N. Ovsyuk, and G. Kachurin, "Low-frequency Raman scattering from Si/Ge nanocrystals in different matrixes caused by acoustic phonon quantization," J. Appl. Phys. 112, 54318 (2012). <https://doi.org/10.1063/1.4747933>
9. T. Liu, P. Ge, and W. Bi, "The Influence of Wire Speed on Phase Transitions and Residual Stress in Single Crystal Silicon Wafers Sawn by Resin Bonded Diamond Wire Saw," Micromachines (Basel), 12, (2021). <https://doi.org/10.3390/mi12040429>
10. G.-W. Lee, Y.-B. Lee, D.-H. Baek, J.-G. Kim, and H.-S. Kim, "Raman Scattering Study on the Influence of E-Beam Bombardment on Si Electron Lens," Molecules, 26, (2021). <https://doi.org/10.3390/molecules26092766>
11. K. Adu, M. Williams, M. Reber, R. Jayasingha, H.R. Gutierrez, and G. Sumanasekera, "Probing Phonons in Nonpolar Semiconducting Nanowires with Raman Spectroscopy," J. Nanotechnol. 2012, 264198 (2012). <https://doi.org/10.1155/2012/264198>
12. D. Casimir, H. Alghamdi, I.Y. Ahmed, R. Garcia-Sanchez, and P. Misra, "Raman Spectroscopy of Graphene, Graphite and Graphene Nanoplatelets," in: 2D Materials, edited by C. Wongchoosuk, and Y. Seekaew, (IntechOpen, 2019). <https://doi.org/10.5772/intechopen.84527>
13. K. Maex, and M. Van Rossum, "Properties of Metal Silicides," Inspec, (The institution of Electrical Engineers, London, UK, 1995). p. 5. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92679751>

DIFFUSION OF GOLD ATOMS IN SILICON AND THE FORMATION OF NEW BONDS

Sh.B. Utamuradova, J.J. Hamdamov, U.M. Yuldoshev, O.S. Iskandarov
*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of
Uzbekistan*

In recent years, structured silicon has attracted considerable interest, as silicon itself is a promising material not only for the field of electronics, but also for optoelectronics and solar cells [1-9]. Atoms of III-V elements (boron, arsenic, phosphorus, and others) are widely used to dope

silicon with fast-diffusing impurities, whereas gold is a typical slow-diffusing (deep-impurity) material. When a gold atom with amphoteric properties diffuses into silicon by Kick-out and Frank-Tranbull mechanisms, the ionized gold atom recombines with an n-type (or p-type) silicon electron (or hole). The diffusion atoms of gold compensate for the donors (or acceptors), which leads to an increase in the resistivity of silicon. Maximum resistance can be achieved when the concentration of gold atoms compensates for the concentration of donors (or acceptors) [1].

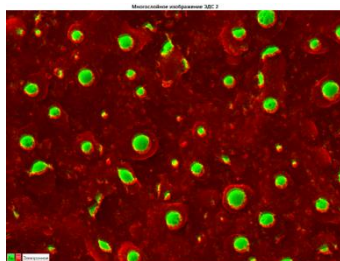
Gold-silicon forms an intermetallic compound that involves the presence of an electrovalent bond that is less stable than the covalent silicon-silicon bond. The diffusion of gold from the front of the silicon device forms a gold silicate compound and introduces a positive charge to the interface [2]. A three-layer model of the real surface seems to explain the effects of gold centers at the silicon/silicon dioxide interface [2-3].

The purpose of this work is to study the defective structure of gold-doped silicon, as well as the synthesis of composites on the surface of Si-Au silicon by thermal roasting at 1373 K. Scanning electron microscopy (SEM imaging) and Raman spectroscopy (Raman spectrum) are used to study the structural and optical characteristics of the samples.

Samples of silicon n-Si and p-Si with an initial resistance of $0.3 \div 20 \Omega \cdot \text{cm}$ were selected for the study.

Figure 1 shows a SEM image of gold-doped silicon. The ball arrangement of gold atoms on the surface of single-crystal silicon of type p doped with gold has been experimentally established. The results of the research show that the structure of micro- and nanocomposites formed in silicon mainly depends on the diffusion time and cooling rate of samples after diffusion annealing. The results of the study showed that thin films of gold with a high silicon content were successfully produced by thermal calcination, and the n-Si-Au and p-Si-Au composites were obtained by thermal roasting at 1373 K. Scanning electron microscopy data and Raman spectra confirmed the formation of both amorphous and nanocrystalline structures in the films annealed at 1373 K. Photoluminescence was observed and interpreted as interzone recombination in nanoparticles with dimensions greater than 2.5 nm, as well as recombination of carriers through defective states in smaller nanoparticles.

The Raman spectrum of the sample (Fig. 2) shows bands with maxima in the ranges of 144, 304, 402, 464, 522, 948 and 973 cm^{-1} . The occurrence of these bands is explained by the violation of the long-range order (translational symmetry) of the crystal lattice, which eliminates the limitations associated with the law of conservation of quasimomentum ($q = 0$). This leads to the fact that phonons with any wave vectors q become resolved in the spectrum, which ultimately reflects the density of the vibrational states of the crystal lattice of the material under study [8–9].



p-Si<Au>



SEM spectrum p-Si<Au>

Figure 1. Surface Properties of Gold-Doped Monocrystalline Silicon Subjected to Heat Treatment

Raman spectra for samples of gold-doped silicon n-Si<Au> and p-Si<Au>, as well as composites derived from them n-Si-Au and p-Si-Au, are shown in Figure 2. When analyzing

Raman spectra, it is extremely important to accurately identify the bands corresponding to nanocrystals, especially for films grown on n-Si and p-Si substrates. In nanocrystalline silicon films, the intensity of scattered light is quite high, but scattering from the substrate is significantly attenuated by absorption in the film itself. This means that the shape and position of the bands emanating from the nanocrystals should not be distorted when scattered on the substrate. However, in n-Si-Au and p-Si-Au composites, the duty cycle is relatively low and can be around 10%. The intensity of the scattered light from the silicon nanocrystals is negligible, while the Raman scattering line caused by the n-Si substrate remains strong. The results show that there is a pronounced band in all spectra with a maximum at 522 cm^{-1} and a width at a half-height of 4.3 cm^{-1} .

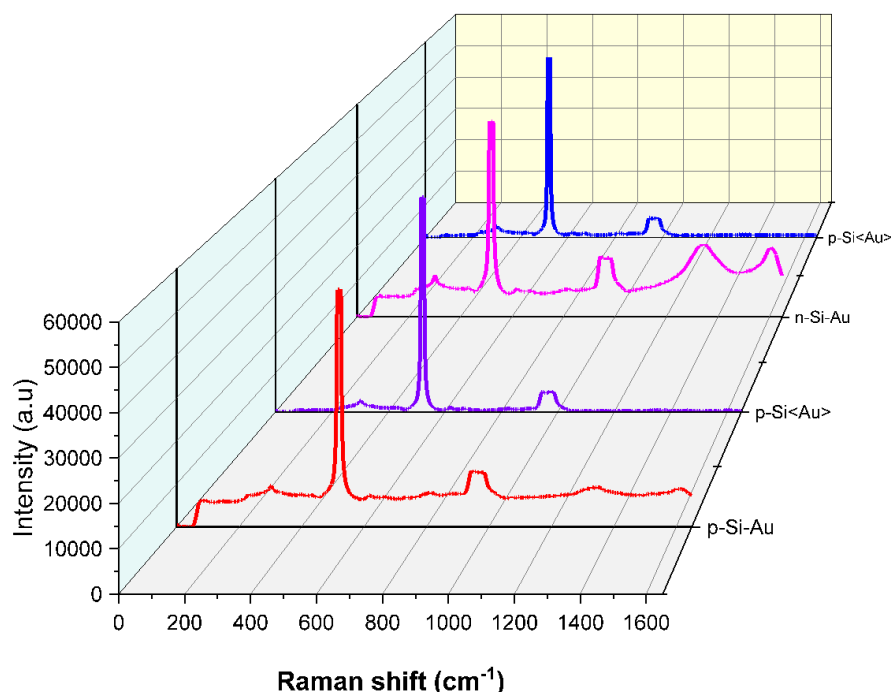


Figure 2. Raman spectrum of two types of gold-doped n-Si<Au> and p-Si<Au>, and n-Si-Au and p-Si-Au composites

It should be borne in mind that the scattering on silicon nanocrystals is weak enough to significantly affect the shape and position of the substrate strip. Since the exact intensity of scattered light from n-Si and p-Si substrates cannot be determined, we conclude that it is difficult to correctly determine the size of silicon nanocrystallites from Raman spectra in low-duty cycle n-Si-Au and p-Si-Au composites.

Thus, the results of the scanning electron microscopy (SEM) study made it possible to obtain detailed information about the structure, chemical composition and arrangement of atoms in the n-Si<Au> and p-Si<Au> samples. The ball distribution of gold atoms on the surface of single-crystal silicon was experimentally confirmed, which indicates the diffusion of gold and the formation of gold silicate, which introduces a positive charge at the interface of phases.

Analysis of the Raman spectra revealed characteristic peaks in the ranges of 144, 304, 402, 464, 522, 948 and 973 cm^{-1} associated with the violation of the long-range order of the crystal lattice and the interaction of gold with silicon. The intensity and position of the peaks allowed conclusions to be drawn about structural changes, such as a decrease in crystallinity and the formation of amorphous and nanocrystalline structures in the samples after heat treatment at a

temperature of 1373 K. Particular changes were noted in the range of 380–600 cm^{-1} , which is associated with the stretching of Si-Si bonds and the effect of hydrogen. Additional peaks in the n-Si<Au> spectra indicate the interaction of gold with silicon and the formation of new Si-Au bonds, which indicates the effect of gold on the structure of the material.

References

1. A. Herz, D. Wang, R. Müller, and P. Schaaf, “Formation of supersaturated Au–Ni nanoparticles via dewetting of an Au/Ni bilayer,” *Mater. Lett.* 102-103, 22–25 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.03.096>
2. M. Sang, K. Kang, Y. Zhang, H. Zhang, K. Kim, M. Cho, J. Shin, J.H. Hong, T. Kim, Sh.K. Lee, W.H. Yeo, J.W. Lee, T. Lee, B. Xu, and K.J. Yu, “Ultrahigh Sensitive Au-Doped Silicon Nanomembrane Based Wearable Sensor Arrays for Continuous Skin Temperature Monitoring with High Precision,” *Adv. Mater.* 34(4), 2105865. (2022). <https://doi.org/10.1002/adma.202105865>
3. G.R. Moghal, “Chemical-bond model for gold surface states in gold doped silicon/silicon dioxide structures,” *Int. J. Electronics*, 53(3), 271-279 (1982). <https://doi.org/10.1080/00207218208901509>
4. W.R. Thurber, D.C. Lewis, and W.M. Buillis, “Resistivity and carrier life time in gold - doped silicon,” *Electronic Technology Division Institute for Applied Technology National Bureau of Standards Washington, D.C.* 20234, (1973). <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nbsir73-128.pdf>
5. S.O. Konorov, H.G. Schulze, M.W. Blades, and R.F.B. Turner, “Silicon–Gold–Silica Lamellar Structures for Sample Substrates That Provide an Internal Standard for Raman Microspectroscopy,” *Anal. Chem.* 86(19), 9399–9404 (2014). <https://doi.org/10.1021/ac501922a>
6. M. Aono, M. Takahashi, H. Takiguchi, Y. Okamoto, N. Kitazawa, and Y. Watanabe, “Thermal annealing of a-Si/Au superlattice thin films,” *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358(17), 2150-2153 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2011.12.088>
7. K. Fukami, M.L. Chourou, R. Miyagawa, A.M. Noval, T. Sakka, M. Manso-Silván, R.J. Martin-Palma, and Y.H. Ogata, “Gold Nanostructures for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Prepared by Electrodeposition in Porous Silicon,” *Materials*, 4, 791-800 (2011). <https://doi.org/10.3390/ma4040791>
8. D. Beeman, R. Tsu, and M.F. Thorpe, “Structural information from the Raman spectrum of amorphous silicon,” *Phys. Rev. B*, 32, 874 (1985). <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.32.874>
9. P. Danesh, B. Pantchev, K. Antonova, E. Liarokapis, B. Schmidt, D. Grambole, and J. Baran, “Hydrogen bonding and structural order in hydrogenated amorphous silicon prepared with hydrogen-diluted silane,” *J. Phys. D*, 37, 249 (2004). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/37/2/013>

**LYUTETSIY BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYNING STRUKTURAVIY
XUSUSIYATLARI**

X.S. Daliev¹, J.J. Hamdamov¹, Z. E. Bahronqulov¹

¹*O'zMU huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika
ilmiy-tadqiqot instituti
zbakhronkulov@inbox.ru*

Zamonaviy jahon ilmiy-texnik taraqqiyoti elektronikaning rivojlanishi bilan bevosita bog'liq bo'lib, uning yutuqlari asosan fundamental fanlar, birinchi navbatda, qattiq jism fizikasining va yarim o'tkazgichlar fizikasining yutuqlariga asoslanadi. So'nggi yillarda ushbu sohalaridagi ilg'or natijalar past o'lchamli tuzilmalarning fizikasi va nano hamda optoelektronika, aloqa vositalari, yangi texnologiyalar va o'lchash uskunolari uchun tamomila yangi funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan nanotu strukturalarni yaratish texnologiyalari bilan bog'liq.

Strukturaviy kremniy hozirgi kunda katta qiziqish uyg'otmoqda, chunki Si nafaqat elektronika, balki optoelektronika va quyosh batareyalari uchun ham istiqbolli material hisoblanadi. Shu sababli, o'lchami kichik ob'ektlarning hosil bo'lishini tadqiq qilish va ularning yarim o'tkazgichlarning elektro-fizikaviy, optik, fotoelektrik va magnit xususiyatlariga ta'sirini o'rganish bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Ushbu ishda biz monokristall kremniyda lyutetsiy (Lu) atomlari bilan legirlangan holda bir va ikki fononli kombinatsion yorug'lik sochilish spektrlarini taqdim etamiz.

Tadqiqot uchun 0,3 dan 100 Om·sm gacha bo'lgan boshlang'ich xususiy qarshilikka ega n-Si va p-Si namunalar tanlandi. Lu bilan legirlash jarayoni termodiffuziya usuli yordamida bosqichma-bosqich amalga oshirildi. Legirlashdan oldin namunalar kimyoviy tozalash va o'yish jarayonidan o'tkazilib, HF eritmasi yordamida oksid qatlamlari to'liq olib tashlandi[5,7].

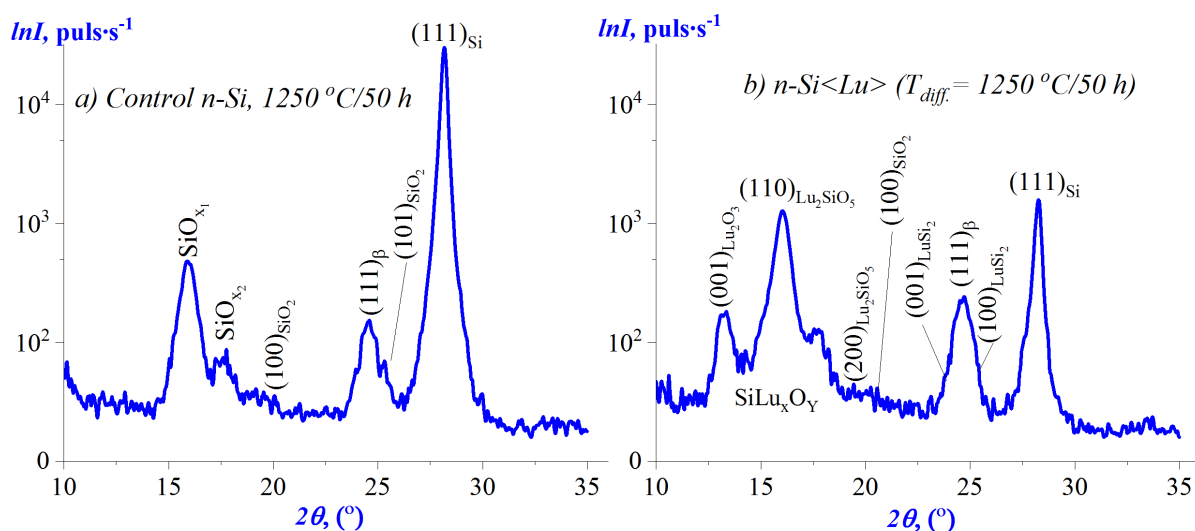
Namunalar diffuziya pechida 1250°C haroratda 50 soat diffuziya qilindi va ikki xil usulda tez va sekin sovutildi. Lu atomlarining kremniy bilan o'zaro ta'sirini o'rganish uchun moddaning bir xil legirlanishi va maksimal konsentratsiyaga erishish muhim ahamiyat kasb etadi. Strukturaviy-fazaviy holat Empyrean Malvern rentgen difraktometri yordamida nazorat qilindi. Pik maksimumlarini aniqlash uchun OriginPro2019 dasturi ishlatildi. Rentgen difraksion o'lchovlar Bragg-Brentano geometriyasida, $2\theta = 10^\circ$ dan 90° gacha bo'lgan diapazonda, $0,33^\circ/\text{min}$ skanerlash tezligida va $0,0200^\circ$ burchak qadamida o'tkazildi.

1-rasmda kontrol n-Si namunasi uchun rentgenogramma tasvirlangan. Difraksion tasvirda turli intensivlikka ega bir nechta selektiv reflekslar mavjudligi kuzatilmoqda. Tahlil natijasida substrat sirtining (111) kristallografik tekislikkamos kelishi aniqlandi. Bunga (111)Si selektiv refleksi mavjudligi dalolat qiladi, $d/n = 0,3141 \text{ nm}$ ($2\theta = 28,16^\circ$). (111)Si birinchi tartibdagi refleksining β -komponenti $2\theta = 24,92^\circ$ da, u chinchida tartib refleksida esa $2\theta = 83,3^\circ$ da kuzatiladi.

Asosiy refleksning yuqori intensivligi (29423 impuls/sek) va uning torligi ($\text{FWHM} = 5 \times 10^{-3} \text{ rad}$) substratning kristall panjarasi mukammalligini tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, refleksning α_1 va α_2 nurlanishlarga bo'linmasligi va kichik burchaklar ($2\theta = 10 \div 30^\circ$) diapazonida inelastik fon darajasining nomutanosibligi kremniy panjarasida elastik mikrozo'riqishlar mavjudligini ko'rsatadi. Elastik zo'riqish asosan substratning yuza qatlamida to'plangan bo'lib, bu kremniy ($r = 0.42 \text{ \AA}$) va kislorod ($r = 1.40 \text{ \AA}$) ion radiuslarining farqi hamda termik zo'riqishlar bilan bog'liq.

Kislorod ionlari kremniy ionlariga qaraganda katta bo'lgani uchun ular energiya jihatidan donalararo va bloklar (subkristallitlar) orasidagi bo'shliqlarda joylashishga moyil bo'ladi [1-4, 6, 8-9]. Bu joylarda matritsa ionlari orasidagi kimyoviy bog'lar to'liq to'yinmagan bo'lib, panjaraning ideal holatidan chetga siljishiga olib keladi. Natijada past simmetriyalı tuzilma shakllanadi. Buni tasdiqlovchi rentgenogrammadagi reflekslar: (100) refleksi, $d/n = 0,4349$ nm ($2\theta = 20,4^\circ$) (101) refleksi, $d/n = 0,3414$ nm ($2\theta = 25,93^\circ$). Bu reflekslar kontrol n-Si namunalariidagi SiO₂ birikmasining kristallik shaklda ekanligini bildiradi. Ushbu SiO₂ fazasining mavjudligi matritsada elastik zo'riqish va kislorodning notekis taqsimlanganligini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, rentgenogrammada $2\theta \approx 16,3^\circ$ da keng (FWHM = $2,8 \times 10^{-2}$ rad) diffuz aks ettirish kuzatiladi. Bu to'yinmagan bog'lanishlarga ega SiO_x struktura fragmentlari mavjudligini ko'rsatadi. Ushbu refleksning haddan tashqari kengligi bu fragmentlarning o'lchami kichik ekanligini va uzoq tartibga ega bo'lmaganini bildiradi. Shunday qilib, bu struktura fragmentlari SiO_x nanokristallari emas, balki klasterlar ekanligi aniqlandi.



1-rasm. n-Si rentgenogrammalari: nazorat namunasi (a) va Lu atomlari bilan legirlangan namunasi (b)

Rasm 1-b da lyutetsiy (Lu) atomlari bilan legirlangan kremniyning rentgenogrammasi keltirilgan. U nazorat namunasi n-Si ning rentgenogrammasidan sezilarli darajada farq qiladi. Ko'rinib turibdiki, asosiy kristallografik yo'nalish (111) ga tegishli struktura aks ettirish intensivligi deyarli 20 baravar kamaygan, shuningdek, sochilish burchaklari kattaroq tomonga $0,1^\circ$ ga siljigan. Yuqorida ta'kidlanganidek, kremniy atomlariga lyutetsiy atomlari kiritilganda, kristall panjarasida mikro o'zgarishlar yuzaga keladi, bu esa, o'z navbatida, n-Si namunasi kristall panjarasi doimiyligining kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, Lu atomlarining kremniy atomlari bilan o'zaro ta'siri natijasida silitsidlar hosil bo'ladi, natijada n-Si namunasi rentgenogrammasida (001) va (100) kristallografik yo'nalishlariga tegishli struktura aks ettirishlari kuzatiladi. Shu bilan birga, Lu atomlarining n-Si namunalariiga uzoq muddatli kiritilishi va namunalarni tez sovutish natijasida, atomlarning yaqin tartiblanishi yuzaga kelishi tufayli, ularning yuzasida o'zgarishlar sodir bo'ladi. Shu sababli, rentgenogrammada kichik sochilish burchaklari sohasida SiLu_xO_y ga tegishli diffuz aks ettirish kuzatildi. Ushbu diffuz aks ettirish fonida kremniy, lyutetsiy va kislorod atomlarining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'lgan kristallitlarga tegishli struktura aks ettirishlari kuzatildi (Lu₂SiO₅), ular (001), (110) va (200) kristallografik yo'nalishlariga tegishli. Ushbu struktura aks ettirishlarining eksperimental

natijalariga asoslanib, Lu_2SiO_5 kristallitlari P21/c faza guruhiga tegishli ekani va monoklin elementar katakka ega ekani aniqlandi: $a=b=0.6614$ nm va $c=0.9123$ nm.

Xulosa Shunday qilib, lyutetsiy (Lu) atomlarining kremniy panjarasiga kiritilishi kristall tuzilishida mikro o'zgarishlarga sabab bo'ladi. Aniqlanishicha, lyutetsiy aralashma atomlari kremniy atomlari bilan birikib, kristallik tartibga ega bo'lgan har xil darajadagi silitsidlardan iborat polikristallik sohalarni shakllantiradi. Ushbu polikristallik sohalar P6/mmm faza guruhiga tegishli bo'lib, ularning geksagonal elementar katagi quyidagi panjara parametrlari bilan tavsiflanadi: $a=b=0.4085$ nm va $c=0.3803$ nm. Shuningdek, subkristallitlar chegaralarida $15\div 18$ nm hajmli mayda Lu_2O_3 kristallitlari shakllanishi aniqlandi, ular P3m1 faza guruhiga tegishli bo'lib, uchburchak elementar katakka ega: $a=b=0.3573$ nm va $c=0.5843$ nm. Uzoq muddatli Lu atomlarini n-Si namunalari kiritish va ularni tez sovutish natijasida ularning yuzasida SiLu_xO_y ga tegishli bo'lgan fragmentlar shakllanadi. Shuningdek, kremniy, lyutetsiy va kislorod atomlarining o'zaro ta'siri natijasida Lu_2SiO_5 kristallitlari hosil bo'lishi aniqlandi, ular P21/c faza guruhiga tegishli bo'lib, monoklin elementar katakka ega: $a=b=0.6614$ nm va $c=0.9123$ nm.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Ravey, K.; Gorina S.N. (ed.) (1984). Defect and impurity in semiconductor silicon Moscow: Mir, 470.
- [2] Wang H.; Nyu, Y.; Lin H, Qiao J; Zhang, Y.; Zhong, W.; Qiu, S. Modification of rare earth Ce by inclusions in non-oriented silicon steel W 350. Metals 2023, 13, 453. <https://doi.org/10.3390/met13030453>.
- [3] , F. Singh, J. K. Pivin and D. Kanjilal // J. Phys. D: Adj. Phys. 39_3969–3973, (2006). doi: [10.1088/0022-3727/39/18/007](https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/18/007)
- [4] I. S. Smirnovn, I. G. Dyachkovan, E. G. Novoselova. Modern electronic materials. 2, 29–32 (2016). DOI : [10.1016/j.moem.2016.08.005](https://doi.org/10.1016/j.moem.2016.08.005)
- [5] Kh.S. Daliev, Z.E. Bahronkulov, J.J. Hamdamov, East Eur. J. Phys. 4, 167 (2023), <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2023-4-18>
- [6] O. V. Skalyaukh. Defect formation in silicon when irradiated with alpha particles with an energy of 5.4 MeV; Abstract: diss. Candidate physical and mathematical Sciences, Ulyanovsk – 200
- [7] Kh.S. Daliev, Sh.B. Utamuradova, Z.E. Bahronkulov, A.Kh. Khaitbaev, J.J. Hamdamov, East Eur. J. Phys. 4, 193 (2023), <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2023-4-23>
- [8] V. A. Zinoviev. Processes on the silicon surface under the influence of low-energy ions under molecular beam epitaxy conditions. Thesis. Specialty 04/01/10. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Semiconductor Physics. Novosibirsk 2004.
- [9] S. M. Osadchiy A. A. Petukhov, V. B. Dunin. Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies. No. 8, pp. 25–29, (2019)

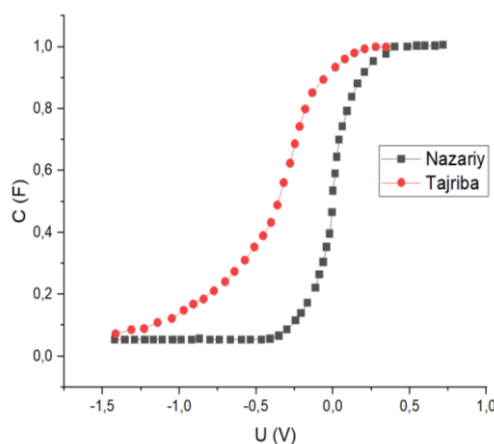
DETERMINATION OF THE SURFACE STATE DENSITY AT THE
SEMICONDUCTOR–DIELECTRIC INTERFACE

O. O.Mamatkarimov, M. O.Turgunov

Namangan Institute of Engineering and Technology

bmphddsc1991@gmail.com

The presence of mixed or ionic centers in the semiconductor base of an MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) structure significantly affects the distribution spectrum of the surface state density in relation to the semiconductor bandgap width. That is, the existence of charged centers in the dielectric layer near the surface at the semiconductor interface alters the capacitance-voltage (C-V) characteristics of the MOS structure, thereby influencing the distribution of the surface state density. To calculate the distribution of the surface state density across the forbidden zone of the semiconductor, the high-frequency C-V characteristics of the MOS structure in the dark are typically used. This method is based on comparing the theoretical and experimental C-V characteristics, then differentiating the obtained differences with respect to the applied voltage magnitude. Analysis of the applied method shows that determining the surface state density in the inversion region of the C-V characteristic, as well as in the region enriched with charge carriers, leads to significant deviations (Figure 3.1).



**Figure 1. Normalized capacitance of the dielectric layer in MOS structures:
Theoretical and experimental capacitance-voltage (C-V) characteristics**

These deviations arise from the necessity of differentiating closely spaced values. To determine the applicability limits of the mentioned method, an Al–SiO₂–n–Si structure, obtained by thermally oxidizing silicon—a widely used process in microelectronics—was utilized [65; 137-140]. Five sample structures with an oxygen concentration of $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ were tested, each measured five times under the same conditions. The obtained dark high-frequency capacitance-voltage (C-V) characteristics were then processed uniformly.

Figure 2 presents the differential distribution of surface state density across the forbidden bandgap of the semiconductor, calculated based on the average values of all measurements conducted on the studied system. The results indicate that the least variation occurs within the $E_c - 0.2 \text{ eV}$ to $E_c - 0.7 \text{ eV}$ energy range, where all experimental outcomes are consistent. At the same time, significant variations in the average surface state density are observed at the energy band

edges (Figure 2, 1,2). In some cases, these variations exceed the acceptable error margin for the differential distribution of surface state density across the semiconductor bandgap.

The primary cause of these variations is believed to be the following: When the applied depletion voltage decreases, electrons initially trapped in surface states transition into the conduction band due to thermal generation. Given the high electron concentration near the interface, they are highly likely to be recaptured. Once the voltage reaches a level that induces surface conductivity, the process of recharging surface states is influenced by the capture of electrons by the inversion layer charge.

Based on the above, the following conclusion can be drawn: The use of the high-frequency capacitance-voltage (C-V) characteristics method to determine the differential distribution of surface state density across the semiconductor bandgap is limited to an energy range of $E_c - 0.2$ eV to $E_c - 0.7$ eV.

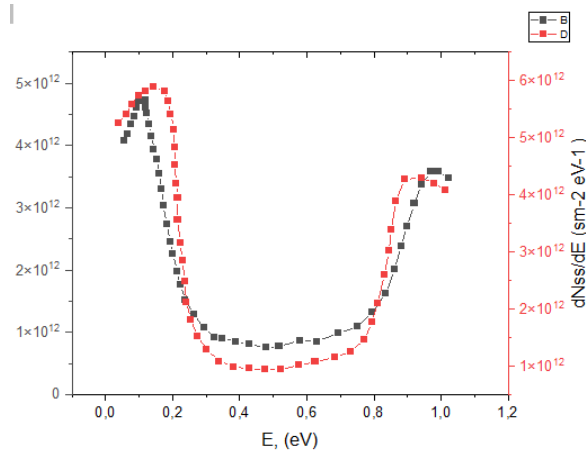


Figure 2. Block diagram of the measurement device

Based on the analysis of the spectrum of deep energy levels localized in the volume of the semiconductor substrate, performed using the applied method, it was determined that under the given order of UV radiation exposure, the concentration of generation centers localized in the volume of the semiconductor substrate and the carrier lifetime change only slightly.

REFERENCES

1. J. N. Reddy, *Theory and analysis of elastic plates and shells* (CRC Press, Boca Raton 1999).
2. S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of plates and shells 2* (McGraw-hill, New York 1959).
3. R. Rzhnitsyn, *Construction Mechanics* (Higher School, Moscow, 1982), p. 200.
4. J. N. Reddy, *Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis* (CRC Press, Boca Raton, 2004).
5. 4.V. Sachenkov, *Theoretical and experimental method for studying the stability of plates and shells Collection: Studies on the theory of plates and shells 6-7* (Kazan Publishing House, University, 1970).
6. V. Sachenkov and A. K. Shalabanov, *Investigation of free vibrations of sector plates and conical panels by the theoretical and experimental method Collection: Studies on the theory of plates and shells 9* (Kazan Publishing House, University, 1972).

7. V. Sachenkov and Yu. P. Artyukhin, *Experimental solution of problems on free oscillations and stability of plates and flat shells* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 6-7 (Kazan Publishing House, University, 1970).
8. D. Kovalenko, Ya. M. Grigorenko and A. A. Ilyin, *Theory of thin conical shells and its applications in mechanical engineering* (Naukova Dumka, Kiev, 1963), p. 287.
9. R. L. Taylor and S. Govindjee, *Commun Numer Methods Eng* **20(10)**, 757-765 (2004).

THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL IMPURITIES ON THE FORMATION OF RADIATION DEFECTS IN Hf-DOPED SILICON (Si<Hf>) UNDER GAMMA IRRADIATION

Sh.Kh. Daliev, J.A. Ergashev, A.T. Djubatov

*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at M. Ulugbek National
University of Uzbekistan, Uzbekistan, 100057, Tashkent, Yangi Almazar Street, 20*
shakhrukhd@mail.ru

In recent years, much attention has been paid to the study of the properties of impurities that create various defective centers in semiconductors due to the significant role of refractory impurities in the formation of the properties of Si, the basic material of semiconductor micro- and optoelectronics. There are still unresolved issues related to the interaction of various impurities with uncontrolled impurities and structural defects in silicon and their impact on the parameters of semiconductor devices.

In this work, the effect of oxygen content on the efficiency of radiation defect formation in Si <Hf> irradiated with γ -quanta of 60 C by capacitive spectroscopy methods was investigated. Doped hafnium, was used as the studied samples when growing silicon from the melt. The content of internode optically active oxygen N_{O}^{opt} was $7 \times 10^{16} \div 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

Analysis of the DLTS spectra shows that hafnium atoms introduced into silicon in growth are electrically neutral.

Fig. 1 and Fig.2 show typical DLTS spectra of n-Si and n-Si<Hf samples> with different concentrations of optically active interstitial oxygen irradiated with γ -quanta of 60C.

As can be seen from the DLTS spectra, as a result of gamma irradiation of control samples n-Si with the content of internode optically active oxygen $N_{O}^{opt} = 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, a new deep level is introduced with ionization energy $E - \text{eV}$ (peak A) and electron capture cross-section $S_n = 1 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ (Fig. 1, curve 1). It was established that the values of the parameters of this deep level coincide with the data of the work [1, 2] and relate to a known radiation defect - the vacancy-oxygen complex (A-centers).

Silicon with an interstitial optically active oxygen content of N_{O}^{opt} of the order of $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ was also studied. It was found that in such control samples of silicon (Fig. 1, curve 2), γ -irradiation introduces A – centers and E – centers with ionization energy $E_c = 0.43 \text{ eV}$ and electron capture cross-section $S_n = 1.8 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$.

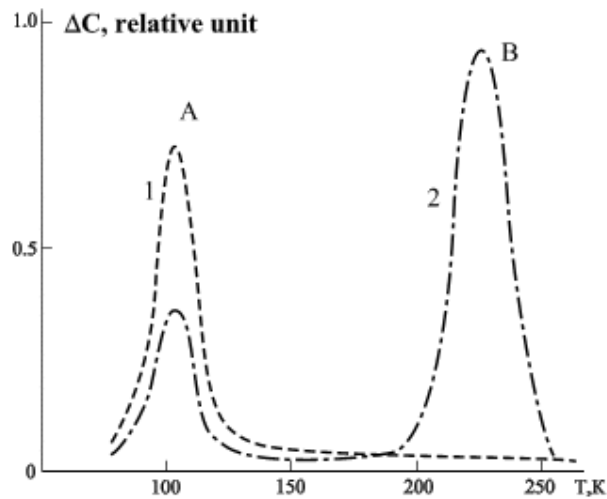


Fig.1. Typical DLTS spectra of control Si samples with different oxygen content after gamma irradiation (curve 1: $N_{O}^{opt} = 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, curve 2: $N_{O}^{opt} = 7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

Figure 2 shows the typical DLTS spectra of n-Si<Hf> samples with N_{O}^{opt} of the order of $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ after γ -irradiation. It has been established that as a result of irradiation in samples of n-Si,

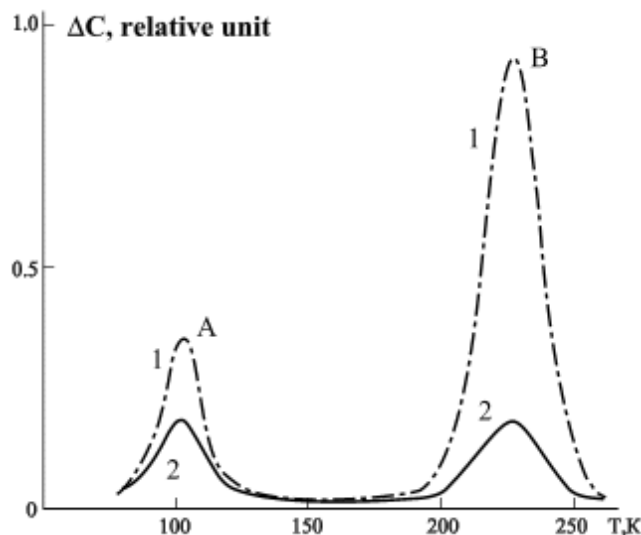


Fig.2. Typical DLTS spectra of n-Si control samples (curve 1) and n-Si doped with ytterbium (curve 2) after gamma irradiation: (wholesale $N_O = 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

Doped with hafnium impurities, vacancy-oxygen complexes (A-centers) with a deep level of $E_c - 0.17 \text{ eV}$ and vacancy-phosphorus (E-centers) with an $E_c - 0.43 \text{ eV}$ level are also formed. From the analysis of the measured DLTS spectra, it follows that the presence of Hf atoms in Si leads to a slowdown in radiation flaw formation: the concentration of the A-center in the samples n-Si<Hf> is 2 times less, and the concentration of the E-center is 5 times less than in the n-Si control samples.

Thus, the efficiency of the formation of radiation defects such as vacancy-oxygen (A-centers) and vacancy-phosphorus (E-centers) complexes significantly depends on the content of optically active interstitial oxygen and a rare-earth impurity – hafnium. With a high oxygen content of N_{O}^{opt} of about $9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, the formation of A-centers dominates, with a content of N_{O}^{opt} of about $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, the formation of E-centers dominates.

REFERENCES:

1. Шаховцов В.И., Шиндич В.Л. Радиационные эффекты в твердых телах. – Киев: Наукова думка, 1977. – С. 88-102.
2. Емцев В. В., Емцев В. В. (мл.), Полоскин Д. С., Соболев Н. А., Шек Е.И., Михель Й., Кимерлинг Л.С. Примесные центры в кремнии, легированном редкоземельными примесями диспрозием, гольмием, эрбием и иттербием. ФТП, 1999, Т. 33, Вып. 6, С.649-651.
3. Карпов Ю.А., Петров В.В., Просолович В.С., Ткачев В.Д. Радиационные дефекты в кремнии, легированном эрбием // Физика и техника полупроводников. – Санкт-Петербург, 1983. – в.8(18). –С.1530- 1532.

**POLIKRISTALL KREMNIYNI ELEKTROFIZIK PARAMETRLARIGA NIKEL
KIRISHMA ATOMLARNI TA’SIRINI DLTS METODI YORDAMIDA O’LCHASH**

Q.A. Ismaylov¹, N.F. Zikrillaev², SH.Z. Ollamberganov¹, T.B.Ismailov², Z.T. Kenjaev²

¹*Berdoq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti*

²*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti*

osherzod12121212@gmail.com

Kremniy asosidagi materiallar bugungi kunda mikroelektronika va fotovoltaika sohalarining asosiy tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Ushbu materiallar orasida monokristall kremniy (mono-Si) va polikristall kremniy (poly-Si) keng o’rganilib, amaliyotga tatbiq etilmoqda. Mono-Si yuqori sifatli va nuqsonsiz struktura bilan ajralib tursa-da, poly-Si o’zining iqtisodiy samaradorligi va ishlab chiqarish jarayonidagi qulayliklari bilan alohida e’tiborga loyiqdir[1]. Polikristall kremniy ishlab chiqarishda kam energiya talab qilishi va nisbatan arzon texnologiyalardan foydalanish imkonini berishi tufayli ancha arzon materialdir. Bundan tashqari, poly-Si kattaroq o’lchamda ishlab chiqarilishi bilan farq qilib, hajm jihatidan ko’proq material olish imkonini beradi, bu esa uni quyosh energiyasi sohasida keng qo’llashga asos yaratadi. [2]

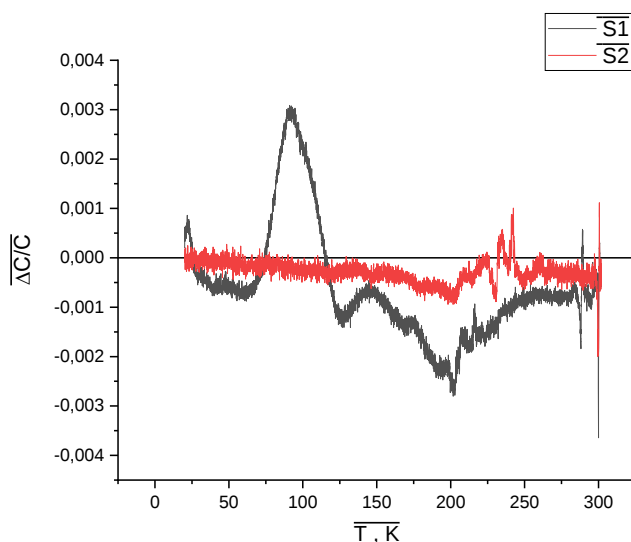
Polikristall kremniyning yana bir muhim ustunligi uning mexanik mustahkamligi va issiqlikka chidamliligidir. Bu xususiyat materialni yuqori haroratli texnologik jarayonlar uchun mos qiladi. Donalararo chegaralarning mavjudligi esa materialning elektr xususiyatlarini o’zgartirish va boshqarish imkonini berib, ilmiy tadqiqotlar va amaliy ishlanmalarning yangi yo’nalishlarini ochadi[3]. Ayniqsa, poly-Si tarkibiga nikel kabi og’ir metall atomlarini kiritish orqali elektrfizik parametrlarni yaxshilash masalasiga alohida e’tibor qaratiladi[4]. Nikel atomlarining donalararo chegaralarda to’planishi va klasterlarning shakllanishi materialning elektr o’tkazuvchanligi, qarshiligi hamda relaksatsiya jarayonlariga sezilarli ta’sir ko’rsatadi. Shu sababli, polikristall kremniyga nikel kirishma atomlarni diffuziya qilishda zamonaviy texnologik yondashuvlar orasida katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg’otmoqda. [5,]

Polikristall kremniy namunaga nikel kirishma atomlari 1000 °C haroratda ochiq atmosfera sharoitida 30 minut vaqt davomida amalaga oshirildi.

Nikel kirishma atomlari polykristall kremniyni elektrofizik parametrlariga tasirini o’rganish uchun DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) metodida o’lchovlari amalga oshirildi. Buning uchun nikel kirishma atomlari bo’lgan va nikelsiz namunalar bir xil jarayonlardan o’tdi.

DLTS metodlarini amalga oshirish uchun polykristall kremniy namunalari yuzasi sayqallash va jilolash bosqichlaridan o'tadi. Yuzada metall - yarimo'tkazgich kontakt xosil qilish uchun yuzaga Au yotqizildi va metall – yarimo'tkazgich kontankti xosil qilindi.

DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) usuli yarimo'tkazgichlarda chuqur darajadagi nuqsonlarni tahlil qilish uchun ishlatiladi. Bu usul, asosan, yarimo'tkazgich materiallaridagi deep-level (chuqur daraja) nuqsonlarning xususiyatlarini aniqlash, ularning energiya darajalarini va zaryad tashuvchilarining taqsimlanishini o'rganish imkonini beradi. DLTS o'lchashlari yarimo'tkazgichlarning elektr-xususiyatlari, zaryad tashuvchilari va nuqsonlarning taqsimlanish mexanizmlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. DLTS usuli, yarimo'tkazgichdagi nuqsonlarning konsentratsiyasini aniqlashga imkon beradi. Bu nuqsonlar donalararo chegaralar, yarimo'tkazgichning p-n o'tishida yoki metall-yarimo'tkazgich interfeyslarida joylashgan bo'lishi mumkin. DLTS usuli yordamida zaryad tashuvchilarining rekombinatsiya va generatsiya mexanizmlarini o'rganish mumkin .



3-rasm. Polykristall kremniyning dlts o'lchashlar natijalari. (S1- nikel kirishma atomlari bo'lmagan namuna. S2 – nikel kirishma atomlari bilan ligerlangan namuna

S1 grafigida $\Delta C/C$ qiymatining katta tebranishlari va cho'qqilar kuzatiladi, ayniqsa past harorat diapazonida (~ 100 K atrofida). Bu kremniydagi tabiiy defektlarning ko'pligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Elektr-fizik xususiyatlar defektlarning ta'siri tufayli sezilarli darajada o'zgaradi. $\Delta C/C$ qiymatlari harorat oshishi bilan katta tebranishlar ko'rsatadi. Bu materialning haroratga nisbatan barqaror emasligini ko'rsatadi. Grafikdagi keskin o'zgarishlar material ichidagi defektlar va tuzilma buzilishlarining kuchli ta'sirini ifodalaydi. Bu S1 materialining barqaror emasligini bildiradi.

S2 (nikelli) uchun asosiy farqlar va o'zgarishlar: S2 grafigida $\Delta C/C$ qiymatlarining tebranishlari kichikroq va yumshoqroq. Bu nikel kiritilishi orqali defektlarning qisman passivlanishini ko'rsatadi. $\Delta C/C$ qiymatlari harorat ortishi bilan nisbatan izchilroq o'zgaradi. Bu materialning elektr-fizik parametrlarining haroratga nisbatan yaxshiroq moslashganini ko'rsatadi. S2 grafigida $\Delta C/C$ ning tebranishlari kichikroq va yumshoqroq ko'rinishda. Bu nikelning kremniyda defektlarni passivlashtirishi va elektr-fizik parametrlarning barqarorligini oshirganini ko'rsatadi.

Xulosa:

1. Nikel donalar chegaralarida to‘planib, u yerdagi zararli defektlarni passivlashtirgan bo‘lishi mumkin. Bu esa umumiy ravishda materialning dielektrik va elektr barqarorligini oshirgan.

2. $\Delta C/C$ qiymatining 0 ga yaqin bo‘lishi materialning elektrfizik parametrlarini yaxshilanganligini anglatadi. Bu, ayniqsa, chuqur darajalarning kamayishi va rekombinatsion markazlarning yo‘q qilinganligini tasdiqlaydi

3. Defektlarning passivlanishi natijasida zaryad tashuvchilar harakatlanuvchanligi ortadi, bu esa materialning umumiy sifatini oshiradi.

4. Peakarning kamayishi materialning sifatini yaxshilanganidan dalolat beradi. Bu nikelning zararli defektlarni samarali passivatsiya qilganini va chuqur darajalarning hosil bo‘lishini cheklaganini ko‘rsatadi

Adabiyotlar

1. Polikristallicheskie poluprovodniki. Fizicheskie svoystva i primeneniya /per. s angl./ pod. red. Xarbek G. – M.: Mir, 1989. – 344 s.
2. Borisenko V.E. and Hesketh P.J. 1997 Crystallization. Impurity diffusion and segregation in polycrystalline silicon. Rapid Thermal Processing of Semiconductors Microdevicesed V.E.Borisenko and P.J.Hesketh (Boston. MA: Springer). pp.93–111.
3. D. V. Lang. Deep-level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors. Journal of Applied Physics, 45(7):3
4. Bakhadyrkhanov, M.K. and Kenzhayev, Z.T., Optimal conditions for nickel doping to improve the efficiency of silicon photoelectric cells, Tech. Phys., 2021, vol. 66, no. 7, p. 851
5. Ismaylov, B.K., Zikrillayev, N.F., Ismailov, K.A., and Kenzhaev, Z.T., Clusters of impurity nickel atoms and their migration in the crystal lattice of silicon, Phys. Sci. Technol., 2023, vol. 10, nos. 1–2, p. 13. <https://doi.org/10.26577/phst.2023.v10.i1.02>

**2D O‘LCHAMDAGI GRAFIN KVANT SIG‘IMINING O‘YUCH MAYDON
TA‘SIRIDA O‘ZGARISHI**

M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, B. A. Xusanboyev

Namangan muhandislik-qurilish institute

So‘ngi yillarda 2D o‘lchamdagi uglerod atomlaridan tuzilgan grafin, nanoelektronika sohasida katta qiziqish uyg‘otib kelmoqda Nano o‘lchamli qurilmalarni loyihalashda muhim miqdor kvant sig‘imidir [2]. Grafin nanoqatlamlarida elektrostatik potensial U_{ch} va elektronning

zaryadi q va kvant sig‘im ta‘rifidan $C_q = \frac{dq}{dU_{ch}}$ foydalanib, 2D o‘lchamli grafin uchun

$$C_q = \frac{2q^2 kT}{\pi(\hbar g_F)^2} \ln[2(1 + \cosh \frac{qU_{ch}}{kT})] \quad (1)$$

ifoda kelib chiqadi (1-rasm) [1].

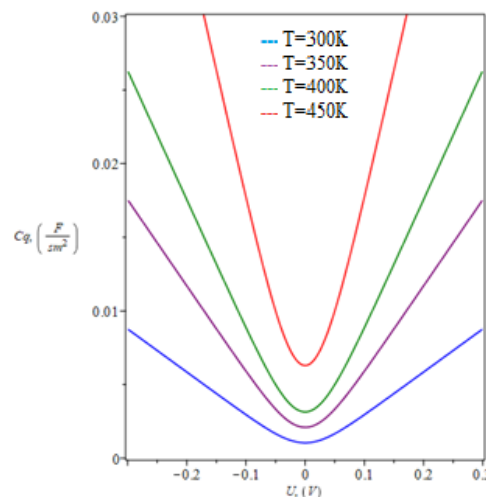
2D o'lchamli grafin kvant sig'imi (1) ifoda yordamida aniqlanadi. Ushbu ifodadan foydalanib, O'YuCh maydon, ya'ni $T_e, T_h > T$ bo'lganda 2D o'lchamli grafin kvant sig'imi formulasini keltirib chiqarish mumkin.

$$C_q = \frac{2q^2 k(T - T_{e,h})}{\pi(\hbar \mathcal{G}_F)^2} \ln[2(1 + \cosh \frac{qU_{ch}}{kT})] \quad (2)$$

Bu yerda, q – elektronning zaryadi, k – Bolsman doimiysi, T – panjara harorati, $T_{e,h}$ – electron va kovaklar harorati bo'lib, ular O'YuCh maydon ta'sirida panjara haroratidan yuqori bo'ladi. $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ga teng bo'lib, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $\mathcal{G}_F = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ -grafenda zaryad tashuvchilarning Fermi tezligi [1], U_{ch} – elektrostatik potensial.

2D o'lchamli grafen Dirak nuqtasi - grafenning elektron tuzilmasidagi fundamental xususiyat bo'lib, u elektronlarning energiya va impuls bog'lanishini aniqlovchi Dirak konuslarining (Grafen atomlari karbonning geksagonal kristall panjarasini hosil qiladi. Elektronlarning energiya va impuls bog'liq grafigi (energiyali zonalar diagrammasi) yuqori va pastki energetik konus shaklida bo'ladi. Bu konuslar K va K' nuqtalarda bir-biriga tegadi. Bu nuqta Dirak nuqtasi deb ataladi.) uchrashgan nuqtasidir. Bu nuqtada elektronlarning energiyasi bo'ladi, ya'ni Fermi energiyasi Dirak nuqtasiga mos keladi. Elektronlar Dirak nuqtasida massasiz bo'lib, ular yorug'lik tezligiga o'xshash tezlikda harakat qiladi. Dirak nuqtasida grafen yarim metall kabi harakat qiladi. U yaxshi o'tkazgich bo'lib, uning o'tkazuvchanligi tashqi sharoitlarga kuchli bog'liq bo'ladi. O'YuCh maydon 2D o'lchamli grafin Dirak nuqtalarini o'zgartiradi. O'YuCh maydon grafinda elektronlarning energiya spektriga dinamik ta'sir ko'rsatadi. Yuqori chastotali elektromagnit maydon grafinda Floquet-Bloch modellarini hosil qiladi. Maydonning intensivligi va chastotasi yuqori bo'lsa, Dirak nuqtalarining energiya spektrida yangi energiya zonalar yoki bo'shliqlar hosil bo'lishi mumkin. Ba'zi hollarda Dirak nuqtalari joylashuvi o'zgarishi yoki turg'un holatdagi yangi Dirak nuqtalari paydo bo'lishi kuzatiladi. Grafinda elektronlar uzun masofalarda to'qnashuvlarsiz harakatlanadi, bu esa an'anaviy yarimo'tkazgichlardan farqli, juda samarali p-n o'tish hosil qiladi. An'anaviy yarimo'tkazgichlardan farqli ravishda, grafen p-n o'tishlari katta shaffoflik ko'rsatadi, ya'ni elektronlar yuqori ehtimollik bilan p-n o'tishdan o'tadi. Bu 2D o'lchamli grafen kvant sig'imini ortishiga olib keladi.

(2) ifoda yordamida 2D o'lchamli grafin kvant sig'imining kuchlanishga bog'liqlik grafigini olish mumkin.



2-rasm. 2D o'lchamli grafin kvant sig'imining elektrostatik potensialga bog'liqligi

2 – rasmdan ko‘rinib turibdiki, O‘YuCh maydon ta’sirida 2D o‘lchamli grafen kvant sig‘imi ortib boradi. Agar elektromagnit maydon polarizatsiyasi aylanma bo‘lsa, grafinda energiya spektrida topologik bo‘shliq hosil bo‘lishi mumkin. Bu hodisa yangi fizik xususiyatlarga olib keladi. Grafen kvant sig‘imi O‘YuCh maydoni ta’sirida nolinear o‘zgaradi. Sig‘imning minimal qiymati Dirak nuqtasida kuzatiladi. Zaryad tashuvchilarni kuchliroq konsentratsiyalash orqali sig‘imni sezilarli darajada oshirish mumkin.

O‘YuCh maydon ta’sirida 2D o‘lchamli grafen kvant sig‘imi ortib boradi. Grafen yuqori darajada zaryad tashuvchilarni yig‘ish imkoniyatiga ega bo‘lgani uchun, uning kvant sig‘imining ortishi gazlar, biomolekulalar yoki boshqa kimyoviy moddalarni aniqlashda sensorlar sezgirligini ortiradi. Kvant sig‘imining ortishi grafenning energiyani samarali saqlash qobiliyatini ortiradi, chunki ko‘proq zaryad tashuvchilarni to‘plash va qayta bo‘shatish imkoniyati paydo bo‘ladi. Tez zaryadlanadigan va yuqori quvvat sig‘imli energiya saqlash qurilmalari ishlab chiqish imkonini beradi. Grafen kvant sig‘imining ortishi elektronlarning transport xususiyatlarini yaxshilaydi. Bu uni yuqori samarali tranzistorlar uchun ideal materialga aylantiradi. Grafen asosidagi tranzistorlar odatdagi kremniy tranzistorlariga qaraganda yuqoriroq tezlik va quvvat samaradorligini ta’minlaydi.

Grafen kvant sig‘imining ortishi fotonlarni (yorug‘lik zarrachalari) samarali boshqarish va ulardan foydalanish imkonini beradi. Yuqori samarali quyosh panellari, shaffof displeylar va lazerlar yaratishda ishlatiladi.

Adabiyotlar

1. Fang, T., Konar, A., Xing, H., & Jena, D. (2007). Carrier statistics and quantum capacitance of graphene sheets and ribbons. *Applied Physics Letters*, 91(9), 092109. <https://doi.org/10.1063/1.2776887>
2. John, D. L., Castro, L. C., & Pulfrey, D. L. (2004). Quantum capacitance in nanoscale device modeling. *Journal of Applied Physics*, 96(9), 5180–5184. <https://doi.org/10.1063/1.1803614>

VOLFRAM BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYDA HOSIL BO‘LGAN NUQSONLARNI O‘RGANISH.

**Sh.B. Utamuradova, J.J. Khamdamov, Y.Z.Mardiyev, S.M. Abduraimov,
F.O. Boboyev**

*O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika
instituti, Toshkent, O‘zbekiston*

Yarimo‘tkazgich materiallar orqali turli xil elektronika qurilmalari uchun materiallarni ishlab chiqish va takomillashtirish zamonaviy fan va texnikaning asosiy yo‘nalishlari bo‘lib qolmoqda. Yarimo‘tkazgichli qurilmalar uchun asosiy material bo‘lgan kremniy o‘ziga xos xususiyatlarga ega [1-3]. Biroq, uni yanada takomillashtirish uchun turli xil element atomlarini qo‘shish kerak. Kremniy kristall panjarasiga boshqa elementlarning atomlarini kiritish uning xususiyatlarini sezilarli darajada o‘zgartirish va yuqori samarali elektron qurilmalarni yaratish uchun yangi imkoniyatlar ochish imkonini beradi.

Kremniy strukturasi va elektrofizik xususiyatlariga ta'sirni o'rganish uchun qiyin eruvchi materiallardan biri volfram atomlaridan foydalanildi. Yarimo'tkazgichlar sohasida qiyin eruvchi materiallar bilan kremniy monokristalini legirlash orqali kristal panjaraning o'zgarishlari, sirt hodisalari, yuqori temperaturaga chidamli hamda radiatsiyaga chidamli elektron qurilmalar tayyorlash bugungi kunning dolzarb masalalaridan biri bo'lib qolmoqda.

Volfram bilan legirlangan kremniy tarkibidagi o'zgarishlarni bir qancha zamonaviy qurilmalar va metodlardan foydalanish orqali o'rganildi. Qilingan tajriba va o'lchashlar orqali kremniy namunasi tarkibida turli molekulyar bog'lanishlar hosil bo'lishi Raman spektroskopiyasi yordamida o'rganildi. Bundan tashqari, kristall tuzilishidagi nuqsonlar tahlil qilindi.

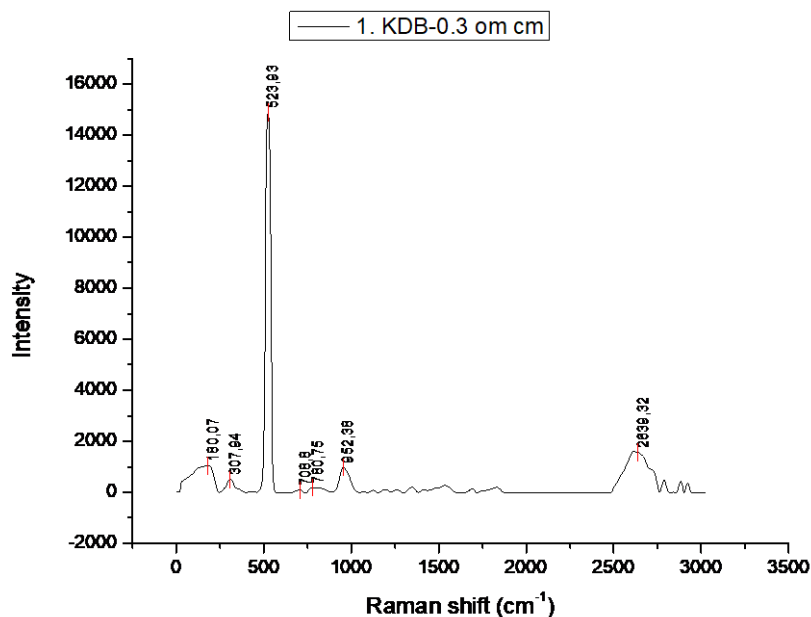
Tajribani bajarish KDB-0,3 $\text{om} \cdot \text{cm}$ (p-Si) qarshilikka ega bo'lgan monokristalli kremniy namunalari tanlangan. Namunalarning dastlabki qalinligi $d_0 = 2000$ mkr bo'lib, sirtidan ifloslantiruvchi moddalar va oksid qatlamlarini olib tashlash uchun $M=20$, $M=14$, $M=8$ karbid kremniy kukun yordamida namuna ikki tomonini 20 mkr dan olib tashlandi. So'ngra 7 bosqichda to'liq kimyoviy tozalashdan o'tkazildi. Bunga kislota-peroksidni yuvish, so'ngra fluorid kislota (HF) eritmasida ishlov berish orqali erishildi, bu oksidlarni butunlay olib tashladi va keyingi yotqiziladigan qatlam uchun toza kremniy sirtini ta'minladi.

Tozalashdan so'ng, kremniy yuzasiga yuqori toza (99,999%) volfram (W) qatlami bug'lantirildi. Volfram qatlamni hosil qilish uchun VUP-4 (Vakuum universal post) qurilmasi orqali, yuqori vakuum sharoitida (10^{-6} Torr) volfram atomlarini bug'lantirish amalga oshirildi, bunda kremniy yuzasida volfram atomlarining bir xil taqsimlanishini taminladi. Qotishma jarayoni termal diffuziya usuli yordamida amalga oshirildi. Tayyorlangan p-Si namunalari toza kvarts ampulalariga joylashtirildi va ochiq havoda 5 soat davomida 1573 K (1300 °C) haroratda diffuziya qilindi. Keyinchalik katta nuqsonlarning paydo bo'lishiga yo'l qo'ymaslik va kremniy kristall panjarasida volframning bir xil taqsimlanishini taminlash uchun namunalar tez sovutildi. Tez sovutish, shuningdek, nanokristallitlarning shakllanishiga va boshqa tarkibiy o'zgarishlarga ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan namunalarda ichki nuqsonlarni ortib ketmasligiga yordam beradi. Termal diffuziyadan so'ng, volfram kirib borgan chuqur qatlamlarni tekshirish uchun namunalarning 2 mkm qalinlikdagi sirt qatlami olib tashlandi. Bu mexanik ishlov berish va kimyoviy tozalash yordamida amalga oshirildi, bu strukturaviy o'zgarishlarni turli xil chuqurliklarda o'rganish imkonini berdi.

Dastlab FTIR (Fourier transform infragizil) yordamida toza p-Si ning NO_{opt} konsentratsiyasi aniqlandi, unga ko'ra kislorod konsentratsiyasi $2,486 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Keyingi bosqichda p-Si $\langle W \rangle$ na'munani NO_{opt} konsentratsiyasini aniqladik, unga ko'ra kislorod konsentratsiyasi $7,351 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ortgani ma'lum bo'ldi. Bunday ortib borishiga asosiy sabab sifatida volfram atomlari diffuziya vaqtida kislorod bilan molekulyar birikmalar hosil qilgan, hamda bu jarayon ochiq havoda diffuziya qilish ta'siri natijasida hosil bo'lgan deb aytilish mumkin. Bu hodisaga Raman tahlilida yana ko'rib o'tamiz.

Volfram bilan legirlangan kremniy 4 zont orqali solishtirma qarshiligini o'rganishda ham natijalar tahlil qilindi. Bunda biz dastlabki namuna bilan, termal diffuziya orqali volfram bilan legirlangan namunani tahlil qildik. Ushbu namunalarni aniq qalinlik bo'yicha o'zgarishi ham tahlil qilindi. Dastlabki namuna p-Si kremniyning solishtirma qarshiligi $\rho = 0.3 \text{ om} \cdot \text{cm}$ bo'lgan bo'lsa, termal diffuziya orqali p-Si $\langle W \rangle$ legirlangandan so'ng namuna sirtidan 2 mkr olinganda, solishtirma qarshiligi $\rho = 0.5 - 0.53 \text{ om} \cdot \text{cm}$ ga ortganni ko'rish mumkin. Tajriba davomida termal diffuziya orqali p-Si $\langle W \rangle$ legirlangan namuna sirtidan 10 mkr olib o'lchaganimizdan so'ng, solishtirma qarshilikning o'zgarishi $\rho = 0.43 - 0.45 \text{ om} \cdot \text{cm}$ tashkil qildi.

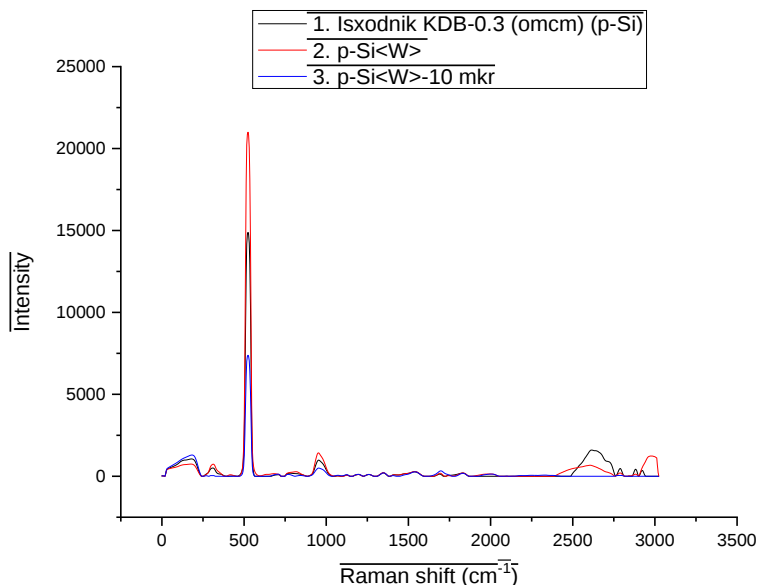
Volfram atomlarini kremniy atomlari bilan molekulyar bog‘lanishini tekshirish maqsadida Raman spektrometeridan foydalanildi. Natijalar Ocean Insight to‘lqin uzunligi 785 nm bo‘lgan Raman spektrometr qurilmasida olindi [4-5]. Raman natijasiga ko‘ra dastlabki p-Si namunasida quyidagi Raman siljishlari aniqlandi.



1-Rasm. KDB-0.3 om cm (p-Si) dastlabki namuna.

1-rasmda dastlabki p-Si namunamizda (180,07), (307,94), (523,93), (708,8), (780,75), (952,38) va (2639,32) piklarimiz aniqlandi. Bu Raman siljishlar bizga molekulyar bog‘larni nomoyon qiladi va namunamizda birinchi tartibli sochilishning intensivligi ko‘ndalang (TO) (Atomlarning harakati to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar) va uzunlamasi (LO) (Atomlarning harakati to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga parallel) optik fononlarga bog‘liq ma’lumotlarni olish imkoniyatini yaratadi. Bizga ma’lumki TO Raman spektrda past chastotali pik sifatida kuzatiladi, LO Raman spektrda yuqori chastotali pik sifatida kuzatiladi, hamda TO va LO namunaning optik sohalarini o‘rganishga yordam beradi. Bundan tashqari namunada akustik sohalar ham mavjud bo‘lib, ular TA va LA bilan belgilanadi. **Bo‘ylama akustik tebranish (LA)** (Atomlarning harakati to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga parallel) hamda **ko‘ndalang akustik tebranish (TA)** (Atomlarning harakati to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar) bo‘lgan sohalar ham o‘ganiladi[6].

O‘lchashdan ko‘rinadiki 180 cm^{-1} TA akustik sohaga mos keladi, 307 cm^{-1} 2TA akustik sohani ko‘rsatadi, boshqa adabiyotlarda kuzatishlar bu soha amorf sohalarga tegishli bo‘lishini takidlashadi, 523 cm^{-1} optik sohada TO+LO sohalarni mavjudligini ko‘rsatadi, 952 cm^{-1} 2TO optik sohani namoyon qiladi, 2639 cm^{-1} bu hech qaysi optik yoki akustik sohaga to‘g‘ri kelmaydi, fonon soha emas, bu nuqta asosan uglerod birikmalari (masalan C-H bog‘)ni ko‘rsatadi. Bundan tashqari $800\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ oraliqda simmetrik cho‘zilish hosil bo‘lgan, bu asosan Si-O bog‘larni ko‘rsatadi ya’ni TO+TA sohalar hosil bo‘lishiga olib keladi. Bu simmetrik cho‘zilish sohasida amorf xususiyatlar namoyon bo‘ladi va 708 cm^{-1} va 780 cm^{-1} Si-B₆ piklar hosil bo‘lganini ko‘rish mumkin, bu nuqtalarda ham TO+TA sohalar hosil bo‘ladi. Yuqorida aytib o‘tilgan 307 cm^{-1} 2TA akustik soha ham amorf xususiyatiga tegishli bo‘lib Si-B ning molekulyar bog‘lanishini ko‘rsatadi[7].



2-Rasm. 1. Dastlabki namuna KDB-0.3 (0.3 cm) (p-Si), 2. p-Si<W>, 3. p-Si<W>-sirtidan 10 mk olingan.

Volfram bilan legirlangan p-Si kremniyning Raman spektrometrda tekshirish bir muncha qiziq holatlarni ko'rsatib berdi. Bunda piklarning intensivliklari o'zgarishini, piklarning markazlarining siljishlarini, piklarning kengayishi va torayishini ko'rish mumkin.

Tajriba jarayoni p-Si namunaga (W) volframni legirlashni ochiq havoda, 1300 °C haroratda, 5 soat mobaynida diffuziya jarayoni amalga oshirilgan. Tajribada yuqorida aytilganidek sovutish jarayoniga alohida e'tibor qaratilgan. 2-rasmda, 2-qizil chiziq grafigida ko'rinib turibdiki, Si-Si bog'lari ya'ni 523 cm⁻¹ Raman siljishining intensivligi sezilarli ortib ketgan va boshqa piklarning markazlari sezilarli darajada siljigan yoki kengaygan. Bu o'zgarishlarni yanada chuqurroq o'rganish maqsadida, p-Si<W> namuna sirtidan 10 mkr qalinlikda mexanik va kimyoviy usulda olib tashlandi. Natijalarni 2-rasmda, 3-binafsha chiziq grafigida hosil bo'ldi. Bunda ham qator o'zgarishlar mavjud bo'lib, asosiy sohalarda intensivlikni kamayishi, pik markazlarining siljishi, hattoki amorf sohaning ko'tarilishini ko'rish mumkin. Bunday natijalarni tahlil qilish uchun har bir sohalarni alohida qisimlarga ajratib chiqish aniq natijalarni ko'rsatadi, hamda natijalarni solishtirish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli materiallarni, xususan kremniyni legirlash orqali ularning elektrofizik xususiyatlarini takomillashtirish zamonaviy elektronika uchun muhim ahamiyatga ega. Volfram kabi qiyin eruvchi materiallar bilan legirlash radiatsiyaga chidamlilik va yuqori haroratga bardoshli qurilmalar yaratish imkoniyatini beradi. Kremniy namunalariga volfram qatlami yuqori vakuum sharoitida (10⁻⁶ Torr) cho'ktirildi va 1573 K haroratda 5 soat davomida diffuziya qilindi. Tez sovutish jarayoni orqali kristall panjaradagi nuqsonlarning ortib ketishi oldini olindi. Raman spektroskopiyasi, FTIR va solishtirma qarshilik o'lchovlari kabi usullardan foydalanildi. Volfram diffuziyasi natijasida kislorod konsentratsiyasi sezilarli darajada oshdi (2,486·10¹⁷ dan 7,351·10¹⁷ cm⁻³ gacha). Solishtirma qarshilik 0,3 om·cm dan 0,5–0,53 om·cm gacha ortib, volframning elektrofizik xususiyatlarga ta'siri ko'rsatildi. Raman tahlili orqali Si-Si, Si-O, Si-B bog'lanishlari va amorf sohalardagi o'zgarishlar aniqlandi. Piklar intensivligi va siljishlari volframning kristall panjaraga ta'sirini ko'rsatdi. Volfram bilan legirlangan kremniy yuqori sifatli elektron qurilmalar ishlab chiqarish uchun istiqbolli material hisoblanadi. Keyingi tadqiqotlarda diffuziya parametrlari

va sovutish sharoitlarini optimallashtirish orqali materialning xususiyatlarini yanada yaxshilash mumkin.

ADABIYOTLAR.

1. Л.Т. Кэнхэм, «Изготовление массивов кремниевых квантовых проводов путем электрохимического и химического растворения пластин», Appl. Phys. Lett. 57, 1046-1990. <https://doi.org/10.1063/1.103561>
2. Ф. Хейскен, Х. Хофмайстер, Б. Кон, М.А. Лагуна и В. Пайяр, «Лазерное производство и осаждение светоизлучающих кремниевых наночастиц», Appl. Surf. Sci. 154–155, 305 (2000). [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(99\)00476-6](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(99)00476-6)
3. В. Винчигуэрра, Ж. Францо, Ф. Приоло, Ф. Иакона и К. Спинелла, «Квантовое ограничение и динамика рекомбинации в кремниевых нанокристаллах, встроенных в сверхрешетки Si/SiO₂», J. Appl. Phys. 87, 8165 (2000). <https://doi.org/10.1063/1.373513>
4. Robust Optical Design for Great Spectral Performance info@oceaninsight.com • www.oceaninsight.com
5. Multimode Spectrum Stabilized Laser Module Series – Lab Versions Installation and Operation Manual Document Number LASER-785-LAB-02-0409 Info@OceanOptics.com
6. Raman Spectroscopy for Nanomaterials Characterization. Challa S. S. R. Kumar Editor 2012 DOI [10.1007/978-3-642-20620-7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20620-7)
7. Peter J. Codella, Fran Adar, and Yung S. Liu. Raman microprobe analysis of tungsten silicide. *Applied Physics Letters*, 46(11):1076–1078, 1985. ISSN 00036951. doi: [10.1063/1.95766](https://doi.org/10.1063/1.95766).

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ СКОПЛЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ n-Si<Ni>

Н.А.Тургунов¹, Ш.А.Собирова¹, Н.Б.Хайтимметов¹

¹*Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при
Национальном университете Узбекистана*

Исследования процессов формирования скоплений примесных атомов в объеме полупроводниковых материалов при высокотемпературном диффузионном легировании, представляют особый интерес с точки зрения управления их электрофизическими, фотоэлектрическими, оптическими и механическими свойствами. В этом направлении особый интерес представляют исследования, направленные на определение последовательности процессов формирования скоплений примесных атомов, а также их морфологических параметров. Изучению поведения примесных атомов элементов 3d-переходной группы в кристаллической структуре кремния при диффузионном легировании посвящено достаточно большое количество экспериментальных исследований [1-3]. Однако присутствие различных структурных дефектов во время легирования основной примеси усложняет определение роли каждого из этих дефектов в процессе образования примесных дефектов [4,5]. Поэтому для выявления последовательности формирования примесных скоплений никеля в кремнии необходимы структурные исследования образцов, полученных при различных условиях диффузии.

Исследования морфологии примесных скоплений атомов никеля в кремнии, проводили методом электронно-зондового микроанализа с помощью установки Supergrobe JXA-8800R. Диффузия примесей никеля в кремнии проводилась в электрической печи сопротивления типа СУОЛ-4М при температуре $T=1275\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 2 часов. После диффузионного отжига образцы охлаждались быстрым ($v_{\text{охл}}=250\text{ }^{\circ}\text{C/c}$) и медленным ($v_{\text{охл}}=0,05\text{ }^{\circ}\text{C/c}$) способом.

Полученные результаты исследований с образцами n-Si<Ni> , с быстрым охлаждением $v_{\text{охл}}=250\text{ }^{\circ}\text{C/c}$, после диффузионного отжига показали, что в объеме образцов формируются примесные микровключения, размеры которых достигают до $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ м. Электронно-зондовый анализ данных скоплений показал, что они имеют многослойную структуру, состоящих из различных типов силицидов никеля с иглообразной, дискообразной, линзообразной или сложной многогранной геометрической формой. По объему образцов их плотность, в среднем составляет $\sim 2 \cdot 10^3\text{ мм}^{-3}$.

Микроструктурные анализы образцов n-Si<Ni> , охлажденных со скоростью $v_{\text{охл}}=0,05\text{ }^{\circ}\text{C/c}$ после диффузионного отжига показали, что в их объеме образуются примесные микровключения размером до $\sim 7 \cdot 10^{-6}$ м, которые имеют линзообразную и сферическую форму или многогранную форму близкую к сферической. Подобные микровключения имеют многослойную структуру и их плотность составляет $\sim 5 \cdot 10^2\text{ мм}^{-3}$.

Из полученных экспериментальных результатов установлено, что величина скорости охлаждения образцов n-Si<Ni> после диффузионного отжига существенным образом влияет на структурные параметры, на формы и размеры образующихся примесных скоплений. Как выяснялось, чем меньше значение скорости охлаждения образцов после диффузионного отжига, тем больше вероятность образования относительно крупных скоплений со сферической формой, которые состоят из нескольких слоев силицида никеля.

Комплексные исследования химического состава каждой оболочки, составляющих примесные скопления, позволили выявить соотношение атомов основной примеси и технологических примесей таких как железо, хром, медь и другие в каждой силицидной оболочке. Зависимость концентрации примесных атомов от диаметра трехслойного примесного скопления сферической формы размером $d=2 \cdot 10^{-6}$ м в образцах n-Si<Ni> , приведен на рис. 1. Как видно, процентная доля атомов никеля по объему примесного скопления увеличивается по направлению от поверхности к центру микровключения. В поверхностном слое скопления процентная доля атомов никеля составляет $\sim 40\%$, а на следующем слое скопления это значение уменьшается и составляет $\sim 32\%$. В центральном слое примесного скопления данное значение составляет $\sim 25\%$. Кроме этого, в объеме данного скопления выявлено присутствие атомов технологических примесей, таких как железа и медь, в распределении которых также наблюдается определенная закономерность.

Кроме этого, на рис. 1 приведены графики распределения атомов железа и меди по диаметру этого скопления. В центральной части данного примесного скопления процентная доля атомов Fe составляет $\sim 0,3\%$, а для атомов Cu она составляет $\sim 0,2\%$. В последующем слое скопления для атомов Fe данное значение равняется $\sim 0,25\%$, а для атомов Cu она составляет $\sim 0,15\%$. В поверхностном слое примесного скопления процентная доля атомов Fe и Cu составляют $\sim 0,15\%$ и $\sim 0,08\%$ соответственно.

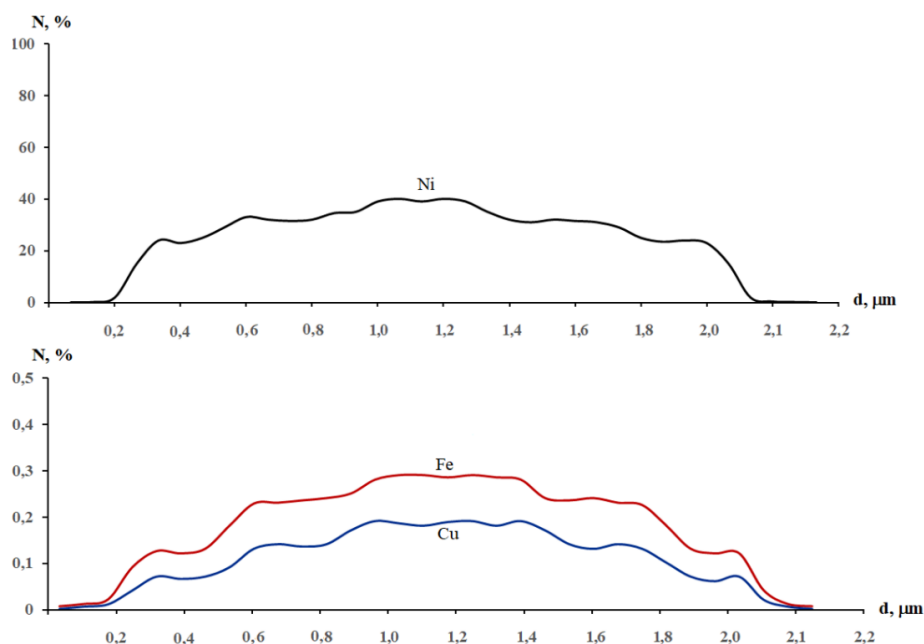


Рис. 1. Распределение примесных атомов Ni, а также атомов технологических примесей Fe и Cu по диаметру скопления, размером $d=2 \cdot 10^{-6}$ м со сферической формой в образцах n-Si<Ni>.

Таким образом, на основе полученных результатов исследований химического состава примесных скоплений никеля в образцах n-Si<Ni>, выявлено, что количество и распределение примесных атомов по объему скоплений зависит от их размера и формы. В объеме многослойных примесных скоплений максимальная доля атомов примесей как основных, так и технологических примесей находится в их центральном слое. Кроме этого, установлено, что величина скорости охлаждения образцов, после диффузионного отжига существенным образом влияет на морфологические параметры образующихся примесных скоплений.

Литература

1. Weber J., Scheffler L., Kolkovski V., Yarykin N. New Results on the Electrical Activity of 3d-Transition Metal Impurities in Silicon // Solid State Phenomena. 2014. Vols. 205-206. P. 245-254.
2. Таланин В.И., Таланин И.Е. Диффузионная модель образования ростовых микродефектов: новый подход к дефектообразованию в кристаллах // ФТТ. 2016. том 58. вып. 3. С. 417-427.
3. Zainabidinov S.Z., Musaev K.N., Turgunov N.A., Turaev A.R. Dopant microassociation mechanisms in Si<Mn> and Si<Ni> // Inorganic Materials. 2012. Vol. 48. Issue 11. pp. 1065-1069.
4. Булярский С.В., Цыганцов А.В. Термодинамика формирования металлических кластеров // Журнал: Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. (Пенза). №1. 2009. С. 139-144.
5. Yoshikawa T, Morita K, Kawanishi S, Tanaka T. Thermodynamics of impurity elements in solid silicon // Journal of Alloys and Compounds. 2010. Volume 490. Issues 1–2. P. 31-41.

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ПРИ СОЗДАНИИ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Ш.Х. Далиев, Ф.А. Сапаров

*НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУЗ им. М. Улугбека,
Узбекистан, 100057, Ташкент, ул. Янги Алмазар, 20*

*e-mail: sfa@inbox.ru

Аннотация. Исследование переходного слоя на границе оксидных структур играет ключевую роль в микро- и нанoeлектронике. В данной работе изучается влияние внешних факторов на свойства переходных слоёв Si-SiO₂ в многослойных структурах металл-диэлектрик-полупроводник. Объектом исследования выбрана структура In-CdO-SiO₂-p-Si-Ag, полученная методом магнетронного распыления на кремниевых подложках КДБ-30 с кристаллографической ориентацией <100>. Анализ структуры позволяет оценить формирование переходного слоя и его влияние на характеристики устройства, что важно для оптимизации технологий создания микроэлектронных компонентов.

Ключевые слова: магнетронный распыление, граница раздела, переходной слой.

Введение

Современные микро- и нанoeлектронные устройства требуют высокой стабильности и воспроизводимости оксидных слоёв на границе раздела полупроводниковых структур. Одним из ключевых факторов, влияющих на свойства таких систем, является переходный слой, формирующийся при взаимодействии полупроводника с диэлектриком.

Целью данной работы является получение структуры полупроводник-диэлектрик с минимальным воздействием внешних факторов, а также исследование характеристик переходного слоя. В качестве объекта исследования выбрана структура p-Si/SiO-CdO, для анализа которой использовалась Раман-спектроскопия. Этот метод позволяет предварительно оценить фазовый состав материала и выявить особенности формирования переходного слоя, что имеет важное значение для оптимизации технологических процессов и улучшения рабочих характеристик полупроводниковых приборов.

Экспериментальная часть

Для формирования оксидного слоя на поверхности кремниевых подложек сначала проводится этап очистки, направленный на устранение металлических примесей и органических загрязнений. Для этого используются кислотные и органические растворители, обеспечивающие высокую степень чистоты поверхности перед последующими технологическими процессами.

Стандартный процесс окисления осуществляется при температуре 1200°C и включает два этапа: 90 минут во влажном кислороде и 30 минут в сухом кислороде. В результате формируется оксидный слой толщиной 0,02 мкм.

Далее на окисленную поверхность методом термического напыления наносится слой алюминия, после чего с помощью фотолитографии формируются контактные площадки размером $1,98 \times 10^{-2}$ см², что позволяет получить Si-SiO₂ структуру.

Однако данный метод сильно зависит от параметров термообработки и предварительных этапов очистки. В данной работе предпринята попытка формирования оксидного слоя методом магнетронного распыления без температурного воздействия, что позволило исследовать процесс формирования интерфейса Si-SiO₂ в более мягких условиях

(рис.1). Использование данного подхода позволило минимизировать влияние внешних факторов и оценить его влияние на характеристики полученной структуры.

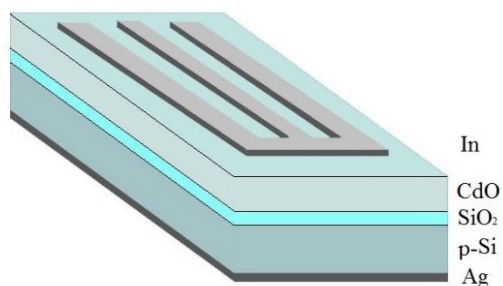


Рисунок 1. Схематическое изображение полученной диодной структуры.

Результаты и обсуждение

Для исследования структурных и фазовых характеристик оксидного слоя применялся метод Раман-спектроскопии. Результат (Рис. 2) выявил характерные пики, соответствующие соединениям Si, SiO₂, Si₂O и CdO. Зарегистрированные спектральные линии указывают на формирование однородного и качественного оксидного слоя, без наличия посторонних примесных соединений.

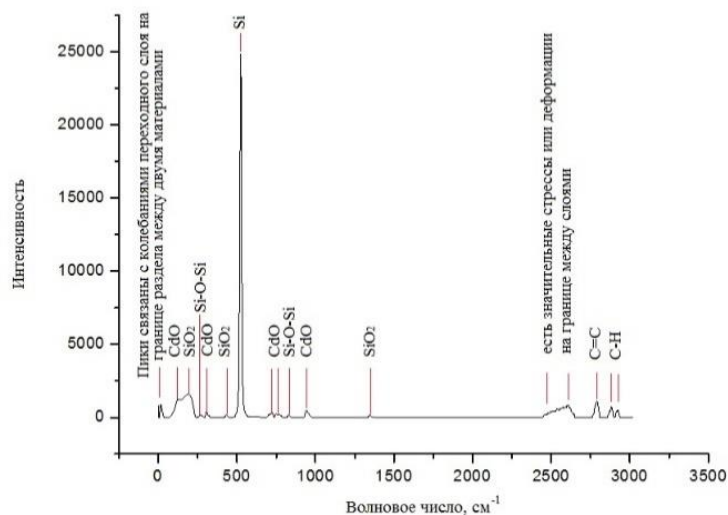


Рисунок 2. Раман-спектр структуры p-Si/SiO₂-CdO. На графике представлены характеристики колебательных мод, соответствующих Si, SiO₂, Si₂O и CdO. Обнаруженные пики, связанные с SiO₂, подтверждают формирование переходного слоя.

На основе полученного спектра была проведена детальная оценка фазового распределения и структурных деформаций в кремниевых образцах. Анализ спектральных пиков позволил выявить ключевые особенности, связанные с межслойными взаимодействиями и механическими напряжениями на границах раздела материалов.

Характерный пик около 520 см⁻¹ подтверждает наличие кристаллической структуры кремния, обусловленной фоновыми колебаниями в его решетке. В диапазоне 100–300 см⁻¹ зарегистрированы сигналы, свидетельствующие о влиянии межслойных взаимодействий, в частности, механических напряжений на интерфейсах Si/SiO₂ и SiO₂/CdO. Эти эффекты

приводят к изменениям фононных частот и могут быть связаны с локальными структурными перестройками на границе раздела слоев.

Особый интерес представляет пик в области $2400\text{--}2600\text{ см}^{-1}$, указывающий на деформационные процессы в кремниевой решетке на интерфейсе Si-SiO₂. Дополнительно, наличие пиков в районе 250 см^{-1} и 800 см^{-1} свидетельствует о формировании квазимолекулярных комплексов типа Si₂O, что объясняет появление структурных дефектов в переходном слое. Подобные эффекты характерны для систем с выраженными межслойными взаимодействиями, изменяющими фононные характеристики структуры.

Кроме того, в диапазоне $0\text{--}100\text{ см}^{-1}$ были зафиксированы низкочастотные колебания, отражающие процессы, происходящие в переходных слоях. В структуре p-Si/SiO₂-CdO такие колебания могут быть связаны с динамическими изменениями межфазных взаимодействий, что приводит к локальным искажениям кристаллической решетки и изменению атомных связей на границе материалов.

Заключение

На основании проведенного анализа методом Раман-спектроскопии можно сделать ряд ключевых выводов о характеристиках структуры p-Si/SiO₂-CdO. Обнаруженные спектральные пики свидетельствуют о четко выраженной границе между слоями, при этом механические напряжения и межфазные взаимодействия оказывают значительное влияние на формирование переходных областей.

Наличие пика на 523 см^{-1} подтверждает сохранение кристаллической структуры кремния, в то время как сигналы в диапазоне $100\text{--}240\text{ см}^{-1}$ и $2400\text{--}2600\text{ см}^{-1}$ указывают на влияние механических напряжений и возможные дефекты кристаллической решетки в области интерфейса Si-SiO₂. Дополнительно, низкочастотные колебания ($0\text{--}100\text{ см}^{-1}$) демонстрируют вклад межфазных взаимодействий, что подтверждает сложность процессов, происходящих в переходных слоях.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии сложных переходных процессов в структуре p-Si/SiO₂-CdO, влияющих на ее механические и оптические свойства. Данные выводы могут быть полезны для дальнейшей оптимизации технологий создания оксидных структур с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Литература

1. Sh. Kh. Daliev, F. A. Saparov and F. Umarov. "Influence of thermal field treatments on the volt-farad characteristics of MDS structures." // SCIENCE AND WORLD International scientific journal № 10 (98) Vol 2 (2021): pp. 8-11.
2. Sh. Kh. Daliev, F. A. Saparov Effect of pressure on the relaxation characteristics of MOS structures // "Yarimo'tkazgichlar va polimerlar fizikasining dolzarb muammolari" mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani Toshkent. 2022. pp.33-35.
3. Sh. Kh. Daliev, F. A. Saparov Influence of the interface on the electrical characteristics of MIS structures // The European science review, №1-2, 2022, pp. 31-35.
4. Sh.Kh. Daliev, and F.A. Saparov, "On the properties of the Si-SiO₂ transition layer in multilayer silicon structures" // East European Journal of Physics, 2023. (4), pp. 206-209.

**STUDY OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF DEFECT FORMATION IN
YTTERBIUM-DOPED SILICON**

Kh.S. Daliev, J.J. Khamdamov, Kh.Y. Utemuratova, M.B. Bekmuratov

*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of
Uzbekistan, 20 Yangi Almazar st., Tashkent, 100057, Uzbekistan*

mans-bek@mail.ru

This study investigates the effect of electron irradiation on defect formation processes in ytterbium-doped silicon. Two methods of silicon doping are examined: melt growth and diffusion. The use of Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) on diode structures enabled the assessment of ytterbium-doped silicon behavior under radiation exposure. Irradiation of samples with electrons at energies of 6 and 13 MeV led to the formation of radiation defects such as A-centers and E-centers. Results showed that doping silicon with ytterbium significantly reduces the concentration of these defects, particularly in samples doped by the diffusion method. The most significant decrease is observed in "oxygen-free" silicon, where the concentration of A-centers and E-centers decreased several-fold compared to the control samples. These results confirm that ytterbium atoms in silicon interact with radiation-induced defects, forming clusters that serve as effective sinks for vacancies, thus slowing down the defect formation process. The study provides new insights into the potential for improving radiation resistance of silicon materials doped with rare-earth elements.

The behavior of materials under irradiation is largely determined by the nature and concentration of impurities interacting with primary radiation defects [1-3]. Of particular interest are studies on the effects of radiation on crystals in which, in addition to the main doping impurity, additional impurities, both electrically active and electrically neutral, have been introduced [4-5]. Doping single-crystal silicon with rare earth elements (REE) increases the stability of its parameters to radiation exposure [6-7]. This effect is attributed to the presence of various REE inclusions in the silicon lattice, which serve as effective sinks for vacancies created by radiation. However, there is no consensus in the literature regarding the electrical activity of REE impurities and their interaction with radiation defects and other impurities in silicon.

The aim of this work is to investigate the effect of electron irradiation on defect formation processes in silicon doped with ytterbium, both during melt growth and by the diffusion method.

The studies were conducted using deep-level transient spectroscopy (DLTS) on diode structures fabricated from control silicon samples and ytterbium-doped silicon samples [8-9]. The concentration of ytterbium atoms in the bulk of single-crystal silicon doped during growth was determined by neutron activation analysis and varied from 10^{15} cm^{-3} to 10^{17} cm^{-3} [10]. The control samples were n-type silicon with different oxygen content: "oxygen-rich" silicon with a concentration of optically active oxygen atoms $N_0^{opt}=4 \cdot 10^{17}-1.2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and "oxygen-lean" silicon with $N_0^{opt} \leq 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

The samples were irradiated using an electron accelerator with electron energies of 6 and 13 MeV. After each irradiation cycle, the resistivity and charge carrier concentration were measured [11-12].

Analysis of the DLTS spectra revealed that the introduction of ytterbium into silicon during melt growth does not lead to the formation of deep levels in the bandgap, despite the high

concentration of ytterbium atoms. In samples doped with ytterbium using the diffusion method, a deep level with an ionization energy of $E_c-0.36$ eV was detected.

After electron irradiation, the formation of A-centers (vacancy-oxygen complexes) with an ionization energy of $E_c=0.17$ eV was observed in the control n-Si samples with high oxygen content. In samples with low oxygen content, both A-centers and E-centers (vacancy-phosphorus complexes) with an ionization energy of $E_c=0.43$ eV were observed.

The presence of ytterbium atoms in silicon significantly reduces the concentration of A- and E-centers compared to the control samples. In samples doped with ytterbium during growth, the concentration of A-centers decreased by 2-3 times, while in samples doped by the diffusion method, it decreased by 5-6 times. In "oxygen-free" silicon with ytterbium impurity, the concentration of A-centers was 2-3 times lower than in "oxygen-containing" silicon, and the concentration of E-centers was an order of magnitude lower.

These effects are explained by the interaction of ytterbium atoms with radiation defects. Rare earth element atoms in silicon can form clusters that serve as sinks for vacancies, slowing down the radiation defect formation process. It is also possible that some ytterbium atoms are in a dispersed state and can serve as centers for defect annihilation.

The presence of ytterbium atoms in silicon significantly reduces the efficiency of radiation defect formation, such as A-centers and E-centers. The magnitude of this reduction depends on the state of ytterbium atoms in the silicon lattice. The observed effects are associated with the specific interactions of ytterbium atoms with defects and impurities like oxygen and carbon, as well as with radiation-induced defects introduced by irradiation.

REFERENCES

1. Vavilov V.S., Ukhin N.A. Radiation effects in semiconductors and semiconductor devices. - M., Atomizdat, 1968, 312 p.
2. Shakhovtsov V.I., Shindich V.L. Radiation effects in solids. Kiev: Naukova Dumka, 1977. pp. 88-102.
3. Physical Processes in Irradiated Semiconductors, Ed. S. Smirnova Novosibirsk: Nauka, 1977. 256 p.
4. Lebedev A.A., Utamuradova Sh.B., Abdurakhmanov K.P., Dailev Kh.S. Study of the effect of γ -irradiation on the properties of n-Si <Mn> using DLTS. Semiconductors, 1985, v.19, n.9, pp.1617-1619.
5. Sh.B. Utamuradova, Kh.S. Dailev, Sh.Kh. Dailev, Sh.B. Norkulov. Formation of radiation defects in silicon doped with vanadium. Science and world, International scientific journal, "Science and World", No. 5 (57), 2018, Vol. I, p. 8-10.
6. Antonenko R.S., Korniyushin S.I., Shakhovtsov V.I. et al. Radiation effects in silicon doped with gadolinium. Physics and technology of semiconductors. St. Petersburg, 1976. n.8 (10). pp. 1583-1586.
7. Karpov Yu.A., Petrov V.V., Prosolovich V.S., Tkachev V.D. Radiation defects in erbium-doped silicon. Physics and technology of semiconductors. St. Petersburg, 1983. n.8 (18). pp.1530-1532.
8. Sh. Utamuradova, S.S. Nasriddinov, Sh. Ismollov. Electrophysical properties of Silicon doped by Nickel impurity using Diffusion method. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8.No. 7, July 2020, pp. 3513-3518.

9. Sh.B. Utamuradova, Sh. Kh. Dailev, Y.R. Ravshanov, K.M. Fayzullaev. Features of the Formation of Impurity-Defective Centers in Silicon Doped with Chromium. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, Vol.8, No.9, 2020, pp. 5506-5509.
10. Sh.Kh. Dailev, Sh.P. Usmanova, A. D. Paluanova. Energy Spectrum of Defective Centers in Silicon Doped with Molybdenum. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (9), September 2020, Volume 8.No. 9, September 2020. pp. 6222 - 6325.
11. Berman L.S., Lebedev A.A. Capacitive spectroscopy of deep centers in semiconductors. L., Nauka, 1981, 170 p.
12. Miller G.L., Lang D.V., Kimerling L.C. Capacitance transient spectroscopy. Ann. Rev. Mater. Sci. 1977, n. 7, pp. 377-448.

STUDY OF THE CAPACITANCE DEPENDENCE ON TIME USING THE ADOPTED MODEL OF THE METAL-GLASS-SEMICONDUCTOR STRUCTURE.

O. O.Mamatkarimov, M. O. Turgunov

Namangan Institute of Engineering and Technology

bmphddsc1991@gmail.com

Using the adopted model of MDS structures, the measured capacitance dependence on time (excluding the effect of the inversion layer charge) takes the following form.

$$C(t) = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 K C_D}{\varepsilon \varepsilon_0 K + X(t) C_D} \quad (1)$$

Here, K is the control electrode area, C_D is the capacitance of the dielectric layer, ε_s is the dielectric constant of the semiconductor, and ε_0 is the permittivity of free space. The value of C_D is determined from the high-frequency capacitance-voltage characteristics, while $C(t)$ can be determined at each time t from the experimentally obtained relaxation characteristics of the MDS structure.

Description of the Experimental Setup

For measuring the relaxation and high-frequency capacitance-voltage characteristics of Metal-Dielectric-Semiconductor (MDS) structures, we used an improved version of the experimental setup similar to the one described earlier. The block diagram of this setup is presented in Figure 1. The full conductivity bridge consists of two transformers, with the core component of the setup being the transformer bridge (1).

The secondary winding of the voltage transformer is connected in such a way that when the measured and reference impedances are complexly equal, the currents passing through the primary winding of the current transformer mutually compensate for the alternating voltage supplied by the G generator. The degree of compensation is registered using a null indicator. (See Figure 2).

This bridge is designed based on the balanced full-conductivity bridge circuit. One arm of the bridge includes a reference variable resistor and capacitor (R1 and C1), while the other arm contains the Metal-Glass-Semiconductor (MGS) structure (2) placed inside a thermostat (3). A resistor and capacitor (R2 and C2) are connected in parallel with the structure to establish the initial balance of the bridge.

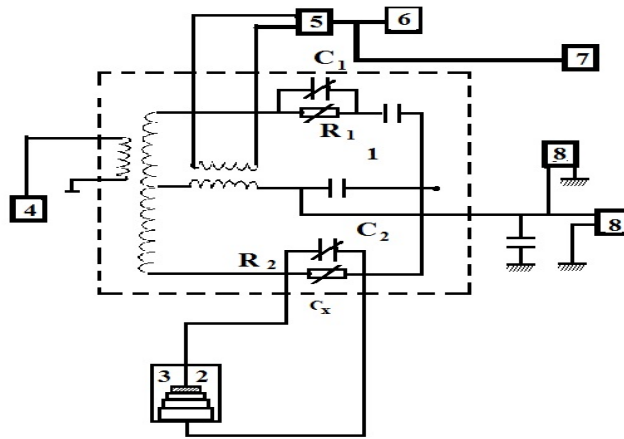


Figure 1. Block Diagram of the High-Frequency C-V Characteristic Measurement

1. Transformer 2.MDS Structure 3.Thermostat 4. HF Generator 5. Amplifier 6. Oscilloscope 7.Integrating Amplifier 8.Voltage Source

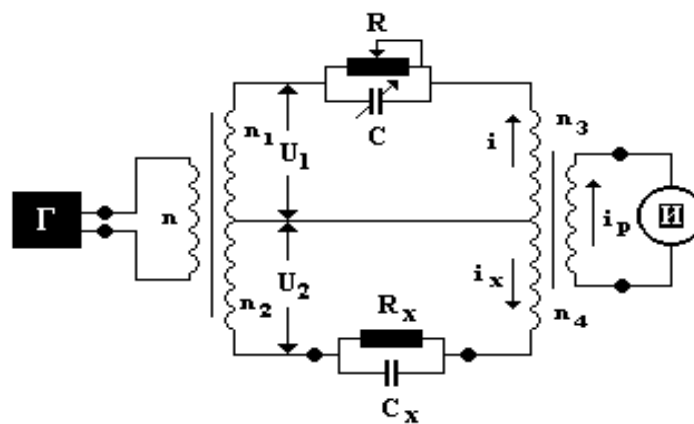


Figure 2. Measurement Bridge Circuit Diagram

A high-frequency generator **GCH-106 (4)** is connected to the supply diagonal of the bridge. A resonance amplifier **(5) (V2-6)** is connected to the measuring diagonal of the bridge. The amplified signal is sent to a null indicator, which is an oscilloscope **S1-68 (6)**. An integrating amplifier **(7)** is connected in parallel to the oscilloscope, functioning as a detector for further signal processing. A DC bias voltage is applied to the structure from a power source **(8)**. The bridge is balanced both in terms of capacitance and resistance components, allowing for precise capacitance-voltage (C-V) measurements point by point. To study the temperature dependence of the capacitance and conductivity of the MGS structure, a previously described thermostat and temperature stabilization system are used. The sensitivity of this system is about **0.1 pF**, which is sufficient for obtaining the C-V characteristics of MGS structures. To analyze the dependence of capacitance relaxation on temperature, the investigated MDS structure is placed inside a cryostat, as shown in **Figure 3**.

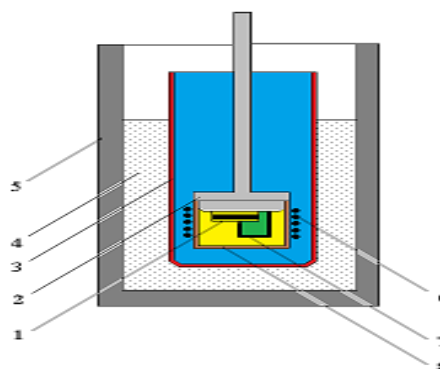


Figure 3. Cryostat Construction.

Here: 1 - Investigated Metal-Glass-Semiconductor (MGS) structure 2-3 - Quartz container
4 - Liquid nitrogen 5 - Foam insulation 6 - Heater coil 7 - Phosphor bronze clamp contact 8 -
Light-proof chamber

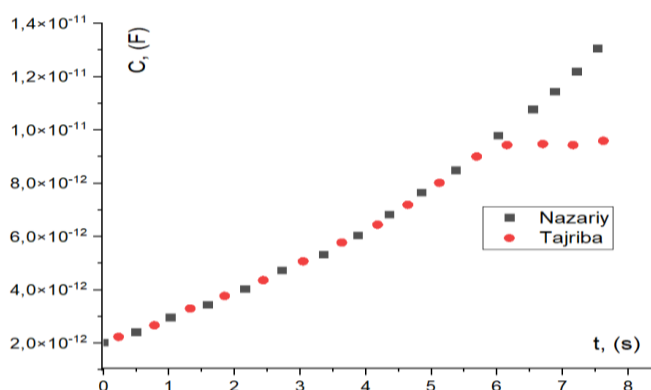


Figure 4. Capacitance Relaxation of the Investigated Structures:
1 - Experimental dependence 2 - Theoretical dependence

In Figure 4, the experimental $C(t)$ (1) and theoretical $C(t)$ (2) dependencies obtained at a frequency of 150 kHz and a temperature of -150°C are presented for one of the test samples: Al – n – Si – SiO_2 – Al. The results were recorded after the applied voltage was switched from U_1 to U_2 . The volumetric (A) and surface (S) generation rates were determined using the optimal selection method based on relations (2.34) and (2.35): $A = 9 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}\text{cm}^{-3}$, $S = 4 \times 10^9 \text{ s}^{-1}\text{cm}^{-3}$. At these A and S values, the capacitance relaxation dependence closely matches the experimental data. The deviation of the calculated dependence from the experimental results at the end of the relaxation process is associated with the influence of the increasing inversion layer charge and the rising probability of re-capturing the generated charge carriers.

REFERENCES

1. J. N. Reddy, *Theory and analysis of elastic plates and shells* (CRC Press, Boca Raton 1999).
2. S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of plates and shells 2* (McGraw-hill, New York 1959).
3. A. R. Rzhanitsyn, *Construction Mechanics* (Higher School, Moscow, 1982), p. 200.
1. J. N. Reddy, *Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis* (CRC Press, Boca Raton, 2004).
4. A. V. Sachenkov, *Theoretical and experimental method for studying the stability of plates and shells Collection:*

2. *Studies on the theory of plates and shells* 6-7 (Kazan Publishing House, University, 1970).
5. A. V. Sachenkov and A. K. Shalabanov, *Investigation of free vibrations of sector plates and conical panels by the theoretical and experimental method* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 9 (Kazan Publishing House, University, 1972).
6. A. V. Sachenkov and Yu. P. Artyukhin, *Experimental solution of problems on free oscillations and stability of plates and flat shells* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 6-7 (Kazan Publishing House, University, 1970).
7. A. D. Kovalenko, Ya. M. Grigorenko and A. A. Ilyin, *Theory of thin conical shells and its applications in mechanical engineering* (Naukova Dumka, Kiev, 1963), p. 287.
8. R. L. Taylor and S. Govindjee, [Commun Numer Methods Eng](#) **20(10)**, 757-765 (2004).

BIR QATLAMLI MOS₂ ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIGINING KUCHLANISHGA BOG‘LIQLIGI

M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, A. Mahmudov
Namangan muhandislik-qurilish instituti

Ikki o‘lchovli (2D) materiallar – bu yangi turdagi materiallar bo‘lib, nanoelektronika, datchiklar va fotonika sohalarida qiziqarli fizik xususiyatlarga ega bo‘lishi va qo‘llanilishi mumkinligi bilan ajralib turadi. Grafendan tashqari, boshqa qatlamli materiallarning monoqatlamlari, masalan, yarimo‘tkazuvchi dixalkogenidlar – MoS₂ yoki WSe₂, maydoniy tranzistorlar uchun istiqbolli materiallari sifatida tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda [1].

Haroratning yuqori qiymatlarida, tizimning elektr o‘tkazuvchanligini hisoblash mumkin. Elektr o‘tkazuvchanlik quyidagi ifoda bilan ifodalanadi:

$$G = G_0(T)e^{\frac{-E}{kT}} \quad (1)$$

Bu ifoda haroratning ortishi bilan zaryad tashuvchilar energiyasining ortishi va elektr o‘tkazuvchanlikning eksponensial ortishini tasvirlaydi. (1) formula elektr o‘tkazuvchanlikni har qanday parametrlar bilan bog‘lab, tizimni tasvirlash uchun qo‘llaniladi.

Bu yerda, $G(T)$ -haroratga bog‘liq bo‘lgan elektr o‘tkazuvchanlik, $G_0(T)$ -namuna egri chizig‘idan olingan haroratga bog‘liq parameter, E -faollashtiruvchi energiya bo‘lib, zaryad tashuvchilarni o‘tkazuvchanlik tarmog‘iga kiritish uchun kerak bo‘lgan energiya bo‘lib, u issiqlik energiyasi yoki tashqi maydon ta’siri bilan ta’minlanishi mumkin:

$$E = E_g - E_F$$

Bu yerda, E_g -MoS₂ ning taqiqlangan zona kengligi, E_F -Fermi darajasi (elektronlarning energiya taqsimoti o‘rtacha qiymati), k - Bolsman doimiysi, T -temperatura.

Agar biz elektr maydon ta’sirida aktivatsiya energiyasini tahlil qilsak, tashqi kuchlanish U ning ta’siri quyidagicha namoyon bo‘ladi:

$$E_{\text{eff}} = E - eU$$

Bu shuni anglatadiki, agar tashqi elektr maydon kuchli bo‘lsa, u holda aktivatsiya energiyasi pasayadi, lekin har doim ham $E = eU$ emas. Agar elektr maydon yetarlicha katta bo‘lsa, elektronlar

aktivatsiya energiyasiz ham harakatlana boshlaydi, bu esa tunnel effektini holatini keltirib chiqarishi mumkin.

Agar materialdagi elektronlar issiqlik orqali o'tkazuvchanlikka o'tishdan ko'ra, faqat tashqi elektr maydon ta'sirida harakatlansa, u holda quyidagi shart bajarilishi mumkin:

$$eU \geq E$$

Bu shart, asosan, maydoniy tranzistorlar yoki tunnel effektida kuzatilishi mumkin. Masalan, tashqi kuchlanish yuqori bo'lsa, elektronlar barrierdan sakrab o'tadi, agar elektronlar Schottky barrier orqali chiqayotgan bo'lsa, bu energiya issiqlik va elektr maydon kombinatsiyasi orqali beriladi.

Agar MoS₂ kanal tranzistor sifatida ishlatilayotgan bo'lsa, kuchlanish U aktivatsiya energiyasini pasaytirishi mumkin, ammo ular bevosita teng bo'lishi faqat muayyan sharoitlarda kuzatiladi.

Ushbu formula Bolsman taqsimoti bilan bog'liq bo'ladi. Har ikkala yondashuv ham energiya va temperatura o'rtasidagi bog'lanishni tushuntiradi. Bolsman taqsimoti, odatda tizimdagi zaryad tashuvchilarning (masalan, elektronlarning) energiyasi va temperaturasi o'rtasidagi bog'lanishni tavsiflaydi. Bu taqsimotga ko'ra, har bir energiya holatining ehtimoli quyidagi tarzda yoziladi.

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E}{kT}} + 1}$$

Ushbu formula elektronning Fermi-Dirak taqsimoti uchun to'g'ri, lekin klassik (Bolsman) taqsimoti uchun ehtimol, uning klassik yechimi

$$f(\varepsilon) = \exp\left(\frac{-E}{kT}\right)$$

Bu holatda, har bir energetik holatning ehtimoli eksponensial tarzda kamayadi, chunki energiya E ortgan sari ehtimoliy kamayib boradi.

$$K = A \cdot e^{\frac{-E}{kT}}$$

Bu yerda, k -reaksiya tezligi konstantasi,

MoS₂ qattiq jism materi uchun bu tenglama odatda diffuziya jarayonlarini yoki fazaviy o'tishlarni tavsiflashda ishlatiladi

$$G = G_0(T)e^{\frac{-E}{kT}}$$

Bu tenglama, o'zgaruvchan haroratda, energiya harorat (T) ga qarab tizimning o'zgarishini ko'rsatadi.

$T \leq 350$ K haroratda biz G ning o'zgarishi deyarli barcha kuchlanish (U) qiymatlari uchun zaiflashishini kuzatamiz. Buni past haroratlarda [3] dominant bo'lib, tizimni yuqori rejimga olib o'tadi.

Adabiyotlar

1. Radisavljevic, B., & Kis, A. (2013). Mobility engineering and a metal-insulator transition in monolayer MoS₂. Nature Materials, 12(9), 815–820. doi:10.1038/nmat3687 (https://doi.org/10.1038/nmat3687) (2018)

2. H. Xie, G. Miao, G. Liu, and F. Shan, Appl. Phys. Lett. 124(23), 233301 (2024).<https://doi.org/10.1063/5.0212754>
3. Ghatak, S., Pal, AN & Ghosh, A. Atom jihatdan nozik MoS₂ dala effektli tranzistorlardagi elektron holatlarning tabiati. ACS Nano. 5 , 7707–7712 (2011).

СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПДП СТРУКТУРЫ pCdTe/ZAO

**С.А. Музафарова, А.С. Ачилов, А.С. Есбергенова, Н.А. Ахмедова,
У.М.Юлдашев, К. Джумамуратов, О.Ш. Норкулов, З.С. Кенжаева, Н.О.Одилова**

*Институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном
Университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека
100057, Узбекистан, город Ташкент, улица Янги Олмазор, дом 20*

Исследования многими авторами последних лет, экспериментально показали, что в гетерогенной системе ряд структур металл - полупроводник образуется промежуточный слой [1-2], который значительной степени может повлиять на выходные параметры структуры. При этом атомная и электронная структура металла существенно влияет на физико-химические процессы, протекающие на границе раздела: металл - полупроводник. Так как, взаимодействие между металлом и полупроводником определяется не только от типа химической связи полупроводника, но значительной степени определяется структурно - морфологическими характеристиками тонкого металлического слоя.

проводящий слой ZAO(ZNO:3%Al) был получен магнетронной системой ионного Прозрачный распыления (МСИР) [1]. При этом большая часть энергии электронов используется на ионизацию и возбуждение, что значительно увеличивает эффективность процесса ионизации и приводит к возрастанию концентрации положительных ионов у поверхности ионной бомбардировки мишени и к значительному росту скорости распыления. Для напыления слоя ZAO в качестве мишени использовали керамический источник из сплава (ZNO:3%Al. Рабочим газом служил аргон и кислород.

Удельное сопротивление пленок(ZNO:3%Al)- ZAO также имеет почти наименьшее значение удельного сопротивления, равное $2 \cdot 10^{-4}$ Ом. См. Дальнейшее увлечение концентрации кислорода в рабочем объеме приводит к уменьшению коэффициента пропускания, подвижности, и удельное сопротивление пленок возрастает.

При магнетронном распылении давления рабочего газа составила $(1,33 - 2,6) \cdot 10^{-1}$ Па, оптимальное расстояние “мишень-подложка” при нанесении слоев равно $d = 60$ мм. При этом скорость осаждения была равна $40 \text{ А} / \text{сек.}$, мощность разряда - $4 \text{ Вт} / \text{см}^2$.

Исследования показывают, что в процессе синтеза крупноблочных поликристаллических пленок CdTe газотранспортным методом из-за реиспарения легколетучего компонента Cd образуются свободные атомы теллура Te, которые, взаимодействуя с остаточным кислородом в реакторе, образуют тонкие высокоомные слои TeO₂. Слои TeO₂ пассивируют поверхностные состояния в межзерновых границах [3], что

приводит к снижению поверхностной рекомбинации и значительному росту времени жизни неравновесных носителей заряда до нескольких десятков микросекунд [4].

С целью выяснения реального строения ПДП структуры рCdTe/n ZAO проводился рентгеноструктурный фазовый анализ на установке ДРОН – 2 (Cu – излучение, Ni - фильтр). Информационная глубина в данном случае составляет 1- 2 мкм, следовательно, в зону исследования падает поверхностный слой окисла, частично пленок CdTe и прослойка между ними.

Для изучения строения границы Mo – CdTe пленку теллурида кадмия отделяли от молибденовой подложки и изучали отдельно поверхность пленки, прилегающей к подложке и подложки, прилегающей к пленке. Чувствительность метода рентгенографического анализа составляла ~ 5 %.

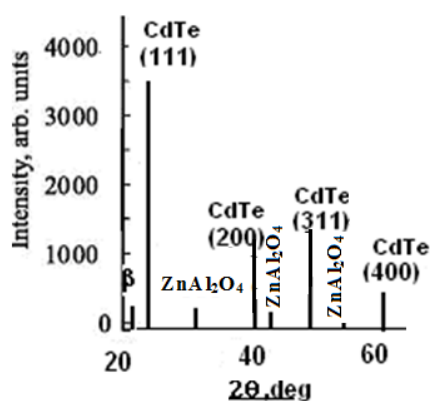
Исследована, что исходная молибденовая подложка не содержит на своей поверхности оксидов. Оксид молибдена (MoO_2) появляется в процессе синтеза, в результате контакта нагретой молибденовой подложки остаточным кислородом в системе.

Вследствие взаимодействия молибдена с теллуридом и оксида молибдена, а также соединениями ZAO с оксидом теллура -дихалькогениды образующимся вследствие контакта компоненты, в потоке пара диссоциирующего при испарении теллурида кадмия с остаточным кислородом.

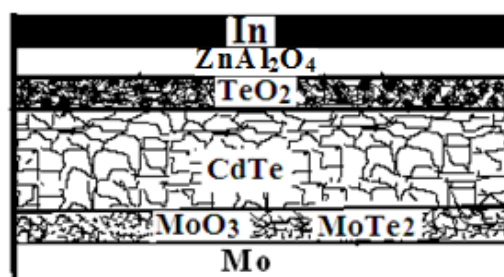
На границе срастания пленки теллурида кадмия с подложкой имеется прослойка содержащая компоненты как и в работе [2], MoO_2 , MoTe_2 , что рост пленки начинается с осаждения более тугоплавкой компоненты [2]. Пленки теллурида кадмия состоит из участков кубического типа сфалерита модификаций и поверхность крупноблочных пленок теллурида кадмия рCdTe обладают столбчатую структуру зерен. Тыльным контактом служил молибденовая Mo подложка особой чистоты. Пленки рCdTe имели удельное сопротивление $\rho \approx 10^5\text{--}10^7 \Omega\cdot\text{cm}$ и время жизни неосновных носителей порядка $\tau=10^{-7}\text{--}10^{-6}$ с. Толщина пленок рCdTe составляла ~ 30 μm . Размеры зерен поликристаллического рCdTe находятся в пределах от 100 до 150 μm , зерна охватывают всю толщину пленки.

В вакуумной установке ВУП — 5 М наносились тонкие пленки ZAO методом магнетронного ионного распыления на постоянном токе при температуре подложки 300 °C . Толщина ZAO составляла 120÷ 150 нм Методом термического вакуумного испарения осаждались III образный верхний омический контакт из чистого индия In толщиной 50 нм.

Для выяснения реального строения рCdTe/nZAO проводились рентгеноструктурный фазовый анализ на установке рентгеновского дифрактометра модели Empyrean, производитель Malvern Panalytical (Нидерланды) Cu- излучение, Ni-фильтр) , информационная глубина которого составляет 300nm. Чувствительность метода рентгенофазного анализа составляла ~5%. Химическая формула слоёв кристаллографические параметры слоёв ZnAl_2O_4 Кристаллическая система плёнок кубическая,пространственная группаFd-3m ,номер пространственной группы 227 а (Å):7.9704, b (Å) 7.9704, c (Å) 7.9704.



На рентгенограмме видно, что пленки CdTe синтезируются в кристаллографических направлениях (111), (220), (311), (400). Аналогичные Данные рентгенограммы были получены также авторами других работ, в которых пленка выращивалась методами электроосаждения, лазерного осаждения из паровой фазы, сублимации в замкнутом объеме. Рефлексы с индексами (111) на рентгенограмме стабильны и интенсивны. Это означает, что энергия плоскостности ориентирует структуру пленок CdTe как сфалерит. Наличие других пиков с рефлексами (220), (311) и (400) свидетельствует о том, что пленка CdTe имеет кубическую гранецентрированную решетку с координационным числом 12. Результаты индексирования и сравнения отпечатков пальцев с набором эталонных рентгенограмм ASTM показывают, что выращенные пленки CdTe имеют кубическую модификацию и являются однородными. Это также подтверждает рассчитанные индексы Миллера: 6,486 М, 6,485 М и 6,487 М по формуле $N=h^2+k^2+l^2$ для трех крупных пиков на рентгенограмме, которые хорошо соответствуют значению постоянной решетки $a=6,482\text{М}$ кубического теллурида кадмия. Относительная погрешность расчета индексов Миллера составляет 0,062; 0,077 и 0,093% для указанных пиков на рентгенограмме. Исследования рентгеновского фазового анализа показывают реальное строение структуры pCdTe/nZAO, которая имеет следующую последовательность (Рис.2): Mo + MoO₃ + MoTe₂+CdTe +TeO₂+ ZAO + In



**Рис.2. Схема реального строения структуры pCdTe/nZAO
Mo + MoO₃ + MoTe₂+CdTe +TeO₂+ ZAO + In**

Проведенный рентгенофазный анализ и исследование спектрального распределения фоточувствительности структуры полученных pCdTe/nZAO показали, что в структуре образуется промежуточные слои между металлической подложкой и молибденом Mo - CdTe в основном, полупроводниковый оксид MoO₃ и MoTe₂. Также на границе раздела pCdTe и n ZAO имеются диэлектрическое соединение из оксида теллура - TeO₂. Показано, что базовый материал преимущественно состоит из CdTe кубической модификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sh. B. Utamuradova, S.A Muzafarova, Z.S Kenzhaeva. Study of surface states of In- nITO - pCdTe structures based on large-block polycrystalline films pCdTe IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP) Volume 14, Issue 1, and Ser. I (Jan–Feb. 2022), pp. 51-56.
2. Sh. B. Utamuradova, S.A Muzafarova, A.S Achilov . Electrical and Optical Properties of Thin-Film Wide-Gap Metal Oxides $\text{SnO}_2, \text{In}_2\text{O}_3$, ITO , CdO , MoO_3 / INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH AND ANALYSIS ISSN(print): 2643-9840, ISSN: 2643-9875 , Volume 07 ,ssue 04 .April ,2024 , DOI: 10.47191/ijmra/v7-i04-21, Impact Factor: 8.22 Page No. 1612-1615.
3. Б.Ф. Ормонт., Введение в физ.химию и кристаллохимию полупроводников. М., Высшая школа ,1968. - 203 с.
4. Кристаллохимические и физические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. Издательство стандартов. Москва, 1973, 102с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ В МЕДИЦИНЕ

А.М.Касимахунова¹, Р.А.Нурдинова¹

¹*Ферганский государственный технический университет*

Известно, что термоэлектрические устройства основаны на эффекте Зеебека, который позволяет преобразовывать разницу температур в электрическое напряжение. В настоящее время термогенераторы нашли широкое применение в различных сферах народного хозяйства, вплоть от сельского хозяйства до приборов для космических исследований. В медицине такие устройства становятся востребованными благодаря возможности создавать автономные источники питания для определенных микросистем [1-3]. В том числе они применяются для приборов с различными функциональными задачами:

1. Питание имплантируемых устройств. Термогенераторы способны обеспечивать энергию для работы кардиостимуляторов, слуховых имплантов и других устройств, снижая зависимость от батарей и увеличивая срок службы систем.

2. Мониторинг физиологических параметров. Полупроводниковые термогенераторы используются для создания сенсоров, измеряющих температуру тела, что особенно важно для пациентов в реанимации и послеоперационный период.

3. Регенеративная медицина.

Учитывая актуальности применения термогенераторов в медицине перед учёными, ставится разработка термогенераторов с уникальными свойствами и параметрами, которые сделают их примитивными с учётом минимизации и интеграции с определенными медицинскими приборами и устройствами. В этом плане полупроводниковые материалы играют ключевую роль в эффективности работы термогенераторов, определяя их термоэлектрические параметры, такие как коэффициент Зеебека, теплопроводность и электрическая проводимость [4].

Полупроводники, используемые для медицинских термогенераторов, можно представить в следующем виде:

1. Теллурид висмута Bi_2Te_3 . Этот материал является наиболее изученным и широко используемым в термоэлектрических устройствах благодаря его высокому ZT при комнатной температуре. В медицине Bi_2Te_3 , применяется для создания миниатюрных термогенераторов, работающих на основе разницы температур между телом пациента и окружающей средой.

2. Наноструктурированные материалы. Использование наночастиц, квантовых точек и многослойных структур позволяет значительно улучшить термоэлектрические характеристики полупроводников. Например, добавление наноструктур в Bi_2Te_3 снижает теплопроводность за счёт рассеяния фононов.

3. Органические полупроводники. Такие материалы, как полианилин и политиофен, обладают биосовместимостью, что делает их перспективными для медицинских приложений. Их основное преимущество - гибкость и возможность интеграции с мягкими тканями организма.

Анализируя работы [1-6], можно определить преимущества и недостатки использования полупроводников в медицине:

Преимуществами является возможность миниатюризации, автономная работа, отсутствие необходимости в химическом топливе и их долговечность работы.

К недостаткам относятся высокая стоимость производства, токсичность некоторых материалов (например, теллура и висмута);

Разработка гибких термоэлектрических плёнок открывает новые возможности для применения устройств в тканевой инженерии.

Ещё одним из параметров для выбора материалов для термогенераторов является электродвижущая сила (ЭДС) термопар. ЭДС термопар обычно имеет очень малые значения, достигая долей вольта, порой сотых или даже стотысячных. Однако путем последовательного соединения множества термопар можно получить достаточное количество электрической энергии для питания определенных устройств.

Стоит отметить, что у многих термопар ЭДС изменяется неравномерно при нагреве. Некоторые термопары демонстрируют резкий рост ЭДС при первых этапах нагрева, затем его замедление, а позже падение до нуля с последующей сменой знака. Примером может служить термопара, изготовленная из меди и железа. При нагреве спая до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ЭДС достигает $0,00113\text{ В}$, и ток направляется от меди к железу. При $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ЭДС увеличивается до $0,00171\text{ В}$, но при температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдается падение до $0,00120\text{ В}$. При дальнейшем нагреве до $541\text{ }^{\circ}\text{C}$ ЭДС исчезает, а затем возникает вновь с обратным направлением тока — от железа к меди.

Для создания эффективных термопар предпочтительно подбирать такие материалы, у которых не наблюдается замедления роста ЭДС или смены полярности с увеличением температуры. Кроме того, важно выбирать материалы с минимальным электрическим сопротивлением, поскольку это позволяет получить больший ток при одинаковой ЭДС.

На рис.1 приведено графическое изображение термоэлектрической способности полупроводниковых материалов.

Для научных целей термопары могут быть изготовлены из дорогостоящих материалов, таких как платина, в то время как в промышленности и технических приложениях предпочтение отдается более доступным вариантам. Например, используются железо, медь для часто используемой сплава константана (сплав 60% меди и

40% никеля), хромель (90% никеля и 10% хрома), алюмель (95% никеля и 5% алюминия), нихром (80% никеля и 20% хрома) и другие.

Наиболее распространенные комбинации материалов включают медь и константан, железо и константан, нихром и железо, хромель и алюмель. При температурах выше 1000 °С применяются термопары из платины и ее сплавов, вольфрама, молибдена и графита. Для низкотемпературных приложений (до 300 °С) могут использоваться сплавы висмута, сурьмы и цинка.

Для медицинских целей разрабатываются специализированные низкотемпературные сплавы и биосовместимые материалы.

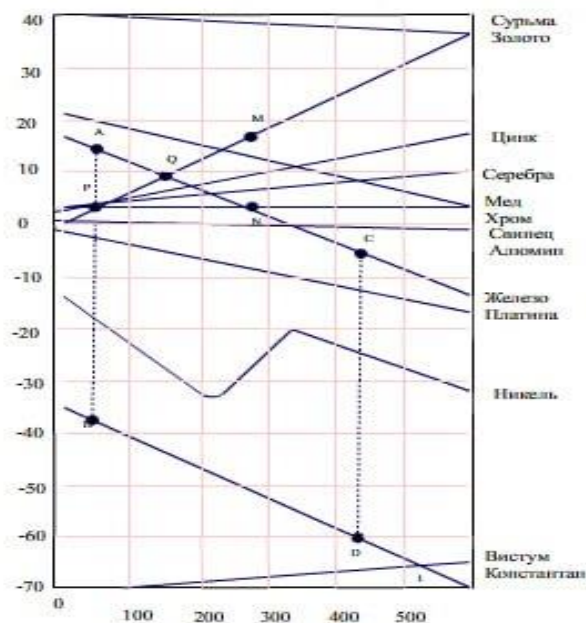


Рис. 1. Термоэлектрические способности полупроводниковых материалов

По результатам исследования можно сделать следующий вывод. Полупроводники играют ключевую роль в создании термогенераторов для медицины, обеспечивая высокую эффективность преобразования энергии и расширяя возможности автономных медицинских устройств и это является достижением в области термоэлектрического полупроводникового приборостроения. В том числе проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований даёт возможность разработки и создания конструкций приборов для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма.

Литература

1. М.А. Хазамова. Разработка термоэлектрических полупроводниковых устройств для применения в медицинской практике // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47 (2):18-29. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47, стр.18-29
2. A.M.Kasimaxunova, Maxsudjon Norbutaev, Madinaxon Baratova // Thermoelectric Generator For Rural Conditions, Scientific progress. 2021. №6., PP 302-308
3. Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Компоненты и технологии. 2009. №12.

4. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии. – Киев // Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003.
5. Епифанов В. А. Восстановительная медицина: М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. 304 с.
6. Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Рагимова Т.А. Исследование термоэлектрического устройства для термопунктуры // Термоэлектричество. 2017. № 1. с. 33-40.

MICROSCOPIC ANALYSIS OF EUROPIUM-DOPED MONOCRYSTALLINE SILICON

G.H. Mavlonov, Y.A. Abduganiev, Sh. B. Bekturaeva

At present, many scientists and specialists are studying the magnetic properties of silicon doped with elements belonging to the lanthanides group, and significant achievements have been made in this field. Based on these studies, the possibility of developing modern magnetic field sensors and magneto electronic devices has been demonstrated [1-3]. Interest in obtaining silicon doped with elements from the lanthanides group is associated not only with the development of diffusion-based doping technology but also with studying the fundamental physical parameters of the obtained materials. A review of the literature reveals that silicon samples doped with impurity atoms of lanthanides elements exhibit ferromagnetic properties within certain temperature ranges. This phenomenon, in turn, is explained by the interaction of impurity atoms with magnetic.

To carry out diffusion doping, europium chloride from a 10% solution in water was applied to the surface of an initial sample of single-crystal n-type silicon with a resistivity of $\rho = 80 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$ and a size of $8\times4\times0.9 \text{ mm}^3$. Diffusion annealing was carried out in a tubular electric furnace in the open air or in evacuated ($P=10^{-5}\text{-}10^{-6} \text{ mm Hg}$) quartz ampoules in the temperature range $T=1200\div1350^\circ\text{C}$ for $t=15 \text{ h}$. The temperature during diffusion was additionally controlled using a platinum-rhodium thermocouple, which was located directly next to the quartz ampoules. After diffusion, the ampoules were cooled slowly in air.

The measurements were carried out using a LEO-1430 SEM setup. Energy dispersive analysis shows that the silicon surface is indeed enriched with europium atoms, although the diffusion time was quite long (Fig. 1). Elemental analysis of silicon samples doped with europium at various points shows that europium atoms by weight make up 29.02% (Fig.2).

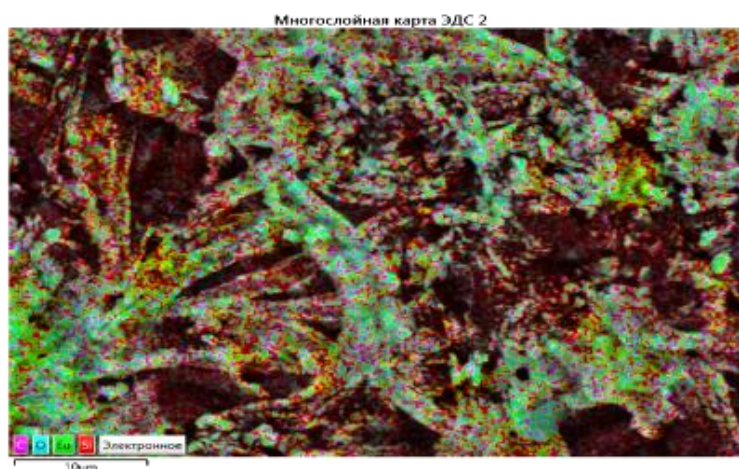


Fig. 1. Energy dispersive analysis of the silicon surface doped with impurity europium atoms.

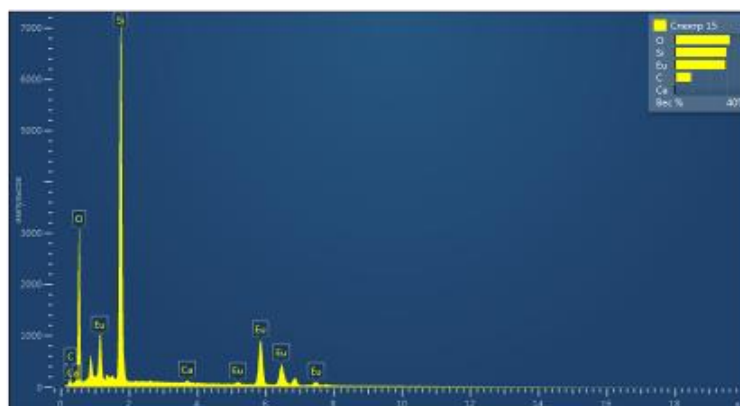


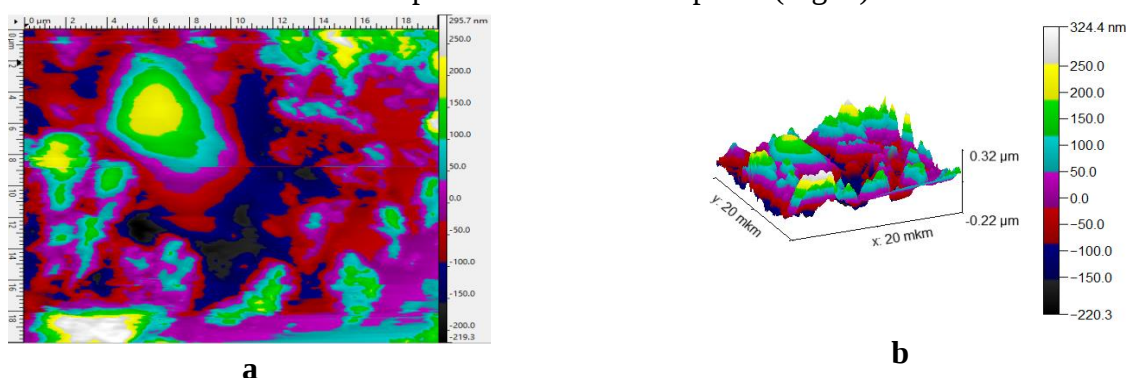
Fig. 2. Morphology of the surface of a silicon sample diffusively doped with europium.

Table 1. Elemental composition of silicon doped with impurities europium atoms.

Element	Line type	Weight. %	Sigma. %
C	K series	9,50	0,55
O	K series	31,67	0,36
Si	K series	29,63	0,28
Ca	K series	0,18	0,05
Eu	L series	29,02	0,35
Sum:		100,00	

Table 1 shows the percentage content of various elements in silicon samples doped with europium atoms (obtained on a LEO-1430 SEM).

The atomic force microscopy (AFM) was used to study the atomic structure of the surface of silicon samples doped with europium impurity atoms [4,5]. AFM provides information and images about the position of atoms on the surface of a material, and AFM allows the measurement of conductive surface potential, electric field, and magnetic domains. This method provides information about the number of atoms present in the formed peaks (Fig. 3).



**Fig. 3. AFM Images of the Surface Condition of Si Samples
(a)Morphology of the sample surface (b) 3D representation of the sample surface**

In the AFM image, the number of atoms in the nanocluster corresponding to the observed peak in the 12.5 μm spectrum on the silicon surface was found to be 1.6×10^4 .

References

1. V.V. Ageev, N.S. Aksenova, V.N. Kokovina, E.P. Troshina. Application of elements of the third group of the Periodic Table D.I. Mendeleev in silicon planar technology // Izv. LETI, 211, 80 (1977).
2. N.I. Solin, L.N. Romashev, S.V. Naumov, A.A. Saranin, A.V. Zotov, D.A. Olyanich, V.G. Kotlyar, O.A. Utas. Magnetoresistive properties of nanostructured magnetic metals, manganites and magnetic semiconductors // Technological Physics. 2016. T. 86. Issue. 2. pp. 78–84
3. B.I. Boltaks, M.K. Bahadirkhanov, G.S. Kulikov. Diffusion, electrical transfer and solubility of manganese impurities in silicon // Physics and Technology. 1972. T. 14. Issue. 6. S. 1671–1675.
4. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Российская академия наук, Институт физики микроструктур г. Нижний Новгород, 2004 г. 1- 110 с.
5. G H Mavlonov, S B Isamov, S V Koveshnikov, Kh F Zikrillaev, Y A Abduganiev, A A Sattorov and A B Ibrohimov. Ordering of europium magnetic domains in silicon at room temperature// Indian Journal of Physics. 2024. Volume 98, Issue 13. pp.1-7.
6. N.F. Zikrillaev, G.H. Mavlonov, L. Trabzon, S.B. Isamov, Y.A. Abduganiev, Sh.N. Ibodullaev, G.A. Kushiev. Magnetic Properties of Silicon Doped with Impurity Atoms of Europium//Journal of Nano- and Electronic Physics. 2023. Vol. 15 No 6, 06001(4pp).

ITTIRIY BILAN LEGIRLANGAN KREMNIYDAGI TUZULMAVIY O‘ZGARISHLAR

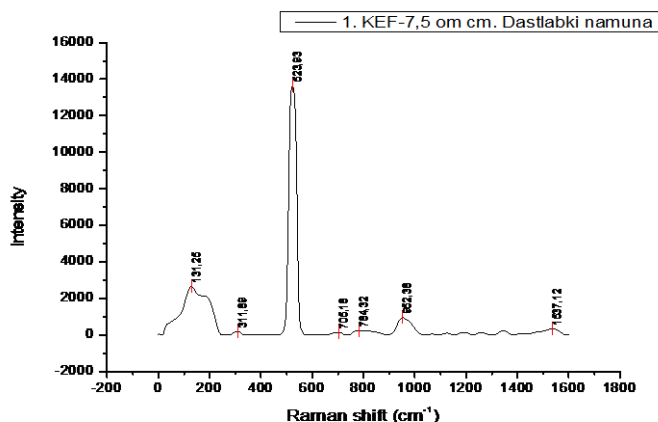
X.S.Daliyev, I.X.Xamidjonov, Y.Z. Mardiyev

*O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika
instituti, Toshkent, O‘zbekiston*

So‘nggi yillarda yarimo‘tkazgich va optoelektronikaning asosiy materiali bo‘lgan kremniy (Si) xususiyatlarini modifikatsiya qilish va uning qo‘llanish sohasini kengaytirish uchun turli elementlar bilan legirlab, ularning optic va elektrofizik xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha ko‘plab tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu elementlar orasida Ittiriyl kirishmasi muhim ahamiyatga ega [1--4]. Bunday kirishmalar kremniyning elektro‘tkazuvchanligi, mexanik mustahkamligi va boshqa muhim xususiyatlarini o‘zgartirish imkonini beradi. Ushbu ishda yuqori temperaturda ittiriyl (Y) atomlari bilan legirlangan monokristall kremniyning nuqsonli tarkibiga ta‘sirini Raman spektroskopiya yordamida o‘rganish natijalari keltirilgan. Tadqiqot uchun Choxralskiy usulida o‘stirilgan va solishtirma qarshiligi - $7,5 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ bo‘lgan n-tipli monokristall kremniydan foydalanildi. Ittiriyl atomlari bilan legirlash 1200°C temperaturada 1 soat davomida vakuumlangan kvarts ampulalarda diffuziya usuli bilan amalga oshirildi. Diffuziyadan keyin namunalar tez va sekin sovitildi.

Ittiriyl bilan legirlangan kremniy namunalarining Raman spektrlari o‘lchab, kirishma va termik ishlarning kristall strukturasi ta‘siri aniqlandi. Dastlabki kirishmasiz (etalon) namunaning Raman spektrlarining tahlili 1-rasmda keltirilgan va unda quydagi cho‘qqilar aniqlandi. 131 cm^{-1} , 311 cm^{-1} , 523 cm^{-1} , 705 cm^{-1} , 784 cm^{-1} , 952 cm^{-1} , va 1537 cm^{-1} . Bu cho‘qqilar monokristall

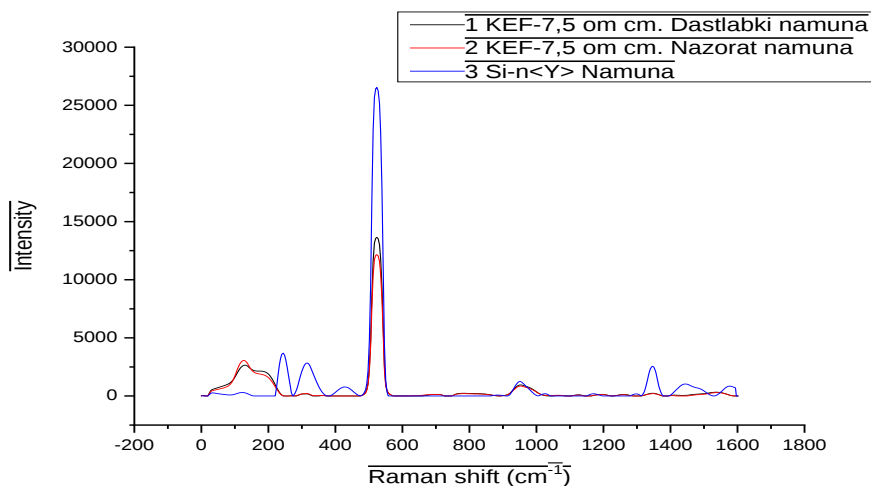
kremniydagi akustik TA, LA va optik TO, LO piklar hamda molekulyar bog‘lanishlarni beradi. Asosan 131cm^{-1} cho‘qqi TA akustik sohani beradi, bu sohada nuqsonlar amorf xususiyatni ko‘rsatadi. 311 cm^{-1} da 2LA akustik soha deyiladi bu joyda ham Si-F bilan kuchsiz bo‘g‘lanish hosil bo‘ladi va bu amorf sohaga tegishli.



1-Rasm. KEF-7,5 Om·cm. Dastlabki kirishmasiz (etalon) namuna.

523 cm^{-1} dagi cho‘qqi Si-Si kimyoviy bog‘lanishni beradi, bu optik soha deyiladi TO+LO mavjud. 705 cm^{-1} , 784 cm^{-1} kenglanma TA+TO sohalar deyiladi, cho‘qqilarda Si-F₃, Si-O larni molekulyar bog‘lanishlarini ko‘rish mumkin. 952 cm^{-1} cho‘qqi hosil bo‘lishi optik soha deyiladi 2TO sohaga mos keladi.

Shuningdek n – tipli kremniy nazorat namunalari ham 1200°C temperaturda 1 soat vaqt davomida termik ishlodan o‘tkazildi va ushbu namunalarning Raman spektri o‘rganildi. n-Si ga ittriy atomlarini 1200°C da 1 soat davomida diffuziya qilindi va ittriy bilan legirlangan namunalari ham Raman spektrometrida o‘lchandi. Olingan Raman spektrlari 2- rasmda keltirilgan. Ushbu spektrlarga qarasak nazorat namunada dastlabki namunaga nisbatan amorf sohalarida katta o‘zgarishlar hosil bo‘lmagan, lekin optik sohalarida sezilarli darajada o‘zgargan.



2-Rasm. 1. Dastlabki kirishmasiz (etalon) namuna. 2. Nazorat namuna. 3. n-Si<Y> namunalarning Raman spektrlari.

Kremniy Si-Si 523 cm^{-1} dagi pikda o‘zgarishlar hosil bo‘ldi bunga sabab kremniy boshqa moddalar bilan molekulyar bog‘lanishlarni hosil qilgan deyish mumkin.

Ittriy (Y) bilan legirlangan naminalarda juda katta o‘zgarishlarni kuzatish mumkin. Bunda akustik, amorf, optik sohalarida ko‘rish mumkin. Grafikda $0-200\text{ cm}^{-1}$ oraliqda amof soha pasiyib

bormoqda bu Y atomlari kristall panjarada nuqsonlarni kamaytirishga hissa qo'shgan, 200-400 cm^{-1} oralida ikkita molekulyar bog'lar hosil bo'lgan Si-F va SiO₂.

400-500 cm^{-1} oraliqlarda qo'shimcha Si-Y hosil bo'lganini ko'rish mumkin. Optik sohaga tegishli bo'lgan 523 cm^{-1} cho'qqimizda ham intensivlik oshganligini ko'rish mumkin. Y atomlari hisobiga kremniy kristal panjarasida tugunlar markazida joylashib, nuqsonlarni tuzulmaviy kamayishiga hissa qo'shmoqda degan xulosa qilish mumkin.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Х.С. Далиев, Ш.Б. Утамурадова, И.Х. Хамиджонов. Рентгеноструктурные исследования n-Si<Y>. Физика полупроводников и микроэлектроника. 2023 г., Том 5, Вып.5, стр. 8-15.
2. Х.С. Далиев, Ш.Б. Утамурадова, И.Х. Хамиджонов, А.Й. Бобоев. Структурные особенности монокристаллического кремния с примесями скандия. Илмий хабарнома. Физика – математика тадқиқотлари. АндДУ. Андижон. 2024 йил №1(6). 54-59 бетлар.
3. Х.С. Далиев, И.Х. Хамиджонов. Кремнийдаги иттрий атомларининг электрофизик ва оптик хусусиятлари Кремнийдаги иттрий атомларининг электрофизик ва оптик хусусиятлари. “Яримўтказгичли опто – ва наноэлектроника, муқобил энергия манбалари ҳамда уларнинг истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий - амалий анжумани. 12-13 октябрь 2023 йил. 143-144 бетлар.
4. Х.С. Далиев, Ш.Б. Утамурадова, И.Х. Хамиджонов, С.М. Абдураимов. Радиационное дефектообразование в кремнии, легированном иттрием. Материалы II-международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики полупроводников, микро - и наноэлектроники». Ташкент. 27-28 октября 2023 г. с.247-249.

ХРОМ АТОМЛАРИ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙ НАМУНАСИНИНГ СИРТ МОРФОЛОГИЯСИ

Ш.Б. Утамурадова, Қ.М. Файзуллаев

*ЎзМУ ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-
тадқиқот институти*

Ҳозирги кунда замонавий микроэлектроника қурилмалари асосини яримўтказгичли материалларсиз тасаввур қилиб бўлмайди. Яримўтказгичли материалларнинг ноёб хусусиятларидан бири унинг ташқи таъсирларга сезувчанлигидир. Юқорида қайд этилган хоссаси туфайли бу материаллардан ҳозирда кенг фойдаланиб келинмоқда.

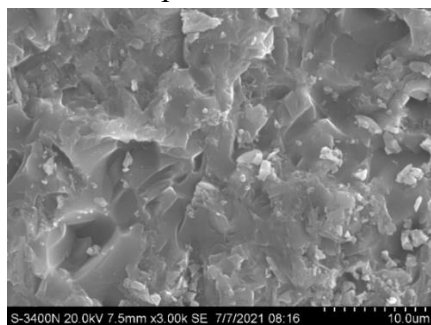
Кремний яримўтказгич materiali асосида турли ташқи таъсирларда (иссиқлик, радиация, босим ва х.к.) ишловчи электрон қурилмалар ишлаб чиқилмоқда. Бунинг учун кремнийнинг иссиқликка бардошлилигини ва иссиқлик ишлов бериш натижасида унда содир бўладиган ўзгаришларни тадқиқ этиш муҳим масала ҳисобланади. Юқори ҳароратларда кремнийга иссиқлик ишлов берилиши билан боғлиқ тадқиқотларга кўра, намуналарга иссиқлик билан ишлов берилиши унда мавжуд бўлган нуқсонлар тузилиши ва структурасига таъсир этади [1-2].

Ушбу ишда кремний намунасига юқори ҳароратларда (1100-1200 °С) иссиқлик ишлов берилиши ва унга ўтувчи элементлардан бири бўлган хром атомлари киритилган намуналарнинг сиртида содир бўлган ўзгаришлар тадқиқ этилган.

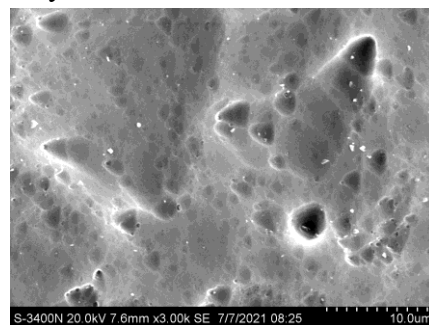
Тадқиқот учун дастлаб n-Si намуналари тайёрланди. Намуналарга механик ва кимёвий ишловлар берилди. Сўнг намуналарга иссиқлик ишлов берилиши $T=1100-1200$ °С ҳароратларда $t=2$ соат давомида СУОЛ-4М печида олиб борилди. Кремний намунасига хром атомларни 1200 °С ҳароратда диффузия усулида киритилди. Илмий натижалар олиб бориш учун Hitachi S-3400N маркали сканерловчи электрон микроскоп ёрдамида кремний намуналарига иссиқлик ишлов берилиши таъсирида нуқсонларнинг ўзгаришининг тадқиқи учун тасвирлар олинди.

Кремнийдаги термик ишлов берилиши таъсиридаги нуқсонларнинг ўзгариши бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, жараённинг давомийлиги ва намуналарнинг соғутиш усуллари муҳим факторлардан ҳисобланади. Яъни, юқори ҳароратларда кремний намуналарига иссиқлик ишлов берилиши натижасида намуналардаги нуқсонлар табиати кескин ўзгаради (1-расм).

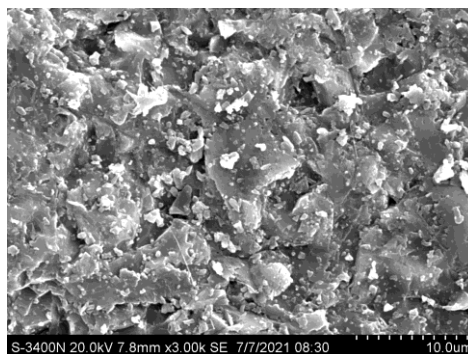
1-а расмда назорат намунаси юзасини 500 марта катталаштирилган ҳолдаги тасвири берилган. Олинган тасвирдан шуни кўриш мумкинки, намуна юзасининг нотекислиги (шероховатость) юқори. Намуна юзасида турли ўлчамдаги чуқурчалар мавжудлигини намуна юзасини полировкаланмаганлиги билан изоҳлаш мумкин.



а)



б)



г)

1-расм. Кремний намуналарининг сканерловчи электрон микроскопдаги тасвирлари. а-назорат намуна; б-1100 °С ли ҳароратда термик ишлов берилган намуна, г-хром атомлари билан легирланган кремний намунаси.

1-б расмда эса назорат намуналарига 1100 °С ҳароратда иссиқлик ишлов берилгандан сўнг олинган тасвири келтириб ўтилган. Шуни қайд этиш лозимки, намуналар тез соғутиш усули ороқали соғутилгандан сўнг, намуналар юзаси 25-30 мкм қалинликда механик ишлов бериш усули орқали олиб ташланган. Тасвирлардаги бир хил рангдаги юзалар Si

эканлигини билдирса, ўлчамлари 5-35 мкм оралиқдаги оролчалар иссиқлик таъсири остида юзага келган нуқсонлар эканлигидан далolat беради. Кремнийни хром билан легирланиши унинг юзасидаги нанозарралар миқдори ва зичлигининг ошганини, қолаверса, кремний юзасидаги киришма атомлари жойлашганини тасвирлардаги ёрқин ранглар орқали кўришимиз мумкин (1-г расм).

Тадқиқот натижаларига кўра юқори ҳароратларда кремнийга иссиқлик ишлов берилиши унда мавжуд бўлган нуқсонлар тузилиши ва структурасига таъсир этиши аниқланди.

Адабиётлар

1. Зайнабидинов С.З., Далиев Х.С., Утамуродова Ш.Б., Акбаров А.Ж. Особенности термического и радиационного дефектообразования в многослойных структурах. Тез.докл. II Международ. научн. семинара «Многослойные варизонные, периодические полупроводн.приборы», Нукус, 1993, с.102-103.
2. Daliev Kh.S., Utamuradova Sh.B., Kalandarov E.K., Bozorova O.A., Daliev Sh.Kh. The effects of heat treatment on Eu and La atoms behavior in silicon. Сб.тез.докл. VIII междунар. конф. «Физика твердого тела», Алматы, Казахстан, 2004, с.310.

THE EFFECT OF ERBIUM ON DEFECTIVE STRUCTURE AND PROPERTIES OF SILICON

J.J.Khamdamov, J.Sh.Zarifbayev, B.Sh. Alikulov

*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at M. Ulugbek National
University of Uzbekistan,
Uzbekistan, 100057, Tashkent, Yangi Almazar Street, 20*

Thin-film nanocomposites, consisting of crystalline and amorphous silicon nanoparticles embedded in silicon oxide layers, have been actively researched over the past two decades as promising materials for non-volatile memory devices, third-generation photovoltaic devices, and other applications. Particular interest in such composites, including erbium-doped (Er) composites, remains due to the possibility of creating silicon-based light sources for optoelectronic devices [1,2].

In recent years, attention to erbium silicide (ErSi_{2-x}) has increased, as this material has a low Schottky barrier on n-type silicon (0.3–0.4 eV) [1,2], which opens up prospects for the use of ErSi_{2-x} in source and flow contacts in future superscale complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) transistors. This can significantly reduce contact and series resistance, which is especially important at low Schottky barriers. ErSi_{2-x} is also used in new Schottky barrier FETs [3,4].

Despite its low resistivity, erbium oxidizes rapidly, as metallic Er reacts vigorously with oxygen [5]. A number of studies report that thin films of ErSi_{2-x} are formed by evaporation of Er onto Si substrates under ultra-high vacuum conditions, followed by annealing, which prevents oxidation. Silicon doped with rare earth elements is of particular interest due to problems such as

inhomogeneities in the distribution of impurities, complex diffusion processes, and changes in silicon properties when rare earth elements are incorporated into its structure.

In this work, the defective structure of erbium-doped silicon was studied. Initial samples of p-Si, erbium-doped silicon (p-Si<Er>), as well as p-Si-Er composites were studied using Raman spectroscopy and X-ray phase analysis. [6–10]. The cubic structure of silicon allows for the presence of a single first-order Raman phonon with a wavenumber of $520 \pm 1 \text{ cm}^{-1}$, as well as additional less intense peaks [8,9].

In the silicon spectra, vibrations at 304 cm^{-1} are observed, associated with the longitudinal acoustic mode, and a wide peak in the range of $900\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$, due to the scattering of transverse optical phonons and their overtones [8]. Silicon doping by erbium leads to changes in the Raman spectrum: the intensity of the peak at 521 cm^{-1} decreases by 1.5 times, which may indicate a violation of the silicon crystal lattice due to the introduction of Er atoms.

The results of X-ray phase analysis show that the elements Si, O and Er are present in the p-Si-Er composite in the expected concentrations, which confirms the substitution of Er atoms in the silicon structure. The peak at 28.40° corresponds to silicon, whereas the peak at 94.80° refers to erbium.

Studies conducted by Lau et al. [11] have shown that the presence of an oxide layer between the metal layer and the Si substrate leads to the formation of pores on the surface of the composite, which are composed of ErSi_{2-x} . This causes the diffusion of Si atoms through the depressions and the formation of polycrystalline ErSi_2 .

Analysis of Raman spectroscopy data shows that the insertion of Er atoms on the p-Si surface causes both minor changes in the signals and the appearance of new oscillations, which is associated with the formation of Er-Si bonds. The presence of erbium on the surface of p-Si is confirmed by X-ray spectral analysis.

References

1. Lisovskyi IP, Sarikov AV, Sypko MI. Thin film structures with silicon nanoinclusions. Kyiv–Chernivci: Knigi-XXI; 2014. in Ukrainian.
2. Sopinsky M, Khomchenko V. Electroluminescence in SiO_x films and SiO_x film-based systems. *Curr Opin Solid State Mater Sci.* 2003;7(2):97–109.
3. J. Kedzierski, P. Xuan, E. H. Anderson, J. Boker, T. J. King, and C. Hu, *Tech. Dig. - Int. Electron Devices Meet.* 2000, 57 2000.
4. M. Jang, J. Oh, S. Maeng, W. Cho, S. Lee, K. Kang, and K. Park, *Appl. Phys. Lett.* 83, 2611 2003.
5. S. Kennou, S. Ladas, M. G. Gimaldi, T. A. Nguyen Tan, and J. Y. Veullen, *Appl. Surf. Sci.* 102, 142 1996.
6. P.A. Temple, C.E. Hathaway, *Physical Review B* 7(8), 3685–3697 (1973) <https://doi.org/doi:10.1103/physrevb.7.3685>
7. K. Uchinokura, T. Sekine, & E. Matsuura, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 35(2), 171–180 (1974) [https://doi.org/doi:10.1016/0022-3697\(74\)90031-6](https://doi.org/doi:10.1016/0022-3697(74)90031-6)
8. I. Iatsunskyi, G. Nowaczyk, S. Jurga, V. Fedorenko, M. Pavlenko, & V. Smyntyna, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics* 126(18), 1650–1655 (2015) <https://doi.org/doi:10.1016/j.ijleo.2015.05.088>
9. A. Wellner, V. Paillard, H. Coffin, N. Cherkashin, & C. Bonafos, *Journal of Applied Physics* 96(4), 2403–2405 (2004) <https://doi.org/doi:10.1063/1.1765853>

10. SH.B. Utamuradova, A.V. Stanchik, K.M. Fayzullaev, B.A. Bakirov, Applied Physics 2, 33–38 (2022)
11. Lau SS, Pai CS, Wu CS, Kuech TF, Liu BX. Appl Phys Lett 1982;41:77.

KOBALT SILITSIDI ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIGI VA HARAKATCHANLIGINING TEMPERATURAGA BOG‘LIQLIGINI TADQIQ ETISH

A.T.Mamadalimov, M.Sh.Isayev, S.Q. Musayev

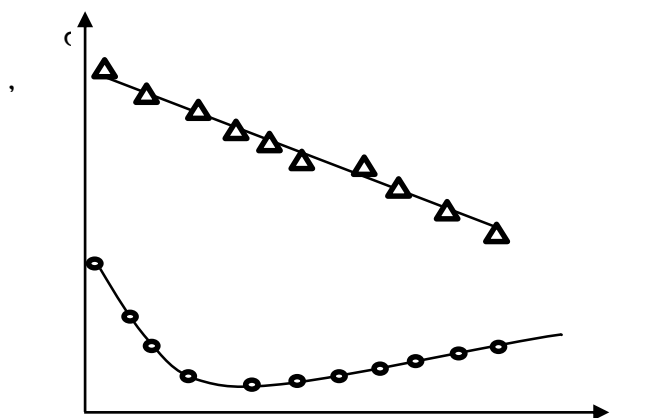
O‘zbekiston Milliy universiteti

O‘tish elementining silitsidlari, xususan kobalt silitsidlari o‘zining yuqori termik stabilligi, yaxshi elektr o‘tkazuvchanligi va kremniy bilan birga oson qo‘shila olish xususiyati mavjudligi hisobiga mikro- va nanoelektronikada qo‘llanilish uchun istiqbolli material hisoblanadi. Ushbu ishda monokristallik kremniyni kobalt atomlari bilan legirlash jarayonida hosil bo‘ladigan kobalt silitsidlarining elektr o‘tkazuvchanligi va harakatchanligining temperaturaga bog‘liqligi 100 K dan 600 K gacha temperaturada o‘rganilganda olingan natijalar keltirilgan. Bu ma‘lumotlar katta va o‘ta katta integral sxemalar yaratishda past omli kontaktlar olish uchun muhim hisoblanadi.

Kobaltning kremniyga diffuziya bo‘lish koeffitsiyenti katta bo‘lgani uchun legirlashda diffuzion usuldan foydalanildi. Kobalt atomlari KDB-10 va KEF-20 markali monokristallarga 800–900 °C da diffuziya qilindi. Kristallning sirt sohasida 30–40 mkm chuqurlikda kobalt silitsidlari hosil qilindi. Silitsid strukturasi rentgen diffuziya va skanerlovchi elektron mikroskopda o‘rganildi. Elektr o‘tkazuvchanlikning temperaturaga bog‘liqligi to‘rt zondli usuldan foydalanib o‘lchandi. Zaryad tashuvchilar harakatchanligi Xoll qurilmasida aniqlandi.

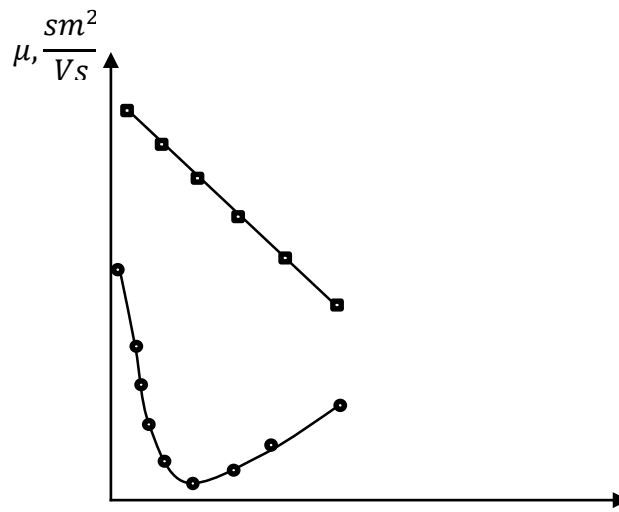
Kobalt monosilitsidi uchun quyidagi natijalar olindi (1-rasm):

1. 100–270 K temperatura oralig‘ida elektr o‘tkazuvchanlik temperatura ortishi bilan chiziqli kamaygan. Buning sababi zaryad tashuvchilarning fononlarda sochilishi katta bo‘lganligidadir.
2. $T=270$ K da elektr o‘tkazuvchanlik kamayishdan to‘xtaydi, buni elektron o‘tkazuvchanlikning kovakli o‘tkazuvchanlikka almashishi bilan tushuntirilishi mumkin.
3. 270–600 K temperatura intervalida elektr o‘tkazuvchanlikning ortishi kuzatilgan. Bu kovakli zaryad tashuvchilar konsentrtsiyasi ortishi bilan tushuntirilishi mumkin.



1-rasm

Kobalt disilitsidida temperatura ortishi bilan o'tkazuvchanlik chiziqli kamayadi. Bu zaryad tashuvchilarning fononlar, nuqsonlar, klasterlarda sochilishi bilan tushuntirilishi mumkin. Temperatura ortishi bilan elektr o'tkazuvchanlik o'zgarishidagi o'ziga xosligini tadqiq etish uchun harakatchanlikning temperaturaga bog'liqligi o'rganildi (2-rasm).



2-rasm

Kobalt monosilitsidida 100–270 K temperatura intervalida harakatchanlik eksponensial kamayadi, 270–600 K oralig'ida ortadi. Harakatchanlikning temperaturaga bunday bog'liqligi kobalt monosilitsidining yarimo'tkazgich ekanligi bilan tushuntiriladi. 100–270 K temperatura oralig'ida kobalt monosilitsidi n-tur o'tkazuvchanlikka, 270–600 K da p-tur o'tkazuvchanlikka ega.

Kirishmalarda 100–270 K temperatura oralig'ida avval sochilish ustunlik qiladi, keyin ustunlik fononlarda sochilishda yuz beradi.

Turli temperatura sohalarida turli turdagi to'qnashuvlar hissasi turlicha bo'ladi. Panjara issiqlik tebranishlaridagi sochilishni ko'raylik. Bu sochilish nisbatan yuqori temperaturalarda o'zini kuchli namoyon qiladi. Past temperaturalarda bunday tebranish chastotalari past bo'ladi. Debay temperaturasidan yuqori temperaturalarda:

$$\theta = \frac{\hbar \omega_{max}}{2\pi k}, \quad \frac{\omega_{max}}{2\pi} = v_{max} = \frac{v}{\lambda_{min}} = \frac{v}{2a}$$

bu yerda ω_{max} – atomlarning tebranishining doiraviy chastotasi, v – kristalldagi tovush tezligi, a – panjara parametri, θ – Debay temperaturasi.

Fononlar soni temperaturaga proporsional ravishda ortadi. Kristall ichida fononning harakat tezligi – tovush to'lqinlari tezligi bo'lib, miqdori 10^5 sm/s, tok tashuvchilar harakat tezligi $\sim 10^7$ sm/s ga teng. Bundan chiqadigan xulosa: tok tashuvchilar uchun fononlar panjaraning “qotib qolgan” defektlari hisoblanadi. Tashuvchilarning bunday defektlar bilan to'qnashuvi temperaturaga bog'liq.

2-rasmdagi egri chiziqni yana mana bunday tushuntirish mumkin. Atomlar issiqlik tebranishi natijasida zaryad tashuvchilar sochilishi sodir bo'ladi. Atomlar issiqlik tebranishi bilan bog'langan ko'ndalang kesim issiqlik tebranish amplitudasi kvadratiga proporsional. Bunda effektiv to'qnashish chastotasi sochuvchi markazlar kesimiga va ular orasidagi tashuvchilar ko'chish tezligiga proporsional.

Kobalt disilitsidi harakatchanligi barcha temperatura intervalida temperatura ortishi bilan chiziqli kamayadi, bu metallik o'tkazuvchanlikka xos xususiyat.

Adabiyotlar

1. Рытов С.М., Кроганова Ю.А. Электропроводность металлов и сплавов. М.: Наука. 1978, с.328.
2. Мотт Н.Ф., Дэвис Э.А. Электронные процессы в нелокализованных системах. М.: Мир. с. 368.
3. Gall D. Electron transport in transition metal silicides // Journal of Applied Physics, 2009, 105, 093703. DOI: 10.1063/1.3116131.

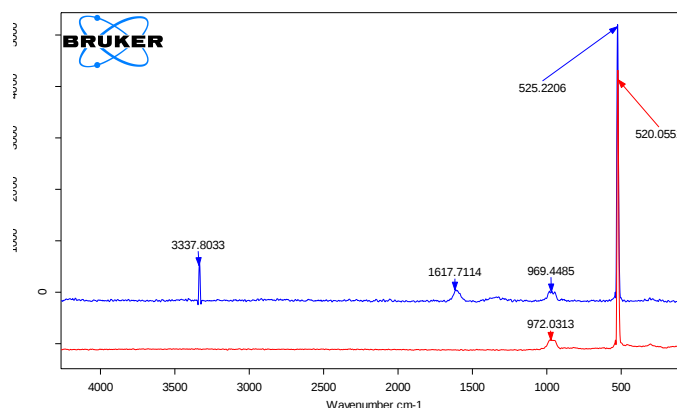
**THE EFFECT OF SILICON DOPING BY HOLMIUM ON STRUCTURE AND
PROPERTIES BY SCATTERING SPECTROSCOPY**

Sh.B. Utamuradova, J.J. Hamdamov, H.J. Matchonov, F.O. Boboyev
*Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at M. Ulugbek National
University of Uzbekistan,*

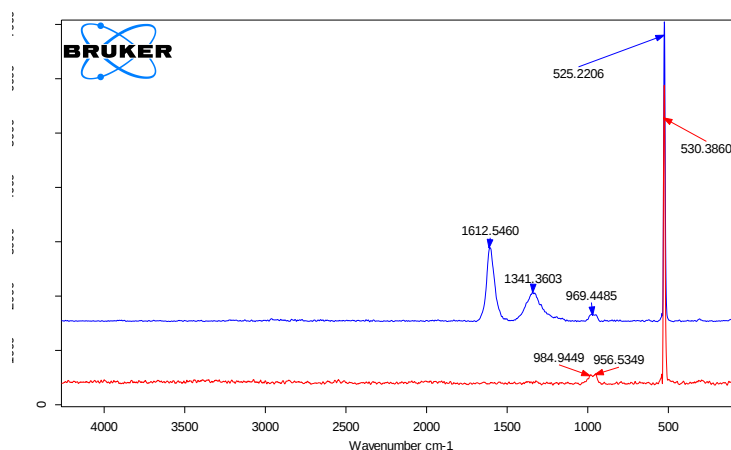
In the characterization of crystalline silicon, which is widely used in the production of semiconductor electronic devices, Raman spectroscopy methods are actively used [1-4].

Heterostructures (Ho-Si) and solid solutions (n-Si<Ho>) are always different in the crystal lattice constants of Ho and Si materials, so if another (Ho) is grown on top of a substrate of one material (Si), built-in elastic stresses appear in the layers Ho, Si, Ho-Si of multilayer structures. crystal lattices largely determine the quality of structures, since stresses generate the formation of structural defects and in some cases greatly limit the possibilities of creating perfect heterocompositions. Changes in the composition and deformation of the material change the crystal structure, and thus manifest themselves in changes in vibrational, phonon spectra. One of the methods of structural analysis that makes it possible to study phonon spectra and their changes is Raman spectroscopy. In this work, the spectrum of a workover sample n-Si<Ho> ($x = 0.25$) grown on a substrate of Si orientation (100) was investigated. The thickness of the solid solution layer is 5 μm . Si-Si, Ho-Ho, and Ho-Si bonds are present in the solid solution.

As can be seen from the given spectrum (Fig.1), silicon consists of Raman scattering at 525 cm^{-1} for n-Si and 530 cm^{-1} for p-Si, respectively, resulting from the first order optical phonon in the Brillouin center region, the Raman band in the spectra of the resulting n-Si<Ho> appears at 525 cm^{-1} (shift -5 cm^{-1}), and in the case of p-Si<Ho> appears at 525 cm^{-1} (shift +5 cm^{-1}) relative to the position of the peak of the silicon substrate, thereby indicating the presence of tensile deformation. The absence of other impurity peaks of the samples indicates a higher purity of the samples.



a). n-Si (—); n-Si<Ho> (—)



b) p-Si (-); КОМПЗИТ p-Si<Ho> (-)

Figure-1. Comparative Analysis of Raman Spectra

Both types of Si and the Si<Ho> samples obtained from them have a strong wide absorption at $\sim 960 \text{ cm}^{-1}$, which corresponds to the valence oscillation of Si–O–Si. Apparently, the above results demonstrate the successful production of the Si<Ho> composite on the surface of the material. In the study of Raman spectroscopy of materials, two Si peaks located at ~ 522 and $\sim 950 \text{ cm}^{-1}$ they correspond well to the Si peak symbol, which can also be observed in the obtained Si<Ho> materials. The increased Raman bandwidth indicates that there is a distribution of strains and the band shift is not the result of a single uniaxial stress. The arm at $\sim 522 \text{ cm}^{-1}$ can be attributed to crystalline silicon.

In general, the results of the spectra analysis indicate that the doping of silicon by holmium affects its structure and properties, forming new bonds and defects.

References

1. Y. Inoue, S. Nakashima, A. Mitsuishi, T. Nishimura, and Y. Akasaka, *Jpn. J. Appl. Phys.* 25, 798–801(1986).
2. D. R. Tallant, T. J. Headley, J. W. Medernach, and F. Geyling, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 324, 255–260 (1994).
3. D. V. Murphy and S. R. J. Brueck, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 17, 81–94 (1983).
4. G. Harbeke, L. Krausbauer, E. F. Steigmeier, A. E. Widmer, H. F. Kappert, and G. Neugebauer, *Appl. Phys. Lett.* 42, 249–251 (1983).

MAGNETRON IONLI PURKASH USULI BILAN OLINGAN ITO QATLAMLARINING XUSUSIYATLARI

A.S. Achilov^{1*}, S.A. Muzaffarova², G.A. Muzaffarova², A. Kutlimratov¹

¹O'zFA Fizika-texnika instituti, Ch. Aytmayov ko'ch. 2B, 100084, Toshkent, O'zbekiston

²Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy tekshirish instituti, Yangi Olmazor ko'ch.
20, Toshkent, O'zbekiston

E-mail. alimardon.uzb@mail.ru

Optik shaffof tok o'tkazuvchi indiy qalay oksidi (ITO – Indium Tin Oxide) qatlamlar keng taqiqlangan sohali yarimo'tkazgich bo'lishiga qaramay, past qarshilikka ega bo'ladi. Chunki ular n-tip o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan degeneratsiyalangan yarimo'tkazgichlardir. Adabiyotlardan

ma'lumki, tarkibi 90% In_2O_3 va 10% SnO_2 dan iborat bo'lgan ITO yupqa qatlamlari, past qarshilik va yuqori optik shaffoflikning optimal kombinatsiyasiga ega [1,2]. Sindirish ko'rsatkichining yuqoriligi ($n = 1.97 \div 2.06$) va past solishtirma qarshilik ($< 10^{-3}$ ohm sm) tufayli ITO yupqa qatlamlari quyosh elementlarida (QE) akslantirishga qarshi keng zonali shaffof "oyna" sifatida qo'llaniladi [3-5]. Bundan tashqari, taqiqlangan sohasining ($E_g \sim 3,5-3,6$ eV) kengligi ITO materialining elektromagnit nurlanish spektrining ko'rinadigan sohasida 95% gacha shaffofligini ta'minlaydi [2,3].

Shaffof o'tkazuvchan ITO qatlamlarini olishning turli usullari mavjud bo'lib, ular bir-birlariga nisbatan ma'lum bir afzalliklar va kamchiliklarga ega. Ular orasida zamonaviy mikro va optoelektronika talablariga javob beradigan parametrlarga ega ITO qatlamlarini olish imkonini beradigan, hamda qatlamlarni o'tqazishdan keyin ularga turli usullar bilan ishlov berishga imkon beruvchi magnetron ionli purkash usuli keng qo'llaniladi. Shuning uchun ham, mazkur ishda tajribaviy ITO yupqa qatlamlari argon hazida magnetron ionli purkash (MIP) usuli bilan olingan. Ushbu ishda shisha tagliklarga reaktiv magnetronli purkash usuli bilan yuqori haroratli ishlov berib va ishlov bermasdan olingan ITO yupqa qatlamlarning xususiyatlarini o'rganishdan olingan ma'lumotlar keltirilgan. Qo'llanilgan MIP usuli quyidagi afzalliklarga ega [6]:

- yupqa qatlamlarning taglikka yuqori yopishishi, chunki MIP usuli bilan purkalayotgan zarrachalarning energiyasi odatda qo'llaniladigan oddiy bug'lanish paytidagi zarrachalarning energiyasidan kattaroq bo'ladi;
- ko'p tarkibli material (ITO) larni purkash paytida stexiometrik tarkibning saqlanishi;
- purkalayotgan materialdan yuqori darajada foydalanish imkoniyati;
- qalinligi bir xil bo'lgan qatlamalarni olish imkoniyati (jumladan murakkab relefli yuzaga o'tqazishda);
- vakuumli bug'latish paytida kuzatiladigan yirik aglomeratlarning yo'qligi;
- uzluksiz ishlaydigan qurilma va liniyalarni yaratish imkoniyati mumkinligi, chunki nishonlar purkaladigan materialning deyarli cheksiz ta'minotiga ega bo'lishi mumkin;
- jarayonning turli parametrlari orasidagi miqdoriy nisbatlardan foydalanish hamda yupqa qatlamlarning o'tqazish rejimlarini avtomatik boshqarish imkoni mavjudligi.

MIP usuli bilan olingan ITO yupqa qatlamlarining xususiyatlari asosan dastlabki bosim, magnetronning quvvati [7], argon gazining bosimi [8], o'tqazish vaqti [9], o'tqazilayotgan materialning taglikka tushish burchagi [10], nishon va taglik orasidagi masofa, taglik turi [11], qatlam qalinligi [12], taglik harorati [13] kabi turli xil parametrlariga bog'liq.

Tajribalarda tizimdagi argonning optimal bosimi ($5 \div 6$) 10^{-2} mm.sim.ust. ga teng bo'lgan. Bunda Ar^+ (argon) ionlari nishonning butun yuzasini qoplab oladi va katodning salbiy potentsialini himoya qiladi, buning natijasida zaryadsizlanishdan saqlab qoladigan ikkilamchi elektronlar yuzaga kelmaydi. Nishon va taglik orasidagi masofa 4,5 dan 5 sm oralig'ida olingan.

Yupqa qatlamlar har qanday yog'ingarchilik paytida yoki yupqa qatlamning qalinligi etarli bo'lmaganda amorf ekanligi aniqlandi. Shuning uchun ITO plyonkasini purkagandan so'ng unga darhol yuqori haroratli termik ishlov berriladi, bu kirishmaning to'liq faollashishi tufayli kristalllikni oshirishga va elektr o'tkazuvchanligini oshirishga yordam beradi. Ushbu usul o'ziga xos sirt qarshiligining 20 martadan ko'proq pasayishiga olib keladi. Buning sababi shundaki, past harorat tufayli 100 °C dan past haroratda o'tkazilgan qatlamlarning ITO amorf tuzilishi taglik yuzasiga o'tqazilgan atomlar va keyinchalik o'sib borayotgan qatlamda kristall panjara hosil qilish uchun etarlicha faol emas, chunki kristallanish 150 °C yoki 200 °C da boshlanadi [14]. Shuning uchun qatlamlar ITO galogenli lampa yordamida xona haroratidan 100-150 °C gacha qizdirildi.

Undan keyin namunalar vodorod oqimida 250 °C gacha haroratda $t = 30$ daqiqa davomida qizdirildi.

Shu tarzda olingan qatlamlar shisha taglikga yaxshi yopishgan, quyuq qizil rangli, qalinligi $d \sim 0,6$ mkm va $s \sim 1$ sm² yuzaga ega bo'lgan. ITO ning elektr xususiyatlarini o'rganish, optik va elektr tadqiqotlarini o'tkazish va o'lchash paytida asboblarni ulash uchun ITO plyonkasiga bir-biriga qarama-qarshi va bir-biridan teng 0,8 sm masofada joylashgan o'lchamlari $\sim 2,2$ mm bo'lgan to'rtta kontakt olindi. ITO qatlamining qarshilik o'lchovlari shuni ko'rsatdiki, u $6 \cdot 10^{-5}$ sm qatlam qalinligi uchun taxminan $8 \cdot 10^{-4}$ Ohm sm bo'lgan, bu esa adabiyotlardagi ma'lumotlarga juda yaqin [14,15]. Zaryad tashuvchilarning kontsentratsiyasi va harakatchanligi Hall effekti usulida amalga oshirildi. Olingan ITO qatlamidagi zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasi $>10^{19}$ sm⁻³ ga va harakatchanligi esa >1 cm²V⁻¹s⁻¹ ga teng bo'lgan, bu adabiyot ma'lumotlarga mos keladi. 400 dan 1000 nm gacha bo'lgan to'lqin uzunliklarida shaffoflik o'lchovlari shuni ko'rsatdiki, biz olgan ITO qatlamlarning yorug'lik o'tkazuvchanligi kamida 80-85% ni tashkil qiladi.

Taqiqlangan soha kengligining magnetronli purkash jarayonida quvvatga va purkash vaqti oralig'iga bog'liqligini o'rganish $E_g = 3,5-3,6$ eV oralig'ida ekanligini ko'rsatdi, bu boshqa tadqiqotchilar tomonidan olingan eksperimental qiymatlarga yaxshi mos keladi [5].

Ushbu tajriba natijalari quyidagi xulosaga kelishga imkon beradi: Mir usuli bilan sovuq substratga qo'llaniladigan ito qatlamlari, keyin tavlanaadi, faqat kislorod va argonning qisman bosimi aniq pŭskŭrtme tezligiga mos kelganda yaxshi o'tkazuvchanlik va shaffoflikka ega. Sovuq substratga magnetron pŭskŭrtŭldŭgŭnde, nafaqat substratga qo'llaniladigan atomlarning foizi, balki yog'ingarchilik paytida bu atomlarning holati ham muhimdir.

Shunday qilib, biz shisha tagliklarda MIP usuli yordamida ITO qatlamlarini olish imkoniyati mavjud ekanligini ko'rsatib berdik. Natijalar shuni ko'rsatadiki, olingan ITO yupqa qatlamlari juda yuqori sifatga ega va ularni quyosh elementlarini va yorug'lik diodlarini ishlab chiqarishda shaffof supero'tkazuvchi qatlam sifatida, shuningdek shaffoflikni oqim bilan birlashtirish zarur bo'lgan boshqa shunga o'xshash maqsadlarda qo'llanish mumkin.

Adabiyot

1. A.K. Isiyaku, A.H. Ali, S.G. Abdu, M. Tahan. *Journal of Theoretical & Applied Physics*. Phys. Memoir. 2, 2020. p.15–24.
2. Yu.C. Жидик, П.Е. Троуан. Технологииу полущениуа электропроводуащих пленок ИТО высокой оптической прозрачности с низким значением величины удельного поверхностного сопротивленияуа. Доклады ТУСУРа, №2 (26), част 2, декабр 2012. – с.169-171.
3. В.М. Ботнаруук, Л.В. Горшак, С.Д. Раевский, В.Ю. Руд, Ю.В. Руд, Д.А. Шербан. Фотоэлектрические свойства солнечных элементов ИТО/p⁺-p-InP в линейно полуаризованном излучении. Журнал технической физики, 1998, том 68, № 5. с. 72-76.
4. Yu.C. Жидик, П.Е. Троуан, В.В. Козик, С.А. Козуухин, А.В. Заболотскауа, С.А. Кузнецова. Исследование электрофизических свойств пленок ИТО. Известия высших учебных заведений: Физика полупроводников и диэлектриков. 2020. Т. 63, № 7. DOI: 10.17223/00213411/63/7/31
5. M.G. Sousa and A.F.D. Cunha, "Optimization of low temperature RF-magnetron sputtering of indium tin oxide films for solar cell applications". *Applied Surface Science*, vol. 484, pp. 257–264, 2019.
6. A. Tchenka, A. Agdad, M.Ch.S. Vall, S.K. Hnawi, et al. Effect of RF Sputtering Power and Deposition Time on Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Thin Film. *Hindawi*.

- Advances in Materials Science and Engineering. Volume 2021, Article ID 5556305, 14 pages.
<https://doi.org/10.1155/2021/5556305>
7. A. K. John, V. V. Kumar, M. Deepak, and T. Manju, “Influence of sputtering power on the optical properties of ITO thin films preparation of ITO thin films,” AIP Conference Proceedings, vol. 1620, no. 22, pp. 22–27, 2014.
 8. A. Chaoumead, Y. Sung, and D. Kwak, “The effects of RF sputtering power and gas pressure on structural and electrical properties of ITiO thin film, Advances in Condensed Matter Physics, vol. 2012, Article ID 651587, 7 pages, 2012.
 9. M. Ahmadipour, M. F. Ain, S. Goutham, and Z. A. Ahmad, “Effects of deposition time on properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ thin film deposited on ITO substrate by RF magnetron sputtering at ambient temperature,” Ceramics International, vol. 44, no. 15, pp. 18817–18820, 2018.
 10. T. Chaikere, P. Nachuay, and M. Narong, “Enhanced transmission based on vertically aligned ITO NRs deposited by Ion assisted electron beam evaporation with glancing angle deposition technique,” Mater Today Proceedings, vol. 4, no. 5, pp. 6060–6064, 2017.
 11. L. A. Fraga, F. J. Villacorta, and J. S. Macrcos, “Indium-tin oxide thin films deposited at room temperature on glass and PET substrates : optical and electrical properties variation with the $\text{H}_2 - \text{Ar}$ sputtering gas mixture,” Applied Surface Science, vol. 344, pp. 217–222, 2015.
 12. J. Kim, H. J. Seo, H. K. Kim et al., “The effects of film thickness on the electrical, optical, and structural properties of cylindrical, rotating, magnetron-sputtered ITO films,” Applied Surface Science, vol. 440, pp. 1211–1218, 2018.
 13. D. H. Kim, M. R. Park, H. J. Lee, and G. H. Lee, “Thickness dependence of electrical properties of ITO film deposited on a plastic substrate by RF magnetron sputtering, Applied Surface Science, vol. 253, no. 2, pp. 409–411, 2006.
 14. A. Hacini, A.H. Ali, N.N. Adnan and N. Nayan. Electrical and optical enhancement of ITO/Mo bilayer thin films via laser annealing. Beilstein J. Nanotechnol. 2022, 13, 1589–1595. <https://doi.org/10.3762/bjnano.13.133>
 15. Музафарова С.А. Поверхностные состоуаниуа структур nITO-pCdTe на основе поликристаллических пленок pCdTe. // ”Science and education” scientific journal.– Vol. 1. Issue 2. – 2020 may. – pp.57-60.

ТЕМИР АТОМИ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН МОНОКРИСТАЛЛ КРЕМНИЙНИНГ ИНФРАҚИЗИЛ СПЕКТРИ

Х.С. Далиев¹, З.М. Хусанов²

¹*Тошкент шаҳри, “МЭИ” миллий тадқиқот университети” Федерал давлат
бюджети олий таълим муассасаси филиали,*

²*ЎзМУ ҳузуридаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-
тадқиқот институт*

Ҳозирги кунда маълумки, кремнийни ўтувчи элементлар билан легирлаш жараёни да улар асосида яратилган яримўтказгичли асбобларнинг ишчи параметрлари ва фотоэлектрик характеристикаларига катта таъсир кўрсатади [1-2]. Бу йуналишдаги кўпгина тадқиқот ишларида база материалга ўтувчи элементлар киритилган атомларнинг электр фаоллик ҳолатига таъсири тўлиқ ўрганилмаган. Маълумки, кремнийга киритилган нодир элементлар кристалл панжарада юқори кимёвий фаолликка эга бўлиб, кремнийда электр жихатдан фаол бўлмаган ҳолатда иштирок этади [3-4].

Ушбу ишда n- ҳамда p- турдаги Si кремний монокристалига темир атоми киритилган жараёни ва уларнинг турли киришмалар билан ўзаро таъсирини комплекс текшириш катта кизиқиш уйғотади. Тадқиқотда ишида n- ҳамда p- турдаги Si монокристалл кремнийни темир атоми доимий ҳароратда $T=1200^{\circ}\text{C}$, $t=10$ соат вақт давомида диффузия қилинган намуналарининг электрофизик параметрлари ўрганилди.

Оптик фаол углерод атомларининг концентрацияси қуйидаги формулалар бўйича аниқланди:

$$N_0^{\text{опт}} = 3.3 \cdot 10^{17} \cdot \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{I}{I_0}; \quad N_c^{\text{опт}} = 1.1 \cdot 10^{17} \cdot \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

I ва I_0 – тушаётган ва ўтадиган ёруғлик интенсивлиги, d - намунанинг қалинлиги. 1- формуладан фойдаланиб, оптик фаол углерод концентрациясини аниқланди.

1. n-Si (назорат намуна),

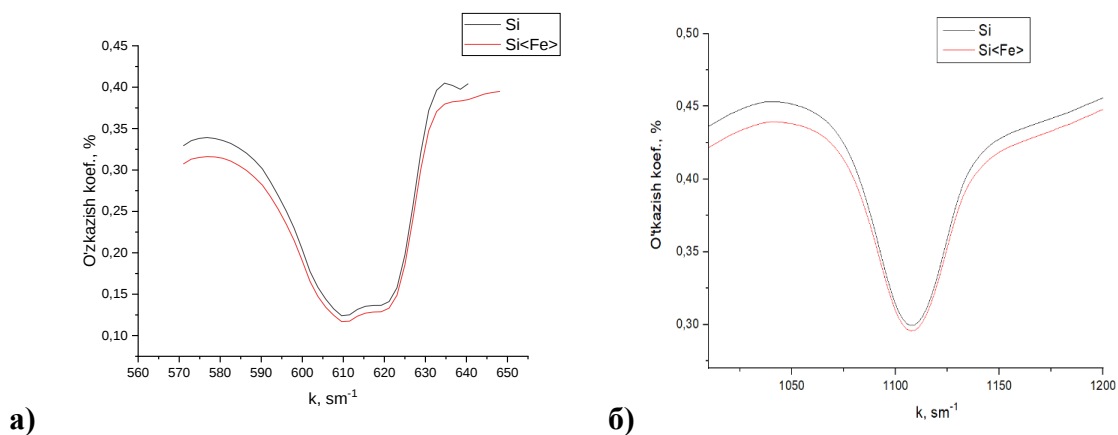
$$N_c^{\text{опт}} = 1.1 \cdot 10^{17} \cdot \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{I}{I_0} = 0,736 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$$

2. n-Si<V>, $N_c^{\text{опт}}$

$$3. \Delta N_c^{\text{опт}} = N_c^{\text{опт}} (\text{назорат}) - N_c^{\text{опт}} (V).$$

$$4. k = \frac{\Delta N_0^{\text{опт}}}{N_0^{\text{опт}} (\text{назорат})} \cdot 100 \%$$

Тадқиқотда олинган натижаларни анализ қилганимизда ва бошқа шунга ўхшаш ишларга солиштириб, шуни айтиш мумкинки, темир атоми билан легирланган кремний (n-Si<Fe>) ва назорат намуналари 1200°C температурада термоишлов бериш ва тоблашдан кейин таққосланганда оптик фаол кислороднинг концентрацияси ($N_0^{\text{опт}}$) 4-6% га камайиб, оптик фаол углероднинг концентрацияси ($N_c^{\text{опт}}$) эса 2-3% камайиши аниқланди.



1-расм. Намунанинг ИҚ-ютилш спектри. а) $N_c^{\text{опт}}$, б) $N_0^{\text{опт}}$, 1 – юқори спектр (n-Si) назорат намуна учун. 2 - пастки спектр (n-Si<Fe>) учун

Бу усул эса кремний монокристалдаги бошқариб бўлмайдиган технологик нуқсон - оптик фаол кислород концентрациясини қисман камайишига эришилди.

Адабиётлар

1. X.S. Daliyev, Z.M. Xusanov. Properties of iron silicides in single-crystal silicon // Web of Scientist: International Scientific Research Journal, 2023, Vol. 4, Issue 5, pp. 895-898.
2. X.S. Daliyev, Z.M. Xusanov. Defect formation in iron-doped silicon single crystals. // Research Fokus, 2023, Vol. 2, Issue 5
3. Х.С. Далиев, Ш.Б. Утамурадова, З.М. Хусанов Исследование диффузии железа в кремнии. // Наманган давлат университети илмий хабарномаси Scientific Bulletin of NamSU- -NamDU ilmiy axborotnomasi. ISSN: 2181-0427. Jurnal.namdu.uz 2023-yil, 8-son. st. 103-107
4. X.S. Daliyev, Z.M. Xusanov. Formation and study of the properties of the compound of iron disilicide in single-crystal silicon. // World Journal of Engineering Research and Technology wjert, 2023, Vol. 9, Issue 7, 38-42.

CALCULATION OF THE ON-OFF TIME OF A TUNNEL DIODE BASED ON THE NOTT AND DE-MASSA THEORY

M.K.Uktamova¹, ¹A.A.Mamatshoyev¹, Z.Weber².

¹*Namangan State Technical University, 12 Islam Karimov Street,
Namangan 160103, Uzbekistan.*

²*Ohio State University, USA.*

gmail: umk9391@gmail.com

In an era of rapidly advancing technologies, the demand for them is also increasing. Tunnel diodes are widely used in the construction of space apparatus. Certain space devices require the reliable storage of data about the studied object or the rapid transmission of information to the subject. The tunnel diode plays a crucial role in storing large amounts of data in compact memory units and transmitting stored information while being protected from various external fields. One of its key applications is in controlling high-frequency signals. Numerous general analytical methods have been proposed for calculating the transition time of tunnel diodes. In particular, the transition time of various heterojunction tunnel diodes depends on the type of materials used in their fabrication. The operating technology and current-voltage characteristics of silicon-based tunnel diodes were examined in the PhD dissertation of Yan Yan. Additionally, Professor J. Pavlik's doctoral research explored models essential for circuit design involving tunnel diode-based devices. Today, the total current in a tunnel diode is determined based on the Nott and De Mass theory. According to this theory, the total current I in a tunnel diode is the sum of the tunnel current IT , excess current IX , and diffusion currents I_{diff} . Algerian researchers Messadi Lotfi and Dibi Zohir experimentally obtained the characteristics of all currents in tunnel diodes. In their analysis of experimental results, they relied on the Nott and De Mass theories and introduced their own new model, called the "Validation" model.

In this study, we theoretically examined the dependence of the tunnel transition time on $\frac{I_p}{I_v}$ for a tunnel diode.

According to the Nott and De Mass theory, the current-voltage characteristic (I-V curve) of a tunnel diode is determined by the peak value of the tunnel current I_p and the corresponding voltage V_p , as well as the minimum current I_v and its corresponding voltage V_v . These variations are expressed by equation (1).

$$I = I_p \left(\frac{V}{V_p} \right) \exp \left(1 - \frac{V}{V_p} \right) + I_v \exp (A_2 (V - V_v)) + I_0 \exp \left(\frac{-qV}{kT} \right) \quad (1)$$

The switching time of a tunnel diode can be expressed using the following equation (Equation 2):

$$\tau = \frac{C (V_v - V_p)}{I_p (1 - \frac{I_v}{I_p})} \quad (2)$$

τ

Where is the tunnel switching time and C is the diffusion capacitance.

Yan's experiments on germanium-based tunnel diodes provided multiple experimental graphs. Among these graphs, the relationship between the tunnel switching time and the peak-to-minimum current ratio- $\frac{I_p}{I_v}$ was also included (Figure 1).

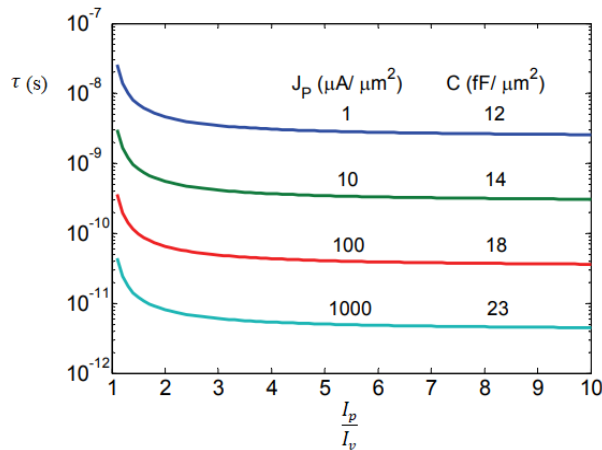


Figure 1. Experimental graph of the tunnel switching time-to-current ratio for a germanium-based tunnel diode.

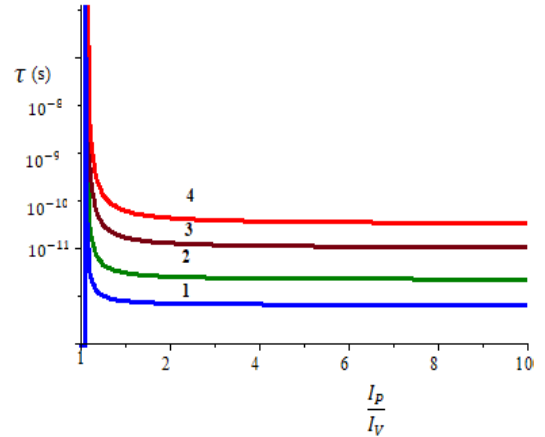


Figure 2. Theoretical confirmation of the dependence of tunnel switching time on experimental data. Based on Y. Yan's experimental results, the values of J_p and C were selected accordingly, and when substituted into Equation (2), an increase in tunnel switching current was theoretically observed from state 1 to state 4 (Figure 2).

It is known that in p-n junction tunnel diodes, the diffusion capacitance is proportional to the lifetime of minority charge carriers. Additionally, tunnel diodes introduce the concept of a quality factor, defined as the ratio of the peak tunnel current to the diffusion capacitance. The smaller the quality factor, the more efficient the tunnel diode operation.

In this study, based on the Nott and De-Massa theory, a significant increase in diffusion capacitance and electron concentration was observed. It was determined that an increase in diffusion capacitance leads to a change in the quality factor of the tunnel diode. The experimental graph of the relationship between the tunnel switching time and the peak-to-minimum current ratio for germanium-based tunnel diodes was compared with the theoretical graph, confirming their consistency. The tunnel switching time also depends on external fields, which can alter the electrophysical properties of the tunnel diode.

References

1. Fistul I., Shvarts N.Z. Uspekhi Physicheskikh Science 77, 109-160 (1962).
2. Berger P.R. Negative differential resistance devices and circuits, Comprehensive Semiconductor Science and Technology, 2011, pp. 176-241.
3. Sze S.M. Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 418-480.
4. Aliyev K.M., Kamilov I.K., Ibragimov X.O., Abakarova N.S., Pisma JTF, 37, 42 (2011), pp. 809-813.
5. Berger P.R., Gulyamov G., Dadamirzaev M.G., Uktamova M.K., Boidedaev S.R., Romanian Journal of Physics, 2024.
6. Dashiell M.W., Kolodzey J., Crozat P., Aniel F., Lourtioz J.M., IEEE Electron Device Lett., 2002.
7. Yan Y., Silicon-Based Tunnel Diode Technology, ResearchGate, 2008. [Silicon-Based Tunnel Diode Technology \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/221411111_Silicon-Based_Tunnel_Diode_Technology)
8. Pawlik J., Development of Tunnel Diode Devices and Models for Circuit Design, Rochester Institute of Technology, 2007. <https://scholarworks.rit.edu/theses/>.
9. Demassa T.A., Knott D.P., Solid State Electron., 1970, vol. 13, pp. 131-138.
10. Lotfi M., Zohir D., A Spice Behavioral Model of Tunnel Diode, International Journal of Control and Automation, 2016.

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО РОДИЕМ

Ш.Б.Утамурадова¹, Д.А.Рахманов^{1*}

*¹Научно-исследовательский институт физики полупроводников и
микроэлектроники при НУУз, г. Ташкент, 100057 Узбекистан*

*[*e-mail: dilmurod-1991@bk.ru](mailto:dilmurod-1991@bk.ru)*

Кремний (Si) является основным материалом в микроэлектронике, используемым при производстве интегральных схем, транзисторов и других полупроводниковых приборов. Однако в условиях радиационного воздействия, например, в космосе, ядерных реакторах или вблизи источников ионизирующего излучения, структура кремния может значительно изменяться. Эти изменения приводят к деградации его электрических, механических и оптических свойств, что накладывает ограничения на его применение в экстремальных условиях[1].

Целью данной работы является исследование дефектной структуры кремния, легированного родием с помощью рамановской спектроскопии.

Рамановская спектроскопия— это оптический метод анализа вещества, основанный на неупругом рассеянии монохроматического света (обычно, лазера) молекулами исследуемого материала. Этот метод позволяет получать информацию о колебательных, вращательных и других низкоэнергетических состояниях молекул, что делает его мощным инструментом для изучения структуры и свойств материалов.

В качестве исследуемого объекта использовался кремний *n*-типа проводимости (*n*-Si) с удельным сопротивлением 40 Ом·см, выращенный методом Чохральского. Концентрация легирующей примеси фосфора в исходных монокристаллах *n*-Si составляла $8 \times 10^{13} \div 7 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Легирование кремния родием производилось диффузионным методом с напылением атомов родия на поверхность кремния в откачанных кварцевых ампулах в интервале температур $T = 1100 \div 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3÷5 часов.

В рисунке 1. показаны Рамановские спектры исходных и легированных кремниевых образцов. На Рамановском спектре исходного кремния обнаружены пики при 305, 521 и широкий в диапазоне 913-1039 см^{-1} , которые принадлежит кубическому кремнию. Нам известно [2], что в кремнии с кубической алмазоподобной структурой наблюдаются один комбинационно-активный фонon первого порядка, соответствующий волновому числу $520 \pm 1 \text{ см}^{-1}$ (LTO), а также дополнительные менее интенсивные пики в результате дальнедействующей трансляционной симметрии.

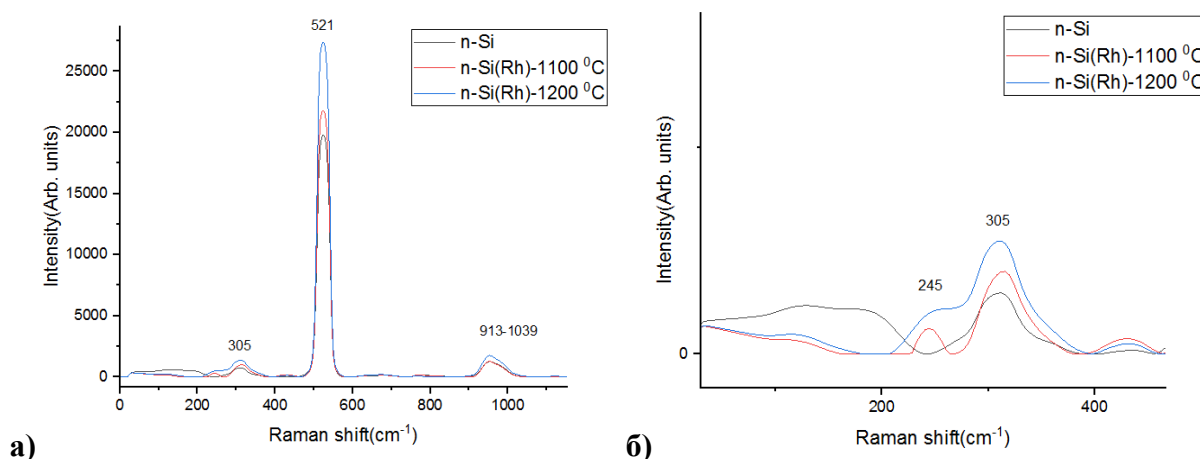


Рис.1. Рамановские спектры кремния, легированного родием.

Обнаруженное колебание при 304 см^{-1} на КРС-спектрах кремния согласно [2,3] относится к продольной акустической моде. Широкий пик в диапазоне 913–1039 см^{-1} был обнаружен в экспериментальных работах для монокристаллического [4] и нанокристаллического [5] кремния. Данное колебание обусловлено рассеянием нескольких поперечных оптических фононов (2ТО) и их обертоном состоянием [6].

Дальнейшее легирование кремния атомами родия приводит к незначительным изменениям и появлению новых колебаний на Рамановских спектрах. Интенсивность основного пика при 521 см^{-1} увеличивается в легированных образцах при температуре 1100 $^\circ\text{C}$ в 1.17 раз, при температуре 1200 $^\circ\text{C}$ в 1.55 раз, а значение его ширины на полувысоте (FWHM) почти не изменяется (рис.1а). Это показывает, что после легирования кремния родием могут образовываться комплексы с дефектами в кремнии, что уменьшает неупругие потери рассеянного света и увеличивает выход рассеяния, усиливает связи в структуре кристаллической решетки кремния из-за встройки атомов Rh.

Кроме этого, в рамановских спектрах легированных образцов появляется новый пик малой интенсивности при 245 см^{-1} (рис.1b). Образование этого пика обусловлено внедрением атомов родия в кристаллическую структуру кремния и формированием силицида родия (RhSi) после высокотемпературной диффузии. Известно, что родий является одной из немногих примесей переходных металлов в Si, образующих мутность на поверхности Si [7]. Предпосылками для такого поведения являются высокая диффузионная способность и растворимость внедренного Rh. Закалка образцов, легированных родием, от температуры диффузии до комнатной температуры приводит к образованию электрически активных центров родия.

Литература

1. Sh.B. Utamuradova, D.A. Rakhmanov, P.L.Tuan, A.S. Doroshkevich, R.Sh. Isayev, A.S. Abiyev. *Advanced Physical Research*, 6(2). Pp.83-89. (2024).
2. Iatsunskiy, I., Nowaczyk, G., Jurga, S., Fedorenko, V., Pavlenko, M., & Smyntyna, V. 2015, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 126(18), 1650–1655. doi:10.1016/j.ijleo.2015.05.088
3. Sh.B. Utamuradova, Sh.Kh. Daliev, A.V. Stanchik, and D.A. Rakhmanov, “Raman spectroscopy of silicon, doped with platinum and irradiated by protons,” *E3S Web of conferences*, 402, 14014 (2023).
4. Smit, C., van Swaaij, R. A. C. M. M., Donker, H., Petit, A. M. H. N., Kessels, W. M. M., & van de Sanden, M. C. M. 2003, *Journal of Applied Physics*, 94(5), 3582–3588. doi:10.1063/1.1596364
5. Graczykowski, B., El Sachat, A., Reparaz, J. S., Sledzinska, M., Wagner, M. R., Chavez-Angel, E., ... Sotomayor Torres, C. M. 2017, *Nature Communications*, 8(1). doi:10.1038/s41467-017-00115-4
6. Utamuradova SH.B., Stanchik A.V., Fayzullaev K.M., Bakirov B.A. 2022, *Applied Physics*, 2, P.33–38.
7. Wellner, A., Paillard, V., Coffin, H., Cherkashin, N., & Bonafos, C. 2004, *Journal of Applied Physics*, 96(4), 2403–2405

$Au - SiO_2 - Si$ TUNNEL DIODI TUNNELLANISH EHTIMOLLIGINING POTENSIAL TO‘SIQ BALANDLIGIGA BOG‘LIQLIGI

M.G. Dadamirzayev, M.O. Kosimova, A.K.G‘aniyeva.

Namangan muhandislik-qurilish instituti

Kvant mexanikasida tunnellanish ehtimolligi Wentzel-Kramers-Brillouin yaqinlashuvi yordamida hisoblanadi. Wentzel-Kramers-Brillouin usuli klassik jihatdan taqiqlangan sohalarida to‘lqin funksiyasining eksponensial kamayishini ifodalaydi[1]. Bunga ko‘ra, tunnel ehtimolligi quyidagicha aniqlanadi:

$$T \approx e^{-2 \int_{x_1}^{x_2} k(x) dx} \quad (1)$$

bu yerda x_1 va x_2 potensial to‘siqning chegara nuqtalari, $k(x)$ to‘lqin vektori:

$$k = \frac{\sqrt{2m(U(x) - E)}}{\hbar} \quad (2)$$

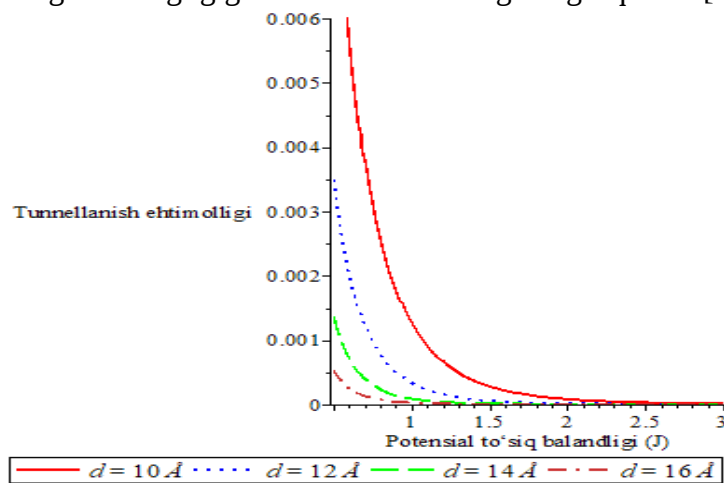
Agar, potensial barier balandligi $U(x) - E = q\phi$ ga teng bo'lsa, integral quyidagicha yoziladi

$$\int_{x_1}^{x_2} k(x) dx = \int_0^d \frac{\sqrt{2mq\phi}}{\hbar} dx = \frac{\sqrt{2mq\phi}}{\hbar} d \quad (3)$$

(2) ni (1) ifodaga olib borib qo'ysak, $Au - SiO_2 - Si$ tunnel diodi uchun tunnellanish ehtimolligi uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz.

$$T \approx e^{-2d\frac{\sqrt{2mq\phi}}{\hbar}} \quad (4)$$

(4) ifodadan ko'rinib turibdiki, $Au - SiO_2 - Si$ tunnel diodlarining tunnellanish ehtimolligi potensial to'siq balandligi va kengligiga hamda modda turiga bog'liq ekan.[1]



1-rasm. Tunnellanish ehtimolligining potensial to'siq balandligiga bog'liqligi

Yuqoridagi (4) ifodadan foydalanib $Au - SiO_2 - Si$ tunnel diodlarining tunnellanish ehtimoligini potensial to'siq kengligini turli qiymatlarida potensial to'siq balandligiga bog'liqligini grafik orqali ifodaladik. Grafikdan ko'rinib turibdiki, potensial to'siq balandligi oshgan sari tunnellanish ehtimolligi eksponensial kamayadi. Shuningdek, potensial to'siq kengligining ham tunnellanish ehtimolligiga ta'siri sezilarli darajada ekanligi namoyon bo'ladi. Katta potensial to'siqlarda elektronlarning tunnellanish ehtimolligi juda kichik bo'lib qoladi, bu esa tunnel diodlarning ishlash samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi. Tunnel diodlarining tunnellanish xususiyatlari ularning mikroelektronika sohasidagi muhim o'rnini belgilaydi. Tunnel diodlar ultratezkor elektron qurilmalarda, past quvvat sarflaydigan mikrosxemalarda va yuqori chastotali generatorlarda keng qo'llaniladi[2].

Tunnel diodlarining ishlash samaradorligi potensial to'siq balandligi va kengligiga bevosita bog'liq ekanligi aniqlandi. Potensial to'siq balandligi oshganda tunnellanish ehtimolligi keskin kamaydi, bu esa tunnel diodlarining ishlash parametrlarini yaxshilashda muhim ahamiyatga egaligini ko'rsatadi. Bundan tashqari, potensial to'siq kengligi ham tunnellanish ehtimolligiga ta'sir qilishi aniqlangan. To'siq kengligi ortishi natijasida elektronlarning tunnellanish ehtimolligi sezilarli darajada kamayadi, bu esa material tanlashda muhim omil hisoblanadi. Ushbu tadqiqot natijalari tunnel diodlarning samaradorligini oshirish va ularni turli xil mikroelektronika qurilmalarida qo'llash imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons.
2. Tunnel junction I (V) characteristics: Review and a new model for p-n homojunctions N. Moulin, Mohamed Amara, F. Mandorlo, M. Lemiti//Journal of Applied Physics.-2019, 126 (3).

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ СО СТУПЕНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ**

М.Каримов¹, М.Отабаев¹

¹Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан

Экспериментально и путем моделирования обнаружено, так называемое, резонансное деканалирование ионов при переходе из осевых в плоскостные каналы, состоящие в интенсивной раскачке поперечных колебаний каналированных ионов при совпадении периода собственных колебаний ионов в каналах с временем пролета между соседними атомными цепочками. Этот эффект был использован для измерения межатомных потенциалов в твердых телах и для оценки величины заряда ионов в кристаллах.

Общей особенностью, характерной практически для всех спектров, измеренных в условиях осевого каналирования, является наличие пиков в приповерхностной области и повышение в несколько раз выхода рассеяния по сравнению с исходным необлученным кристаллом. При исследовании повреждений структуры кристаллов методом рассеяния ионов рассматривают в основном две группы дефектов: дефекты блокирующего типа (точечные дефекты, их скопления) и дефекты протяженного типа (дислокации, дефекты упаковки, пузырьки и т.д.), которые при взаимодействии с анализирующим пучком вызывают в основном деканалирование частиц. Частицы, захваченные в канал покидают его через некоторое время, при деканалировании частиц.

Интерес к изучению траектории деканалированных частиц в настоящее время весьма велик, так как при изучении траектории можно получить подробную информацию об энергии и места положения иона.

Нами была исследована траектория деканалированных ионов Ne^+ при бомбардировки ступенчатой поверхности $\text{InP}(100)\langle 110 \rangle$ с начальной энергией $E_0=5$ кэВ, при угле скольжения $\psi=7^\circ$.

При скользящем падении ионов на открытой части этой поверхности наблюдаются рассеяния ионов, часть которых захватывается в каналы который состоит только из атомов Ga и P. Следует отметить, что в этом случае канал образуется за счёт моноатомных ступенек, которые состоят из атомов P.

На рис.1 представлена характерная траектория деканалированного иона Ne^+ при бомбардировки ступенчатой поверхности $\text{InP}(100)\langle 110 \rangle$ с начальной энергией $E_0=5$ кэВ, при угле скольжения $\psi=7^\circ$.

Видно, что траектория деканалированных частиц имеет зигзагообразную траекторию, что даёт возможность сделать вывод о многократном последовательном столкновении иона с атомами одного ряда.

Наши расчёты показали, что деканализованные ионы Ne^+ имеют следующие параметры: коэффициент столкновения с атомными цепочками равен 60, угол рассеяния иона в конце столкновения $\theta=85,42^\circ$, энергия деканализованного иона $E=567$ эВ, неупругие потери энергии $E=1160$ эВ, упругие потери энергии $E=3273$ эВ, длина пробега иона внутри канала равна $k=247,04$ Å.

Следует отметить, что угол рассеяния деканализованного иона зависит от параметров столкновения.

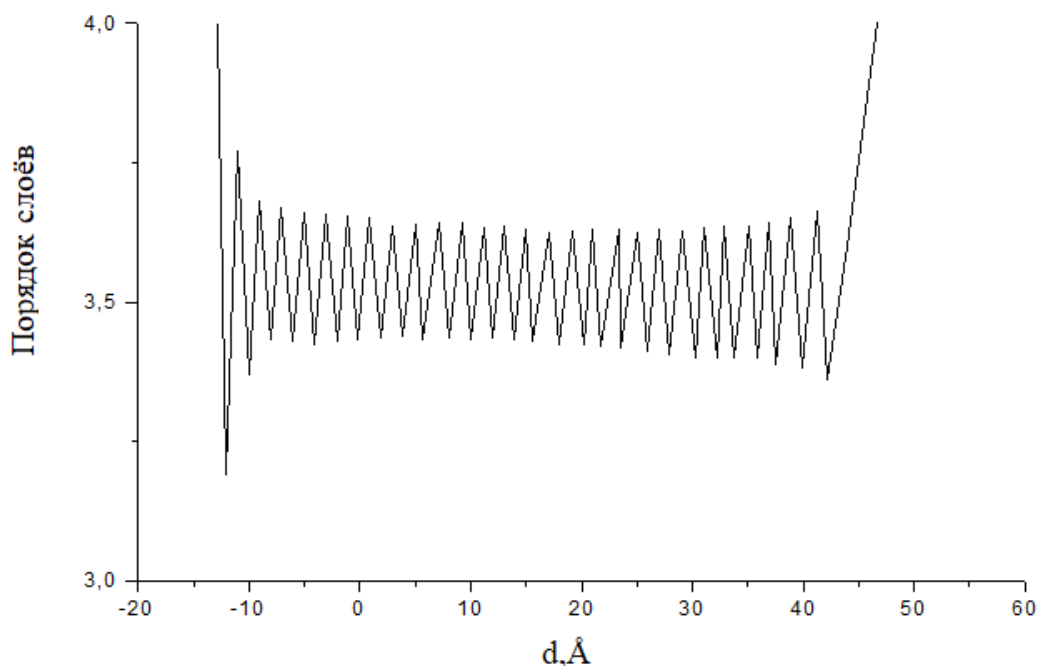


Рис.1. Характерная траектория деканализованного иона Ne^+ при бомбардировке ступенчатой поверхности $\text{InP}(100)\langle 110 \rangle$ с начальной энергией $E_0=5$ кэВ при угле скольжения $\psi=7^\circ$ [217]

Таким образом исследованы процессы рассеяния ионов Ne^+ при их скользящем падении на поверхность монокристалла $\text{InP}(100)$, имеющие дефекты в приповерхностных областях. Показано, что дефекты, находящиеся в приповерхностной области двухкомпонентных монокристаллов, сильно влияют на процесс рассеяния ионов.

Наличие дефектов является основным фактором проникновению падающих частиц глубже в кристалл. Эти частицы либо остаются в кристалле, либо отражаются с глубоких атомных слоёв. При отражении ионов от нижних слоев приповерхностной области наблюдаются сложные траектории ионов, которые являются основой объяснений процессов каналирования, деканалирования, имплантации и многократная перефокусировки.

Анализируются угловые и энергетические распределения рассеянных частиц с дефектных поверхностей двухкомпонентных монокристаллов. Показано, что в отличие от рассеяния ионов идеальной поверхностью, рассеяние ионов в данном случае происходит вплоть до $\theta \leq 180^\circ$. Установлено, что образования пиков в низкоэнергетической части энергетического спектра рассеянных частиц, обусловлено деканализованными ионами, отраженных с более глубоких приповерхностных слоев кристалла.

Based on the analysis of changes in the surface state density along the Si bandgap in structures exposed to external influences, it was determined that the integral density of states near the allowed band edges decreases, and its differential density distribution changes.

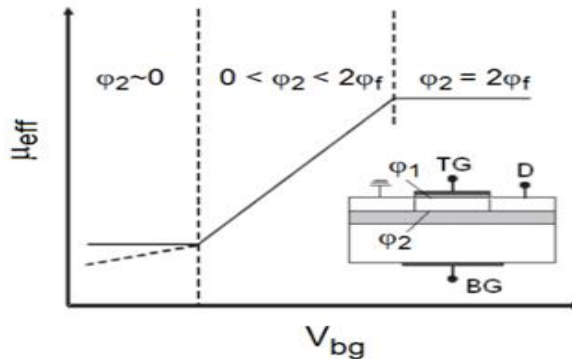


Figure 2. Dependence of electron mobility speed on potential under the influence of ultrasound in the Metal-Glass-Semiconductor structure

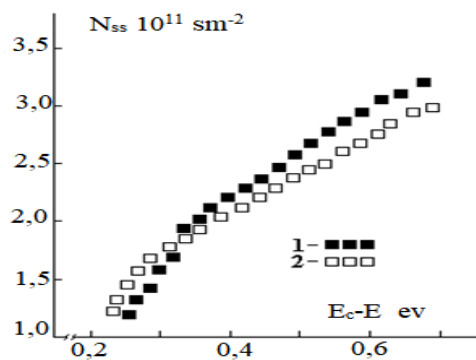


Figure 3. Distribution of the differential density of surface states in the investigated structures

The differential distribution of surface state density along the silicon bandgap is presented in Figure 3. for control structures (curve 1) and structures subjected to UV radiation treatment (curve 2). The conducted studies suggest that comprehensive UV radiation treatment of silicon-based MDS structures alters the surface state density, leading to a reduction in surface generation current. A decrease in surface generation current results in an increase in photosensitivity.

Comparison with the results of the previous section shows that pressure and UV radiation effects on structures composed of Si-glass and Si-silicon dioxide layers lead to a decrease in surface state density and slow down the formation of the inversion layer charge in darkness.

REFERENCES

1. J. N. Reddy, *Theory and analysis of elastic plates and shells* (CRC Press, Boca Raton 1999).
2. S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of plates and shells 2* (McGraw-hill, New York 1959).
3. A. R. Rzhantsyn, *Construction Mechanics* (Higher School, Moscow, 1982), p. 200.
4. J. N. Reddy, *Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis* (CRC Press, Boca Raton, 2004).

5. A. V. Sachenkov, *Theoretical and experimental method for studying the stability of plates and shells* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 6-7 (Kazan Publishing House, University, 1970).
6. A. V. Sachenkov and A. K. Shalabanov, *Investigation of free vibrations of sector plates and conical panels by the theoretical and experimental method* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 9 (Kazan Publishing House, University, 1972).
7. A. V. Sachenkov and Yu. P. Artyukhin, *Experimental solution of problems on free oscillations and stability of plates and flat shells* Collection: *Studies on the theory of plates and shells* 6-7 (Kazan Publishing House, University, 1970).
8. A. D. Kovalenko, Ya. M. Grigorenko and A. A. Ilyin, *Theory of thin conical shells and its applications in mechanical engineering* (Naukova Dumka, Kiev, 1963), p. 287

ОСОБЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕРАМИ АТОМОВ МАРГАНЦА ДЛЯ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Ш.Н.Ибодуллаев, О.М.Бегимов, Й.А. Абдуганиев, Ж.У.Шухратович, А.С. Каримов
Ташкентский государственный технический университет, 100095, ул. Университетская
2, Ташкент, Узбекистан

E-mail: shakhboz.ibodullayev.92@inbox.ru

Аннотация. Показано, что кремний с нанокластерами атомов марганца *p*-типа обладает высокой примесной фотопроводимостью в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм. Определены оптимальные электрические параметры материала, в котором наблюдается аномально большая фоточувствительность, сравнимая с собственной, в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм. Даже при достаточно высоких температурах ($T=300$ К), материал обладает достаточной высокой фоточувствительностью в области $\lambda=1,7-1$ мкм, позволяя создать высокочувствительные фотоприемники на его основе.

Ключевые слова: *кремний, кластер марганца, фоточувствительность*

Как известно в современных оптоэлектронных устройствах и в системе волоконно-оптической связи используется фотоприёмники, работающие в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм [1-2-3]. В настоящее время такие фотоприемники изготавливаются на основе гетероструктур A^3B^5 [4-5-6]. Использование кремния основного материала электронной техники для фотоприемников в указанной области спектра невозможно, из-за особенности структуры энергетических зон этого материала [7]. В данной работе приводятся оригинальные экспериментальные результаты по исследованию фотоэлектрических свойств кремния с нанокластерами атомов марганца, позволяющие разработать достаточно чувствительные фотоприемники в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм.

Условия диффузионного легирования выбирались с таким образом, чтобы получить после легирования образцы *p*-типа [8-9] проводимости с $\rho=10^3 \div 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$, так-как в таких образцах наблюдается самая высокая фоточувствительность.

Диффузия марганца проводилась из газовой фазы при температуре $T=1075 \div 1080$ °C -в течение 70÷90 минут с последующим резким охлаждением[10]. После диффузии поверхность образцов подвергалась необходимой механической и химической обработке

для удаления низкоомного поверхностного слоя. Электрические параметры образцов были исследованы методом эффекта Холла. Основные электрические параметры образцов представлены в Табл. 1.

1 Таблица. Основные электрические параметры образцов представлены

№	Удельное сопротивление $\rho, \Omega \cdot \text{см}$	Концентрация носителей $N, \text{см}^{-3}$	Подвижность $\mu, \text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	Положение уровня Ферми $F, \text{эВ}$	Температура диффузии $T_{\text{diff}} ^\circ\text{C}$
1	$5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{13}$	96	0,36	1075
2	$6,3 \cdot 10^3$	$1,78 \cdot 10^{13}$	55	0,35	1078
3	$5,8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{12}$	67	0,41	1081

Спектральная зависимость фотопроводимости образцов исследовались в области $\lambda=1,5 \div 2$ мкм. Образцы помещались в специальный криостат на основе установки ИКС-21. Чтобы обеспечить одинаковую мощность падающего ИК излучения ($P=10^{-5}$ Вт) в исследуемом диапазоне длин волн были использованы калиброванные сетчатые фильтры. А чтобы устранить попадание коротковолнового фонового света на образец был использован фильтр из полированной кремниевой пластины толщиной 380 мкм перед окном криостата. При этом мощность ИК излучения во всем исследуемом интервале длин волн была 10^{-5} Вт.

На рисунке 1 представлены спектральные зависимости фототока в интервале $\lambda=1,5 \div 2$ мкм. Особенности этих результатов заключаются в том, что в исследуемом интервале спектра фототок имеет не только очень высокое значение, не характерное для примесной фотопроводимости, а дальнейшее увеличение энергии фотонов до $h\nu=1$ эВ, не приводит к заметному росту фототока. Даже снятие кремниевого фильтра и использование собственного поглощения не приводит к росту фототока. Это означает, что в области $h\nu=0,65 \div 0,78$ эВ образец обладает практически такой же фоточувствительностью, как при собственном поглощении.

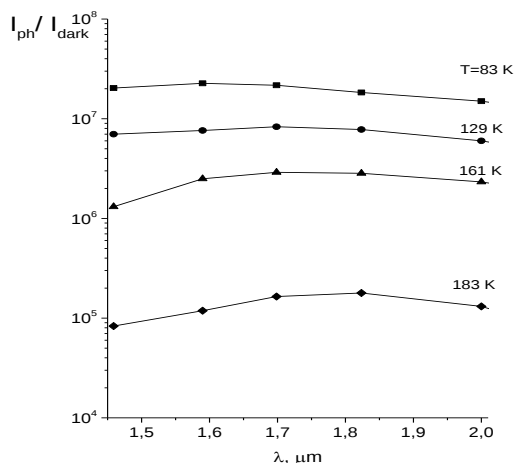


Рис. 1. Спектральные зависимости относительного изменения фототока при различных температурах.

Квантовая эффективность является один из основных параметров фотоприемника. Квантовая эффективность (QE) – физическая величина, равная отношению числа носителей

заряда (N_p) образованных при освещении образца, к общему числу поглощенных фотонов (N_{ph}).

Так как точное значение коэффициента усиления фотоприемника неизвестно, то квантовый выход вычислялся относительно квантового выхода собственного фотоэффекта, с использованием токовой чувствительности. На рис. 2 представлена расчетная зависимость QE фотоприемника от длины волны падающих фотонов. Квантовый выход в области собственного поглощения считался равным 25%.

Как видно из рисунка 2 разработанный фотоприемник на основе кремния с нанокластерами атомов марганца обеспечивают квантовую эффективность QE порядка ~25% до длины волны 1,5 μm и около 2 % на длине волны 2 μm . Это позволяет использовать примесную чувствительность кремния с нанокластерами атомов марганца для создания высокоразрешающих матричных фотоприемников на основе кремния в диапазоне до 2 μm .

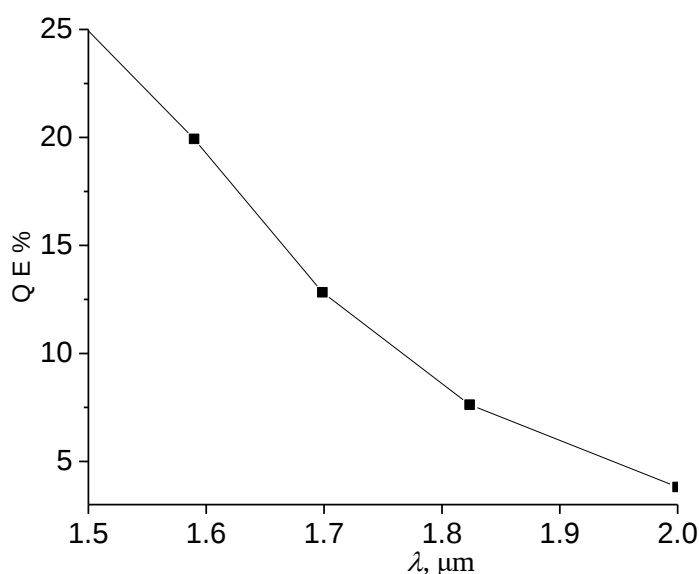


Рис. 2 Зависимость квантовой эффективности от длины волны

Такая аномально высокая примесная фоточувствительность позволяет использовать кремний с нанокластерами марганца при создании чувствительных ИК-приемников в области $\lambda=1,5\div 2$ мкм.

Литература

1. By Sabah K. Bux, Richard G. Blair, Pawan K. Gogna, Hohyun Lee, Gang Chen, Mildred S. Dresselhaus, Richard B. Kaner, and Jean-Pierre Fleurial Nanostructured Bulk Silicon as an Effective Thermoelectric Material. *Advanced Functional Materials*, (2009) 19, 2445–2452.
2. Трищенко М. А., Таубкин И. И., Филачев А. М. *Твердотельная фотоэлектроника: Сегодня и завтра. Третья часть - Электронная техника. Серия 2./ Полупроводниковые приборы*. 2010. С. 31-44
3. В.И. Стафеев, К.О. Болтарь, // ФТП. 2005. Т. 39. В. 10. С. 1257–1265.
4. Виктор Волков. // *Электронные компоненты* 2008. № 1. С.1-6.
5. Giri Joshi, Hohyun Lee, Yucheng Lan, Xiaowei Wang, Gaohua Zhu, Dezhi Wang, Ryan W. Gould, Diana C. Cuff, Ming Y. Tang, Mildred S. Dresselhaus, Gang Chen, and Zhifeng Ren

- Enhanced Thermoelectric Figure-of-Merit in Nanostructured p-type Silicon Germanium Bulk Alloys. Nano Letters, , (2008) Vol. 8No. 12, 4670–4674.
6. A. K. Будтолаев, A. K. Будтолаева, Н. В. Кравченко.//Усп. Прикл. Физ. 2018. Т. 6. В. 6. С. 494-499.
 7. Бахадырханов М.К., Мавлонов Г.Х., Исамов С.Б., Илиев Х.М., Аюпов К.С., Сапарниязова З.М., Тачилин С.А., Неорг. мат. **47** (5), 545(2011).
 8. Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Isamov S.B. Negative Magnetoresistance in Silicon with Manganese Atom Complexes [Mn]4. Semiconductors, (2010) Vol. 44, No. 9, pp. 1145–1148.
 9. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlonov G.Kh., Isamov S.B., Iliev Kh.M., Ayupov K.S., Saparniyazova Z.M., and Tachilin S.A. Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low Temperature Diffusion. Inorganic Materials, (2011) Vol. 47, No. 5, pp. 479-483.
 10. Kreissl J., Gehlhoff W. Electron Paramagnetic Resonance of the Cluster in Silicon. Phys. Status Solidi. B. V. (1988) 145. P. 609.

$Bi_2(B^{VI})_3$ VA $Sb_2(B^{VI})_3$, $(B^{VI}-Se, Te)$ ASOSIDAGI BIRIKMALARNING TUZILISHI

K.I.G‘aynazarova

Farg‘ona davlat universiteti

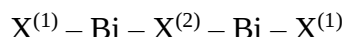
So‘ngi yillarda fan va texnikaning keng rivojlanishi natijasida yarimo‘tkazgich materiallarga bo‘lgan talab, elektr energetikaning texnologiyalar bo‘yicha kelajakda elektr ta‘minotida qilinadigan ishlarni keng ko‘lamini ochib bermoqda. Ular asosida yarimo‘tkazgich asboblari, energiya o‘zgartirgich asboblari, avtonom tok manbalari termobatareyalari, kompyuter- texnikasi kabi asboblarda keng qo‘llanilmoqda. Bularning hammasi termoelektrik materiallarini olish texnologiyasi turlicha usullarda amalga oshirilsa, bu usullarda olingan materiallarning xarakteristikalari ham turlicha bo‘ladi.

Shunga ko‘ra termoelektrik material olish usullarning o‘ziga xos yutuq va kamchiliklari mavjud. Shuning uchun inert gaz bosimi ostida $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ termoelektrik materialini olishni ko‘rib o‘tamiz. Ma‘lumki qotishmaga kiruvchi moddalar turli zavodlarda ishlab chiqiladi, ularning tozalik darajasi ham turlicha bo‘ladi. Bunday moddalardan olingan qotishmalar ayrim vaqtlarda talab darajasidagi xarakteristikani bermaydi. n-tipli materiallar uchun vismut telluridi va vismut selenidning termoe.yu.k. koeffitsienti va elektr o‘tkazuvchanligi sezilarli darajada farq qilishi mumkinligi sabab, qotishma tarkibi kata ahamiytga ega hisoblanadi. n-tipli vismut telluridi va vismut selenid qotishmasi termoelektrik parametrlari p-tipli materiallar kabi emas. Bunga sabab, qotishma tarkibi murakkab kristall panjaraga ega ekanligi va undagi issiqlik o‘tkazuvchanligidir.

Vismut telluridi o‘zining issiqlik o‘tkazuvchanligi pastligi tufayli xona haroratida qo‘llanilishi uchun asosiy termoelektrik materialdir [1].

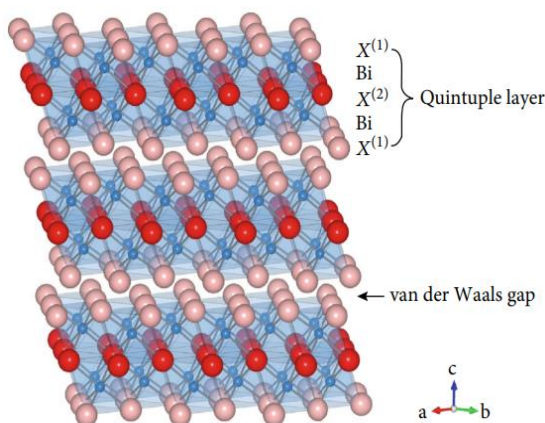
$Bi_2Te_{3-x}Se_x$ kristall strukturasi $X^{(1)} - Bi - X^{(2)} - Bi - X^{(1)}$ ning beshta qatlamlaridan iborat bo‘lib, bunda X Te yoki Se ni ifodalaydi va qavs ichidagi son ikki vismut orasidagi belgini bildiradi. $X^{(2)}$ o‘rnini Se egallaydi va qotishma Bi_2Te_2Se tarkibida tartiblangan birikma hosil qiladi.

Vismut telluridi, vismut selenidi tetradimit kristalli tuzilishga ega.



Bu yerda qavs ichidagi raqam ikkita xalkogen (X) joylarini bildiradi. $X^{(1)}$ halkogen atomlari uchta Bi atomi bilan kovalent bog'langan va boshqa uchta $X^{(1)}$ atomlari bilan zaifroq Van der Waals kuchlari bilan bog'langan. Vismut atomlari halkogen atomlari tomonidan oktaedral, $X^{(2)}$ atomlari esa Bi tomonidan oktaedraldir.

Bi- $X^{(1)}$ bog'lanish kovalent bog'lanish, Bi- $X^{(2)}$ bog'lanish esa ionli bog'langan. Har bir xalkogenning bog'lanishdagi farqi kristall panjaraning elektr va issiqlik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.



1-rasm. Bi_2Te_2Se kristall tuzilishi.

Bu o'ziga hoslik Bi_2Te_3 da tartibga solingan birikma hosil bo'lishiga olib keladi, u qotishma paytida xalkogen joyi o'zgaradigan chegara nuqtasi bo'lib xizmat qiladi.

Bi_2Te_2Se kristall tuzilishi olimlarimiz tomonidan juda ko'p o'rganilgan. Lekin, $300^\circ C$ ga yaqin haroratlarda faza $x = 0,5$ va $x = 1,4$ ga yaqin birikmalarga ega bo'lgan ikkita birikmaga bo'linadi.

n-tipli $Bi_2Te_{3-x}Se_x$ qotishma tizimini shundan ham murakkab kristall tuzilishga ega ekanligini bilish mumkin.

Qotishmada vismut miqdorini ortishi bilan uning kristall tuzilishi o'zgarib borishi kuzatiladi. Qachonki, n-tip va p- tipga asoslanadi. Olingan materialning xizmatiga bog'liq holda tellurid vismut asosida turli uslublar bilan ikkilik, uchlik va murakkab birikmalarni olish mumkin. Bu vaqtda ularning barcha parametrlariga ta'sir qiladi. quyidagi sharoitlarga amal qilish zarur: tigel materiali erishini qayt etmaslik kerak: u oksidlanishdan saqlanishi zarur; tushib qolgan begona atomlar tigel devorini ho'llamasligi kerak.

Adabiyotlar

1. Azimov, T., Gajnarova, K., & Onarkulov, K. (2020). Method for determining the contact resistance of thermoelements. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, 2(5), 11.
2. Karimberdi, O., Usmanov, Y., & Toolanboy, A. (2020). Semiconductor sensor for detecting volume changes at low temperatures. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(2), 2353-2358.
3. Kizlarkhan Gaynazarova, Gulsunoy Hoshimova. Crystallographic structure, texture and preferential orientation in veils. Scientific aspects and trends in the field of scientific research International scientific-online conference Part 9 APRIL 30th collections of scientific works Warsaw 2023.

4. G'aynazarova Kizlarxon Isroilovna. Characteristics of mobility in tertiary solid solutions. Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах» Фергана-2023.с.112-114.

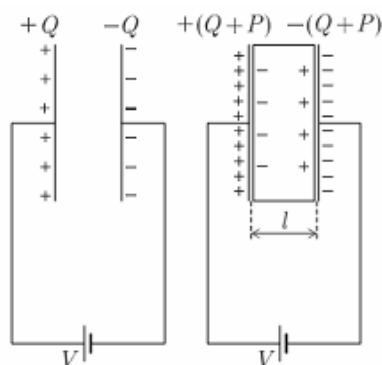
YASSI KONDENSATOR MISOLIDA DIELEKTRIK MATERIALLARNING ELEKTR MAYDONGA TA'SIRI.

L. A. Abdullayev¹, R. X.Ibragimov¹, D. D. Yusupov¹

¹Namangan davlat universiteti

e-mail: raximjon2018@gmail.com

Elektr maydon qo'yilgandagi ta'sirga material ta'siri xarakterini yassi kondensator misolida osongina tasavvur etish mumkin. Shunday kondensatorni vakuumda d masofada joylashgan plastinalariga o'zgaras potentsiallar farqi qo'yilgan bo'lsin. Chekkalaridagi effektlarni hisobga olmay aytish mumkinki, E -elektr maydoni plastinalar orasida bir jinsli va $E = \frac{U}{d}$ kattalikka teng. Aytish kerakki elektr maydoni faqat kattalikka emas, balki yo'nalishga ham ega, shuning uchun $\vec{E}$ belgilash bilan uni to'la vektor kattalik deb ataymiz. Uning komponentlari E_x , E_y , E_z . Ko'rilayotgan xolda maydon plastinaga perpendikulyar yo'nalgan va Kulon qonuniga ko'ra plastinalardagi zaryadlar $+Q$ va $-Q$ zichligi maydonga tog'ri proporsional ya'ni $Q = \epsilon_0 E$. ϵ_0 - vakuumda dielektrik kirituvchanlik deyiladi. $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Kondensator sig'imi vakuumda birlik yuzasiga C_0 zaryad zichligini qo'yilgan kuchlanishga nisbatiga teng. $C_0 = \frac{Q}{V}$.



1-rasm. Yassi kondensator plastinalaridagi zaryadlarni (a) vakuum xolida va (b) dielektrik borligida.

Endi plastinalari orasida bizni qiziqtirgan material bo'lgan xolni ko'ramiz 1-rasm (b). Qo'yilgan kuchlanish ta'siri ostida materialdagi zaryadlar (elektron va pratonlar) qayta taqsimlanadi. Chunki musbat zaryadlar manfiy elektrodga tortiladi va manfiylar aksincha musbatga. Bu hodisaga materialni qutblanishi deyiladi. Agar material izotrop bo'lsa elektr maydon ta'siri har bir elementar dV hajmda PdV dipole momentni yuzaga keltiradi va ular maydonga parallel yo'nalganlar. Qutblanish P shunday qilib xuddi vektor kattalik kabi aniqlanadi va u tashqi maydonni materialda yuzaga keltirgan yo'nalishga ega elektr momentini ifodalaydi. Qutblangan materialni har bir hajm elementi elektr nuqtai nazaridan ikkita $+q$ va $-q$ zaryadni l masofada maydon bo'ylab turganini va $Ql = PdV$ dipol moment momentga egaligini anglatadi. Bu dipollar

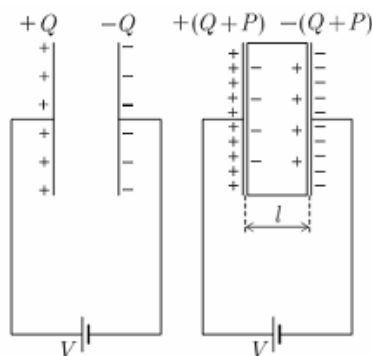
magnetiklarga o'xshab yig'iladi va elektrodga yaqin sirtga $+P$ va $-P$ zichlik bilan zaryadlar yuzaga keladi. Grin teoremasidan foydalanib, materialda bir jinsli qutblanish P evaziga yuzaga kelgan maydon chegara sirtga taqsimlangan P_n zaryad mavjudligida hosil bo'lgan maydonga ekvivalent ekanini qat'iy ko'rsatish mumkin. Bu yerda P_n sirtidagi qutblanishni normal komponentasi. Qutblanish mavjudligi, yoki bog'langan zaryadlar bildiradiki, kondensator elektrodlariga katta zaryad zaxiralash mumkin. shunday qilib tizim saig'imi ortadi. Bu sig'imni vakuumdagi sig'imga nisbati materialga bog'liq bo'lib u unga qutblanish kiritilishi bilan aniqlanadi. Bu nisbat qo'yilgan kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi va o'z navbatida elektr maydonga ham uni materialni dielektrik doimiysi deyiladi. Vektor belgilashdan foydalanib quyidagicha olamiz.

$$\epsilon = \frac{\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}{\epsilon_0 \vec{E}} = 1 + \frac{\vec{P}}{\epsilon_0 \vec{E}} = 1 + \chi$$

Bu yerda $\chi = P/\epsilon_0 \vec{E}$ elektrik qabul qiluvchilik deyiladi. $\epsilon_0 \epsilon \vec{E}$ kattalik materialni siljishi D deyiladi. U quyidagicha aniqlanadi.

$$D = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} + P.$$

Bu elektr maydonni asosiy tenglamasi bo'lib, izotrop muhitning ixtiyoriy nuqtasida bajariladi. $\epsilon_0 \epsilon$ kattalik materialning absolyut dielektrik kirituvchanligi deyiladi. Yuqoridagi dielektrik doimiy kirituvchanlik ϵ' deb atash kerak (vakuumdagi dielektrik kirituvchanlikka nisbatan). Keyinchalik doimo shu terminni qo'llaymiz. Elektr siljish oqimi ozod zaryadlarda boshlanib ularda tugaydi va xatto ikki muhit chegarasida ham uzliksizligi saqlanadi. Elektr maydon esa aksincha, ikki muhit chegarasida ulardagi qutblanishlar farq qilgani uchun uzilishga uchraydi. Qutblanishni molekulyar darajada qarab aytish mumkinki tashqi elektr maydon ta'siri har bir alohida molekulada $\vec{m}$ elektr dipolni indutsirlashdan iborat bo'lib, elektr maydonni E' mahalliy kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi. $\vec{m} = \alpha \vec{E}'$. α – proporsionallik koefitsiyentini molekulani qutblanuvchanligi deyiladi. Izotrop molekullar uchun shu bilan birga inert gazlar ning bir atomli molekullari uchun ham indutsirlangan dipollar yo'nalishi o'rtacha xolda tashqi maydon yo'nalishi bilan mos keladi.



(Chunki lokal maydon, keyinchalik ko'rib o'tadiganimizdek, tashqi to'la maydonga to'g'ri proporsional $\vec{m} = const. E$). Birlik hajmni to'la dipol moment qutblanishi birlik hajmdagi nomolekulalar soniga bog'liq $\vec{P} = N_0 \alpha \vec{E}'$.

Ko'p xollarda molekullar anizotrop va ularning qutblanuvchanligi tashqi maydon yo'nalishiga bog'liqligi uchun indutsirlangan dipol yo'nalishi tashqi maydon yo'nalishi bilan mos kelmaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. 1.Anke Krueger, Ed. Carbon Materials and Nanotechnology. 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
2. 2.Kao, Kwan Chi. Dielectric phenomena in solids: with emphasis on physical concepts of electronic processes. 2004, Elsevier, Inc.
3. 3.Fire Retardancy of Polymers. New Strategies and Mechanisms. Edited by T Richard Hull, BaHinder K Kandola. Royal Society of Chemistry 2009
4. Э.Р.Блайт, Д.Блур. Электрические свойства полимеров. Пер. с англ. – М.:Физматлит, 2008.-376 с.

SIZE-DEPENDENT ENERGY LEVELS AND BAND GAPS

N. M. Komilova

Fergana State University

Quantum dots are nanostructures where carriers (electrons and holes) are confined in all three dimensions, leading to quantized energy levels that are size-dependent. These semiconductor quantum dots exhibit unique electronic properties, making them important for various technological applications, including optoelectronics and nanophotonics.

The nanostructures in which the carriers (electrons and holes) are confined within nanometer sized regions in all three dimensions are called quantum dots. Although such a confinement can be effected in semiconductors as well as metals and ceramics, the term quantum dot is more commonly reserved for the semiconductor particles. A nanoparticle of a semiconductor, few nm in size, covered with a layer of a higher band gap semiconductor, is an example of a quantum dot. Such structures can be fabricated by colloidal chemistry, lithography or by epitaxial growth. In the first case the quantum dots are free standing while in the latter two, the quantum dots are fabricated into arrays on a substrate. In this section we discuss the semiconductor quantum dots in some detail because they are an important class of nanostructures.

A quantum dot has to be small enough such that the separation between its energy levels exceeds kT – otherwise the discreteness of the energy levels is smeared out as the thermal energy would be sufficient to excite the electrons to higher energy levels. At room temperature (300 K) $kT = 26meV$. As a rule of thumb, the separation between the energy levels should be $3 kT$. The spacing between the energy levels, ΔE , varies as $\frac{1}{L^2}$. Calculations show, for example, that for InAs the size of the quantum dot should not be larger than 20 nm.

The lower limit to the size of the quantum dot is fixed by the requirement that at least one electron must be contained in it. This lower critical size is relatively large for semiconductors in comparison to metals and insulators. The optimum size for an InAs quantum dot, for example, is between 4 and 20 nm.

The energy levels in a quantum dot are quantized like in an atom, the difference being that in a quantum dot the separation between the energy levels is smaller than that in the atoms; moreover, this separation depends on the size of the quantum dot, the smaller quantum dots having a larger separation between the energy levels.

Figure. 1 compares the E vs. k dispersion relations for a bulk and a quantum dot. In the bulk solid, the points are so closely spaced the E vs. k curve that the curve is quasicontinuous. In the quantum dot, there are discrete and well separated energy levels, with the lowest energy (the zero point energy) being different from zero. As a result, the band gap between the lowest energy levels for the electrons and holes is larger in a quantum dot than in the bulk.

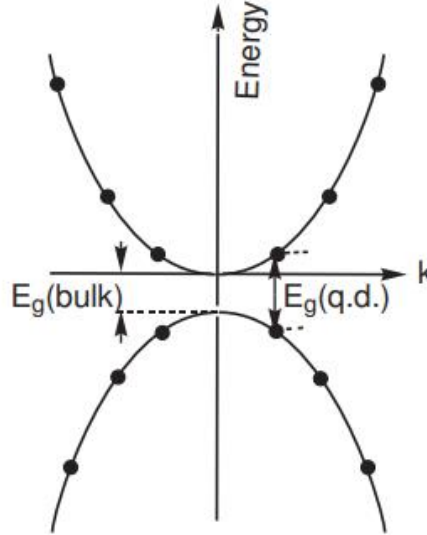


Fig. 1. Comparison of the dispersion (E vs K) relations for bulk semiconductor and a quantum dot. In the bulk the states are quasicontinuous and are shown by the continuous parabola. In a quantum dot, the states are discrete as shown by the points on the parabola. The band gap for the quantum dot is larger than that for the bulk.

The band gap for the quantum dot is equal to the sum of the bulk band gap and the confinement energy for the electron and the hole. The confinement energy is given by

$$E_{conf} = \frac{h^2}{2m^* l^2}$$

where m^* is called the reduced mass of the exciton and is related to the masses of the electron and the hole by the relation

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h}$$

In addition to the two terms mentioned above, there is a third term which also contributes to the band gap. This is the Coulombic attraction between the hole and the electron and is given by .

$$E_{coul} = -\frac{1.8e^2}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}$$

The expression for the band gap of a quantum dot can then be written as

$$E_{g(dot)} = E_{g(bulk)} + E_{conf} + E_{coulomb} = E_{g(bulk)} + \frac{h^2}{2m^* l^2} - \frac{1.8e^2}{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}$$

Because of the inverse l^2 dependence, the positive term is dominant at low values of l and the band gap increases as the size of the dot decreases.

The band gap of semiconductor quantum dots can be estimated from their absorption spectra.

The energy levels in quantum dots are quantized, with the separation between these levels becoming smaller as the size of the quantum dot increases. This size-dependent behavior significantly influences the electronic properties of quantum dots. The band gap of a quantum dot is determined by the bulk band gap, confinement energy, and Coulombic interactions between electrons and holes. As the quantum dot size decreases, the band gap increases, emphasizing the importance of precise size control for quantum dot applications.

Literature

1. C. H. W. Barnes. Quantum electronics in semiconductors. Cavendish Laboratory, University of Cambridge, 2021.
2. "Quantum Hall Effect in a Magnetic Field: Analysis of Bloch Electrons" by Haldane, F. D. M. (Physical Review Letters, 1988)

YANGI AVLOD YARIMO‘TKAZGICHLARI- PEROVSKITLAR, ULARNING XUSUSIYATLARI VA TEXNOLOGIK IMKONIYATLARI

N. G‘.Ibragimova¹, R. X.Ibragimov¹, N. Y.Sharibayev²

¹*Namangan davlat universiteti;*

²*Namangan davlat texnika universiteti professori*

usmonovanilufar1007@gmail.com; raximjon2018@gmail.com

Yarimo‘tkazgich materiallar zamonaviy elektronika sohasida asosiy tarkibiy qismlardan hisoblanadi. So‘ngi yillarda dunyoning nufuzli ilmiy markazlarida chuqur tadqiq qilinayotgan mavzulardan biri-perovskit materiallari, ularning xususiyatlari, foydali va kamchilik tomonlari bo‘lmoqda, chunki bu materiallar quyosh elementlari, yorug‘lik chiqaruvchi diodlar (LED), lazerlar, fotodetektor va tranzistorlar kabi turli qurilmalarda istiqbolli variant bo‘lishi kutilmoqda.

Perovskitlarning asosiy xususiyatlari. Perovskitlar ABX_3 umumiy formulaga ega bo‘lib, bunda A-organik yoki noorganik kation (Cs^+ , $CH_3NH_3^+$ (MA)); B-metal kation (Pb^{2+} , Sn^{2+}); X-galogen anion (I^- , Br^- , Cl^-)

Perovskit yarimo‘tkazgichlarning taqiy zonasi qiymati 1,2 eV- 3,2 eV oralig‘ida bo‘lishi mumkin. Harorat va tashqi ta’sirlar taqiqlangan zona kengligini o‘zgartishi mumkin. Masalan, $CsSnI_3$ perovskiti harorat oshishi bilan taqiqlangan zona oshishi kuzatilgan kam sonli materiallardan biri bo‘lib, bu uni issiqlikka chidamli sensorlar uchun istiqbolli variantga aylantiradi.

Perovskitlarning barqarorligi va ekologik muammolari. Ushbu materiallar yuqori yorug‘lik yutish koeffitsiyenti, taqiqlangan zonaning sozlanishi va ishlab chiqarishdagi arzonligi bilan ajralib turadi. Ayniqsa $CsSnI_3$ kabi qo‘rg‘oshinsiz perovskitlar ekologik jihatdan xavfsiz bo‘lishi va yuqori samaradorlik ko‘rsatkichi bilan ahamiyat kasb etadi. $CsSnI_3$ perovskit yarimo‘tkazgich sifatida keng o‘rganilgan, xususan, birikmaning mexanik, elektron, optik, termodinamik va termoelektrik xususiyatlari birlamchi printsiplar asosida o‘rganilgan. Natijalar $CsSnI_3$ ning to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqiqlangan zonaga ega yarimo‘tkazgich ekanligini ko‘rsatadi[1]. $CsSnI_3$ ning elektron tuzilishi va optik xususiyatlari zichlik funksional nazariyasi (DFT) yordamida hisoblangan. Hisoblashlar $CsSnI_3$ ning yarimo‘tkazgich xatti-harakatini tasdiqlaydi[2]. $CsSnI_3$

perovskitining fotoelektrik xususiyatlari, jumladan, ideal taqiqlangan zona, uzoq tashuvchilar umr ko'rish muddati va yuqori yutilish koeffitsienti kabi xususiyatlari muhokama qilingan[3]. Yurorida keltirilgan ma'lumotlar CsSnI_3 perovskitining yarimo'tkazgich sifatidagi xususiyatlarini ilmiy asosda tasdiqlaydi.

CsSnI_3 (seziy qalay yodid) o'zining yarimo'tkazgichlik xususiyatlari bilan perovskit materiallar orasida alohida o'ringa ega. Uning ahamiyati quyidagi jihatlarda ko'rinadi:

Qo'rg'oshinsiz perovskit: Ko'pgina perovskit materiallari (masalan, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) tarkibida toksik qo'rg'oshin bo'lib, bu atrof-muhit va sog'liq uchun xavf tug'diradi. CsSnI_3 esa qo'rg'oshinsiz bo'lib, ekologik xavfsizroq alternativ hisoblanadi.

Tor taqiqlangan zona (band gap): CsSnI_3 nisbatan kichik taqiqlangan zonaga (taxminan 1.3 eV atrofida) ega bo'lib, bu uni samarali optoelektron material sifatida ishlatishga imkon beradi. Bu qiymat quyosh nuri spektriga mos kelib, fotovoltaiik ilovalarda foydali bo'lishi mumkin.

Yaxshi elektr o'tkazuvchanlik: Sn(II) tarkibidagi valent elektronlar yuqori harakatchanlikka ega bo'lib, bu materialning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi. Bu xususiyat CsSnI_3 ni termoelektrik, diod va tranzistor qurilmalari uchun ham istiqbolli qiladi.

Fotovoltaiik xususiyatlar: CsSnI_3 quyosh panellari uchun istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi, chunki u yorug'likni yaxshi yutadi va yuqori quvvatli energiya hosil qilishga yordam beradi. Ayniqsa, uni qo'rg'oshinsiz perovskit quyosh batareyalarida almashtirish material sifatida ishlatish mumkin.

Barqarorlik va strukturaviy moslashuvchanlik: Garchi Sn(II) oson oksidlanib, Sn(IV) ga o'tib ketsa-da, strukturaning moslashuvchanligi va qo'shimcha stabilizatsiya usullari yordamida uning barqarorligini oshirish mumkin.

Taqiqlangan Zona va uning haroratga bog'liqligi. Ko'pchilik an'anaviy yarimo'tkazgichlarda (Si, GaAs, InP) band gap harorat oshishi bilan kamayadi. Sabablari:

Elektron-fonon o'zaro ta'siri $\rightarrow$ elektronlar energiyasi pasayadi. Kristall panjaraning kengayishi $\rightarrow$ valent va o'tish zonalar orasidagi masofa qisqaradi. CsSnI_3 perovskiti uchun 9 K dan 300 K gacha bo'lgan harorat oralig'ida taqiqlangan zona kengligi 0.35 meV/K tezlikda oshadi[4]. Bu hodisaning sabablari elektron-fonon o'zaro ta'siri past, issiqlik kengayishi asosiy rol o'ynaydi, natijada bu odatiy yarimo'tkazgichlardan farqli bo'lib, yangi fizik modellar talab qiladi.

Texnologik imkoniyatlari. Texnologik afzalliklarini sifatida quyidagilarni keltirishimiz mumkin. An'anaviy quyosh panellarida issiqlik oshishi bilan samaradorlik pasayadi.

CsSnI_3 harorat ta'sirida barqaror bo'lgani uchun istiqbolli variant, rangni boshqarish mumkinligi perovskit LEDlarni samaraliroq qiladi. CsPbBr_3 va CsPbCl_3 kabi perovskitlar yashil va ko'k LEDlar uchun juda foydali. NIR diapazonida ishlovchi optik detektorlar uchun band gap 1.3 eV bo'lgan materiallar talab etiladi. CsSnI_3 ushbu talabga mos keladi, bu esa issiqlikka chidamli fotodiodlar yaratish imkonini beradi.

Perovskit yarimo'tkazgichlar o'zining moslashuvchan elektron tuzilishi, haroratga bog'liq o'ziga xos xususiyatlari va yuqori samaradorligi bilan kelajak texnologiyalarida muhim o'rin egallaydi. Ularning taqiqlangan zonasi kengligining nazorat qilinishi optoelektronik qurilmalar ishlab chiqarishda yangi imkoniyatlar yaratadi. Kelajak tadqiqotlari barqarorlikni oshirish, ekologik xavfsiz materiallarni ishlab chiqish va yuqori samarali perovskit texnologiyalarini takomillashtirish yo'nalishlarida davom etishi kerak.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ijaz Khan. "First Principles Investigations of Physical Properties of the CsSnI₃ Halide Perovskite for Thermophotovoltaics Devices" 2025
2. Padmavathy,A. Amudhavali,M. Malikandan, R. "Electronic and Optical Properties of CsSnI_{3-y}Cl_y (y = 0, 1, 2, 3) Perovskites: a DFT Study" Journal of Elektronik Materials. 2018
3. Padmavathy,A. Amudhavali,M. Malikandan, R "Strategies for Optimizing the Morphology of CsSnI₃ Perovskite Films for Photovoltaic Applications" Journal of Elektronik Materials. 2019
4. M.Cardona, R. Lauck, Chonglong Yu, Zhuo Chen, Jian J. Wang, William Pfenninger, Nemanja Vockic et al. "Temperature dependence of the band gap of perovskite semiconductor compound CsSnI₃" 2020

**KRISTALL YARIMO'TKAZGICHLAR YORUG'LIK YUTISH
KOEFFITSIENTIGA HARORATNI TA'SIRI**

H. Qo'chqorov, X.Voxobjonova

Namangan davlat universiteti

Kristall yarimo'tkazgichlar elektron qurilmalarning asosiy materiallaridan biri hisoblanadi. Ularning optik va elektr xususiyatlari ko'plab parametrlar, jumladan harorat bilan o'zgaradi. Yorug'lik yutish ko'effitsienti (α) va harorat (T) o'rtasidagi bog'liqlikni tushunish zamonaviy texnologiyalarda, masalan, quyosh batareyalari, LEDlar va detektorlarni samarali loyihalash uchun muhim ahamiyatga ega [2,3].

Kristall yarimo'tkazgichlarning yorug'lik yutish ko'effitsienti kristall haroratiga quyidagi asosiy jihatlari orqali bog'liq: Taqiqlangan soha kengligi E_g torayishi, ya'ni harorat oshgani sari kristall panjaradagi atomlarning tebranish amplitudasi ortadi. Bu esa atomlararo masofaning o'zgarishiga olib kelib, energiya zonalarining joylashuviga ta'sir qiladi. Natijada yorug'lik yutish chegarasi uzoqroq to'lqin uzunliklariga (ya'ni, kam energiyali fotonlarga) siljiydi [4]. Masalan, kremniy (Si) yarimo'tkazgichida harorat oshishi bilan E_g kamayishi kuzatiladi, bu esa uning infraqizil spektrda yorug'lik yutish qobiliyatini oshiradi.

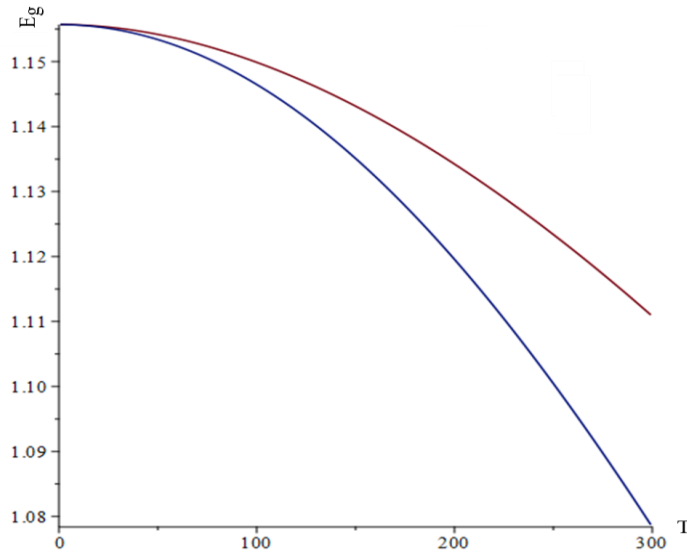
Harorat o'zgarishi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishiga ham sabab bo'ladi. Harorat oshganda yarimo'tkazgich ichidagi erkin elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi oshadi. Natijada yorug'likning yutilish jarayoni kuchayadi, chunki ko'proq fotonlar energiyasi erkin tashuvchilarni qo'zg'atishi mumkin va yorug'lik yutish ko'effitsienti α yuqori haroratda sezilarli oshadi [5]. Baoshqa tomondan, yuqori haroratda tebranishlarning kuchayishi yorug'lik yutilish samaradorligini pasaytirishi mumkin, chunki issiqlik tebranishlari fotonlar bilan atomlarning o'zaro ta'sirini "buzib qo'yadi". Bu hodisa ba'zan yorug'lik yutilishining pasayishiga ham olib keladi.

Avvalo taqiqlangan soha kengligi E_g ni T haroratga bog'ligini ko'rib chiqaylik. $E_g(T)$ uchun ko'proq aniqlikka ega bo'lgan quyidagi ikki olimning ilmiy tadqiqotlari mavjud.

$$E_g(T) = E_{g0} - \frac{\alpha \cdot \theta}{2} \left(\left(1 + \frac{\pi^2}{6} \left(\frac{2 \cdot T}{\theta} \right)^2 + \left(\frac{2 \cdot T}{\theta} \right)^4 \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$E_g(T) = E_{g0} - \left(\frac{\alpha \cdot T^2}{\beta + T} \right) \quad (2)$$

Misol tariqasida Si kremniy uchun bu ikki formulani taqqoslasak bizga ko'proq (2) Yuriy Varshniy formulasi aniqroq natija berayotganini qiyudagi grafikdan bilib olsak bo'ladi.



*Taqiqlangan soha kengli E_g ni T haroratga bog'ligi: yashil chiziq 1-formula,
qizil chiziq 2-formulani ifodalaydi*

demak Si uchun $E_g(T) = E_{g0} - \left(\frac{\alpha T^2}{\beta + T} \right)$ formula ko'proq aniqlikga ega [1]. Bu yerda $E_g(T)$ – taqiqlangan soha kengli (eV); E_{g0} – harorat nolga teng bo'lgandagi taqiqlangan soha kengli (eV); α – Si uchun haroratga bog'liq koeffitsient (eV/K); β – Si uchun doimiy (K); T – harorat (K).

Yorug'lik yutish koeffitsienti α haroratga quyidagicha bog'langan:

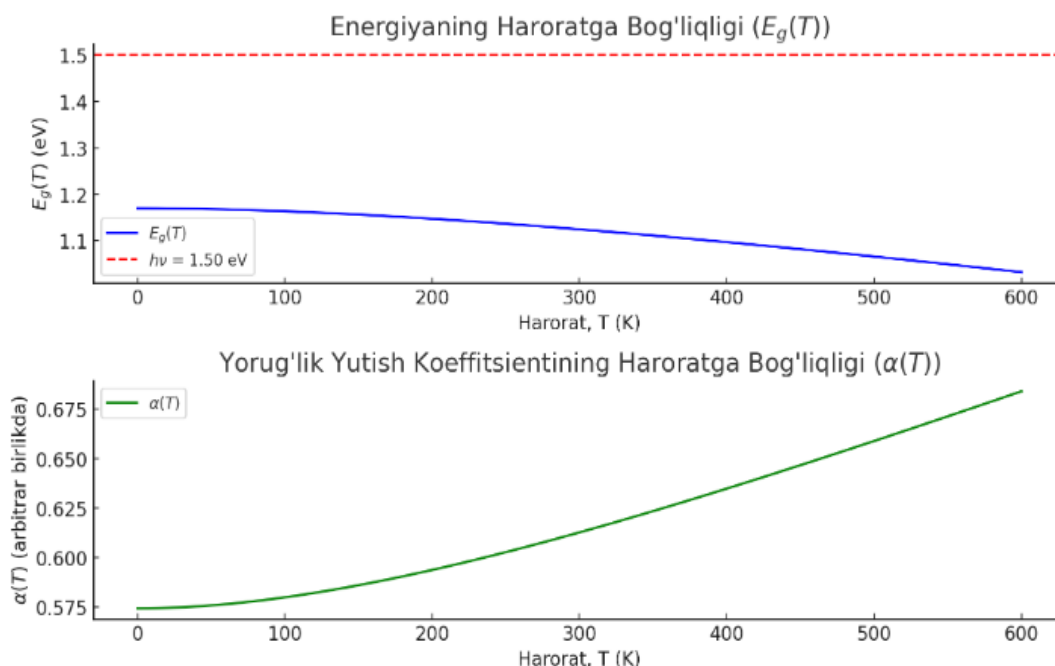
$$\alpha(h\nu) = A \cdot (h\nu - E_g(T))^n \quad (3)$$

bu yerda $\alpha(h\nu)$ - yorug'lik yutish koeffitsienti; $h\nu$ - fotonning energiyasi (eV); A - Si kremniy uchun proporsionallik koeffitsienti; n - yorug'lik yutilish mexanizmiga bog'liq indeks ($n=1/2$ ruxsat etilgan to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar uchun, $n=2$ ruxsat etilmagan o'tishlar uchun) [6].

(2) formulani (3) ga qo'ysak yorug'lik yutish koeffitsienti uchun harorat o'zgarganda taqiq soha o'zgarishini inobatga oluvchi yangi formula kelib chiqadi.

$$\alpha(h\nu) = A \left(h\nu - E_{g0} + \left(\frac{\alpha T^2}{\beta + T} \right) \right)^n \quad (4)$$

(4) dan foydalanib Si kremniy uchun yorug'lik yutish koeffitsienti va taqiq soha kengligini haroratga bog'liqlik grafiklarini olish mumkin. Kremniy (Si) materialida $E_{g0}=1.17$ eV, $\alpha=4.73 \cdot 10^{-4}$ eV/K $\beta=636$ K. Materialga tushayotgan yorug'lik fotoni energiyasi $h\nu$ Kremniy taqiq soha kengligi E_g dan yuqori bo'lishi kerak, bo'lmasa yorug'lik yutilmaydi. Grafik chizayotganda foton energiyasi qiymati sifatida 1.5 eV olindi.



Kremniy (Si) uchun taqiq soha kengligi (E_g) va yorug'lik yutish koeffitsienti (α) ning haroratga bog'liqligi

Grafikda ko'rinib turibdiki, harorat oshgani sari $E_g(T)$ pasayadi. Bu taqiq sohaning torayishini ifodalaydi. Foton energiyasi ($h\nu=1.5$ eV) bilan taqqoslanganda, ma'lum bir haroratgacha fotonlar energiyasi materialni qo'zg'atishga qodir bo'ladi. Past haroratlarda $E_g > h\nu$ shuning uchun $\alpha(T)$ nolga teng bo'ladi. Bunda fotonlar material tomonidan yutilmaydi. Harorat oshgani sari E_g torayadi va $h\nu$ qiymatiga teng yoki kichik bo'lganida yorug'lik yutilishi boshlanadi ($\alpha(T)$ sezilarli darajada oshadi). Juda yuqori haroratlarda ($T > 600$ K) ba'zi cheklovlar tufayli yorug'lik yutish koeffitsienti pasayadi.

Kristall yarimo'tkazgichlarning yorug'lik yutish koeffitsienti harorat bilan sezilarli darajada bog'liq. Energiyaning haroratga bog'liqligi, ayniqsa, yuqori haroratlarda materialning optik xususiyatlarini aniqlaydi. Ushbu bog'liqlikni tushunish va nazorat qilish zamonaviy texnologiyalarda materiallarning samaradorligini oshirish uchun muhimdir

Adabiyotlar

1. Y. P. Varshni, (1967) temperature dependence of the energy gap in semiconductors.
2. Bass, M. (2001). Handbook of Optics (2nd ed.). McGraw-Hill.
3. Sze, S. M. (1981). Physics of Semiconductor Devices (2nd ed.). Wiley-Interscience.
4. Haug, H., & Koch, S. W. (1990). Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors (2nd ed.). World Scientific Publishing.
5. Ridley, B. K. (1999). Quantum Processes in Semiconductors (4th ed.). Oxford University Press.
6. Tauc, J. (1974). "Optical properties and electronic structure of amorphous semiconductors," Journal of Non-Crystalline Solids, 16(2), 177-181.

**VISMUT VA SURMA XALKOGENIDLARI ASOSIDAGI YUPQA PARDALI
ELEMENTLARNING SOLISHTIRMA QARSHILIGINI TEMPERATURAGA
BOG‘LIQLIGINI TO‘RT ZONDLI USULI BILAN O‘RGANISH**

B. U.Omonov

*Farg‘ona davlat universiteti, tayanch doktoranti
omonovbunyodjon.1994@gmail.com*

Zamonaviy elektronika va optoelektronika sohalarida yupqa pardali yarimo‘tkazgich materiallar katta ahamiyat kasb etadi. Xususan, Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi materiallar termoelektrik va optik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Bi_2Te_3 yoki Sb_2Te_3 singari birikmalar past haroratlarda yuqori termoelektr kuch paydo qilish xususiyatiga ega bo‘lib, ular turli sezgir datchiklarda, termoelektr generatorlarda va sovitish qurilmalarida keng qo‘llaniladi [1,2].

Ushbu maqolaning maqsadi – Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi yupqa parda elementlarning elektr xususiyatlarini, xususan, solishtirma qarshilikning temperaturaga bog‘liqligini tajribaviy va nazariy jihatdan tahlil qilish.[3]

To‘rt zondli usul bir tomoni yassi tekis sirt bilan chegaralangan yarim cheksiz namunaning sirtiga bir chiziqda joylashgan to‘rtta uchi ingichkalashtirilgan metall elektrodlar (zondlar) joylashtirilgan. Ikki chetki zondan tok o‘tkaziladi va ikki o‘rta zondlardan kuchlanish (zondlar orasidagi potentsiallar ayirmasi) o‘lchanadi. Bu ikki kattalik — tok va kuchlanish orqali solishtirma qarshilik aniqlanadi. Usul nazariyasi Valdes tomonidan 1954-yilda yaratilgan bo‘lib, yarimo‘tkazgich va zondni kichik yuzasi bilan kontaktlashgan nuqtasidan tokning yarimo‘tkazgichda tarqalishiga asoslangan[1].

Tomonlari a va b bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchakli yupqa ($d \ll S$) namunada zondlar katta tomoni (a) ga parallel chiziqda joylashgan bo‘lsa, solishtirma sirt qarshiligi

$$\rho_n = \frac{U_{23}}{I} \cdot f\left(\frac{a}{b}, \frac{b}{S}\right) \quad (1)$$

formula bilan hisoblanadi.

Tuzatish funksiyasi $f(a/b, b/S)$ (b/S) ning kichik qiymatlarida

$$f(a/b; b/S) \cdot \frac{S}{b} \approx f(a/b) \approx 1 \quad (2)$$

Shuning uchun (1) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\rho_n = \frac{U_{23}}{I} \cdot \frac{b}{S} \cdot f(a/b) \approx \frac{U_{23}}{I_{14}} \cdot \frac{b}{S} \quad (3)$$

Bundan solishtirma sirt qarshiligining taqribiy qiymatini aniqlash mumkin. Tuzatish funksiyalarining $f(a/b, b/S)$, $f(a/b)$ son qiymatlari jadvallarda keltirilgan. Agar namunaning o‘lchamlari (eni, bo‘yi, qalinligi to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi va qalinligi d , namunalarda) zondlar orasidagi masofa tartibida bo‘lsa, unda ikki tuzatish funksiyalarini $f(d/S)$ va $f(a/b, b/S)$ hisobga olgan holda ρ aniqlanadi. Namuna to‘rtburchak shaklida bo‘lganda esa

$$\rho = \frac{U_{23}}{I_{14}} \cdot \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot f\left(\frac{d}{S}\right) \cdot f\left(\frac{a}{b}, \frac{b}{S}\right) \quad (4)$$

ko‘rinishni oladi.

Solishtirma qarshilikning temperaturaga bogʻliqligi bilan bogʻlangan muntazam xatoliklarni yoʻqotish uchun oʻlchov vaqtida temperatura nazorat qilib boriladi. T — temperaturada solishtirma qarshilik $\rho(T)$ ni bilgan holda shartli belgilangan T_0 — temperaturaga mos keladigan qiymatga

$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 - C_T(T - T_0)] \quad (5)$$

formula orqali keltiriladi. Bu yerda: C_T — solishtirma qarshilikning temperatura (termik) koeffitsienti boʻlib, u yarimoʻtkazgichlarning turiga, kirishmalarning tabiatiga va konsentratsiyalariga bogʻliq.

Quyida bizning toʻgʻri toʻrtburchak shaklidagi yupqa pardaning parametrlari keltirilgan: $a = 2$ sm (yupqa pardaning uzun tomoni), $b = 0,1$ sm (yupqa pardaning eni), $d = 1$ mkm = 1×10^{-4} sm (yupqa pardaning qalinligi), $S = 0,5$ sm (zondlar orasidagi masofa).

Bizga kerak boʻlayotgan tuzatish funksiyalari quyidagilar:

$$f(d/S) = 1, \quad f(a/b, b/S) \approx 0,2.$$

Yuqoridagi tuzatish funksiyalarini eʼtiborga olgan holda $T_0 = 19$ °C xaroratda yupqa pardaning solishtirma qarshiligini hisoblab topamiz. Ikki va uchinchi zondlar orasidagi potentsiallar farqi $U_{23} = 33,6$ mV ni tashkil etdi. Birinchi va toʻrtinchi zondlarga esa $I = 123,6$ mA tok kuchi berildi. Buning natijasida (5) formuladan foydalangan holda $T_0 = 19$ °C xaroratda solishtirma qarshilik $\rho(T_0) = 0,246 \cdot 10^{-3}$ Om·m ekanligini hisobladik.

Endi biz solishtirma qarshilikni oʻzgarayotgan temperaturaga bogʻliqligini tekshiramiz buning uchun bizga (6) formula kerak boʻladi.

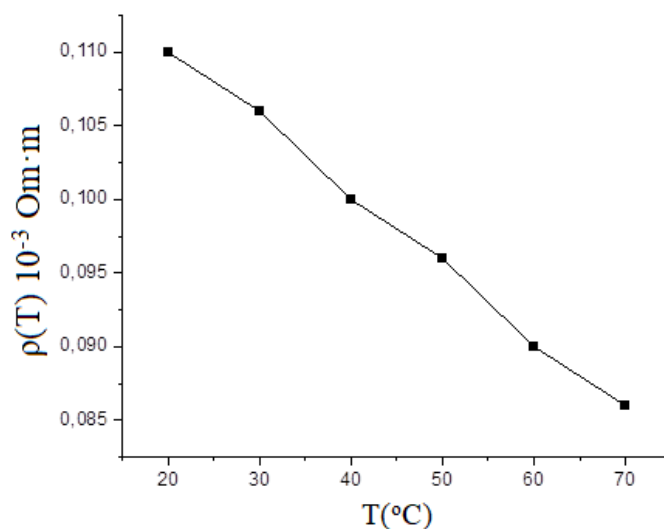
$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 - C_T(T - T_0)]$$

Bu yerda C_T — yupqa pardaning termik koeffitsienti bu bizning yupqa parda uchun $C_T \approx 2 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ ga teng.

Toʻrt zond usuli bilan yupqa pardaning turli xil temperaturalar uchun ikkinchi va uchinchi zondlardagi potentsiallar farqi oʻzgarishini quyidagi 1 – jadvaldan koʻrishimiz mumkin. Jadvaldan koʻrinib turibdiki temperatura va ikkinchi va uchinchi zondlardagi potentsiallar farqining oʻzgarishi solishtirma qarshilikning oʻzgarishiga olib keladi.

1 - jadval		
$T(^{\circ}\text{C})$	$U_{23} \text{ (mV)}$	$\rho(T) \cdot 10^{-3} \text{ Om} \cdot \text{m}$
20	37,7	0,11
30	23,5	0,106
40	14,9	0,1
50	11,5	0.096
60	9,4	0.09
70	9,7	0.086

Ushbu jadval asosida Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi solishtirma qarshiligini xaroratga bogʻliqlik grafigini chizishimiz mumkin.



1- rasm. Vismut (Bi) va Surma (Sb) xalkogenidlari asosidagi yupqa pardaning solishtirma qarshiligi (ρ) ning harorat (T) ga bogʻliqlik grafigi

Ushbu tadqiqotda Vismut–Surma xalkogenidlari ($\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{--Sb}_2\text{Te}_3$) asosidagi yupqa parda namunalarning solishtirma qarshiligi haroratga bogʻliqlikda tahlil qilindi. Tajribalarda issiqlik bugʻlatish texnologiyasi orqali tayyorlangan yupqa pardalar uchun toʻrt zondli usul qoʻllanilib, namunaning cheklangan geometrik oʻlchamlari va qalinligini hisobga olish maqsadida tegishli tuzatish funksiyalari kiritildi. Tadqiqot xulosasiga koʻra, bunday yupqa parda materiallarining termoelektrik va elektr xususiyatlari harorat omiliga nisbatan yetarlicha sezgir boʻlib, turli temperaturalarda samarali ishlashini taʼminlash maqsadida uning fizik-parametrik tavsiflari masʼuliyat bilan hisobga olinishi lozim. Kelgusida, ushbu materiallarni yanada takomillashtirish hamda amaliy qoʻllash diapazonini kengaytirish uchun qalinlik, struktura va aralashma konsentratsiyasini optimallashtirish istiqbolli yoʻnalishlardan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

1. Zaynobiddinov, X. Axramov. Yarimoʻtkazgichlar parametrlarini aniqlash usullari. – Toshkent: «Oʻzbekiston», 2001.
2. Goldsmid, H. J. Thermoelectric Refrigeration. New York: Plenum Press, 1964.
3. Sze, S. M. Physics of Semiconductor Devices. 3-nashr. John Wiley & Sons, 2007.
4. Foucaran, A. Sackda, A. Giani, F. Pascal-Delannoy, and A. Boyer, "Flash evaporated layers of $(\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3)(\text{N})$ and $(\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3)(\text{P})$," Materials Science and Engineering B, vol. 52, no. 2-3, pp. 154-161, 1998.
5. M. Takashiri, T. Shirakawa, K. Miyazaki, and H. Tsukamoto, "Fabrication and characterization of bismuth-telluride-based alloy thin film thermoelectric generators by flash evaporation method," Sensors and Actuators A, vol. 138, no. 2, pp. 329-334, 2007.
6. H. Noro, K. Sato, and H. Kagechika, "The thermoelectric properties and crystallography of Bi – Sb – Te – Se thin films grown by ion beam sputtering," Journal of Applied Physics, vol. 73, no. 3, pp. 1252-1260, 1993.
7. Fan, Z. H. Zheng, G. X. Liang, D. P. Zhang, and X. M. Cai, "Thermoelectric characterization of ion beam sputtered Sb_2Te_3 thin films," Journal of Alloys and Compounds, vol. 505, no. 1, pp. 278-280, 2010.

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЕ
НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ: АНАЛИЗ РОЛИ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА И
ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ.**

М.А. Махмудов¹, Б.Т.Элтазаров²

¹*Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова АН РУз*

²*Ташкентский Государственный Технический Университет им. И.А.Каримова*

Применение нанокристаллов кремния в современных технологиях благодаря их выдающимся свойствам становится все более популярным. Эти нанокристаллы обладают высокой эффективностью излучения света, превосходными электронными характеристиками и химической стабильностью, что делает их ценными для использования в таких областях, как солнечная энергетика, электроника и биомедицинские технологии. Также, нанокристаллы Si играют ключевую роль в развитии новых устройств в области электроники и оптоэлектроники.

Целью данного исследования является подробно изучение и анализ результатов, как термическая обработка и воздействие электронного бомбардирования влияют на электронную структуру нанокристаллов кремния. Эти методы обработки могут значительно изменять электронные свойства материалов, влияя на их функциональные характеристики. Так, например, термический отжиг может улучшить оптические свойства нанокристаллов, увеличивая их способность к светоизлучению, что критически важно для применений в LED-технологиях и экранах. Электронная бомбардировка, в свою очередь, может усилить электрическую проводимость нанокристаллов, расширяя возможности их использования в датчиках.

Исследование направлено на получение глубоких знаний о воздействии указанных технологических процессов на свойства нанокристаллов Si, что позволит открыть новые направления для их применения в различных технологических решениях. Результаты этого исследования могут значительно расширить научные представления и предложить новые методы для улучшения и расширения применения нанокристаллов кремния в технике и технологии.

Электронная структура нанокристаллов кремния является ключевым фактором, определяющим их свойства. Эта структура напрямую влияет на электронные, оптические и химические свойства нанокристаллов, что эти исследования становятся особенно важными для материаловедения и нанотехнологий. В научной литературе широко представлена информация о структуре нанокристаллов Si и факторах, влияющих на неё.

Термический отжиг — это процесс, при котором нанокристаллы нагреваются до высоких температур, что способствует изменению их электронной структуры. Этот процесс может привести к реорганизации межатомных связей, улучшению структуры кристаллической решетки и оптимизации электронных свойств. Главное преимущество термического отжига заключается в его высокой контролируемости и воспроизводимости результатов, что расширяет его применение в научных и технических областях.

Электронная бомбардировка — это метод воздействия на электронную структуру нанокристаллов Si путём направления на них поток высокоэнергетических электронов. Этот метод позволяет локально изменять электронную структуру нанокристаллов, что дает возможность точно контролировать их электронные транспортные свойства. С помощью

электронной бомбардировки можно изменять светоизлучающие свойства и электрическое сопротивление материалов, что имеет важное значение при производстве светодиодов, сенсоров и других полупроводниковых устройств.

В этом разделе анализируются последние исследования по изменению физических и химических свойств нанокристаллов Si с помощью термического отжига и электронной бомбардировки. Например, недавние исследования показали, что термический отжиг может значительно уменьшить количество дефектов в кремниевой решетке, улучшая фотолюминесцентные свойства материала. Аналогично, электронная бомбардировка использовалась для модификации уровней легирования в нанокристаллах кремния, позволяя настроить их электронные свойства под конкретные применения. Этот анализ поможет лучше понять влияние этих двух методов на свойства нанокристаллов Si и откроет новые направления для будущих исследований. Работы, связанные с этими методами, могут расширить практическое применение нанокристаллов, предложив новые способы их использования в технике и технологиях.

Для проведения экспериментальных работ были подготовлены образцы нанокристаллов кремния (Si) высокой чистоты. Сначала образцы были отобраны для анализа, а их уровень чистоты определён с помощью спектроскопических методов.

Для термического отжига использовалась специально предназначенная печь. Контроль температуры в печи осуществлялся с помощью термопар высокой точности. Образцы подвергались нагреву при различных температурах и временных интервалах температуры: 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C. Длительность времени: 1 час, 2 часа, 4 часа. Для каждой комбинации температуры и времени были подготовлены отдельные образцы, и наблюдались изменения их физико-химических свойств. Электронная бомбардировка проводилась с использованием системы электронного излучения высокой точности, произведённой компанией Siemens AG. Были применены следующие диапазоны энергии электронов: От 10 кэВ до 100 кэВ. Применялись различные дозы электронов, включая 10^{14} , 10^{15} и 10^{16} электронов/см². Для каждой энергии и дозы были подготовлены образцы, и наблюдались изменения в их электронной структуре.

Для анализа атомной и электронной структуры поверхности образцов использовались следующие методы:

Электронная микроскопия: Изменения микроструктуры поверхности образцов наблюдались с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) высокой точности, произведённого компанией “FEI Company”.

Рентгеновская дифракция (XRD): Анализы XRD проводились с использованием дифрактометра “Philips X'Pert Pro”. Этот метод позволил определить изменения в кристаллической решётке и фазовом составе образцов.

Результаты экспериментов чётко показали изменения, произошедшие с нанокристаллами кремния в результате термического отжига и электронной бомбардировки. Ниже приведены основные наблюдаемые изменения и их научный анализ.

С увеличением температуры при термическом отжиге наблюдались изменения в расположении кристаллической решётки. Результаты рентгеновской дифракции показали, что при температуре 1100°C параметры решётки нанокристаллов Si увеличились на среднем на 0.1%, что связано с дальнейшим совершенствованием кристаллической решётки.

С увеличением дозы электронов при электронной бомбардировке, количество

дислокаций в кристаллической структуре уменьшилось, что указывает на дополнительное «стабилизирование» структуры материала под воздействием электронной бомбардировки.

Изменение электронных свойств:

Термический отжиг: После анализа спектров фотолуминесценции было обнаружено, что эффективность светоизлучения образцов после процесса термического отжига увеличилась в среднем на 30%.

Электронная бомбардировка: С увеличением дозы электронов значительно улучшилась электропроводность нанокристаллов Si. В частности, при энергии 100 кэВ и дозе 10^{16} электронов/см² электропроводность увеличилась вдвое.

Термический отжиг и электронная бомбардировка оказывают значительное влияние на электронную структуру нанокристаллов кремния. В результате этих процессов наблюдается перестройка кристаллической структуры и улучшение электронных свойств, что позволяет улучшить технические характеристики материалов. Эти результаты создают основу для разработки новых технологий при работе с нанокристаллами.

В ходе данного исследования было детально изучено влияние процессов термического отжига и электронной бомбардировки на электронную структуру нанокристаллов кремния (Si). Полученные результаты позволили сформулировать следующие выводы:

Модификация электронных свойств:

- В результате термической обработки и электронной бомбардировки была зафиксирована существенная активация электрической проводимости нанокристаллов.
- При энергии электронов 100 кэВ и дозе 10^{16} электронов/см² электрическая проводимость увеличилась вдвое, что подтверждает значительное влияние электронной бомбардировки на электронные характеристики нанокристаллов Si.

Улучшение оптических характеристик:

- Интенсивность фотолуминесценции после термического отжига возросла приблизительно на 30%, что расширяет перспективы использования данных нанокристаллов в оптических приложениях.

Литература

1. Pavesi, L., & Turan, // R. (2010). *Silicon Nanocrystals: Fundamentals, Synthesis and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
2. Godefroo, S., Hayne, M., Jivanescu, M., Stesmans, A., Zacharias, M., Lebedev, O. I., & Van Tendeloo, G. // (2008). Classification and control of the origin of photoluminescence from Si nanocrystals. *Nature Nanotechnology*, 3(3), 174–178.
3. Priolo, F., Gregorkiewicz, T., Galli, M., & Krauss, T. F. // (2014). Silicon nanostructures for photonics and photovoltaics. *Nature Nanotechnology*, 9(1), 19–32.
4. Cullis, A. G., Canham, L. T., & Calcott, P. D. J. // (1997) The structural and luminescence properties of porous silicon. *Journal of Applied Physics*, 82(3), 909–965.
5. Zacharias, M., Heitmann, J., Scholz, R., Kahler, U., Schmidt, M., & Bläsing, J. // (2002). Size-controlled highly luminescent silicon nanocrystals: A SiO/SiO₂ superlattice approach. *Applied Physics Letters*, 80(4), 661–663.
6. Ledoux, G., Gong, J., Huiskens, F., Guillois, O., & Reynaud, C. // (2002). Photoluminescence of size-separated silicon nanocrystals: Confirmation of quantum confinement. *Applied Physics Letters*, 80(25), 4834–4836.

КРИСТАЛЛ ВА АМОРФ ГИДРИДЛАНГАН КРЕМНИЙДА ФОТОЭЛЕКТРИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК ВА УНИНГ МЕХАНИЗМИ

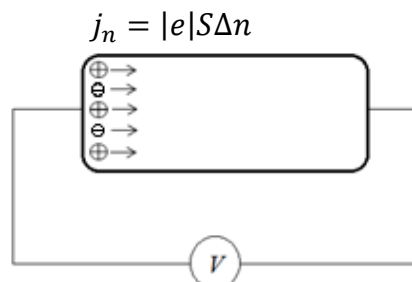
У.С.Бабаходжаев¹, М.А.Усманов¹

¹Наманган давлат университети

Сўнги йилларда қуёш элементларини самарадорлигини ортириш ва таннархини камайтириш учун кенг қўламли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шулар қаторида кристалл кремний ($c - Si$) асосидаги қуёш элементлари контактларида содир бўладиган сиртий рекомбинацияларни р-п структураларни юза ёки орқа қисмларига аморф гидридланган кремний ($a - Si:H$) юпқа қатлами билан қоплаш орқали камайтириш устида илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Экспериментал тадқиқотларни оптималлаштириш учун аморф гидридланган ва кристалл кремний контактларида бўладиган фотоэлектрик жараёнларни ўрганиш лозим. Бунинг учун эса аввал ($c - Si$) ва ($a - Si:H$) даги ток ташиш механизмлари фарқини қараб чиқамиз.

Маълумки юқори частотали ёруғлик нурлари моддалар қатламини деярли сирт қатламида ютилади шунга асосан қаралаётган қатламга тушаётган ёруғлик энергияси $h\nu > E_g$ шартни қаноатлантирса барча ёруғлик нурлари яримўтказгичнинг сиртий қатламида ютилади. Агар қатлам ўлчами катта бўлса, бутун қалинлик бўйлаб ёруғликни нотекис ютилиши содир бўлади. Ушбу ҳолат икки яримўтказгич, яъни хусусий ўтказувчанликка эга поликристалл кремний ва аморф гидридланган кремний қатламларида қандай жараён содир этиши илмий изланишни асосини ташкил қилади.

Агарда тадқиқ қилинаётган яримўтказгичли наъмуналарни бир томонида ярим шаффоф, ёки сеткасимон металл контакт ҳосил қилинса, ушбу томонга ёруғлик туширилади. Аввал поликристалл кремнийни ($c - Si$) кўрадиган бўлсак, туширилган ёруғлик сиртий қатламда ютилиши туфайли $c - Si$ ни сиртий қатламида электрон-ковак жуфтлиги ҳосил бўлади. Тадқиқ қилинаётган наъмунани бир сиртида ҳосил бўлган электрон-ковак жуфтлиги қарама-қарши томонга диффузияланади ва ҳар икки турдаги ток ташувчиларнинг диффузия коэффициентлари турлича $D_e > D_p$ бўлгани учун сиртлар ўртасида потенциаллар фарқи V юзага келади [1]. Бу ҳодисага Дембер эффекти дейилади. Ҳосил бўлган потенциаллар фарқини



1-расм

$$D_p \frac{d^2 p}{dx^2} = \frac{\Delta p}{\tau_p} \quad \text{ва} \quad D_n \frac{d^2 n}{dx^2} = \frac{\Delta p}{\tau_n}$$

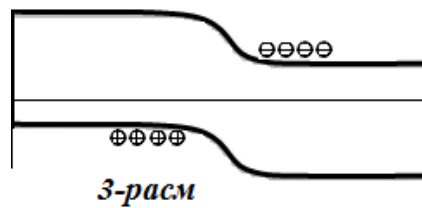
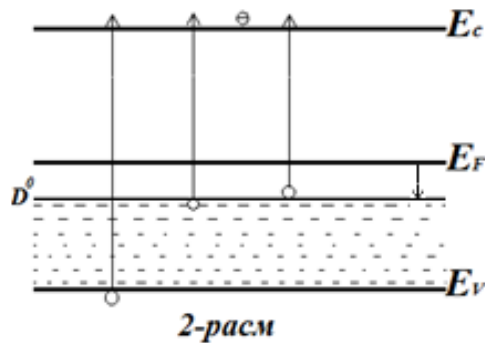
$$j_{nx} + j_{px} = \sigma E - |e|(D_p - D_n) \frac{dp}{dx}$$

тенгламаларни баргаликда ечиш орқали топилади. Хусусий ҳолда қуйидаги

$$V = G \frac{K_B T}{|e|} \cdot \frac{\mu_n - \mu_p}{n\mu_n + p\mu_p} \cdot \frac{1}{\sqrt{D/\tau} + S}$$

ечимга эга бўлинади [1].

Агарда худди шундай ходисани аморф гидридланган кремний $a - Si:H$ учун тадқиқ қилайлик. Маълумки $a - Si:H$ га $h\nu > E_g$ энергияли ёруғлик тушса, ушбу ёруғлик валент соҳада жойлашган электронлардан ташқари $E_v \div E_F$ энергетик ораликда жойлашган D^0 сатхларда ҳам ютилади. Ферми сатҳи атрофидаги локаллашган D^0 сатхлар концентрацияси қолган энергетик сатхлардагидан кам бўлгани учун ютиладиган энергетик оралиқ кенгрок бўлади, чунки $a - Si:H$ да локаллашган ҳолатлар зичлиги валент соҳа чегарасидан Ферми сатҳигача турли хил экспоненциал қонуният бўйича камайиб боради. Локаллашган сатхларда ютилган ёруғлик туфайли Ферми сатҳини силжиши юзага келади (2-расм) ва натижада $a - Si:H$ ни ёруғлик ютилган ва ютилмаган қисмлари ўртасида потенциал тўсик юзага келади (3-расм).



Барча аморф яримўтказгичлар каби $a - Si:H$ да E_c ва E_v энергетик сатхларга ёпишган тақик соҳа ичида катта зичликка эга локаллашган соҳалар (“Урбах думлари”) мавжуд бўлиб эркин электронлар ва коваклар учун тутқич вазифасини бажаради. Шунинг учун $a - Si:H$ наъмунасида диффузион ток юзага келмайди, чунки ток ташувчилар ушбу тутқичларда тутилиш эҳтимоллиги катта.

Потенциал тўсик баландлиги Ферми сатҳини силжишига пропорционал, яъни

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta E_F}{e}$$

Ферми сатҳини силжишини топиш учун электронейтраллик тенгламасидан фойдаланамиз.

$$\frac{\alpha \eta I}{h\nu} \cdot \tau_n = \int_E^{E_F} f(E)g(E)dE$$

Интеграл тенгламани итерацион усулда ишлаб $\Delta E_F = E_F - E$ ни топамиз.

Тадқиқ қилинаётган $a - Si: H$ наъмунани ёруғлик тушаётган томонига ток манбаини (+) қутби, қарама-қарши томонига (-) қутби уланиб олинган вольт-ампер характеристика тўғриловчи ҳоссага эга диод ВАХ ига ўхшаш графикни беради [2].

Ушбу ҳолатда электронлар сиртий қатламда жойлашгани ва E_c ни дум соҳасидаги локаллашган ҳолатлар зичлиги катта бўлгани учун улар деярли ток ўтказувчанликда иштирок этмайди. Демак, $a - Si: H$ хажми бўйлаб асосан коваклар ҳаракатланади, шунинг учун олинган ВАХ дан фойдаланиб эркин коваклар ва Ферми сатҳидан қуйида жойлашган локаллашган ҳолатлар параметрлари ҳақида маълумот олиш мумкин. Бунинг учун қуйидаги тенгламалар системасини биргаликда ишлаш зарур.

$$\begin{aligned} j &= e\Delta p\mu_p E + D_p \nabla p \\ \frac{d^2 \varphi}{dx^2} &= -\frac{4\pi}{\varepsilon} \rho (\rho = eN) \\ N \frac{df}{dt} &= N_{tp} + N_D - \Delta p \end{aligned}$$

Ушбу тенгламани ечими ВАХ ни кўринишига боғлиқ бўлиб, асосан уч ҳолат учун, яъни ковакларни кучсиз, ўрта ва кучли инжекцияси учун ечилади.

Ушбу олинган маълумотлардан фойдаланиб $c - Si/a - Si: H$ структура контактида содир бўлаётган жараёни қуёш элементини параметрларига таъсирини ўрганиш мумкин.

Адабиётлар

1. К.Зеегер Физика полупроводников // "Мир" Москва 1977 стр. 188-200
2. А.А. Шерченков, Б.Г. Будагян, А.В. Мазуров. Механизмы токопереноса и свойства гетероструктур $a - SiC: H/c - Si$ // Физика и техника полупроводников, том 39, вып. 8 (2005).

SYNTHESIS OF Cu NANOPARTICLES USING ELECTROCHEMICAL METHOD

A. Shavkatov, A. Yarbekov

Turin Polytechnic University in Tashkent

a.yarbekov@polito.uz

The electrochemical method of synthesizing Cu nanoparticles has attracted considerable attention due to its unique advantages, such as simplicity, direct route, low-temperature operation, high current yield, and represents an important step towards environmentally friendly methods. Various electrochemical methods including cyclic voltammetry, potentiostatic, galvanostatic, and pulse current were used for nanoparticle synthesis.

The size, shape, and properties of copper nanoparticles synthesized by the electrochemical method are influenced by the following factors:

1. Solution concentration: Higher solution concentration leads to larger nanoparticle size.
2. Solvent: The solvent nature can affect the shape and size of nanoparticles. For example, copper nanoparticles in water typically have a spherical shape, while in methanol or acetonitrile, they may exhibit rod or needle-like shapes. Those obtained in the presence of water-acetonitrile have the smallest average particle size among others.
3. Stabilizers: The use of various stabilizers, as demonstrated in studies (4) and (5), allowed for size and shape control of nanoparticles.
4. Influence of electrolyte pH: In the study (6), the influence of electrolyte pH on Cu nanoparticle properties was investigated, showing that pH significantly affects the size, morphology, and thermal stability of particles. At low pH values (pH = 5), Cu nanoparticles with large sizes and complex shapes are formed. At pH = 12.5, Cu nanoparticles had a cylindrical shape with lengths ranging from 50 to 150 nm and diameters around 10-20 nm.
5. Current: Increasing the current enhances the deposition rate of nanoparticles, resulting in size reduction.
6. Voltage. During electrochemical synthesis, the size of copper nanoparticles can be reduced by increasing the voltage. For instance, some study reveals that increasing the voltage to 27 V led to a decrease in the average particle size to 21.55 nm. Increasing the applied voltage usually enhances the rate of copper ion reduction to copper atoms, which can lead to the formation of smaller nanoparticles. This is because at higher voltages, nucleation occurs more rapidly than growth, resulting in the formation of a greater number of smaller particles. However, it is important to note that excessively high voltage can also lead to the formation of side products or induce particle agglomeration, which may negate the benefits of size reduction.

In recent years, several advancements have occurred in electrochemical nanoparticle synthesis. One of the achievements is the development of new electrolytes, such as ionic liquid electrolytes, which can be used for synthesizing nanoparticles with high purity and adjustable size and morphology. Another achievement is the development of new electrochemical synthesis methods, such as pulse electrodeposition, which can be used for synthesizing nanoparticles with unique properties.

Ionic liquid electrolytes are a new class of electrolytes that offer several advantages compared to traditional aqueous and non-aqueous electrolytes, such as high thermal stability, low volatility, and non-flammability. Ionic liquid electrolytes can be used for synthesizing nanoparticles of high purity, adjustable size, and morphology. Innovative Approaches. Some study proposed the use of DNA as an electrolyte for nanoparticle synthesis. Using DNA as an electrolyte provides opportunities to obtain nanoparticles with an amorphous structure.

Literature

1. J Zhang, LB Kong, H Li, YC Luo, LK ang // (2010) J Mater Sci 45: 1947-1954.
2. H Karami, at all (2010) Int // J Electrochem Sci 5: 1046-1059.

**NIKEL METALOKSID PLYONKALARINING ELEKTROFIZIK
XUSUSIYATLARI**

M.B.Rasulova¹, Z.Sh.Madaminova², B.D.Xoshimova²

Andijon davlat universiteti mustaqil izlanuvchisi

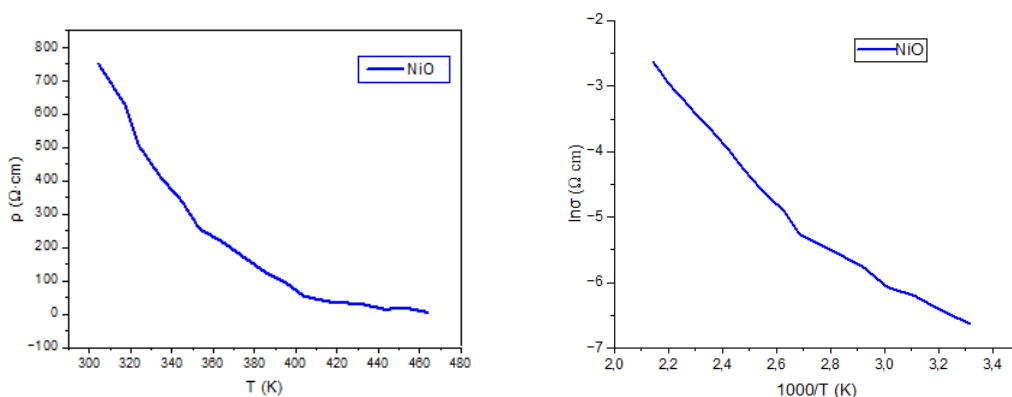
Andijon davlat universiteti talabasi

So'nggi yillarda metall oksidli yarimo'tkazgichlar orasida NiO nanostrukturalari o'zining noyob optik, elektrik, katalitik va magnit xususiyatlari tufayli e'tiborni tortmoqda [1]. Chunki uning xususiyatlari turli xil fotokatalitik, quyosh elementi, elektroxtrom va kimyoviy sezgir asboblarda uchun juda foydalidir. U elektro-optik qurilmalarda, antiferromagnit plyonkalarda, katalitik reaksiyalarda, superparamagnetik qurilmalarda, superkondensatorlarda, datchiklarda, fotodetektorlar ishlab chiqarishda, gidroksidi batareyalarda qo'llaniladi. Shuningdek, NiO dan qattiq oksidli yonilg'i elementlarida, lityum ionli mikroatareyalar uchun lityum nikel oksidi katodlarida, elektroxtromik qoplamalarda, plastmassa va to'qimachilikda, nano simlar, nanotolalar, maxsus qotishma va katalizator qurilmalarda foydalaniladi. Bundan tashqari, katalizator va antiferromagnit qatlamlar sifatida, aerokosmosdagi yengil strukturaviy komponentlarda, faol optik filtrlarda, gidroksidi batareyalar uchun katod materiallarida hamda gaz yoki harorat sezish uchun sensorlar sifatida ishlatiladi [2-5]. Nikel(II)oksid - NiO formulasiga ega kimyoviy birikma bo'lib, p-tipli yarimo'tkazgichdir. NiO ning mineralogik shakli juda kam uchraydi. NiO ni hosil qilish uchun nikel kukunini 400°C dan yuqori temperaturada qizdirilib, kislorod bilan reaksiyaga kirishadi. Ba'zi jarayonlarida yashil nikel oksidi nikel kukuni va suv aralashmasini 1000°C da isitish orqali hosil bo'ladi, bu reaksiya tezligini qo'shilishi bilan oshirish mumkin. NiO-VI-VIII guruhiga kiruvchi yarimo'tkazgichdir. Odatda, NiO xona haroratidan pastroqda antiferromagnit xususiyatini namoyon qiladi. Uning taqiqlangan sohasi kengligi katta ya'ni, 3,6 dan 4,0 eV gacha.

Metalloksidlarining elektronika va optoelektronika sohalarida qo'llanilishi uchun elektr o'tkazuvchanligini tekshirish va nazorat qilish muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. Nikel oksidi (NiO) - murakkab elektrofizik xususiyatlarga ega bo'lgan metall oksidi. Uning elektrofizik xususiyatlari uning kristall tuzilishi, defektlari va harorati kabi omillar bilan belgilanadi. Yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligi harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarning soni (elektronlar va kovaklar), ularning issiqlik tezligining taqsimlanishi va qo'llaniladigan elektr maydoni tomonidan qo'zg'atilgan muvozanat taqsimoti farqi bilan belgilanadi. Kirishma atomlari kiritilmagan NiO o'zini izolyator sifatida tutadi, ammo aralashmalar yoki panjara nuqsonlarining mavjudligi NiO ning elektr o'tkazuvchanligini hosil qiladi, shuningdek, o'sish jarayonida ortiqcha kislorod hosil bo'lganligi sababli nikel bo'sh joylarining yuqori konsentratsiyali kislorod egallaydi. Osh tuzi ko'rinishidagi ideal NiO kristallida Ni ionlari oktaedral panjara tugunlarini egallaydi va 2 valentlikni hosil qiladi. Ni vakansiyalari hosil bo'lgach, ikkita kovak paydo bo'ladi, ular o'zlariga yaqin joylashgan Ni^{2+} ni Ni^{3+} ga aylantiradi. Bu mahalliy muqsonlar hosil bo'lishiga olib keladi. Shu sababli, o'tkazuvchanlik faqat issiqlik bilan faollashtirilgan sakrash jarayoni orqali amalga oshirilishi mumkin, bu esa kovaklarning sekin harakatlanishiga sabab bo'ladi. Ni^{3+} ionlarining mavjudligi, shuningdek, ko'rindigan diapazonda metall yetishmovchiligi bo'lgan NiO qatlamlarining o'tkazuvchanligini pasayishiga olib keladi. Ikki marta zaryadlangan nikel bo'sh o'rinlari bir marta zaryadlangan nikel bo'sh joylarga nisbatan yuqori konsentratsiyaga ega deb taxmin qilinadi hamda kislorod ham p tipdagi o'tkazuvchanlikni hosil qiladi [6].

Yupqa qatlamlarning qarshiligi tayyorlash texnikasi, tayyorlash parametrlari, kiritilgan kirishma turi, toblanish harorati va hatto o'ldash shartlari kabi bir qancha omillarga bog'liq. 1.1.a-rasmda NiO yupqa qatlamlari uchun elektr qarshiligining haroratga bog'liqligi ko'rsatilgan.

NiO yupqa qatlamlarida harorat oshishi bilan qarshilikning kamayib, o'tkazuvchanlikning ortishi kuzatiladi. Bu hodisa, yarimo'tkazgichlar uchun xos bo'lgan *termistor* xususiyatiga ega bo'lgan nikel oksidi uchun ham to'g'ri keladi. Haroratning ko'tarilishi bilan zaryad tashuvchilar (kovaklar) soni ortadi, chunki issiqlik energiyasi zaryadlarning harakatlanishiga yordam beradi. Natijada, zaryadlarning harakati uchun to'siq bo'lgan qarshilik kamayadi va materialning elektr o'tkazuvchanligi ortadi. Ushbu xususiyat NiO ning turli xil sensorlar va termoelektr qurilmalarda qo'llanilishiga zamin yaratadi.



1.1-rasm. a) NiO yupqa qatlamlarining solishtirma qarshilikni haroratga bog'liqligi; b) NiO yupqa qatlamlarining aktivlashtirish energiyasi

Ko'plab tadqiqotchilar tomonidan nikel oksidi yupqa qatlamlarining elektr qarshiligi 10^{-10} – 10^{-6} ($\text{Om} \cdot \text{sm}$) oralig'ida ekanligi ma'lum qilingan. Bu qarshilik qiymatlari NiO ning tayyorlash usuli, tarkibi, kristallanish darajasi va boshqa omillarga bog'liq holda keng diapazonda o'zgarishi mumkinligini ko'rsatadi. Bu diapazon NiO ning yarimo'tkazgichlik xususiyatlarini tasdiqlaydi, chunki izolyatorlar uchun qarshilik juda yuqori (masalan, 10^{12} $\text{Om} \cdot \text{sm}$ dan yuqori), o'tkazgichlar uchun esa juda past (masalan, 10^{-6} $\text{Om} \cdot \text{sm}$ dan past) bo'ladi. 1.1(b)-rasmda NiO ning aktivlashtirish energiyasining temperaturaga bog'lanishi ko'rsatilgan, unga asosan barcha qatlamlarda elektr o'tkazuvchanlik (σ) harorat oshishi bilan ortib boradi. Aktivlashtirish energiyasi, odatda, zaryad tashuvchilarning harakatini boshlash uchun zarur bo'lgan energiya miqdorini bildiradi. Harorat ortishi bilan bu energiya taqsimoti kengayadi, natijada ko'proq zaryad tashuvchilar harakatlana oladi. Shunday qilib, grafikka ko'ra, aktivlashtirish energiyasi qanchalik kichik bo'lsa, haroratning elektr o'tkazuvchanlikka ta'siri shunchalik sezilarli bo'ladi[7]

Elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir qiluvchi omillar:

Defektlar: Nikel vakansiyalari va kislorodning ortiqchaligi NiO ning elektr o'tkazuvchanligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Vakansiyalar soni oshishi bilan teshiklarning konsentratsiyasi ortadi va elektr o'tkazuvchanligi ham oshadi.

Kirishma atomlari: NiOning elektr o'tkazuvchanligini legirlash orqali o'zgartirish mumkin. Masalan, litiy (Li) kabi elementlar bilan legirlash kovaklarning konsentratsiyasini oshirishi va elektr o'tkazuvchanlikni yaxshilashi mumkin.

Harorat: Harorat oshishi bilan NiO ning elektr o'tkazuvchanligi odatda ortadi. Yuqori haroratlarda defektlarning hosil bo'lishi osonlashadi va tok tashuvchilarning harakatchanligi oshadi.

Mikrostruktura: NiO ning don o‘lchami, don chegaralari va orientatsiyasi uning elektr o‘tkazuvchanligiga ta’sir qilishi mumkin. Don chegaralari zaryad tashuvchilarning harakatini NiO ning elektrofizik xususiyatlarini yaxshilash va yangi qurilmalarni topish uchun tadqiqotlar davom etmoqda. Legirlash, nanostrukturalash va geterotuzilmalar kabi usullar NiOning xususiyatlarini o‘zgartirish va uning ishlashini yaxshilash uchun qo‘llaniladi.

Xulosa qilib aytganda, nikel oksidi murakkab elektrofizik xususiyatlarga ega bo‘lib, defektlar, doping va harorat kabi omillar bilan belgilanadi. Uning xususiyatlari sensorlar, katalizatorlar, akkumulyatorlar va boshqa sohalarda qo‘llanilishini ta’minlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhati

1. Moravec, P., Smolik., and et. al. 2011. NiOx nanoparticles synthesis by chemical vapor deposition from nickel acetylacetonate. Mater. Sci.App. 2: 258-264
2. Anandan, K., Rajendran, V. 2012. Structural, optical and magnetic properties of well dispersed NiO Nanoparticles synthesized by CTAB assisted solvothermal process. Nanosci. Nanotech. Int. J 2:24-29.
3. Mohammadyani, D., Hosseini, S.A., Sadrnezhad, S.K. 2012. Characterization of nickel oxide nanoparticles synthesized via rapid Microwave-Assisted route. Int. J. Modern Phys. 5:270
4. Junqing, L., Jingli, Shi., Xi, Yan., Xiaoling, Z., Zechao, T., Quangsui, G., Lang, L. 2012. Preparation and electrochemical properties of hollow Nickel Oxide fibers. Int. J. Electrochem.Sci. 7: 2214-2220.
5. Hotový, I., Huran, J., Spiess, L., Čapkovic, R., Haščík Š. 2000. Preparation and characterization of NiO thin films for gas sensor applications, Vacuum. 58(2-3): 300-307
6. H. Xiao, S. Yao, H. Liu et al. NiO nanosheet assemblies for supercapacitor electrode materials. Progress in Natural Science: Materials International. 26, 2016, 271–275.
7. Y. Zhang, Z. Li. Low-temperature fabrication of sol–gel NiO film for optoelectronic devices based on the ‘fuel’ of urea. Ceramics International. 42, 2016, 6360–6368.

YRIMO‘TKAZGICH QOTISHMALAR OLISH KONTEYNERI

K.I.G‘aynazarova

Farg‘ona davlat universiteti

Jahonda to‘g‘ridan-to‘g‘ri energiya konvertatsiyasining fizik ta’sirini amalga oshiradigan yangi materiallarni ishlab chiqish tobora ortib borayotgani e’tiborni jalb qilmoqda. Bu o‘z navbatida elektr energiyasini ishlab chiqarishda mavjud jarayonlar va qurilmalarning samaradorligini oshirish uchun yangi imkoniyatlar ochmoqda. Bu jarayonlardagi ekologik va energetika muammolarini hal qilishda termoelektrik materiallar muhim rol o‘ynaydi. Hozirgacha xona haroratidan 500 K gacha bo‘lgan harorat oralig‘ida unchalik samarali bo‘lgan boshqa materiallar topilmagan. Bunday termoelektrik materiallardan $Bi_2(B^{VI})_3$ va $Sb_2(B^{VI})_3$, $(B^{VI}-Se, Te)$ asosidagi birikmalar past haroratli ishlab chiqarishda ishlab chiqarish va qo‘llash nuqtai nazaridan eng keng tarqalgan. Albatta, energiya konvertatsiyasining past samaradorligi termoelektrik materiallarni qo‘llash sohasiga ta’sir qiladi. Biroq, nisbatan barqaror va yuqori termoelektrik qiymatlarga erishish uchun $Bi_2(B^{VI})_3$ va $Sb_2(B^{VI})_3$, $(B^{VI}-Se, Te)$ asosidagi birikmalar asosidagi yarimo‘tkazgichli materiallar $T = 200-600$ K harorat oralig‘ida ishlaydigan termoelektr

energiyasini o'zgartirgichlarni ishlab chiqarish uchun keng qo'llaniladi. Shu bilan birga, bunday termoelektrik materiallarning xususiyatlarini yaxshilash saqlanib qolmoqda.

Ma'lumki, xom ashyoning ba'zi nisbatlari termoelektrik parametrlari optimal parametrlarga ega bo'lgan qotishma materialini olishga imkon bermaydigan asoslarni beradi. Shuning uchun, Bi_2Te_3 va Bi_2Se_3 asoslarining parametrlarini to'g'rilash uchun stexiometriyadan ortiq xalkogenlarni kiritishni qo'lladik. Termoelektrogeneratorlarning asosiy qismi sifatida qo'llash uchun vismut va surma xalkogenidlari asosidagi murakkab birikmalar olish texnologiyasiga qo'yiladigan talablar izohlangan va yuqori termoelektrik samaradorlikka ega bo'lgan qattiq qotishmalar olish uchun yaratilgan qurilmaning tuzilishi, ishlash prinsipi, olingan qotishmalarning parametrlari keltirilgan.

Yuqori samarali termoelektrik, tenzoelektrik va optik xususiyatlarni namoyon qiladigan yangi materiallardan fan va texnikaning yuqori texnologik sohalarida qo'llanilishi, mavjudlariga nisbatan sezilarli darajada yuqori ishchi xarakteristikalariga ega bo'lgan yangi avlod asboblarni yaratishga imkon beradi. Termoelektrogeneratorlarning asosiy qismi sifatida qo'llash uchun, $\text{Bi}_2(\text{B}^{\text{VI}})_3$ va $\text{Sb}_2(\text{B}^{\text{VI}})_3$, $(\text{B}^{\text{VI}}-\text{Se}, \text{Te})$ birikmalar qulay hisoblanib, o'tkazuvchanlik holatida ularning xususiyatlari va xarakteristikalarini tadqiq qilish bunday materiallarni olishni maqsadli boshqarish imkoniyatlarini yaratadi.

Bunday qattiq qotishmalar olishning ko'plab texnologiyalari mavjud. Jumladan, ampula metodi, Bridjmen metodi, Choxral metodi, zonaviy eritish, flyuslar bilan eritish, inert gaz bosimi ostida eritish va boshqalar. Lekin sanab o'tilgan usullarning qator kamchiliklari bor. Masalan, qotishma uzunligi bo'ylab kirishmalarining bir xil taqsimlanmasligi; qurilma va asboblarning o'ta qimmatligi; zarur bo'lmagan kirishmalarining asosiy komponentga kirib qolishi va h.k.

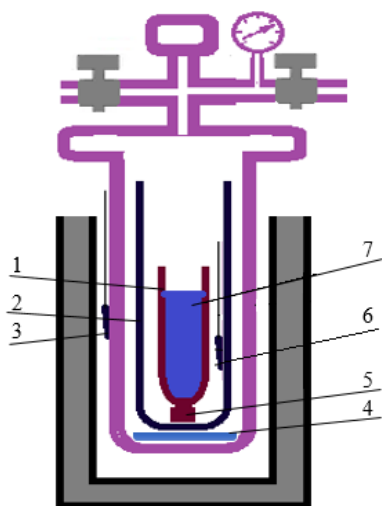
Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda, inert gaz bosimi ostida termoelektrik materiallarni olish va legirlash qurilmasi ishlab chiqilgan. Qurilmaning o'ziga xosligi eritish konteynerining qayta ishlatish imkoniyati mavjudligida ko'rinadi. Quyida 1-rasmda qurilmaning chizma ko'rinishi keltirilgan.

Eritish uchun konteyner sifatida konus shaklidagi kvarts tigeli (1) dan foydalaniladi. Eritish jarayoni tutqich orqali olib borilsa, bug'lanish yuzasini va uchuvchanlik tufayli yo'qotishlar foizini kamaytiradi. Ushbu jarayonda tigelni ichki diametriga mos tushadigan (1-rasm) va erkin harakat qila oladigan tutqich tanlab olinadi. Tutqich idish devori va tigel bilan 1÷1,5 mm oraliqda bo'shliqni hosil qiladi. o'lchab olingan aralashma tepadan tutqich bilan berkitilgan tigelga yuklanadi.

O'lchab olingan aralashma tepadan tutqich bilan berkitilgan tigelga yuklanadi. Tutqichdan foydalanish bug'lanish yuzasini kamaytiradi va eritish jarayonida uchuvchanlik tufayli yo'qotishlar foizini kamaytiradi.

Keyin konteyner eritish qurilmasining kvarts stakaniga solinadi va u o'z navbatida po'lat idishga joylashtiriladi. Konteyner eritish qurilmasi $2 \cdot 10^{-3}$ mm.sim.ust. vakuumga yetgandan so'ng, idish 1,5 atm bosimgacha argon bilan to'ldiriladi. Keyin pechning harorati ko'tariladi. Erish haroratiga yetganda, qotishmada suyuq holatga o'tish va gomogenlashuv jarayoni sodir bo'ladigan vaqtgacha kutib turiladi.

Erish jarayonida argon gazining 4 atm. bosimi, 750°C haroratda 30 daqiqa ushlab turiladi. Belgilangan sharoitda qotishmani ushlab turgandan so'ng, pech o'chiriladi, idish sovutiladi va pech xona haroratigacha to'liq sovigandan keyin po'lat idish tushiriladi.



shaklidagi kvarts tigel,
kvarts tigel solingan idish,

1-rasm. Materiallarni eritish uchun konteynerni chizma ko‘rinishi.

Tayyor bo‘lgan qotishmaning parametrlari termoelektr koeffitsiyenti $\alpha=200\div240$ mV/K va solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi $\sigma=60\div200$ Om⁻¹·sm⁻¹ optimal qiymatlarga ega bo‘lgan asosni olish uchun xalkogen miqdorining o‘zgarishiga qarab asosning termoelektrik xossalari tekshirildi.

Adabiyotlar

1. K.Onarkulov. T.Azimov, K.Gaynazarova. Vliyaniye kontaktov termoelementov na effektivnost’ termobatarei. /Muqobil energiya manbalaridan foydalanishning joriy holati va istiqbollari/ mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferentsiya materiallari to‘plami. Namangan shahri 2020 yil 22-23 aprel.
2. Onarkulov K., Gaynazarova K., Tashlanova D. Termoelektrik samaradorlikni qotishmalardagi elektronlar va teshiklarning harakatchanligiga bog‘lanishi //Science and innovation. – 2022. – T. 1. – №. A4. – S. 56-59.
3. Axmedov, M. M., Gaynazarova, K. I., Кадыров, K. S., & Onarkulov, M. K. O ximicheskom sostave tenzochuvstvitel’nykh plenok na osnove sistemy Bi-Sb-Te. Universum: texnicheskiye nauki, (2020). (2-1 (71)), 38-42.
4. Azimov Toolanboy Ma'Rifjonovich, Onarkulov Karimberdi Egamberdiyovich, & G'Aynazarova Kizlarhon Isroilovna (2020). EFFECT OF COMMUTATION SOLDER ON THE OPERATING CHARACTERISTICS OF COOLING ELEMENTS BASED ON BISMUTH AND ANTIMONY ChALCOGENIDES. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, (1-2), 21-25.

TEXNIKA OLIY TA'LIM MUASSASALARIDA ENERGETIKA MUXANDISLIGI YO'NALISHIDA TA'LIM JARAYONINI ZAMONAVIY YONDASHUVLAR ASOSIDA TASHKIL ETISH

Sh. S Nazirjonova

Andijon davlat texnika instituti

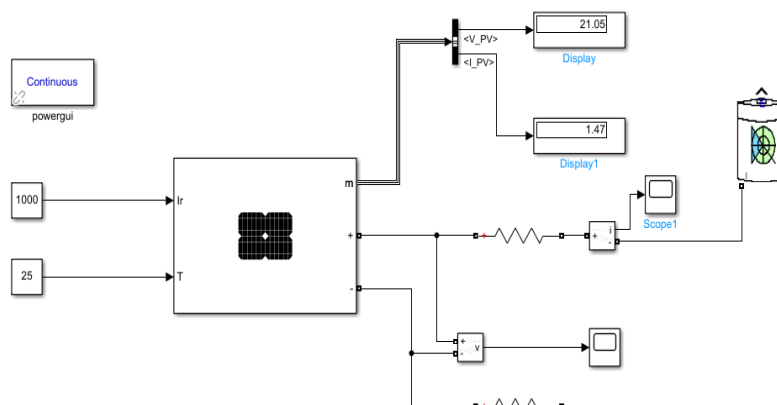
Texnika oliy o‘quv yurtlarida talabalarni sifatli o‘qitish, ularning bilimlarini oshirish va mustahkamlash, ko‘p jihatdan pedagogning mahorati va dars jarayonida qo‘llagan metodikasiga

bog‘liq. Ayniqsa, muhandislikning muhim tarmoqlaridan biri bo‘lgan energetika yo‘nalishidagi talabalar uchun mutaxassislik fanlarini chuqur o‘rganish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Zamonaviy ta‘limning talablaridan kelib chiqib, rivojlanib borayotgan fanlardan biri – “Yarimo‘tkazgichlar fizikasi” fanidir. Ta‘lim jarayonida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish ta‘lim samaradorligini oshirishning eng muhim jihatlaridan biri hisoblanadi. Bunday texnologiyalar darslarni qiziqarli va interaktiv shaklda tashkil etish, o‘quvchilarning materialni chuqurroq o‘zlashtirishiga xizmat qiladi. Ayniqsa, laboratoriya mashg‘ulotlarida AKT imkoniyatlaridan foydalanish moddiy-texnik bazaning shikastlanishining oldini olish, eksperimental tajribalarni xavfsiz va aniq o‘tkazish imkoniyatini beradi.

Murakkab energetik tizimlarning tahlilini osonlashtirish maqsadida MATLAB, Sentaurus TCAD, EUROSTAG, MUSTANG kabi maxsus dasturlar keng qo‘llaniladi. Ushbu dasturlar orasida MATLAB dasturi aniq hisob-kitoblar va modellashtirish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Bu dastur yordamida energiya tizimlarining ishlash rejimlari barqarorlashtirilishi, tizimning avariya oldingi va avariya holatidagi raqamli tasvirlari tahlil qilinishi mumkin.

“Yarimo‘tkazgichlar fizikasi” fanini o‘qitishda innovatsion texnologiyalardan foydalanish samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Shu maqsadda MATLAB tizimini o‘quv jarayoniga kengroq joriy etish bo‘yicha takliflar ishlab chiqildi. MATLAB tizimining SimPowerSystems biblioteka to‘plami Simulink platformasining maxsus kutubxonasi bo‘lib, elektr qurilmalarini imitatsion modellashtirish imkonini beradi. Ushbu kutubxonada passiv va aktiv elektr elementlar, shuningdek, energetik tizimlarning matematik modellarini yaratish mumkin.

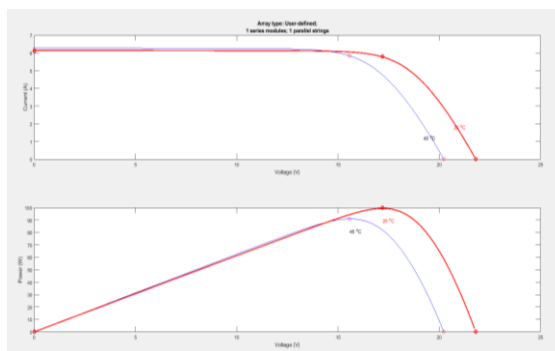


1-rasm. Yarimo ‘tkazgichlar fizikasi fanida imitatsion modellashtirish

Ishlab chiqilgan imitatsion model “Yarimo‘tkazgichlar fizikasi” fanining “Yarimo‘tkazgichlarning volt-amper va volt-vatt xarakteristikalarini o‘rganish” mavzusidagi laboratoriya mashg‘ulotiga bag‘ishlangan. Ushbu model yordamida Simulink va SimPowerSystems’ning imkoniyatlaridan foydalanib quyidagi masalalar hal etiladi:

- Qurilmalarning ishlashini imitatsiya qilish;
- Tizimning rejimlarini hisoblash;
- Uchastkaning impedansini (to‘la qarshiligini) aniqlash;
- Chastotaviy xarakteristikalarini olish;
- Tok va kuchlanishlarni tahlil qilish.

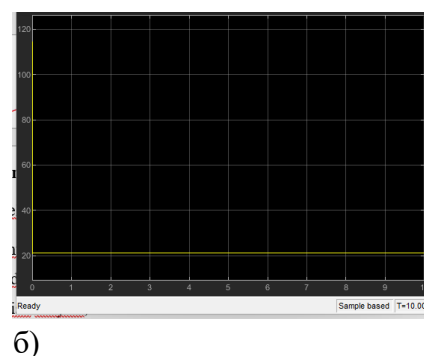
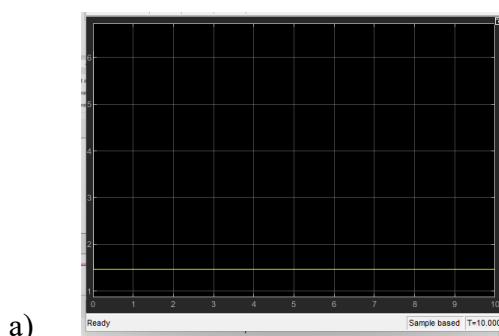
Bundan tashqari, murakkab elektr tizimlarni modellashtirishda imitatsion va tarkibiy modellashtirish usullaridan birgalikda foydalanish ham mumkin.



2-rasm. Quyosh fotoelektr stansiyasining volt-ampere va volt-watt diagrammalari

Modellashtirish natijasida quyosh fotoelektr stansiyasining asosiy elektr parametrlarini ifodalovchi grafiklar hosil qilinadi:

- Volt-Ampere xarakteristikasi – kuchlanish va tok o‘zgarishini aks ettiradi;
- Volt-Watt xarakteristikasi – quvvat va kuchlanish bog‘liqligini ko‘rsatadi.



**3-rasm. Fotoelementdan chiqayotgan
tok (a) va kuchlanish (b) diagrammalari**

Ushbu imitatsion model, yarimo‘tkazgichlarda elektr energiyasining ishlab chiqarish jarayonlarini yanada optimallashtirish, quyosh stansiyalarining yuqori samaradorligini ta‘minlash uchun nazariy va amaliy asos yaratadi.

Texnika oliy ta‘lim muassasalarida zamonaviy pedagogik va axborot texnologiyalaridan foydalanish talabalar bilimini oshirishga hamda ularning o‘quv jarayonida faol ishtirok etishiga xizmat qiladi. Interaktiv o‘qitish usullari yordamida talabalar amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlarida yanada faol bo‘lib, mustaqil izlanish va ijodiy yondashuv ko‘nikmalariga ega bo‘ladilar. Shuningdek, axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish ularning elektron ta‘lim resurslaridan foydalanish ko‘nikmalarini rivojlantiradi. Zamonaviy o‘qitish usullari orqali talabalar real muammolarni hal qilishga yo‘naltirilgan bilimlarni egallashadi, bu esa kelajakda ularning yuqori malakali mutaxassis bo‘lib yetishishlariga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

1. A.M. Kasimaxunova, G.X.Axmedova “Muqobil energiya manbalaridan foydalanishning joriy holati va istiqbollari” mavzusida Respublika miqyosida ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. Namangan. 2020 y.
2. В.И. Курир. О моделировании гидрогенератора с турбиной в MATLAB/SIMULINK. Вестник. 2019. №3. S 133-141

3. T.Dadajonov, M.Muxitdinov MATLAB asoslari. Toshkent O'zbekiston Respublikasi fanlar Akademiyasi «Fan» nashriyoti 2008 y.
4. Ш.С. Назиржонова. “Қуёш энергетикаси” фанини ўқитишда АКТ дастурий воситаларининг имконитларидан фойдаланишнинг самарадорлиги //Engineering problems and innovations. – 2023.

p-Si/SiO₂/Co:ZnO ASOSIDAGI MEMRISTORLIK XUSUSIYATINI O'RGANISH

J.X. Murodov^{1,2}, Sh.U. Yuldashev², M.S. Mirkamilova¹, U.E. Jurayev¹.

¹*Toshkent davlat texnika universiteti*

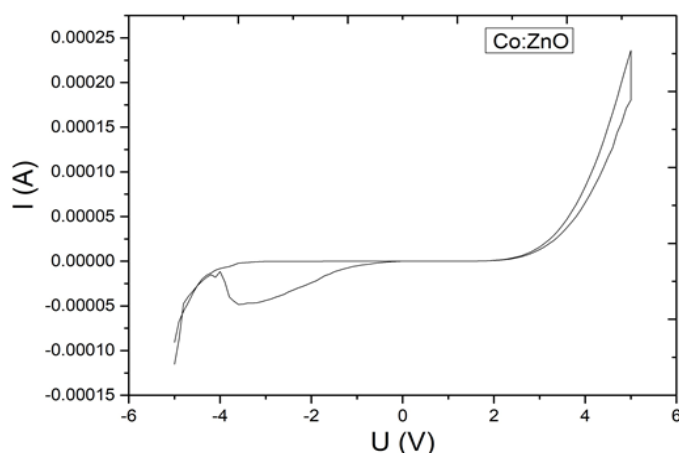
²*Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi*

So'nggi yillarda memristorlar (xotirali rezistorlar) xotira texnologiyalari va neyromorfik hisoblash sohalarida katta qiziqish uyg'otmoqda. An'anaviy xotira qurilmalaridan farqli o'laroq, memristorlar o'zlarining qarshilik holatini kuchlanish yoki tok ta'sirida o'zgartira oladi va shu holatni saqlab qoladi. Bu xususiyat ularni yuqori zichlikli xotira elementlari, kam quvvat sarflaydigan neyromorfik tizimlar va boshqa innovatsion ilovalar uchun ideal nomzodga aylantiradi. Sink oksid (ZnO) o'zining arzonligi va moslashuvchan xususiyatlari tufayli memristor qurilmalari uchun istiqbolli material hisoblanadi. Ushbu maqolada biz p-kremniy (p-Si) substratida kremniy dioksidi (SiO₂) qatlami va kobalt (Co) bilan legirlangan sink oksid (Co:ZnO) asosida yaratilgan memristor strukturani o'rganamiz. Biz Co:ZnO qatlamining memristorlik xususiyatlariga ta'sirini, shuningdek, qurilmaning ishlash mexanizmlarini ko'rib chiqamiz, bu esa kelajakdagi memristor qurilmalarini loyihalash uchun yangi yo'nalishlar ochib berishi mumkin.

Ushbu ishda biz 10 % kobalt qo'shilgan ZnO asosidagi memristorlik xususiyatini o'rgandik. P turdagi kremniy tagliklarga ultrasonik sprej piroliz usulida namunalarni o'stirdik. Kontakt sifatida plyonkaga kumush (Ag), kremniy taglikka nikel (Ni) olindi. Namunalarni o'stirishda ularni suvda eriydigan asetatlaridan foydalanildi. Barcha aralashmalar ikki marta distellangan suvda eritilgan. Tayyor aralashma 2.5 MHz chastotada ishlovchi vibratorda bug'latilgan. Bug'ni yo'naltirish uchun kislarod gazidan foydalanilgan. Taglik temperaturasi 450° C da o'rnatilgan.

Tayyor namunalarni tuzilish va strukturasi o'rganishda elektron mikroskopdan foydalanildi (SEM). Optik o'tkazuvchanligi spektrometrdan 300-500 nm oralig'ida kuzatilgan. Volt-ampere xarakteristikasini o'rganishda Keitley-2460 qurilmasidan foydalanildi.

Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki namunaning VAX si gisterizdan iborat bu ularda memristorlik xususiyati borligini ko'rsatadi. Ushbu tadqiqot natijalari Co bilan legirlangan ZnO asosidagi memristorlarning neyromorfik hisoblash tizimlari uchun istiqbolli materiallar ekanligini ko'rsatadi.



Co: ZnO ning volt-amper xarakteristikasi

Adabiyotlar ro'yxati

1. Cobalt-doped zinc oxide based memristors with nociceptor characteristics for bio-inspired technology, N.Rehmen, A.Ullah, M.Mahmood, RSC Advances, 2024,**14**, 11797-11810
2. Resistive switching effect in Co-doped ZnO thin films for nonvolatile memory applications, R.Sharipova, Sh. Yuldashev, A.Arslanov, O'zMU xabarлари, 2023,566-570

MAGNETIC FIELD-DEPENDENT FERMI ENERGY OSCILLATIONS IN TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GASES WITH LANDAU LEVELS

M.A. Mamatova, M.M.Obbozova, D.U. Xojiakbarova

Fergana State University

The density in a two-dimensional electron gas can be precisely controlled using a surface gate, and the relationship between the change in density and the surface-gate voltage is linear, allowing for predictable modulation of the electron system. When the electron density of states is influenced by Landau levels in a magnetic field, the Fermi energy exhibits distinct behaviors depending on whether a Landau level is pinned at the chemical potential or not, revealing crucial insights into electron transport properties under different magnetic field conditions. We showed that the density in a two-dimensional electron gas could be controlled by a surface gate. We know that the relationship between change in density and change in a surface-gate voltage was linear.

In deriving this relationship we did not assume any particular shape for the density of states of the electron gas. The only assumption was that the system behaved like an ideal capacitor. Therefore Eqn. 1 is as valid in a finite magnetic field as it is in zero field.

Figs. 1a,b show two different situations that arise when the density of states is formed from Landau levels. In Fig. 1a a Landau level is at the chemical potential. If in this situation we use a surface gate to remove a small number of electrons from the electron system the Fermi energy E_F will not change much because in the centre of a disorder broadened Landau level the states are

close together in energy. Removing one electron only changes the energy by an amount equal to the next energy spacing. The Landau level is said to be pinned at the chemical potential.

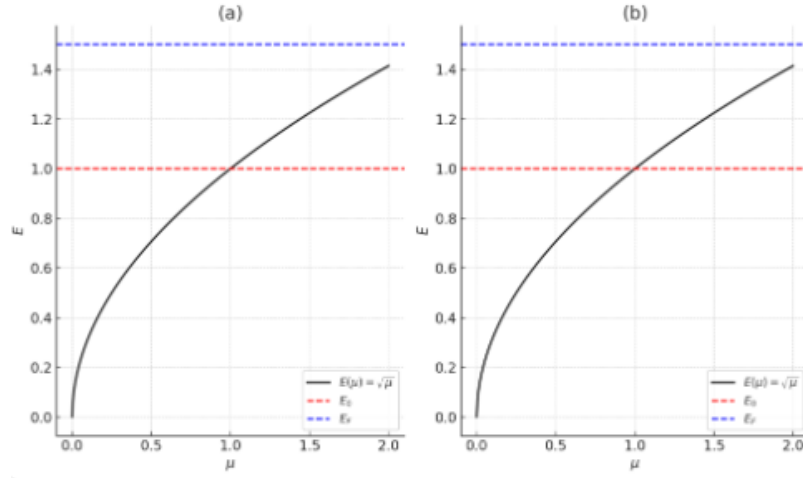


Fig. 1. Heterojunction interface occupied by a single two-dimensional electron gas. (a) Landau level at the chemical potential μ . (b) Chemical potential μ between Landau levels.

$$\Delta n_{2D} = \frac{\epsilon}{ed} \Delta V_g \quad (1)$$

In Fig. 1b, there are no states at the chemical potential and in order to remove an electron, the Fermi energy must shrink rapidly, bringing occupied states in the next Landau level to the chemical potential. When the n^{th} Landau level is pinned at the chemical potential the Fermi energy will be $E_F \simeq \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_c$, to within the width of the disorder broadened Landau level, and it will remain at this value until the density has been reduced by an amount $n_L = eB/h$, the density of electrons in a Landau level, the Fermi energy will then jump to the next value $E_F = \left(n - 1 + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_c$ and so on. This process is shown schematically in Fig. 2.

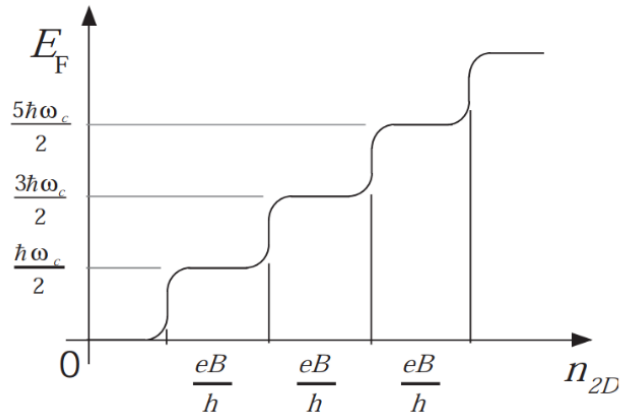


Fig. 2. Fermi energy in a two-dimensional system as a function of carrier density at fixed magnetic field B.

When we increase the magnetic field at fixed carrier density two things happen. Firstly the density in each Landau level $n_L = eB/h$ increases and therefore in order for the carrier density $n_{2D} = \nu eB/h$ to remain constant the filling factor ν must gradually reduce and successive Landau levels with lower index n will pass through the chemical potential. Secondly the spacing

between Landau levels increases and therefore whilst a particular Landau level is pinned at the chemical potential the Fermi energy will increase to accommodate this energy. These factors result in the Fermi energy oscillating as a function of magnetic field around its zero field value.

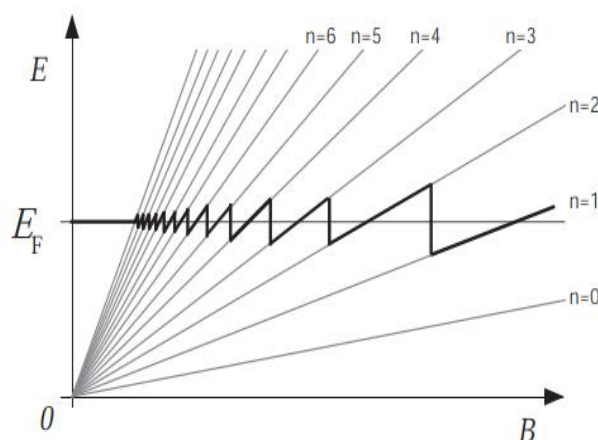


Fig. 3. Grey lines: Landau Fan $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_c$ as a function of B for $n = 0..14$. Black line: The Fermi energy of a two-dimensional system as a function of magnetic field at constant density. Horizontal dark grey line: Zero field Fermi energy.

As the magnetic field is increased at a fixed carrier density, the Fermi energy oscillates due to changes in the density of states within Landau levels, with the energy gaps between these levels modifying the electron transport. This oscillatory behavior of the Fermi energy as a function of magnetic field demonstrates the interplay between quantum effects, Landau level formation, and electron density in two-dimensional electron systems, offering important implications for designing quantum devices.

Literature

1. C. H. W. Barnes. Quantum electronics in semiconductors. Cavendish Laboratory, University of Cambridge, 2021.
2. "Quantum Hall Effect in a Magnetic Field: Analysis of Bloch Electrons" by Haldane, F. D. M. (Physical Review Letters, 1988)
3. Mamatova, M. A., Yavkachovich, R. R., Dilshodbek, M., & Forrukh, K. (2022). Relation between the concentration of nonequilibrium electrons and holes in long semiconductor diodes. *European science review*, (5-6), 29-32.

p-n O'TISHLI DIODLARGA MAGNIT MAYDON TA'SIRINI O'RGANISH

G.N.Majidova, F.R.Muxitdinova, Sh. Malikov

Namangan Davlat Texnika Universiteti, Islom Karimov ko'cha 12 uy,

Namangan 160103, Uzbekiston

gmail: m.gulnoza.1985@gmail.com,

Bugungi kunda p-n o'tishlarga magnit maydon ta'sirini o'rganish yarimo'tkazgichlar fizikasi va optikasi sohasida juda muhim tadqiqot yo'nalishidir. Bu sohada olib borilayotgan ishlar, p-n

o'tishlarning elektr va optik xususiyatlarini yaxshilash va ulardan samarali foydalanish imkoniyatlarini yaratishga qaratilgan. Magnit maydon p-n o'tishlarga turli xildagi ta'sirlarni ko'rsatishi mumkin, ayniqsa, elektro-magnit xususiyatlarni o'rganishda muhim rol o'ynaydi.

Alohida to'htaladigan bo'lsak, magnit maydon p-n o'tishlari orqali oqimning harakatlanishini o'zgartirishi mumkin, bu esa p-n o'tishlarning samaradorligini yoki ularning tok o'tkazuvchanligini o'zgartiradi. Magnit maydonning kiritilishi, ayniqsa, Hall effekti orqali o'rganiladi. Hall effekti p-n o'tishlarida, magnit maydonning ta'siri orqali elektronlar va teshiklar orasidagi ajralishni tahlil qilishga yordam beradi.

P-n o'tishlaridan tashkil topgan yarimo'tkazgichli qurilmalarda masalan diodlar va tranzistorlarning ishlashiga magnit maydonning ta'sirini o'rganish, magnit rezistorlar (MR) va yadro magnit rezonans (NMR) texnologiyalarining rivojlanishiga yordam beradi.

Bunday tadqiqotlar esa yarimo'tkazgichli qurilmalarning yuqori tezlikda ishlashi va energiya samaradorligini yaxshilashga imkon beradi. Magnit maydon va p-n o'tishlaridagi ta'sirlarni o'rganish jarayonida yangi materiallar, xususan, 2D materiallar (grafen, molibden disulfid va boshqalar) va nano-tuzilmalarda p-n o'tishlarning xususiyatlarini o'rganish amalga oshirilmoqda. Bu materiallar magnit maydon bilan muomala qilishda yangi xususiyatlar ko'rsatishi mumkin.

Biz esa ushbu ishimizda p-n o'tishli diodga magnit maydon ta'sir etganda

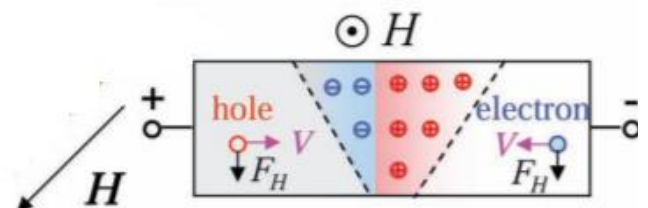
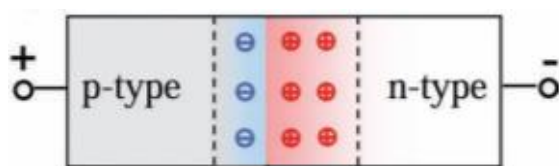
yuzaga keladigan fizik jarayonlarni tahlil qilganmiz. Agar p-n o'tishli diodga magnit maydon ta'sir etmasa, hajmiy zaryad kengligida elektr maydon p va n sohalarda esa diffuziya jarayonlari muvozanat holatiga bog'liq holda maydon ta'sirida o'tayotgan zaryad tashuvchilar bilan diffuziyalanayotgan zaryad tashuvchilar teng bo'lguncha almashinish bo'lib turadi (1- rasm).

Hajmiy zaryad soha kengligi va p-n o'tish potensial to'sig'ining balandligi diod p-n o'tish kesimi bo'ylab bir xil bo'ladi.

p-n o'tishli diodga magnit maydon qo'yilganda elektron va kovaklar magnit maydoni va tok yo'nalishiga perpendikular ravishda og'adilar. Buning natijasida yuzaga kelgan Xoll kuchlanishi diodning p-n o'tishdagi hajmiy zaryad sohasini tubdan o'zgartirib yuboradi. p-n o'tish kesimining turli sohalarida hajmiy zarad qalinligi va p-n o'tish potensial to'siq balandligi o'zgaruvchan bo'lib qoladi. Magnit maydoni ta'sirida p-n o'tishli dioddagi hajmiy zaryad sohasining kengligini o'zgarishi sxematik ravishda 2- rasmda tasvirlangan.

Lorens kuchi ta'sirida n va p sohada elektron va kovaklarning traektoriyalarida burilishi natijasida zaryadlarni na'munaning chetlariga haydaydi. Buning natijasida potensial to'siq o'zgaradi va p-n o'tishning qarshiligini keskin o'zgarishiga sabab bo'ladi. Qarshilik ortib tokni kamayishga olib keladi. Potensial to'siq balandligi ortadi.

Magnit maydon ta'sir ettirilsa ideal diodlar uchun qo'llanilgan Shokli ifodasi o'zgacha ko'rinishga keladi.



1- rasm. Magnit maydoni bo'lmaganda p-n o'tishning hajmiy zaryad soha kengligi

2-rasm. P-n o'tishning hajmiy kengligini magnit maydon ta'sirida o'zgarishi

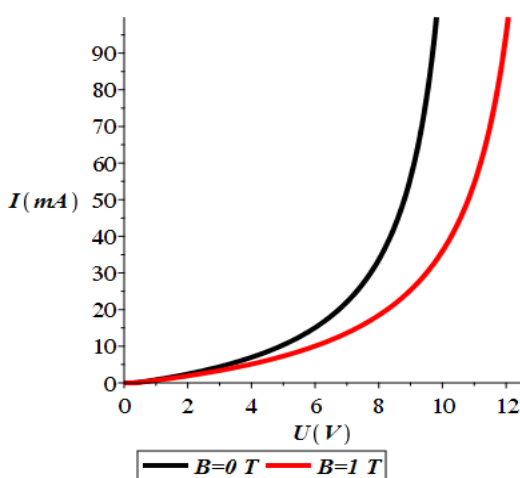
$$j = j_s \left(e^{\frac{e\phi_0}{kT} - \frac{e}{kT_e}(\phi_0 - U - U_1 + \frac{aR_x JB}{l})} - 1 \right). \quad (1)$$

p-n o'tishli diodlarning baza qarshiligini hisobga olsak (1) ifoda (2) bilan almashinadi.

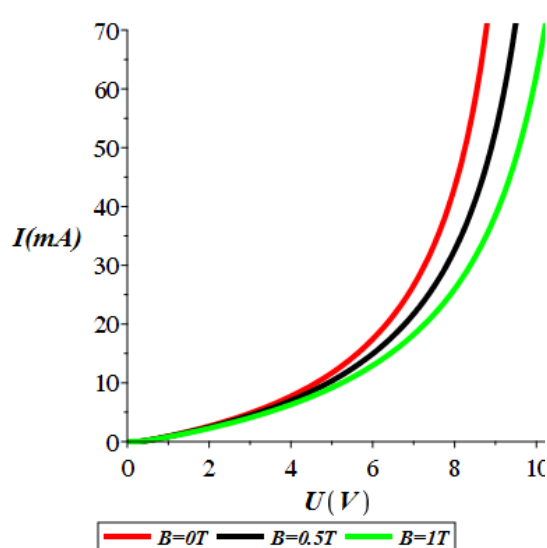
$$j = j_s \left(e^{\frac{e\phi_0}{kT} - \frac{e}{kT_e}(\phi_0 - U - U_1 + J(R_b + \frac{aR_x JB}{l})} - 1 \right) \quad (2)$$

Ideal diodning VAXni o'zgarishini solishtirib ko'rsak qo'yidagilarni (3-rasm) kuzatishimiz mumkin.

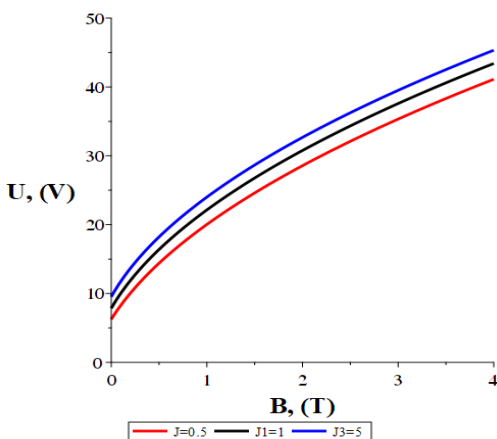
Tashqi magnit maydon ta'sir bo'lganda ham diodning VAX si o'zgarishi kuzatilar ekan. Magnit maydonda B ni oshirib borsak diodning VAXi JU tekisligida kichik toklar va katta kuchlanishlar tomon surilishi kuzatiladi. Magnit maydonni ortirib borilsa diodda yuqori kuchlanish berilsa ham undan o'tayotgan tokni kamayib borishiga sabab bo'lar ekan.



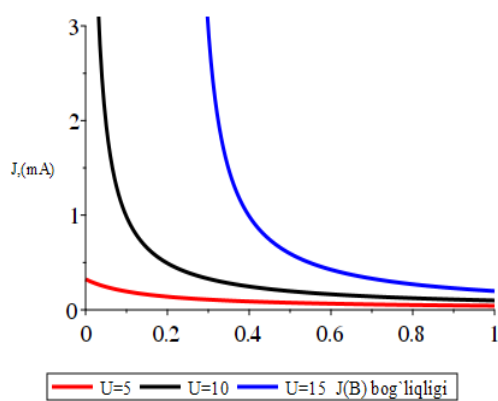
a)



b)



c) Turli toklar uchun kuchlanishni
B ga bog'liqligi



d) Turli kuchlanishlarda tok kuchini B
ga bog'liqligi

3-rasm. a) Shokli ifodasiga asosan va magnit maydon ta'sirida olingan VAX

b) Magnit maydon ta'sirida VAX ni o'zgarishi

c) tokning turli qiymatlari uchun U ni Bga bog'liqligi

d) kuchlanishlarning turli qiymatlari uchun J ni Bga bog'liqligi

Bundan ko'rinadiki magnit maydoni ta'sirida VAX JU-tekisligida surilishi namoyon bo'lmoqda. p-n o'tishga magnit ta'sir ettirilganda tok kuchi kamayib kuchlanish ortar ekan.

Magnit maydon ta'sirida hosil bo'lgan Lorens kuchi va Xoll kuchlanishi hajmiy zaryad sohasini trapetsiyasimon bo'lishga olib keladi. Bu esa hajmiy soha kengligida tok o'tishini kamayib borishiga sabab bo'ladi.

ADABIYOTLAR

1. Шалимова К. В., Физика полупроводников //М.Энергоатомиздат, 1985, с. 113.
2. Егиазарян Г., Стафеев В., Магнитодиоды и магнитотранзисторы и их применение // М. Радио и связь, 1987, с. 26.
4. Yang D., Wang F., Ren Y. A Large Magnetoresistance Effect in p–n Junction Devices by the Space-Charge Effect// Adv. Funct. Mater., 2013, **23**, pp. 2918–2923.
5. Zhang K., Li H., Grünberg P., Li Q. Large rectification magnetoresistance in nonmagnetic Al/Ge/Al heterojunctions// Scientific Reports, 2015, **5**, 14249. pp. 1-6-b
6. Overweg H., Eggiman H., Liu M-N. Oscillating Magnetoresistance in Graphene p–n Junctions at Intermediate Magnetic Fields // Nano Lett. 2017. Vol. 17 (5). pp. 2852-2857
7. Kara D., Kiyikci O., Oylumlooglu G. Effect of magnetic field on germanium p-n homojunction // Mugla Journal of Science and Technology, 2021. Vol. 7 (2), pp. 1-5
8. G. Gulyamov, G.N. Majidova, F.R. Mukhitdinova, Influence of a magnetic field on the characteristics of a p-n junction diode // *Journal of Applied Science and Engineerin* 2023. Vol. 27, pp. 1911-1917
9. G. Gulyamov, G.N. Majidova, F.R. Mukhitdinova, S. Q. Madumarova, Influence of Temperature on Characteristics of a Diode with a p-n Junction in a Magnetic Field // *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. 2024. Vol.22, Issue 3 pp. 256–260
10. G.Gulyamov, G.N. Majidova, F.R. Mukhitdinova, Changing the Voltage of the p-n Junction in a Magnetic Field // *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. 2023. Vol 21, pp. 273–277

INVESTIGATION OF THE FERMI SURFACES OF TWO-DIMENSIONAL ELECTRON GASES VIA MAGNETOTUNNELING SPECTROSCOPY

M.A.Mamatova, M.N Toshtemirova

Fergana State University

Magnetotunneling spectroscopy serves as an effective method for studying the tunneling conductance changes of two-dimensional electron gases under the influence of an applied magnetic field, enabling the observation of structural changes in the Fermi surfaces of these systems. Electron tunneling spectroscopy can be used to investigate the Fermi surfaces of two-parallel two-dimensional electron gases if they are sufficiently weakly coupled but close enough to allow tunneling. The upper inset in Fig. 1 shows an electronic device that can be used for this purpose.

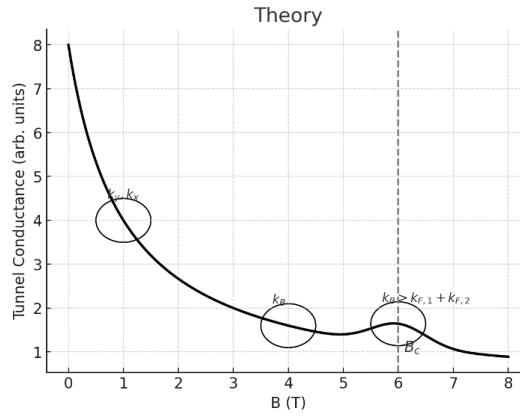


Fig. 1. Device structure and magnetotunnelling conductance (a) experiment (b) theory for tunnelling between two parallel two-dimensional electron systems.

The graph illustrates the relationship between tunnel conductance and the applied magnetic field $B(T)$. Conductance decreases sharply as the magnetic field increases, indicating suppressed tunneling states. The insets depict changes in the Fermi surface, showing modifications in electronic states with increasing B . A peak at B_c ($\sim 6T$) suggests a possible quantum transition or resonant tunneling effect. This behavior demonstrates the significant role of magnetic fields in quantum transport phenomena.

The basic device consists of two parallel two-dimensional electron systems separated by a $125\text{\AA}$ AlGaAs barrier in a GaAs-AlGaAs heterostructure. Metallic contacts connect to the upper and lower two-dimensional systems independently so that current passed from the left contact to the right contact must pass through the upper two-dimensional system, tunnel across the barrier and pass out through the lower two-dimensional system. Independent contact to the two layers is achieved by applying a negative bias to narrow top and bottom gate. They are shown as black rectangles on the upper and lower surfaces of the device and marked 'a' and 'b' in the inset figure. Negative voltages applied to these gates can be tuned so that they cut off the two-dimensional electron system closest to them.

A central metallic gate on the upper surface of the device can be used to change the relative carrier densities in the two quantum wells and therefore control tunneling between the two-dimensional systems. The magnetotunnelling experiment consists of measuring the equilibrium tunneling differential conductance dl/dV (I is the current passing between layers and V the potential difference between layers) as a function of an externally applied magnetic field placed parallel to the two two-dimensional planes and also as a function of the relative carrier densities of the two systems. The term 'equilibrium' here refers to the fact that the voltage V is made sufficiently small that it can be ignored in considering the individual properties of the two electron systems.

In equilibrium the two electron systems have the same chemical potential because the barrier between the two quantum wells is sufficiently narrow to allow electrons to tunnel between the two quantum wells. This is shown in the inset to figure 1. At low temperatures the tunneling is restricted, by Fermi statistics, so that it only occurs at the device chemical potential and therefore between the Fermi surfaces of the two two-dimensional electron systems. Tunnelling is further restricted by conservation of momentum and therefore conservation of wavevector. The equilibrium tunnelling conductance of the device is then given by the overlap integral of the Fermi-surface spectral densities of the two two-dimensional electron systems.

The wave functions in a two-dimensional system are plane waves

$$\Psi_{k_x, k_y} = e^{ik_x x} e^{ik_y y}$$

and have a dispersion of the form

$$E_{k_x, k_y} = \frac{\hbar^2}{2m^*} (k_x^2 + k_y^2)$$

Hence, at the Fermi surface where $E_{k_x, k_y} = E_F$ there is only finite spectral density on a ring with

$k_F^2 = k_x^2 + k_y^2$, where k_F is the Fermi wave vector, as shown in Fig. 2.

The effect of a parallel magnetic field is to shift the two spectral functions relative to one-another in k -space. Schrödinger's equation in a magnetic field has the form

$$\begin{aligned} \frac{(p + eA)^2}{2m^*} \Psi + V\Psi &= E\Psi \\ \frac{(p + eA)^2}{2m^*} \Psi + V\Psi &= E\Psi \end{aligned}$$

In a parallel magnetic field $B = (B_x, B_y, 0)$ we can use the Landau gauge for the vector potential $A = (B_y z, -B_x z, 0)$.

$$\left(\frac{(p_x + eB_y z)^2}{2m^*} + \frac{(p_y - eB_x z)^2}{2m^*} + \frac{p_z^2}{2m^*} \right) \Psi + V\Psi = E\Psi$$

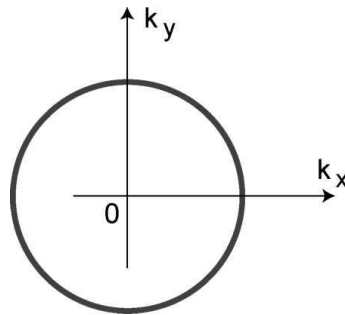


Fig. 2. Spectral density of a two-dimensional electron gas at its Fermi energy - the Fermi we get

For the we device in Fig. 1, centering the upper two-dimensional system at $z = 0$ and the lower two-dimensional system at $z = -d$ the respective Schrodinger equations have the form

$$\begin{aligned} \left(\frac{p_x^2}{2m^*} + \frac{p_y^2}{2m^*} + \frac{p_z^2}{2m^*} \right) \Psi + V\Psi &= E\Psi \\ \left(\frac{(p_x - eB_y d)^2}{2m^*} + \frac{(p_y + eB_x d)^2}{2m^*} + \frac{p_z^2}{2m^*} \right) \Psi + V\Psi &= E\Psi \end{aligned}$$

so that their k - space origins are offset by

$$\begin{aligned} p_x &\rightarrow p_x - eB_y d \Rightarrow k_x \rightarrow k_x - \frac{eB_y d}{\hbar} \\ p_y &\rightarrow p_y + eB_x d \Rightarrow k_y \rightarrow k_y + \frac{eB_x d}{\hbar} \end{aligned}$$

The form of the traces in figure [1.2] can readily understood in terms of a model consisting of the overlap between the two Fermi surface rings of two two-dimensional electron gases. The

theory (b) parts to each of these figures show examples of the relative positions of the two Fermi surfaces.

Magnetotunneling spectroscopy provides insights into the Fermi surface structure of two-dimensional electron gases by analyzing their tunneling conductance under an external magnetic field. The experiment demonstrates that the application of a parallel magnetic field shifts the Fermi surfaces in momentum space, modifying the tunneling conditions and restricting electron transport due to wave vector conservation. The theoretical model confirms that tunneling conductance is governed by the overlap integral of the Fermi-surface spectral densities, which depends on the relative displacement of the electron wave vectors. These findings contribute to the fundamental understanding of quantum coherence and momentum conservation in low-dimensional systems, with potential applications in spintronics and advanced semiconductor devices.

Literature

1. C. H. W. Barnes. Quantum electronics in semiconductors. Cavendish Laboratory, University of Cambridge, 2021.
2. "Quantum Hall Effect in a Magnetic Field: Analysis of Bloch Electrons" by Haldane, F. D. M. (Physical Review Letters, 1988)
3. Mamatova, M. A., Yavkachovich, R. R., Dilshodbek, M., & Forrukh, K. (2022). Relation between the concentration of nonequilibrium electrons and holes in long semiconductor diodes. *European science review*, (5-6), 29-32.

DEFECTS IN SEMICONDUCTORS AND THEIR IMPACT ON PHOTOELECTRIC PROPERTIES

M.B. Yusupjanova, Z.J. Jakhanova

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Semiconductors play a vital role in modern electronics and optoelectronics, with their efficiency being largely dependent on their structural composition. The presence of defects in semiconductor materials can significantly influence their electrical, optical, and photoelectric properties. These defects, which may arise during fabrication or due to environmental factors, can either enhance or degrade device performance depending on their nature and distribution.

Enhancing the photoelectric properties of semiconductors requires a thorough analysis and effective control of structural defects. By understanding how different types of defects impact photoelectric processes, researchers can develop strategies to minimize their adverse effects and optimize material performance.

This study focuses on examining the influence of various defects on semiconductor photoelectric behavior. Through detailed analysis, we aim to provide insights into defect engineering techniques that can improve the efficiency and reliability of semiconductor-based devices, including solar cells, photodetectors, and other optoelectronic applications.

According to scientific sources, defects in semiconductors primarily consist of point defects, dislocations, grain boundaries, and foreign impurities, all of which significantly affect the following aspects:

Charge carrier mobility and recombination processes [1]. Defects can act as trapping centers, altering charge transport mechanisms and reducing carrier lifetimes, which directly impact the overall efficiency of semiconductor devices.

Photoelectric conversion efficiency and light absorption capability [2]. Structural imperfections can influence bandgap energy, surface states, and optical absorption properties, thereby affecting the semiconductor's ability to convert light into electrical energy.

Methods for defect reduction, including doping and passivation [3]. Controlled doping can modify the electronic properties of the material, while passivation techniques help mitigate the negative effects of defects by stabilizing the semiconductor surface and minimizing recombination losses.

Recent studies indicate that optimizing defects through advanced material processing techniques can significantly enhance the photoelectric properties of semiconductors. By carefully controlling defect formation and implementing effective mitigation strategies, it is possible to develop high-performance semiconductor materials with improved efficiency for applications in photovoltaics, optoelectronic sensors, and other advanced technologies.

In this study, both experimental and theoretical analysis methods were employed to investigate the impact of defects on semiconductor properties:

Experimental Investigation – Semiconductor samples were fabricated using various technological processes, and the effects of defects on microstructure and electrical characteristics were systematically analyzed. This approach allowed for a direct assessment of defect-induced variations in material performance.

Spectroscopic Analysis – The optical effects of defects were identified using Raman spectroscopy and photoluminescence techniques. These methods provided insights into defect-related structural changes and their influence on the electronic and optical properties of the material.

Theoretical Modeling – The impact of defects on the electronic structure was evaluated through quantum mechanical calculations and Density Functional Theory (DFT) simulations. These computational methods helped in predicting defect behavior and understanding their role in modifying semiconductor properties.

By integrating experimental observations with theoretical modeling, this research aims to develop a comprehensive understanding of defect dynamics and their implications for the photoelectric performance of semiconductors.

The results of the study indicate that:

Defects increase the recombination rate of charge carriers, leading to a reduction in photoelectric efficiency. Structural imperfections introduce recombination centers that decrease carrier lifetime, ultimately lowering the overall performance of semiconductor-based photovoltaic and optoelectronic devices.

Grain boundaries and dislocations can disrupt the electric field, affecting charge transport. These structural defects create localized potential variations that hinder carrier mobility and contribute to non-uniform electrical behavior within the material.

The detrimental effects of defects can be mitigated through doping and passivation techniques. Controlled doping can alter the electronic properties to compensate for defect-induced losses, while passivation stabilizes surfaces and reduces unwanted recombination processes.

These findings are crucial for optimizing semiconductor materials and developing high-efficiency photoelectric devices. By minimizing defect-related losses, researchers can improve the performance and reliability of next-generation optoelectronic and photovoltaic technologies.

References

1. Shockley, W., & Read, W. T. (1952). Mechanism of recombination and generation in semiconductors. *Physical Review*, 87(5), 835-842.
2. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley-Interscience.
3. Yu, P. Y., & Cardona, M. (2010). *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties*. Springer.
4. Ridley, B. K. (2013). *Quantum Processes in Semiconductors*. Oxford University Press.
5. Weber, E. R. (1983). Transition metals in silicon. *Applied Physics A*, 30(1), 1-22.
6. Zunger, A. (2003). Systematization of defect physics in semiconductors. *Physical Review B*, 67(7), 075208.
7. Pearton, S. J., Norton, D. P., Ip, K., Heo, W. H., & Steiner, T. (2004). Recent progress in processing and properties of ZnO. *Progress in Materials Science*, 50(3), 293-340.
8. Wang, L. W., & Zunger, A. (1996). Electronic structure of semiconductor quantum dots. *Physical Review B*, 53(12), 9579.
9. Zhang, S. B., Wei, S. H., & Zunger, A. (1998). Intrinsic defects in III-V semiconductors: Theory and applications. *Physical Review B*, 57(16), 9642.
10. Van de Walle, C. G., & Neugebauer, J. (2004). First-principles calculations for defects and impurities: Applications to III-nitrides. *Journal of Applied Physics*, 95(8), 3851-3879.

BI₂TE₃ ASOSIDAGI TERMOELEKTRIK MATERIALLARNING XUSUSIYATLARIGA LEGIRLOVCHI KIRISHMALAR TA'SIRINI O'RGANISH

Sirojiddinova Sarvinoz Zafarjon qizi

Farg'ona davlat universiteti doktoranti

Hozirgi kunda jamiyat oldida turgan eng muhim muammolardan biri insoniyatni energiya bilan ta'minlashdir. Energiya ishlab chiqarish, taqsimlash va turli xildagi energiya manbalarini yaratishga qaratilgan tadqiqotlar bilan bir qatorda energiya samaradorligi va uni tejashga yo'naltirilgan izlanishlar ham o'sib bormoqda.

“Energiya ishlab chiqarish tizimlarida asosiy yo‘nalish hozirgacha issiqlik energiyasini mexanik ish va elektr energiyasiga aylantirishga qaratilgan bo‘lib kelmoqda. Shu bilan birga, fotovoltaika va termoelektrik effekt kabi to‘g‘ridan-to‘g‘ri energiya konvertatsiyasini amalga oshiruvchi texnologiyalar ham jadal rivojlanmoqda. Termoelektrik generatorlar chiqindi issiqlikni elektr energiyasiga o‘zgartirib, energiya samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Ushbu texnologiyalar tizimlarning energiya samaradorligini yaxshilash imkonini beradi va atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytiradi. Shunday ekan, termoelektrik qurilmalar energiya tejash va samaradorlikni oshirish uchun kelajakka yo‘naltirilgan samarali yechim sifatida ko‘riladi.”

Xona haroratida ishlash uchun eng samarali termoelektrik materiallardan biri bismut telluridi (Bi₂Te₃) va uning qotishmalari hisoblanadi. Bu materiallarni issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi termoelektrik generatorlar va elektr energiyasidan foydalangan holda

harorat farqlarini yaratadigan sovutgichlar uchun jozibador variantlarga aylantiradi. Legirlash, ya'ni kristall panjaraga aralashmalar kiritish, Bi_2Te_3 ni o'z ichiga olgan materiallarning elektrofizik xususiyatlarini maqsadli ravishda o'zgartirish uchun foydali usuldir.

Turli xil va turli konsentratsiyadagi legirlovchi aralashmalar Bi_2Te_3 asosidagi materiallarning termoelektrik xususiyatlariga, xususan, Zebek ko'effitsienti, elektr o'tkazuvchanligi va issiqlik o'tkazuvchanligiga qanday ta'sir ko'rsatishini aniqlash bugungi kunda yarimo'tkazgichlar fizikasining eng muhim va dolzarb yo'nalishlaridan birini tashkil etadi. Termoelektrik materiallar issiqlik energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga va aksincha aylantira oladi. Termoelektrik materialning samaradorligi $ZT = (\alpha^2 \sigma / \kappa) T$ formula bilan aniqlanadigan o'lchovsiz kattalik yordamida baholanadi, bu erda α – Zebek ko'effitsienti, σ – elektr o'tkazuvchanligi, κ – issiqlik o'tkazuvchanligi va T – absolyut harorat. ZT qanchalik yuqori bo'lsa, material issiqlikni elektr energiyasiga yoki elektr energiyasini issiqlikka shunchalik samaraliroq aylantiradi.

Zebek ko'effitsienti (α) materialda harorat gradiyenti mavjud bo'lganda paydo bo'ladigan termoelektr yurituvchi kuchning kattaligini tavsiflaydi. Elektr o'tkazuvchanligi (σ) materialning elektr tokini o'tkazish qobiliyatini belgilaydi. Issiqlik o'tkazuvchanligi (κ) materialning issiqlikni o'tkazish qobiliyatini tavsiflaydi.

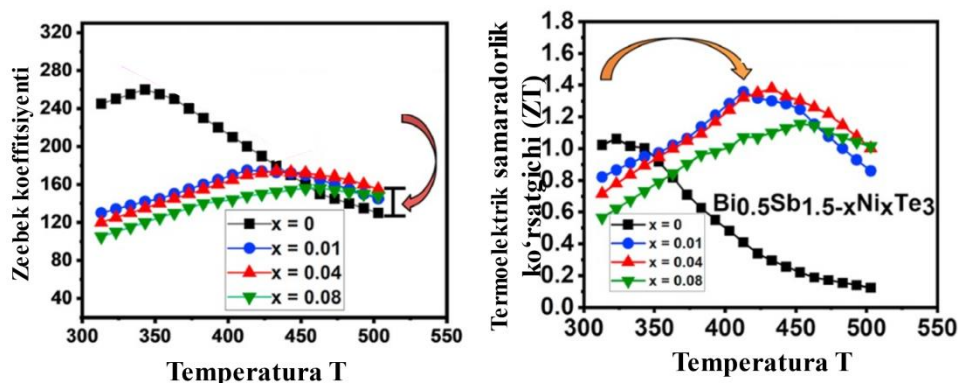
Dunyoning yetakchi mamlakatlaridagi ilmiy markazlar va universitetlar Bi_2Te_3 asosidagi qattiq qotishmalarga qotishma komponentlarini qo'shish yo'li bilan yuqori samarali yarimo'tkazgich materiallarini yaratish bo'yicha tadqiqotlar olib boradilar. Shu bilan birga, ular legirlovchi komponentlarning Bi_2Te_3 materialining elektrofizik va termoelektrik xususiyatlariga ta'sirini atroflicha o'rganmoqdalar.

Tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, kirishma sifatida Cu kiritilishi Bi_2Te_3 ning elektr qarshiligini oshiradi va tashuvchilar turini n-tipdan p-tipga o'zgartiradi. Cu miqdori ortishi bilan Zebek ko'effitsiyenti ortadi, ammo elektr o'tkazuvchanlik kamayadi. Kristall tuzilma saqlanadi, ammo antisayt defektlari hosil bo'ladi. Cu bilan legirlash xona haroratida ferromagnetizmni paydo qiladi va chiziqli magnetorezistivlikni kamaytiradi. Yangi spark-plazma sintezlash usuli bilan Cu qo'shilishi elektr o'tkazuvchanlikni keskin oshirib, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligini yaxshilaydi. Quvvat omili rekord ko'rsatkichga yetadi, $ZT \approx 1$ gacha oshadi [1].

Legirlovchi sifatida Ni qo'shilganda Bi_2Te_3 da p–n o'tish yuz beradi, bu zaryad tashuvchilar turini va konsentratsiyasini o'zgartiradi. Ni nanopartikullari zaryad tashuvchilarning sochilishini kuchaytirib, termoelektrik xususiyatlarni optimallashtirishga imkon beradi.

Cu bilan legirlash elektr o'tkazuvchanlikni keskin oshirgan – Xoll o'lchovlari natijalariga ko'ra, Bi_2Te_3 ga 2–6 at.% (atom foiz) mis qo'shilganda bir vaqtda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi oshganligi qayd etilgan. Bu esa g'ayrioddiy holda ikkala ko'rsatkichning birgalikda yaxshilanishidir. Buning sababi: Cu atomlari panjarada interstitsial yoki substitutsion o'rinlarni egallab, ionlashgan nopok atomlar tufayli yuzaga keluvchi sochilishni kamaytiradi. Cu miqdori ortishi bilan Zebek ko'effitsiyenti deyarli o'zgarmagan. Natijada qarshilikning harorat ko'effitsiyenti pasayib, xona haroratida material ko'proq metallga xos xususiyatini namoyon qiladi. σ (elektr o'tkazuvchanlik) Zebek ko'rsatkichini pasaytirmagan holda oshgani sababli, quvvat omili ($\sigma \cdot S^2$) $\sim 45 \mu\text{W cm}^{-1} \text{ K}^{-2}$ ga yetgan – bu ko'p kristalli n-tip Bi_2Te_3 uchun rekord daraja. Maksimal ZT ham mos ravishda 300 K da ~ 1 ga yetgani qayd etilgan [2].

p-tip ($\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}$) Te_3 materialiga Ni legirlash jarayonida, Sb ning Ni bilan almashtirilishi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini oshiradi, maksimal $ZT \approx 1,38$ ga erishilgan. Ni qo'shilishi ichki eksitatsiyani kamaytirib, yuqori haroratda barqarorlikni yaxshilaydi (1-rasm) [3].

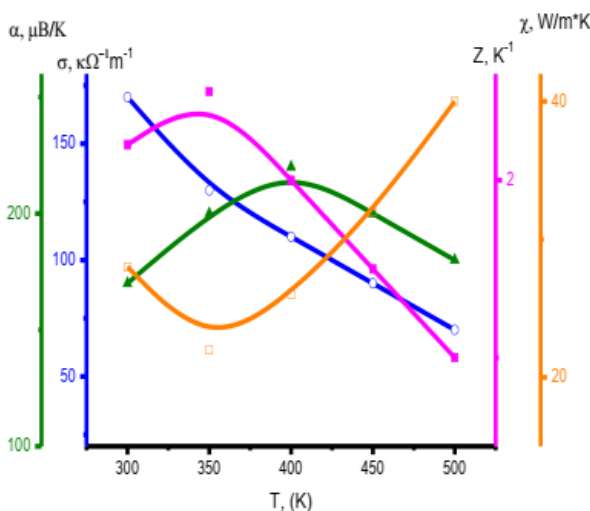


1-rasm. $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5-x}\text{Ni}_x\text{Te}_3$ materialining Zeebek koeffitsiyenti va termoelektrik samaradorlik ko'rsatkichining temperaturaga bog'liqligi

Bi_2Te_3 ga Se qo'shilganda bant oralig'i kengayishi va bipolyar o'tkazuvchanlik kamayishi, optimal tarkibda esa ZT maksimal 1–1,1 ga yetishi kuzatilgan [5].

Xitoy olimlari [Jiepu Sun](#), [Zhong Shu](#) va boshqalarning olib borgan tadqiqot ishlarida ko'rishimiz mumkinki, Bi_2Te_3 – Sb_2Te_3 tizimida Sb bilan legirlash orqali p-tip o'tkazuvchanlik hosil qilingan va optimal termoelektrik samaradorlik $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ tarkibida kuzatilgan. Nanocho'kindilar yordamida Sb legirlangan $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ tarkibida maksimal $ZT > 1,2$ ga erishilgan [6].

Bi_2Te_3 materialining elektrofizik va termoelektrik xususiyatlarini o'rganish borasida oliy o'quv yurtimiz olimlari ham samarali tadqiqot ishlari olib bormoqdalar. Xususan, professor K.Onarqulov hamda T.Azimovlarning ilmiy tadqiqot ishlarida ko'rishimi mumkinki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ materialiga Ni va Cu bilan birgalikda legirlash materialning elektron tashuvchanligini oshirib, elektr o'tkazuvchanlikni yuqori darajaga ko'targanligi natijasida namunaning quvvat omili qiymati oshib, ayniqsa xona harorati atrofida maksimal qiymatlarga erishishi mumkinligini qayd etilgan.



2-rasm. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}+\text{Ni}+\text{Cu}$ materiali termoelektrik parametrlarini temperaturaga bog'liqligi [8].

O'lchangan asosiy parametrlar Zeebek koeffitsiyenti (α), elektr o'tkazuvchanlik (σ), issiqlik o'tkazuvchanlik (χ) va termoelektrik samaradorlik ko'rsatkichi (ZT) bo'lib, namunaning Zeebek koeffitsiyenti (α) 370 K gacha oshib, 180 $\mu\text{V/K}$ maksimal qiymatga yetgani, keyin esa asta-sekin

kamayishini (2-rasm, pushti egri chiziq) ko'rish mumkin. Bu esa yuqori haroratlarda tushish tashuvchilar konsentratsiyasining ortishi bilan bog'liq.

Xulosa o'rinda aytishimiz mumkinki, Bi_2Te_3 asosidagi termoelektrik materiallarga Cu, Ni, Se va Sb kabi legirlovchi elementlarni kiritish orqali ularning elektrofizik va termoelektrik xususiyatlarini samarali tarzda yaxshilash mumkinligini ko'rsatadi. Legirlovchi elementlar Zeebek koeffitsiyenti, elektr va issiqlik o'tkazuvchanliklariga ta'sir ko'rsatib, materiallarning termoelektrik samaradorlik ko'rsatkichini (ZT) oshirish imkonini beradi. Xususan, Cu bilan legirlash elektr qarshiligini oshirib, zaryad tashuvchilar turini o'zgartirsa, Ni bilan legirlash zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligini optimallashtiradi. Se qo'shilganda bant oralig'i kengayib, bipolyar o'tkazuvchanlik kamayadi va Sb bilan legirlash orqali esa maksimal ZT ko'rsatkichiga erishish imkoniyati mavjud bo'ldi. Bu natijalarni tahlil qilish orqali kelgusidagi ilmiy tadqiqot ishlarimizda Bi_2Te_3 asosidagi termoelektrik materiallarga turli o'lchovlarida Ni kiritish orqali uning samaradorligini oshirish usullarini yaratishni hamda bu bilan materialning amaliy qo'llanish doirasini kengaytirib, kelajakda energiya samaradorligini oshirish va atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirishda o'z xissamizni qo'shishni maqsad qilib oldik.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1]. Singh, A., Singh, R., Patel, T., Okram, G. S., Lakhani, A., Ganeshan, V., Ghosh, A. K., & Chatterjee, S. (2018). Tuning of carrier type, enhancement of linear magnetoresistance and inducing ferromagnetism at room temperature with Cu doping in Bi_2Te_3 topological insulators. *Materials Research Bulletin*, 102, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.09.060>
- [2]. Cha, J., Zhou, C., Cho, S.-P., Park, S. H., & Chung, I. (2019). Ultrahigh power factor and electron mobility in n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Cu}_x$ stabilized under excess Te condition. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(34), 30999–31007. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b10394>
- [3]. Lee, N., Ye, S. W., Park, J., & Woo, S. (2024). Effects of Ni magnetic nanoparticles on thermoelectric properties of Bi_2Te_3 -based materials. *ACS Applied Energy Materials*, 7(19). <https://doi.org/10.1021/acsaem.4c01745>
- [4]. Bano, S., Misra, D. K., Tawale, J. S., & Auluck, S. (2021). Enhanced thermoelectric performance of $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ via Ni-doping: A shift of peak ZT at elevated temperature via suppressing intrinsic excitation. *Journal of Materiomics*, 7(6), 1197–1207. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2021.03.003>
- [5]. Witting, I. T., Chasapis, T. C., Hautier, G., & Snyder, G. J. (2020). The thermoelectric properties of n-type bismuth telluride: Bismuth selenide alloys $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$. *Research*, 2020, Article ID 4361703. <https://doi.org/10.34133/2020/4361703>
- [6]. Sun, J., Shu, Z., Yang, J., Wang, T., Zhu, B., & He, J. (2021). Realizing high thermoelectric performance in n-type Bi_2Te_3 compounds by Sb nano-precipitates. *Journal of Applied Physics*, 130(13), 135102. <https://doi.org/10.1063/5.0066932>
- [7]. Karimberdi, O., Usmanov, Y., & Toolanboy, A. (2020). Semiconductor sensor for detecting volume changes at low temperatures. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(2), 2353-2358.
- [8]. Daliev, K S, Azimov T.M, Onarkulov M.K. "Influence of doping impurities on mechanical and thermoelectric properties of cooling thermoels based on bismuth and antimony chalcogenides." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 2.1 (2020)1

LAZER BILAN INDUKSIYALANGAN GRAFEN ASOSIDAGI FIZIK VA
KIMYOVIY SENSOR MEXANIZMLARI

Umarova Feruza

Chirichiq davlat pedagogika universiteti Fizika va kimyo fakulteti talabasi

Zamonaviy sensor texnologiyalari sanoat, tibbiyot, ekologik monitoring va boshqa ko‘plab sohalarda muhim rol o‘ynaydi. Ushbu maqolada lazer bilan induksiyalangan grafen (LIG) asosida yaratilgan fizik va kimyoviy sensorlarning ishlash tamoyillari, ularning afzalliklari, kamchiliklari va qo‘llanilish sohalari keng tahlil qilinadi.

LIG — bu lazer nurlari yordamida polimer materiallardan hosil qilinadigan uch o‘lchovli (3D) ko‘p g‘ovakli grafen tuzilma bo‘lib, quyidagi asosiy xususiyatlarga ega:

Yuqori elektr o‘tkazuvchanlik

Egiluvchanlik va elastiklik

Kimyoviy va termal barqarorlik

Katta sirt maydoni va yuqori sezgirlik

Bu xususiyatlar LIG asosidagi sensorlarning yuqori sezgirlikka ega bo‘lishi va keng qo‘llanilishiga sabab bo‘ladi.

1. Lazer bilan induksiyalangan grafen (LIG) haqida umumiy tushuncha

LIG olish jarayonida polimer sirtiga lazer nurlari yuboriladi, natijada material yuzasida uglerod atomlari qayta taqsimlanib, grafen qatlamlari hosil bo‘ladi. Bu jarayon quyidagi xususiyatlarga ega.

Ishlab chiqarish soddaligi – an’anaviy grafen olish usullariga nisbatan tezroq va arzonroq.

Ekologik xavfsizligi – kimyoviy reaktivlardan foydalanilmaydi, bu esa atrof-muhitga zarar yetkazmaydi.

Moslashuvchanligi – LIG har xil substratlar ustida hosil qilinishi mumkin, masalan, plastmassa, to‘qimachilik yoki qog‘oz.

Misollar: 1. Polimid substratida hosil qilingan LIG – yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo‘lib, egiluvchan sensorlar uchun ishlatiladi.

2. **Qog‘oz asosidagi LIG** – ekologik toza va arzon sensorlar uchun mos keladi.

3. **To‘qimachilik substratida LIG** – kiyiladigan aqlli texnologiyalar uchun asos yaratadi.

2. LIG asosidagi fizik sensorlar.

2.1. Harorat sensorlari. LIG ning yuqori elektr o‘tkazuvchanligi va haroratga bog‘liq qarshilik o‘zgarishi uni samarali harorat sensori sifatida ishlatishga imkon beradi. Asosiy xususiyatlari: , tezkor javob berish ,keng harorat diapazonida ishlash moslashuvchan va egiluvchan tuzilma .

Misollar: 1. **Tibbiyotda** – tana haroratini o‘lchash uchun kiyiladigan qurilmalar.

2. **Sanoatda** – ishlab chiqarish jarayonlarida issiqlik monitoringi.

3. **Kosmosda** – sun‘iy yo‘ldoshlar uchun termal nazorat tizimlari.

2.2. Bosim va deformatsiya sensorlari

LIG ning egiluvchanligi va o‘zgaruvchan qarshiligi uni bosim va deformatsiyaga sezgir qiladi. Asosiy xususiyatlari: oliy sezgirlik , katta deformatsiya diapazoni, qattiq va moslashuvchan substratlar bilan ishlash imkoni.

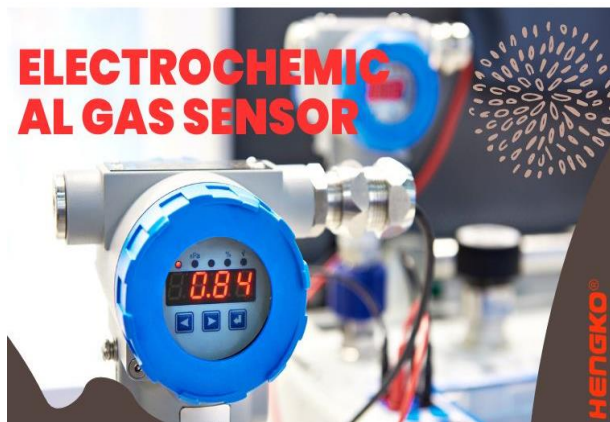
Misollar: 1. **Tibbiyotda** – yurak urishini o‘lchaydigan egiluvchan datchiklar.

2. **Robototexnikada** – robot qo‘llari uchun sezgir sensorlar.

3. **Sport texnologiyalarida** – sportchilarning oyoq bosimini tahlil qilish uchun maxsus tagliklar.

3. LIG asosidagi kimyoviy sensorlar.

3.1. Gaz sensorlari. LIG gaz molekularini adsorbsiyalash xususiyatiga ega bo‘lib, uning elektr xususiyatlari gaz mavjudligiga bog‘liq ravishda o‘zgaradi.



Asosiy xususiyatlari: Juda past konsentratsiyadagi gazlarni aniqlash qobiliyati, tezkor javob va tiklanish vaqti, moslashuvchan va bardoshli tuzilma.

Misollar: 1. CO₂ monitoringi – ekologik monitoring uchun ishlatiladi.

2. H₂S aniqlash – neft sanoatida xavfsizlik tizimlarida qo‘llanadi.

3. NH₃ deteksiyasi – qishloq xo‘jaligida ammiak miqdorini kuzatish uchun ishlatiladi.

3.2. Biomarker sensorlari. LIG asosidagi biosensorlar inson organizmidagi turli biomarkerlarni aniqlashda ishlatiladi.

Asosiy xususiyatlari: yuqori sezgirlik, tezkor diagnostika imkoniyati, kichik o‘lcham va qulay interfeys

Misollar: 1. **Diabet uchun glukoza sensori** – qondagi shakar miqdorini aniqlash.

2. **Saraton biomarkerlarini aniqlash** – erta bosqichda tashxis qo‘yish.

3. **Virus va bakteriyalarni aniqlash** – pandemiyalar oldini olish uchun.

4. Qo‘llanilish sohalari va istiqbollar.

LIG asosidagi sensorlarning asosiy qo‘llanilish sohalari: tibbiyot – yurak urishi, qon bosimi va qon tarkibini kuzatish, ekologiya – havo sifati monitoringi va atrof-muhit xavfsizligini ta’minlash, sanoat – avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish jarayonlarida sifat nazorati.



Bu jadval bizga LIG asosidagi fizik sensorlarning sezgirligi bo‘yicha taqqoslashga yordam beradi.

LIG asosidagi biologik sensorlarning ishlash samaradorligi bolishi lozim.

Lazer bilan induksiya qilish grafen asosidagi sensorlar yuqori sezgirlik, arzon ishlab chiqarish texnologiyasi va ekologik xavfsizligi tufayli ko'plab sohalarda foydalanish uchun qulaydir. Ular sog'liqni saqlashdan tortib, sanoat va atrof-muhit monitoringigacha bo'lgan keng ko'lamli ishlanmalar uchun ideal hisoblanadi.

Ushbu texnologiya rivojlanishi bilan o'ta sezgir, moslashuvchan va arzon sensorlar ishlab chiqish yanada kengayishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., et al. "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films" // Science. – London: American Association for the Advancement of Science, 2004. – Vol. 306. – P. 666–669.
2. Lin J., Peng Z., Liu Y., et al. "Laser-induced porous graphene films from commercial polymers" // Nature Communications. – London: Nature Publishing Group, 2014. – Vol. 5, Article 5714.
3. Ye R., James D.K., Tour J.M. "Laser-induced graphene: from discovery to translation" // Advanced Materials. – Weinheim: Wiley-VCH, 2019. – Vol. 31, Issue 1. – P. 1803621.
4. Ferrari A.C., Bonaccorso F., Fal'ko V., et al. "Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems" // Nanoscale. – Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015. – Vol. 7, Issue 11. – P. 4598–4810.
5. Zhang Y., Wang L., Zhang H., et al. "Recent Advances in Laser-Induced Graphene: Mechanisms, Properties, and Applications" // Advanced Functional Materials.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕРМОЭЛЕМЕНТЫ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ $p\text{-Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА

**М.Б.Набиев¹, С.М.Зайнолбидинова¹, М.А.Абдуллаева¹, Н.С.Камолдинов¹
У.А.Юнусов¹**

¹ Ферганского государственного университета. г. Фергана, ул. Мураббий
дом 19, 150100, Узбекистан

[*mbnabiev52@gmail.com](mailto:mbnabiev52@gmail.com)

zajsapura@gmail.com

В работе рассмотрены технология синтеза поликристаллических полупроводников из твердых растворов на основе Bi_2Te_3 n – типа, используемых при 300-500 К в термогенераторах концентрированного солнечного излучения. Там показана эффективность метода сплавления компонентов при одновременном легировании. За счет отклонения от стехиометрии и введения примеси, оптимизируются свойства основы термоэлектрического вещества. В работе была разработана структура материала p – типа на основе $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ с составом вблизи $x \approx 1,5$ для использования в преобразователях в указанном выше интервале температур. Как и в [1], проблема расширения диапазона рабочих температур в сторону более высоких решалась оптимизацией концентрации носителей легированием основы.

Обычно, при получении основы p - типа нелегированную шихту обогащают избытком теллура (до 4%). При этом, даже если кристаллы получают направленной кристаллизацией (вертикального зонного выравнивания) или методом Бриджмена, [1]. Такой разброс обусловлен выпадением избыточного теллура во вторую фазу.

Расширения рабочего диапазона температур термоэлементов можно легко достичь соответствующим увеличением концентрации дырок за счет отклонения состава от стехиометрии или увеличения в материале количества легирующей примеси. Как видно из рис.1. увеличение концентрации носителей заряда ведет к снижению амплитуды ZT ($Z = \alpha\sigma/\chi$ - термоэлектрическая эффективность материала, α - коэффициент термоэдс). При увеличении концентрации носителей заряда p существенно снижается α , что в итоге ведет к уменьшению Z . Технология должна позволять сохранять при легировании высокие значения σ/χ в материале, чего можно достичь одновременным отклонением состава от стехиометрии в сторону обогащения халькогеном и легированием. Управлять концентрацией носителей заряда в термоэлектрических материалах удобно легированием при создании основы. Для синтеза основы, как и для материала n - типа [1], выбрано сплавление компонентов в кварцевых тиглях под давлением инертного газа (в нашем случае аргона). В качестве сырья для сплавления основы был выбран состав твердого раствора 74 мол.% Sb_2Te_3 + 26 мол.% Bi_2Te_3 .

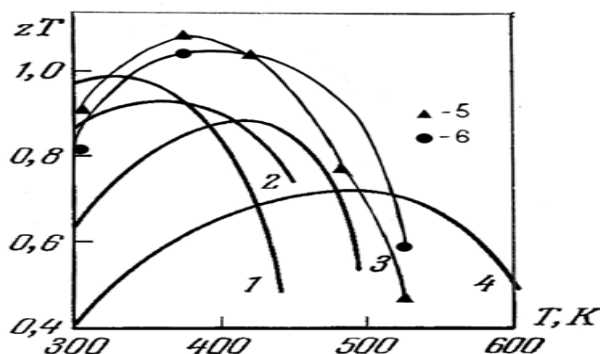


Рис.1. Термоэлектрическая добротность твердого раствора $p\text{-}Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ с различной концентрацией дырок. Для кривых 1-4 $p_1 > p_2 > p_3 > p_4$ [2]. 5,6 – наши данные для материала с избытком свинца 0,05 и 0,25 вес.% соответственно.

Термоэлектрические свойства нелегированных сплавов зависят от чистоты исходных компонентов. Обычно свойства сплавов, полученных под давлением инертного газа, соответствует следующий разброс параметров: $\sigma = (800 \cdot 1000) \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, $\alpha = (200 \cdot 210) \text{ мкВ/К}$. В нашем случае нелегированная основа имела $\sigma \approx 1000 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, $\alpha \approx 200 \text{ мкВ/К}$. Именно эти значения σ и α служили критерием отбора материала основы. При этом максимальное значение ZT имело место в районе $T \approx 320\text{-}340 \text{ К}$.

Эффективные термоэлементы из легированного $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ можно получать, только обогащая состав основы халькогеном. С целью оптимизации параметров основы исследовано влияние добавок теллура и селена в сплавляемую шихту на его свойства.

Эксперимент показал, что основа $p\text{-}Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ в зависимости от температуры сплавления и диаметра тигля должна содержать от 0,25 до 1,0 вес.% избытка теллура.

В связи с тем, что основным критерием для выбора основы в качестве полуэлементов в термопреобразователях является сдвиг рабочих температур вещества в сторону более высоких температур, нами исследованы температурные зависимости термоэлектрических параметров основы с различным содержанием свинца. Анализируя эти зависимости можно

заклучить, что наиболее оптимальными для получения основы являются добавки свинца в количествах от 0,25 до 0,4 вес. %.

Если при анализе данных от коэффициента термоэлектрической мощности $\alpha^2 \sigma$ перейти к коэффициенту добротности $\alpha^2 \sigma T / \chi$, можно убедиться, что последний параметр в интервале 300-500K остается практически неизменным. С учетом этого для синтеза полуэлементов *p*-типа была отобрана основа, легированная 0,25 вес. % свинца.

Для получения рабочего вещества, основа, сплавленная по технологии описанной выше, измельчалась до мелкой фракции, как описано в [1,4].

Помол после перемешивания последовательно подвергался холодному и горячему прессованию и термоотжигу. Температура горячего прессования варьировалась от 300 до 400°C. Прессование продолжалось в течении 5 мин.

1. Эффективный термоэлектрический материал, полученный по описанной технологии, имеет температурные зависимости параметра ZT , изображенные кривыми 5 и 6 на рис.1. 2. Сравнение этих кривых с другими (1-4) показывает, что поставленная цель – увеличение температурного диапазона рабочих температур в сторону их увеличения - достигнута.

3. Разработанный материал *p*-типа, а также полуэлементы *n*-типа, технология получения которых дана в [1], могут составить эффективную пару при создании термопреобразователей для рабочего диапазона температур 300-500K.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Э.Т., Атакулов Ш.Б., Набиев М.Б и др. //Гелиотехника, 2008. № 1,с.76-82.
2. M.B. Nabiev. Monograph: “Extreme Operating Modes of Semiconductor Thermoelements and Devices Based on Them”. // Publ. Classic. Tashkent-Fergana. Circulation 100, 2022.P. 114.
3. M.B Nabiev. SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF POSSIBILITIES OF NON-STATE THERMOELECTRIC COOLING USING RECTANGULAR CURRENT PULSES SUMMITY-// 2022. TASHKENT
4. *Nabiyev M,B. Yarim o'trazgichli termoelementlar. // Monografiya. FDU , 11.01.2022yil.,120-bet.Farzona.*

O‘ZBEKISTONDA PULLIK YO‘LLAR UCHUN 3.8GHz CHASTOTADA ISHLOVCHI PAST SHOVQINLI KUCHAYTIRGICH (LNA) DIZAYNI VA UNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Ashurov Bekzod, Murod Kurbanov

*Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti Muhandislik fizikasi instituti,
Samarqand sh.*

E-mail: bekzodjonashurov0711@gmail.com

Kirish

Signalni Antenandan qabul qiluvchining birinchi faol kuchaytirish komponenti bu LNA (Low Noise Amplifier - past shovqinli kuchaytirgich). LNA ning asosiy vazifasi signalni kuchaytirish va keyingi bosqichning shovqinini siqishdir, shu bilan birga iloji boricha kamroq shovqin qo'shishdir. RF qabul qilgichining ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsatadigan komponent bu LNA

hisoblanadi. Ishlash chastotasi LNA oldidan qo'llaniladigan RF filtri bilan ham bog'liq. Ular yaxshi kuchaytirish va past shovqin ko'rsatkichi taqdim etadi, ammo ular qimmat va oson integratsiya qilinmaydi. Yangi texnologiyalar rivojlanishi bilan biz RF sxemalarini loyihalashda yangi texnologiyalarni amalga oshirishni muvaffaqiyatli tadqiq qildik. Texnologiyalar past shovqin ko'rsatkichi va yuqori kuchaytirishga olib keldi. So'nggi texnologiyalar nafaqat narx va integratsiya nuqtai nazaridan, balki yuqori samaradorlik nuqtai nazaridan ham kuchli ekanligini ko'rsatdi. Induktiv manba pasaytirishli past shovqinli kuchaytirgich eng yaxshi shovqin ko'rsatkichlari va kuchaytirishni taqdim etadi. LNA - simsiz aloqa tizimlarida ishlatiladigan transiverning eng muhim bloklaridan biridir [1-5].

Prezidentning "2020-2030 yillarda O'zbekiston Respublikasining avtomobil yo'llarini rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi qarori loyihasi e'lon qilindi.

Strategiyaning asosiy maqsadi – avtomobil yo'llari tarmog'ini rivojlantirish va takomillashtirishning, ularning ekspluatatsiya qilish xususiyatlarini oshirishning iqtisodiyot barqaror va ildam rivojlanishiga, respublika mudofaa qobiliyati va iqtisodiy xavfsizligi mustahkamlanishiga, aholi turmush darajasi o'sishiga ko'maklashadigan yo'nalishlari, yondashuvlari va mexanizmlarini belgilab olish [7]. Elektron To'lov Yig'ish Tizimi (ETYT)ni "Hi-Pass" deb nomlagan. Ushbu tizim bir qator foydalar taklif qiladi, jumladan, sezilarli darajada oshirilgan qayta ishlash imkoniyati, odamlar ishtirokisiz ishlash orqali xarajatlarni kamaytirish va Intellektual Transport Tizimi (ITT)ni joriy etishning tezlashishi. O'zbekiston Avtomobil Yo'llari Korporatsiyasi ETYT ni kengaytirish bo'yicha mamlakat bo'ylab reja tuzish, maqsad 2030 yilga borib mamlakat bo'ylab 75% qamrovga erishishdir [1-2]. Hi-Pass yo'l tizimlarini boshqarishda muhim yutuq bo'lib, ular shaharlarga bog'lanish va sanoat rivojlanishi uchun juda muhim ahamiyatga ega. O'zbekiston Avtomobil Yo'llari Korporatsiyasi Elektron To'lov Yig'ish Tizimi (ETYT)ga asoslangan ko'p yo'nalishli xizmatni yaratish bo'yicha reja tuzmoqda. Kelajakda ETYT yo'l yig'ish jarayonlarini RF-DSRC (Radio Frequency - Dedicated Short Range Communication) yordamida boshqaradi. Har bir yo'laning RF aloqasi uchun maxsus chastotalar ajratilgan. Ammo O'zbekistonda chastota kanali ajratilmagan, bu kanallar RF-DSRC uchun 3GHz~5GHz GHz oralig'ida joylashgan. Ushbu cheklovni bartaraf etish uchun yangi bir kontseptsiya ishlab chiqish kerak, bu ko'p yo'nalishli yo'llarni RF-DSRC yordamida qo'llab-quvvatlashni maqsad qilmoqda, bu esa yo'l to'lov yig'ish jarayonining samaradorligi va quvvatini oshirishni maqsad qilmoqda [3]. Aslida, ushbu reja mavjud ETYT tizimini optimallashtirishni maqsad qilmoqda, RF-DSRC texnologiyasini va O'zbekistonda mavjud cheklangan chastota kanallarini samarali ishlatish orqali ko'p yo'nalishli yo'llarni samarali boshqarishga qaratilgan.

Ushbu maqola OBE Hi-Pass ilovalari uchun 3.8GHz diapazonida ishlovchi keng polosali past shovqinli LNA taqdim etadi. Taklif etilgan sxema TSMC 90nm texnologiyasida ishlab chiqilgan bo'lib, 1.5V quvvat manbai bilan ishlaydi. Voltaj kuchaytirishini oshirish uchun, bu sxema umumiy manbali sxema asosida ishlab chiqilgan va shovqin ko'rsatkichi (noise figure)ni kamaytirish uchun optimallashtirilgan. Bir bosqichli induktiv manba pasaytirish texnikasi ham sxemani manba impedansiga moslashtirish uchun qo'llanilgan.

2. Sxemani Loyihalash va Tahlil Qilish

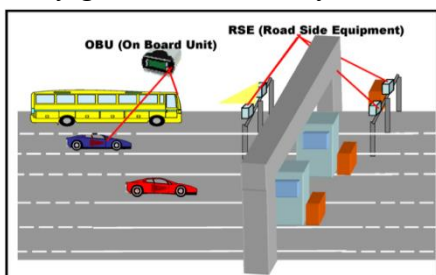
2.1 RF-DSRC ilovalariga umumiy nuqtai nazar

Elektron To'lov Yig'ish Tizimi (ETYT) avtomagistral to'lov punktlarida xizmat tizimi sifatida ishlaydi. Transport vositasi belgilangan avtomobil yo'li bo'ylab maxsus yo'lakka kirganda, yo'l bo'yidagi uskunalar "(RSE) Road Side Equipment" to'lov punktida joylashgan ustun (gantri)da o'rnatilgan bo'lib, avtomobilga o'rnatilgan On-Board Unit (OBU) orqali unga

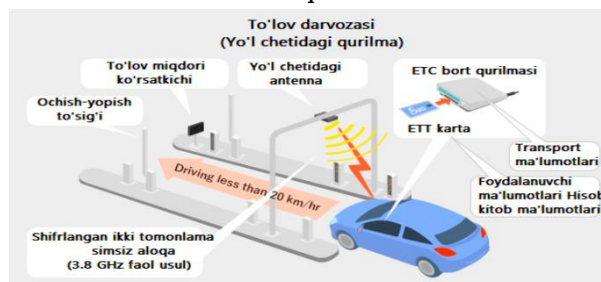
biriktirilgan sertifikatlangan karta ma'lumotlarini yig'adi hamda transport vositasiga oid boshqa ma'lumotlarni OBU orqali qabul qiladi.

Ushbu ma'lumotlar to'lov jarayonini avtomatik va samarali amalga oshirish uchun ishlatiladi. Yo'l bo'yidagi uskuna (RSE) va avtomobilning OBUsi o'rtasida uzluksiz simsiz aloqani ta'minlash uchun DSRC (Dedicated Short Range Communication) texnologiyasi qo'llaniladi.

Soddalashtirilgan shaklda aytganda, ETT avtomagistral to'lov punktlarida to'lov yig'ish jarayonini boshqaradi. Bu yerda DSRC texnologiyasi – RSE (yo'l chetidagi uskuna) va OBU (avtomobildagi qurilma) o'rtasidagi simsiz aloqani ta'minlab, to'lovlarning aniq va samarali tarzda yig'ilishini kafolatlaydi. 1-Rasm. ETT uchun RF-DSRC aloqa sxemasi.



1-rasm.



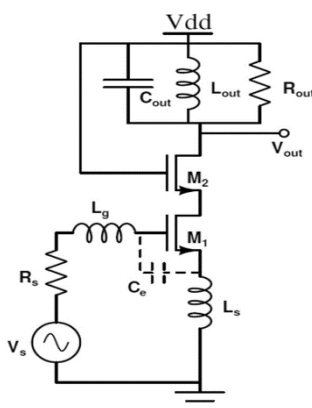
2-rasm.

2.2. Taklif etilgan past shovqinli kuchaytirgich (LNA) dizayni

Ushbu ishda, optimizatsiya qilingan rezistorli biaslash sxemasi asosida yagona bosqichli, bir uchli (single-end) past shovqinli kuchaytirgich (LNA) loyihalashtirilgan va u TSMC 90 nm CMOS texnologiyasi asosida, amalga oshirilgan.

Ushbu texnologiya past shovqin, yuqori chastota samaradorligi va ixcham integratsiya imkonini beradi. Bir uchli topologiya tanlanishi orqali energiya sarfi yuqori bo'lgan balunlar (transformatorli muvofiqlashtirgichlar)dan foydalanish zarurati yo'q qilinadi.

Shovqin ko'rsatkichlari (NF) va kuchaytirish (gain) talablariga javob berish uchun, sxemaning birinchi bosqichi sifatida common-source (CS) kuchaytirgich ishlatiladi — bu bosqich past shovqin ta'minlaydi. Shundan so'ng, yana bir common-source bosqich qo'shilib, umumiy kuchaytirishni oshiradi. 2-Rasmda taklif etilgan yagona bosqichli, bir uchli LNA sxemasi tasvirlangan.



2-rasm. Yagona bosqichli common-source (umumiy manba) past shovqinli kuchaytirgich (LNA)

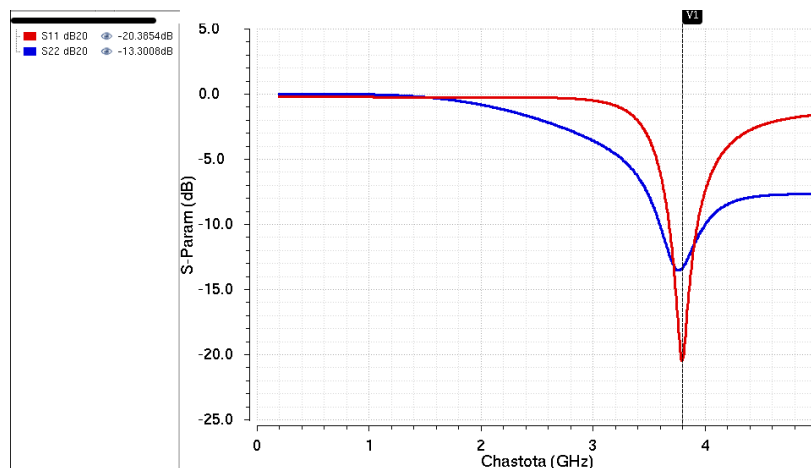
2-Rasm LNA (Low Noise Amplifier – past shovqinli kuchaytirgich) bo'lib, cascode konfiguratsiyasiga ega, induktiv degeneratsiyali, MOSFET asosidagi LNA hisoblanadi. M_1 va M_2 tranzistorlari (MOSFETlar) M_1 – bu asosiy kuchaytiruvchi tranzistor, kirish signalini darvozasi (gate) orqali oladi. M_2 – bu cascode tranzistor, u M_1 'ning drenaji orqali ulangani sababli shovqinni

pasaytiradi va chastota turg'unligini oshiradi. Cascode tuzilma — yuqori chiqish impedansiga ega bo'lib, gain-bandwidth product ni oshiradi. Kirish tarmog'i (Input Impedance Matching) R_s - Signal manbaining qarshiligi, L_g - Gate inductance – darvozani RF moslashga yordam beradi, C_e - Kuplovchi kondensator yoki qayta teskari aloqa (feedback) elementi, L_s - Source induktivligi (Groundga ulangan) Funktsiya, L_g va C_e – chastotaviy moslash uchun ishlatiladi, ayniqsa rezonansni sozlashda. L_s – manba (source) induktivligi orqali induktiv degeneratsiya hosil qilib, turg'unlikni va chastota javobini yaxshilaydi. Ushbu kirish tarmog'i kirish qarshiligini moslab, kuchaytirgichga maksimal signal uzatishni ta'minlaydi. V_{dd} – DC kuchlanma manbai, C_{out} – Bloklovchi kondensator, Bu kondensator chiqish signalini DC kuchlanmadan ajratish uchun ishlatiladi (AC coupling). L_{out} – Yuk induktivligi. Bu reaktiv element chiqishdagi rezonans chastotani hosil qilishga yordam beradi. L_{out} va C_{out} birgalikda LC rezonator hosil qilib, signalni filtrlash va kuchaytirish vazifasini bajaradi. R_{out} – Yuk qarshiligi (odatda 50Ω yoki keyingi bosqich impedansi) Chiqish signalining yuqori chastotali energiyasini o'zlashtiradi.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

Analog va Radiochastotali (RF) bloklarda yuqori chiqish quvvati va yuqori samaradorlik talab etiladi. Biroq, zamonaviy texnologiyalardagi yuqorida qayd etilgan cheklovlar sabab, ushbu maqsadlarga erishish uchun yangi dizayn uslublari va topologiyalaridan foydalanish zarur. Taklif etilgan LNA (past shovqinli kuchaytirgich) 1,2 V ta'minot kuchlanmasida jami 15,4 mA doimiy tok iste'mol qilgan. Shunday qilib, biz 18.48 mW (milliwatt) quvvat sarfiga erishdik — bu natija an'anaviy ishlanmalarga nisbatan ancha kam (qarang: manbalar [3–6]).

3-Rasmda quyidagilar ko'rsatilgan: (Qizil) Kirish refleksiya yo'qotishlari (S_{11})ning qiymati -20.38dB va (Ko'k) Chiqish refleksiya yo'qotishlari (S_{22}) ning qiymati esa -13.30dB



3-Rasm (Qizil) Kirish refleksiya yo'qotishlari (S_{11}) va (Ko'k) Chiqish refleksiya yo'qotishlari (S_{22})

Kirish va chiqish impedanslarini moslashtirish (matching) – bu juda muhim bo'lib, S_{11} va S_{22} qiymatlarini iloji boricha past darajada saqlash imkonini beradi. Ideal holda, kuchaytirgichning kiritish va chiqarish impedansi $45\text{--}50\Omega$ atrofida bo'lishi kerak, ayniqsa ishlash chastotasida.

Taklif etilgan LNA (past shovqinli kuchaytirgich)ning ishlash samaradorligini tekshirish uchun Cadence Virtuoso dasturiy ta'minoti yordamida simulyatsiya dizayni amalga oshirildi. Ushbu LNA'ning S-parametrlari 3-rasmda ko'rsatilgan (S_{11} va S_{22}).

Taklif etilgan LNA quyidagi asosiy texnik natijalarni ko'rsatdi: Jami doimiy tok sarfi: 15.4 mA, eng yuqori kuchlanma kuchaytirish (Voltage Gain): 29dB, eng past shovqin ko'rsatkichi (Noise Figure): 2.1dB, Bu natijalar ilgari e'lon qilingan ishlanmalarga nisbatan sezilarli yaxshilanishni ko'rsatadi (qarang: manbalar [6]).

Ushbu ilmiy ishda biz 3.8 GHz chastotada ishlovchi, O'zbekistondagi pullik avtomobil yo'llarida qo'llaniladigan Hi-Pass tizimi uchun mo'ljallangan past shovqinli LNA sxemasini taklif etdik. Ushbu sxema TSMC 90 nm CMOS texnologiyasi asosida ishlab chiqildi.

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan LNA dizayni 3.8 GHz chastotada ishlovchi Hi-Pass ilovalar uchun yuqori samarali, energiya tejankor va fizik jihatdan ixcham yechim bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

1. [1] Murod Kurbanov¹, Jee-Youl Ryu² "Development of Low-power Low-noise CMOS LNA for 24-GHz Automotive Radar" JOURNAL OF SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY AND SCIENCE 2020, vol.20, no.2, Vol. 92, pp. 187-194 (8 pages)
2. [2] N. F. A. B. Halim; S. A. Z. Murad; A. Harun; M. N. M. Isa; S. N. Mohyar; A. Azizan "Design of 3.1-6.0 GHz CMOS ultra-wideband low noise amplifier with forward body bias technique for wireless applications" <https://doi.org/10.1063/1.5142114>
3. [3] Armagan Dascurcu, Student Member, IEEE, and Yasar Gurbuz, Member, IEEE. "A Low Noise Amplifier for 5G Applications in 0.13-μm SiGe HBT technology" https://www.mtt.org/app/uploads/2019/01/02_Final-Report-Dascurcu_2.pdf
4. [4] Azevedo, F.; Mendes, L.; Fialho, V.; Vaz, J.C.; Fortes, F.; Rosario, M.J. (2008). Asia-Pacific Microwave Conference – "A 5GHz/1.8V CMOS active balun integrated with LNA" 1–4. doi:10.1109/APMC.2008.4958356
5. [5] Lee, H.-J.; Ha, D.S.; Choi, S.S. "A 3 to 5GHz CMOS UWB LNA with input matching using miller effect" (2006 IEEE International Solid State Circuits Conference - Digest of Technical Papers 731–740. doi:10.1109/isscc.2006.1696112
6. [6] Bergano, M., Rocha, A., Cupido, L., & Barbosa, D. "A 5 GHz LNA for a radio-astronomy experiment." 2011 IEEE EUROCON-International Conference on Computer as a Tool. doi:10.1109/eurocon.2011.5929355
7. [7] https://direksiya.uz/uz/news/oav/uzbyangiliklar/ozbekiston-avtomobil-yollarini-rivojlantirish-strategiyasi-elon-qilindi?utm_source=chatgpt.com

YARIMOŲTKAZGICHLI TUZILMALARNING SUBCHIZIQLI VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASI

G.Xolyigitova, A.Ikromov¹, A Abdurahmonov², G.Abdumajidova, X.M Madaminov³.

Andijon davlat universiteti, ¹

Farg'ona davlat universiteti, ²

Andijon shahar 30- maktab

[**khurmad@mail.ru**](mailto:khurmad@mail.ru)

Yarimo'tkazgichli tuzilmalarda ambipolyar zaryad tashuvchilar harakatini o'rganishga bag'ishlangan bir qator tadqiqot natijalariga ko'ra, ambipolyar dreyf va diffuziya yo'nalishlari bir-

biriga mos keladi deb faraz qilinadi [1]. Biroq, ko'p hollarda, ortiqcha zaryad tashuvchilarning maydonga qarama-qarshi diffuziyasi sodir bo'ladi. Bunday vaziyat, masalan p^+-n-n^+ -diod tuzilmalarda, $n-n^+$ -o'tishdagi zaryad tashuvchilarning akkumulyatsiyasi p^+-n -o'tishdagi injeksiyadan ustunlik qilganda, ya'ni, $p(0) < p(w)$ da ro'y berishi mumkin [2]. Yuqoridagi holat n^+-n-n^+ diod tuzilmalarda ham sodir bo'ladi, bunda $n-n^+$ -kontaktda elektronlarning to'planishi, n^+-n -kontaktda esa elektronlarning siyraklashuvi sodir bo'ladi [3]. Ushbu maqolaning maqsadi zaryad tashuvchilarni yetarlicha to'plash effektiga ega bo'lgan bunday tuzilmalarning o'ziga xos ayrim xususiyatlarini tadqiq etishdan iborat.

Ma'lumki, yuqorida zikr etilgan tuzilmalarning n -bazasidagi ortiqcha kovaklarning muvozanat holatdagi harakati ambipolyar uzluksizlik tenglamasi bilan aniqlanadi [3]:

$$D_a \frac{d^2 p}{dx^2} - v_a \frac{dp}{dx} - \frac{p - p_n}{\tau_p} = 0 \quad (1)$$

Bu yerda $D_a = \frac{D_n D_p (n+p)}{D_n n + D_p p}$ - ambipolyar diffuziya koeffitsiyenti, $v_a = \mu_a E$ - elektr maydoni E dagi ambipolyar dreyf tezligi, μ_a - ortiqcha kovaklarning ambipolyar harakatchanligi.

Ambipolyar dreyf tezligi chuqur sathli kirishmalar populyatsiyasining modulyatsiyasi bilan belgilanadigan bunday sharoitlarda mavjud xususiyatlarni o'rganish alohida qiziqish uyg'otadi va natijada ambipolyar dreyf tezligi uchun [1],

$$v_a = \frac{\mu_n \mu_p}{\mu_n n + \mu_p p} \frac{M - \left[n \left(\frac{\partial M}{\partial n} \right) + p \left(\frac{\partial M}{\partial p} \right) \right]}{1 - (\partial M / \partial n)} E, \quad (2)$$

ifodani hosil qilamiz ($M = M(n, p)$ - chuqur sathli markaz tomonidan tutilgan kovaklar soni).

Shu o'rinda biz neytral n -tur yarim o'tkazgichning muayyan modeli tahliliga qisman to'xtalamiz, ya'ni u faqat donorlar N_d bilan birga rekombinatsiya markazlari N_R ni va chuqur sathli kompensatsion kovaklarni tutib olish markazlari N_t ni ham o'z ichiga olishini eslatib o'tamiz, xolos. Agar $N_R < N_d$, $N_R < N_t f_t p$ deb faraz qilsak, bu bizga rekombinatsiya markazlarining zaryadini e'tiborga olmaslikka imkon beradi. Zaryadlangan tutqichlarning maksimal konsentratsiyasi $N_t f_t p = M(p)$ bo'lishi tufayli, zaryadning elektroneytrallik shartini quyidagicha yozish mumkin:

$$n = (\gamma + 1)p \gg p, \gamma = N_t / p_{1t}.$$

Shunday qilib, rekombinatsiya markazlari N_R elektronlar bilan to'la ($f_R \cong 1$) va shuning uchun kovaklarning yashash vaqti τ injeksiya darajasiga bog'liq emas. Bunday sharoitda ambipolyar dreyf tezligi amalda kovaklarning ortiqcha konsentratsiyasiga bog'liq emas, ya'ni

$$v_a = a D_p \tau, a = (2q D_n N_t)^{-1} \quad (3)$$

va shuning uchun (1) tenglamaning analitik yechimini olish mumkin. Ushbu yechim n -bazadagi ortiqcha kovaklarning fazoviy taqsimlanishini aniqlaydi [1, 3-4]:

$$p(x) = p_n + \left[\alpha \cdot \exp\left(\frac{x}{L^*}\right) + \beta \cdot \exp\left(-\frac{x}{L^*}\right) \right] \cdot \exp\left(\frac{v_a x}{2D_a}\right) \quad (4)$$

$$\alpha = \Delta p(w) \cdot \exp\left(-\frac{v_a w}{2D_a}\right) - \frac{\Delta p(0) \cdot \exp\left(-\frac{x}{L^*}\right)}{2sh\left(\frac{x}{L^*}\right)}$$

$$\beta = \Delta p(0) \cdot \exp\left(\frac{x}{L^*}\right) - \frac{\Delta p(w) \cdot \exp\left(-\frac{v_a w}{2D_a}\right)}{2sh\left(\frac{x}{L^*}\right)}, L^* = \frac{L}{\sqrt{1 + \left(\frac{v_a L}{2D_a}\right)^2}}, L = \sqrt{D_p \tau_p}, D_a \approx D_p.$$

$\Delta p(0) = p(0) - p_n$ va $\Delta p(w) = p(w) - p_n$ n-bazaning chegaralari $x=0$ va $x=w$ dagi omik bo'lmagan kontaktlardagi ortiqcha kovaklar konsentratsiyasi.

Turli yarimo'tkazgich tuzilmalardagi $p(x)$ taqsimot shakli tok kuchi I ning $\Delta p(0)$ va $\Delta p(w)$ larga o'ziga xos bog'lanishlari bilan aniqlanadi. Shunday qilib, noideal p^+-n va $n-n^+-o'tishli$ $p^+-n-n^+-tuzilmada$, $p(0) \propto p(w) \propto \sqrt{I}$ va $p(0) < p(w)$ bo'lganda [2-3], $p(x)$ konsentratsiya monoton ortib boruvchi funksiya bo'ladi. Bundan tashqari, n-baza hajmida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi tok kuchi ortishi bilan kamayishi mumkin. Bu (subchiziqli volt-amper bog'lanishda) tok kuchining to'yinishiga olib keladi [3]:

$$V = V_0 \exp(Iaw), V_0 = \frac{sh(w/L^*)}{q\mu_p(b_\gamma + b + 1)p(w)a} \quad (5)$$

VAX dagi ushbu subchiziqli soha ikkita juda keng kvadratik $I \propto V^2$ sohalar orasida joylashadi. VAX dagi shunga o'xshash subchiziqli sohalar indiy (In) kirishmali kremniy (Si) asosidagi p-i-n diodlarda ikkilamchi injeksiyani tekshirishda kuzatilgan [1, 3-4].

Agar zaryad tashuvchilarning akkumulyatsiyasini istisno qilish ustun bo'lsa, x_n nuqtasi o'ng tomondagi $n-n^+-o'tishga$ qo'shiladi va natijada $|\Delta p(0)| < p_n$ uchun

$$V_T \cong \frac{I}{q\mu_p(b_\gamma + b + 1)p_n} \cdot aD_p\tau_p \ln \left[\frac{1 + \left(\frac{\bar{p}_n}{\Delta p(0)}\right) e^{x_n/v_a\tau_p}}{1 + \bar{p}_n/\Delta p(0)} \right] \quad (6)$$

bu yerda $\bar{p}_n = p_n + [(b_\gamma + 1)/(b_\gamma + b + 1)]N_d - N_t$. Shunday qilib, kvadratik subchiziqli $I \propto \sqrt{V}$ bog'lanish omik bog'lanishga o'zgaradi, bu [5-7] havolalarda qayd etilgan.

Biroq, zaryad tashuvchilarning akkumulyatsiyasi ustunlik qilsa va natijada x_n nuqta chap tomondagi $n^+-n-o'tishga$ yaqin joylashganda [2], $n^+-n-n^+-tuzilmaning$ $I-V$ bog'liqligi $\frac{\Delta p(w)}{\bar{p}_n} > \exp\left(\frac{v_a}{2D_a} + L^*\right)(w - x_n)$ uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$V_T \cong [q\mu_p(b_\gamma + b + 1)]^{-1} \cdot \frac{\exp[aI(w - x_n)]}{a\Delta p(w)} \quad (7)$$

ya'ni, tok kuchining o'sishi bilan omik $I(V)$ bog'liqlik subchiziqli $V \propto \exp(Iaw)$ bog'liqlikka o'zgaradi.

(5) va (7) ga o'xshash subchiziqli VAX lar tashqi ta'sirlarga juda sezgir bo'lishi mumkin, bu esa tuzoqqa tushgan zaryad tashuvchilar sonini o'zgartirishi tufayli ambipolyar dreyf tezligi v_a o'zgarishiga olib keladi. Shunday qilib, masalan, fotoqo'zg'alish Φ elektronlarni valent zonadan tutqichlarga tomon qo'zg'atganda a uchun ifoda quyidagi shaklni oladi [5]:

$$a_p = \frac{bN_t}{\left\{ qD_p \left[(b+1) \frac{B\Phi}{C_{pt}} + bN_t \right]^2 \right\}} \quad (8)$$

bu yerda B - kvant samaradorligi.

$\propto \sqrt{V}$ ga o'xshash subchiziqli bog'liqliklarga ega bo'lgan tuzilmalarda nisbatan kichik fotosezgirlik hosil qilish mumkin.

Yuqoridagi fikrlar ma'lum chuqur sathli nuqsonlarga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlarga tegishli emas. Shuningdek, $I(V)$ kabi (5) va (7) subchiziqli bog'lanishlar ba'zi boshqa chuqur sathli elementlarni o'z ichiga olgan yarimo'tkazgichli tuzilmalarda ham sodir bo'ladi. Bunda faqat a ni qiymati o'zgarishi yuz beradi. Shunday qilib, n - yarimo'tkazgichlar uchun N_d donorlaridan tashqari, chuqur sof bo'lmagan modda darajasi N_{tR} bo'lgan elektronlar va kovaklar uchun tutib olish kesimining keskin asimetriyasi (3) o'rniga

$$a = \frac{N_d - N_{tR}}{2qD_n N_{tR} n_1} \quad (9)$$

ifodani olish mumkin. Bu yerda $n_1 = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{tR}}{kT}\right)$ ni olamiz.

Bundan ambipolyar dreyf tezligi $v_a = aD_p I$ ning harorat o'zgarishiga kuchli bog'lanishni kelib chiqadi. Natijada (5) va (7) ifodalarga ko'ra, subchiziqli bog'lanishli VAXning issiqlikka juda sezgirligi namoyon bo'ladi. Tegishli harorat omili

$$Q_V \equiv \frac{1}{T} \frac{dV}{dT} \Big|_{I=const} = \frac{Iaw}{T} \frac{E_c - E_{tR}}{kT} \quad (10)$$

masalan, $E_c - E_{tR} \cong 0.35 eV$, $Iaw \cong 3$, va $T = 300K$ bo'lganda, sezilarli $Q_V = 15 - 20\% \text{ grad}^{-1}$ qiymatga ega bo'lishi mumkin.

Shuni ta'kidlash kerakki, ko'rib chiqilgan a qiymat (9) ham $E_c - E_{tR} = \phi(P)$ tutqichlarining faollanish energiyasini o'zgartiradigan P bosimiga bog'liq. Bunday tuzilmada bosim omili [2]

$$\pi_V \equiv \frac{1}{V} \frac{dV}{dP} \Big|_{I=const} = \frac{Iaw}{kT} \left[\frac{d}{dP} (E_c - E_{tR}) \right],$$

va $(d/dP)(E_c - E_{tR}) \propto 10^{-6} eV \text{ atm}^{-1}$, $Iaw \cong 3$, $T \cong 300K$, $\pi_V = 10^{-2} \% \text{ atm}^{-1}$ kelib chiqadi.

Xulosa qilib shuni ta'kidlash kerakki, yarimo'tkazgich tuzilmalarning yuqori qarshilikli sohalarida erkin tashuvchilarning maydonga qarama-qarshi dreyfiga olib keladigan zaryad tashuvchilarning kuchli akkumulyatsiyasi subchiziqli VAX paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin ($V \propto \exp(Iaw)$) va bu tashqi ta'sirlarga juda sezgir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Usmonov Sh.N., Saidov A.S., and Leiderman A.Yu. Effect of Injection Depletion in p-n Heterostructures Based on Solid Solutions $(Si_2)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs)_y$, $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$, $(InSb)_{1-x}(Sn_2)_x$, and $CdTe_{1-x}S_x$ // Physics of the Solid State. // 2014. - Vol.56, No.12. - pp. 2401–2407.
2. Исмоилов Х.Х., Абдугафуров А.М., Мирсагатов Ш.А., Лейдерман А.Ю. Механизма переноса тока в гетероструктурах n-CdS/p-CdTe с толстым слоем твердого раствора $CdTe_{1-x}S_x$ // Физика твердого тела.-2008.-Том 50, вып. 11.- С.1953-1957.

3. Leiderman A.Yu., Karageorgy-Alkalaev P.M. On the theory of Sublinear current-voltage characteristics of semiconductor structures // Sol. St. Commun.// 1978. -Vol.25, No.1. - pp.781-783.
4. Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Усмонов Ш.Н., Амонов К.А. Эффект инжекционного обеднения в $p\text{-Si-n}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) гетероструктуре // Физика и техника полупроводников. -2018. -Том 52, вып. 9.- С.1066-1070.
5. Адирович Э.И., Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. М: Сов. Радио. - 1978. - 320 с.
6. Музафарова С.А., Мирсагатов Ш.А., Жанабергенов Ж. Механизм переноса тока в гетеропереходах $n\text{CdS}/p\text{CdTe}$ // Физика и техника полупроводников // 2007. - Т.49, №6.- С.1111-1116.
7. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Kalanov M.U., Kurmantayev A.N., and Bahtybayev A.N. Structural and Some Electrophysical Properties of the Solid Solutions $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) // Physics of the Solid State // 2013. - Vol.55, No.1. - pp. 36–44.

STUDY OF OXYGEN PRECIPITATE FORMATION PROCESS IN SILICON CRYSTALS

R. Burkhanov

Center for the Development of Nanotechnology at the National University of Uzbekistan

E-mail: mypostrasul@bk.ru

In silicon single crystals, when the ingot is cooled from the solidification temperature, dispersed precipitates of the second phase may appear, associated with the decomposition of the supersaturated solid solution of oxygen. All other things being equal, the decomposition primarily occurs in the crystal sections that are most enriched with impurities, causing, for example, the distribution of precipitates along the "growth bands". The places where precipitates are predominantly formed are various structural defects such as dislocations, which themselves are "naturally" decorated [1,2].

It is known that during the formation of oxygen precipitates (OP) there is a so-called delay time for the appearance of OP [3], i.e. the appearance of an oxygen precipitate as a phase inclusion SiO_2 in silicon is preceded by the stage of formation of nuclei. Experimental study of the nucleation stage is difficult, since almost all methods usually used in the study of OP, due to methodological features and/or insufficient sensitivity, cannot provide information about this stage. Therefore, at present, there are mainly only theoretical descriptions of the nucleation process, where both homogeneous [4] and heterogeneous [5] mechanisms are considered. OP nuclei are usually understood as local clusters of oxygen atoms, including the phase SiO_2 or not - depending on the model concepts (see, for example, [3]). Obtaining experimental data for the nucleation stage would allow us to give preference to certain theoretical developments and bring clarity to the process of formation of OP nuclei [6].

The first stage of oxygen precipitation in silicon is nucleation, a process resulting in the formation of aggregates of several oxygen atoms in the silicon lattice O, the so-called nuclei or

embryos of precipitates. The main parameter for nucleation (and, consequently, precipitation) is the degree of supersaturation of the solid solution composed of the silicon crystal (solvent) and free (interstitial) oxygen (solution), i.e. the ratio between the concentration of oxygen present in the crystal C_o and the limit of its solubility C_o^* (which is a function of temperature). Nucleation can occur at lattice sites where several free oxygen atoms are close to one another (homogeneous nucleation [7]), or at a lattice defect (heterogeneous nucleation [5]). Both processes lead to the formation of nuclei that have different distributions and sizes.

Here we will describe only the theory that describes the nucleation, completely neglecting the deformation energy associated with the structural difference between silicon and the oxide constituting the nucleus, but we will discuss the process of heterogeneous nucleation in our further studies. Under such assumptions ΔG , the free energy required to form spherical precipitates with radius r is given by

$$\Delta G = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta G_v. \quad (1)$$

where γ is the interface energy per unit area, ΔG_v is the volumetric free energy associated with the change in supersaturation chemical energy per unit volume after removing an oxygen atom from the solution. The first term is positive because the energy required increases the surface area of the nucleus, while the second term is negative because the supersaturation chemical energy decreases as solution atoms (oxygen) are removed from the solution and combine into nuclei. The quantity ΔG_v can be written as:

$$\Delta G_v = \frac{k_B T}{V_p} \ln \frac{C_o}{C_o^*}. \quad (2)$$

where k_B is the Boltzmann constant, T is the absolute temperature, V_p is the volume of the particle per oxygen atom (i.e. the volume per oxygen atom of the oxide SiO_x constituting the nucleus). The critical radius is defined as the value $r = r_c$ for which, $d(\Delta G) = 0$ as follows from equation (1),

$$r_c = \frac{2\gamma V_p}{k_B T} \left(n \frac{C_o}{C_o^*} \right)^{-1}. \quad (3)$$

When the radius of the nucleus r is smaller ($r < r_c$) than the critical radius r_c , the volume free energy is lower than the surface free energy and therefore the nuclei dissolve. On the other hand, when $r > r_c$, the surface free energy is the smaller term in relation (1), so the precipitate can grow. It r_c follows from the expression for that high temperature and high oxygen concentration enhance the growth of the precipitate, decreasing the critical radius. On the other hand, low temperature corresponds to low values of C_o^* , which also causes a decrease in r_c . The above indicates that r_c is a monotonically increasing function. The main parameters of theories describing the nucleation of CP are the degree of supersaturation of the solid solution of oxygen in silicon, the critical radius of the nucleus r_c , the achievement of which is necessary for further growth of the CP, and the time required for the formation of nuclei. These parameters, obtained on the basis of different theories, differ greatly from each other. For example, according to the model of work [8] $r_c = 1 \text{ nm}$, while according to the data of work [9], the minimum size is equal

to the volume of one molecule SiO_2 . In published works, it is assumed that oxygen atoms in a solid solution are distributed uniformly, and local fluctuations in concentration are subject to a normal distribution.

The paper discusses the structural properties of oxygen-containing silicon, as well as some phenomena of nucleation of oxygen inclusions in single crystals.

LITERATURE

1. H. Foll, U. Gosele, and B. O. Kolbesen, J. Cryst. Growth, 40, 90 (1977).
1. D. M. Maher, A. Staudinger, and J. R. Patel, J. Appl. Phys., 47, No. 9:3813(1976).
2. A. Borghesi, B. Pivac, A. Sassella, A. Stella, J. Appl. Phys., 77, 4169 (1995).
3. J. Vanhellemont, C. Claeys, J. Appl. Phys., 71, 1073 (1992).
4. G. S. Oehrlein, J. L. Lindstrom, J. M. Corbett, Appl. Phys. Lett., 40, 241 (1982).
5. I.V. Antonova, A.V. Vasiliev, V.I. Panov, S.S. Shaimeev, FTP, 22, 630 (1988).
6. K. Wada, W. Inoue, and K. Kohra, J. Cryst. Growth, 49, 749 (1980).
7. D. M. Maher, A. Staudinger, and J. R. Patel, J. Appl. Phys., 47, No. 9:3813(1976).
8. W. Patrick, E. Hearn, W. Westdorp, and A. Bohg, J. Appl. Phys., 50, No. 11: 7156(1979).

Bi_2Te_3 VA Bi_2Se_3 ASOSIDAGI TERMOELEKTRIK MATERIALLARNING XUSUSIYATLARI

K.I.G'aynazarova

Farg'ona davlat universiteti

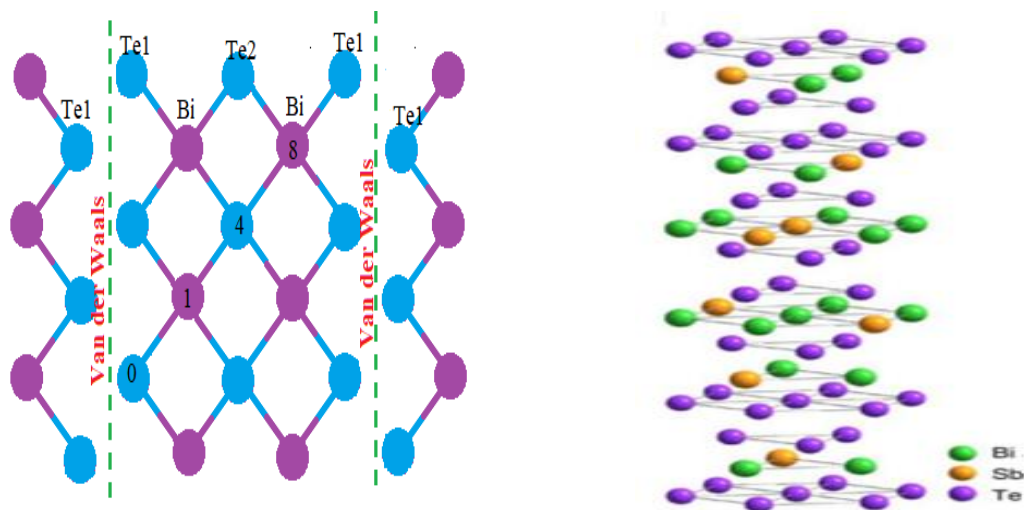
Shu kungacha quyma termoelektrik materiallarni olishning bir qancha usullari ishlab chiqilgan. Ulardan inert gaz atmosferasida gaz kondensatsiyasi yoki plazma-kimyoviy usul, kimyoviy sintez va keyinchalik uchqun plazmasini sintezlash bilan olingan o'ta nozik kukunlardir. Hozirgacha ushbu usullarni ishlab chiqishda siqilish jarayonida bir oz qoldiq g'ovaklikni saqlab qolish, kukunlarni tayyorlash yoki ularni mustahkamlashda namunalarning ifloslanishi va olingan namunalarning geometrik o'lchamlarini oshirish bilan bog'liq muammolar mavjud. Ularning ko'pchiligi changlarni turli usullar bilan siqishni o'z ichiga oladi. Anizotropik materialni tayyorlashning ushbu turi bilan kristallanishning shakli muhim rol o'ynaydi, bu kristallitlarning o'sish o'qiga nisbatan noto'g'ri yo'nalishi bog'liq. Tezida parametrlarning kristallanishning shakliga ta'siri o'rganiladi.

O'rganilgan ishlarga ko'ra, Bi_2Te_3 va Bi_2Se_3 xalkogenidlari bir-birida cheksiz erib, qattiq eritmalarining uzluksiz qatorini hosil qilishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

1) boshlang'ich birikmalar bir xil simmetriya sinfiga tegishli bo'lishi va yaqin parametrlarga ega bo'lgan panjaralarga ega bo'lishi kerak:

2) bir-birining o'rnini bosuvchi atomlar o'lchamlari jihatidan bir-biridan unchalik farq qilmasligi va kimyoviy xossalarga yaqin bo'lishi kerak[3].

Bi_2Te_3 xalkogenidi rombedral tuzilishda kristallanadi. Ko'pincha Bi_2Te_3 tuzilishini tasvirlash uchun rombedral emas, balki parametrlari $a = 0,4386 \text{ nm}$ va $c = 3,0497 \text{ nm}$ ga to'g'ri keladigan olti burchakli elementar yacheykalardan foydalaniladi.



1.2-rasm. Bi_2Te_3 birikmasining joylashishi

Vismut tellurining tuzilishi parallel ravishda joylashgan qatlamlardan iborat. Har bir qatlamning atomlari bir xil bo'lib, tekis olti burchakli panjara hosil qiladi. Beshta qo'shni qatlam kvintet deb ataladigan narsaga birlashtiriladi, bunday kvintetdagi atomlar ionlikning kichik bir qismi bo'lgan kovalent aloqalar bilan bog'langan o'zgaruvchan qatlamlarda joylashgan.

Bi_2Te_3 tetradimit strukturasidagi qatlamlar quyidagicha almashadi:



(indeksdagi 1 va 2 belgilar Te atomlarining kristall panjaradagi turli o'rinlarini bildiradi) uch karrali simmetriya o'qiga perpendikulyar (olti burchakli panjarada trigonal C_3 o'qi). Har bir qatlam ichida bir xil atomlar olti burchakli yassi panjara ichiga o'ralgan bo'lib, ular ostidagi qatlamlarning atomlari bilan zich olti burchakli o'rash hosil qiladi[2].

Kvintetlar ichidagi kimyoviy bog'lanish asosan kovalent-ionli bo'lib, kvintetlar o'rtasida kuchsiz van der Vaals kuchlari ta'sir qiladi. Shuningdek, $\text{Bi} - \text{Te}_{(2)}$ qatlamlar orasidagi bog'lanishni ham kovalent, $\text{Bi} - \text{Te}_{(1)}$ orasidagi bog'lanish esa ko'proq ionli hisoblanadi. Ikki $\text{Te}_{(1)}$ qatlamlar orasida harakat qilayotgan van der Vaals kuchlari zaifligidan, mexanik quvvat ham past bo'lib, parchalanish tekisligi bo'ylab namunalarning oson parchalanishini (kristallning C_3 o'qiga perpendikulyar) va Bi_2Te_3 monokristallarining barcha fizik xususiyatlarining muhim anizotropiyasini aniqlaydi.

Adabiyotlar

1. Ioffe A.F. Poluprovodnikovyye termoelementy. / M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1960.
2. T.M. Azimov, Gaynazarova K.I., Onarkulov M.K., A. A. Yuldashev. Thermoelectric and Galvanomagnetic Properties of the Alloy $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + 0.04$ Weight% Ni in the Temperature Range $77 \div 300$ K / American Journal of Modern Physics. 2021. p. 124-128.
3. Huang B. et al. Low-temperature characterization and micropatterning of coevaporated Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 films. // Journal of Applied Physics. 2008. Vol. 104. № 11. Pp. 113710-113715.

ZAMONAVIY FOTOVOLTAIKA: BIRINCHI AVLODDAN KELAJAK QUYOSH
PANELIGACHA

A.M. Naimjonov, M.A. Ergasheva, H.K. Rahmonberdiyeva

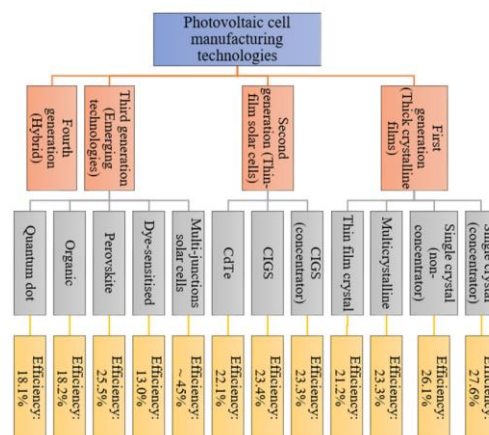
¹Namangan davlat universiteti

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotning maqsadi fotovoltaik elementlarning turli avlodlarini tahlil qilish va ularning rivojlanish imkoniyatlarini muhokama qilish orqali quyosh elementlari haqidagi tushunchalarni kengaytirishdan iborat. Shuningdek, unda turli xil quyosh elementlarining ustunliklari va kamchiliklari ham yoritilgan.

Kalit so'zlar: fotovoltaik; quyosh elementlari; qayta tiklanadigan energiya; fotovoltaik elementlarni ishlab chiqarish texnologiyalari; samaradorlik; fotovoltaik avlodlar.

Kirish. Hozirgi vaqtda quyosh energiyasi juda kam - 0,015% elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun, 0,3% isitish uchun va 11% biomassaning tabiiy fotosintezi uchun ishlatiladi.

1. Qayta tiklanuvchi energiya manbasi bo'lgan quyosh elementlari bir necha guruxlarga bo'linadi.
2. Birinchi avlod quyosh elementlariga monokristalli va polikristalli kremniy va galliy arsenidi (GaAs) asosidagi fotovoltaik texnologiyalar kiradi.
3. Ikkinchi avlod quyosh elementlariga takomillashgan birinchi avlod quyosh elementlari, "mikrokristalli kremniy ($\mu\text{-Si}$) va amorf kremniy (a-Si) li quyosh elementlari, mis indiy galyum selenid (a-Si) dan tayyorlangan yupqa plyonkali fotovoltaik qurilmalar, kadmiy tellurid/kadmiy sulfidli quyosh elementlari kiradi.
4. Uchinchi avlod quyosh elementlari kimyoviy birikmalarga asoslangan fotovoltaik texnologiyalarni asoslanadi. Bundan tashqari, nanokristalli "plyonkalar", kvant nuqtali quyosh elementlari, bo'yoqlarga sezgir bo'lgan quyosh batareyalari, organik polimerlar asosidagi quyosh batareyalari ham ushbu avlodga tegishli.
5. To'rtinchi avlod quyosh elementlari bu avlod yupqa plyonkali polimerlarning past moslashuvchanligi yoki arzonligi bilan bir qatorda "metall oksidi va metall nanozarralari kabi innovatsion noorganik nanostrukturalar yoki grafen, uglerod nanotubalari va grafen hosilalari kabi organik asosli nanomateriallar" ning chidamliligini o'z ichiga oladi [2].



1-jadval. Quyosh elementlarining turlari

Birinchi avlod quyosh elementlari. Kremniyga asoslangan quyosh elementlari hozirda dunyodagi o'rnatilgan panellarning 80% dan ortig'ini tashkil qiladi va bozor ulushining 90%i ga ega. Nisbatan yuqori samaradorlik tufayli ular eng ko'p ishlatiladigan elementdir. Fotovoltaik

elementlarning birinchi avlodi Si kremniyidan tashkil topgan qalin kristalli qatlamlarga asoslangan materiallarni o'z ichiga oladi. Ushbu avlod mono-, poli- va ko'p kristalli kremniyga, shuningdek, yagona III-V o'tish (GaAs)ga asoslangan [1],[4].

Birinchi avlod quyosh elementlarining farqlari[1]:

- Monokristalli kremniyga asoslangan quyosh elementlari.

Samaradorlik: $15 \div 24\%$; Taqiqlangan zona: $\sim 1,1$ eV; Yaroqlilik muddati: 25 yil; Afzalliklari: Barqarorlik, yuqori sifatda ishlash, uzoq xizmat muddati; Kamchiliklari: yuqori ishlab chiqarish xarajatlari, haroratga sezgirliigi, abzorbsiya muammosi, material yemirilishi.

- Polikristalli kremniyga asoslangan quyosh elementlari.

Samaradorlik: $10 \div 18\%$; Taqiqlangan zona: $\sim 1,7$ eV; Yaroqlilik muddati: 14 yil; Afzalliklari: Ishlab chiqarish jarayoni oddiy, daromadli, kremniy chiqindilarini kamaytiradi, monokristal kremniy bilan solishtirganda yuqori abzorbsiya; Kamchiliklari: past samaradorlik, yuqori harorat sezgirliigi.

- GaAs ga asoslangan quyosh elementlari.

Samaradorlik: $28 \div 30\%$; Taqiqlangan zona: $\sim 1,43$ eV; Yaroqlilik muddati: 18 yil; Afzalliklari: Yuqori barqarorlik, past harorat sezgirliigi, m-si dan yaxshiroq abzorbsiya, yuqori samaradorlik; Kamchiligi: juda qimmat [1].

Ikkinchi avlod quyosh elementlari. CdTe, galliy selenid va mis yoki amorf kremniyga asoslangan yupqa plyonkali fotovoltaiik elementlar kristalli kremniy quyosh elementlariga arzonroq o'rinbosar sifatida ishlab chiqarilgan. Ularni egiluvchan jihozlarga o'rnatish uchun ideal bo'lgan mexanik xususiyatlar bor, ammo bu samaradorlikni pasaytirish xavfini orttiradi. Quyosh elementlarining birinchi avlodi mikroelektronikaning timsoli bo'lgan bo'lsa, yupqa plyonkalar evolyutsiyasi o'stirishning yangi usullarini talab qildi va sektorni boshqa sohalarga, masalan, elektrokimyoga ham ochdi[5].

Ikkinchi avlod quyosh elementlarining farqlari:

Amorf kremniyga asoslangan quyosh elementlari (a-si).

• Samaradorlik: $5 \div 12\%$; Taqiqlangan zona: $\sim 1,7$ eV; Yaroqlilik muddati: 15 yil; Afzalliklari: Arzonroq, tabiatda ko'p miqdorda mavjud, toksik bo'lmagan, yuqori abzorbsiya koefitsienti; Kamchiliklari: past samaradorlik, dopant materiallarni tanlashda qiyinchilik, zaryad tashuvchilarining qisqa yashash vaqti.

Kadiy tellurid/kadiy sulfid (CdTe/CdS) asosidagi quyosh elementlari.

• Samaradorlik: $15 \div 16\%$; Taqiqlangan zona: $\sim 1,45$ eV; Yaroqlilik muddati: 20 yil; Afzalliklari: Yuqori abzorbsiya darajasi, ishlab chiqarish uchun kamroq material talab qilinadi; Kamchiliklari: past samaradorlik, Cd juda zaharli, Te cheklangan, haroratga ko'proq sezgir.

Mis indiy galiy selenid (CIGS) asosidagi quyosh elementlari.

• Samaradorlik: 20% ; Taqiqlangan zona: $\sim 1,7$ eV; Yaroqlilik muddati: 12 yil; Afzalliklari: Ishlab chiqarish uchun kamroq material talab qilinadi; Kamchiliklari: juda yuqori narx, barqaror emas, haroratga nisbatan sezgir, juda ishonchsiz [6].

Uchinchi avlod quyosh elementlari. Quyosh elementlarining uchinchi avlodi tandem, perovskit, bo'yoqqa sezgir, organik va yangi paydo bo'layotgan quyosh element turlarini o'z ichiga oladi. Bu avlod quyosh elementi arzon past samarali quyosh elementlaridan tortib (bo'yoqqa sezgir, organik quyosh elementlari) qimmat va yuqori samarali elementlargacha (III-V ko'p o'tishli elementlar) bo'lgan turli hil bo'lishi mumkin. Uchinchi avlod fotovoltaiik elementlarning ba'zan bozordagi ulushi kichikligi sababli "rivojlanayotgan soha" deb ataladi, garchi ularning ba'zilar 25 yildan ortiq vaqt davomida o'rganilgan bo'lsa ham [7]. FV elementlarning

samaradorligini oshirishning hozirgi usullaridan biri yarimo'tkazgichning taqiq zonasida qo'shimcha energiya sathlarini joriy etish va ishlab chiqarish jarayonida ion implantatsiyasidan foydalanishni ko'paytirishdir [9].

Uchinchi avlod quyosh elementlarining farqlari:

Bo'yoqqa sezgir fotovoltaik moddaga asoslangan quyosh elementlari.

• Samaradorlik: $5 \div 20\%$; Afzalliklari: arzonroq xarajat, past yorug'lik va kengroq burchakda ishlash, past ichki haroratda ishlash, mustahkamlik va uzoq muddat xizmat ko'rsatish; Kamchiliklari: harorat barqarorlikdagi muammolar, zaharli, uchuvchan moddalardan tayyorlanishi.

Kvant nuqtali quyosh elementlari.

• Samaradorlik: $11 \div 17\%$; Afzalliklari: Kam ishlab chiqarish xarajati, kam energiya iste'moli; Kamchiliklari: Tabiatda yuqori toksiklik, degradatsiya.

Organik va polimerik moddalarga asoslangan quyosh elementlari.

• Samaradorlik: $9 \div 11\%$; Afzalliklari: past tannarxi, yengilroq, egiluvchanlik, termal barqarorlik; Kamchiliklari: past samaradorlik.

Perovskit quyosh elementlari

• Samaradorlik: 21% ; Afzalliklari: Arzon va soddalashgan tuzilish, yengil vazn, moslashuvchanlik, yuqori samaradorlik, past ishlab chiqarish narxi; Kamchiliklari: barqaror emas.

Ko'p qatlamli tandem quyosh elementlari.

Samaradorlik: 36% va undan yuqori; Afzalliklari: Yuqori samaradorlik; Kamchiliklari: murakkab, qimmat [1]

Xulosa

Quyosh energiyasi elektr energiyasining eng talabchan qayta tiklanadigan manbalaridan biridir. Fotovoltaik texnologiyadan foydalangan holda elektr energiyasi ishlab chiqarish nafaqat energiyaga bo'lgan talabni qondirishga yordam beradi, balki qazib olinadigan yoqilg'iga qaramlikni kamaytirish orqali global iqlim o'zgarishini yumshatishga ham hissa qo'shadi. Innovatsion yangi avlod quyosh batareyalarining raqobatbardoshlik darajasi tadqiqotchilar va olimlarning yangi materiallar, xususan, nanomateriallar va nanotexnologiyalarni ishlab chiqish bilan bog'liq sa'y-harakatlari tufayli ortib bormoqda.

Adabiyotlar

1. Singh, B.P.; Goyal, S.K.; Kumar, P. Solar PV cell materials and technologies: Analyzing the recent developments. Mater. Today Proc. 2021, 43, 2843-2849.
2. Luque, A.; Hegedus, S. (Eds.) Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2nd ed.; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2011; pp. 4-36.
3. [CrossRef Marques Lameirinhas, R.A.; Torres, J.P.N.; de Melo Cunha, J.P. A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications. Energies 2022, 15, 1823.
4. Marques Lameirinhas, R.A.; Torres, J.P.N.; de Melo Cunha, J.P. A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications. Energies 2022, 15, 1823.
5. Kuczyńska-Łażewska, A.; Klugmann-Radziemska, E.; Witkowska, A. Recovery of Valuable Materials and Methods for Their Management When Recycling Thin-Film CdTe Photovoltaic Modules. Materials 2021, 14, 7836.

**ДЕФОРМАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ КРЕМНИЯ И
ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДНЫХ СЛОЁВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДИФФУЗИИ
ПЛАТИНЫ**

А.Й.Бобоев, Б.М. Эргашев, Ж.С. Мадаминжонов

*Андижанский государственный университет, ул. Университетская, 129, 170100,
Андижан, Узбекистан*

Кремний является основой современной электроники, благодаря своей замечательной способности к манипуляциям на атомном уровне. Введение легирующих примесей, инородных атомов, намеренно включенных в решетку кремния, позволяет точно настраивать его элект-рические свойства, способствуя созданию множества электронных устройств. Среди разнообразных легирующих примесей платина (Pt) стала особенно интересным элементом с уникальными возможностями для новых приложений и улучшения характеристик кремния [1]. Однако понимание точных структурных изменений, которые происходят при введении атомов платины в решетку кремния, имеет решающее значение для оптимизации свойств материала и изучения его полного потенциала.

В этой статье рассматривается структурный анализ легированного платиной монокристал-лического кремния.

В качестве исходного материала использовали образцы в виде пластин из монокристаллического кремния *p*-типа проводимости с удельным сопротивлением 20 Ом·см, выращенного методом Чохральского [2-4]. К основным недостаткам выращивания монокристаллического кремния методом Чохральского следует отнести повышенное содержание в полученных кристаллах фоновых примесей атомов кислорода и углерода с концентрацией соответственно до $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и до $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Проблема наличия атомов кислорода в кремнии на протяжении всего времени развития ростовой технологии (более 60 лет) остается весьма актуальной [4-8].

Легирование кремния атомами платины проводили методом диффузии из газовой фазы при температуре 1200°C в откачанных до вакуума 10^{-4} Па кварцевых ампулах в течение 4 час. с последующим быстрым и медленным охлаждением. Контроль структурных и фазовых состояний исследуемых образцов проводили с помощью рентгеновского дифрактометра EmpyreanMalvern. Для определения максимума пика использовали программу OriginPro 2019. Рентгендифракционные измерения проводили в геометрии пучка Брэгга-Брентано в диапазоне угла рассеяния 2θ от 10° до 90° непрерывно со скоростью сканирования 0.33 градус/мин с угловым шагом 0.0200°.

Образцы подвергали обработке при температуре 1250°C в течение 4 час. На рис. 1 представлена рентгенограмма контрольного *p*-Si (чёрная кривая). Видно, что на рентгенограмме наблюдается ряд структурных отражений с различными интенсивностями (которые приведены в таблице).

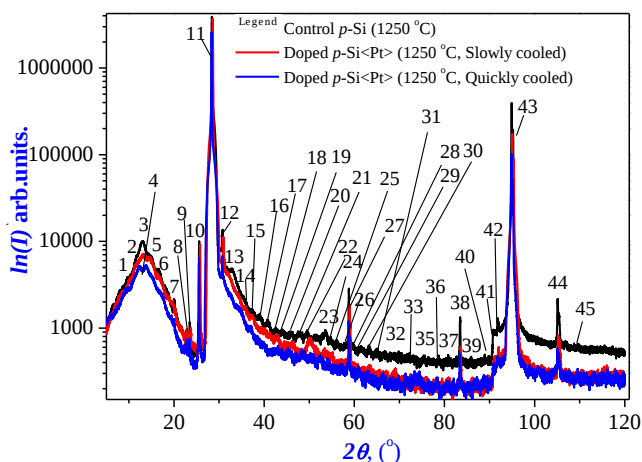


Рисунок 1. Рентгенограммы p -Si ((1250°C, контрольный, чёрная кривая), легированные атомами Pt ((1250°C, медленное охлаждение, красная кривая) и (1250°C, быстрое охлаждение, синяя кривая).

Определены параметры кристаллических решеток с использованием экспериментальных значений этих структурных отражений, которые равны $a=b=4.9762$ нм и $c=5.4321$ нм соответственно. Это, в свою очередь, показывает, что их элементарная ячейка принадлежит тригональной кристаллической решетке в пространственной группе $R\bar{3}21$.

На основе полученных результатов и их анализа, а также значений кристаллитов SiO_2 , представленных в таблице, можно сделать вывод, что на поверхности исследованных p -Si (контрольный, чёрная кривая) сформировался поликристаллический слой толщиной 1–2 мкм. Также четкое расщепление по α_1 и α_2 излучениями (имеющие отличия в два раза друг от друга (см. рис. 2, б)) третьего (333) структурного рефлекса на рентгенограмме свидетельствует о том, что на поверхности образца возникает слой, образовавшийся под воздействием микронапряжений.

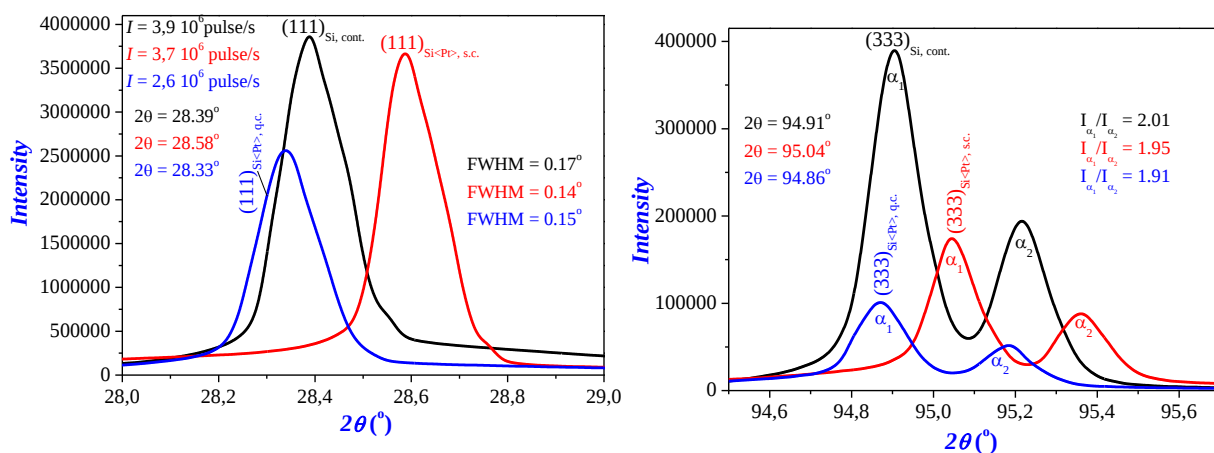


Рисунок 2. Формы рефлексов первого (111) (верхний рисунок) и третьего (333) (нижний рисунок) порядка структурного отражения. Рентгенограммы p -Si (1250°C, контрольный, чёрная кривая), легированные атомами Pt (1250°C, медленное охлаждение (Sl.c.), красная кривая) и (1250°C, быстрое охлаждение (Qu.c.), синяя кривая).

Кроме того, на рентгенограмме при малых углах рассеяния наблюдается широкое ($\text{FWHM} = 0.05$ рад) диффузное отражение, обусловленное структурными фрагментами SiO_x в приповерхностных слоях с ненасыщенными связями. Широкая ширина этого отражения свидетельствует, что размеры структурных фрагментов, вызванных этим отражением малы

и в их расположении отсутствует дальний порядок. Следовательно, эти структурные фрагменты являются не нанокристаллитами SiO_x , а кластерами. Характерные размеры этих кластеров составляют ~ 1.8 нм.

На основе экспериментальных значений основного (111) структурного отражения определено, что параметр кристаллической решетки исследуемой пластины $n\text{-Si}$ составляет $a_{\text{Si}}=0.5441$ нм. На рис. 1 (красная кривая) представлена рентгенограмма образца, изготовленного из $p\text{-Si}$, легированных (в течение 4 часов при температуре 1250°C) атомами Pt. Видно, что рентгенограмма $n\text{-Si}<\text{Pt}>$ существенно отличается от рентгенограммы $p\text{-Si}$ (контрольный, чёрная кривая). Видно, что интенсивности структурных линий первого (111), второго (222) и третьего (333) порядков уменьшались на 3.1%, 36.5% и 54.4% соответственно. Также каждый из них сдвинут в сторону малоуглового рассеяния (рис. 2 *a* и *b*). По результатам экспериментов по данной структурной линии установлено, что постоянная кристаллической решетки образца равна $a_{\text{Si}<\text{Pt}>} = 0.5404$ нм. Это, в свою очередь, связано с легированием пластины кремния атомами Pt, а также разницей ионных радиусов атомов O ($r_0^{-2}=1.3$ Å) и Pt ($r_{\text{Pt}}^{2+}=0.8$ Å и $r_{\text{Pt}}^{4+}=0.65$ Å) с Si ($r_{\text{Si}}^{4+}=0.42$ Å и $r_{\text{Si}}^{-4} = 2.7$ Å и указывает, что в кристаллической решетке образовалась деформация, равная $a_{\text{Si}}-a_{\text{Si}<\text{Pt}>}=0.004$ нм. Наблюдение запрещенной структурной линии второго (222) порядка и отношение ее к интенсивности основного (111) рефлекса составляет $I(222)/I(111)=4.8\times 10^{-4}$; эта величина меньше 10^{-4} . и свидетельствует, что объемные дефекты образовались на границах раздела субкристаллитов в результате длительной термообработки образцов и их медленного охлаждения в конце процесса [9].

Таким образом, на основе анализа экспериментальных результатов рентгеноструктурных исследований установлено, что поверхность контрольных и легированных образцов соответствует кристаллографической ориентации (111). Определено, что на поверхности $n\text{-Si}$ образуется тонкий слой диоксида кремния с параметрами кристаллической решетки $a=b=4.9762$ нм и $c=5.4321$ нм, принадлежащего к пространственной группе P321. Установлено, что в кристаллической решетке $n\text{-Si}<\text{Pt}>$ образовалась деформация, равная $a_{\text{Si}}-a_{\text{Si}<\text{Pt}>}=0.004$ нм. В результате медленного охлаждения образцов после диффузии Pt установлено, что кристаллиты на основе соединений SiO_2 и SiPt накапливаются преимущественно в приповерхностных участках образца и образуют оксидные слои с поликристаллическими свойствами. Определено, что атомы кислорода соединяются с атомами кремния на определенной глубине под воздействием термообработки, а затем образуются кристаллиты из-за резкого охлаждения. Установлено, что ионный радиус кислорода приводит к образованию структурных фрагментов с низкой симметрией среди субкристаллитов, состоящих из ионов кремния с высокой симметрией, а также к деформациям кристаллической решетки из-за расположения ее атомов в узлах.

Литература (References)

1. Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветнов. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. 423 с (Высшая школа, 1990).
2. Д. Д. Авров, О. А. Александрова, А. О. Лебедев, Е. В. Мараева, Ю. М. Таиров, А. Ю. Фадеев. Технология материалов микроэлектроники: от минерального сырья к монокристаллу: учеб. пособие. СПб.:146 с. (Издво СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2017).

3. С.З.Зайнабидинов, А.С.Саидов, А.Ю.Лейдерман, М.У.Каланов, Ш.Н.Усмонов, В.М.Рустамова, А.Й.Бобоев. Физика и техника полупроводников. Том 50, Вып. 1. С. 60. (2016).
4. С.З.Зайнабидинов, А.С.Саидов, А.Й.Бобоев, Ж.Н. Усмонов. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. № 1. С. 107.(2021).
5. А.А.Ширяев, Д.А.Золотов, Е.М. Супрун, И.Г.Дьячкова, С.А.Ивахненко, В.Е. Асадчиков. Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. Том 111. Вып. 9. С. 597.(2020).
6. К. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Название журнала том 475 с.(1984).
7. В.М.Бабищ, Н.И.Блецкан, Е.Ф.Венгер Кислород в монокристаллах кремния Киев. Interpres LTD,240 с. (1997).
8. Г.Валикова, Р.Ф.Витман, А.А.Лебедев, С.К. Мухаммедов вопросу о поведении кислорода в кремнии Название журнала /. Т.16, №12. С.2204 – 2206./(ФТП, 1982)
9. С.Зайнабидинов. Физические основы образования глубоких уровней в кремний. Монография.160 с. (Фан Тошкент. 1984).

PUASSON TENGLAMASINING NAZARIY ASOSLARI VA YECHIM USULLARI

M.Y. Shaydullayeva, M.A.Usmanov

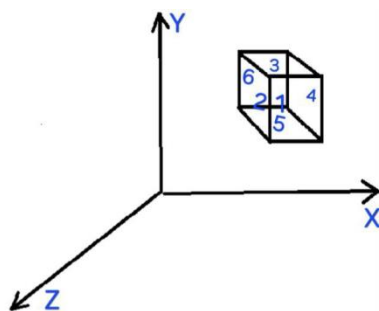
NamDU fizika yo'nalishi 2-bosqich talabasi

NamDU Fizika kafedrasi o'qituvchisi

e-mail:mohlaroyshaydullayeva@gmail.com

Tasavvur qilaylik, ixtiyoriy jismda zaryad hajm bo'ylab ρ hajmiy zichlikda taqsimlangan bo'lsin. Bu jism atrofida biror nuqtada elektr maydon kuchlanganligini aniqlaymiz. Buning uchun jismdan XYZ koordinata o'qlariga parallel va tomonlari dx, dy, dz bo'lgan parallelepiped ajratib olamiz.

Ushbu parallelepipedning markazida elektr maydon kuchlanganligi E bo'lsa, koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari E_x, E_y, E_z bo'ladi. Kooordinata o'qlari bo'ylab kubning qarama-qarshi yoqlarida elektr maydon kuchlanganligini quyidagicha yozishimiz mumkin:



$$\begin{aligned} E_{x_1} &= E_x - \frac{\partial E}{\partial x} \frac{1}{2} dx, & E_{x_2} &= E_x + \frac{\partial E}{\partial x} \frac{1}{2} dx \\ E_{y_3} &= E_y - \frac{\partial E}{\partial y} \frac{1}{2} dy, & E_{y_4} &= E_y + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{1}{2} dy \\ E_{z_5} &= E_z - \frac{\partial E}{\partial z} \frac{1}{2} dz, & E_{z_6} &= E_z + \frac{\partial E}{\partial z} \frac{1}{2} dz \end{aligned} \quad (1)$$

Ostrogradskiy-Gauss teoremasiga ko'ra, parallelepipedning har bir yoqlarida hosil bo'luvchi elektr maydon kuchlanganlik oqimi:

$$\begin{aligned} d\Phi_1 &= E_{x_1} dydz = (E_x - \frac{\partial E}{\partial x} \frac{1}{2} dx) dydz, & d\Phi_2 &= E_{x_2} dydz = (E_x + \\ \frac{\partial E}{\partial x} \frac{1}{2} dx) dydz \end{aligned} \quad (2)$$

$$d\Phi_3 = E_{y_3} dx dz = (E_y + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{1}{2} dy) dx dz, \quad d\Phi_4 = E_{y_4} dx dz = (E_y + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{1}{2} dy) dx dz$$

$$d\Phi_5 = E_{z_5} dy dx = (E_z - \frac{\partial E}{\partial z} \frac{1}{2} dz) dx dy \quad d\Phi_6 = E_{z_6} dy dx = (E_z + \frac{\partial E}{\partial z} \frac{1}{2} dz) dy dx$$

Endi esa ushbu parallelopipedning qarama-qarshi yoqlaridagi umumiy oqimlarni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} d\Phi_1 + d\Phi_2 &= \frac{\partial E}{\partial x} dx dy dz \\ d\Phi_3 + d\Phi_4 &= \frac{\partial E}{\partial y} dx dy dz \\ d\Phi_5 + d\Phi_6 &= \frac{\partial E}{\partial z} dx dy dz \end{aligned} \quad (3)$$

Parallelopipedning hamma yoqlaridagi umumiy oqimni topamiz va buning uchun biz ularni shunchaki algebraik qo'shib qo'ysak bo'ldi:

$$\begin{aligned} d\Phi_1 + d\Phi_2 + d\Phi_3 + d\Phi_4 + d\Phi_5 + d\Phi_6 \\ = \frac{\partial E}{\partial x} dx dy dz + \frac{\partial E}{\partial y} dx dy dz + \frac{\partial E}{\partial z} dx dy dz \end{aligned} \quad (4)$$

Bu tenglamada $dx dy dz$ ifoda biz ajratib olgan parallelepiped hajmi dV deb ifodalab olishimiz mumkin. U holda (4) ifodamiz quyidagi ko'rinishga bo'ladi:

$$\sum \Phi = \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) dV \quad (5)$$

Ostrograskiy-Gauss teoremasiga ko'ra: Biror berk kontur bo'ylab elektr maydon kuchlanganlik oqimi shu konturdagi zaryadlarning algebraik yig'indisini ϵ_0 ga nisbatiga teng. Ya'ni:

$$\oint E ds = \frac{\sum q}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Buni bilgan holda, formulamizni o'ng tomonini $\frac{q}{\epsilon_0}$ ga tenglaymiz

$$\left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) dV \quad (7)$$

Bizga ma'lumki, hajm bo'ylab bir tekis zaryadlangan o'tkazgichning hajm birligiga to'g'ri keluvchi zaryad miqdori hajmiy zichlik

$$\rho = \lim_{\Delta V} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV} \quad (8)$$

Bu ifodani inobatga olib (7) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

(8) ifodaning o'ng tomoni E ni divergensiya bo'ladi va qu quyidagicha yoziladi

$$\operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (9)$$

Endi elektr maydon kuchlanganligi va potensial orasidagi bog'lanishni ko'rib chiqamiz:

Potensiallari $d\varphi$ ga farq qiluvchi ekvipotensial sirtlarda q zaryadni ko'chirishda bajarilgan ish

$$dA = qE dr \quad \text{yoki} \quad dA = q[\varphi - (\varphi + d\varphi)] \quad (10)$$

ga teng. (10) ifodadagi har ikki tenglamani tenglab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr} \quad (11)$$

Agar maydon bir jinsli bo'lmasa:

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (12)$$

Endi esa ushbu (12) dan hosila olamiz, u holda natija quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial E_y}{\partial y} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial E_z}{\partial z} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

bu ifodalarni o'ng va chap qismlarini qo'shib yuboramiz

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = -\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right)$$

Tenglikning chap tomoni (8) ifodadan aniqlaganimiz, ya'ni $\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ ga teng, u holda formulamiz quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right) = -\frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (13)$$

Ushbu (13) ifoda **Puasson tenglamasi** deyiladi. Biz ushbu formuladagi ayrim joylariga o'zgartirish kiritamiz. Buning uchun matematik operatorlardan foydalanamiz:

$$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Bundan (13) formulamiz quyidagicha bo'ladi:

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad \text{yoki} \quad (14)$$

Ushbu maqolada Puasson tenglamasining keltirib chiqarilishi ko'rib chiqildi. Bu tenglama fizikada va matematikada muhim o'rin tutadi. Olingan natijalar kelajakda qo'shimcha tadqiqotlar va amaliy ishlarda foydali bo'lishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Jearl Wolkerm, David Holliday «Fundamentals of physics» Halliday Resnisk 10th edition. 2022
2. S.G. Kalashnikov. Umumiy fizika kursi «Elektr». O'qituvchi nashriyoti. Toshkent 1979.
3. Сивухин, Д. В Курс опшей физика. Наука М 2004

STRUCTURAL CHANGES IN MONOCRYSTALLINE SILICON DOPED WITH PLATINUM

A. Boboyev, B. Ergashev, M. Khotamov

Andijan State University, University Street, 129, 170100, Andijan, Uzbekistan

Silicon, as the foundation of modern electronics, has revolutionized the field thanks to the ability to control its properties at the atomic level [1, 2]. Doping with impurities such as platinum (Pt) opens up new possibilities for improving silicon's characteristics and developing innovative devices [3, 4]. However, to optimize the properties of the material, it is important to understand the structural changes that occur when Pt atoms are introduced into the crystal lattice. This article examines the structural properties of monocrystalline silicon doped with platinum.

As the starting material, monocrystalline n-type silicon wafers ($20 \Omega \cdot \text{cm}$) grown using the Czochralski method were used. These wafers are characterized by high oxygen content (up to $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) and carbon content (up to $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$). Doping was carried out by gas-phase diffusion of platinum atoms at 1200°C under vacuum conditions (10^{-4} Pa) for 4 hours, followed by rapid and slow cooling. Structural and phase analyses of the samples were performed using an Empyrean Malvern X-ray diffractometer in Bragg–Brentano geometry ($2\theta = 10^\circ\text{--}90^\circ$, scanning speed $0.33^\circ/\text{min}$, step size 0.02°). Data processing was conducted using OriginPro2019.

The samples underwent thermal treatment at 1250°C for 4 hours. Figure 1 shows the X-ray diffraction pattern of p-type Si (control, black curve). It is evident that structural reflections include a peak with maximum intensity at $2\theta = 28.39^\circ$ ($d/n = 0.3141 \text{ nm}$), which corresponds to the (111) orientation. The high intensity ($3.9 \cdot 10^6 \text{ counts/sec}$) and small full width at half maximum ($\text{FWHM} = 2.97 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$) confirm the high crystallinity. Reflections of the second (222) and third (333) orders were also observed at $2\theta = 58.78^\circ$ and 94.9° , respectively, indicating microdistortions of the lattice due to the uneven distribution of oxygen atoms, one of the primary impurities in silicon. These distortions in the Si lattice cause a non-monotonic inelastic background in the X-ray pattern, associated with the filling of unsaturated silicon-oxygen bonds with oxygen atoms. This leads to the formation of a thin surface layer ($1\text{--}2 \mu\text{m}$ thick) on n-Si belonging to a different phase group. The structural parameters of this layer are $a = b = 4.9762 \text{ nm}$, $c = 5.4321 \text{ nm}$, corresponding to a trigonal lattice (space group P321). It was experimentally established that the lattice parameter of the control n-Si wafer is $a_{\text{Si}} = 0.5441 \text{ nm}$.

Doping silicon with Pt atoms at 1250°C for 4 hours causes significant changes. The lattice parameter of the doped sample is $a_{\text{Si}} = 0.5404 \text{ nm}$, corresponding to a deformation of $\Delta a = 0.004 \text{ nm}$. This is due to differences in the ionic radii of oxygen, platinum, and silicon. The intensities of the (111), (222), and (333) reflections decreased by 3.1%, 36.5%, and 54.4%, respectively, and their positions shifted toward lower angles, indicating the formation of defects and microstrains. The intensity ratio $I(222)/I(111) = 4.8 \cdot 10^{-4}$ points to the presence of bulk defects formed during

slow cooling.

Additional reflections corresponding to SiO_2 and SiPt compounds are also observed in the X-ray pattern (see Fig. 2). These structures are formed due to the interaction of diffusing Pt atoms with oxygen from background impurities in silicon [5, 6]. As a result, crystalline regions and polycrystalline oxide layers form in the near-surface areas. The level of the inelastic background becomes more monotonic, especially at medium and high scattering angles, confirming the accumulation of SiO_2 and SiPt crystallites.

Slow cooling of the samples after diffusion leads to the formation of unsaturated bonds caused by a deficiency of oxygen and platinum in the ordered silicon–oxygen–platinum atomic structure. This promotes the formation of small clusters composed of a limited number of atoms, which cause diffuse scattering at small angles in the X-ray diffraction pattern.

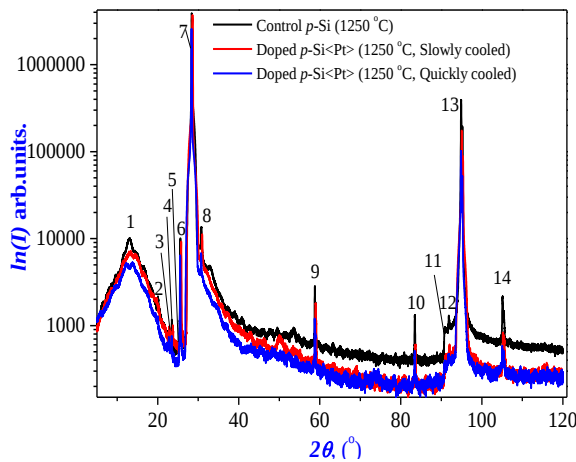


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of p-Si (control, black curve, annealed at 1250 °C), Pt-doped samples with slow cooling (red curve, annealed at 1250 °C), and Pt-doped samples with rapid cooling (blue curve, annealed at 1250 °C).

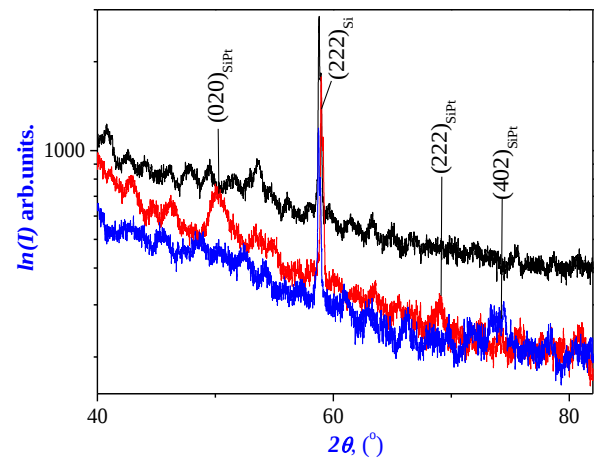


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of p-Si at small and medium scattering angles: control sample (black curve, annealed at 1250 °C), Pt-doped sample with slow cooling (red curve, annealed at 1250 °C), and Pt-doped sample with rapid cooling (blue curve, annealed at 1250 °C).

After thermal treatment at 1250 °C followed by rapid cooling at a rate of 300 °C/s, a significant difference in the X-ray diffraction pattern of the treated samples compared to the control was observed (Fig. 1, red curve). The intensity of the (111) structural reflection decreased by a factor of 1.5, and the diffraction angle of this reflection shifted toward higher angles. The lattice parameter of the platinum-doped silicon was determined to be $a_{\text{Si<Pt>}} = 0.5451$ nm, with a lattice deformation of $\Delta a = 0.001$ nm. These changes confirm the formation of microstrains and defects in the crystal lattice as a result of thermal processing and rapid cooling.

The intensities of the second-order (222) and third-order (333) reflections decreased by factors of 4 and 2.5, respectively. The presence of the forbidden second-order (222) line in the X-ray pattern indicates microdeformations arising from prolonged annealing at 1250 °C and subsequent rapid cooling. The intensity ratio $I(222)/I(111) = 4.7 \times 10^{-4}$, which is 4.7 times greater than the standard value of 10^{-4} , confirms the presence of significant microstrains in the crystal lattice.

The samples underwent thermal treatment at 1250 °C for 4 hours, followed by rapid cooling at 300 °C/s. X-ray structural analysis was carried out on the treated samples, and the results are

presented in Fig. 1 (blue curve). The diffraction pattern of the treated p-Si wafers differs significantly from that of the control samples, showing a 1.5-fold decrease in the intensity of the (111) reflection (see Fig. 1, blue curve). Moreover, the diffraction angle of the (111) reflection shifted toward larger angles, and the corresponding lattice parameter was found to be $a_{\text{Si<P>}} = 0.5451$ nm, with a deviation of $\Delta a = 0.001$ nm.

Rapid cooling after diffusion led to a reduction in the size of subcrystallites and an increase in their number at the boundaries, which contributes to the growth of defect-prone regions. This enhances the likelihood of oxygen atoms interacting with silicon atoms in the bulk, resulting in crystallite formation during cooling. The ionic radius of oxygen (1.40 Å) is significantly larger than that of silicon (0.42 Å), which leads to oxygen atoms concentrating at unsaturated bonds along the subcrystallite boundaries [7]. This nature of oxygen promotes the formation of structural fragments with low symmetry among the highly symmetric silicon subcrystallites [8–9]. As a result, lattice deformations arise, manifested by an increase in the level of the inelastic background and the appearance of diffuse reflections associated with SiO_x fragments at small scattering angles.

References

1. Таиров Ю.М., Цветнов В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. «Высшая школа», 1990. 423 с.
2. Авров Д.Д., Александрова О.А., Лебедев Мараева А.О., Таиров Е.В., Фадеев Ю.М., Технология материалов микроэлектроники: от минерального сырья к монокристаллу: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2017. 146 с.
3. Зайнабидинов С.З., Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Каланов М.У., Усмонов Ш.Н., Рустамова В.М., Бобоев А.Й.. Физика и техника полупроводников. 2016. Том 50, Вып. 1. С. 60.
4. Зайнабидинов С.З., Саидов А.С., Бобоев А.Й., Усмонов Ж.Н. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. № 1. С. 107.
5. Ширяев А.А., Золотов Д.А., Супрун Е.М., Дьячкова И.Г., Ивахненко С.А., Асадчиков В.Е. Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2020. Том 111. Вып. 9. С. 597.
6. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. / Под ред. С. Н. Горина, пер. с англ. –М.: Мир, 1984. – 475 с.
7. Бабиц В.М., Блецкан Н.И., Венгер Е.Ф. Кислород в монокристаллах кремния Киев. Interpres LTD, 1997. – 240 с.
8. Валикова Г., Витман Р.Ф., Лебедев А.А., Мухаммедов С.К. Вопросы о поведении кислорода в кремнии //ФТП, 1982. Т.16, №12. С.2204 – 2206.
9. Зайнабидинов С. Физические основы образования глубоких уровней в кремний. Монография. «Фан» Тошкент. 1984 г. 160 с.

II ШҶҒБА. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ВА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА МУАММОЛАРИ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДЯНЫМИ РЕСУРСАМИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

О.Х. Кулдашов, Г.У. Каримбоева, У.С. Рустамов

*Научно-исследовательский институт физики полупроводников и
микроэлектроники при НУУЗ*

Одним из основных факторов обеспечения развития экономики является рациональное использование энергетических ресурсов. В состав энергоресурсов также входит вода, которая считается необходимой для сельского хозяйства. Рациональное использование воды и водных ресурсов в условиях нашей республики является одним из важнейших задач стоящими перед учеными и специалистов. Отсутствие надлежащего использования воды на протяжении многих лет может привести к таким проблемам, как проблемы орала.

Для того чтобы правильно использовать имеющиеся водные ресурсы, необходимо правильно проводить учет и распределение воды, помимо поддержания состояния водяных узлов, мелиоративного состояния земли на необходимом уровне. Для этого в учете и процессах учета водных ресурсов должны широко применяться современные микропроцессорные устройства и системы, основанные на современных компьютерных технологиях. В этой области нами были проведены определенные работы и разработана готовая к применению автоматизированная система учета и распределение водяные ресурсы [1-2].

Предлагаемая компьютерная система автоматизации обладает следующими возможностями:

- Ведение учета водопотребления в онлайн-системе;
- Учет запасы воды в водоёмах;
- Хранение значение периодические распределения воды в режиме x реального времени (режиме архивного просмотра);
- Дистанционное управление распределением воды в режиме реального времени;
- Установление автоматического управления распределением водопотребления на основе заранее заданного временными графиков;
- Сигнализация и запись в архив о технических неисправности, наблюдаемой в узлах каналов распределения;
- Автоматическое формирование ежедневного, ежемесячного отчета о потреблении воды;
- Организация аварийного режима при распределении воды.
- Создание крупной диспетчерской службы управления водоснабжением;
- Передача информации центрального управления вода распределения другим необходимым пунктам в режиме онлайн.

Для организации компьютерной системы управления потребуются следующие технические устройства:

- Компьютер;

- Микропроцессорные вторичные измерительные устройства(их количество определяется количеством каналов управления);
- Конвертор интерфейса RS-232 / RS-485;
- Устройства измерения скорости воды с аналоговым выходом;
- Измерительные устройства измерения уровня;
- Электрические оборудования с частотным преобразователем для управления и контроля состоянием шиберов;
- Модемы для передачи и приема цифровой информации.

Блок схема автоматизированной системы управления отображена в общем следующем виде (рис.1):

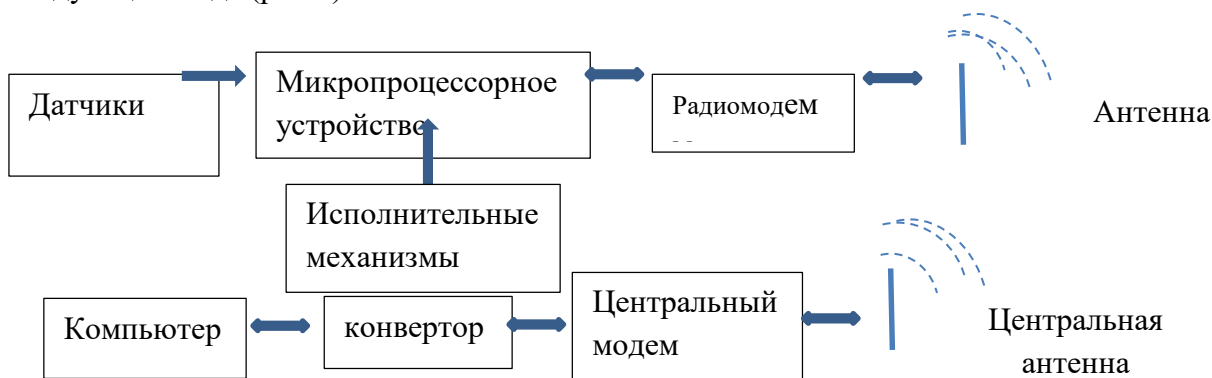


Рис.1. Блок схема системы.

Нами выбранный радиомодем Невод дает возможности подключение до 256 узлов управления. При этом каждый модем может работает одновременно как прем передачи информации и как ретранслятор, что позволяет расширение системы по расстояниям. С расширением портов в управляющем компьютере можно расширять системы до 1024 узлов управления [2].

При проектировании экспериментальной системы управления водными ресурсами использовался микропроцессорные устройств разработанные российскими компаниями. В качестве вторичного измерительного и управляющего устройства применялся 2-канальный микропроцессор MB110224-2А и 4-х канальный модуль дискретного ввода вывода МК110 220-4Р, а как датчик для измерения расхода воды использовался модернизированная «вертушка» и ультразвуковое уровнемер «Сенсус». Первый датчик имеет дискретный выход, выдает импульсы пропорционально к скорости водяные потока. Ультра звуковой датчик уровня имеет аналоговый выход 4-20 мА.

Калибровка датчика скорости производились согласно методики, указанные в ГОСТ.

Алгоритм управления технологическим процессом запрограммирован на основе инструментального программного комплекса Trace Mode и установлен на компьютер. Управление распределением водных ресурсов с помощью программного комплекса осуществляется с помощью мнемосхемы, которая выражается в системах реального времени состоянием узлов. Процесс распределения водопотребления поддерживается в виде трендов к архиву в системах реального времени. Можно проанализировать ситуацию распределения водных ресурсов, выраженную в трендах в нужное время.

С помощью программного комплекса Trace Mode раздела "шаблонные отчеты"разработана система автоматической генерации ежедневных, ежемесячных счетов.

Рассматривается возможность адаптации разработанного проекта к глобальным или местным системам воды распределения. Сигналы, полученные с помощью датчиков в водных каналах, собираются с помощью антенн и радиомодема невод-5 для управления водным ресурсами. С помощью программы, установленной на компьютере в Центре управления, осуществляется расчет расхода воды, а в системах реального времени осуществляется управление шиберами водоканалов. С учетом низком потреблении электроэнергии оборудованная система (МВ и МК - 8 Вт, модем -5 Вт, датчики по 5 Вт) можно организовать автономного электроснабжения с применением солнечного панели.

Литература

1. Бандурин М.А., Юрченко И.Ф., Волосухин В.А., Ванжа В.В., Волосухин Я.В. Экологоэкономическая эффективность диагностики технического состояния водопроводящих сооружений оросительных систем. Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 7. С. 66– 71.
2. Development and Improvement of Systems of Automation and Management of Technological Processes and Manufactures / N. Yusupbekov, F. Adilov, F. Ergashev. Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. 2017. 11. №3. P. 53– 57.

TECHNOLOGY FOR OBTAINING AN EFFECTIVE DISINFECTION ENVIRONMENT FROM ECOLOGICALLY CLEAN AND MULTIFUNCTIONAL QUARTZ LAMPS

¹ M.G.Dadamirzaev , ¹ M.K.Uktamova, ¹ A.A.Mamatshoyev, ² A.B.Rakhmatulina

¹Namangan State Technical University,

²Kazakhstan State Institute of Mechanics and Machine Building named after U.A. Dzholdoshbekov.

Email: umk9391@gmail.com

The innovative technology of environmentally friendly and multifunctional quartz lamps (EFMQL) prevents the spread of infectious diseases that spread among people in various environments . It provides high efficiency in emergency situations and provides remote control using a solar photovoltaic cell in situations of power outages. EFMQL destroys microorganisms, including viruses, bacteria and fungi, with high efficiency through electromagnetic radiation. EFMQL rays destroy the DNA and RNA structure of microorganisms, as a result of which they are deprived of the ability to reproduce[1-3]. This technology is widely used in the purification of microbes in water, in medical institutions, schools, production processes, in the ventilation system of multi-storey buildings and mining and metallurgical industries, and in other public places. Along with the possibility of easy installation, it works effectively in any environment. The disinfection process with EFMQL technology is carried out very quickly, which is very important for ensuring clean air and hygienic conditions in all facilities. Modern EFMQL technology has minimal harmful effects, which makes them safe for humans and environmentally friendly. The electrophysical characteristics (scientific) side of the device we offer is that the wavelength of Ultraviolet (UV) light used in the disinfection process is usually between 100 nm and 320 nm. This wavelength includes UV rays that interact with the DNA and RNA structure of

microorganisms, including bacteria and viruses, and neutralize them. For example, the energy of a wave with a wavelength of 280 nm is equal to 7.1×10^{-19} J. There are many ways to generate this energy, one of which is based on thermionic emission. The electrodes ionize the gas, generating -kT energy. This energy allows the emission of UV rays. Disinfecting devices, in particular, contain mercury gas (Hg-mercury vapor) [4]. This energy is balanced by a choke when it is first supplied and the first impulse is given by the stator. If there is a change in the energy source, the input is stabilized by a capacitor with a large voltage and capacity. The on-off times are determined by a microcontroller. The solar cell converts light energy into electrical energy and the voltage goes to a high state. The innovative EFMQL technology includes the following devices. The choke controls this current, adjusting the amount of electrical current so that the lamp operates within its normal operating parameters. The starter controls the starting current, reducing the high current at start-up and ionizing the gas inside the lamp. Without a starter, the lamp does not receive sufficient starting current and voltage to operate normally. Capacitors serve to ensure the stability of voltage and current during the operation of quartz lamps. The device that calculates the emission time of the 100nm-320nm wavelength can provide this system with energy by supplying the consumption power in the range of 25W-60W to the EFMQL technological device through a solar photovoltaic cell. This, in turn, creates the possibility of controlling the device in cases of electricity shortage. In this way, we achieve economic efficiency along with environmental friendliness.

In Figure 1 below, the UV radiation is generally distributed in a spherical pattern, and the wavelength can be controlled by the energy supplied to the mercury vapor in equilibrium. The UV radiation is controlled by the power supplied to the quartz lamp by controlling the inductive coils L1, L2 and L3 on the ground. This in process the lamp anode and to the cathode first voltage 45 V start from receiving after is reduced to 1.5 V. Inductive reels using induction vine management using next voltage will be lowered and spectrum is adjusted.

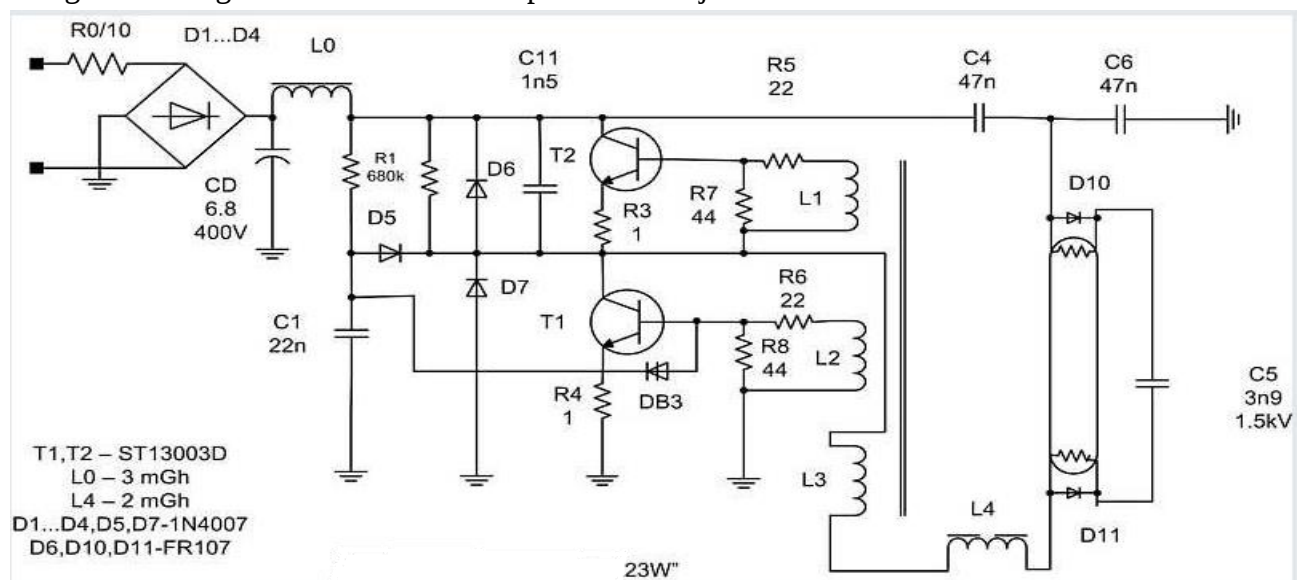


Figure 1. Modern EFMQL technology schematic appearance .

Conclusion

Based on practical experiences obtained in leading countries of the world, it has been achieved to maintain ultraviolet light at a wavelength that breaks the DNA and RNA bonds of various harmful bacteria in water and air for a long time.

References

1. Kowalski W. "UVGI Disinfection Theory." Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. Berlin, Heidelberg : Springer. (2009), pp. 17–50. doi : 10.1007/978-3-642-01999-9_2 . ISBN 978-3-642-01999-9 .
2. Kowalski W. "UV Rate Constants". Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. Berlin, Heidelberg : Springer. (2009), pp. 73– 117. doi : 10.1007/978-3-642-01999-9_4 . ISBN 978-3-642-01999-9 .
3. Hessling M, Haag R, Sieber N, Vatter P. "The impact of far-UVC radiation (200-230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes - a collection and analysis of a hundred years of data" . GMS Hygiene and Infection Control. 16 : Doc07. doi : 10.3205/dgkh000378 . PMC 7894148 . PMID 33643774 .
4. Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ (June 2020). "Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses" . Scientific Reports . 10 (1): 10285. Bibcode : 2020 NatSR.. 1010285B . doi : 10.1038/s41598-020-67211-2 . PMC 7314750 . PMID 32581288 .

GAZ TASHISH USULI ORQALI TEKSTURALI KREMNIYNING USTIGA YUPQA QATLAMLI CdTe O‘STIRISH

**S.A. Muzafarova, A.S. Achilov, Z.M. Xusanov, O.Sh. Norqulov, N.A.Axmedova,
N.O. Odilova**

*Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo‘tkazgichlar
fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti*

Oxirgi yillarda butun dunyo bo‘ylab energiyaga bo‘lgan talab yildan yilga ortib bormoqda va ayrim davlatlarda energiya yetishmasligi kuzatilmoqda. Buning asosiy sabablaridan biri aholining ko‘payishi va texnologiyalarning rivojlanib borayotganini misol qilishimiz mumkin. Hozirgi kunda asosiy elektr energiya manbalari IES, GERS va AESlar hisoblanadi. IESda elektr olish uchun yoqilg‘i sifatida neft, ko‘mir, mazut va gaz ishlatiladi. Bu o‘z navbatida o‘zidan tabiatga zararli moddalar chiqaradi ya‘ni atmosferani zaharlaydi. So‘nggi yillarda dunyo bo‘ylab quyosh nuridan foydalangan holda elektr toki olish ustida ko‘plab ishlar tashkil qilingan.

Shu sababli quyosh nuridan foydalanib elektr toki olish ustida keng miqyosida tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Quyosh nuridan foydalangan holda elektr toki uchun yarimo‘tkazgichli materillardan foydalanilmoqda. Bulargamisol sifatida, Si, a-Si, CdTe, GaAs, va Cu(In,Ga)(Se,S)₂ shu kabi yarimo‘tkazgichli elementlarni misol qilish mumkin. Hozirda ularning samaradorligi quyidagi qiymatga teng: Si uchun $\eta = 26,7\%$ (lab.), $\eta=24,4\%$, (modul); a-Si- $\eta = 14\%$ (lab.), $\eta=12,3\%$, (modul)¹; CdTe- $\eta = 22,1\%$ (lab.), $\eta=19\%$, (modul)¹; Cu(InGa)Se - $\eta = 23,4\%$ (lab.), $\eta=19\%$, (modul) [1]. Yer yuzida Si elementidan tayyorlangan quyosh panellari 95% ni tashkil qiladi. Chunki Si elementi yer yuzida keng tarqalgan. Si asosida tayyorlanga quyosh panellari monokristall, polikristall va yupqa qatlamli quyosh elementlarni tashkil qiladi.

2020 yilda mono-Si asosidagi quyosh modulidan 120, 6 GW, poli-Si asosidagi quyosh modulidan 23,3 GW va yupqa qatlamli quyosh modullaridan 7,7 GW quvvatga teng fotoelektrik stantsiyalar qurilgan². Ushbu fotoelektrik stantsiyalardan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi, butun dunyoda ishlab chiqarilayotgan energiyaning 3,5% dan ortig‘ini tashkil etadi [2].

Shunga qaramasdan, ushbu materiallarning ma'lum kamchiliklari hisobiga keng ko'lamda quyosh modullarini ishlab chiqarish va ular asosida Gega va TeraWatt quvvatli fotoelektrik stantsiyalar qurish chegaralangan. Si asosidagi quyosh elementlarining kamchiligi: birinchidan ularning yutilish koeffitsientini kichikligi, bu esa quyosh elementlarini 200-300 mkm qalinlikda tayyorlashga to'g'ri keladi va natijada materialni katta hajmda sarflanishiga olib keladi; ikkinchidan o'ta toza kremniy o'stirish va quyosh elementining tayyorlanish texnologik jarayonini ko'pligi va zaxarli kimyoviy moddalarning ko'p ishlatilishi [3]. Bu esa o'stirish texnologiyasini qimmatga tushishiga va atrof muhitni zararlantirishiga olib kelmoqda. Yupqa qatlamli quyosh elementlarining kamchiliklari: amorfniy quyosh elementining samaradorligi past ekanligi, hozirgi kunga kelib samaradorligi 10-12 % dan oshmagan. CdTe asosida tayyorlangan quyosh panellari yupqa qatlamli quyosh elementlar hisoblanadi. Cd davriy sistemada 2 – grupp element va Te esa 6 – grupp element hisoblanadi. Te o'zidan radioaktiv nur chiqaradi. Shuning uchun ham CdTe asosida tayyorlangan quyosh elementlari yaroqli muddatini tugagandan keyin qayta ishlanadi. Taqiqlangan zona kengligi $E=1.45$ eV xona temperaturasida. Erish temperaturasi Cd uchun $T=321^{\circ}\text{C}$, Te uchun $T=450^{\circ}\text{C}$ va CdTe uchun $T=1092^{\circ}\text{C}$ ni tashkil qiladi. So'nggi yillarda Si va yupqa CdTe o'rtasidagi geterostrukturani yaratish bo'yicha tadqiqot ishlari amalga oshirilgan, chunki bu materiallarga asoslangan geterostrukturalar quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun yuqori effektivlikka ega qurilma bo'lishi mumkin. Bunday geterostrukturalar kremniy quyosh elementlarining imkoniyatlarini va yupqa kadmiy tellurning afzalliklarini birlashtiradi. Shu bilan birga, yuqori sifatli CdTe-Si birikmalarni ishlab chiqarish qiyin, chunki CdTe va Si ning panjara parametrlari 10-15% ga farq qiladi, bu Si/CdTe yuzasida sirt nuqsonlarining yuqori zichligi shakllanishiga olib keladi. Shunga qaramay, yaqinda olib borilgan ishlar nSi-pCdTe geterostrukturasi bufer vazifasini bajaradigan oraliq o'tish qatlamini shakllantirish orqali sirt nuqsonlarining past zichligi bilan yuqori sifatli CdTe-Si birikmalarni ishlab chiqarish mumkinligini ko'rsatdi.

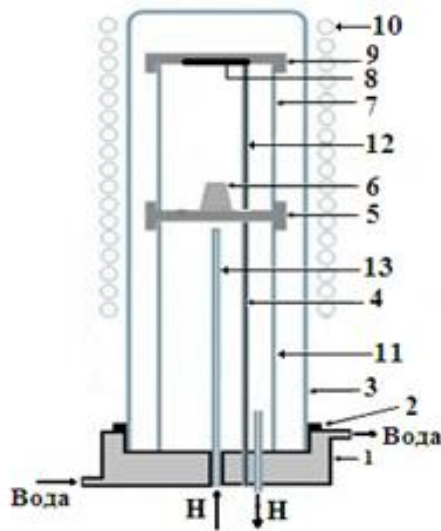
Ushbu ishning maqsadi Si tagliklarida kompozitsion darajali CdTe yupqa qatlamlarni o'stirish, qatlamlarning tarkibini ularning qalinligi funksiyasi sifatida aniqlash. Ma'lumki, turli xil tagliklarda yupqa CdTe yupqa qatlamlari turli xil texnikalar bilan o'stirilishi mumkin. Yarimo'tkazgichli yupqa qatlamlarni kimyoviy usuli bilan o'stiruvchi qurilma asosida Si va yupqa CdTe geterostruktura o'stirildi. CdTe plyonkalarini cho'ktirish jarayonini amalga oshirayotganda, yuqorida aytib o'tilganidek, Mo substrati kerakli TP harorati zonasiga joylashtirildi va gaz tashuvchisi (vodorod) atmosferasida gaz bilan ishlov berishdan o'tkazildi. Barcha CdTe plyonka cho'kma jarayonlarida TI manbai va TP substratining harorati mos ravishda $600 \div 1000^{\circ}\text{C}$ va $600 \div 700^{\circ}\text{C}$ harorat oralig'ida o'zgargan. Bug'langan moddaning miqdori bug'lanish manbaidagi CdTe kukuni og'irligining kamayishi bilan aniqlandi (6).

1-rasmda CdTe bug'lanish tezligining H_2 oqim tezligiga bog'liqligining eksperimental natijalari ko'rsatilgan, bug'lanish moslamasining har xil haroratida T_1 : hisoblangan, 2 - 650°C , 3 - 850°C , 4 - 950°C . Optimal CdTe yotqizish sharoitida polikristalli CdTe ning qatlamlarini cho'ktirishning texnologik parametrlari quyidagicha :

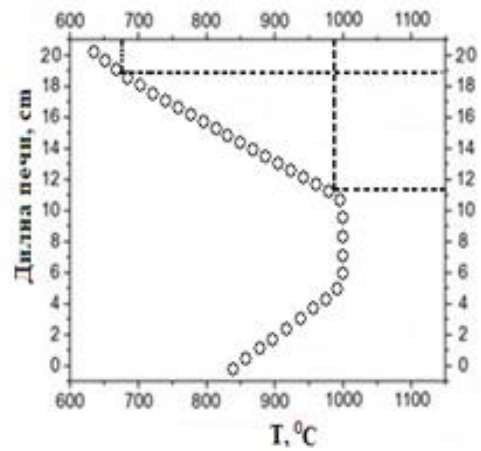
- 1) CdTe namunasi - $m = 700$ mg;
- 2) Substrat harorati $T_p = \sim 670^{\circ}\text{C}$;
- 3) Manba harorati $T_I = T_{II} = 980^{\circ}\text{C}$;
- 4) Vodorod oqimi tezligi 1,5 l/soat;
- 6) Atom tarkibi $m_{\text{Te}}/m_{\text{Cd}} = 49,65/50,35$;
- 7) O'sish tezligi, $\sim 670^{\circ}\text{C}$ da, $P_{\text{CdTe}} = 300 \mu\text{m/h}$;

8) CdTe qalinligi = $200 \div 250 \text{ } \mu\text{m}$;

9) O'sish vaqti $40 \div 50 \text{ min}$.



a)



b)

Rasm. 1. Polikristal CdTe plyonkalarini gaz tashish usuli bilan o'stirish uchun reaktorning sxematik diagrammasi (a) va ikki zonali pechning haroratga bog'liqligi grafigi (b);

- 1- oqar suv bilan sovutilgan gardish,
 - 2- muhrlangan mahkamlash gardish,
 - 3-kvars quvurli reaktor,
 - 4- evaporatator uchun xromel-alumel termojuft,
 - 5- pastki grafit ushlagichi,
 - 6- bug'langan materialning manbai,
 - 7 - yuqori kvarts oynasi,
 - 8- molibden substrati,
 - 9 - yuqori grafit qopqoq,
 - 10 - olinadigan pech,
 - 11- pastki kvarts oynasi,
- Substrat uchun 12 xromel alumel termojufti,
 13 - tizimga tashuvchi gazni etkazib berish uchun quvur.

CdTe plyonkalarining sovutish tezligi daqiqada $10 \pm 5 \text{ nm/S}$ ni tashkil etdi.

Texnologik sharoitlar yotqizilgan CdTe plyonkalarining tuzilishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillardir. Dissertatsiya vodorod oqimida gazni tashish usuli bilan cho'ktirish jarayonida vodorod oqimi tezligiga, substrat harorati TP va bug'lanish moslamasining harorati TIga qarab CdTe plyonkalarining tuzilishi, morfologiyasi va tarkibini o'rganadi.

Adabiyotlar

1. Il'chuk, G.A., Kusnez, V.V., Rud', V.Yu., Rud', Yu.V., Shapoval, P.I., and Petrus', R.Yu., Photosensitivity of n-CdS/p-CdTe heterojunctions obtained by chemical surface deposition of CdS, Semiconductors, 2010, vol. 44, no. 3, pp. 318–320.
2. Sh. B. Utamuradova, S.A Muzafarova, Z.S Kenzhaeva. Study of surface states of in- nITO - pCdTe structures based on large-block polycrystalline films pCdTe IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP) Volume 14, Issue 1, and Ser. I (Jan–Feb. 2022), pp. 51-56.

3. Музафарова С.А. Исследование фоточувствительных ПДП структур на основе теллурида кадмия. Кандидатская диссертация, 1983. -192 с.
4. Nuriyev, I.R., Mekhrabova, M.A., Nazarov, A.M., Sadygov, R.M., and Hasanov, N.G., On the growth, structure, and surface morphology of epitaxial CdTe films, Semiconductors, 2017, vol. 51, no. 1, pp. 34–37.

**ENERGIYA SAMARADOR KOMPOZITSION MATERIALLARDAN
ELEKTROTEXNIKA SANOATIDA FOYDALANISH**

U.T.Berdiyev, O‘.B. Sulaymonov, O.F. Sayfilloyev

*Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston
berdiev1962@inbox*

Elektr energetika sanoatida asosan elektr qarshiligi past yoki yuqori bo‘lgan metallar va qotishmalardan foydalaniladi. Masalan, o‘tkazgichlar, ular elektr qarshiligi imkoni boricha past metallardan, ya’ni toza metallar – alyuminiy, mis, kumush va temirdan tayyorlanadi, elektr pechlari va asboblarning qizdirish elementlari, shuningdek, turli xil elementlar, reostatlar va boshqalar tayyorlash uchun esa, aksincha, elektr qarshiligi yuqori bo‘lgan materiallar – qotishmalar ko‘proq ishlatiladi. Buning sababi shuki, qotishmalardagi qattiq eritmalar shu qotishmalarning elektr qarshiligini oshirib yuboradi, toza metallarda esa qattiq eritmalar bo‘lmaydi [1, 2]. Aslida elektr qarshiligi yuqori bo‘lgan qotishmalar qattiq eritmalar hosil qiluvchi metallardan tayyorlanishi kerak.

Amalda qo‘llaniladigan materiallardan, masalan elektrotexnik pulatdan elektrotexnik jixozlarning energetik parametrlarini yaxshilashning imkoni yo‘q, shuning uchun yangi kompozitsion materiallarni ishlab chiqish va ularni elektr jihozlar o‘zaklarini tayyorlashda foydalanish asosida magnit maydonni o‘zgartirish talab etiladi [2, 3].

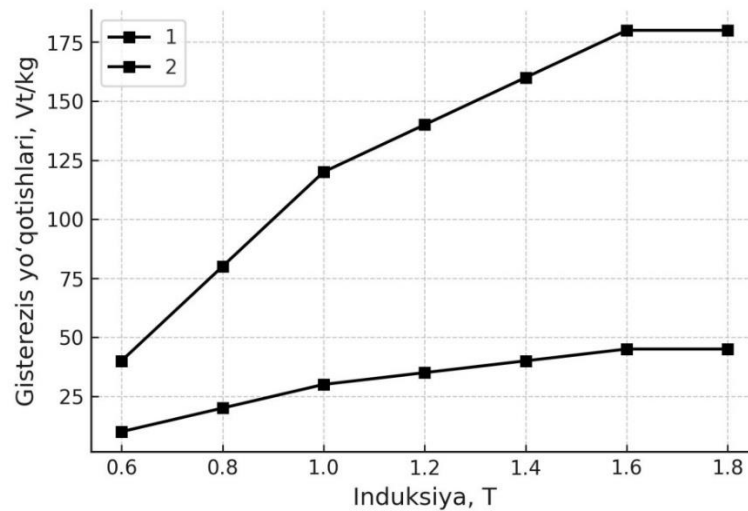
Shunga asosan, kompozitsion materiallarning asosiy xususiyatlari, ya’ni magnit singdiruvchanlik, magnit induksiyasi, o‘ta magnitlanishdagi isroflar va mexanik xususiyatlari amalda foydalaniladigan laminatsiyalangan magnit metallarnikidan afzal bo‘lishi zarur [2, 3].

Magnit jihatidan yumshoq po‘latlar va qotishmalar uchun eng zararli qo‘shimchalar uglerod, oltingugurt, kislorod va azotdir. Bu qo‘shimchalar ferritda deyarli erimaydi va tegishli sementit va sul’fid zarrachalari, shuningdek, metallmas qo‘shilmalar tarzida bo‘ladi. Uglerodning zararli ta’siri ayniqsa katta [1, 3]. Bu qo‘shimchalar miqdori hatto juda oz bo‘lganda ham magnit jihatidan yumshoq materialning magnit kirituvchanligi pasayib, gisterezisga ketadigan isroflar oshadi. Demak, magnit jihatidan yumshoq eng ma’qul material toza metallar, birinchi navbatda esa texnikaviy toza temir, ya’ni tarkibida juda kam (ko‘pi bilan 0,04%) uglerod bo‘lgan po‘latlar kiradi.

Texnikaviy temirning har bir markasi magnit xossalari ularning struktura holatiga ham bog‘liq bo‘ladi. Masalan, ustma-ust joylashtirish temirning magnit xossalarini pasaytiradi, temir donalarining yiriklashuvi esa uning magnit xossalarini yaxshilaydi [3]. Texnikaviy temirning donalarini yiriklashtirish uchun u yuqori haroratda yumshatiladi. Texnikaviy temir elektromagnit o‘zaklari va qutblari, rele, magnit ekranlari va boshqa detallar tayyorlash uchun ishlatiladi. Texnikaviy temirning magnit kirituvchanligi katta, koersitiv kuchi esa kichik, ammo elektr

qarshiligi past, demak, uyurma toklarga ketadigan isroflari katta bo‘ladi, shu sababli elektr mashinalari va transformatorlar uchun bunday temir to‘g‘ri kelmaydi [2, 4].

Tajriba natijasida olingan ma’lumotlar yangi kompozitsion materiallar ishlab chiqish mumkinligi va ularni har xil yangi turdagi elektrotexnik qurilmalarni ishlab chiqishda amalda qullash mumkinligini kursatmoqda.



1-rasm. ASC100.29 turidagi magnit kompozitning tuliq davr bo‘yicha (1), xususiy davr bo‘yicha umumiy elektromagnit isroflarining chastota 1 kGs bo‘lganda magnit induksiya bog‘lanishi.

Materiallarning mexanik va elektromagnit xarakteristikalarini [3] ularning olinish shartlariga bog‘lanishi kompozitsion materiallarning berilgan magnit va elektr xususiyatlari bilan tahlil qilish imkoniyatlarini beradi [2, 4]. Olingan natijalar shuni kursatdiki, bunday materiallar asosida yuqori chastotali o‘zgartirgichlar yuqori samarali o‘qli elektr motorlar va generatorlar, keng istemoldagi magnit komponentlarni yaratish imkonini beradi. Kompozitsion magnit materialning elektrotexnik pulatga va boshqa eritmalarga nisbatan afzalligi, ularni elektr mashinalarda keng qullashda yuqori solishtirma quvvatini ta’minlash maqsadida yuqori aylanish tezlikda va kam isroflar bilan ishlashga imkon yaratadi [3, 4].

Tajriba asosida olingan materiallar elektrotexnik pulatni almashtirish imkonini beradi va sezilarli darajada taklif etilayotgan elektr motorlar parametrlarini yaxshilaydi, massa-gabarit o‘lchamlarini va isroflarni kamaytiradi hamda jixozning narxini orzonlashtiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Сао, Р. Ми, С., Ченг М. Количественное сравнение двигателей с постоянными магнитами с переключением магнитного потока и внутреннего двигателя с постоянными магнитами для применений EV, HEV и PHEV. IEEE Trans. Magn. 2012, 48, 2374-2384.
2. У.Т.Бердиев, Н.Б.Пирматов, А.К.Вечер, Ф.Ф.Хасанов. «Магнитные и электрические свойства композиционных магнитомягких материалов и использование их для электромашиностроение» Монография, Ташкент-2021 г.
3. Вечер, А.К. Новые композиционные материалы и их применение в электронной технике / А.К. Вечер // Наука и инновации. 2017, № 4, – С. 23–24.
4. Sulaymonov U.B., Xasanov F.F., Karshiyev K. “Energy-saving materials for electrical engineering”. Galaxy international interdisciplinary research journal (giirj) ISSN (e): 2347-6915 vol. 10, issue 5, may. (2022). -2347-6915 vol. 10, issue 5, may. (2022), 2022-yil.

ТРЕХЦВЕТНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ

Г.О. Кулдашов¹, М.У.Эркинов²

¹Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Узбекистана.,

²Ферганский политехнический институт, ассистент

Ключевым элементом трехцветного светодиодного модуля являются светодиодные гетероструктуры на основе узкозонных полупроводниковых материалов A^3B_5 . Длина волны излучения светодиода определяется шириной запрещенной зоны, то есть составом твердого раствора в активной области. Для светодиода с максимумом излучения на 1650 нм в активной области применяется четверной твердый раствор $AlGaAsSb$ с содержанием алюминия 3%. Для светодиода с максимумом излучения на 1940 нм в активной области применяется четверной твердый раствор $GaInAsSb$ с содержанием индия 9%. Для светодиода с максимумом излучения на 2200 нм в активной области применяется четверной твердый раствор $GaInAsSb$ с содержанием индия 19%. Во всех случаях широкозонный твердый раствор $AlGaAsSb$ с содержанием алюминия 64% применяется в качестве электронного ограничения. Структуры выращиваются на подложках $GaSb$ методом жидкофазной эпитаксии (LPE) или газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (MOCVD) [1-2].

Из гетероструктур с помощью фотолитографии формируются светодиодные чипы размером от 0.3×0.3 мм до 1.0×1.0 мм. Затем чип монтируется на керамической или кремниевой подложке размером от 0.8×0.8 мм до 2.0×2.0 мм. Трехцветный светодиод для контроля влажности хлопка-сырца представлен на рис.1.

Трехцветный светодиод включает:

- 1- измерительный светодиодный чип для волокна LED 16
- 2- измерительный светодиодный чип для воды LED 19
- 3- опорный светодиодный чип LED 22
- 4- параболический рефлектор
- 5- керамические подложки
- 6- датчик температуры
- 7- термохолодильник
- 8- кварцевое стекло
- 9- корпус ТО-39

Модуль монтируется в стандартном корпусе ТО-39 с выводами (9). Встраиваемый в корпус термохолодильник (элемент Пелтье) размером 3×3 мм (7) обеспечивает температурный перепад между горячим и холодным концами без нагрузки минимум 60 градусов. К холодному концу термохолодильника приклеивается датчик температуры (6).

На свободную поверхность холодного конца термохолодильника приклеиваются три заранее смонтированных на подложках светодиодных чипа, излучающих на длинах волн 1650 нм (LED 16), 1940 нм (LED 19) и 2200 нм (LED 22) (1, 2 и 3). Аноды и катоды светодиодов связываются золотыми проволочками с четырьмя внешними выводами 1-3, 6 корпуса ТО-39 (рис.1). Выводы термохолодильника и датчика температуры связываются с внешними выводами 4, 5, 7, 8 корпуса ТО-39. К корпусу приваривается параболический рефлектор с окном диаметром 15 мм для сужения диаграммы направленности.

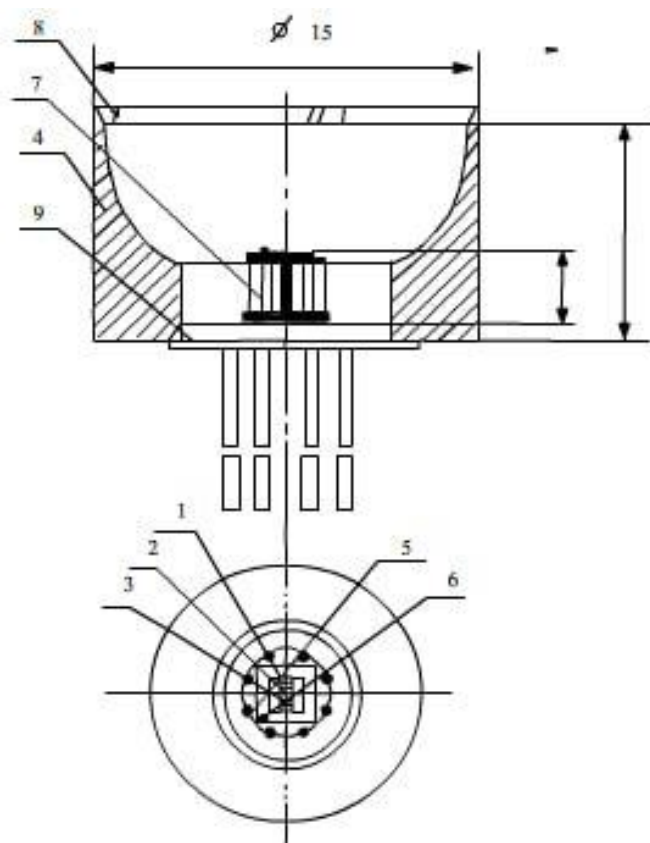


Рис.1. Трехцветный светодиод для контроля влажности

На рис.2. приведена блок схема трёхволнового влагомера с двумя измерительными каналами. Влагомер состоит из формирователя экспоненциального напряжения, трёх излучающих диодов (излучающих на опорной, измерительной длинах волн и на длине волны, лежащей в полосе поглощения неинформативных параметров), контролируемого объекта, фотоприемника и блока обработки фотоэлектрического сигнала. Применение функциональной развертки в данном случае позволяет повысить точность и упростить схему влагомера. Оба опорные потоки формируются по спадающему экспоненциальному закону.

Оптоэлектронный трехволновой влагомер включает себя: 1- задающий генератор; 2- делитель частоты; 3, 4- модуляторы экспоненты соответственно; 5- контролируемый объект; 6- фотоприёмник; 7,10- дифференцирующие устройства; 8- схема совпадения; 9- счётчик импульсов. Влагомер работает следующим образом. Контролируемый материал или изделие облучается тремя световыми потоками от светодиодов на измерительной длине волны $\lambda_1=1.94$ мкм и на двумя опорными длинами волн – соответственно $\lambda_2=1.6$ мкм и $\lambda_3=2.2$ мкм. Задающий генератор 1 вырабатывает прямоугольные импульсы, эти импульсы поступают на входы модуляторов экспоненты 3,4 и на вход делителя 2 частоты, который синхронизирует начало формирования экспоненты и заполняющих импульсов, идущих от задающего генератора.

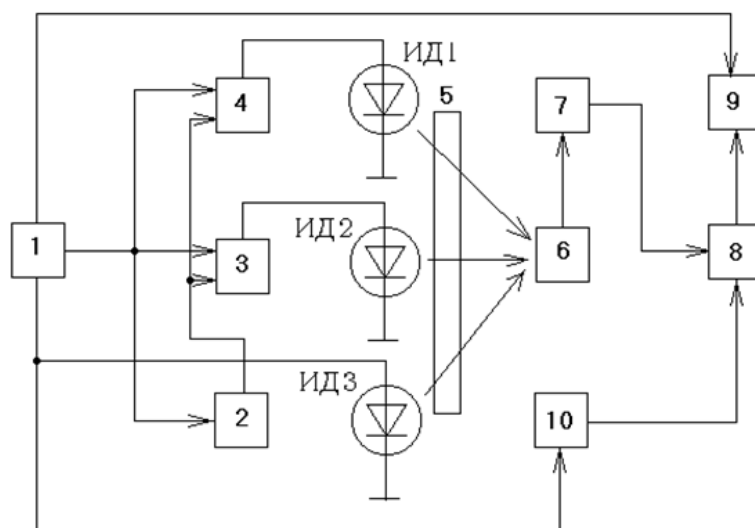


Рис. 2. Блок схема оптоэлектронного трехволнового влагомера

Сформированные импульсы тока протекают через светодиоды и вызывают потоки с тремя длинами волн. Эти потоки, провзаимодействовавшие с контролируемым объектом, принимаются фотоприёмником 6. Сигналы с выхода фотоприёмника 6 поступают на вход первого дифференцирующего устройства 7. Продифференцированный сигнал с выхода первого дифференцирующего устройства 7 подается на один из выходов схемы совпадения 8. На другой выход схемы совпадения 8 попадает сигнал с выхода второго дифференцирующего устройства 10. На выходе схемы совпадения 8 с начала экспоненты до момента перемены фазы фотоэлектрического сигнала появляются импульсы. Сигнал с выхода схемы совпадения подаётся на счётчик импульсов, по показанию которого определяется влажность контролируемого объекта.

Литература

1. Martín, F.F.; Llopis, M.V.; Rodríguez, J.C.C.; Martínez, A.L.; Cabezuelo, A.S.; Fernández-Arguelles, M.T.; Costa-Fernández, J.M. Optoelectronic Instrumentation and Measurement Strategies for Optical Chemical (Bio)Sensing. Appl. Sci. 2021, 11, 7849. <https://doi.org/10.3390/app11177849>.
2. Mustafi, S., and Latychevskaia, T. Fourier transform holography: a lensless imaging technique, its principles and applications. Photonics. 2023. 10 (2), 153. doi:10.3390/photonics10020153.

n-Si<Ni> NAMUNALAR ASOSIDAGI HARORAT DATCHIKLAR TAYYORLASHDA OMIK KONTAKT OLISH TEXNOLOGIYASI

M.I. Mannanov¹, I.M. Nishanov²

¹O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti. Toshkent, O'zbekiston

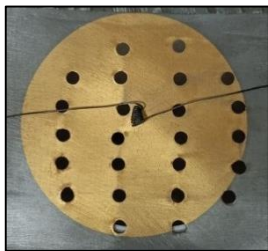
²O'zbekiston Milliy universiteti

mannonov.2018@mail.ru

Ma'lumki ishlab chiqarish texnologik jarayonlarni avtomatik nazorat qiladigan va boshqaradigan zamonaviy asboblarning muhim elementlaridan biri harorat datchiklar hisoblanadi.

Xozirgi kungacha yaratilayotgan harorat datchiklari, haroratni tor oralig'ini o'lchashga moslashganligi va ularni elektrofizik parametrlari turli tashqi ta'sirlar natijasida o'zgarib ketishi muammo bo'lib qolmoqda. Kremniyga kirishma atomlarini kiritib, harorat o'zgarishiga sezgir bo'lgan harorat datchiklarini yaratish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilgan bo'lsada, u sanoat texnologiyasida ishlab chiqilgan emas. Ushbu muammoni hal qilish, yaxshilangan degradatsiya xususiyatlari va parametrlarning barqarorligi, kam energiya iste'moli va o'lchamlari kichik, qo'shimcha kuchaytirish tizimlari yo'qligi, ishlash qulayligini ta'minlaydigan, universal fizik kattalik datchiklarining tubdan yangi sinfini yaratishga imkon beradi, chunki, ular tashqi ta'sirlarga juda sezgir bo'lgan fizik hodisalar asosida ishlaydi va mavjud bo'lgan datchiklarga nisbatan sezgirlik va tezlik chegarasi yuqori bo'ladi.

Yarimo'tkazgich materiallar asosida yaratilgan asboblardan uchun omik kontakt olish texnologik jarayonning asosiy vazifalaridan biri bo'lib, yaratilgan asboblarning sifati hamda ishchi parametrlariga katta ta'sir ko'rsatadi. Yaratilgan harorat datchiklarga omik kontakt olish asosan foydanilgan materialni chiqish ishidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi. Kremniy monokristalini chikish ishi $Si=4.60\div4.85$ eV ga tengligi bilgan holda bizga omik kontakt olishda va harorat datchiklarning sifatiga bog'liqlik tavsifi o'rganildi. Omik metall qatlam olish texnologiyasini takomillashtirish orqali biz yaratilayotgan harorat datchiklarga sifatli omik kontakt olishga erishildi. Vakuumda kremniy plastinalar sirtiga metall qatlamni purkashda $R = 2\cdot10^{-6}$ mm.sm.ust. vakuum beradigan VUP-4 vakuum qurilmasida amalga oshirildi. Kontaktlarni olishda kremniy plastinalar yuzasini metall qalinligi 200 mkm molibden trafaretidan foydalanildi



1-rasm. A) molibden trafaret va volfram tegel



B) n-Si<Ni> dastlabki namuna



C) n-Si<Ni> vakumda omik kontakt olingan namuna

VUP-4 laboratoriya vakuum qurilmasi yordamida yaratiladigan harorat datchiklarning sirtiga metall omik kontaktlarni olishda haroratga chidamli qozonchani yuqori haroratda eriydigan metall W-volfram spirali (tigel) ustiga qo'yib undan elektr tokini o'tkazib qizdirish yo'li bilan amalga oshirildi. Vakuumda purkash vaqti hamda namunalar o'rnatilgan taglikning haroratini va o'stirilayotgan metall qatlamning sirdagi adgeziyasi hamda qalinligini boshqarish mumkin bo'ldi.

Eng yaxshi adgeziyasi bo'lgan metall omik qatlamlarni vakuumda kremniy sirtiga o'tkazishda $T=300\div400$ °C harorat oralig'ida qizdirilganda kuzatildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Baxadirxanov M.K., Ibodullaev Sh.N., Zikrillaev X.F., Tachilin S.A. Datchik temperatury i osvещeniya na osnove yedinogo kristalla kremniya. Pribory. 2021. № 8 (254) st. 12-18

2. Bahadixanov M.K., Ortikov I.B. Малы ensiklopedicheskiy spravochnik po poluprovodnikovym materialam. Tashkent 2006.st.202
3. Mannanov M.I. Termorezistory na osnove monokristallicheskogo kremniya // “II Mejdunarodnaya nauchnaya konferensiya «Sovremennye tendensii razvitiya fiziki poluprovodnikov: dostijeniya, problemy i perspektivy» Tashkent 2022 g, 27-28 dekabr, st.99-100.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В МЕДИЦИНСКИХ АППАРАТАХ

Р.А. Нурдинова, Г.Х. Ахмадалиева

Ферганский медицинский институт общественного здравоохранения

В настоящее время любую медицинское оборудование невозможно представить без применения полупроводниковых элементов и устройств. Благодаря этому изготавливают миниатюрные электронные элементы, из которых делают транзисторы, чипы и другие компоненты электронной техники, которые позволяют создавать инновационные электротехнические устройства и цифровые аппараты улучшающие качество медицинского обслуживания и здравоохранения. К ним относятся [1-3]:

1. Медицинская диагностика. Современные диагностические приборы, такие как рентгеновские аппараты, компьютерные и магнитно-резонансные томографы, биосенсоры, позитронно-эмиссионные томографы, которые дают возможность проводить более точную диагностику и исследование патологий, помогающие быстро определить причину заболевания.

2. Лазерное оборудование. В этом плане полупроводниковые приборы, стали основой аппаратов для лазерной диагностики, хирургии и терапии, в том числе гипертермии. Применение полупроводниковых элементов и приборов дало возможности оценивать и анализировать свое преимущество над традиционными методами хирургического, онкологического и терапевтического лечения в медицине.

3. Медицинские сенсоры. Они являются инновационными решениями позволяющие эффективно взаимодействовать с биологическими системами. С их помощью можно измерять различные биологические показатели с прикосновением электродов к телу человека. Например, измерение уровня сахара в крови или температуру тела. Также сенсорный мониторинг намного упрощает контроль за здоровьем пациентов, повышая достоверности диагноза благодаря высокой чувствительности и быстрому отклику.

В работе [4], представлен оригинальный КМОП-совместимый метод изготовления сенсорной системы на основе полевых транзисторов с каналом-нанопроводом и показываем результаты использования этой системы для количественного определения концентрации тиреотропного гормона (ТТГ) в модельной сыворотке крови. Метод изготовления основан на использовании процесса реактивно-ионного травления верхнего слоя кремния на изоляторе через маску, сформированную с помощью электронно-лучевой литографии.

Использование экспериментальных исследований на примере биполярных транзисторов большой мощности и отбора высоконадежных экземпляров даёт возможность индивидуального прогнозирования по информативным параметрам, измеряемым у

конкретного экземпляра в начальный момент времени. Для экспериментального исследования (обучающий эксперимент) включали измерение в начальный момент времени у каждого экземпляра выборки транзисторов электрических параметров, которые могут содержать информацию о надежности, а затем проведение ускоренных испытаний транзисторов на безотказность в течение времени, соответствующего нормальным условиям для наработки, указанной в технической документации [5].

Группа французских ученых в руководстве Джорджа Мальяраса разработала и изготовила образцы органических электрохимических транзисторов, которые могут быть установлены на окончаниях вживляемых электродов, что позволит значительно поднять чувствительность электронных устройств, предназначенных для считывания сигналов из головного мозга [6].

Из этого следует, что полупроводниковые транзисторы играют ключевую роль в создании медицинских аппаратов, обеспечивая высокую точность и надежность работы. В данной статье рассматриваются перспективы применения полупроводниковых транзисторов в медицинских устройствах, их преимущества и потенциальные направления развития, а также приводятся результаты проведенных экспериментов и сравнительный анализ транзисторных технологий.

Полупроводниковые транзисторы являются основными элементами электронных схем в медицинских аппаратах. Они так же широко используются в:

- Диагностическом оборудовании (электрокардиографах, магнитно-резонансных томографах, ультразвуковых сканерах);
- Лечебных устройствах (аппаратах электростимуляции, дефибрилляторах, лазерных терапевтических системах);
- Реабилитационных и имплантируемых устройствах (кардиостимуляторах, слуховых аппаратах, нейроимплантах).

Основными преимуществами полупроводниковых транзисторов являются их миниатюризация, которые даёт возможность уменьшать размеров электронных компонентов позволяющие создания компактных и переносных медицинских аппаратов.

Низкое энергопотребление, которое важно для имплантируемых устройств, работающих от автономных источников питания. Высокая надежность и долговечность, которая обеспечивает устойчивость работы медицинских аппаратов даже в сложных условиях эксплуатации и высокая скорость обработки сигналов, являющим диагностических систем, особенно при анализе ЭКГ и МРТ.

Из результатов исследования выявлено:

— **Повышение точности диагностики ЭКГ.** В ходе эксперимента были протестированы новые транзисторные схемы в электрокардиографах. Анализ показал снижение уровня шумов на 30%, что повысило точность диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

— **Оптимизация энергопотребления кардиостимуляторов.** Новые транзисторные решения позволили снизить энергопотребление имплантируемых кардиостимуляторов на 25%, что увеличивает срок службы батарей на 2-3 года.

— **Улучшение отклика биосенсоров.** Использование современных кремниевых транзисторов позволило увеличить чувствительность глюкометров на 20%, что привело к более точному определению уровня сахара в крови.

Сравнительный анализ старых и современных транзисторов Для оценки эффективности новых транзисторов были проанализированы ключевые характеристики

старых биполярных транзисторов и современных полевых транзисторов (MOSFET), применяемых в медицинских устройствах (Таблица №1).

Результаты анализа показывают, что современные MOSFET-транзисторы значительно превосходят устаревшие ВJT-аналоги по многим параметрам, что делает их более подходящими для использования в современных медицинских аппаратах.

Таблица №1

Характеристика	Старые ВJT-транзисторы	Современные MOSFET-транзисторы
Размер	Большой	Миниатюрный
Энергопотребление	Высокое	Низкое
Скорость отклика	Средняя	Высокая
Шумовые характеристики	Высокий уровень шумов	Низкий уровень шумов
Температурная стабильность	Умеренная	Высокая

Результаты анализа показывают, что современные MOSFET-транзисторы значительно превосходят устаревшие ВJT-аналоги по многим параметрам, что делает их более подходящими для использования в современных медицинских аппаратах.

Из этого следует будущие медицинские технологии связаны с дальнейшим развитием полупроводниковых транзисторов, так как медицинские приборы должны обрабатывать очень слабые биоэлектрические сигналы, поэтому малошумящая конструкция транзисторов имеет решающее значение, в том числе малошумящие транзисторы могут улучшить четкость и точность сигналов. Конструкция с низким энергопотреблением даёт возможность создать портативных и имплантируемых медицинских устройств, которые требуют длительного срока службы батареи и конструкция с маломощными транзисторами может продлить время работы устройства и снизить необходимость частой зарядки или замены батареи. Также использование нанотранзисторов даёт возможность создавать ещё более миниатюрные и энергоэффективные имплантируемые устройства. В результате, развитие гибкой электроники приведёт к появлению носимых медицинских датчиков и биомедицинских пластырей с интеграцией искусственным интеллектом.

Использованная литература

1. Х.С.Далиев, Э.Х.Бозоров, Ш.Б.Утамурадова, Д.М.Ёдгорова, Д.А.Каршиев, Д.А.Каландарова, Ш.Х.Далиев, З.А.Абдурахманова Медицинская электроника, -Т.: «Fan va texnologiya», 2019, 400 стр
2. Ершов, Ю. А. Основы анализа биотехнических систем. Теоретические основы БТС: учебное пособие для вузов / Ю. А. Ершов, С. И. Щукин. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 527 с
3. <https://www.trrsemicon.com/transistor/power-transistors.html> Применение транзисторов в медицинских приборах
4. И. И. Циняйкин и др. Сенсорная система на основе полевого транзистора с каналом-нанопроводом для количественного определения тиреотропного гормона, ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2020. № 6. С. 106–116

5. С.М. Боровиков, В.О. Казюнич Индивидуальное прогнозирование надежности транзисторов большой мощности для электронных устройств медицинского назначения, Доклады БГУИР DOKLADY BGUIR T. 19, № 1 (2021), стр. 88-95
6. George Malliaras Development of new models of electroencephalographic devices based on OECT transistors, Science Advances, pp 1232-1243.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАБОТЫ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.А. Гуломов, С.А. Тачилин

Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова

Разработан лабораторный стенд по изучению работы цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Разработанный стенд по изучению ЦАП конструктивно изготовлен в виде прямоугольного корпуса, на передней панели которого находятся адаптеры коммутации для подключения внешних разъемов для проведения измерений по изучению работы ЦАП. В основе работы разработанного лабораторного стенда по изучению работы ЦАП находится резистивная матрица типа R-2R.

Схема ЦАП данного вида показана на рис. 1, является схемой с суммированием токов, которые формируются с помощью резистивной матрицы типа R-2R. Особенностью такой матрицы является то, что ее входное сопротивление при любом положении ключей $S_1, S_2, \dots, S_m$ равно $2R$, т.е. общий ток, втекающий в матрицу, равен $E_0/2R$. Это легко доказывается на рис. 2. При любом положении ключей S_i к резистору номинала $2R$ всегда подключена «земля». Если разряд входного кода $A_i=0$, то ключ S_i подключит этот резистор непосредственно к «земле».

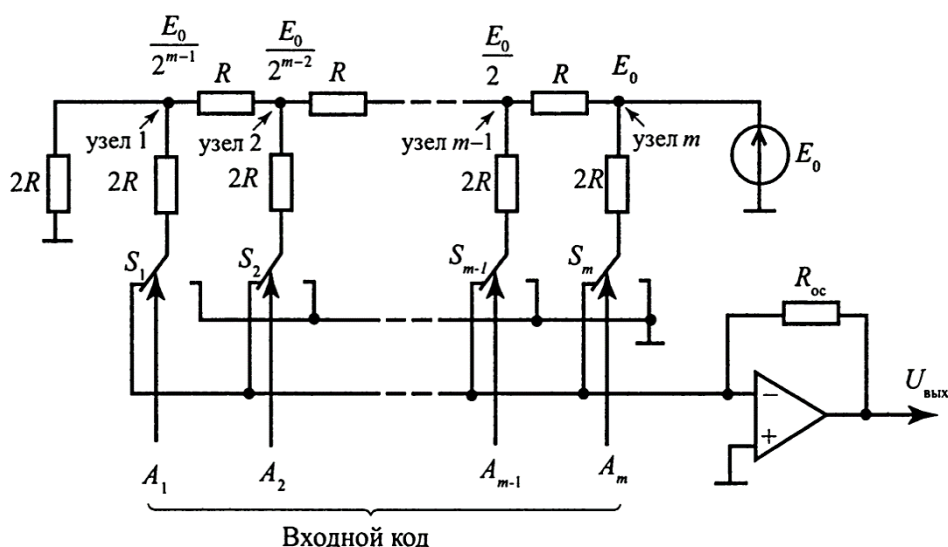


Рис. 1. ЦАП с цепочкой резисторов R-2R с токовым выходом

Если $A_i=1$, то резистор номинала $2R$ подключается к инвертирующему входу суммирующего усилителя, сгенерированным на базе операционного усилителя, охваченного отрицательной обратной связью с помощью резистора R_{oc} . В такой схеме усилителя за счет напряжения $U_{вых}$ и резистора R_{oc} на инвертирующем входе поддерживается потенциал, равный другому неинвертирующему входу, который подключен к «земле», т.е. на инвертирующем входе присутствует виртуальная «земля». С другой стороны это доказывает, что инвертирующий суммирующий усилитель реагирует не на потенциал инверсного входа, а на поступающие на его вход токи.

Если начать последовательно объединять параллельно включенные сопротивления матрицы R - $2R$, то легко показывается величина входного сопротивления матрицы R - $2R$, ($R_{вх}=2R$), и последовательное уменьшение вдвое напряжения в узлах схемы по мере их удаления от источника опорного напряжения и, соответственно, к такому же уменьшению токов, передаваемых через ключи $S_m, S_{m-1}, \dots, S_1$.

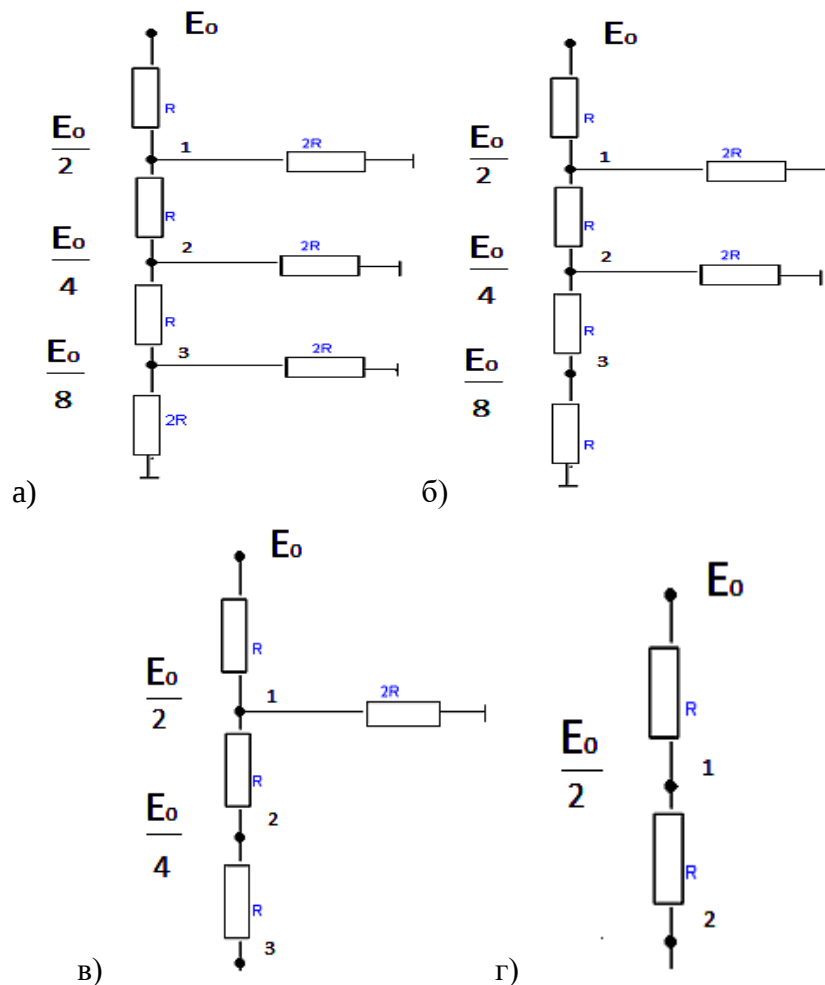


Рис. 2. Поэтапная а, б, в, г модификация матрицы R - $2R$

Из последнего выражения следует, что величина выходного напряжения ЦАП зависит от величины напряжения E_0 опорного источника. Этим обстоятельством пользуются для построения так называемых умножающих ЦАП. Ко входу опорного источника подключают источник изменяющегося напряжения, и преобразователь в этом случае будет выступать в качестве модулятора, который будет формировать выходной сигнал пропорциональный произведению управляющего кода и напряжения, поданного на вход опорного сигнала.

Схемы ЦАП на основе резистивных матриц R-2R практичны, надежны, обладают высокой скоростью преобразования и легко реализуются в интегральном исполнении. В отличие от ЦАП со взвешивающими резисторами, здесь не требуется широкого диапазона номиналов и чрезвычайной точности при их подгонке.

В целом питание стенда по изучению ЦАП осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В, через выход на задней стенке стенда. Блоки питания, электрическая плата, весь монтаж и соединение элементов управления и регулировки скрыт и выполнен внутри объема корпуса.

Разработанный стенд по изучению ЦАП имеет небольшие размеры, предельно прост, прочен и надежен в работе. Конструкция лабораторного стенда удобна для хранения. Габариты стенда учитывают необходимость компактного размещения его на рабочем месте при максимальной обзорности передней панели. Масса лабораторного стенда соответствует силовым возможностям учащегося и учителя. Усилия, применяемые к органам управления и элементам конструкции стенда, соответствуют силовым возможностям человека.

Время, затрачиваемое на подготовку стенда по изучению ЦАП к работе и на достижение основного режима работы с момента включения, на осуществление поставленных задач и целей небольшое, точно рассчитанное и при использовании его в учебном процессе сопоставимое с ограниченным временем урока. Конструкция разработанного стенда по изучению ЦАП требует время на его подготовку к работе - не более 1 минуты.

В конструкции стенда по изучению ЦАП предусмотрена возможность удобного, простого, быстрого и надежного сочетания с другими приборами и приспособлениями без применения специального инструмента. Изготовленный стенд по изучению ЦАП позволяет проводить лабораторные работы по курсам «Микросхемотехника» и «Микропроцессоры».

Список использованной литературы

1. Paul Horowitz, Winfield Hill The Art Of Electronics // Учебник. Printed in the United States of America. 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA. Cambridge University Press. 2015. - 1192 с. (ISBN 978-0-521-80926-9).
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника // Учебник для вузов. – М.: «Техносфера». 2005. – 632 с. (ISBN 5-94836-051-2).
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники // Учебное пособие для вузов. – М.: «Лаборатория базовых знаний». 2001. – 448 с. (ISBN 5-93208-045-0).
4. Гельман М.М. Аналого-цифровые преобразователи для информационно-измерительных систем // -М.: Изд-во стандартов, 2009. -317с.
5. Бирюков С.А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах / -М.: Радио и связь, 2007. -129 с.
6. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. Цифровые и аналоговые системы передачи // Учебник для вузов под ред. Иванова В.И. -М.: Радио и связь, 2007. -232 с. ISBN 5-256-01226-6.
7. Гольденберг Л.М. Импульсные и цифровые устройства // Учебник для вузов.-М.: Связь, 2009. -495с.
8. Раннев Г. Г. Методы и средства измерений: М.: Издательский центр «Академия», 2003.
9. <http://www.ЦАП>
10. <http://www.electronics.ru> <http://www.Техническая библиотека>.

**ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОЗДУХЕ****А.О. Комилов, Ш.У. Эргашев***Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий,
Республика Узбекистан*

Бурное развитие оптоэлектроники и её элементной базы, создание новых высокоэффективных полупроводниковых источников излучения в ближней ИК- области спектра создают предпосылки для разработки высокочувствительных и точных, надежных приборов для контроля концентрации газообразных веществ.

С другой стороны, оптоэлектроника, как одно из направлений микроэлектроники, развивается быстрыми темпами. Высокоэффективные светодиоды для среднего ИК диапазона, работающие при комнатной температуре, созданные на основе четверных твердых растворов соединений A_3B_5 являются перспективными для газового анализа, влагометрии и медицинской диагностики.

Известно, что характеристические полосы поглощения целого ряда важных химических соединений лежат в средней ИК области спектра. Среди них вода и ее пары (1.94 мкм, 2.75-2.85 мкм), метан (1.65 мкм, 2.3 мкм, 3.3 мкм), углекислый газ (2.65 мкм, 4.27 мкм), угарный газ (2.34 мкм, 4.67 мкм), ацетон (3.4 мкм), аммиак (2.25 мкм, 2.94 мкм) и многие другие неорганические и органические вещества [1,2]. Несмотря на определенный прогресс в развитии химических и адсорбционных газовых сенсоров, оптические сенсоры обладают бесспорными преимуществами, прежде всего в селективности, надежности и сроке службы.

В настоящее время ряд фирм (Perkin Elmer, Texas Instruments, City Technology, Ion Optics, Comag IR и т.д.) [3] производят инфракрасные оптические сенсоры на основе тепловых источников ИК излучения. Такой источник излучает в очень широком спектральном диапазоне по закону Планка. Специальные оптические фильтры вырезают нужный спектральный диапазон.

В данной работе предложен оптоэлектронный метод для контроля концентрации углеводородов в воздухе, блок схема которого приведена на рис.1.

Устройство для контроля концентрации углеводорода в воздухе содержит источник питания 1, генератор прямоугольных импульсов с двумя противофазными выходами 2, к одному выходу которого подключен делитель частоты 3 (последовательный счетчик), выход которого через одновибратор 4 соединен с управляющим входом модулятора 5 экспоненты, эмиттерный повторитель 6, два электронных ключа 7 и 8, излучающие диоды рабочий 9 и опорный 10, излучающие на опорной и рабочей длинах волн соответственно, газовую камеру 11, фотоприемник 12, соединенный с первым дифференцирующим устройством 13, выход которого через пороговое входом схемы совпадений 15, первый вход которой подключен к выходу второго дифференцирующего устройства 16, вход которого соединен с излучающим диодом 10, счетчик 17, счетный вход которого соединен с выходом схемы совпадений 15, а его вход “установка нуля” соединен с выходом одновибратора 4.

Газовую камеру 11 облучают двумя потоками излучения $\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$ на опорной λ_1 и рабочей λ_2 длинах волн соответственно. Прошедшие через газовую камеру потоки излучения будут равны соответственно:

$$\begin{aligned}\Phi_{\lambda 1} &= \Phi_{0\lambda 1} e^{-kL N_1} \\ \Phi_{\lambda 2} &= \Phi_{0\lambda 2} e^{-kL N_1} \cdot e^{-k_2 L N_2}\end{aligned}\quad (1)$$

где : $\Phi_{0\lambda 1}$ и $\Phi_{0\lambda 2}$ – подающие на газовую камеру потоки излучения на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно, $\Phi_{\lambda 1}$, $\Phi_{\lambda 2}$ – потоки излучения после прохождения через газ после прохождения через газовую камеру на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно,

N_1 – концентрация смеси газообразных веществ,

L – длина оптического пути, т.е. длина газовой камеры,

N_2 – концентрация определяемого газообразного вещества,

K_1 – коэффициент рассеяния смеси газообразных веществ,

K_2 – коэффициент поглощения определяемого газообразных веществ.

Поток $\Phi_{0\lambda 1}$ изменяется во времени (t) по экспоненциальному закону

$$\Phi_{\lambda 1} = A e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot e^{-k_1 L N_1} \quad (2)$$

где A – постоянный коэффициент, соответствующий начальному значению амплитуды экспоненциального импульса. В момент равенства потоков $\Phi_{\lambda 1}$ и $\Phi_{\lambda 2}$

$$\Phi_{0\lambda 2} e^{-k_2 L N_2} = A e^{-\frac{t_c}{\tau}} \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{1}{K_2 L_{\lambda}} \cdot t_c \quad (4)$$

где t_c – время, соответствующее моменту сравнения,

τ – постоянная времени экспоненты.

Генератор 2 прямоугольных импульсов вырабатывает импульсы с необходимой частотой повторения. Эти импульсы с противофазных выходов поступают на вход делителя 3 частоты и на управляющие входы ключей 7 и 8. Прямоугольные импульсы с выхода делителя 3 частоты (рис.2.а) поступают на вход одно вибратора 4.

Прямоугольные импульсы с необходимой длительностью с выхода одно вибратора 5 экспоненты, выход которого соединен через эмиттерный повторитель 6 с выходом электронного ключа 8, где формируется дискретный экспоненциальный импульс тока, который протекает через излучающий диод 9, вызывает поток, излучающий по такому же закону. Противофазно заполняющим экспоненту импульсам переключаются электронный ключ 7. протекающий через излучающий диод 10 импульс тока вызывает световой поток, амплитуда которого постоянна. Прошедшие через газовую камеру потоки воспринимаются фотоприемником 12.

На (рис.2 в) изображена временная диаграмма суммарного фотоэлектрического сигнала на выходе фотоприемника 12. этот сигнал подается на вход первого дифференцирующего устройства 13, с выхода которого продифференцированные фотоэлектрический сигнал (рис.2г) поступает на вход порогового устройства 14.

Далее сигнал с выхода порогового устройства 14 (рис.2.2д) подается на один из входов схемы совпадения 15. На другой вход схемы совпадения 15 подается сигнал с выхода второго дифференцирующего устройства 16 (рис.2е).

С момента сравнения t_c на выходе схемы совпадений 15 появляется серия импульсов, которые поступают на счетный вход счетчика 17 (рис.2.2ж).

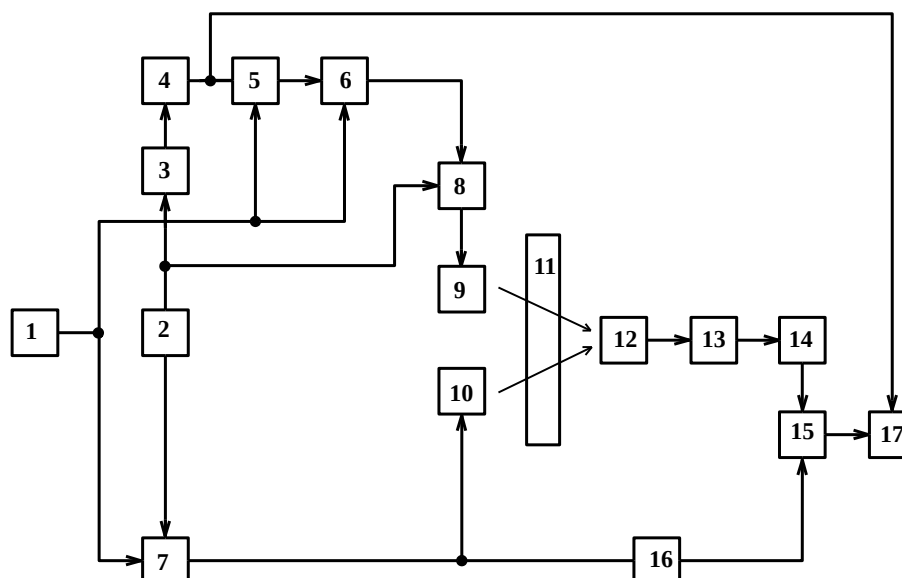


Рис.1.Блок схема оптоэлектронного устройства

Разработано оптоэлектронное устройство для контроля концентрации углеводородов в воздухе, основными преимуществами которого являются высокая точность контроля из-за исключения неинформативных параметров, таких как запылённости воздуха, влажность и содержания аэрозольных частиц на результат контроля.

Литература

1. Безъязычная Т.В., Богданович М.В., Кабанов В.В., Кабанов Д.М., Лебедев Е.В., Паращук В.В., Рябцев А.Г., Рябцев Г.И., Шпак П.В., Щемелев М.А., Андреев И.А., Куницына Е.В., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. Оптоэлектронные пары светодиод-фотодиод на основе гетероструктуры InAs/InAsSb/InAsSbP для детектирования углекислого газа // Физика и техника полупроводников. 2015. том 49. вып. 7. С.1003-1006.
2. Abdurakhmonov S.M., Kuldashov O.Kh., Tozhiboev I. T., Turgunov B K. The Optoelectronic Two-Wave Method for Remote Monitoring of the Content of Methane in Atmosphere // Tech. Phys. Lett. 2019. doi: 10.1134/S10637850 19020214. 132-133.

STM32 BILAN INFRAQIZIL NURNI BOSHQSARISH TIZIMINI YARATISH

A.A. Valixonov

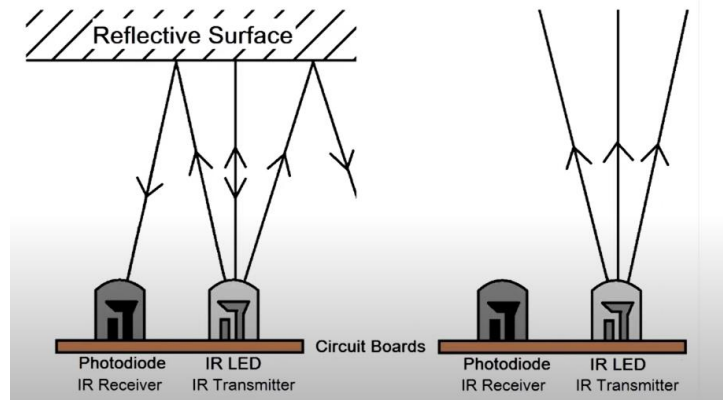
Farg`ona davlat texnika universiteti

vakhon5100@gmail.com

Zamonaviy texnologiyalar rivojlanishi bilan masofadan boshqarish tizimlari kundalik hayotda keng qo'llanilmoqda. Infraqizil nurlar televizorlar, konditsionerlar va boshqa qurilmalarni boshqarishda samarali vosita sifatida ishlatiladi. IR qabul qiluvchi STM32'ning GPIO pinlaridan biriga (masalan, PA0) ulanadi. IR LED esa PWM signalini yaratish uchun TIM2 taymeri orqali boshqariladi (PA1 pinida). Infraqizil (IR) nurlar elektromagnit spektrning 700 nm dan 1 mm gacha bo'lgan to'lqin uzunligiga ega bo'lib, ko'zga ko'rinmaydigan yorug'lik sifatida tasniflanadi. IR texnologiyasi masofadan boshqarish tizimlarida keng qo'llaniladi, chunki u arzon, oddiy va ishonchli aloqa vositasini ta'minlaydi. IR signalining asosiy afzalligi shundaki, u to'g'ri chiziqli

yoʻnalishda tarqaladi va devorlar kabi toʻsiqlardan oʻtmaydi, bu esa signalning xavfsizligini oshiradi.[1]

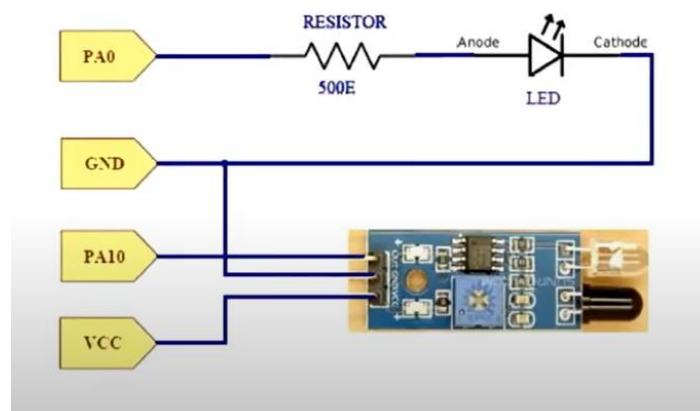
IR boshqaruv tizimlarida odatda ikkita asosiy komponent ishlatiladi. Bunda **IR uzatuvchi (LED)** signalni optik shaklda uzatadi. **IR qabul qiluvchi** uzatilgan signalni qabul qilib, elektr signaliga aylantiradi. (1-rasm)



1-rasm. IR boshqaruv tizimi asosiy komponentlari

Ushbu loyihada STM32 mikrokontrolleri yordamida oddiy va tejamkor IR boshqaruv tizimi yaratildi. Material va metodlardan foydalanib boshqarish tizimini yaratish mumkin (2-rasm).[2]

1. **STM32F103C8T6** – ARM Cortex-M3 asosidagi mikrokontroller.
2. **IR qabul qiluvchi (TSOP1738)** – 38 kHz chastotali signalni qabul qiladi.
3. **IR LED** – Signal uzatish uchun.
4. **Rezistorlar va kondensatorlar** – Sxemani barqarorlashtirish uchun.



2-rasm. Qurilma qismlari

STM32 mikrokontrollerlari STMicroelectronics tomonidan ishlab chiqarilgan ARM Cortex-M asosidagi 32 bitli protsessorlardir. Ushbu loyihada ishlatilgan STM32F103C8T6 modeli quyidagi xususiyatlarga ega:[3]

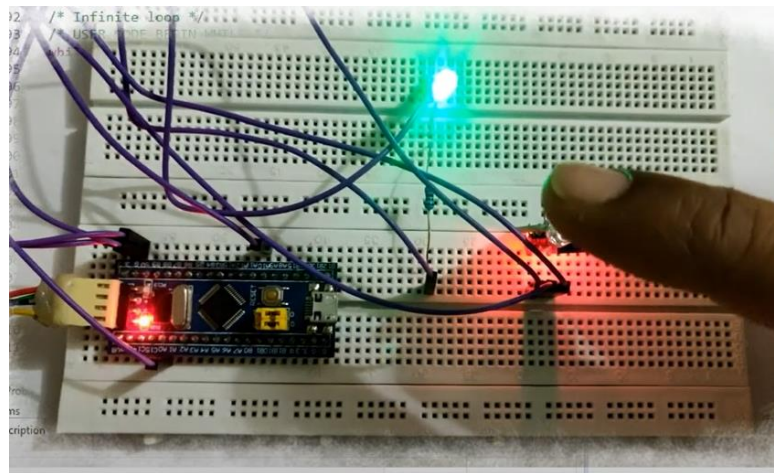
- **Protsessor:** ARM Cortex-M3, 72 MHz chastota.
- **Xotira:** 64 KB Flash, 20 KB SRAM.
- **Periferiya:** GPIO, Taymerlar (TIM), UART, I2C, SPI va boshqalar.
- **PWM imkoniyati:** IR signalini modulatsiya qilish uchun ishlatiladi.

STM32'ning taymerlari va GPIO pinlari IR signalini yaratish va qabul qilishda muhim rol oʻynaydi. Masalan, TIM2 moduli PWM (Pulse Width Modulation) signalini ishlab chiqarish uchun ishlatiladi, bu esa IR LED'ni 38 kHz chastotada boshqarish imkonini beradi. IR boshqaruv tizimlarida eng keng tarqalgan protokollardan biri NEC protokolidir. Ushbu protokol quyidagi tuzilishga ega. **Dasturiy ta'minot** esa Tizim STM32CubeIDE muhitida C tilida dasturlashtirildi.

IR signalini dekodlash va uzatish uchun NEC protokoli ishlatildi. NEC protokoli 32 bitli ma'lumot paketidan iborat bo'lib, unda 8 bit manzil va 8 bit buyruq mavjud. Signal 38 kHz chastotada modulatsiya qilinadi. Qabul qiluvchi signalni qabul qilib, STM32'da dekodlanadi.[4]

- **Boshlash signali (Leader Code):** 9 ms puls va 4.5 ms pauza.
- **Ma'lumot biti:** 32 bit (8 bit manzil, 8 bit teskari manzil, 8 bit buyruq, 8 bit teskari buyruq).
- **Bit uzunligi:**
 - "0" – 562.5 μ s puls va 562.5 μ s pauza.
 - "1" – 562.5 μ s puls va 1687.5 μ s pauza.

Signal 38 kHz chastotada modulatsiya qilinadi, ya'ni har bir puls 26.3 μ s davomida tebranadi (1/38 kHz). Bu chastota ko'pchilik IR qabul qiluvchilar (masalan, TSOP1738) uchun standart hisoblanadi. Qurilmaning ishlash jarayoni (3-rasm).



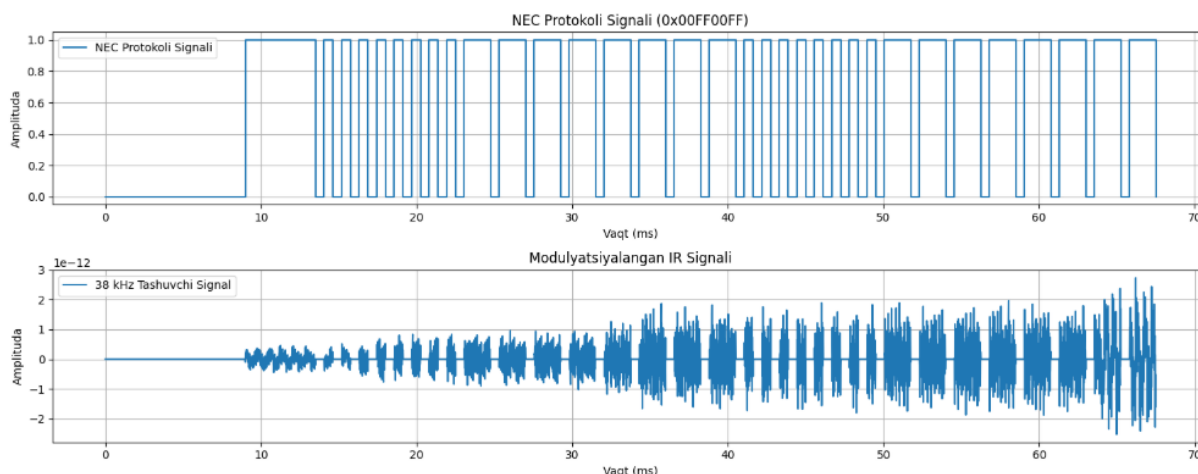
3-rasm. Qurilmaning ishlash jarayoni

Signal modulatsiyasi va demodulatsiyasi ir signalini uzatishda modulatsiya zarur, chunki to'g'ridan-to'g'ri doimiy signal quyosh nuri yoki boshqa yorug'lik manbalari bilan aralashib ketishi mumkin. 38 khz chastotali tashuvchi signal shovqinlarga chidamlilikni oshiradi. Stm32'da pwm moduli ushbu chastotani ishlab chiqaradi, ir qabul qiluvchi esa signalni demodulyatsiya qilib, asl ma'lumotni qayta tiklaydi[5].

Qurilmalar ishlash prinsipi **IR LED** ning 940 nm to'lqin uzunligidagi infraqizil nurni chiqaradi. U pwm signaliga asoslangan impulslar orqali boshqariladi. **Tsop1738** esa 38 khz chastotali signalni qabul qiladi va uni raqamli signalga (0 yoki 1) aylantiradi. Bu signal stm32'ning gpio piniga uzatiladi va dekodlanadi.(4-rasm).

Tizimning ishlash algoritmidagi **uzatishni** STM32 NEC protokoli bo'yicha ma'lumotni kodlaydi. TIM2 moduli esa 38 kHz PWM signalini hosil qiladi va ir led orqali signal uzatiladi. **Qabul qilish** jarayonida esa TSOP1738 signalni qabul qiladi va stm32'ga yuboradi. STM32 signalni dekodlaydi va buyruqni aniqlaydi. Natija foydalanuvchi interfeysida (masalan, led yoki displeyda) ko'rsatiladi.[6]

Texnik cheklashlar va muammolar quyidagilarni aytish mumkindir. IR signalining samarali masofasi odatda 5-10 metr bilan cheklanadi. Quyosh nuri yoki floresan lampalar signal sifatiga ta'sir qilishi mumkin. IR signalining to'g'ri chiziqli tarqalishi tufayli uzatuvchi va qabul qiluvchi bir-biriga qaragan bo'lishi kerak.



4-rasm. Signal modulatsiyasi va demodulatsiyasi

Ilmiy va amaliy ahamiyati. Ushbu tizim IoT (Internet of Things) va aqlli uy tizimlarida qo'llanilishi mumkin. STM32'ning yuqori ishlash tezligi va moslashuvchanligi uni boshqa mikrokontrollerlardan (masalan, Arduino) afzal qiladi. Shu bilan birga, IR loyiha talabalar va muhandislar uchun mikrokontrollerlar bilan ishlashni o'rganishda qo'llanma sifatida xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. **Vishay Semiconductors.** *TSOP1738 Infrared Receiver Datasheet.* – IR qabul qiluvchi (TSOP1738)ning texnik xususiyatlari va ulash bo'yicha ko'rsatmalar.
2. **NEC Corporation.** *NEC Infrared Transmission Protocol Specification.* – NEC protokolining rasmiy hujjati, IR signalini kodlash va dekodlash qoidalari. (Internetda umumiy manba sifatida topiladi).
3. **Тарасов, В. В.** *Микроконтроллеры STM32: архитектура и программирование.* – Moskva: BHV-Peterburg, 2018. – STM32 mikrokontrollerlari bilan ishlash bo'yicha rus tilidagi qo'llanma.
4. **Абдурашидов, А.** *Информатика ва ахборот технологиялари: Маърузалар матни.* – Toshkent, 2008. – O'zbek tilida axborot texnologiyalari va mikrokontrollerlar bo'yicha umumiy ma'lumotlar.
5. **STMicroelectronics.** *STM32CubeIDE User Guide.* – STM32 dasturlash muhiti bo'yicha rasmiy qo'llanma.
6. **Instructables.** *How to Interface IR Receiver and Transmitter with Microcontrollers.* – Onlayn qo'llanma, IR qurilmalarni mikrokontrollerlar bilan ulash bo'yicha amaliy misollar.

СВЕТОДИОДНЫЙ ФИТООБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ТЕПЛИЦ

М.У. Эркинов, Б.А. Гулумбаев

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

Выращивание растений при искусственном освещении является одним из направлений научной и практической деятельности, с которым многие страны связывают, в существенной степени, свои настоящие и перспективные планы обеспечения населения

продуктами питания. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективное выращивание растений в теплицах, является освещение [1]. Свет - это источник энергии, необходимой для фотосинтеза, процесса, который лежит в основе роста и развития растений [2]. В последние десятилетия светодиодные технологии значительно продвинулись и стали одним из наиболее эффективных и энергосберегающих способов обеспечения растений светом с необходимым спектральным составом. Это стало возможным благодаря разработке светодиодных фито облучателей, которые адаптированы для фотосинтеза и оптимизированы для выращивания растений в тепличных условиях [3].

Тепличные хозяйства в Узбекистане является одним из приоритетных и динамически развивающихся направлений сельского хозяйства в настоящее время насчитывается около 6,5 тысяч гектаров теплиц, из которых 1,1 тысяч гектаров или 17% приходится на гидропонные и 4,9 тысяч гектаров или 83% на теплицы с почвенным методом выращивания. Следовательно, разработка современных теплиц является одной из приоритетных задач в нашей стране.

Предложен светодиодный фитооблучатель для теплиц, содержащий корпус (1), в котором расположены синие светодиоды (2) с длиной волны 434-450 нм, красные светодиоды (3) с длиной волны 630-632 нм и красные светодиоды (4) с длиной волны 660-670 нм, дальние красные светодиоды (5) с длиной волны 730-735 нм, синие светодиоды с люминофором (6) с максимумом переизлучения в зеленой области спектра 500-600 нм, причем к выходу фотоэлектрического модуля (7) подключен контролер заряда (8), к нему подключена аккумуляторная батарея (9), к одному выходу контролера заряда (8) подключен светодиодный драйвер (10), а к второму выходу микроконтролера (11), выходы которых соединены со светодиодами (2,3,4,5,6), входу микроконтролера (11) подключен датчик освещенности 12.

Светоизлучающие элементы создают непрерывный спектр излучения 410-800 нм и имеют четыре характерных пика излучения с длинами волн 434-450 нм, 630-632 нм, 660-670 нм, и 730-735 нм и полушириной 20-30 нм. Пики излучения и соответствующие им интенсивности подобраны так, чтобы они были сбалансированы и согласованы с интенсивностью поглощения, и ролью в фотосинтезе ключевых пигментов фотосинтетического аппарата растения, в первую очередь хлорофиллов, каротиноидов и фитохромов. Недостающее излучение низкой интенсивности 300-400 нм для выполнения регуляторной функции криптохрома растения получают от солнечного излучения, проходящего через покрытие теплицы.

Светодиодным фитооблучателем (LED) облучали два сорта огурца «Орзу F1» и «Амур», предназначенные для выращивания в теплицах в осенне-зимний период. Для сравнения использовали облучатель с натриевой лампой высокого давления (HPS). LED и HPS облучатели размещали в одинаковых фитотронах. Облученность в обоих фитотронах была установлена 40-55 Вт/м² при 16-ти часовом световом периоде и температуре воздуха 24/19°C (день/ночь).

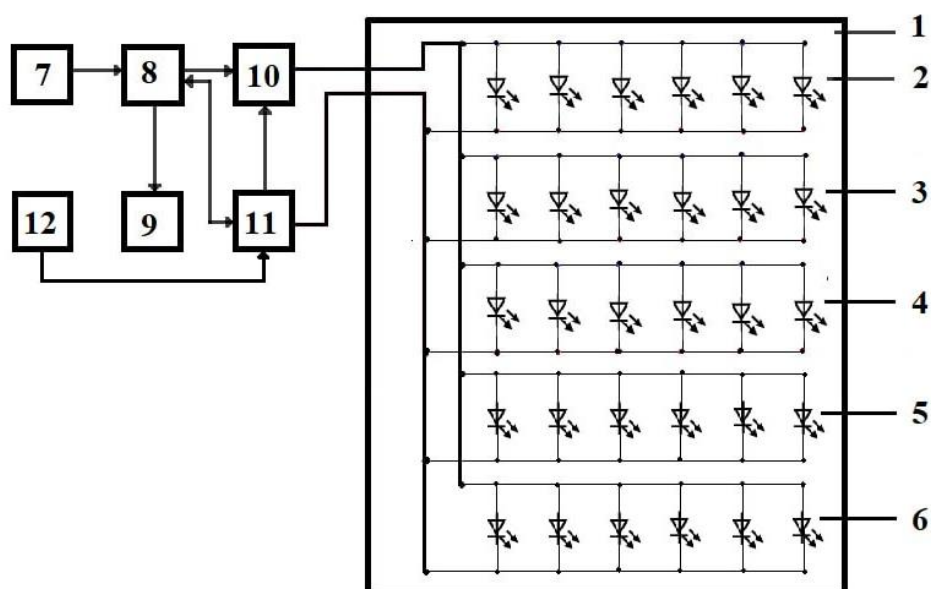


Рис 1. Схема светодиодного фитооблучателя для теплиц

В таблице 1, приведены результаты урожайности различных сортов огурцов выращенных под LED и HPS облучателями.

Таблица 1. Урожайность различных сортов огурцов выращенных под LED и HPS облучателями

Сорт	Облучатель	Урожай с 1 м ² ,кг
«Орзу F1»	LED	6.7
«Амур»	LED	4.8
«Орзу F1»	HPS	5.2
«Амур»	HPS	4.1

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что эффективность фотосинтеза у растений огурцов, выращенных под светодиодным фитооблучателем LED выше, чем у растений, выращенных под облучателем HPS. Потребляемая мощность облучателей LED и HPS составляла 170 и 440 Вт соответственно, энергозатраты для LED-облучателей в 2.5 раза ниже.

Литература

1. Mironyuk S.S., Smirnov A., Sokolov A., Proshkin Y. Optimization of spectral composition and energy economy effectiveness of phyto-irradiators with use of digital technologies // Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development. IGI-Global. 2020. Pp. 191-212.
2. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск.: Сибирское отделение РАН. 2000. 213 с.
3. Смирнов А.А., Холманский А.С. Зависимость фотосинтеза пигментов и продуктивности томата от спектрального состава облучателя // Научная жизнь. 2017. №10. С. 14-19.

ELECTROPHYSICAL FEATURES OF RADIAL p-n AND p-i-n JUNCTION STRUCTURES AT CRYOGENIC TEMPERATURES

J. Sh.Abdullayev

TIAME National Research University, st. Kori Niyazov, house 39, 100000 Tashkent,
Uzbekistan

E-mail: joshqinbekabdullayev@mail.ru

Introduction: For decades, semiconductor materials such as Silicon (Si) and Gallium Arsenide (GaAs) have been indispensable in modern electronics, requiring accurate modeling and calibration of their electrical properties for optimal performance. This paper explores the use of TCAD Sentaurus and analytical techniques for modeling and calibrating these devices, highlighting the distinct characteristics observed in Si and GaAs radial p-n junction structures. The electro-physical characteristics of radial p-n and p-i-n structures, along with their growth processes, have been investigated using analytical and experimental methods in various research papers[1-3]. However, the electro-physical characteristics of radial p-n and p-i-n structures have not been studied at low temperatures so far, especially the effect of incomplete ionization in these junctions. Therefore, in this research paper, I will illustrate these effects in Si and GaAs.

Method and materials: At cryogenic temperatures, dopants in semiconductors may not fully ionize, meaning that not all donors or acceptors contribute free carriers. This effect, known as incomplete ionization, is particularly critical for Si and GaAs at low temperatures. While modeling radial p-n and p-i-n junction structures, we have considered the following physical effects in TCAD Sentaurus: Carrier Transport Models: Drift-Diffusion Model (default in Sentaurus), Solves Poisson's equation and carrier continuity equations; suitable for most semiconductor device simulations. Since mobility changes drastically at low temperatures, we use temperature-dependent mobility models such as Canali or Klaassen. Recombination Mechanisms At low temperatures, Shockley-Read-Hall (SRH) recombination dominates. The SRH model captures trap-assisted recombination effectively. Bandgap Narrowing (BGN), The Bandgap Shrinkage Model accounts for cryogenic effects on the bandgap.

Table 1. Ionization energies of both acceptors and donors in Si and GaAs [11]:

Type Energy	Si:	GaAs:
Acceptor <i>meV</i>	Boron (B) $\Delta E_A = 44$	Zinc (Zn) $\Delta E_A = 31$
Donor <i>meV</i>	Phosphorus (P) $\Delta E_D = 46$	Silicon (Si) $\Delta E_D = 6$

Table 1 contains the activation energy for different impurities in Si and GaAs compounds. We have not considered the effects of concentration and size, as the resulting change in activation energy is observed to be around 0.1 meV. This small variation does not significantly affect our analysis. The quantum effect is not observed for the geometrical size of 0.5 μm and 1 μm .

Results and Discussion: From the expression for $E(r) = -d\phi(r)/dr$ it's evident that the electrostatic field reaches its maximum value at locations where changes in charge density and electrostatic potential occur, as depicted in Figures 3. Additionally, the electrostatic field increases with rising temperature and the radius of the shell. the maximum value of the charge density

depends on the doping concentration and is independent of geometric parameters. This finding suggests that both nano- and micro-scale pn junctions exhibit the same maximum charge density at equivalent concentrations. Under uniform temperature and forward voltage conditions, different radii ($R=0.5 \mu\text{m}$ and $R=1 \mu\text{m}$) do not alter the current transfer mechanism, but they do increase the current value.

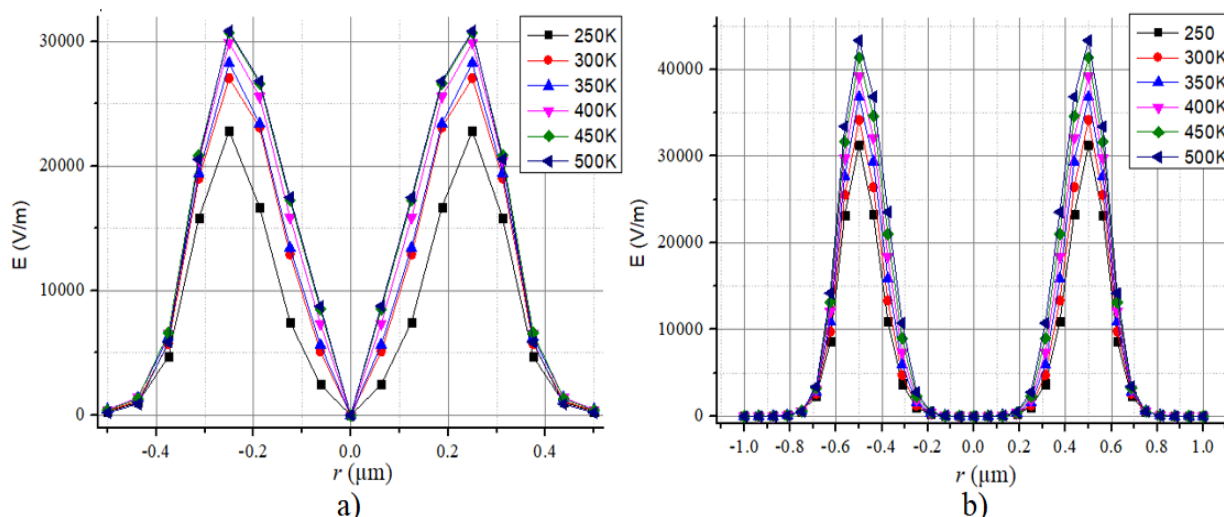


Figure 1. Distribution of Electric field $E(r)$ across radial p-n junction structures by radial dimension in 1D system a) corresponding to $R=0.5 \mu\text{m}$ and b) corresponding to $R=1 \mu\text{m}$ based on GaAs.

It represents the dependence of the electric field distribution on the 1D radial dimension, showing that the electric field has a high value at the p-n junction. In case a) corresponding to $R=0.5 \mu\text{m}$, the electric field value is 30 kV/m , while in case b) at $R=1 \mu\text{m}$, the electric field reaches a maximum value of 45 kV/m . To explain this situation, we approach it as follows: the change in electrostatic potential and the value of the space charge density are considered by taking a large value.

References

1. Petrosyan, S., Yesayan, A., & Nersesyan, S. (2012). Theory of nanowire radial pn-junction. *World Acad. Sci. Eng. Technol*, 71, 1065-1070.
2. Voigt, F., Stelzner, T., & Christiansen, S. (2013). Geometrical optimization and contact configuration in radial pn junction silicon nanorod and microrod solar cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(8), 1567-1579.
3. Kayes, B. M., Richardson, C. E., Lewis, N. S., & Atwater, H. A. (n.d.). Radial pn junction nanorod solar cells: device physics principles and routes to fabrication in silicon. Conference Record of the Thirty-First IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005. doi:10.1109/PVSC.2005.1488067 (<https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488067>).

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАССТОЯНИЙ С ВОЛОКНИСТО-ОПТИЧЕСКИМ АНАЛИЗАТОРОМ

З. Байсафарова, М.А. Азамова

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" в г. Ташкенте

Автоматические измерительные устройства находят широкое применение при решении задач контроля геометрических параметров изделий сложной формы, например таких, как лопатки газотурбинных двигателей [1].

Основными функциональными узлами автоматических измерительных устройств, определяющими главные характеристики измерительной системы, являются первичные преобразователи – контактные и бесконтактные. Контактные преобразователи, достаточно хорошо и подробно описанные в технической литературе, при довольно высоких метрологических показателях (погрешность измерения до 5 мкм) обладают невысоким быстродействием (15-20 с. на одно измерение). Среди преобразователей второго типа наиболее перспективными можно считать оптоэлектронные преобразователи, обладающие высокими технико-экономическими показателями, определяемые точностью и быстродействием, функциональными возможностями, диапазоном преобразования, совместимостью с устройствами автоматики и вычислительной техники [2].

Приведена схема для практического применения в виде преобразователя с волоконно-оптическим анализатором (рис. 1).

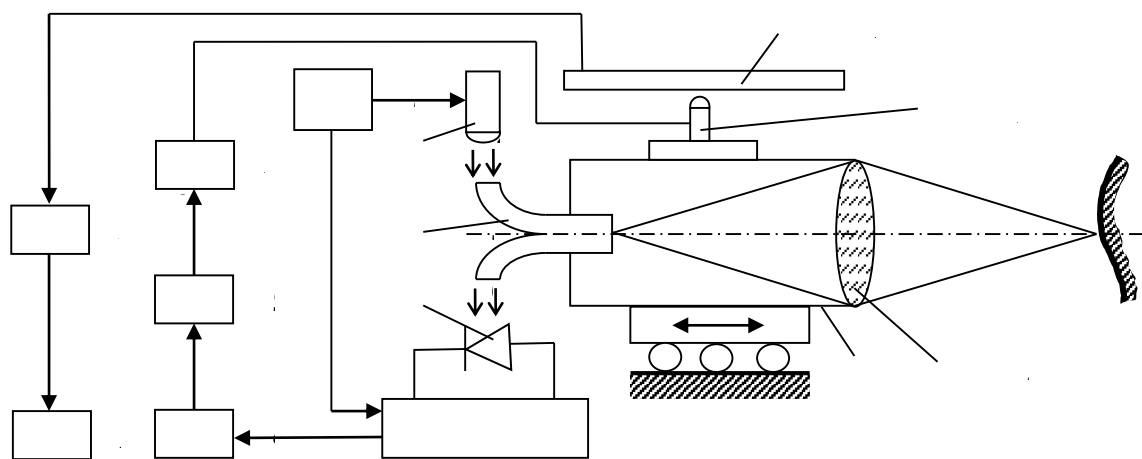


Рис. 1. Преобразователь расстояний с волоконно-оптическим анализатором

Преобразователь состоит из следующих основных блоков: корпуса 1 с установленными на нём объективом 2 и светодиодом 3, источника излучения 4 с питающим его генератором 5, фотоприёмника 6, схема электронной обработки сигналов фотоприёмника 7, демодулятора 8, компаратора 9, формирователя импульсов 10, импульсного источника излучения 11, установленного на корпусе 1, фотоэлектрического датчика линейных перемещений 12, оптически связанного с импульсным источником излучения 13 и цифрового табло 14.

Устройство работает следующим образом. Световой поток от светодиода 4, питаемого генератором 5, проходит через передающее ответвление световода 3, объектив 2, попадает на поверхность контролируемого объекта. Отражённый свет проходит тот же путь в обратном направлении через объектив 2, приёмный ответвитель световода 3 и попадает в фотоприёмник 6. Корпус 1 с закреплёнными на нём объективом 2 и светодиодом 3 совершает возвратно-поступательные движения по направлению измерения с частотой 20 Гц и амплитудой 10 мм. При этом на выходе фотоприёмника 6 формируется изменяющийся по уровню сигнал, величина которого является функцией размера световой марки на поверхности объекта.

Эффективность представленного метода преобразования расстояний в цифровое значение состоит в том, что применен новый принцип построения оптоэлектронных преобразователей коаксиального типа, при этом определён общий подход к исследованию основных характеристик преобразователей различных типов.

Литература

1. Кузнецов М.М., Комбаров М.С. Система технического зрения//ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 19-29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА. 2010. Т.5, ч. 1. – С. 166-167.
2. Комбаров М.С., Кузнецов М.М. Перспективы развития оптико-электронных измерительных приборов на российском рынке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.) – Новосибирск: СГГА. 2013. Т. 1 – С. 290-292.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИЛИЦИДОВ

Ж.М. Шохимардонов

Кариинский государственный технический университет

Основные расчеты зонной структуры и оптических свойств были проведены в рамках теории функционала электронной плотности с использованием современных квантово-механических методов: метода линейной комбинации орбиталей маффин-тин и метода связанных плоских волн. Подробные расчеты приведены в оригинальных статьях [1]. Основные результаты расчетов, представленные ниже, включают в себя: определение общего характера зональной структуры и характеристику основных переходов в районе уровня ферми; анализ волновых функций соответствующих экстремальных (минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны) энергетических состояний в некоторых точках высокой симметрии зоны Бриллюэна; общий характер энергетической зависимости мнимой (ϵ_2) и действительной (ϵ_1) частей диэлектрической функции; определение о других важных оптических характеристиках соединений. Для силицидов некоторых металлов также будут представлены данные об их изоструктурированных германидах, за которыми последует обсуждение свойств новых перспективных тройных и четверных соединений на основе этих материалов.

Дисилициды хрома ($CrSi_2$), молибден ($MoSi_2$) и вольфрама (WSi_2). $CrSi_2$ и изоструктурен метастабильных фаз $MoSi_2$ и WSi_2 принадлежат к пространственной группе D_6 гексагональной структуры с параметров решетки a и c равна 0,4431, 0,6364; 0,4642, 0,6529; и 0,4610, 0,6415 нм для хрома, молибдена и вольфрама силицидов, соответственно. Максимум валентной зоны расположен в точке L , в то время как минимум зоны проводимости расположен в точке M зоны Бриллюэна. Значения прямого перехода в точке L для всех трех соединений имеют одинаковый порядок и составляют 0,41, 0,36 и 0,43 эВ для $CrSi$, $MoSi_2$ и WSi_2 соответственно. В то же время величина непрямого перехода значительно ниже для дисилицидов молибдена и вольфрама по сравнению с дисилицидами хрома.

Соответствующие значения 0,29 эВ для WSi_2 и 0,07 эВ для $MoSi_2$. Таким образом, все исследуемые материалы относятся к классу узкополосных полупроводниковых приборов. Анализ плотности электронных состояний показал, что вблизи уровня Ферми преобладают d -компоненты металла, в то время как вблизи нижней части валентной зоны преобладают s - и p -орбитали кремния. Из этого можно сделать вывод, что прямой переход в точке L , образованный в основном d -электронами металла, будет иметь низкую интенсивность [2].

Рассчитанные оптические свойства дисилицида хрома хорошо согласуются с результатами других теоретических и экспериментальных работ. Значение статической диэлектрической проницаемости для дисилицида хрома составляет 26,6. Малое значение ϵ_2 и, как следствие, колебательная сила межзонных переходов вблизи запрещенной зоны не позволяют говорить о применимости этого материала в качестве излучающего элемента. Однако, поскольку ширина запрещенной зоны $CrSi_2$ соответствует длине волны 4,3 мкм, ее можно использовать в качестве фотоприемников с длиной волны, превышающей это значение.

Силицид рения ($ReSi_{1,75}$). Стабильная фаза полупроводникового силицида рения имеет стехиометрический состав $ReSi_{1,75}$ и имеет триклинную решетку с пространственной группой $P1$ со следующими параметрами: $a = 0,3138$, $b = 0,312$, $c = 0,767$ нм и $\alpha = 89,90^\circ$. Это соединение характеризуется непрямым переходом в 0,16 эВ, где максимум валентной зоны находится в точке Γ , а минимум зоны проводимости - в точке S .

Минимум зоны проводимости в точках S основном характеризуется электронами d –рения (60%) с добавлением электронов p – (27%) и d – (11%) кремния. Максимум валентной зоны в точке D почти полностью определяется d -электронами рения (90%). Напротив, максимум валентной зоны в точке S состоит только из 25% электронов d – рения с добавлением 14% электронов p -рения с основным вкладом (41%) состояний p -кремния. Исходя из этого, делается вывод, что оптический переход в точках не будет запрещен в дипольном приближении [3].

Расчет оптических свойств силицида рения $ReSi_{1,75}$ показал анизотропию оптических функций вдоль оси поляризации света по сравнению с осями a и b . Соединение имеет чрезвычайно низкое значение ϵ_2 (менее 10% от максимального значения) в области переходов между крайними значениями зон, которое начинает увеличиваться после 1 эВ и имеет максимум только на уровне 4 эВ, что соответствует переходам между более удаленными состояниями с низким значением от колебательной силы. Однако, имея

непрямой переход 0.16 eV , $\text{ReSi}_{1.75}$ можно использовать для создания детекторов излучения с длиной волны более 8 мкм, что было подтверждено на практике.

Список литературы

1. Filonov A. B, Tralle I.E, Dorozhkin N.N. et al, //Phys. Stat. Sol.B. 1994. Vol.186.P.209-215.
2. Filonov A.B, Migas D.B, Shaposhnikov V.L, Dorozhkin N.N, Borisenko V.E, Lange H, Heinrich A. // Europhysics Letters. 1999. Vol.46. P. 376-381.
3. А.Б. Филонов, Л И. Иваненко, Д Б. Мигас, В.Л. Шапошников, А.В, “Полупроводниковые силициды: свойства и перспективы применения” Доклады БГУИР-2014, ст 168-179.

МНОГОБАРЬЕРНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ С ВНУТРЕННИМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УСИЛЕНИЕМ

Б.М. Абдукаххоров

Физико-технический институт имени С.А. Азимова

abdukakhkhorov92@bk.ru

Известно, что практически любой полупроводник и полупроводниковые структуры обладают чувствительностью к внешним воздействиям, например, света, температуры, механического воздействия, электромагнитного поля, радиационного излучения [1].

В используемых в настоящее время волноводных фотоприемниках [2] повышение фотосигнала до требуемого уровня осуществляется за счет дополнительных эффектов, перечисленных в предыдущем разделе, таких как инжекция, транзисторный эффект, лавинное размножение, эмиссия электронов. С помощью таких фотоприемников трудно регистрировать слабые оптические сигналы.

Разработанный фотодиод был исследован с целью анализа его физических характеристик, в частности спектральных параметров. Проведены измерения в условиях полного и маскированного покрытия контактов, а также при различной интенсивности светового воздействия.

Исследования спектральных характеристик при различных полярностях смещения показали, что исследуемая структура, независимо от освещаемой поверхности, демонстрирует высокую чувствительность в области длин волн, превышающих красную границу, определяемую шириной запрещенной зоны материала базовой области (Рисунок 1). Детальный анализ зависимости спектральной чувствительности от приложенного внешнего напряжения смещения показал, что увеличение напряжения приводит к пропорциональному росту фоточувствительности, вне зависимости от полярности смещения. Это может быть связано с усилением процессов генерации и рекомбинации носителей заряда, а также с улучшением условий их транспортировки в активной области структуры. Особенно заметное увеличение чувствительности наблюдается при такой полярности смещения, при которой фиксируется участок резкого роста тока (Рисунок 1). Данный эффект может быть обусловлен усилением туннельных процессов или повышенной экстракцией фотогенерированных носителей в условиях увеличенного электрического поля.

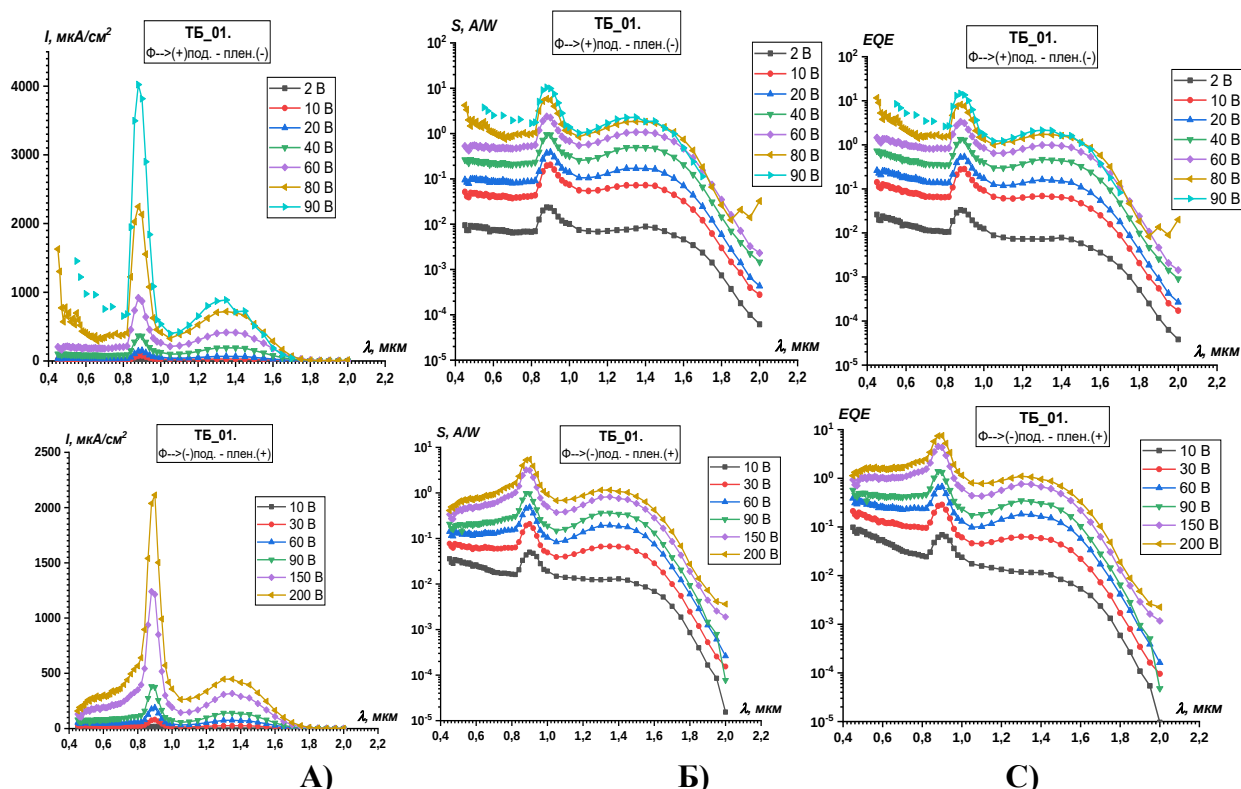


Рис. 1. Спектральные характеристики трехбарьерной структуры:
А) Вольт-амперная характеристика. Б) Характеристика спектральной чувствительности. С) Внешняя характеристика квантовой эффективности.

Литература

1. Е.М.Вербицкая, В.К.Еремин, А.М.Иванов, Н.Б.Строкан, В.И.Васильев, В.Н.Гаврин, Е.П.Веретенкин, Ю.П.Козлова, В.Б.Куликов, А.В.Марков, А.Я.Поляков. Характеристики детекторов ядерного излучения на основе полуизолирующего арсенида галлия. ФТП, 2004, том 38, выпуск 4,490
2. J-P Goure and I Verrier. Optical Fibre Devices. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2002. 284 p.

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ КОНТРОЛЬ НЕПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ

З.А. Байсафарова

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" в г. Ташкенте

Современное машиностроение достаточно часто встречается с задачей объективного контроля профиля криволинейных поверхностей. Основным препятствием к повышению точности измерений является оптическая aberrация. Развитие методов контроля криволинейных поверхностей машиностроительных изделий сложной формы связано с расширением диапазона измерения путём устранения влияния aberrаций [1-3]. В основу

функционирования преобразователя положен физический эффект смешивания световых излучений с различной длиной волны, что может обеспечить устойчивость к влиянию помех, вызывающих оптическую абберацию. Эту техническую идею можно реализовать в виде устройства, предназначенного для контроля профиля криволинейных поверхностей (рис. 1).

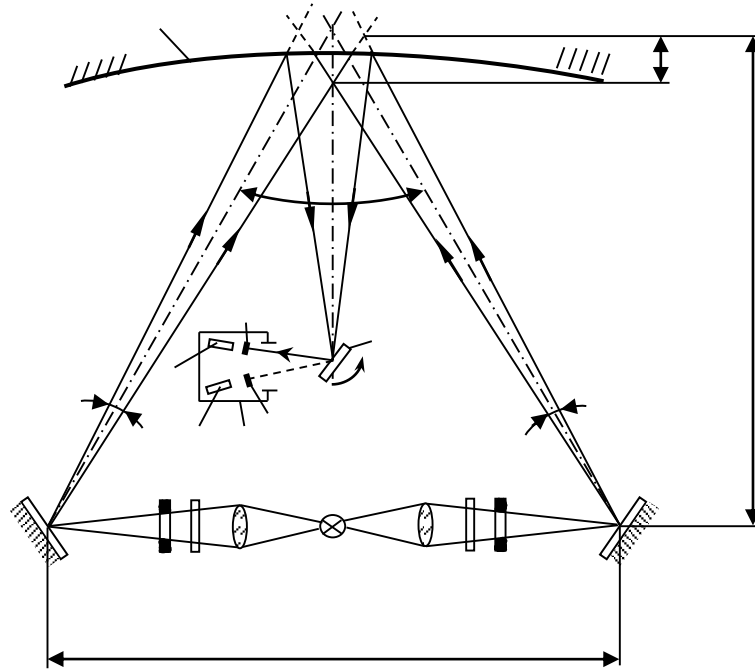


Рис. 1. Схема устройства для контроля профиля криволинейных поверхностей

Устройство содержит источник излучения 1, два объектива 2 и 3, два светофильтра 4 и 5 с отличными одна от другой длинами волн, две диафрагмы 6 и 7, два плоских зеркала 8 и 9, установленных с возможностью поворота вокруг их центров и перемещения вдоль оптической оси устройства, плоское зеркало 10, установленное с возможностью вращения вокруг его центра, фоторегистрирующий блок 11, содержащий два фотоэлемента 12 и 13 и два светофильтра 14 и 15, установленных перед фотоэлементами 12 и 13 с отличными одна от другой длинами волн, и контролируемая поверхность 16.

Устройство осуществляет свою функцию по измерению профиля криволинейной поверхности следующим образом.

Излучение от источника 1 фокусируется двумя объективами 2 и 3 на поверхностях зеркал 8 и 9, пропуская его через светофильтры 4 и 5 и через диафрагмы 6 и 7, тем самым производя последовательное формирование в каждой точке контролируемой поверхности 16 изображение световой марки с помощью монохроматических световых лучей с отличными одна от другой длинами волн (рис. 2).

Отражённые от контролируемой поверхности 16 лучи с помощью плоского зеркала 10 направляются через светофильтры 14 и 15 на фотоэлементы 12 и 13, производя при этом сканирование изображения марки, образующейся на контролируемой поверхности 16. Две монохроматических точки частично перекрывают друг друга, Чем больше зона взаимного перекрытия, которое определяется по появлению нового цвета от смешения разноцветных пятен, тем более расстояние до поверхности 16 ближе к расчётной величине. Для

формирования монохроматических точек на контролируемой поверхности выбирают такие длины волн взаимодействующих световых потоков, чтобы образованная слиянием зона пятна обладала длиной волны, равной полусумме длин волн исходных потоков. Например, при цветах световых потоков синем и жёлтом при смешении получается зелёный цвет.

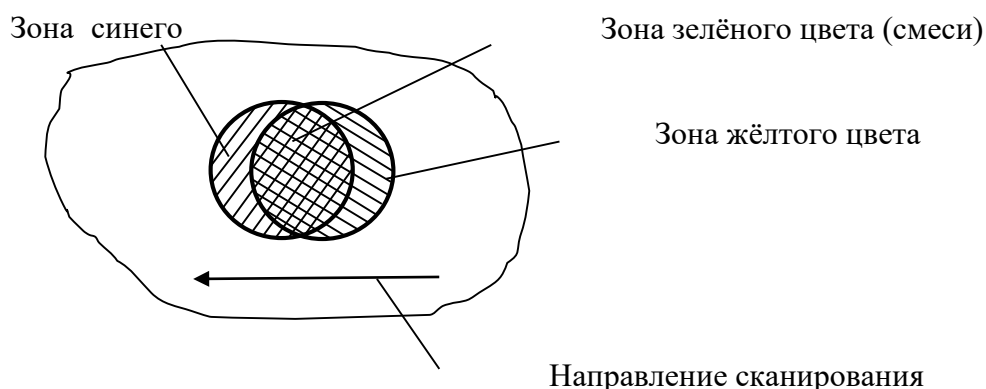


Рис. 2. Схема формирования световой марки

Таким образом, для расширения диапазона измерений используют метод устранения влияния оптической аберрации, что повышает помехоустойчивость прибора и уменьшает величину погрешностей.

Литература

1. Афанасьев В.А., Жилкин А.М., Усов В.С. Автоколлимационные приборы.-М. «Недра», 1982 г.
2. Якушенков Ю.Г. Теория и расчёт оптико-электронных приборов. –М., ЛОГОС, 1999 г.
3. Кузнецов М.М., Комбаров М.С. Система технического зрения//ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в: т. (Новосибирск, 19-29 апреля 2010 г.). – Новосибирск. СГГА. 2010. Т.5, ч. 1. – С. 166-167.

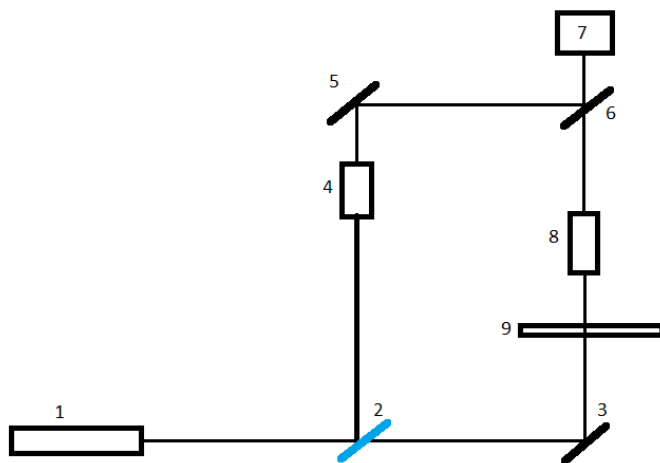
III ШЎБА. ФОТОНИКА МУАММОЛАРИ

INFRAQIZIL INTROSKOPIYA YORDAMIDA KREMNIY PLASTINALARIDAGI
NUQSONLARNI ANIQLASHZ.T.Azamatov¹, A.B. Bahromov¹, M.A. Yo'ldoshev², A.A. Sapayeva¹, G.G. Kulbayev¹¹Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti²University of Business and Science, Namangan, Uzbekistan

So'nggi yillarda raqamli golografiya usuli rivojlanib, materiallardagi nuqsonlarni aniqlash soddalashib bormoqda. Raqamli golografiya gologrammalarni elektron shaklda yozib olishga asoslanadi. Bunda CCD videokameralardan foydalangan holda gologrammalar raqamli ko'rinishda qayd qilib olinadi. Olingan gologrammalar asosida yorug'lik to'liqining amplitudasi va fazasi qayta tiklanadi. Raqamli golografiya usuli faqat bitta video kadrni qayd etishga asoslanib, ob'ektdan aks etgan yoki o'tgan o'lchov to'liqining tayanch to'liq bilan interferensiyasi natijasida hosil bo'lgan intensivlik taqsimotini qayd etadi. Tadqiqot obyektiga oid ma'lumotlar raqamli gologrammani qayta ishlash orqali olinadi. Raqamli golografiya texnologiyasi turli mikro tizimlarni buzmasdan nazorat qilish uchun samarali qo'llanilishi mumkin.

Yarim o'tkazgich plastinalardagi mikro o'lchamdagi nuqsonlarni aniqlash uchun infraqizil introskop sxemasi ishlab chiqildi. Bunda nurlanish manbayi sifatida infraqizil to'liq uzunligiga ega kogerent va kogerent bo'lmagan nurlanish manbalaridan foydalanilgan [1-5].

Introskoplarning asosiy parametri ularning fazoviy aniqligi hisoblanadi. Jumladan, infraqizil skanerlovchi introskoplar bir necha mikrometrlik spektral diapazonda o'lchovlarni amalga oshirishga imkon berib, fazoviy aniqligi o'nlab mikrometrlardan 10 nanometrgacha yetishi mumkin. Biz tomonidan ishlab chiqilgan eksperimental introskop 5 nm fazoviy aniqlikka, 2 mkm gacha bo'lgan spektral diapazonga va 400×400 mkm ko'rish maydoniga ega.



1-rasm: 1 – lazer, 2,6 – optik klin, 3,5 – oynalar, 4,8 – obyektiv, 7 – kamera, 9 – kremniy plastina.

Sxemada lazer nurlanishi yarim shaffof ko'zgu yordamida ikkiga ajratib olinadi. Yarimshaffof ko'zgu sirtidan qaytgan mur tayanch nurni hosil qiladi. Ko'zgudan o'tgan lazer nurlanishi ob'ekt nurini hosil qiladi. To'liq sxema golografik tizim sifatida turli kattalashtirish

darajalarida, jumladan, mikroskop kattalashtirishigacha ishlaydi. Frenel gologrammalarini olish rejimida sxema yarim o'tkazgich plastinalari ichidagi mikroobyektlarning tasvirini qatlamlar bo'ylab qayta tiklash imkonini beradi.

Nurlanish manbai sifatida diodli qattiq jism DPSS lazer tanlandi. U yaqin infraqizil diapazonda 1060 nm to'lqin uzunligida ishlaydi. Lazer spektrining kengligi 2 nm dan kam bo'lib, kogerentlik uzunligi bir necha metrni tashkil etadi. Lazer quvvati 200 mVt bo'lib, u bir modali yoki ikki modali rejimlarda ishlaydi.

Shuningdek, quvvati 40 Vt bo'lgan volframli lampadan ham foydalanildi. Ushbu lampaning nurlanish spektri keng infraqizil diapazonga ega bo'lib, u Web USB kameralarining sezgirlik diapazoni bilan mos keladi.

Introskopning mexanik qismi uch koordinatali optik stolikni o'z ichiga oladi. U XYZ koordinatalar bo'yicha 1 mkm aniqlikda harakatlanish imkoniyatiga ega. Harakat diapazoni tadqiq qilinayotgan yarim o'tkazgich plastinalar diametriga (100 mm) teng. Plastinalar joylashtirilgan tekislik burchak bo'yicha sozlanish imkoniyatiga ega.

Nurlanishni qabul qiluvchi sifatida raqamli CCD kamera ishlatildi. CCD fotodetektorining fazoviy aniqligi undagi fotosezgir elementlar soni va ularning kattaligiga bog'liq bo'lib, mikroskop optik tizimi orqali proyeksiya qilingan tasvirga nisbatan aniqlanadi. Shu sababli, 10 mkm² maydonga ega fotosezgir element kerakli optik aniqlikni ta'minlash uchun yetarli bo'lsa-da, 7×7 mkm o'lchamdagi piksel optimal variant hisoblanadi.

Sinovdan o'tkazilgan kameralar orasida eng mos kelgani Defender 2552-1 CCD kamerasi bo'ldi. Bu kamera nafaqat ko'rinadigan nurlanishga, balki 2 mkm gacha bo'lgan yaqin infraqizil diapazonda ham sezgirlikka ega edi.

Kremniy asosidagi yarimo'tkazgichli materiallar ishlab chiqarishda turli termik ishlovlar natijasida kristall panjarada turli defektlar hosil bo'ladi. Ushbu defektlar kristall panjaraning o'ziga xos xususiyatlari, texnologik jarayonlarda ishtirok etuvchi elementlar va doping qo'shimchalari bilan bog'liq. Bunday defektlarning hosil bo'lishi kristallning umumiy defekt tuzilmasiga sabab bo'lib, uning elektr va mexanik xususiyatlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Termik ishlov berish jarayonlarida defektlarning o'zaro ta'siri kuzatiladi. Bu jarayonning harakatlantiruvchi kuchi termodinamik potensialni minimallashtirishga bo'lgan intilishdir. Defektlarning rivojlanishi, ayniqsa, kremniy panjarasidagi nuqtaviy defektlar asosida shakllanadi. Ushbu nuqtaviy defektlar yuqori haroratlarda maksimal harakatchanlikka ega bo'lib, kristall tuzilmasini qayta tashkil qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Yarimo'tkazgichli kremniy tarkibida kislorod va uglerod elementlari doim mavjud bo'ladi. Ular kristall o'sish jarayonida kvarts tayanchli idishlardan diffuziya orqali kremniy tarkibiga o'tadi. Ushbu defektlar kremniy panjarasida ikki asosiy holatda mavjud bo'lishi mumkin:

- **Nuqtaviy defekt sifatida:** Kislorod va uglerod atomlari panjara ichida mustaqil nuqtaviy defektlar sifatida harakatlanadi.

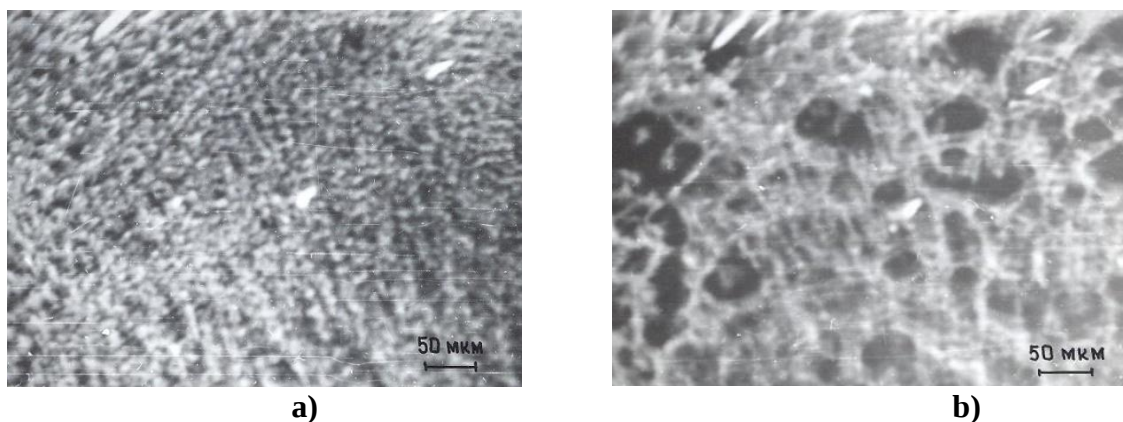
- **Konsentratsion to'planishlar:** Kislorod va uglerod atomlari yuqori haroratli jarayonlardan so'ng pretsipitat shaklida kristall ichida to'planadi.

Kislorod pretsipitatsiyasi kremniy kristalli sovutilganda yoki termik qayta ishlash natijasida kuzatiladi. Agar kremniy yuqori haroratda kislorod bilan to'yingan bo'lsa, u asta-sekin sovutilganda eritmalilik chegarasidan ortiqcha kislorod miqdori kristall panjarasidan chiqib ketishga intiladi va SiO₂ pretsipitatlarini hosil qiladi.

Kremniy kristallariga termik ishlov berish orqali pretsipitatsiyani nazorat qilish mumkin. Turli harorat rejimlari pretsipitatlarning shakllanish va yo'qolish jarayonlariga bevosita ta'sir qiladi:

- **350–500°C:** Kislorod pretsipitatsiyasi boshlanadi va termodavomli donorlar shakllanadi.

- **500–800°C:** Geterogen bog'lar hosil bo'ladi va ulardan kislorod pretsipitatlari shakllanadi.
- **950–1000°C:** Kislorod pretsipitatsiyasi kamayadi va pretsipitatlarning ko'p qismi eritiladi.



2-rasm: a) $T=600^{\circ}\text{C}$ temperaturada termik ishlov berilgan n-Si ning IQ lazer introgrammasi. b) $T=900^{\circ}\text{C}$ temperaturada termik ishlov berilgan n-Si ning IQ lazer introgrammasi.

Avval ishlab chiqilgan introskoplardan farqli o'laroq, ushbu ishda ko'p elementli optik nurlanish detektori va golografik interferometriya usullari qo'llanildi. Olingan natijalarga ko'ra, keng polosali nurlanish maydonida nuqsonlarni aniqlash va plastinalarni saralash uchun ularni namunaviy namunalar bilan taqqoslash maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Ushbu usulning afzalligi plastinalarga zarar etgazmasdan sirtidafi va ichki qismidagi nuqsonlarni aniqlash imkoniyatiga egaligidir. Furye transformatsiyasi asosida golografik introskopiya tasvirlarini tahlil qilish jarayonning tezligi hamda aniqligini oshirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Дроздов Ю.А., Окунев А.О., Ткаль В.А. Компьютерная обработка рентгенотопографических изображений дефектов структуры монокристаллов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2002. - № 8. - С.6-12.
2. Ferraro P., De Nicola S., Coppola G. Digital holography and three-dimensional display: principles and applications / T.-C. Poon, ed. - New York: Springer, 2006. – 430 p.
3. Matrecano M., Memmolo P., Miccio L., Persano A., Quaranta F., Siciliano P., Ferraro P. Improving holographic reconstruction by automatic Butterworth filtering for microelectromechanical systems characterization // Applied Optics. – 2015. - V.54. - P. 3428-3432.
4. Абдурахманов К.П., Азаматов З.Т., Акбарова Н.А., Кулагин И.А., Бозорбаев И.И., Редкоречев В.И. Исследование кремниевых пластин методом лазерной интроскопии // Современные проблемы физики конденсированного состояния, Бухара, 12-14 апреля 2016 г. Т.I. С.43-44.
5. Азаматов З.Т., Редкоречев В.И., Абдурахманов К.П., Кулагин И.А., Акбарова Н.А. Лазерная интроскопия кремниевых пластин // 13-ая Международная Конференция «ГолоЭкспо2016», Ярославль, Россия, 12—15 сентября 2016 г. - С.5.11.

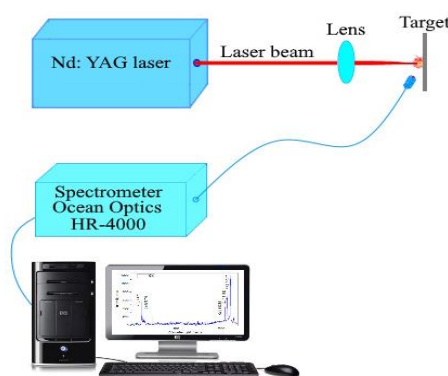
ND:YAG PIKOSEKUNDLI LAZER NURLANISHI TA'SIRIDA MOLIBDEN SIRTIDA KRATER HOSIL BO'LISH JARAYONINI O'RGANISH

M. Axmedov, I. Davletov

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti

munisbek95@urdu.uz

Nd:YAG lazerlari yuqori quvvatli lazer nurlanishi hosil qilish qobiliyatiga ega bo'lib, sanoat, elektronika va materialshunoslik sohalarida keng qo'llaniladi. Pikosekundli lazer impulslarining qisqa davomiyligi material yuzasida yuqori energiya zichligini hosil qiladi[1-2], bu esa aniq ishlov berish jarayonlarini amalga oshirish imkonini beradi. Ushbu ishda molibden sirtida krater hosil bo'lishi fizik jarayonlari o'rganildi.



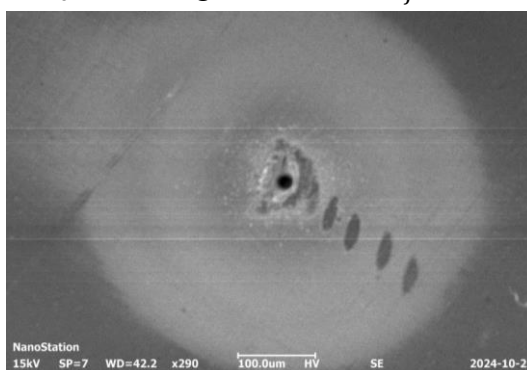
1-rasm. Tajriba sxemasi

Nd:YAG lazeri (to'lqin uzunligi 1064 nm) molibden sirtiga yo'naltirildi. Lazer nurlanishining quvvati 21.5 mW va impuls davomiyligi 28 ps qilib olindi. Krater o'lchovlari elektron mikroskop (SEM) yordamida o'lchandi. Lazer-metal o'zaro ta'siri issiqlik o'tkazuvchanligi va plazma ekrani ta'siri bilan tavsiflanadi[3-4]. Krater chuqurligi quyidagi ifoda bilan hisoblanishi mumkin:

$$d = \frac{E}{\rho C_p (T_m - T_0) + H_f}$$

Bu yerda:

E – lazer nurlanish energiyasi, ρ – materialning zichligi, C_p – issiqlik sig'imi, T_m – materialning erish harorati, T_0 – boshlang'ich harorat, H_f – erish issiqligi.



2-rasm. Molibden sirtida hosil bo'lgan kraterni SEM yordamida olingan tasviri.

Krater chuqurligi lazer impulsi quvvatining ortishi bilan oshdi. 21.5 mW quvvatda hosil boʻlgan krater chuqurligi taxminan 10.4 μm ni tashkil etdi. Yuqori energiyali impulslar plazma ekranini hosil qilib, material bugʻlanish jarayonini susaytirishi aniqlandi. Lazer impulsi davomiyligi kamayishi bilan kraterning diametri kichraydi, bu esa aniqlikni oshirishga xizmat qildi.

Xulosa. Nd:YAG pikosekundli lazer taʼsirida molibden sirtida hosil boʻladigan krater geometriyasi energiya va impuls davomiyligiga bogʻliq ekanligi aniqlandi. Yuqori aniqlikdagi ishlov berish jarayonlarida optimal energiya va impuls parametrlarini tanlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

1. Shubho Mohajan, Nicholas F. Beier, and Amina E. Hussein. Investigating crater formation in nanosecond laser ablation of aluminum foils *Appl. Phys.* 136, 023102 (2024); doi: 10.1063/5.0212660
2. A. I. Japakov, M. E. Vapaev, R. M. Bedilov, Z. T. Azamatov, and I. Y. Davletov. Spectra of Multiply Charged Ions in Laser Plasma Formed from Gas-Containing Targets// *East Eur. J. Phys.*, no. 3, pp. 490–494, Sep. 2023.
3. G. S. Boltaev, M. Iqbal, S. R. Kamalov, M. Vapaev, I. Y. Davletov, and A. S. Alnaser. Impact of plasma conditions on the shape of femtosecond laser-induced surface structures of Ti and Ni// *Appl. Phys. A*, vol. 128, no. 6, p. 488, Jun. 2022
4. Sabirov O. I., Yusupov D. B., Akbarova N. A., & Sapaev U. K. On the Theoretical Analysis of Parametric Amplification of Femtosecond Laser Pulses in Crystals with a Regular Domain Structure. // *Physics of Wave Phenomena*, 2022, vol. 30, №4, p. 277-282

LiNbO₃ VA LiNbO₃:Fe MONOKRISTALLARINING SIRT MORFOLOGIYASINI TADQIQ QILISH

Z.T.Azamatov¹, M.A. Yoʻldoshev², A.B. Bahromov¹

¹Mirzo Ulugʻbek nomidagi Oʻzbekiston Milliy Universiteti huzuridagi Yarimoʻtkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

²University of Business and Science, Namangan, Uzbekistan

Axborot tashuvchilarning zichligi yuqori, ishonchli va uzoq muddatga saqlash muammosini hal qilishning samarali usullaridan biri golografik usul boʻlib, soʻngi yillarda xorijiy mamlakatlarda turli qayd qiluvchi vositalarda axborotni yozib oladigan oʻta yuqori sigʻimga ega golografik saqlash qurilmalarini yaratish boʻyicha kompleks nazariy va amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shuni taʼkidlash kerakki, golografik usullar yassi hamda hajmiy koʻrinishdagi axborotlarni qayd etish, saqlash va tiklash imkonini beradi. Keng taqiqlangan sohaga ega boʻlgan niobat litiy kristallari fotonika, kvant elektronikasi, opto va akustoelektronika sohasida qoʻllaniladigan istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. Elektrooptik, pezoelektrik, nochiziqli effektlar, ikkinchi garmonika generatsiyasi va lazer nurlanishi taʼsirida sindirish koʻrsatkichining

o'zgarishi kabi optik xususiyatlari hologrammalarni qayd qilish uchun niobat litiy kristallaridan foydalanishga keng imkon beradi [1,2].

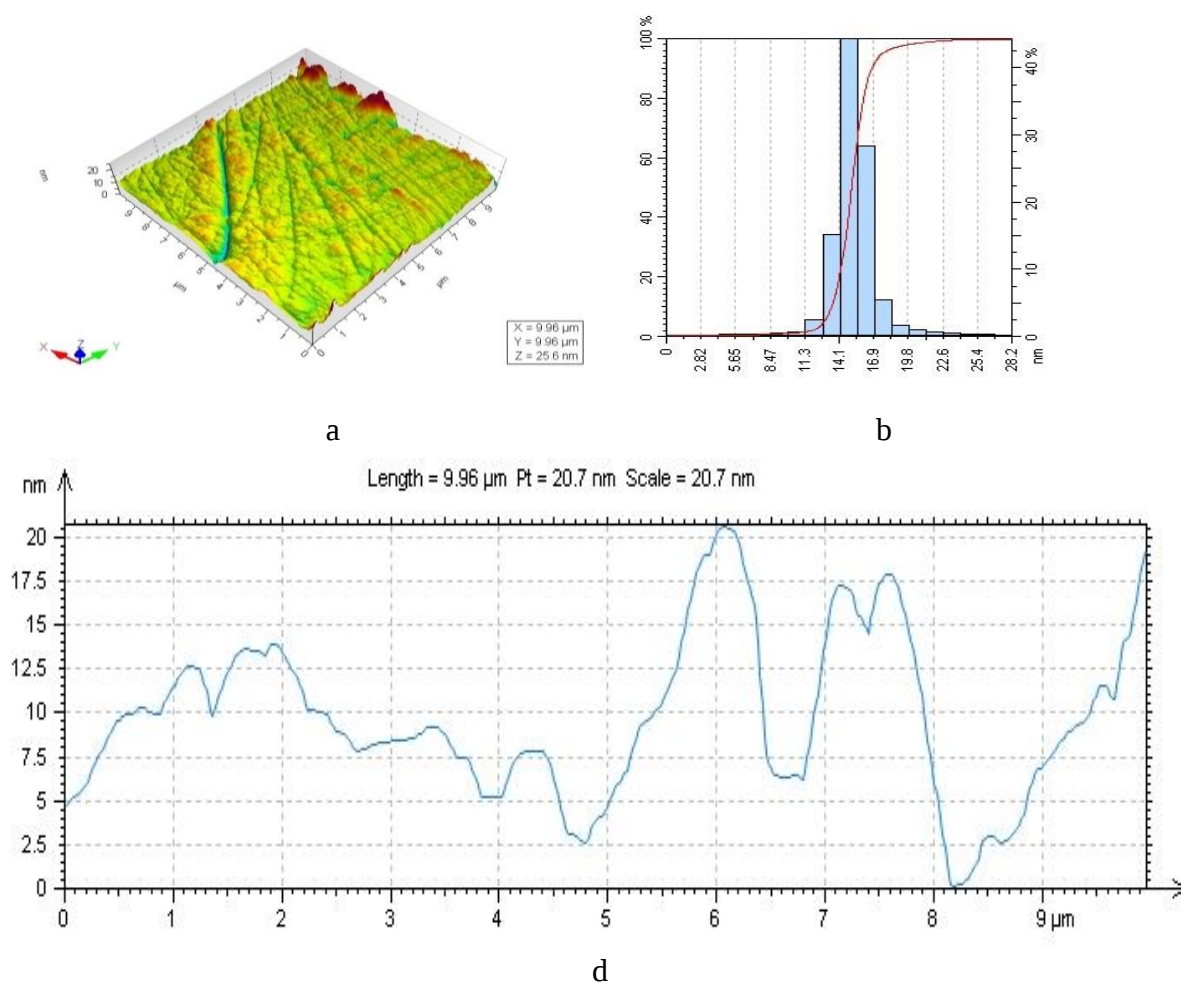
Ushbu ishda LiNbO_3 va $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ kristallarining ba'zi bir optik xususiyatlariga to'xtalib o'tilgan va tadqiq qilinayotgan namunalarning optik nobirjinsililigidan tahlili natijalari keltirilgan. Niobat litiy monokristalining asosiy optik xususiyatlaridan biri fotorefraktiv effekti hisoblanadi. Ushbu effekt asosida esa kristall o'zida oddiy (n_o) va g'ayrioddiy (n_e) nur sindirish ko'rsatkichini o'zgartishi yotadi. LiNbO_3 kristalining oddiy va g'ayrioddiy nur sindirish ko'rsatkichlari qo'llanilish oralig'i 400-5000 nm bo'lgan quyidagi formulalar yordamida hisoblangan.

$$n_o^2 - 1 = \frac{2,9804\lambda^2}{\lambda^2 - 0,01764} + \frac{1,229\lambda^2}{\lambda^2 - 0,05914} + \frac{12,614\lambda^2}{\lambda^2 - 474,6} \quad (1)$$

$$n_e^2 - 1 = \frac{2,4272\lambda^2}{\lambda^2 - 0,02047} + \frac{0,5981\lambda^2}{\lambda^2 - 0,0666} + \frac{8,9543\lambda^2}{\lambda^2 - 416,08} \quad (2)$$

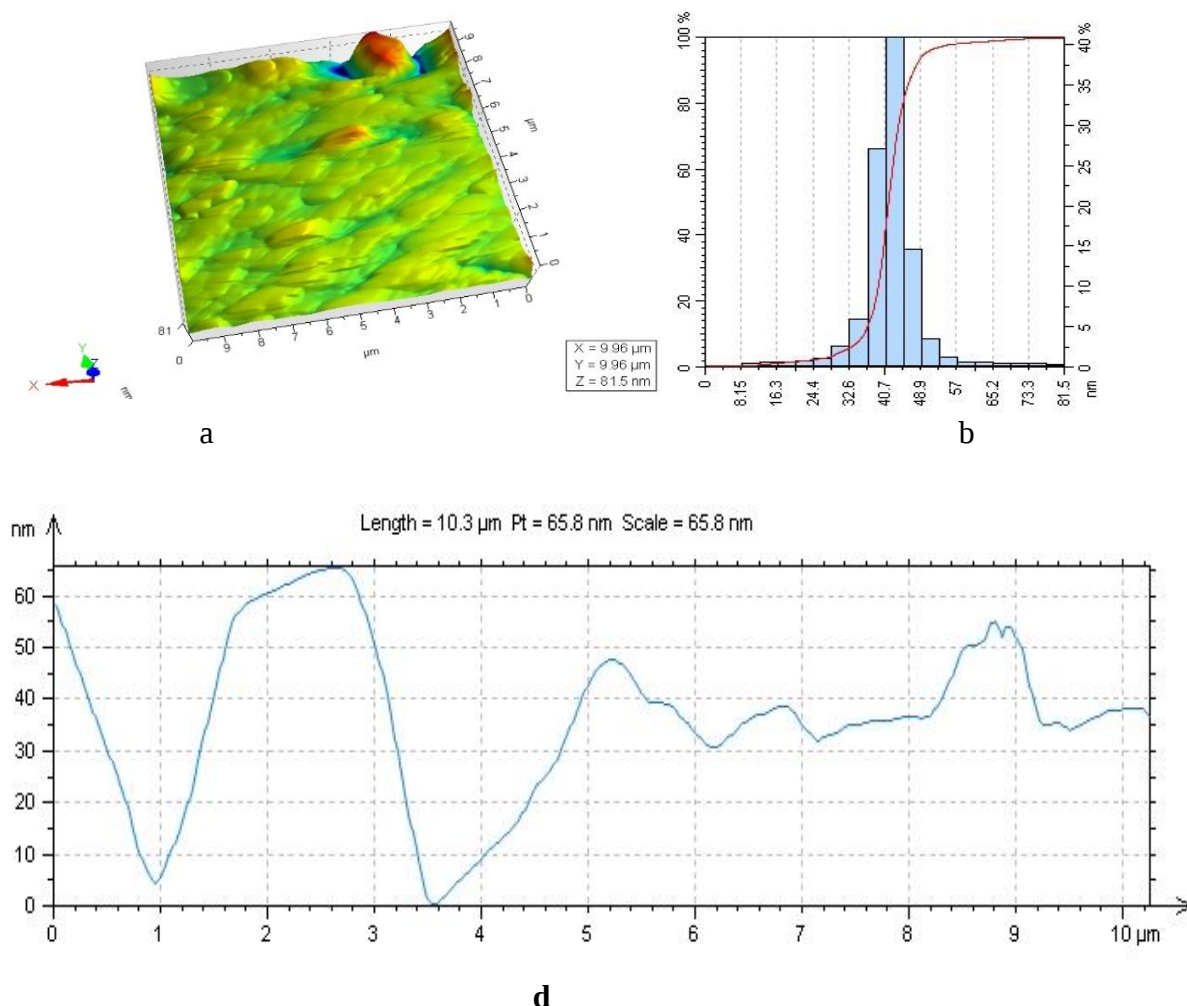
Olingan natijalardan ko'ra, n_o ning o'zgarishi to'lqin uzunligi ortgani sari ($2,5 \div 2,12$) oraliqda, n_e ning o'zgarishi esa ($2,19 \div 1,85$) oraliqda ekanligini ko'rish mumkin.

Qolaversa, LiNbO_3 va $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ namunalarning sirt morfologiyasi atom kuch mikroskopi (AKM) da tahlil qilindi. Bunda tadqiq qilinayotgan sohaning o'lchami ($10 \mu\text{m} \div 10 \mu\text{m}$) ni tashkil qiladi (1- va 2-rasm).



1-rasm. LiNbO_3 kristali sirt morfologiyasining AKM tasvirlari: a) 3D fazaviy tasviri; b) sirt gistagrammasi; d) sirt relyefi

Olingan natijalardan ko‘rish mumkinki, LiNbO_3 kristalining sirtida mexanik ishlov berish natijasida turli xildagi chiziqli nuqsonlar hosil bo‘lgan (1a-rasm). Bu esa o‘z navbatida namuna sirtidagi zarrachalar taqsimoti va relyefiga ta’sir ko‘rsatadi (1b-va 1d-rasmlar). LiNbO_3 kristalida hosil bo‘layotgan do‘ngliklar ($0\div 20$ nm) oraliqda bo‘lib, sirtning katta qismini $14\div 16$ nm bo‘lgan zarrachalardan tashkil topgan deyish mumkin. $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ namunalarida esa sirt morfologiyasi nisbatan barqaror va chiziqli nuqsonlar deyarli uchramaydi (2a-rasm).



2-rasm. $\text{LiNbO}_3\text{:Fe}$ kristali sirt morfologiyasining AFM tasvirlari: a) 3D fazaviy tasviri; b) sirt gistagrammasi; d) sirt relyefi

Sirtni asosan o‘lchami $5\div 45$ nm bo‘lgan do‘ngliklar tashkil etadi (2b-rasm) va bu o‘z o‘rnida struktudagi temir ionlari ta’siri bilan bevosita bog‘liqligini bildiradi.

Adabiyotlar

1. V.A. Barachevsky, “The current status of the development of light-sensitive media for holography (a review),” Opt. Spectrosc. 124, 373-407 (2018).
2. T. Volk, M. Wohlecke, Lithium niobate, in: Defects, Photorefractive and Ferroelectric Switching, (Springer, Berlin, 2008).

IKKI ELEMENTLI NATRIY XLOR QOTISHMASI SIRTIDA HOSIL BO'LGAN PLAZMA SOHASIDAGI ELEKTRONLAR KONSENTRATSIYASI

A.I. Japaqov*, M.E. Vapayev, I.Y. Davletov

Urganch davlat universiteti. 220100. Urganch sh. X.Olimjon, 14 uy.

[*azamat@urdu.uz](mailto:azamat@urdu.uz)

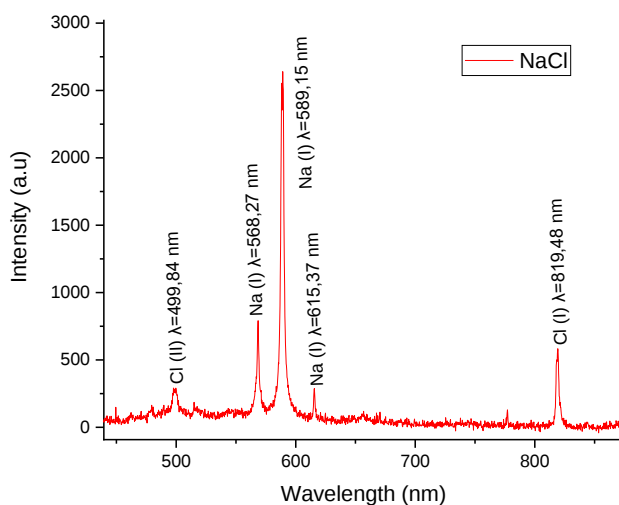
Hozirgi kunda ikki va ko'p elementli qotishmalarni elementar spektrokimyoviy tahlil usuli sifatida, lazer spektroskopiyasi (LIBS) keng qo'llanilmoqda. LIBS usuli yordamida moddani har qanday agregat holatida, ya'ni gaz, suyuq yoki qattiq holatida bo'lishidan qat'iy nazar tahlil qilish imkoniyati mavjud [1,2]. Lazer impulsarlari mikroplazma hosil bo'lishiga olib keladigan, oz miqdordagi materialni atomizatsiya qilish uchun namunaga yo'naltiriladi. Lazer nurlanishlarining atomlar va elektronlar bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida yuqori temperaturada plazma hosil bo'ladi va plazma turli spektrlarda o'zidan yorug'lik chiqaradi. Plazma yorug'ligi spektral ravishda aniqlanadi va har bir elementning noyob emissiya spektri asosida namunaning elementar tarkibini aniqlash imkonini beradi [2].

Ushbu ishda 10^{-2} Torr bosimli vakuum kameraga joylashtirilgan qattiq agregat holatdagi natriy xlor (NaCl) qotishmasi sirtiga to'lqin uzunligi 1064 nm, impuls davomiyligi 20 ns bo'lgan Nd: YAG lazer nurlanishi bilan ta'sir qilindi. Natijada namuna sirtida hosil bo'lgan plazmaning parametri spektroskopik usul yordamida o'rganildi. Natriy xlor qotishmasi plazmasining asosiy parametri elektronlar konsentratsiyasi aniqlandi.

Olingan plazma emissiya spektr tarkibida Na va Cl elementlarini (I) va (II) zaryadli ionlardan hosil bo'ladigan ion o'tishlari mavjudligini ko'rsatdi (1-rasm). Plazma spektrlariga mos natriy va xlor ionlari uchun to'lqin uzunliklar va mazkur o'tish liniyalarining kengliklari aniqlanib bu kattaliklar Shtark kengayish usuli yordamida plazma tarkibidagi erkin elektronlar konsentratsiyalarini aniqlash imkonini berdi.

Shtark effekti bu tashqi maydonning mavjudligi sababli atomlar va molekulalar spektral chiziqlarining siljishi va bo'linishidir. Shtark effektini

emissiya va yutulish liniyalari uchun ham kuzatish mumkin [3,4].



1-rasm. NaCl qotishmasini plazma emissiya spektri

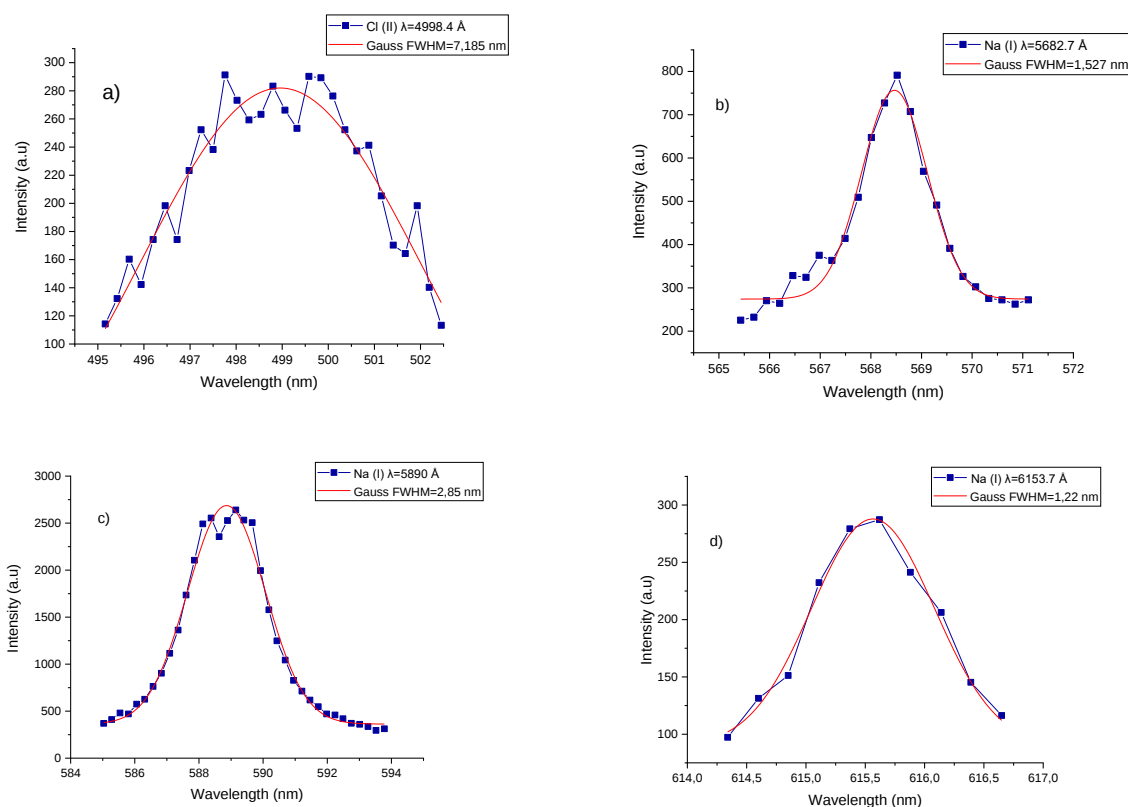
Spektrning keskin kengayishi plazma spektridagi chiziqlar zaryadlangan zarralarni to'qnashuvidan kelib chiqadi [5]. Elektron zichligi va FWHM (full widths at half maximum) spektr maksimal yarim kengligi orasidagi farqi ko'rsatilganidek, Shtark kengayish chiziqi quyidagicha bo'ladi:

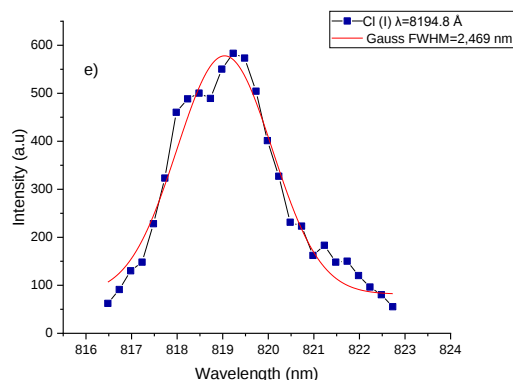
$$\Delta\lambda_{\frac{1}{2}} = \left[2W \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right) + 3,5A \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(1 - \frac{3}{4} N_D^{-\frac{1}{3}} \right) W \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right) \right]^0 \text{ \AA} \quad (1)$$

bu yerda N_D - Debay sferasidagi zarralar soni, A -ionlarni o'zaro ta'sir parametri, W - elektron ta'sir parametri. Tenglama o'ng tomonidagi birinchi had elektronlarni o'zaro ta'siridan kengayishni va ikkinchi had elektron va ionlarni o'zaro ta'sir parametri koeffitsiyenti. Vodorodsimon bo'lmagan ionlar uchun Shtark kengayishi elektron ta'siri, ionlarni o'zaro ta'siridan ustunlik qiladi va ionlarni o'zaro ta'sir koeffitsiyenti ahamiyatsiz [3,4]. Natijada Shtark kengayishi quyidagicha bo'ladi.

$$\Delta\lambda_{\frac{1}{2}} = 2W \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right)^0 \text{ \AA}. \quad (2)$$

$\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}$ =FWHM spektr kengligini yarmi, n_e -elektron zichligi. Shtark kengayish usulidan foydalanib NaCl elementini (I) va (II) zaryadli ion o'tishlaridan hosil bo'lgan spektrini to'liq uzunlik qiymatlariga mos keluvchi shkalasidan elektron zichliklari aniqlandi (1-jadval). Bunda spektr maksimal kengligini yarmi (FWHM) Gauss impulsi bilan moslashtirilgan holda aniqlandi (2-rasm). Moslashtirishdan shkalasi bir-biriga juda yaqin bo'lgan ion o'tishlar ajratildi va alohida hisoblandi. Elektronlarning o'zaro ta'sir parametri W ni son qiymatini hisoblashda [5] dan foydalanildi.





2-rasm. Lazer nurlanishi ta'sirida NaCl qotishmasi sirtida hosil bo'lgan plazma a) Cl (II), $\lambda=499,84$ nm b) Na I, $\lambda=568,27$ nm, c) Na I, $\lambda=589,15$ nm d) Na I, $\lambda=615,37$ nm e) Cl I, $\lambda=819,48$ nm spektr chiziqlarini Gauss impulsi bilan moslashtirish.

1-jadval

Atom/ion	To'liq uzunligi $\lambda_{ki,Z}$ (nm)	Konfiguratsiyasi	Elektron ta'sir parametri w (Å)	Elektronlar zichligi n_e , (10^{17})cm $^{-3}$
Cl (II)	499,84	$3s^2 3p^4(^1D)4p$	0,08	89,8
Na I	568,27	$2p^6 3p-2p^6 4d$	1,97	0,8
Na I	589,15	$2p^6 3s-2d^6 3p$	0,316	9,02
Na I	615,37	$2p^6 3p-2p^6 5s$	0,564	2,16
Cl I	819,48	$3s^2 3p^4(^3P)4p$	0,65	3,8

Har bir spektr chiziqlari uchun plazma sohasidagi elektronlar zichligi aniqlandi (1-jadval).

Xulosa qilib aytadigan bo'lsak natriy xlor qotishmasi hosil qilingan plazmaning asosiy parametri elektronlar konsentratsiyasi aniqlandi. Elektronlar konsentratsiyasini o'lchangan qiymatlari boshqa muhim plazma parametrlarini hisoblash imkoniyatini beradi.

Adabiyotlar

1. A.I. Japakov, M. E. Vapaev, R. M. Bedilov, Z. T. Azamatov, and I. Y. Davletov, "Spectra of Multiply Charged Ions in Laser Plasma Formed from Gas-Containing Targets," *East Eur. J. Phys.*, no. 3, pp. 490–494, Sep. 2023, doi: 10.26565/2312-4334-2023-3-55.
2. David A. Cremers, Leon J. Radziemski, Basics of the LIBS Plasma. "Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy" 2013// DOI:10.1002/9781118567371
3. H R Griem, Principles of plasma spectroscopy (Cambridge University Press, Cambridge, 1997)
4. NIST Atomic Spectra Database, <http://physics.nist.gov>
5. J. A. A. C. Aragón, "Characterization of laser induced plasmas by optical emission spectroscopy: A review of experiments and methods," *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 63, pp. 893–916, 2008.

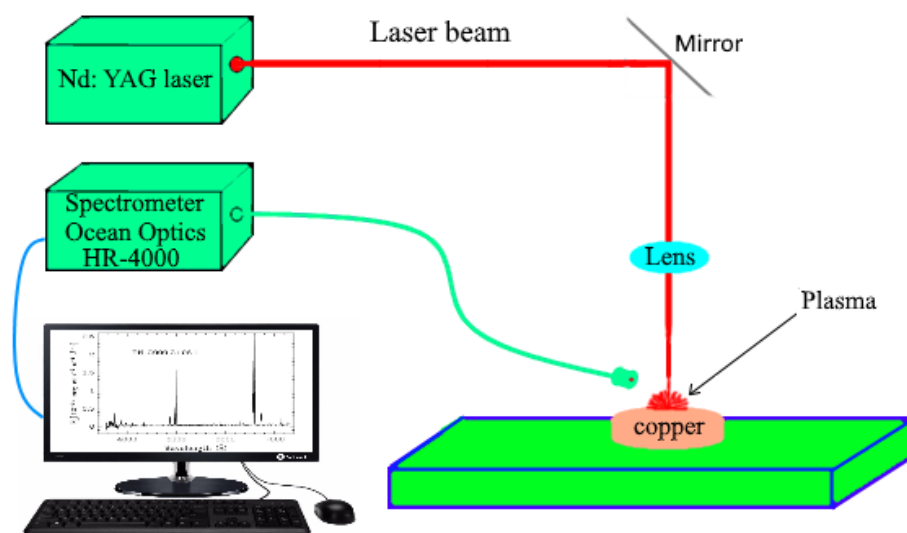
LAZER NURLANISHI TA'SIRIDA MIS FOLGA YUZASIDA HOSIL BO'LGAN KRATERDA RAYLEIGH-TAYLOR STRUKTURALARINI TADQIQ QILISH

M. Axmedov, I. Davletov

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti

Email: munisbek95@urdu.uz

Ushbu tadqiqotda pikosekund impulsli Nd:YAG lazer (1064 nm, 28 ps) ta'sirida mis folga sirtida hosil bo'lgan plazmaning krater shakllanish jarayoniga ta'siri va Rayleigh-Taylor beqarorligi o'rganildi. Tajribada 63,1 mkm qalinlikka ega mis folga, lazer nurlanish quvvati 20,2 mW va fokus masofasi 25 sm bo'lgan linza qo'llanildi. Mis folga yuzasida hosil bo'lgan krater tasviri elektron mikroskop (SEM) yordamida olindi. Rayleigh-Taylor beqarorligi (RT) odatda ikki xil zichlikdagi suyuqlik interfeysida og'irlik kuchi yoki tezlanish ta'sirida yuzaga keladigan tebranish holati sifatida tushuntiriladi[1]. Lazer ablatsiyasi sharoitida RT issiqlik va lazer bosimi tufayli hosil bo'lgan plazma va qattiq material interfeysida yuzaga keladi. Bu beqarorlik lazer ta'sirida mis yuzasida hosil bo'ladigan tekstura va strukturalarni shakllantiradi[2].

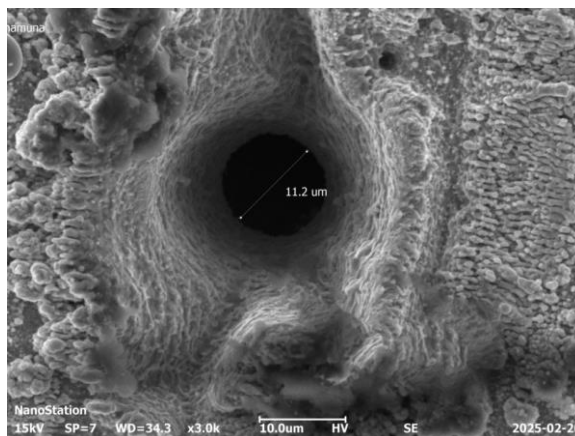


1-rasm. Tajriba sxemasi

Mis folga sirtida krater shakllanish jarayonida hosil bo'lgan plazmaning emissiyasi nur tolali optik spektrofotometr (Ocean Optics HR-4000) yordamida qayd qilindi. Plazma emissiyasini qayd qilish uchun spektral qurilma namunaga 45° burchak ostida joylashtirildi. Spektrofotometr plazma spektrini 200 nm dan 1100 nm gacha bo'lgan diapozondagi ion o'tishlarini o'rganish imkonini beradi. Namuna sirtida hosil qilingan kraterlar morfologiyasini skanerlovchi elektron mikroskop SEM CX-200 yordamida tahlil qilingan.

Lazer nurlari folga yuzasiga tushganda, mis atomlarining tashqi elektronlari yuqori energiyali holatga o'tadi va natijada issiqlik hosil bo'ladi. Lazer nuri energiyasi folga yuzasida juda kichik sohada jamlanganligi sababli, metal juda tez eriydi. Qisqa impuls tufayli issiqlikning ichkariga tarqalish vaqti juda kam bo'lib, ko'proq metal yuzasida to'planadi. Bu issiq elektronlar diffuziyasi jarayoni bilan bog'liq bo'lib, issiqlikni yuzaga yaqin qatlamda ushlab turadi. Lazer energiyasi yetarlicha yuqori bo'lsa, erigan misning bir qismi darhol bug'lanib ketadi. Yuqori tezlikda bug'lanish sodir bo'lganda plazma rejimi vujudga keladi. Bug'langan metal yuzadan

yuqoriga chiqib, havodagi molekulalar bilan o'zaro ta'sir qiladi va so'vib kondensatsiyalanadi. Lazer ablatsiyasi tufayli krater markazida chuqurroq soha hosil bo'ladi. Markazdan chetroqda joylashgan hudud (Periferiya)ga yaqin joylarda esa bug'lanish kuchsizroq bo'lib, material erib, yon tomonlarga tarqalgan. Kraterning chetida teksturali strukturalar paydo bo'lishi, Raleigh-Taylor instabilliklari yoki materialning tebranish suyuqlik dinamikasi natijasi bo'lishi mumkin.



2-rasm. Cu folga yuzasida hosil bo'lgan krater tasviri

Rayleigh-Taylor (RT) beqarorligi suyuqlik yoki gaz qatlamlari o'zaro farqli zichliklarga ega bo'lib, yuqori zichlikli qatlam past zichlikli qatlam ustida joylashganida yuzaga keladi. Agar tizimda tortishish kuchi yoki tezlanish mavjud bo'lsa, zichlik farqi tufayli ikki qatlam o'rtasidagi interfeysda buzilishlar kuchayib boradi va bu beqarorlik turbulentlik yoki strukturalarning shakllanishiga olib keladi.

Lazer ablatsiyasi natijasida erigan metal yuzasida bu instabillik yuzaga kelishi mumkin, chunki yuqori zichlikdagi erigan metall qatlami past zichlikdagi bug' yoki plazma bilan aloqa qiladi, natijada interfeysda to'liqlar va murakkab strukturalar hosil bo'ladi[3].

Rayleigh-Taylor (RT) instabilligi ikki zichlikka ega muhit chegarasida bosim gradienti bo'lganda yuzaga keladi. Beqarorlikning asosiy matematik tavsifi:

$$\omega^2 = \frac{Agk}{1+(kL)}$$

Bu yerda

ω - tebranish chastotasi (o'zgaruvchanlik tezligi)

$A = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ – Atvud soni (ikki zichlik farqini ko'rsatuvchi parametr)

g - ekvivalent bosim gradienti

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - to'liq soni

L - erigan qatlam qalinligi

ρ_1, ρ_2 - yuqori va pastki qatlam zichliklari

Ushbu tenglamadan shuni ko'rishimiz mumkinki, agar $\rho_1 > \rho_2$ bo'lsa, yani yuqoridagi qatlam zichligi past bo'lsa beqarorlik kuchayadi. Bu krater chetidagi burmalar va sturukturalarni hosil qilishga sabab bo'ladi.

Xulosa

Ushbu ishda lazer nurlanishining mis folga yuzasida Rayleigh–Taylor beqarorligini keltirib chiqarishi eksperimental kuzatishlar bilan bog'landi. Olingan natijalarga ko'ra, lazer ablatsiyasi natijasida yuzaga keladigan bosim gradienti va erigan qatlam dinamikasi Rayleigh-Taylor (RT)

beqarorligini kuchaytirib, mikro-teksturalar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu natijalar lazer yordamida mikro- va nano-strukturalarni boshqarish, lazerli mikro ishlov berish texnologiyalarini rivojlantirish hamda yuqori chastotali lazer impuls-lari ta'sirini chuqurroq o'rganish uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Kelajakda eksperimental va hisoblash usullarini kombinatsiyalash orqali aniqlikni oshirish va RT ni yaxshiroq nazorat qilish yo'nalishlarida tadqiqotlar olib borish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

1. Betti, R., & McCrory, R. L. (2024). *Applications of a Rayleigh-Taylor model to direct-drive laser fusion*. **PubMed**. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>
2. Lindl, J. D., & Mead, W. C. (2024). *Rayleigh-Taylor Instability and Laser-Pellet Fusion*. **Physical Review Letters**. Retrieved from <https://link.aps.org>
3. Zhang, X., Wang, Y., & He, L. (2025). *Effect of the Rayleigh-Taylor instability on maximum reachable temperatures in laser-induced bubbles*. **PubMed**. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>

KFS-12 SPEKTROMETRIDA 400-4000 NM SPEKTRAL ORALIQDA YARIMO'TKAZGICHLARNING YUTILISH VA LYUMINESSENSIYA SPEKTRLARINI TADQIQ QILISH

G.G. Kulbayev

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

Yarimo'tkazgichlar zamonaviy texnologiyalarning ajralmas qismiga aylangan bo'lib, optoelektronika, quyosh batareyalari, datchiklar va kvant nuqtalari asosidagi yoritish tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Ushbu materiallarning optik xususiyatlarini o'rganish ularning qo'llanilish sohalarini kengaytirish va samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, yutilish va lyuminessensiya spektrlari yarimo'tkazgichlarning energetik holati va optik xususiyatlarini aniqlashda asosiy vositalardan biri hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichlarning optik xususiyatlari ularning elektron tuzilishi, taqiqlangan zona kengligi va yoritilgan muhitdagi energiya o'zgarishlari bilan bog'liq. Optik yutilish hodisasi materialning elektromagnit nurlanishni o'zlashtirish qobiliyatini ifodalaydi va quyidagi omillar ta'sirida o'zgarishi mumkin.

- Kristall panjaraning strukturasi va defektlari
- Materialga qo'shilgan dopantlar
- Harorat va tashqi elektromagnit maydonlar.

Lyuminessensiya jarayoni esa materialga tushayotgan fotonlarning elektronlarni yuqori energetik holatlarga o'tkazishi natijasida yuzaga keladi va ushbu elektronlarning asosiy holatga qaytishi natijasida foton chiqarilishi kuzatiladi. Bu jarayon turli yarimo'tkazgichlarda turli uzunlikdagi nurlar chiqishiga olib keladi. J. I. Pankove (1971) va S. M. Sze (1981) kabi olimlar ushbu jarayonlarni chuqur o'rganib, yarimo'tkazgichlarning optik javobini ifodalovchi fundamental formulalarni ishlab chiqqanlar.



1-rasm: KFS-12 spektrometri

Eksperimental tadqiqot KFS-12 spektrometri yordamida olib boriladi. U 400-4000 nm diapazonda ishlash qobiliyatiga ega bo'lib, yuqori aniqlikdagi yutilish va lyuminessensiya spektrlarini o'lchash imkonini beradi. Tadqiqot uchun Si (kremniy), GaAs (galliy arsenid), ZnO (sink oksid), CdTe (kadmiy tellurid) kabi yarimo'tkazgich materiallari tanlandi. Eksperimental tadqiqot quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

- Namunalarning sirt qismi maxsus eritmalar yordamida tozalanadi.
- Optik xossalarni yaxshiroq o'lchash uchun lazer nurlari va monoxromator yordamida yorug'lik manbai sifatida infraqizil va ultrabinafsha nurlar qo'llaniladi.
- Olingan spektrlardan materiallarning taqiqlangan zona kengligi qiymatlari aniqlanadi va ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari baholanadi.

KFS-12 spektrometri yordamida olinishi kutilayotgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki,

- Si materialida yutilish spektri 1100 nm atrofida keskin kamayib, taqiqlangan zona kengligi qiymati 1.12 eV ga;
- GaAs uchun bu ko'rsatkich 870 nm, ZnO uchun esa 3.37 eV;
- CdTe (kadmiy tellurid) materiali uchun yutilish chegarasi 820 nm atrofida bo'lib, bu uning 1.45 eV taqiqlangan zona kengligiga ega ekanligini nazariy jihatdan ko'rsatadi.
- Lyuminessensiya natijalari shuni ko'rsatdiki, CdTe ning farqlangan intensiv chiziqlari 780 nm atrofida joylashgan bo'lib, bu materialda kuchli fotoluminessensiya jarayoni sodir bo'lishini anglatadi.
- ZnO yarimo'tkazgichi ultrabinafsha diapazonda kuchli emissiyaga ega bo'lib, uning nurlanish cho'qqisi 380 nm atrofida kuzatilishi, bu esa ZnO ning keng taqiqlangan zona kengligi (3.37 eV) ga ega ekanligini tasdiqlaydi.
- Nazariy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, harorat va tashqi elektromagnit maydonlarning o'zgarishi materiallarning optik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Ayniqsa, harorat oshishi bilan lyuminessensiya intensivligi pasayishi va yutilish spektrining biroz siljishi kuzatiladi.

Ushbu ilmiy tadqiqotni olib borishda quyidagi muhim natijalarni KFS-12 spektrometridan foydalanib, turli yarimo'tkazgichlarning optik spektrlari va ularning fizikaviy xususiyatlarini aniq baholash imkoniyatini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalardan quyidagi nazariy xulosalar kelib chiqadi:

- Yarimo'tkazgich materiallarining yutilish spektrlari ularning taqiqlangan zona kengligiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'lib, bu materiallarning fotoelektronika va optoelektronika sohalarida qo'llanilishini belgilaydi.
- Si va GaAs kabi materiallar infraqizil va yaqin infraqizil diapazonda ishlaydigan detektorlar va quyosh panellarida samarali ishlashi mumkin.
- ZnO va CdTe ning kuchli lyuminessensiya xususiyatlari ularning LED texnologiyasi va nurlanuvchi materiallar sifatida istiqbolli ekanligini ko'rsatadi.
- Tashqi omillar (harorat, maydonlar) materiallarning optik javobiga ta'sir ko'rsatishi aniqlangan bo'lib, bu texnologik jarayonlarda muhim omil sifatida hisobga olinishi lozim.

Kelajakda ushbu tadqiqot asosida quyidagi muhim masalalari o'rganilishi zarur deb hisoblayman:

- Yangi nanozarrachali materiallarning yutilish va lyuminessensiya spektrlari tadqiq qilinishi mumkin.
- Harorat va bosim sharoitlarining optik javobga ta'siri chuqurroq modellashtirish va eksperimental tekshiruvlardan o'tkazilishi lozim.
- KFS-12 spektrometri yordamida murakkab birikmali yarimo'tkazgichlarning optik parametrlarini aniqlash va ularni amaliy sohalariga integratsiya qilish.

Mazkur ilmiy ishdan olindigan natijalar yarimo'tkazgich materiallarining optik xususiyatlarini chuqurroq tushunish hamda ularni ilmiy va amaliy jihatdan qo'llash imkoniyatlarini kengaytirishga hissa qo'shadi. Kelajakda ushbu tadqiqot doirasida yangi turdagi yarimo'tkazgich materiallarining optik xususiyatlari chuqurroq o'rganiladi. KFS-12 spektrometri yordamida harorat va elektromagnit maydonlarning ta'siri tahlil qilinadi. Olingan natijalar optoelektronika va nanoelektronika sohalarida qo'llanilishi mumkin bo'ladi. Bu izlanishlar zamonaviy texnologiyalar rivojiga muhim hissa qo'shadi.

Adabiyotlar

1. J. I. Pankove, "Optical Processes in Semiconductors", Dover Publications, 1971.
2. M. A. Green, "Silicon Solar Cells: Advanced Principles & Practice", Centre for Photovoltaic Engineering, UNSW, 1995.
3. S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Wiley, 2007.
4. Samarqand Davlat Universiteti tadqiqot natijalari (samdu.uz).
5. N. Yunusov, R. Isayev, "Optik aloqa asoslari", ziyouz.com.

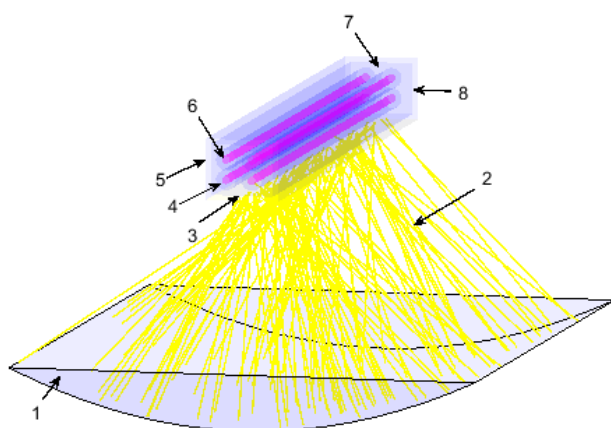
CHIZIQLI PARABOLIK KONSENTRATOR ASOSIDAGI NEODIM KIRITILGAN KVARSLAR TOLALI LAZERLARI

A.G. Qakhkhorov, Sh.D. Payziyev, A.A. Sherniyozov

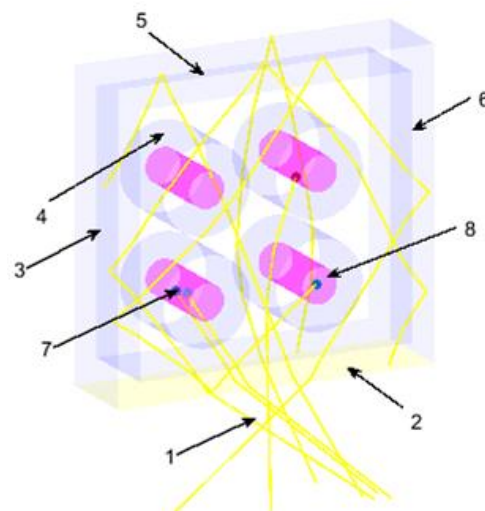
O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Ion plazmasi va lazer texnologiyalari instituti, 100125, Toshkent, O'zbekiston

e-mail: abdulla.gafurovich@iplt.uz

Keng spektrli quyosh nurlanishini kogerent tor diapazonli lazer nurlanishiga aylantiradigan quyosh lazerlari hozirgi kunda tadqiqodchilarning e'tiborini tortmoqda. Quyosh lazerlari uchun bir necha turdagi kristallardan foydalanib kelishgan. Ammo, so'nggi paytlarda optik tolalarni faol muhit sifatida ishlatildi [1] va Nd³⁺-kiritilgan kvars tolali quyosh lazerlari o'rganila boshlandi. Tolali quyosh lazerlarning umumiy samaradorligi 8 % gacha oshishi taxmin qilinmoqda [1]. Lekin tolali quyosh lazerining samaradorligi va chiqish quvvati juda past. Shuning uchun, ushbu ishda tolali lazer parametrlarini baholash va ularning umumiy samaradorlikka ta'sirini o'rganish maqsadida tolali quyosh lazerlarning Monte Karlo [2-3] foton yo'lini kuzatish metodi yordamida modeli ishlab chiqildi. Uzunligi 200 sm, kengligi 50 sm va fokus masofasi 50 sm bo'lgan chiziqli parabolik konsentrator olindi (1-rasm). Bu konsentrator yuzasiga jami 900 W quyosh quvvati tushadi. Aktiv muhit uchun qoplama diametri 1 mm, yadro diametri 200 mkm bo'lgan Nd³⁺-kiritilgan kvars tola (kiritilgan konsentratsiya $1.3 \cdot 10^{26}$ at./m³, NA=0.18, Furukawa Electric Co., Ltd.) konsentrator fokusiga joylashtirildi. Foton yo'lining sxematik diagrammasi va uning tolada yutilishi 2-rasmda ko'rsatilgan. Simulyatsion modelda optik tolada turli xil deffektlar hosil bo'lmisligi uchun tolaning egrilik radiusi hisobga olingan.



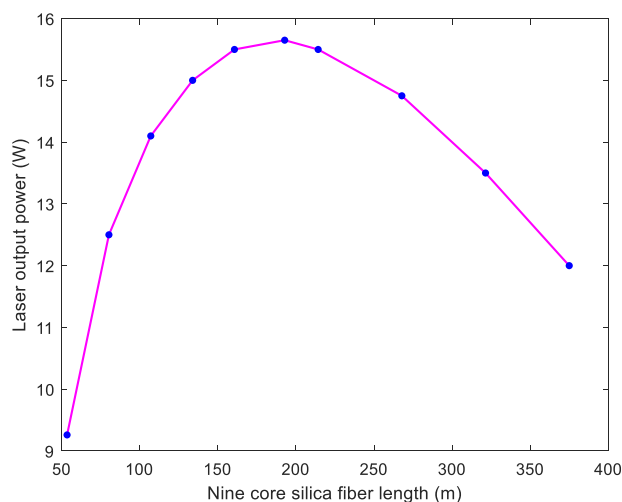
1-rasm. Lazer tizimining umumiy ko'rinishi. 1- chiziqli parabolik konsentrator, 2- quyosh nuri, 3- kvars shisha, 4- tola qoplamasi, 5- chap tomoni, 6- tola yadrosi, 7- yuqori tomoni, 8- o'ng tomoni.



2-rasm. Foton yo'lining sxematik diagrammasi va uning tolada yutilishi. 1- quyosh nuri, 2- kvars shisha, 3- chap tomoni 4- tola qoplamasi, 5- yuqori tomoni 6- o'ng tomoni, 7- tola yadrosida yutilgan foton, 8- tola yadrosi.

Modelda umumiy tola uzunligi tolalar qatori va ustuni ko'rinishida olindi va lazer chiqish quvvatining tola uzunligiga bog'liqligi o'rganildi. 193 m optimal tola uzunligi uchun lazer chiqish quvvati aniqlandi (3-rasm). Bu 18 qatordan va 5 ustundan iborat bo'lib, 90 ta halqadan tashkil

topgan. Yaratilgan model yordamida aktiv muhitda yutilish samaradorligi, lazer chiqish quvvati va quvvat taqsimoti hisoblandi.



3-rasm. Lazer chiqish quvvatining optik tola uzunligiga bog‘liqligi.

Xulosa shuki, chiziqli parabolik konsentrator orqali quyosh bilan damlanadigan Nd^{3+} -kiritilgan kvars tolali lazerlar modelini ishlab chiqildi. Aktiv muhitning yutilish samaradorligi 16.67%, yutilgan fotonlarning quvvati 150 W ga teng bo‘ldi. Lazer chiqish quvvati 15.65 W, quyosh nuridan lazer nurlanishiga o‘tkazish samaradorligi 1.74 % ni tashkil etishi model yordamida aniqlandi.

Adabiyotlar

1. T. Masuda, M. Iyoda, Y. Yasumatsu, S. Dottermusch, I.A. Howard, B.S. Richards, J.F. Bisson, M. Endo, A fully planar solar pumped laser based on a luminescent solar collector, Commun. Phys. 3 (1) (2020) 60.
2. Payziyev S., Sherniyozov A., Qakhkhorov A., “Simulation of solar-pumped multicore Nd^{3+} -doped silica fiber lasers”, Journal of Photonics for Energy, 2024, T.14, №.2, C. (024502-024502), DOI:10.1117/1.JPE.14.024502,
3. Sherniyozov A. A., Payziyev Sh. D., “Simulating optical processes: Monte Carlo photon tracing method”, Uzbek Journal of Physics, 24(3),157-162. (2022), doi.org/10.52304/v24i3.357.

YENGIL GAZ ATOMLARI KIRITILGAN Zr [H,N] PLAZMA KO‘P ZARYADLI IONLARINING MASSA SPEKTRLARI

A.I. Japaqov*, M.E. Vapayev, I.Y. Davletov

Urganch davlat universiteti. 220100. Urganch sh. X.Olimjon, 14 uy.

[*amazat@urdu.uz](mailto:amazat@urdu.uz)

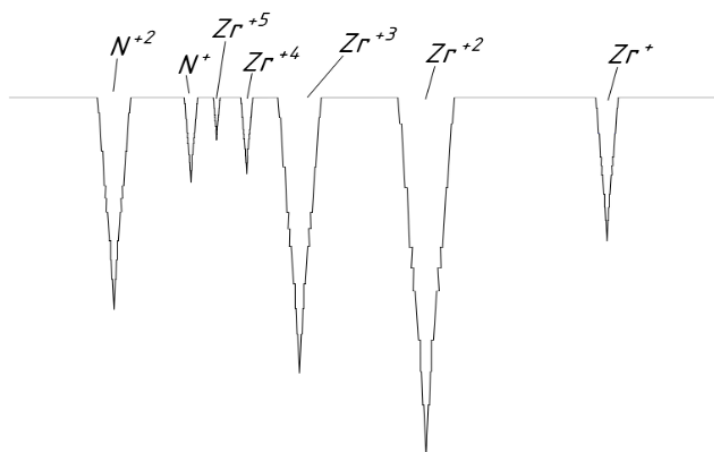
Hozirgi kunda ikki elementli lazer plazmasini hosil bo‘lishi va kengayish bosqichlarida sodir bo‘ladigan ko‘p zaryadli ionlarning ionlashuvi, rekombinatsiyasi va tezlashuvining fizik jarayonlarini nishonning tarkibiga bog‘liqligini o‘rganish juda dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Bunday tadqiqotlarga bo'lgan ehtiyoj, ko'p zaryadli ionlarning hosil bo'lishi va inertsial kengayishining ushbu fizik jarayonlarining samaradorligi ko'p zaryadli ionlarning chiqishi, zaryadi, energiyasi va fazoviy taqsimotini aniqlaydi. Tadqiqotda olingan natijalar ikki elementli lazer plazmasida ion oqimining hosil bo'lish jarayonlarini tushuntirish imkoniyatini beradi[1].

Ushbu ishda lazer nurlanishi ta'sirida plazma ko'p zaryadli ionlarini hosil bo'lishiga qattiq agregat holatdagi Zr nishoniga maxsus kiritilgan atomlar yoki boshqarilmaydigan aralashmalarda mavjud bo'lgan yengil gaz (H,N) atomlarining ta'siri tadqiq qilingan. Zerkoniy sirtidan hosil bo'lgan plazma ionlarining konsentratsiyasi 10-4 massa % ni vodorod atomlari bo'lgan plazma ionlarining massa spektrlari eksperimental ravishda ko'p elementli Zr[H,N] nishon uchun lazer nurlanishining quvvat zichligiga bog'liq holda o'rganildi[2-5].

Bundan tashqari, bir elementli plazma tarkibidagi ionlarning nisbiy chiqishi bilan solishtirganda og'ir element ionlarining dN/dE ni kamaytirish qanchalik muhim bo'lsa, ionlarning zaryad karraligi shunchalik katta bo'ladi. Biroq, ko'p elementli plazma holatida berilgan Z ga ega bo'lgan ionlarning umumiy unumi har doim katta bo'ladi. Bu qonuniyat mis ionlar dastasida hosil bo'lgan H ionlariga ham xosdir. Shubhasiz, bu birinchidan, undagi inertsial H ning konsentratsiyasi kamroq, ikkinchidan, gaz kiritilgan Zr tarkibida ikkita yengil oraliq gazlar (H,N) mavjudligi bilan bog'liq. Nishon sifatida Zr[N,H] dan foydalanilganda, ulardagi yengil gazlar konsentratsiyasi 10-3-10-1 % og'irligini tashkil etadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, ko'p komponentli plazmaning massa spektrlarida butun o'rganilgan lazer nurlanishining $q = 109 - 1011 \text{ Vt/sm}^2$ quvvat zichliklari diapazonida H va N ning ion spektr chiziqlarining cho'qqilari bir-biri bilan yoki boshqa elementlarning ion cho'qqilari bilan bir-biriga mos kelmaydi. Bunda Zr[N,H] ko'p elementli nishonidan $q \sim 1011 \text{ Vt/sm}^2$ da hosil bo'lgan plazma ionlarining massa spektrida yengil gaz N ionlari alohida Zr ion spektr chiziqlari bilan mos tushmagan (1-rasm).



1-rasm. Zr[N,H] ko'p elementli nishonidan $q \sim 1011 \text{ Vt/sm}^2$ da hosil bo'lgan plazma ionlarining massa spektri, bunda bir zaryadlangan ionlarning energiyasi 200 eV.

Yengil gaz N azot ionlari Zr ga nisbatan yengil bo'lganligi sababli yuqori tezlikda analizatorga birinchi bo'lib yetib keladi va o'zining alohida ion spektr chiziqlarini namoyon qiladi. Zr ionlarining plazmada H va N ionlari bilan birga kengayib borayotgan energetik spektrlarini o'rganish va olingan natijalarni bir elementli plazmadagi bu ionlarning bir xil xarakteristikallari bilan solishtirish shuni ko'rsatdiki, q lazer nurlanishining barcha qiymatlari uchun $Z = 1-5$ bo'lgan Zr ionlarining energiya taqsimoti diapazoni bir elementli plazmasida Z berilgan Zr ionlarining energetik spektrlarining kengligidan kattaroqdir.

Xulosa qilib aytadigan bo'lsak $Zr[H,N]$ dan hosil bo'lgan Zr ionlari uchun lazer nurlanishining yuqoridagi q qiymatlarida ushbu elementlar ionlarining Z_{max} va mos ravishda +4 va +5 ekanligi aniqlandi.

Adabiyotlar

1. I. Japakov, M. E. Vapaev, R. M. Bedilov, Z. T. Azamatov, and I. Y. Davletov, "Spectra of Multiply Charged Ions in Laser Plasma Formed from Gas-Containing Targets," *East Eur. J. Phys.*, no. 3, pp. 490–494, Sep. 2023, doi: 10.26565/2312-4334-2023-3-55.
2. Y. Davletov, R. M. Bedilov, M. E. Vapaev, A. I. Japakov, "Lazer plazmasi ko'p zaryadli ionlar burchak taqsimotining nishon turi va lazer nurlanishining parametrlariga bog'liqligi" SCIENTIFIC REPORTS OF BUKHARA STATE UNIVERSITY 2024/8 (113) pp.135-138.
3. I. Japakov, Sh.U. Matkarimova, I. Y. Davletov, "Yengil gaz atomlarining ko'p zaryadli plazma ionlarining hosil bo'lishiga ta'sirini tadqiq qilish" ILM SARCHASHMALARI 2024/11 pp.12-14.
4. I. Japakov, M. E. Vapaev, I. Y. Davletov, G.S Boltaev, "Ikki elementli litiy ftor qotishmasi sirtida hosil qilingan plazmaning parametrlarini tadqiq qilish" SCIENTIFIC REPORTS OF BUKHARA STATE UNIVERSITY 2025/1 (118) pp.75-82.
5. R.T.Khaydarov, H.B. Beisinbaeva, M.M. Sabitov, Milan Kalal and G.R. Berdiyrov. Effect of light gas atom inclusions on the characteristics of laser-produced plasma ions Nuclear. Fusion 51 (2011) 103041 (3pp)doi 10888/00295515/51/10/103041

MONITORING OPTICAL ILLUMINATION OF BIOLOGICAL TISSUES

M.K. Khusanova

Alfraganus University NOOT

The study of light radiation in the visible and near-infrared wavelengths is of great importance in physics, technology, and medicine. Light in this wavelength range penetrates biological tissues well and interacts with various structural and dynamic components of tissues, providing information about the structural and dynamic changes that occur in tissues during various diseases. In technology, rays of this wavelength are used to generate electricity and transmit information from one point to another.

In physics, phenomena such as absorption, diffraction, interference, fluorescence, as well as elasticity, quasi-elastic and molecular scattering are observed in biological environments and are sources of information about pathological processes.

Looking back at the research that has been done, light has been used to observe the state of biological tissues and cells to diagnose diseases. For the first time in 1831, the passage or refraction of light emitted from a source through the head of a patient with hydrocephalus provided information about the presence or absence of the disease.



Figure 1. Spectrophotometer SF 46- device

Later, in 1843, the possibility of transillumination of biological tissues was noted by Korling, and in 1929, Cutler used transillumination to observe pathological changes in the mammary glands. Millikan was the first to propose the use of two-wavelength optical spectroscopy to account for light scattering, and he successfully performed metabolic analyses in humans. This led to the creation of modern devices that diagnose human health based on data on the rays transmitted through various environments.

In 1911, Hasselbalch conducted research on the transmission of ultraviolet radiation through the skin. The study of the propagation characteristics of ultraviolet radiation in the environment is also widely studied in the fields of physics and engineering.

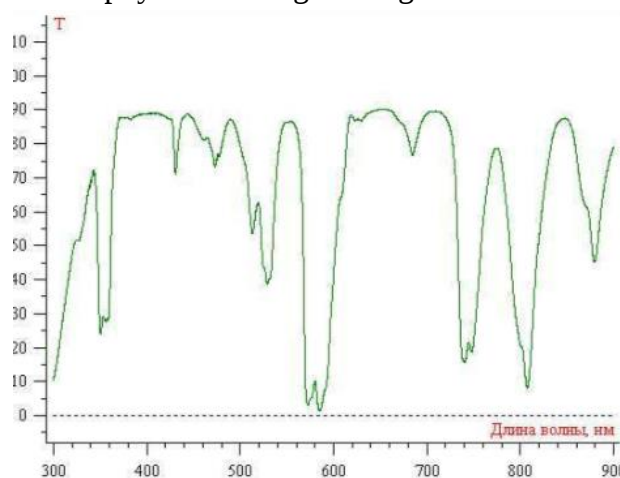


Figure 2. Spectral representation of biological tissue

Conclusion: Based on the above, optical illumination of biological tissues was performed using the Spectrophotometer SF 46- device shown in Figure 1. In this case, it was observed that the tissues became transparent when examined for glycine absorption compared to their initial state. Research conducted simultaneously from a biological and physical perspective is currently yielding fruitful results.

Literature

1. Chance B. Optical method // Arm. Rev. Biophys. Chem. 1991. V. 20. P.1-28
2. В.В. Тучин. Оптическая биомедицинская диагностика. Известия Саратовского университета Сер. Физика, 2005. Т. 5

3. M. Wolf et al. // How to evaluate slow oxygenation changes to estimate absolute cerebral haemoglobin concentration by near infrared spectrometry in neonates // Adv. Exp. Med. Biol. 411, 495-501 (1997)
4. Ш.Т. Хожиёв, С.Ф. Коваленко, З.М. Хусанов, Т.А. Сагатов, С.А. Сайфуллаева, У. Элмурадова Оптическое просветление: перспективы и применение в медицине // Международная конференция «Актуальные проблемы физической электроники» Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies

AI-BASED BEAM TRACKING IN 5G AND BEYOND NETWORKS

D. Qurbonov

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan.

ABSTRACT: The rapid deployment of 5G networks and the transition to Beyond 5G (B5G) and 6G technologies have created new challenges in beam tracking and beamforming. High-frequency millimeter-wave (mmWave) and terahertz (THz) communication suffer from signal attenuation, environmental interference, and mobility issues. Artificial Intelligence (AI)-based beam tracking has emerged as a promising solution to optimize wireless communication, reduce signal misalignment, and enhance connectivity. This paper explores AI-driven beam tracking techniques, their impact on network efficiency, and potential future developments in B5G and 6G networks.

INTRODUCTION: Beam tracking is essential in modern high-frequency wireless networks, ensuring reliable and stable communication for mobile users. Traditional beamforming relies on fixed algorithms, which lack adaptability in dynamic environments. AI-based solutions leverage machine learning (ML) and deep learning (DL) to predict beam movements, adjust transmission dynamically, and minimize latency. This research focuses on the role of AI in optimizing beam tracking for 5G and future networks.

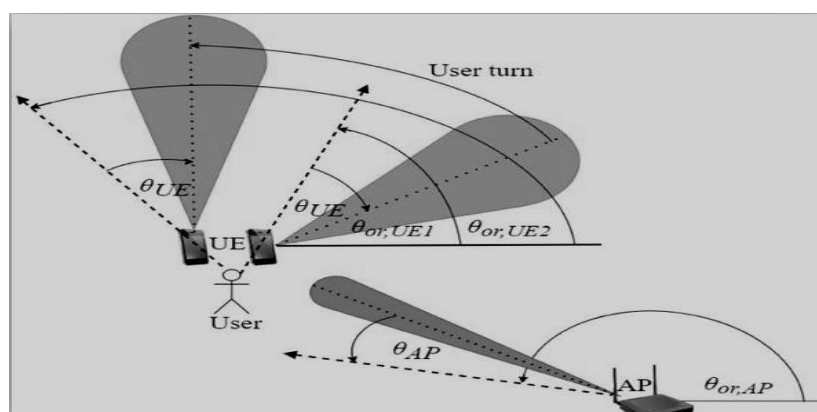


Fig. 1. AI-based beam tracking process in 5G and Beyond Networks. The diagram illustrates user mobility and its impact on beam orientation adjustments at both the user equipment (UE) and the access point (AP), ensuring optimal signal alignment.

1. High Path Loss: mmWave and THz signals experience significant attenuation over long distances, requiring precise beam alignment.

2. Mobility Issues: Moving users, vehicles, and drones cause frequent signal disruptions, necessitating real-time tracking adjustments.

3. Environmental Interference: Weather conditions, obstacles, and multipath fading affect signal strength and reliability.

1. Machine Learning (ML) Algorithms: Supervised and reinforcement learning techniques predict optimal beam alignment based on real-time data.

2. Deep Learning (DL) Networks: Neural networks process vast datasets to enhance beam prediction and dynamic tracking.

3. Reinforcement Learning (RL) Approaches: AI models learn from network feedback, continuously improving beamforming efficiency.

The integration of AI with edge computing and quantum machine learning could revolutionize beam tracking in 6G networks. Future research should focus on developing energy-efficient AI models, improving dataset quality, and enhancing real-time adaptability to extreme network conditions.

AI-driven beam tracking is a transformative approach for optimizing wireless networks, ensuring stable communication in 5G and beyond. By addressing mobility, environmental, and path loss challenges, AI significantly enhances beamforming efficiency and network reliability.

References

1. 3GPP, '5G Millimeter Wave Transmission Challenges', Technical Report, 2023.
2. ITU, 'Free Space Optics for Next-Generation Wireless Networks', White Paper, 2022.
3. IEEE Xplore, 'AI-Based Beam Tracking for 5G Networks: Challenges and Opportunities', 2021.
4. K. R. Raman and A. Gupta, 'Performance Analysis of Hybrid FSO-RF Communication Systems', IEEE Photonics Journal, vol. 14, no. 3, pp. 1-10, 2022.
5. M. Uysal, S. Hranilovic, and J. Cheng, 'Free-Space Optical Communication: Theory, Practice, and Future Trends', IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 3, pp. 40-46, 2021.
6. H. Kaushal and G. Kaddoum, 'Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB', CRC Press, 2017.
7. Alkhateeb, G. Lee, and R. W. Heath, 'Hybrid Beamforming for 5G Millimeter Wave Systems Using Machine Learning', IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 37, no. 10, pp. 2207-2220, 2019.
8. J. Barry, J. Kahn, E. Lee, and D. Messerschmitt, 'Wireless Infrared Communications', Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.
9. S. Arnon, 'Advanced Optical Wireless Communication Systems', Cambridge University Press, 2012.

IV ШЎБА. МУҚОБИЛ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

p-n O'TISHLI QUYOSH FOTOELEMENTNING SAMARADORLIGIGA QIZIGAN ZARYAD TASHUVCHILARNING TA'SIRI

G.Gulyamov, G.N.Majidova*, M.A. Xoliqova

Namangan davlat texnika universiteti,

O'zbekiston, 160103, Namangan, Islom Karimov ko'cha 12 uy,

m.gulnoza.1985@gmail.com

Hozirda p-n o'tishli quyosh fotoelementlarining o'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlar ta'sirida samaradorligini oshirish bo'yicha dunyoda olib borilayotgan tadqiqotlar yangi imkoniyatlar va texnologiyalarni kashf qilishga qaratilgan. O'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlar quyosh fotoelementlarining samaradorligini oshirishda yangi yondashuvlar va texnikalarni taklif qiladi.

O'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlarning fotovoltaiik xususiyatlarga ta'siri quyosh fotoelementlarining optik absorpsiya va elektron harakatini ta'sir etish imkonini beradi. Tadqiqotchilar bu to'lqinlar yordamida fotoelementlarning energiya yutilishini va samaradorligini oshirish uchun yangi texnologiyalar ishlab chiqishmoqda.

Tadqiqotchilar o'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlarning fotovoltaiik qurilmalarga ta'sirini sinchiklab o'rganishmoqda. O'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlar yordamida p-n o'tishlarining optik va elektr xususiyatlarini o'zgartirish mumkin. Quyosh fotoelementlari yanada yuqori samaradorlikka erishishi bugungi kunda juda dolzarb hisoblanadi.

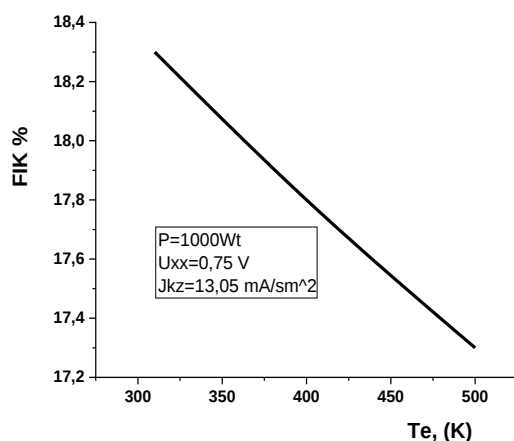
O'ta yuqori chastotali mikroto'lqinlar ta'sirida p-n o'tishli quyosh fotoelementlarining samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar fotovoltaiik texnologiyalarni yangi bosqichga olib chiqishda katta ahamiyatga ega. Mikroto'lqinlar yordamida energiya o'tkazish, fotoelektrik effekti kuchaytirish, va yangi materiallar bilan ishlash, quyosh energiyasidan foydalanish samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Bu sohada olib borilayotgan ishlanmalar ilgari surilgan texnologiyalarni yanada samarali qilish imkoniyatlarini yaratadi.

Biz esa ushbu ishimizda p-n o'tishli quyosh fotoelementining foydali ish ko'effitsientiga qizigan zaryad tashuvchilarning ta'sirini o'rganib chiqdik

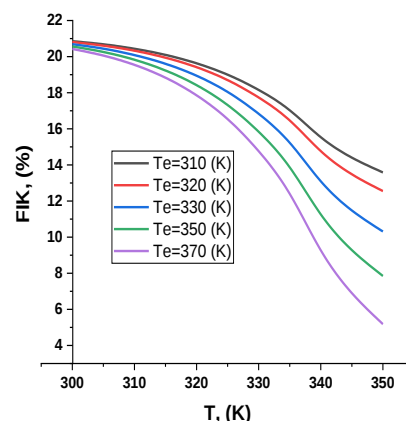
p-n o'tishli quyosh fotoelementining foydali ish ko'effitsientini (1) ifoda orqali hisoblaymiz.

$$\eta = \frac{J \cdot U}{P} = \frac{J_m U_m}{P}, \quad (1)$$

Bu yerda P – fotoelementda yutilayotgan quyosh energiyasining quvvati, J_m – maksimal quvvatga to'g'ri keluvchi tok kuchi (1) ifodaga ham mavjud tajribalarda olingan sonli qiymatlarni qo'yib grafiklarni olganimizda, FIK ni qizigan elektronning temperaturasiga bog'liqligi turli holatda ko'rinishi hosil bo'ldi (1-rasm).



a) $T_0=300K$ $T=310K$ $T_e=310...500K$



b) $T_0=300K$ $T_e=310...370K$

1 –rasm. FIK va qizigan elektronlar harorati orasidagi bog‘lanish grafigi

Grafikdan ko‘rinadiki panjara haroratini oshirish yo‘li bilan foydali ish ko‘effitsientini kamaytirish, aksincha haroratni kamaytirish esa FIK oshirish mumkin ekan.

Harorat ko‘tarilganda rekombinatsiya toki ortadi, to‘yinish toki ortadi. To‘yinish tokining ortishi dioddagi to‘g‘ri tokni ortishiga va oqibatda volt- amper xarakteristikani musbat kuchlanishlar uchun yuqoriga ko‘tarilishiga sabab bo‘ladi.

Elektron kovak gazining qizishi ham kristall panjara haroratini ko‘tarilishi rekombinatsiya toklari ortishiga va buning oqibatida to‘ldirish ko‘effitsientini kamayishiga olib keladi. Bu o‘z navbatida quyosh fotoelementining foydali ish ko‘effitsienti kamayishiga sabab bo‘la oladi.

p-n o‘tishli dioddagi rekombinatsiya toklarining ortishiga olib keluvchi har qanday jarayon foydali ish ko‘effitsientini kamayishiga sabab bo‘la oladi.

p-n o‘tishli quyosh elementi effektivligining kamayishini fizik mohiyati qo‘yidagicha: elektron va kovaklar qiziganda rekombinatsiya toklari ortadi. Rekombinatsiya tokining ishorasi fototokning ishorasiga teskari. Fototok yorug‘lik yordamida generatsiya tokini ortiradi. Generatsiya toki bilan rekombinatsiya toklari qarama-qarshi bo‘lganligi sababli elektron va kovaklarning qizishlari natijaviy tokni kamaytiradi. Oqibatda quyosh fotoelementining foydali ish ko‘effitsienti kamayadi.

ADABIYOTLAR

1. Arjvadhara.P.Ali, S.M.Chitralkha.J., Analysis of solar PV cell performance with changing irradiance and temperature // Int.J.Eng.Comput. Sci 2, 214-220, 2013
2. Fesharaki.V.J, Dehghani.M,Fesharaki.J.J. The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency.In:Proceedings of the 1st International conference on Emerging Trends in Energy Conservation -ETEC // Tehran,Iran,November 20-22, 2011
3. Sabry.M,Ghitas.A.E. Influence of temperature on methods for determining Silicon solar cell series resistance // J. Sol. Energy Eng.129,331-335, 2008
4. Arjvadhara.P.Ali, S.M.Chitralkha.J., Analysis of solar PV cell performance with changing irradiance and temperature // Int.J.Eng.Comput. Sci 2, 214-220, 2013
5. Fesharaki.V.J, Dehghani.M,Fesharaki.J.J // The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency.In:Proceedings of the 1st International conference on Emerging Trends in Energy Conservation -ETEC // Tehran,Iran,November 20-22, 2011

6. Sabry.M,Ghitas.A.E. Influence of temperature on methods for determining Silicon solar cell series resistance // J. Sol. Energy Eng.129,331-335, 2008
7. Singh.P,Ravindra.N.M, Temperature dependence of solar cell performance –an analysis //, Sol.Energy Mater. Sol.Cells 101,36-45, 2012
8. Mengjin Yang, Yuanyuan Zhou, Yining Zeng and other, Square-Centimeter Solution- Planar CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells with Efficiency Eceeding15 // Adv Mater, 2015, 28 september
9. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников «Физика полупроводников», Наука, М.1977.
10. G.Gulyamov, A.G.Gulyamov. On the tensoensitivity of p-n junction under illumination // Semiconductors,2015, vol.49, pp 819-822
11. Gulyamov, G. N. Majidova, F. R. Mukhitdinova, A. X. Suvanov, Effect of magnetic field on photoelectric characteristics of p-n junction diode // *Journal of Optoelectronics laser*. 2022. Vol.41. Iss. 9. pp. 451-462.
12. Gulyamov G., Majidova G. N., Influence of electron and phonon heating on the characteristics of solar photocells // *Romanian journal of physics*. 2023. Vol.68. No. 3-4. pp.110-115.
13. Gulyamov G., Majidova G.N., Muhitdinova F.R Quyosh fotoelementining xarakteristikalarining tashqi ta'sirlarga sezgirligi // *Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi*. 2022. №3. 3-6 betlar. (01.00.00; №14)
14. Gulyamov G. Majidova G.N., Muxitdinova F.R., Mamarizaeva S.O. Fotoelement volt-amper xarakteristikalariga elektromagnit to'liqning ta'siri // *Fan va Jamiyat ilmiy-uslubiy jurnal*. 2022. №2 15-17 betlar.

FOTOELEKTRIK MODULGA SALBIY TASIRLARIDAN OQILONA FOYDALANISH VA BOSHQARISH TEXNOLOGIYASI

K.A. Djumamuratov ^{1,*}, O.F. Tukfatullin ¹, S.A. Daminov ¹, B.N. Butunbaev ²

¹M. Ulug'bek nomidagi O'zMU huzuridagi yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ITI,
O'zbekiston 100057, Toshkent sh., Янги Алмазар, 20

²O'zR FA Fizika-texnika instituti "Fizika – Quyosh" IICHB,
O'zbekiston 100084, Toshkent sh., Chingiza Aymatov, 2B

^{*}djumamuratovkomekbay@gmail.com

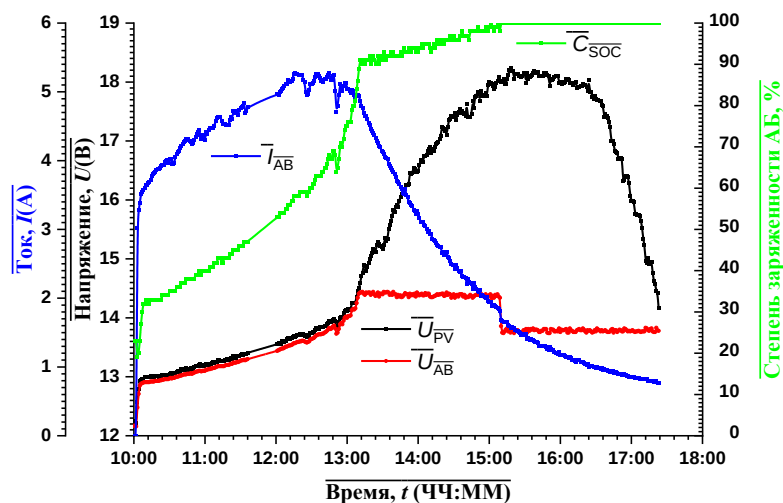
Elektr energiyasi va issiqlik energiyasi ishlab chiqarishda chiqindilarni kamaytirishga hissa qo'shish uchun ba'zi mamlakatlar tabiiy yoqilg'idan foydalanishni kamaytirish majburiyatini oldilar, shuning uchun yanada samarali texnologiyalar va quyosh energiyasi kabi qayta tiklanuvchi manbalardan foydalanish yo'lga qo'yilmoqda. Quyosh energiyasidan fotoelektrik modullar va issiqlik kollektorlar orqali, elektr yoki issiqlik energiyasini ishlab chiqarilmoqda [1]. Ushbu qurilmalar energiya sarfini kamaytirish, elektr energiyasi, maishiy issiq suv va isitish zarurati bo'lgan joylarini ta'minlash uchun binolarga o'rnatilishi mumkin.

Mujassamlangan fotoissiqlik aylantirgich (FIA) – bu quyosh nuri energiyasini elektr energiyasiga aylantirish, uni saqlash, ishlab chiqarilgan energiyani invertatsiya qilish yoki istemol uchun uzatishgacha bo'lgan bir-biriga bog'langan elektron qurilmalar ketma-ketligini o'z ichiga olgan energiya tizimi.

So'ngi paytlari olimlar tomonidan quyosh fotoelektrik modullarining samaradorligin oshirish, tan-narxini kamaytirish, hamda ularning chiqish energetik parametrlariga tashqi omillarning tasirlarini o'rganish katta ahamiyat kasb etmoqda [2]. Ma'lumot o'rnida quyosh fotoelektrik modullarini issiq kontientlarda sinovdan o'tkazganda, harorat oshishi natijasida ular tomonidan ishlab chiqariladigan quvvatning pasayishini kamaytirish va sovutish natijasida energiya samaradorligin oshirish, hamda quruq iqlim sharoitlarida samarali ishlay oladigan fotoelektrik tizimlarning yangi konstruksiyalarini ishlab chiqish olimlar oldida turgan asosiy vazifalardan hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan elektr va past quvvatli issiqlik energiyasini ishlab chiqarish uchun kombinatsiyalashgan (mujassamlangan) tizimini ishlab chiqildi va sinovlardan o'tkazilmoqda.

Atrof-muhit sharoitlari FEM parametrlari va xususiyatlariga ta'sirini etarli darajada baholash uchun, birinchi navbatda, uzoq vaqt davomida FEMlarning tarkibiy qismi bo'lgan quyosh elementlarining (QE) isish darajasi to'g'risida ishonchli ma'lumotlarga ega bo'lish zarur [3]. Masalan, kunning kunduzgi qismi davomida FEMlarning isishi va sovushi dinamikasini aniqlash. Ushbu ma'lumotlar, nafaqat QElarining qanchalik isishini aniqlashga yordam beradi, balki mujassamlangan fotoissiqlik aylantirgich (FIA)da quyosh energiyaning bir holat boshqa bir holatga o'tish jarayonidagi issiqlikni yo'qotish sabablarini aniqlash imkonini beradi.

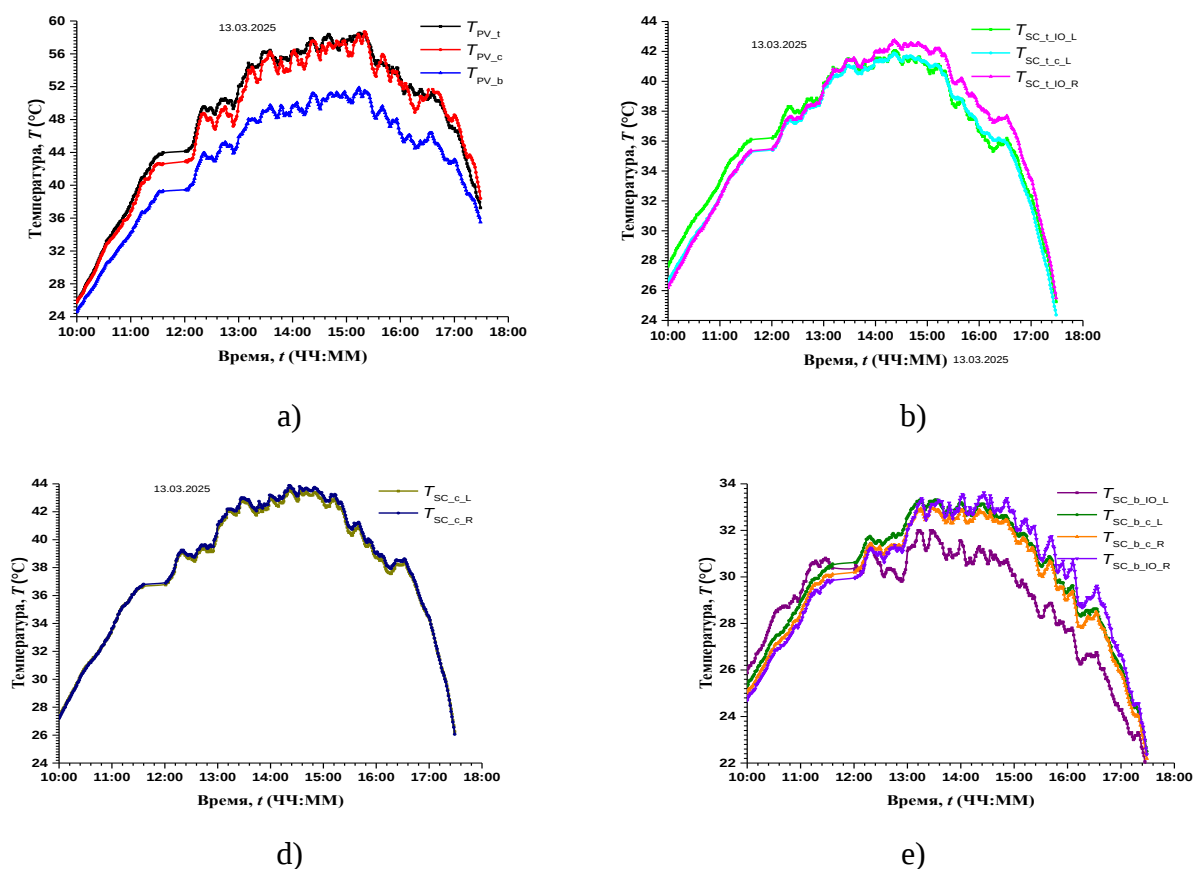
Tajribamiz 100 Vt li fotoelektrik modulni har daqiqada volt-ampere va harorat xarakteristikallari soat 10:00 dan 17:22 gacha bo'lgan oraliqda kuzatildi (1-rasm). Tadqiqotimizda, kun davomida eng yuqori ko'rsatgichga soat 12:20da, eng yuqori quvvat 73,6 Vt atrofida bo'ldi, kun davomida o'rtacha quvvat 60,46 Vt ni tashkil etdi. Eng yuqori quvvat soat 12:00 dan 13:00 gach bo'lgan oraliqda kuzatildi.



1-rasm. FEM va AB larning volt-ampere va harorat xarakteristikallari
[2025 yil 13-mart]

FEM harorati va FIAdagi havo haroratini bir vaqtning o'zida o'lchash maqsadida, haroratni yangi avlod o'lchash tizimining ko'p kanalli (o'n to'rt kanal) qurilmasidan foydalanildi. Qurilma - 55 dan +125 °C gacha bo'lgan harorat oralig'ida keng kuzatuvni ta'minlaydi. Datchiklar sifatida zanglamaydigan po'latdan yasalgan germetik korpusdagi DS18B20 raqamli harorat datchiklari ishlatilgan.

FEMdagi harorat taqsimlanishini aniqlash maqsadida orqa yuzasiga 3 ta harorat datchigi va FIA qurulmasi oldi yuzasiga 9 ta ya'niy yuqori qismi 3 ta, markaziy qismiga 2 ta hamda quyi qismiga 4 ta harorat datchigi o'rnatildi. Olingan natijalar 2 – rasmda ko'rsatilgan.



3- rasm. FEMning 3 nuqtali va FIA ning 9 nuqtali harorat xarakteristikasi [2025 yil 13-mart]: a – FEMning 3 ta nuqtadagi harorati; b – FIAdagi yuqori 3 ta nuqtadagi havo harorati; d – FIAdagi markaziy 2 ta nuqtadagi havo harorati, e – FIAdagi quyi 4 ta nuqtadagi havo haroratlari.

Kun davomida FEMning o'rtacha harorati $46,64^{\circ}\text{C}$ atrofida, soat 13:35 da eng yuqori harorat taxminan 56°C kuzatildi. FIA qurulmasining yuqori va quyi qismlaridagi haroratlar farqi 10°C ga farq qilganini ko'rsatdi, bunda FEM haroratining yuqori qismiga issiq havo oqimi ko'tarilib harorat oshishi natijasida modul tomonidan ishlab chiqariladigan quvvatning pasayishiga olib keldi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. E.B. Agyekum, V.I. Velkin, Optimization and techno-economic assessment of concentrated solar power (CSP) in South-Western Africa // a case study on Ghana, Sustain. Energy Technol. Assess. 40 (2020) 100763.
2. E. Skoplaki, J.A. Palyvos, On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance // A review of efficiency/power correlations, Sol. Energy 83 (2009) 614–624.
3. К.А. Джумамуратов, О.Ф. Тукфатуллин, А.И. Маматов, С.Ш. Мухитдинов. Методика дистанционного измерения температуры фотоэлектрического модуля // В кн. «Сборник трудов II Республиканской научной конференции молодых учёных и студентов-физиков (РНКМУСФ–II)» (Ташкент, Узбекистан, 20–21 мая 2022 г.), сс. 149–152.

**Ru ASOSIDAGI SEZGIR YUPQA QATLAMLI QUYOSH ELEMENTLARI
FOTOANODI UCHUN FOTOELEKTRIK KATTALIKLAR**

Y.N. Sharibayev¹, Q.A. Ergashov¹, B. S. Fazliddinov^{2,*}

¹Namangan muhandislik-texnologiya instituti,

²Namangan davlat iniversiteti.

[*saloxiddinfazliddinov9@gmail.com](mailto:saloxiddinfazliddinov9@gmail.com)

Ushbu tadqiqotda, yuqori chastotalarda (17-108 kHz) mexanik tebranishlarning TiO₂ (titan ikki oksidi) relefini o'zgartirishga ta'siri o'rganilgan. TiO₂ ning fotosensitivlik va elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlarining oshishi, ushbu tizimlarning quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish jarayonidagi samaradorligini yaxshilashga qaratilgan. Tadqiqot orqali mexanik tebranishlarning TiO₂ ning ichki tuzilishi va elektron o'tkazuvchanligiga ta'siri aniqlangan bo'lib, bu natijalar kelajakdagi yuqori samaradorlikka ega fotoanodli tizimlar yaratish uchun yangi imkoniyatlar ochishi kutilmoqda. Tajriba natijalari quyosh energetika sohasida innovatsion yechimlar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Titanium dioksid (TiO₂), yupqa qatlamli quyosh elementlari, fotoelektrik xususiyatlar, quyosh energiyasi, nanostrukturalar, energiya konversiyasi, materiallar texnologiyasi.

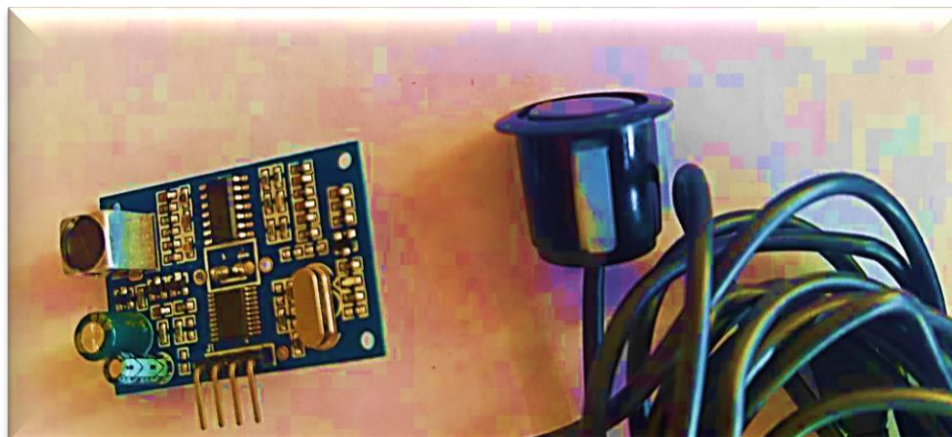
Quyosh energiyasi jahon bo'ylab energiya manbai sifatida o'zining tejamkorligi, barqarorligi va ekologik tozaligi bilan ajralib turadi. Quyosh energisini jamlash va uni elektr energiyasiga aylantirish jarayonida fotoanodli tizimlar muhim ahamiyatga ega. Ushbu tizimlar, odatda, fotoanod va elektrolitlar o'rtasida elektronlarni o'tkazish jarayonini amalga oshiradi. Bunday tizimlarda TiO₂ (titanium oksidi) kabi yorug'likga nisbatan sezgir moddalar rol o'ynaydi, chunki u quyosh nurini samarali to'playdi va uni elektr energiyasiga aylantirishda sabab bo'ladi. yupqa yarimo'tkazgich qatlam-TiO₂ va Ru (II) aralashma tarkibli quyosh elementlarini rivojlantirish uchun turli chastotali tebranishlarni qo'llab ijobiy natijalarni qidirish lozimdir.

Maqsadga muvofiq namuna tayyorlash uchun zarur materiallar va tajriba jihozlari FTO (Fluor-doped Tin Oxide) va ITO (Indium Tin Oxide): Ikkala material ham yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega va quyosh elementlari uchun mos keladi[1]. TiO₂: Asosiy fotosensitizer sifatida ishlatiladi. Etanol: TiO₂ dispers qatlam tayyorlashda suyultiruvchi sifatida foydalaniladi. Mufel pech: TiO₂ qatlamini tayyorlash va quritish maqsadida ishlatiladi[2]. Chastotani generatori: Yuqori chastotali mexanik tebranishlar yaratish uchun foydalaniladi. Spirtlampasi: o'ta yuqori haroratli ishlov berish jarayonlarida foydalaniladi.

Bu tadqiqot ishimizda yuqori chastotalar, ya'ni 17-108 kHz oraliq chastotalarga ega mexanik tebranishlarning TiO₂ relefini o'zgartirish imkoniyati ko'rib chiqildi. Mexanik tebranishlar materialning aylanish va deformatsiya kabi jarayonlarda energiya almashinuvi va elektron o'tkazuvchanligini o'zgartirishda muhim rol o'ynaydi[3]. TiO₂ ning elektr xususiyatlari va yoritilishdan keyingi holati tuzilgan mexanik shakllanishlar bilan bog'liq bo'lgan xususiyatlardir. Shuning uchun, mexanik tebranishlar yordamida TiO₂ ning relefi va elektr xususiyatlarini o'zgartirish natijasida yuksakan samaradorlikka erishish imkoniyati bor.

Mexanik tebranishlar ta'siri ostida fotogeneratsiya qatlamini vijudga keltirishning nazariy asoslarini quyidagicha tushuntirish mumkin: TiO₂ ning elektr xususiyatlari: tita ikki oksidi TiO₂, ko'p qirrali material sifatida kimyoviy barqarorligi va ekologik havfsizligi bilan mashhurdir[4]. TiO₂ moddasi u o'ziga xos elektron qobiqlar tuzilmasiga ega bo'lib, u UV

diapazonida undan yuqori energiya sohalarida ko'proq elektronlar chiqarishi adabiyotlardan ma'lumdir. Bu xususiyatlar tezkor energetik holat o'zgarishlarini amalga oshirish imkonini beradi.

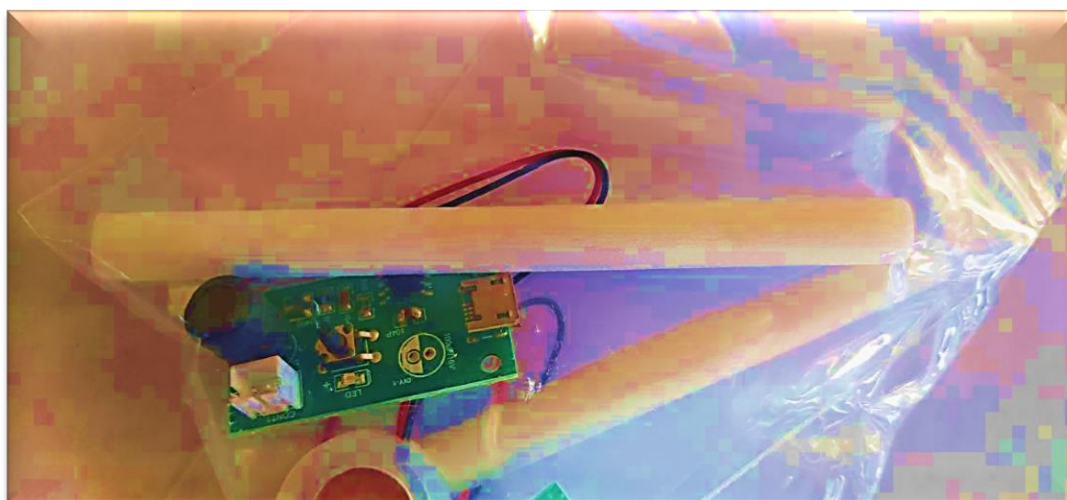


1-rasm. Ultratovush intervali uchun to'liqin manbai generatori va dinamikasi

Yuqori chastotalardan kelib chiqqan mexanik tebranishlar TiO_2 ning kristall tuzilishini o'zgartirishi va elektr o'tkazuvchanligini yaxshilashi mumkin. Mexanik tebranishlar energiyaning yuklanishi va elektronlarni ko'tarish jarayonlarida faollikni oshirishi mumkin, bu esa umumiy fotosensitivlikni oshiradi[5].

Ishni bajarish quyidagi ketmaketlikda olib boriladi. Dastlab FTO va ITO substratlari tayyorlanadi va tozalanadi. TiO_2 dispersiyasi etanolda tayyorlanadi va FTO/ITO substratlariga qo'llaniladi. Substratlar mufel pechida qattiqlashtirish jarayonidan o'tkaziladi. Mexanik tebranishlar chastotasi 108 kHz ga o'rnatiladi.

17 kHz dan 108 kHz gacha bo'lgan chastotalar bir qator muhim xususiyatlarga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Yuqori chastota mexanik tebranishlar materialning ichki tuzilmasiga yoki kristall panjarasiga tebranadigan kuchlarni beradi[6]. Bu esa, energiyani to'plash jarayonida TiO_2 ning elektrokimyoviy xususiyatlarini yanada yaxshilash imkoniyatini oshiradi. Masalan, mexanik tebranishlar yordamida TiO_2 ning passiv holatdan faol ga o'zgarishi, bu esa fotosezgirlikni ortirish jarayonlariga o'tishi uchun imkon berishi mumkin.



2-rasm. 17-108kHz diapazonli to'liqin manbai va metal difazorga ega dinamik qurilma

Shu bilan birga, relef ko'rinishlarni o'zgartirish bilan birga Ta'sir qiladigan mexanik tebranishlar materialning ichki holatini, shu jumladan elektr o'tkazuvchanligini, ion mexanizmlarini va mexanik kattaliklarini o'zgartiradi. Bu jarayonlar TiO_2 ning o'zgarishiga va o'zaro boshqa moddalar bilan ta'sirlardagi kattaliklar o'zgarishiga olib keladi va kelajakda quyosh elementlari samaradorligini oshirish uchun muhim hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda mexanik tebranishlarning TiO_2 transformatsiyasi ustida ta'siri va uning quyosh energiyasi yuqori samaradorlikdagi elementlarga ta'siri diqqat bilan o'rganiladi. Yana, tajriba jarayoniga kirishib, yuqori chastotali mexanik tebranishlarning qiyosiy tajribalarini yaratish va o'lchovlar olib borishni taklif etamiz[7].

Olingan TiO_2 qatlamining elektr xususiyatlari, faoliyat va samaradorlik ko'rsatkichlari tekshiriladi.

Yana, fotosenzitivlik va energiya konversiyasi ko'rsatkichlari o'lchanadi. Olingan natijalardan foydalanib TiO_2 qatlamining mexanik tebranishlarga qanday ta'sir ko'rsatishiga e'tibor qaratildi. Yuqori chastotalar ta'siri ostida TiO_2 ning elektr o'tkazuvchanligi va maqbul elektr xususiyatlari o'zgarishi kuzatiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. I. Usman, W. S. Arsyad, H. Herman, and R. Hidayat, Low carrier recombination in polysiloxane gel electrolyte for high-performance DSSC // *Mater. Res. Express*, vol. 10, no. 4, 2023, doi: 10.1088/2053-1591/acc5db.
2. E. Hariyono, N. Suprpto, I. Zakhiyah, and M. H. Ismail, "DEVELOPMENT OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS STEAM LEARNING PROTOTYPE FOR SUPPORTING EDUCATIONAL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT // *EUREKA, Phys. Eng.*, vol. 2023, no. 5, 2023, doi: 10.21303/2461-4262.2023.002928.
3. Q. A. Yousif and N. H. Haran, Fabrication of TiO_2 nanotubes via three-electrodes anodization technique under sound waves impact and use in dye-sensitized solar cell // *Egypt. J. Chem.*, vol. 64, no. 1, 2021, doi: 10.21608/EJCHEM.2020.28233.2596.
4. P. S. Basavarajappa, S. B. Patil, N. Ganganagappa, K. R. Reddy, A. V. Raghu, and C. V. Reddy, Recent progress in metal-doped TiO_2 , non-metal doped/codoped TiO_2 and TiO_2 nanostructured hybrids for enhanced photocatalysis // *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 13, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.07.241.
5. H. N. C. Dharma *et al.*, A Review of Titanium Dioxide (TiO_2)-Based Photocatalyst for Oilfield-Produced Water Treatment // 2022. doi: 10.3390/membranes12030345.
6. A. Al-Ali, A. Elwakil, A. Ahmad, and B. Maundy, "Design of a portable low-cost impedance analyzer," in *BIODEVICES 2017 - 10th International Conference on Biomedical Electronics and Devices, Proceedings; Part of 10th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, BIOSTEC 2017*, 2017. doi: 10.5220/0006121901040109.
7. F. Porté-Agel, M. Bastankhah, and S. Shamsoddin, Wind-Turbine and Wind-Farm Flows: A Review // *Boundary-Layer Meteorol.*, vol. 174, no. 1, 2020, doi: 10.1007/s10546-019-00473-0.

INFLUENCE OF 1 MEV ELECTRON IRRADIATION ON OUTPUT PARAMETERS OF THE *p*-TYPE SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS

O.K. Ataboev^{1,*}, A.S. Titov²

¹*Semiconductor Physics and Microelectronics Research Institute, Tashkent, Uzbekistan
20, Uzbekistan, 100057, Tashkent, st. Yangi Almazar,*

²*R&D Center of thin film technologies in Energetics,
28, Polytechnicheskaya street, Saint-Petersburg, 194064, Russia.*

**omonboy12@mail.ru*

Recently, the demand for renewable energy sources is increasing. The reason for this is its environmental friendliness, ease of use. Currently, silicon solar cell is the most common and most used cells among solar cells. Its share in the photovoltaics market is over 95%, and mono-crystalline technology still became the dominant technology in c-Si production [1].

Nowadays, scientists around the world have been paying considerable attention to the use of solar photovoltaic modules in space to provide electrical power for artificial spacecraft that primarily operate in low Earth orbit [2]. We know, the most widely used materials for space-based energy systems are multi-junction solar cells (SCs) based on gallium arsenide (GaAs). However, their production cost is significantly higher than that of silicon-based SCs, and the manufacturing technology for GaAs-based SCs is far more complex, involving multiple stages [3]. For this reason, silicon-based SCs are regaining attractiveness for low-orbit spacecraft (500–2000 km) due to their high conversion efficiency. Given the above, investigating the impact of charged particles (electrons) on the output parameters of heterojunction (HJT) solar cells has become one of the urgent tasks.

This study examines the influence of 1 MeV electron irradiation on the output parameters of p-type silicon heterojunction solar cells, including open-circuit voltage (V_{oc}), short-circuit current density (J_{sc}), fill factor (FF), and overall power conversion efficiency (PCE) in the range of fluence $5 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{15} \text{ e/cm}^2$.

To conduct the research, Si HJT SCs (Fig. 1) were created on single-crystal p-type Si substrates (boron-doped) grown by the Czochralski method, with an acceptor concentration of $N_a \geq 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, a thickness of $\sim 130 \text{ }\mu\text{m}$, crystallographic orientation (100) and with an initial charge carriers lifetime of $\tau_0 \geq 0.9 \text{ ms}$. In the single-crystal Si substrate, the oxygen concentration was $\sim 9 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, the carbon concentration was $\sim 7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, and the dislocation density was $\sim 600 \text{ cm}^2$, respectively. To fabricate the HJT SCs, thin ($\sim 5 \text{ nm}$) intrinsic (i-type) conductivity amorphous hydrogenated silicon (α -Si:H) layers were deposited on the front and rear surfaces of the single-crystal p-type Si substrate using RF PECVD (Radio Frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) technique. Subsequently, heavily doped n^+ -type α -Si:H and p^+ -type α -Si:H conductive layers ($\sim 10\text{--}15 \text{ nm}$ thick) were applied via the same method to form a p-n junction on the front side and built-in electric fields on the rear side. Next, Transparent and conductive Sn-doped In_2O_3 (ITO) layers were deposited on rear and front sides of photosensitive structure using radio- frequency magnetron ion sputtering, which also played a role of an anti-reflection coating. To collect photogenerated charge carriers from the front and rear surfaces of the heterostructure, silver (Ag) contacts were applied by screen printing at low temperature with subsequent curing. A schematic view of the bifacial Ag – ITO – n^+ - α -Si:H – i - α -Si:H – p -c-Si – i - α -Si:H – p^+ - α -Si:H – ITO – Ag HJT SC is shown in Fig. 1.

Fig. 2 shows the photo J-V curves of Si HJT SCs before and after electron irradiation with an energy of 1 MeV in the range of fluence $5 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{15} \text{ e/cm}^2$. The photo J-V curves of Si HJT SCs were studied using the solar radiation simulator SCIENCETECH UM-UHE-NL Solar Simulator using a Keithley SM2460 Source Meter, at the AM0 (136.7 mW/cm^2) solar spectrum at room temperature.

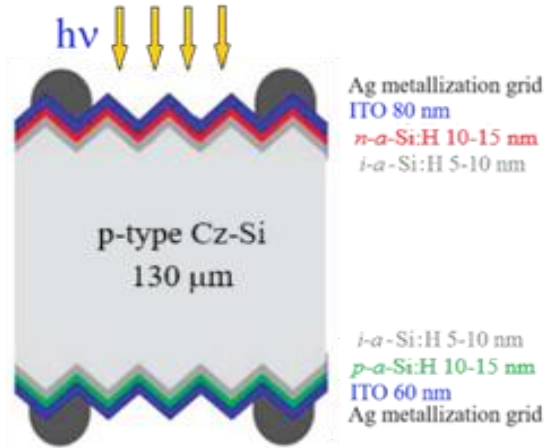


Fig. 1. A schematic view of the bifacial p-type Si HJT SC.

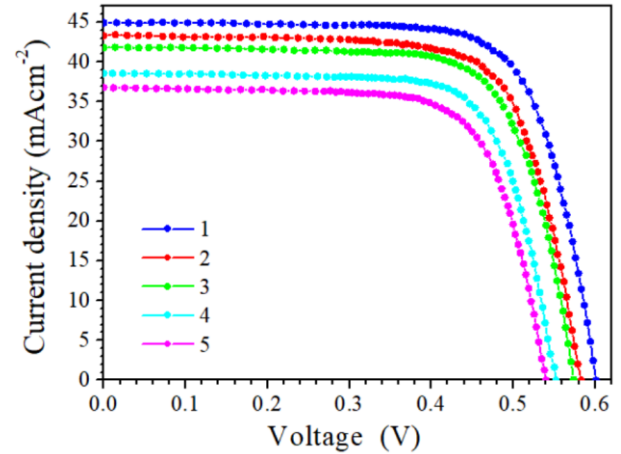


Fig. 2. Photo J-V curves of Si HJT SC before and after electron irradiation with an energy of 1 MeV at AM0 solar spectrum. Φ , e/cm^2 : 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^{13}$; 3 – $1 \cdot 10^{14}$; 4 – $5 \cdot 10^{14}$; 5 – $1 \cdot 10^{15}$.

As can be seen from Fig. 2, the photo J-V characteristics depend on the radiation dose, and the output parameters – such as short-circuit current density (J_{sc}), open-circuit voltage (V_{oc}), output maximum power and photoconversion efficiency – slightly degrade after electron irradiation.

At an irradiation fluence of $5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, the open-circuit voltage decreases by 2.67% from 0.6 V to 0.584 V, and the short-circuit current declines by approximately 3.3% from 44.9 mA/cm^2 to 43.4 mA/cm^2 . Further increasing the fluence to $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ results in a 3.67% degradation of the short-circuit current and an 1.7% reduction in the open-circuit voltage. When the fluence is raised to $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, the short-circuit current decreases by an additional 4.6%, and the open-circuit voltage diminishes by 2.1% compared to the previous fluence level ($5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$).

From the conducted experiments, it can be seen that the short-circuit current is significantly more sensitive to irradiation dose than the open-circuit voltage, decreasing more sharply as the dose increases. This indicates that electron irradiation primarily introduces radiation-induced defects in the bulk of monocrystalline silicon.

It is known that the short-circuit current depends on the diffusion length of minority charge carriers (L), which in turn is determined by minority charge carriers' lifetime. As the lifetime of minority charge carriers decreases following electron irradiation, the diffusion length L is reduced [4].

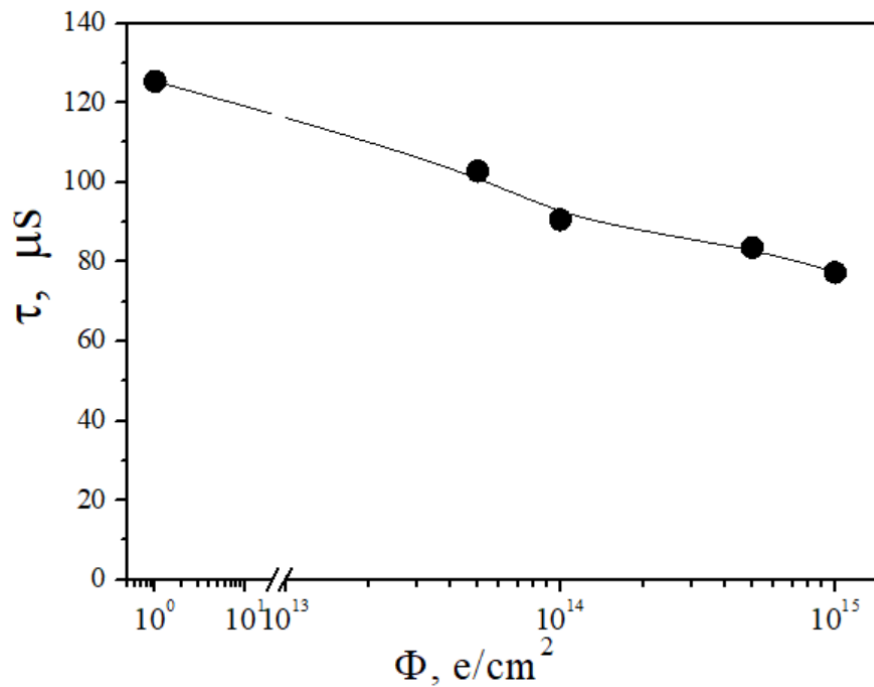


Fig. 3. Dependence of the minority charge carriers' (electrons) lifetime on the electron fluence.

Fig. 3 shows the dependence of the minority charge carriers' (electrons) lifetime on the electron fluence. It can be seen from Fig. 3 that with an increase in the value of the irradiation fluence from 0 to $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, the minority charge carriers' (electrons) lifetime value responsible for the deterioration of the photovoltaic characteristics of silicon HJT SCs decreases by 47%, from $\sim 125 \mu\text{s}$ to $\sim 65.5 \mu\text{s}$.

References

1. V.P. Kostylov, A.V. Sachenko, M. Evsigneev, I.O. Sokolovskyi, A.I. Shkrebti. Characterization and optimization of high-efficiency crustalline silicon solar cells: Impact of recombination in the space charge region and trap-assisted Auger exciton recombination // Journal of Applied Physics. 137, 023101, 2025
2. F. Dincer. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy // Renewable Sustainable Energy Review. (2011) 15(1), pp. 713–720.
3. Z.I. Alferov, V.M. Andreev, V.D. Rumyantsev. III–V heterostructures in photovoltaics // Berlin, SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 2007.
4. I.E. Panaiotti, E.I. Terukov. A study of the effect of radiation on recombination loss in heterojunction solar cells based on single-crystal silicon // Technical physics letters. (2019), 45(3), pp. 193-196.

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ФОТОДИОДОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

С.А. Даминов*, К.А. Джумамуратов, С.Ш. Мухитдинов

НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз им. М. Улугбека,
Узбекистан, 100057, Ташкент, ул. Янги Алмазар, 20

*daminovsa@gmail.com

Солнечная энергетика занимает важное место в структуре возобновляемых источников энергии, однако эффективность солнечных панелей во многом зависит от их ориентации относительно солнца. Для максимизации поглощения солнечного излучения применяются системы слежения за солнцем (солнечные трекеры), ключевым элементом которых являются датчики положения солнца. В последние годы особое внимание уделяется датчикам на основе фотодиодов благодаря их простоте, надежности и низкой стоимости.

Фотодиоды представляют собой полупроводниковые приборы, преобразующие световую энергию в электрический сигнал за счет фотогальванического эффекта. Их чувствительность к свету в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне делает их идеальными [1] для детекции солнечного излучения. Принцип работы датчика слежения за солнцем базируется на сравнении сигналов от нескольких фотодиодов, расположенных под разными углами относительно источника света. Разница в интенсивности света, падающего на каждый фотодиод, позволяет определить направление солнца с высокой точностью.

Типичная конструкция включает четыре фотодиода, размещенных на плоскостях четырехгранной пирамиды и работают в режиме короткого замыкания. Их фототоки затем преобразуются в напряжения, которые используются контроллером электроприводов для определения направления и величины поворота фотоэлектрического модуля. Для пояснения функционирования датчика слежения служит рисунок 1.

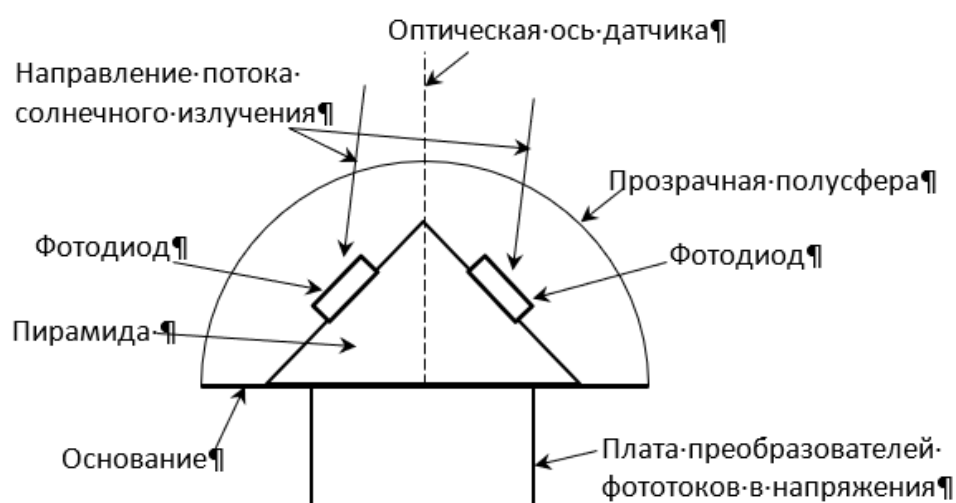


Рисунок 1. Датчик слежения за солнцем.

На данном рисунке изображена пара фотодиодов, предназначенная для определения отклонения направления потока солнечного излучения от оптической оси датчика в одной плоскости (например, в горизонтальной). Для определения отклонения в другой плоскости служит вторая пара фотодиодов, расположенных на двух других сторонах пирамиды, которые развернуты вокруг оптической оси датчика на 90° относительно сторон первой пары фотодиодов. Таким образом, одна пара фотодиодов служит для поворота фотоэлектрического модуля вправо-влево, а другая - для поворота модуля вверх-вниз. Указанная компоновка элементов датчика обеспечивает углы обзора в горизонтальной и вертикальной плоскостях в диапазоне более чем $\pm 90^\circ$, что особенно важно в режиме автоматического наведения на солнце.

Фототоки фотодиодов, преобразованные в напряжения на плате преобразователей, входящей в состав датчика, в аналоговой форме поступают в контроллер электроприводов (см. рис. 2). Здесь они преобразуются в цифровую форму, а их дальнейшая обработка производится программой встроенного микроконтроллера (MCU).

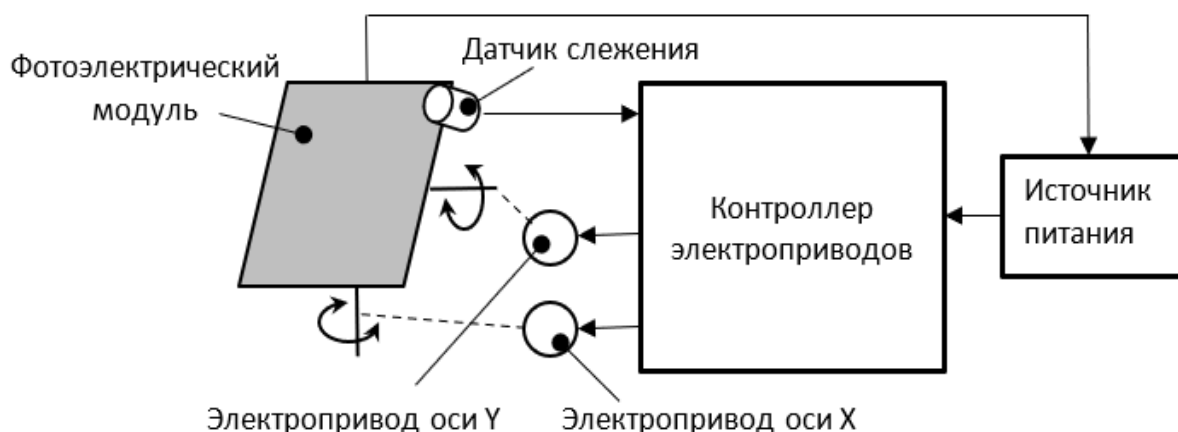


Рисунок 2. Состав двухосевой системы позиционирования фотоэлектрических модулей.

Измерение уровней сигналов с датчика слежения позволяет оценить плотность потока солнечного излучения (освещенность), падающего на поверхность фотоэлектрического модуля. Учет этого параметра позволяет, в значительной степени, устранить его влияние на угловую точность позиционирования. Кроме того, появляется возможность автоматического переключения режимов работы системы. Так, при низкой освещенности система переходит в режим ожидания с низким собственным потреблением, что особенно важно при ее питании от аккумулятора. Повышение освещенности переводит систему в режим наведения (поиск солнца) с последующим переходом в режим слежения. Критерии переходов из одного режима в другой определяются программой MCU и могут быть изменены для конкретного применения системы.

Конфигурация системы остается неизменной при работе с фотоэлектрическими модулями разной мощности, габаритов и массы. Изменена должна быть только механическая часть и ее электроприводы.

Литература

1. Zbigniew BIELECKI, Krzysztof ACHTENBERG, Małgorzata KOPYTKO Janusz MIKOŁAJCZYK, Jacek WOJTAS, Antoni ROGALSKI // Review of photodetectors characterization methods // BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, Vol. 70(2), 2022

NATRIY-ION AKKUMULAYATORI UCHUN QATTIQ UGLEROD STRUKTURASI SHAKLLANISHINI MODELLASHTIRISH

A.A. Abdullayev^{1,2,*}, J.V. Ochilov¹, U.B. Xalilov^{1,3}

¹A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
O'zbekiston, Do'rmon yo'li ko'chasi 33, 100125, Toshkent shahri,

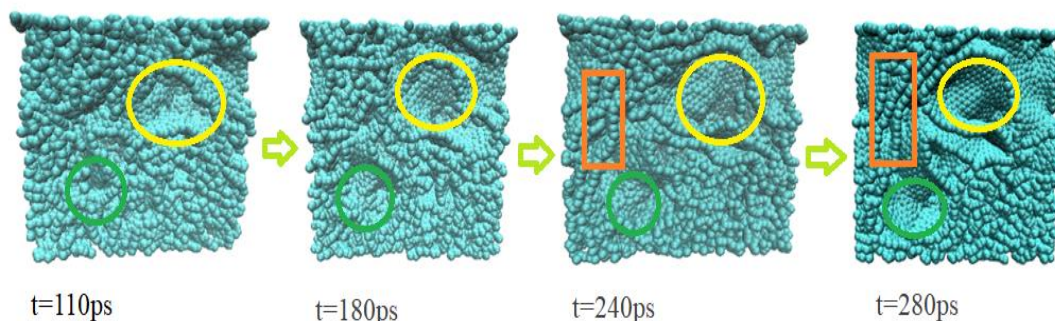
²Namangan Davlat Texnika Universiteti, O'zbekiston
O'zbekiston, Namangan viloyati, Namangan, Abidov, 7

³Antwerpen universiteti, Belgiya
Prinsstraat 13, 2000 Antwerpen,

*abdulqosimabdullayev19960814@gmail.com

So'nggi paytlarda Na elementining keng tarqalganligi va uni olishning nisbatan osonligi natriy-ion akkumulyatorlarini (NIA) ishlab chiqarishga bo'lgan talabni keskin oshirmoqda. Shunga qaramay, Na⁺ ni samarali saqlash uchun muqobil anod materialini ishlab chiqish hanuz dolzarb masala bo'lib turibdi [1]. Ushbu muammoni hal qilishda anod materiallari sifatida olinayotgan qattiq uglerod (QU) strukturasi tanlab shakllantirish, xususan undagi g'ovaklar va grafitik qatlamlarni selektiv boshqarish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Ushbu ishda QU ni atomar darajadagi strukturasi shakllantirish va o'rganish uchun molekulyar dinamika (MD) usulidan foydalanib, jarayonlarni modellashtirish LAMMPS dasturiy paketi yordamida amalga oshirildi. Strukturadagi C-C atomlari orasidagi bog'lanishlarni to'g'ri tasvirlash uchun ReaxFF potensialida Srinivasan tomonidan taklif etilgan parametrlar to'plami qo'llanildi [2].



1-rasm. QU dagi g'ovak (sariq va yashil) va grafit qatlamlarining (pushti) shakllanishi.

MD modellashtirishlarda shakllangan QU strukturasi 32000 dan ortiq C atomlari mavjud bo'lib, modelning zichligi 1.5 g/sm³ ekanligi aniqlandi. Bu qiymat adabiyotlarda keltirilgan eksperimental qattiq uglerodni zichligiga mos keladi [3]. Dastlab ma'lum bir haroratga ko'tarilgan

QU strukturasida sovutilish natijasida (sovutish tezligi 400 K/ps) g'ovak va grafitik qatlamlar hosil bo'la boshlaydi (1-rasm). Sovutish jarayonining tezligi QU dagi g'ovaklar o'lchami, grafitik qatlamlar va nuqsonlarni boshqarishda muhim rol o'ynashi aniqlandi. Natijalar shunga dalolat qiladiki, Na^+ ionlarini QU strukturada samarali saqlash uchun muhim bo'lgan g'ovaklar va qatlamlar hosil bo'lishini harorat tezligini o'zgartirish orqali boshqarish mumkin. Ushbu tadqiqot soha vakillariga NIA uchun QU ga asoslangan anod materialini selektiv olish imkoniyatlari bo'yicha tavsiyalar beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ding, J., et al., *Review of hybrid ion capacitors: from aqueous to lithium to sodium* // Chemical reviews, 2018. **118**(14): p. 6457-6498.
2. Srinivasan, S.G., A.C. Van Duin, and P. Ganesh, *Development of a ReaxFF potential for carbon condensed phases and its application to the thermal fragmentation of a large fullerene* // The Journal of Physical Chemistry A, 2015. **119**(4): p. 571-580.
3. Dou, X., et al., *Hard carbons for sodium-ion batteries: Structure, analysis, sustainability, and electrochemistry* // Materials Today, 2019. **23**: p. 87-104.

AKKUMULYATOR STANSIYALARINI QO'LLASH ORQALI FARG'ONA VODIYSINI ELEKTR ENERGIYA ISTE'MOLINI MUVOZANATLASH

J.F. O'lmasov

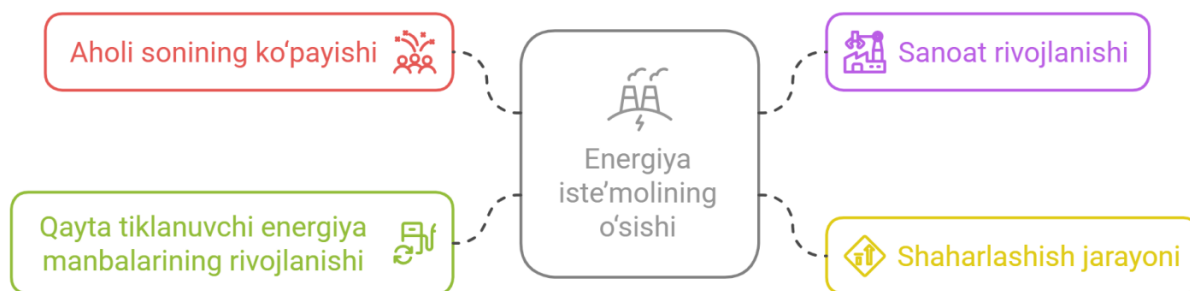
Farg'ona davlat texnika universiteti,
O'zbekiston, 150107, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi 86

[*olmasovj97@gmail.com](mailto:olmasovj97@gmail.com)

Quyosh energiyasidan samarali foydalanish zamonaviy energetika tizimlarida katta ahamiyat kasb etadi. Xususan, bugungi kunda Farg'ona viloyatida baland binolar soni ortib bormoqda. Viloyatning issiqlik va elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojini qondirish maqsadida ko'plab amaliy loyihalar amalga oshirilmoqda. Shuningdek, eksperimental tarzda nazariy konsepsiyalar amaliyotda sinovdan o'tkazilmoqda.

O'zbekistonda aholi soni va elektr energiyasi iste'moli tez sur'atlar bilan o'smoqda. Ayni paytda, mavjud elektr energiyasi ishlab chiqarish manbalari asosan issiqlik elektr stansiyalariga bog'liq bo'lib, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi past darajada qolmoqda. Bunday sharoitda elektr energiyasi ta'minotining barqarorligini ta'minlash va samaradorligini oshirish maqsadida akkumulyator stansiyalarini (**Battery Energy Storage Systems – BESS**) joriy qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasining 2035 yilgacha bo'lgan energetika rivojlanish strategiyasi Prezidentimiz Shavkat Mirziyoyev energetika sohasi bo'yicha yangi rejalariga asosan 2030-yilga borib O'zbekistonda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining jami iste'moldagi ulushi 54 foizga yetkazilishini kutilmoqda.



1 rasm. Energiya iste'moli o'sishining omillari va ta'sirlari

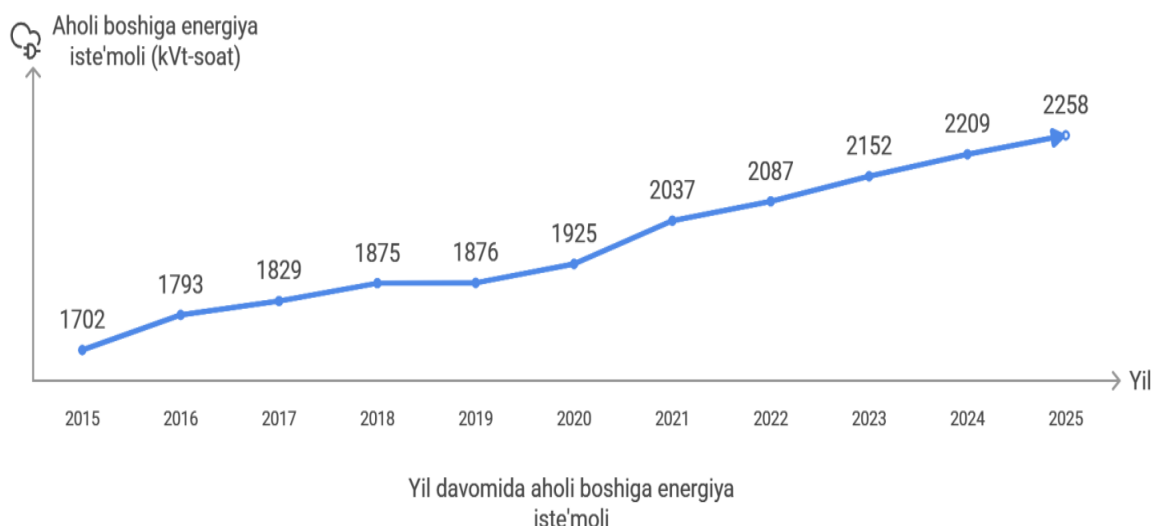
2030 – yilgacha umumiy qiymati 3,5 mlrd. Dollar va quvvati 3 GW dan ortiq bo'lgan 24 ta yirik energiya saqlash stansiyalari quriladi. Hozirgi kunda Farg'ona , Andijon va Namangan viloyatlarida energiya saqlash stansiyalari ishga tushurilmoqda. 2025 – yilda 1,8 GW li energiya saqlash stansiyalari ishga tushirilishi kutilmoqda.

2015-yilda O'zbekistonda 55,5 milliard kVt-soat elektr energiya ishlab chiqarilgan bo'lib, har bir aholi jon boshiga 1742 kVt-soat to'g'ri kelgan. 2016-yilda ushbu ko'rsatkich 59,0 milliard kVt-soatga yetib, jon boshiga 1844 kVt-soatni tashkil qilgan. 2017-yilda esa ishlab chiqarish 60,7 milliard kVt-soatga ko'tarilib, aholi jon boshiga 1888 kVt-soat elektr energiya to'g'ri kelgan. 2018-yilda mamlakat bo'yicha umumiy ishlab chiqarish 62,8 milliard kVt-soatga yetgan va jon boshiga 1944 kVt-soatni tashkil qilgan. 2019-yilda esa ishlab chiqarilgan energiya hajmi 63,6 milliard kVt-soatni, aholi jon boshiga 1960 kVt-soatni tashkil qilgan.

2020-yilda umumiy ishlab chiqarish hajmi 66,4 milliard kVt-soatga oshib, har bir aholi jon boshiga 2037 kVt-soat elektr energiya ajratilgan. 2021-yilda esa bu raqam mos ravishda 71,3 milliard kVt-soat va 2177 kVt-soatni tashkil etgan. 2022-yilda ishlab chiqarilgan energiya hajmi 74,3 milliard kVt-soatga yetib, aholi jon boshiga 2258 kVt-soat to'g'ri kelgan. 2023-yilda esa bu ko'rsatkich 78,0 milliard kVt-soatni tashkil etib, har bir fuqaro uchun 2364 kVt-soat elektr energiya yetkazib berilgan. 2024-yilda ishlab chiqarilgan energiya hajmi 81,29 milliard kVt-soatga oshgan va jon boshiga 2452 kVt-soat to'g'ri kelgan. 2025-yilda esa ushbu ko'rsatkich 84,4 milliard kVt-soatgacha yetishi kutilmoqda, bu esa har bir fuqaro uchun 2538 kVt-soatni tashkil qiladi.

2015-yildan 2025-yilgacha jon boshiga elektr energiya ta'minoti 1742 kVt-soat dan 2538 kVt-soat gacha oshgan. Yiliga o'rtacha 60-120 kVt-soat ortib bormoqda.

2025-yilda har bir aholi jon boshiga 2538 kVt-soat elektr energiya to'g'ri kelishi kutilmoqda. Bu tahlillar O'zbekistonda elektr energiya ishlab chiqarishning barqaror rivojlanayotganini va aholi jon boshiga ta'minotning doimiy oshib borayotganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, energiya tizimining barqarorligini ta'minlash va yuqori yuklama paytida uzluksizlikni saqlash uchun akkumulyator stansiyalarini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Kelajakda ushbu texnologiyaning keng qo'llanilishi va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi ortishi kutilmoqda.



2 rasm. Grafikda 10 yil davomida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining aholi jon boshiga iste'moli

BESS joriy etish orqali elektr tarmog'iga ta'siridagi afzaliklari:

1. **Energetik mustaqillikni oshirish** – Akkumulyator stansiyalari qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan ishlab chiqarilgan elektr energiyasini saqlash va zarur paytda tarmoqqa yetkazib berish imkonini beradi. Bu esa energetik mustaqillikni ta'minlash bilan birga, import qilingan yoqilg'iga bo'lgan qaramlikni kamaytiradi.
2. **Tizim barqarorligini ta'minlash** – Akkumulyator stansiyalari elektr energiyasi ishlab chiqarish va iste'mol qilish o'rtasidagi tafovutni muvozanatlashtirib, tarmoqdagi kuchlanish va quvvat yo'qotishlarni kamaytiradi. Natijada elektr ta'minoti yanada ishonchli bo'lib, uzilishlarning oldi olinadi.
3. **Energiya samaradorligini oshirish** – Ortiqcha ishlab chiqarilgan elektr energiyasini saqlash va uni talab yuqori bo'lgan davrda ishlatish orqali energiya tizimining samaradorligi oshiriladi. Bu esa elektr tarmoqlarining yuklanishini kamaytirib, tizimning ishlash muddatini uzaytiradi.

Markaziy osiyoda yagona bo'lgan Farg'ona viloyatining O'zbekiston tumanidagi o'zlashtirilmagan qir adirlikda elektr energiyasini saqlash tizimi qurib bitkazildi. Xitoylik sarmoyadorlar tomonidan loyihaga 144 million AQSH dollari miqdorida investitsiya kiritildi, buning uchun O'zbekiston Respublikasi Prezidenti barcha shart-sharoitlarni yaratib berdi. Mazkur loyiha xalq farovonligiga, xalqimizning roziligiga erishish yo'lidagi xayrli ishlarga xizmat qiladi.

BESS loyihasida 12 gektar maydonga 193 ta har biri (28 tonna) 2 MVt dan iborat elektr energiyasini to'playdigan batareyalar, 193 ta Invertor – o'zgarmas tokni o'zgaruvchan 220 V ga moslovchi qurilma, 24 ta har biri (33 tonna) 35 kV li transformator va 2 ta har biri 193 tonnali asosiy transformatorlar o'rnatildi.

Elektr manbaini tarqatish stansiyasidan BESS hududigacha 11 km. masofada yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyasini 39 ta temir tayanchlar o'rnatib tortib kelindi. BESS hududidagi qurilmalarga tabiat hodisalari zarar bermasligi uchun loyihada ko'rsatilgandek chaqmoq urishiga qarshi har biri yerdan 32 metrli balandlikda bo'lgan 8 ta yashin qaytargichlar o'rnatildi. 200 dona 3 metrli po'lat yerlatgich elektrodlari orqali yer ostiga o'rnatildi.



3 rasm “BESS” ning infratuzilma ko‘rinishi

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Allayev K.R. O‘zbekiston Respublikasida muqobil energiya manbalari samaradorligi potentsiali. Energiya va resurs tejash muammolari // № 4, 2015. Toshkent.
2. **Smart optimization in battery energy storage systems: An overview** Hui Song a,*, Chen Liu a, Ali Moradi Amani a, Mingchen Gu a, Mahdi Jalili a, Lasantha Meegahapola a, Xinghuo Yu a, George Dickeson
3. **Grid-connected battery energy storage system: a review on application and integration** Chunyang Zhao *, Peter Bach Andersen, Chresten Træholt, Seyedmostafa Hashemi

СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ НА ФАСАД ЗДАНИЯ

З.И.Жураева*, И.А.Юлдошев, И.Р.Жураев

*Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова,
Узбекистан, 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2*

** nauka-jir@mail.ru*

Постановлением Президента республики Узбекистан ПП-100 от 11 марта 2025 года “О мерах по кардинальному реформированию сферы обеспечения тепловой энергией жилых домов, зданий и сооружений, а также повышению энергоэффективности зданий” намечены задачи по размещению в домах установок возобновляемых источников энергии, солнечные панели, гелиоколлекторы и других видов энергоэффективных технологий [1]. С 1 июня 2025 года в Год охраны окружающей среды и “зеленой экономики” в новостройках и реконструируемых домах также намечен обязательный порядок установки солнечных панелей и водонагревателей [2]. В рамках выполнения намеченных задач по переходу к ресурсосберегающей модели экономики становится актуальным использование солнечных панелей и модулей перспективных технологий [3].

Производительность и эффективность работы солнечных фотоэлектрических модулей зависит от условий окружающей среды, от движения солнца, географической широты местности, угла наклона и ориентации модулей, от конструктивных параметров, технологии изготовления модулей и от ряда других факторов.

Для проектирования фотоэлектрических станций (ФЭС) и фотоэлектрических установок важно проводить предварительное прогнозирование энергетических показателей на этапе проектирования. Данные задачи упрощаются благодаря разработанным исследователями разных стран программным обеспечениям. В настоящее время широко пользуются следующие семь популярных программных пакетов, таких как HOMER PRO, PV F-Chart, SAM NREL (США), PVSyst (Швейцария), pvPlanner (Словакия), Solar Pro(Япония), RETscreen (Канада) [4]. Симуляция работы фотоэлектрических установок (ФЭУ) позволяет получить прогнозные данные энергетических параметров на этапе проектирования установок. В программном пакете PV Syst.V7.4.8 для географических условий г.Ташкента проведем симуляцию расчета энергетических параметров ФЭУ с установленной мощностью 1 кВт, соединенной в локальную электрическую сеть. При проектировании и расчете параметров ФЭУ для разных географических условий местности, удобнее использовать климатические базы данных METEONORM, NASA, Surface meteorology and Solar Energy, SARAH и ряд других [5]. По метео данным сайта Meteonorm 8.1 северная широта данной местности составляет 41,26°N, восточная долгота 69,22°E, высота над уровнем моря 426 м, альбедо - 0,20. Для интеграции модулей ФЭУ на фасад здания рассмотрим вариант вертикального монтажа под углом 90° к горизонту в южной ориентации. Расчеты производились для ФЭУ на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия в количестве десяти единиц, соединенных последовательно, общей мощностью 1 кВт. Проведен расчет коэффициента производительности и других параметров ФЭУ в зависимости от факторов окружающей среды. На рис.1 приведена динамика изменения PR-коэффициента производительности ФЭУ на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия при работе в течение года.

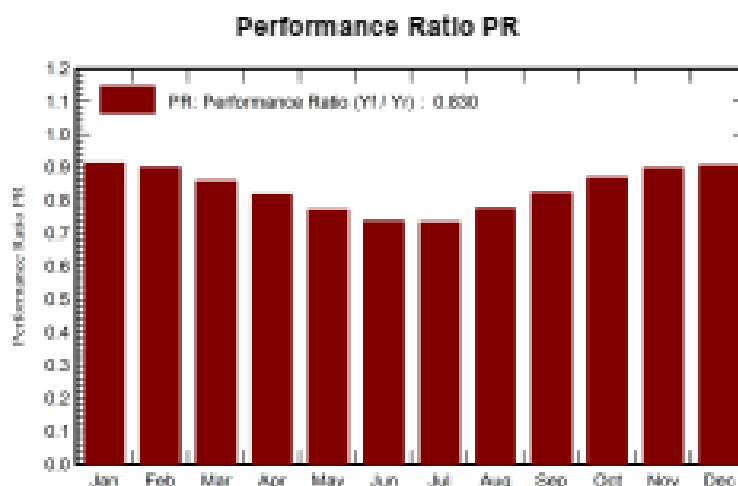


Рис.1.Динамика изменения коэффициента производительности

Результате симуляции работы ФЭУ приведем в таблице 1, данные по температуре окружающей среды, солнечной радиации и соответственно выработанная энергия массива модулей установки по месяцам года.

Таблица 1

Основные результаты энергетических параметров симуляции работы ФЭУ

Months	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	50,4	30,3	2,52	76,1	74,7	72,4	69,5	0,913
February	67,5	36,05	4,28	84	81,9	78,7	75,62	0,9
March	108,3	58,34	11,23	94,6	89,6	84,8	81,21	0,859
April	135,9	71,51	16,51	88,5	81,6	76,1	72,33	0,817
May	184,7	91,03	23,03	88,6	78,9	72,5	68,41	0,772
June	207,8	82,55	27,69	83,4	72,6	65,5	61,42	0,737
July	222,4	72,25	30,09	93,9	81,5	73	68,86	0,733
August	193,7	71,35	28,31	111,4	100,3	90,5	86,38	0,775
September	146,1	52,45	22,06	121,3	113,3	103,8	99,91	0,824
October	94,4	51,58	15,08	101,8	98,3	91,9	88,38	0,868
November	57,4	29,61	8,16	86,9	85,2	81,1	78	0,898
December	43	24,34	3,11	70,8	69,7	67,1	64,2	0,907
Year	1511,5	671,35	16,07	1101,3	1027,6	957,4	914,22	0,83

Расчетные данные показывают, что при вертикальном расположении модулей под углом наклона 90°, за счет низкого угла наклона солнца к горизонту в зимний период коэффициент производительности по использованию солнечной радиации выше, чем в другие сезоны года.

В расчетах учитывались потери в модулях, соединениях, инверторе, омические и другие системные электрические потери (рис.2).

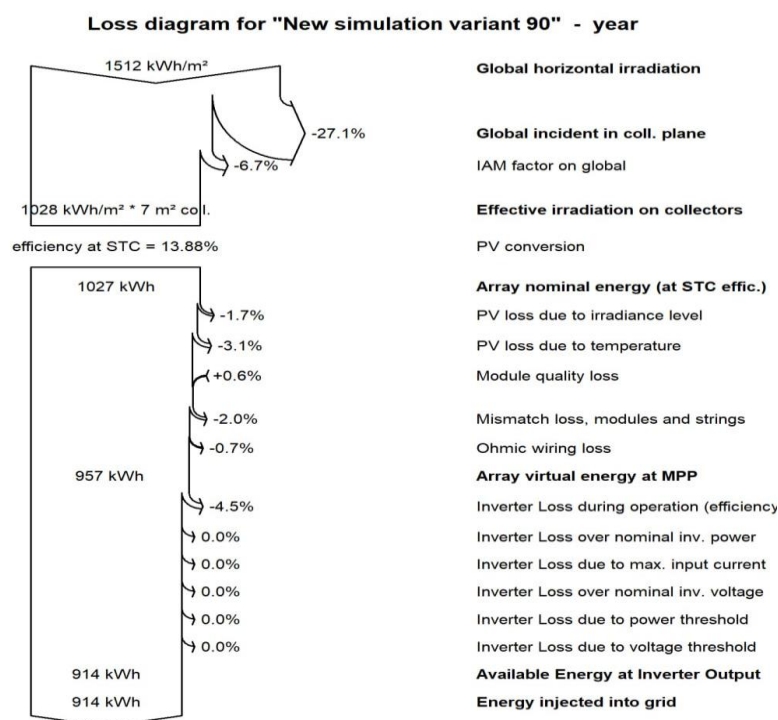


Рис.2. Диаграмма потерь в системе ФЭУ

Анализ потерь по диаграмме показывает, что наиболее значимыми потерями является потери с инсоляцией солнечной радиации, влияния температуры, потери в инверторе, а также в электрических соединениях и модулях.

Таким образом, программный пакет является удобным инструментом для симуляции расчета энергетических параметров фотоэлектрических модулей и установок при эксплуатации в разных регионах республики.

Литературы

3. Постановлением Президента республики Узбекистан ПП-100 от 11 марта 2025 года “О мерах по кардинальному реформированию сферы обеспечения тепловой энергией жилых домов, зданий и сооружений, а также повышению энергоэффективности зданий”.
4. <https://www.gazeta.uz/ru/2025/03/15/heat-supply-reform/>
5. <https://www.gazeta.uz/ru/2025/01/28/energy>.
6. <https://www.dsneq.com/info/7-most-popular-solar-pv-system-design-and-simulation-software>.
7. Абаев Н.Н., Нысанбаева А.С., Абиева Д.К. Климатические базы данных как источники актинометрической информации для изучения и использования солнечных ресурсов Казахстана // Вестник. Journal of Geography and Environmental Management. №4 (47) 2017.

QUYOSH ENERGIYASI BILAN ISHLAYDIGAN YORITISH TIZIMLARINI LOYIHALASH

M.Z. Axmadjonov

Fargona davlat texnika universiteti,

Uzbekiston, 150107, Farg'ona Shahar, Farg'ona Ko'chasi 86-Uy.,

*[*axmadjonovodilbek21@gmail.com](mailto:axmadjonovodilbek21@gmail.com)*

Ushbu maqolada quyosh energiyasidan samarali foydalanish orqali yoritish tizimlarini yaratish, ulardan to'g'ri foydalanish va loyihalash ishlari — bu energiya samaradorligini oshirish va ekologik toza energiya manbalaridan foydalanish maqsadida amalga oshiriladigan muhim jarayon. Ushbu jarayon quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi quyosh panellari (fotovoltaik tizimlar) o'rnatishni, ularga kerakli infratuzilmani loyihalashni va o'rnatishni o'z ichiga oladi.

Hozirgi vaqtda shahar, qishloq va boshqa markazlarda turli quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimlarini o'rnatish davr talabiga aylanib bormoqda. Ammo respublikamiz hududida bunday quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimini ishlab chiqaruvchi korxona mavjud emas. Shu nuqtayi nazardan katta o'lchamli quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimi qurilmasini loyihalash va ishlab chiqarish import o'rnini bosuvchi dolzarb masaladir. Bu yerda loyihalanadigan qurilmaning funksional imkoniyatlari loyihani bajarish uchun berilgan topshiriqqa asosan aniqlanadi.

Berilgan topshiriqqa asosan – qurilma quyidagi funksional imkoniyatlarga ega bo'lishi kerak:

- Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimi uchun quyosh paneli;
- Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimining quvvati yetarli darajada katta bo'lishi kerak;

Ushbu Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimi akkumulyator, inverter, ta'minlash manbasi va enegiya – tejamkor lampalardan loyihalanishi lozim;

Avtonom energiya manbasida ishlash imkoniyati bo'lishi kerak;

Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimini loyihalash uchun texnik shartlar.

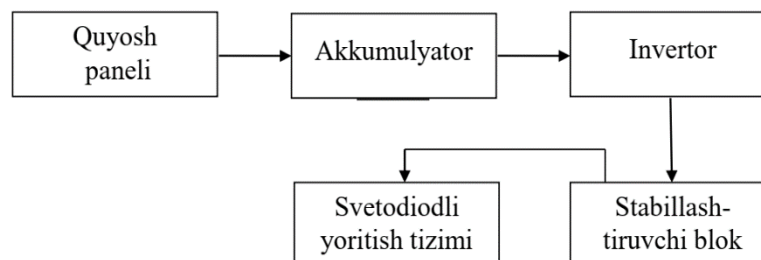
Loyihalanadigan qurilmaning texnik parametrlari ixtiyoriy ravishda belgilanadi.

Loyihalash lozim bo'lgan qurilma quyidagi texnik parametrlarga ega bo'lsin:

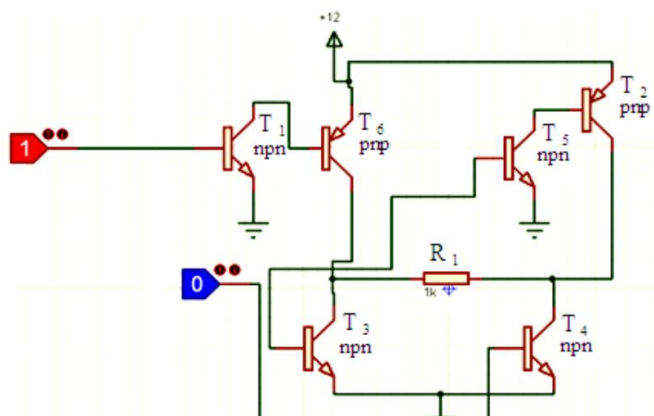
- Quyosh kollektori 12 V kuchlanish berish imkoniyati bo'lsin;
- Qurilma akkumulyatori 12 V kuchlanish va 75 A/s energiya quvvatli bo'lsin;
- Ushbu quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimi zamonaviy elementlar bazasida loyihalanishi lozim.

Qo'yilgan masalaning yechimi uchun zarur bo'lgan dasturiy vositalar tahlili. Bugungi kunda juda ko'plab avtomatlashtirilgan loyihalash tizimlari uchun dasturiy vositalar amalda qo'llanilmoqda. MAPLAB, MatCAD, MultiSim, OrCAD, PCAD va AutoCAD, WorcBench (amaliy dasturlarning xalqaro nomlanishi) kabilar. Bu dasturlar elektron qurilmalarni loyihalash bosqichlarining bir qisminigina, ya'ni, qurilmaning tarkibiy sxemasini tayyorlash yoki geometrik modellash qisminigina o'z ichiga oladilar. PROTEUS VSM dasturiy majmuasi esa, yuqorida eslatib o'tilgan barcha dasturlar vazifasini hamda ularga qo'shimcha mikroprotsessor va mikrokontrollerlarni dasturlash texnologiyasini ham o'z ichiga oladi.

Qurilmaning blok sxemasini loyihalash. 1-chizmada loyihalanayotgan qurilmaning blok sxemasi keltirilgan.



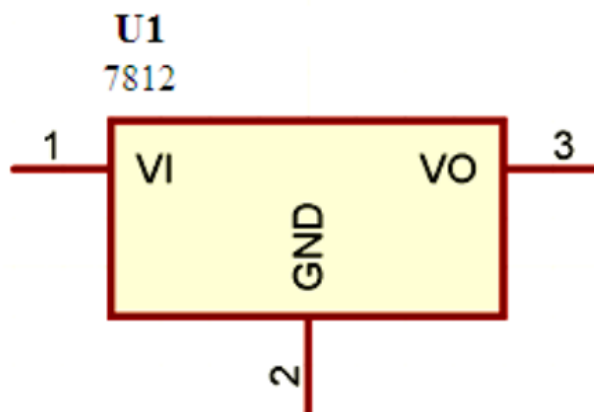
1-chizma. Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimining blok sxemasi



2-chizma. Invertor blogi. 1 – kirish qismi, T1, T3, T4, T5 – n-p-n o'tishli tranzistorlar, T2 , T6 – p-n-p o'tishli tranzistorlar, R1 – qarshilik

Stabillashtiruvchi blok. Yuqoridagi talablarga asosan, loyihalanayotgan quyosh energiyasi bilan ishlaydigan yoritish tizimi qurilmasi ta'minoti uchun 12 V kuchlanish berish lozim. Ta'minot manbayi quvvatini qurilmaning tarkibiy sxemasi loyihalangach aniqlash mumkin.

Doimiy 12 V kuchlanish beruvchi ushbu ta'minot manbayi akkumulyatorni zaryadlovchi qurilma orqali ta'minlanadi. Bu qurilma uchun 1 ta kuchlanish stabilizatori: 7812 mikrosxemalaridan foydalaniladi. Bu mikrosxemalar mos ravishda 12 V doimiy kuchlanish va maksimal 1 A tok berishga mo'ljallangan. Harorat rejimini saqlash uchun ularni radiatorga qotirish ko'zda tutilgan. 3-chizmada bu mikrosxemalarning sxematik belgilanishi ISIS dasturi ishchi oynasida keltirilgan.



3-chizma. Kuchlanish stabilizatori 7812 – mikrosxemasi belgilanishi

Quyosh panellarini o'rnatish va loyihalash ishlari ekologik toza energiya manbalaridan foydalanish orqali energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan muhim jarayonlardir. Umuman olganda, quyosh panellarini o'rnatish va loyihalash ishlari nafaqat energiya mustaqilligini ta'minlash, balki barqaror rivojlanishni qo'llab-quvvatlashda ham muhim rol o'ynaydi. Bu jarayonlar orqali kelajak avlodlar uchun toza va barqaror energiya manbalarini yaratish imkoniyati yaratiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Jeger-Waldau, A. PV Status Report 2012 / A. Jeger-Waldau // Lux-embourg: Publications Office of the European Union. 2012. 45 p.
2. Physical-technical institute, Academy of Sciences of Uzbekistan, J. Akhatov, K. Akhmadov, N. Juraboyev, and Physical-technical institute, Academy of Sciences of Uzbekistan, "Thermal performance enhancement in the receiver part of solar parabolic trough collectors," *UNEC J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 5–13, Dec. 2023, doi: 10.61640/ujeas.2023.1201.
3. Обзор интеллектуальных датчиков используемые в системах альтернативной энергетики Абдураимов А. А. Ахмаджонов М.З. "Экономика и социум" №5(108) 2023, 531-534
4. Потери мощности в кабельных линиях, питающих нелинейные нагрузки. Ахмаджонов М.З. Алижонов У.Х. "Экономика и социум" 121 (6), 897-900

VODOROD GAZI OLISHDA QUYOSH PANELLARINING O'RNINI

U.M. Nosirov

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Materialshunoslik instituti,
O'zbekiston, 102226, Toshkent viloyati, Parkent tumani, Quyosh qo'rg'oni
m.nosirov@imssolar.uz*

Hozirgi paytlarda qayta tiklanuvchi energiya ya'ni muqobil energiya sifatida quyosh, shamol va vodorod energiyasiga qiziqish ortib bormoqda. Quyosh yoki shamol energiyasidan olingan ortiqcha energiyani vodorod gazi olishga sarflashimiz mumkin. Vodorod gazini olish usullari ko'p, bu oldin qimmatroq edi. Hozir texnologiya rivojlanishi uning narxini tushishiga sabab bo'ldi. Vodorod kelajak yoqilg'isi deb aytilmoqda, chunki u yonganda atmosferaga zararli gazlar chiqmaydi, mutlaqo ekologik toza. Suvning parchalanishi vodorod va kislorodni alohida olish imkonini beradi. Energiyaning saqlanish qonuni shuni ko'rsatadiki, suvning parchalanishiga sarflangan energiya uni yoqish paytida olingan energiyadan kattaroq bo'ladi. Biroq, elektroliz qurilmalari shahar sharoitida, ayniqsa, quyosh panellaridan olingan qayta tiklanadigan muqobil energiya ortiqcha bo'lsa, oqlanadi. [1]. Fotovoltaik to'g'ridan-to'g'ri quyosh nuridan energiyani fotovoltaik effekt asosida to'g'ridan-to'g'ri oqimga aylantirish orqali ishlaydi, bunda Fotovoltaik o'tkazgich moddasi quyosh nuri ta'sirida elektr tokini hosil qiladi. Fotovoltaik tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi elektroliz jarayoni uchun harakatlantiruvchi energiya sifatida ishlatiladi. Quyosh energiyasini ishlab chiqish va ishlatish fotovoltaik markaziy rol o'ynaydigan fotovoltaik ishlab chiqarish texnologiyasiga asoslangan muhim dastur sohasini o'z ichiga oladi [2].

Ma'lumki, hozirgi vaqtda vodorodning taxminan 50% tabiiy gazni piroliz qilish orqali ishlab chiqariladi, bu jarayon sezilarli darajada issiqxona gazlari chiqindilariga olib keladi. Vodorodning 30% ga yaqini neft va neftni qayta ishlash zavodlari, kimyo chiqindilaridan ishlab chiqariladi. Qolgan qismi ko'mirdan, suv elektrolizlash va boshqa manbalardan olinadi. Shuning uchun vodorod ishlab chiqarishning ekologik toza usullari bo'yicha ishlanmalar dolzarbdir. Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan vodorod ishlab chiqarish ekologik toza usuldir va shuning uchun hosil bo'lgan mahsulot "yashil" vodorod deb ataladi. "Yashil" vodorod hali qazib olinadigan yoqilg'idan ishlab chiqarilgan vodorod bilan narx raqobatiga dosh berolmaydi. Endi 1 kg vodorod-5 dollardan atrofida turadi. Ba'zi tahlillarga ko'ra, yashil vodorod narxi 2026 yilga kelib 1 kg uchun 2 dollardan atrofida bo'lishi kutilmoqda [3]. Biz izlanishlarimizda yashil vodorodning olish, saqlash va uni ishlatish tarjibalarini o'rgandik. Iqlim nuqtai nazaridan O'zbekistonda 260-270 kun quyoshli kun hisoblanadi. Shunday qilib, quyosh energiyasidan olingan ortiqcha elektr energiyasidan vodorod ishlab chiqarish uchun foydalanish imkoniyatiga ega bo'lamiz. Bizda Materialshunoslik institutida 10 kVt quvvatga ega quyosh batareyasi o'rnatilgan. Stansiyada hosil bo'ladigan oqimdan yashil vodorod olish bo'yicha tajribalar o'tkazdik. Sinovlar natijasida quyidagilar aniqlandi [4]:

- 10 kVt/soat quvvatga ega elektrolizatorning ishlab chiqarish samaradorligi 60% ni tashkil etdi;

- Bir soat ichida 100 litr vodorod va 200 litr kislorod olindi.

Ma'lumot uchun aytilish mumkinki 1kg vodorod yonganda 120MJ/kg, 1kg tabiiy (metan) gazi yonganda 55MJ/kg, 1kg ko'mir yonganda 24MJ/kg, 1kg benzin yonganda 44MJ/kg issiqlik ajaralib chiqadi. Ko'rinib turibdiki boshqa yoqilg'ilarga qaraganda vodorodda 3 barobar ko'proq

issiqlik ajralib chiqadi. Shuning uchun ham vodorod energiyasini amaliyotga qo'llash ishlari olib borilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Перспективы солнечной энергетики: роль современных гелиотехнологий в производстве водорода // Computational Nanotechnology. 2023. Т. 10. № 3. С. 11–25. DOI: 10.33693/2313-223X-2023-10-3-11-25. EDN: NQBORL
2. Arbye S., Arief Budiman An overview of green hydrogen production system through low temperature water electrolysis using solar energy // Article in Thermal Science January 2024
3. Акбаров Р.Ю., Сулейманов С.Х., Парпиев О.Р., Пайзуллаханов М.С. Получение водорода с использованием технологии концентрированной солнечной энергии // Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной физики». Бухара-2022/ 262-264 стр
4. Носиров М.У, Собиров Ю. Б, Нурматов Ш.Р, Рахимов Х, Ю. Методы получения зелёного водорода использованием солнечной энергии // O'zbekiston respublikasi fanlar akademiyasi yosh olimlar axborotnomasi 2024/19-23 стр.

SHAMOL GENERATORLARI VA ULARNING KONSTRUKSIYALARI

M.A. O'Imasova

Farg'ona davlat texnika universiteti,

O'zbekiston, 150107, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi 86

mubinaxonortigaliyeva0@gmail.com

Yangi asrning ikkinchi o'n yilligida ekologik sof energiya texnologiyalari uylarimizni, korxonalarimizni va transport vositalarining energiya ta'minotini o'zgartirmoqda. Kelgusi o'n, yigirma yilliklarda bundan ham tubdan o'zgarishlar bo'lishi mumkin, chunki ekologik sof energetikadan foydalanish sur'ati va dunyo bozori tezlashmoqda.

Ekologik toza bo'lgan qayta tiklanadigan energiya manbalari atrof-muhitga ziyon yetkazmaydi. Aytish kerakki, bu manbalar odatda yetarlicha katta bo'lgan aholi manzillari va yirik sanoat korxonalarini to'la ta'minlash imkoniyatiga ega emas. Ular chekka qishloq, mahalla, kichik inshootlarni energiya bilan ta'minlaydi.

Mamlakatimizda qayta tiklanadigan ekologik toza energiya manbalarini qo'llash katta istiqbolga ega va ekologik, ijtimoiy-iqtisodiy jihatdan ham samaralidir [1].

Qayta tiklanadigan energiya manbalarining global o'sishining 95 foizi quyosh va shamol energiyasi ishlab chiqarish hissasiga to'g'ri keladi, 2028-yilga borib, har yili qo'shiladigan quyosh va shamol quvvatlari hajmi 2022-yilga nisbatan ikki baravardan ko'proq oshadi va qariyb 710 GVt ga yetadi. Bunga "yashil energiya"ni ishlab chiqarish xarajatlari qazib olinadigan yoqilg'ulardan ishlab chiqarishga nisbatan past bo'lishi yordam beradi.

Shamol energetikasi - atmosferadagi shamol oqimidan foydalanib, elektr energiyasini ishlab chiqaruvchi ekologik toza manba hisoblanadi. Shamol turbinalari asosiy ikki turga bo'linadi: gorizontal o'q atrofida aylanadigan va vertikal o'qda harakatlanuvchi turbinalar. Hozirgi kunda

eng keng tarqalgan model – gorizonttal o‘qli uch qanotli turbinalardir, chunki ular eng yuqori energiya samaradorligini ta’minlaydi [2].

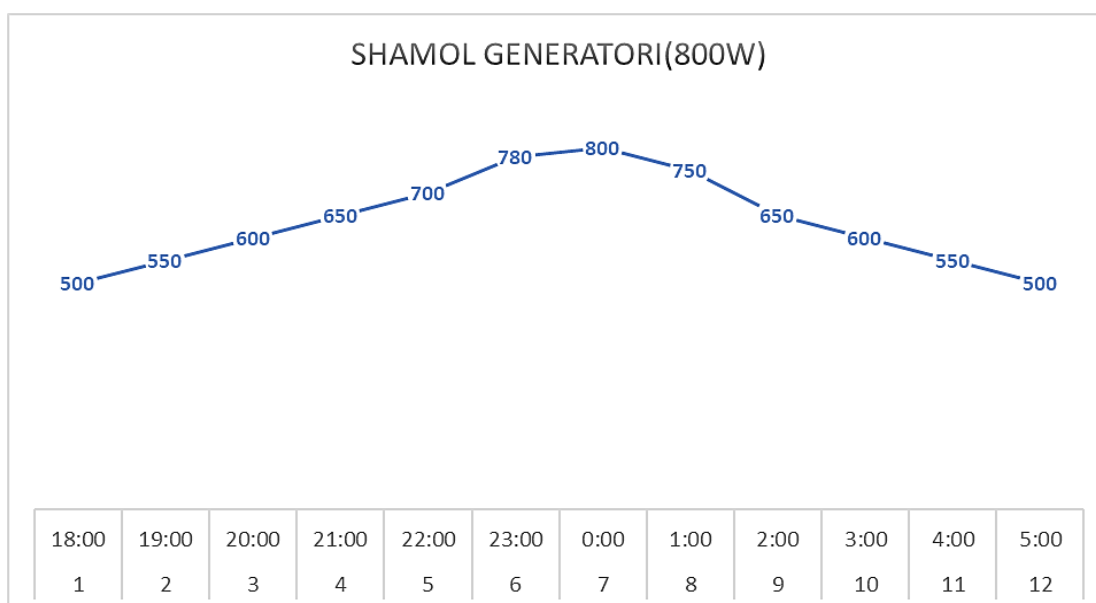


1-rasm. Vertikal va gorizonttal shamol turbinalarining ko‘rinishi [2]

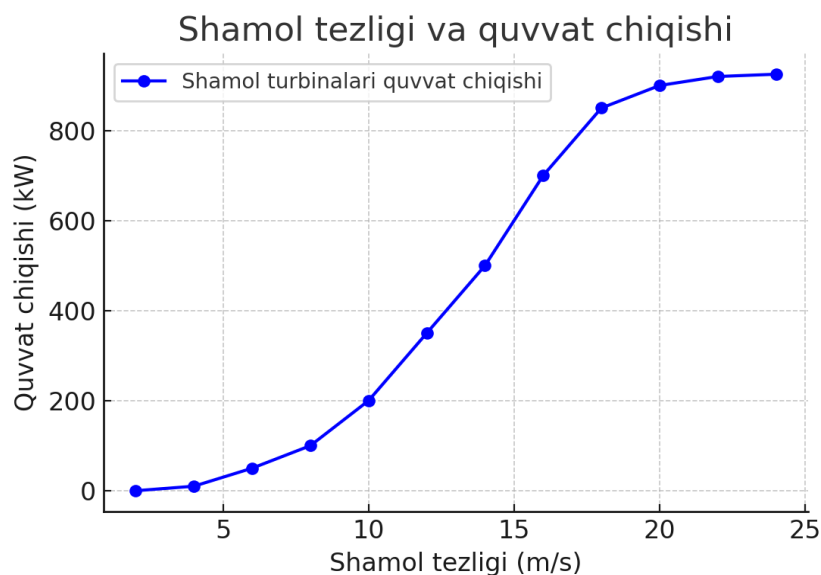
Shamol elektr stansiyasidan olinadigan elektr energiyani quyidagi maqsadlarda foydalanish mumkin:

Elektr stansiyalar tarmog‘idan yetkazib beriladigan elektr energiyasini almashtirish maqsadida. Buning sabablari: bug‘xona gazlari chiqindilarini kamaytirish, elektr ta’minoti quvvati bo‘yicha cheklovlar;

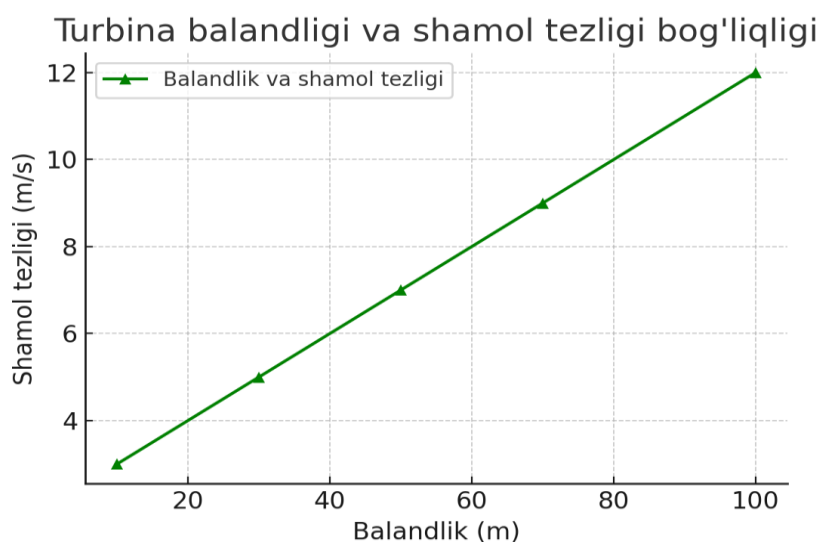
Elektr ta’minotidan olisda joylashgan tumanlarda dizel generatorlari va quyosh fotoelektr tizimlari bilan birgalikda foydalanish mumkin. Elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun dizel generatorlari bunga muqobil bo‘lishi mumkin. Buning sabablari: energiya bilan qulay va ishonchli ta’minlash darajasini oshirish.



2-rasm. (800 W)Shamol generatorining (Bahor- kuz fasllaridagi, Mart- oktyabr) oylarining kechki soatlardagi olingan energiya miqdori



3-rasm. Shamol tezligining quvvatga bog‘liqlik grafigi



4-rasm. Turbina balandligining shamol tezligiga bog‘liqlik grafigi

2013- yil boshidan buyon dunyoda 225 ming shamol turbinasi mavjud edi, 6 megavattli dengiz shamol turbinasi 5,5 ming xonadonga toza elektr energiyasini yetkazib berishi mumkin. Shamol turbinolari 2012-yilda Daniyaning energiya ehtiyojlarini taxminan 30 foizini qondirdi. Daniya hukumati bu raqamni 2020-yilgacha 50 foizga yetkazishni rejalashtirdi va amalga oshirdi. 2020-yilga qadar Yevropa Ittifoqi mehnat bozorida shamol energetikasida ish bilan bandlikning kutilayotgan darajasi 520 ming ish o‘rni bilan baholandi. 2030-yilga borib bu ko‘rsatkich 795 mingtaga ko‘payadi. Bugungi kunda AQShning shamol energiyasi qurilmalarini ishlab chiqaradigan zavodlari 11 milliondan ziyod uylarni elektr energiyasi bilan ta‘minlash uchun yetarli miqdorda elektr energiyasi ishlab chiqaradi [3].

Shamolning asosiy afzalliklari uning manba sifatida tugamasligidir. Atmosfera va quyosh issiqligi mavjud ekan shamol bo‘laveradi. Shamol elektr stansiyasining eng muhim afzalligi ekologiyani ifloslantirmasligidir. Shamol orqali ishlab chiqarilgan elektr energiyasidan atrof-

muhitga hech qanday zararli va zaxarli gazlar ajratmasligidir. Shamol elektr stansiyasining kamchiligi uning shovqini balandligi va uchayotgan qushlarning nobut bo'lishi.

Shamol energetikasi global miqyosda energiya ishlab chiqarishda muhim o'rin tutmoqda. Ushbu texnologiya ekologik tozaligi va iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadi. Texnologik taraqqiyot tufayli shamol turbinalari yanada takomillashib, ularning samaradorligi oshmoqda va xarajatlari kamaymoqda. Kelajakda shamol energiyasining energiya ishlab chiqarishdagi ulushi ortishi kutilmoqda. Biroq, ushbu sohaning yanada rivojlanishi uchun innovatsion texnologiyalarni joriy etish, samarali energiya saqlash tizimlarini ishlab chiqish va infratuzilmani yaxshilash zarur. Shamol energetikasi barqaror rivojlanishga hissa qo'shuvchi muhim omil bo'lib, kelajak avlodlar uchun toza va qayta tiklanuvchi energiya manbai sifatida xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

4. Allayev K.R. O'zbekiston Respublikasida muqobil energiya manbalari samaradorligi potentsiali. Energiya va resurs tejash muammolari // № 4, 2015. Toshkent.
5. Pulatova D.M. Shamol energetikasi fani uchun Darslik. Toshkent TDTU, 2023.
6. Tiwari G.N., Mishra R.K. Advanced Renewable Energy Sources/ Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, India, 2012, ISBN: 978-1-84973-380-9.

ANALYSIS OF GENERATOR EFFICIENCY IN WIND ENERGY SYSTEMS

A.A. Rakhimov

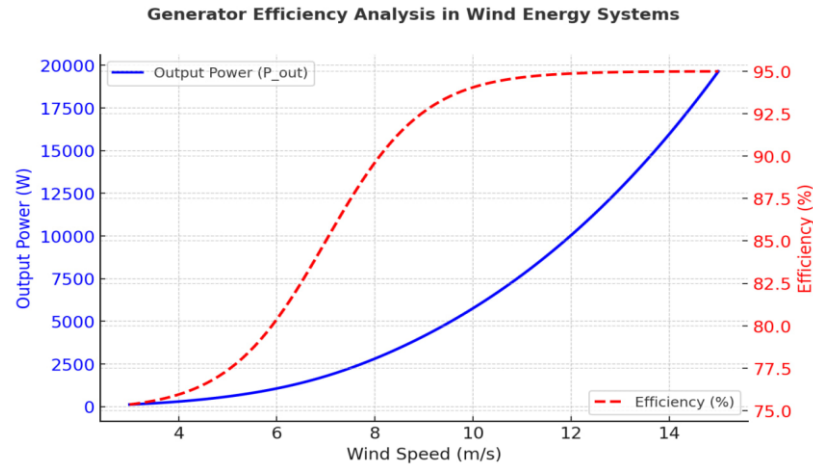
*Fergana State Technical University,
Uzbekistan, 150100, Fergana region, Ferghana, Street Ferghana, 86*

Wind energy systems play a vital role in renewable energy generation by converting kinetic wind energy into electrical power. The efficiency of wind turbine generators is a key factor in determining overall system performance. This paper analyzes generator efficiency, its influencing factors, and methods for optimization. Generator efficiency is calculated as the ratio of electrical output power to mechanical input power, typically ranging between 85% and 97%. Several factors affect efficiency, including generator type, mechanical and electrical losses, and cooling mechanisms.

Wind energy systems play a crucial role in renewable energy production, converting kinetic wind energy into electrical power. One of the key factors influencing the efficiency of these systems is the performance of the generator. In this analysis, we will explore how generator efficiency is determined, the factors affecting it, and ways to optimize performance.

Different generator types, such as induction generators, synchronous generators, and permanent magnet generators (PMGs), have varying efficiency levels based on their design and operational characteristics. Mechanical losses arise from friction and wind variability, while electrical losses include core and copper losses due to resistance and magnetic effects. Proper cooling systems are essential to prevent overheating and maintain efficiency.

To enhance generator efficiency, several strategies can be implemented, including the use of high-quality materials, advanced power control techniques such as Maximum Power Point Tracking (MPPT), reduction of frictional losses, and adaptive wind speed control. A graphical analysis shows that while power output increases with wind speed, efficiency stabilizes beyond a certain point, emphasizing the importance of optimal system design.



In conclusion, maximizing generator efficiency in wind energy systems is crucial for improving overall energy conversion rates. By utilizing efficient generator technologies and implementing optimization techniques, wind turbines can achieve high performance levels, contributing to the growth of sustainable energy solutions.

Here is a graph illustrating the generator efficiency analysis in wind energy systems:

- **Blue Line:** Represents the output power (P_{out}) as a function of wind speed. As wind speed increases, the output power also increases.
- **Red Dashed Line:** Represents generator efficiency (%), which gradually increases and stabilizes as wind speed rises.

To ensure numerical accuracy in the analysis, let's calculate the actual values for key parameters such as **input power (P_{in})**, **output power (P_{out})**, and **efficiency (η)** at different wind speeds. I'll provide a table with these values for better clarity.

Here is the corrected numerical data for the generator efficiency analysis at different wind speeds:

Wind Speed (m/s)	Input Power (W)	Efficiency (%)	Output Power (W)
3	165.38	75.36	124.63
5	765.62	77.38	592.47
7	2100.88	85.00	1785.74
9	4465.12	92.62	4135.42
11	8152.38	94.64	7715.43
13	13456.63	94.95	12777.14
15	20671.88	94.99	19636.89

As wind speed increases, input power and output power both rise exponentially.

Efficiency improves with increasing wind speed but stabilizes around 95% beyond 9 m/s.

The highest efficiency (94.99%) is reached at 15 m/s, demonstrating that most modern generators operate optimally in high-wind conditions.

While generator efficiency increases with wind speed, it stabilizes at around 95% beyond 9 m/s. This trend is due to both physical limitations and control mechanisms within wind turbines. Here's a more detailed look at why this occurs and what it means for wind energy conversion.

Conclusion

Generator efficiency is a crucial factor in wind energy conversion. By selecting the right generator type, optimizing design materials, and implementing advanced control mechanisms, wind turbines can achieve efficiencies above 95%. Continuous research in this field aims to further enhance energy conversion, making wind power a more viable alternative to traditional energy sources.

Reference

1. Pierre Lecanu, Joel Breard, and Dominique Mouazé, Betz Limit Applied to Vertical Axis Wind Turbine Theory // 2010.
2. A.N. Gorban, A.M. Gorlov, and V.M. Silantyev, Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow // 2018.
3. Marloes Caduff, Mark A J Huijbregts, Hans-Joerg Althaus, Annette Koehler, Stefanie Hellweg. Wind Power Electricity: The Bigger the Turbine, The Greener the Electricity 2012.

УПРОЩЁННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ DSSC С ПРИМЕНЕНИЕМ ОДНОСЛОЙНОГО ТiO₂

С.С. Шарипбаев

*Наманганский инженерно-технологический институт,
Узбекистан, 160115, Наманган, улица Касансай, 7*

**sharipbayev1999@mail.ru*

В работе рассматривается технология изготовления солнечных элементов DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) с использованием однослойного фотокаталитического слоя диоксида титана (TiO₂). Представлены этапы подготовки прозрачной проводящей подложки, нанесения активного слоя методом спин-коатинга, адсорбции красителя Ruthenizer 535 и сборки ячейки с жидким электролитом. Экспериментальные исследования показали, что применение однослойного TiO₂ позволяет упростить процесс производства, снизить себестоимость элементов и повысить эффективность преобразования солнечной энергии. Полученные солнечные элементы продемонстрировали КПД до 6.5%, что на 130% выше по сравнению с традиционными двухслойными структурами. Результаты подтверждают перспективность применения однослойных DSSC в гибких и прозрачных фотоэлектрических устройствах.

В последние годы наблюдается рост интереса к разработке альтернативных источников энергии, в частности солнечных элементов нового поколения. Традиционные

кремниевые солнечные панели обладают высокой эффективностью, однако их производство требует значительных энергетических затрат и высоких экономических вложений. В связи с этим сенсibilизированные красителем солнечные элементы (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSC) становятся привлекательной альтернативой благодаря своей простоте конструкции, низкой стоимости производства и способности работать при низкой освещённости [1, 5].

Особое внимание уделяется фотоанодам на основе диоксида титана (TiO_2), обеспечивающим эффективную транспортировку электронов. В классических конструкциях DSSC используется двухслойная система TiO_2 , состоящая из плотного и пористого слоёв, однако это увеличивает сложность технологии и себестоимость. Целью данной работы является разработка и исследование солнечных элементов DSSC на основе упрощённой однослойной структуры TiO_2 . Однослойный фотоанод способен улучшить характеристики устройства за счёт повышения скорости переноса носителей заряда и уменьшения числа рекомбинаций [2].

В исследовании применялись прозрачные проводящие подложки на основе FTO-стекла. В качестве активного материала использовался диоксид титана марки P25, обладающий высокой удельной поверхностью и хорошими электрохимическими свойствами [3, 4]. Паста TiO_2 готовилась путём смешивания 0.5 г порошка TiO_2 , 2 мл HNO_3 , 0.4 мл полиэтиленгликоля и 2 капель Triton X-100. Смесь подвергалась ультразвуковой обработке для диспергирования частиц.

Нанесение TiO_2 на подложку осуществлялось методом спин-коатинга на скорости 3000 об/мин, обеспечивая формирование однослойного равномерного покрытия. Полученные образцы подвергались термической обработке при 450°C в течение 30 минут для укрепления структуры слоя. После охлаждения образцы помещались в раствор красителя Ruthenizer 535 на основе этанола. Процесс адсорбции проводился при температуре 40°C в течение 24 часов с предварительной ультразвуковой обработкой, способствующей более равномерному распределению молекул красителя по поверхности TiO_2 .

Сборка солнечного элемента

Контрэлектрод изготавливался на основе FTO-стекла с нанесением слоя платины или графита. Между анодом и катодом помещался жидкий электролит, состоящий из полиэтиленоксида (PEO), этиленкарбоната (EC), пропиленкарбоната (PC), йодида тетрапропиламмония (TPAI) и йода (I_2). Герметизация устройства производилась с помощью полимерного уплотнителя Surlyn.

Фотоэлектрические измерения

Фотоэлектрические характеристики ячеек тестировались с использованием солнечного симулятора AM1.5G (100 мВт/см^2). Измерялись ток короткого замыкания (J_{sc}), напряжение холостого хода (V_{oc}), коэффициент заполнения (FF) и общая эффективность преобразования энергии (η). Также проводился анализ методом электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) для оценки ионной проводимости электролита и внутреннего сопротивления элементов.

Исследование показало, что применение однослойной структуры TiO_2 приводит к повышению плотности тока короткого замыкания (J_{sc}) до 9.53 мА/см^2 и V_{oc} до 0.693 В при сохранении высокого коэффициента заполнения FF (0.538). Эффективность преобразования энергии составила 6.5%, что на 130% выше по сравнению с двухслойными

системами, используемыми в классических DSSC.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечного элемента с активной площадью $0,2 \text{ см}^2$ были измерены с помощью прибора “Metrohm Autolab Potentiostat/Galvanostat PGSTAT 128N” при плотности мощности света, излучаемого солнечным симулятором, равной 1000 Вт/м^2 . В результате эксперимента была получена фото ВАХ высокочувствительных краситель-сенсibilизированных солнечных элементов (DSSC). Один из графиков этих характеристик представлен на рисунке 1.

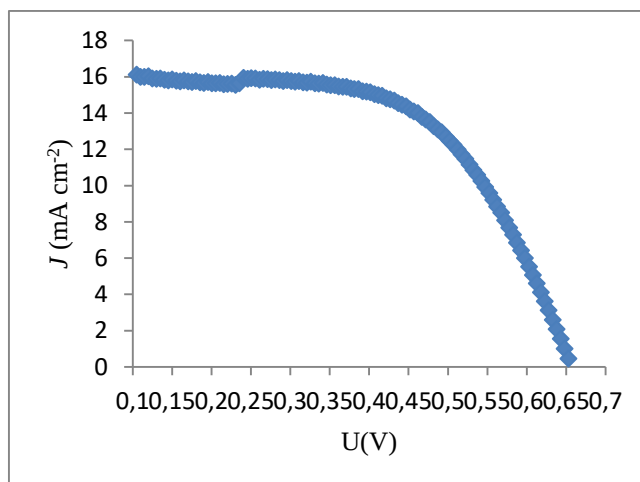


Рис. 1. Фото-вольт-амперная характеристика (ВАХ) полупроводниковых высокочувствительных краситель-сенсibilизированных солнечных элементов (DSSC).

SEM-изображения продемонстрировали равномерное покрытие TiO_2 с толщиной порядка 10 мкм и наночастицами размером $20\text{--}30 \text{ нм}$. Атомно-силовая микроскопия (AFM) показала низкую шероховатость поверхности, что способствовало эффективной адсорбции красителя и хорошему контакту между слоями. Метод ЭИС подтвердил снижение внутреннего сопротивления и повышение ионной проводимости, что положительно повлияло на характеристики фотоэлектрической ячейки.

Выводы

- Разработка однослойного фотоанода на основе TiO_2 позволила значительно упростить технологический процесс производства DSSC и снизить затраты.
- Однослойные структуры обеспечивают снижение рекомбинации электронов и увеличивают скорость переноса носителей заряда, что приводит к росту эффективности солнечного элемента до $6,5\%$.
- Технология имеет потенциал внедрения в гибкие и прозрачные солнечные элементы для автономных энергетических систем, носимой электроники и интеграции в строительные конструкции.

Литература

1. Hagfeldt A., Boschloo G., Sun L., Kloo L., Pettersson H. Dye-Sensitized Solar Cells // *Chem Rev*, 2010, 110(11): 6595–6663.
2. Zhang Q., Cao G. Nanostructured photoelectrodes for dye-sensitized solar cells // *Nano Today*, 2011, 6(1): 91–109.

3. Ehsani M., Khonakdar H.A. Improvement of ionic conductivity and performance of quasi-solid-state DSSC using PEO/PMMA gel electrolyte // *Thermochimica Acta*, 2015, 615: 61–67.
4. Grätzel M. Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 2003, 4(2): 145–153.
5. O'Regan B., Grätzel M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films // *Nature*, 1991, 353: 737–740.
6. Kim H., Kim H., Lee J. Recent progress in dye-sensitized solar cells: from conventional to advanced materials // *Materials Today Energy*, 2021, 21: 100786.

BIOGAZ QURILMASIDA AJRALGAN CHIQINDIDAN O'G'IT SIFATIDA VA OZUQAVIY MAQSADLARDA FOYDALANISH USULLARINI RIVOJLANGAN DAVLATLAR TAJRIBASI MISOLIDA O'RGANISH

I.X. Izzatullayev*, A.A. Abdusamiyev

*Namangan muhandislik-texnologiya institute,
O'zbekiston, 160115, Namangan viloyati, Kosonsoy ko'chasi, 7
inomjonizzatullayev4@gmail.com,

Biomassa energiyasi va chorvachilik chiqindilaridan unumli foydalanish, keyingi vaqtlarga kelib, aholi sonining oshib borishi natijasida ularning turli xil energiyalarga bo'lgan ehtiyojlari ham ortib bormoqda. Insonlar turli xil energiya manbalarini ishlab chiqirish va undan foydalanish bilan bu muammoga ma'lum miqdorda yechim topmoqdalar. Chiqindilar asosida biomassa energiyasini olish ham noan'anaviy energiya manbalaridan biri hisoblanib, insonlarning gaz va ekologik toza bo'lgan o'g'itga nisbatan ehtiyojlarini qondiradi

Biogaz qurilmalari organik chiqindilarni qayta ishlab, metan gazini ishlab chiqarish orqali energiya olish imkonini beradi. Biroq, biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalar (digestat) ham qimmatli resurs hisoblanadi. Bu qoldiq moddalar o'g'it sifatida yoki oziqaviy maqsadlarda qayta ishlanishi mumkin. Rivojlangan davlatlar (masalan, Germaniya, Daniya, Shvetsiya, Niderlandiya va Xitoy) bu sohada keng tajribaga ega bo'lib, ularning usullari dunyo bo'ylab qo'llanilmoqda. Biogaz ishlab chiqarishda yuqorida aytib o'tilganidek, biogaz olishda biomassadan chiqayotgan qoldiqdan ham o'g'it sifatida foydalanish mumkin. Agar 1 tonna go'ng yerga o'g'it sifatida ishatilsa, 1 tonna go'ngdan 50 m³ gacha metan gazi chiqishini nazarda tutsak, 50 m³ metan 1000 m³ karbonat angidrid gaziga teng miqdorda issiqxona effekti hosil qiladi. Ushbu hosil bo'lgan gazni yonishidan ham karbonat angidrid gazi ajraladi ammo birinchidan karbonat angidrid metan gaziga nisbatan issiqxona effekti kam, ikkinchidan karbonat angidrid o'simliklar tomonidan o'zlashitiriladi, metan gazi esa yo'q. Agar biz ushbu biomassalarda biogaz texnologiyasi orqali biogaz olishni tashkil etsak, biz gaz, elektr, bioo'g'it va qo'shimcha ish o'rinlarini tashkil etish mumkin. Bu orqali qanchadan-qancha tabiiy gazni, elektr energiyasini tejashi, shu bilan birga qayta ishlanmagan bioo'g'itga nisbatan bir necha marta samarador bo'lgan bioo'g'it olishi mumkin.

Bu texnologiya yordamida ajratilgan bioo'g'it avvalgi ya'ni qayta ishlanmagan bioo'g'itga nisbatan ancha sifatli, yaxshi bo'ladi va avvalgi badbo'y hidini yo'qotadi. Qayta ishlanmagan

bioo'g'itdan, qayta ishlangan bioo'g'itning afzalligi shundaki, uni o'simliklarga ta'sir etish muddati tezroq va quvvati ancha yuqori turadi. Qayta ishlanmagan bioo'g'it yerga solingandan so'ng 1-2 yildan keyin o'z ta'sirini ko'rsatsa, biogaz texnologiyasidan chiqqan bioo'g'it shu yilni o'zida yuqori darajada ta'sirini ko'rsatadi. Chunki qayta ishlangan bioo'g'it bu biogumus, yani hozirgi kunda Kaliforniya chuvalchaglari orqali ishlab chiqarilayotgan gumusning o'zi bo'lib, tarkibidagi elementlari bo'yicha chuvalchang gumusidan yuqori turadi. Yana bir afzalligi, organizmda hazm bo'lmagan begona o't o'simliklarni urug'lari vegetativ holatini yo'qotadi va ekinda begona o'tlar o'sishini kamaytirishga erishiladi. Avval tashlanadigan mahalliy o'g'it sarfini 15-20 barobarga qisqartiradi va qishloq xo'jalik mahsulotlari yetishtirish samaradorligini 25-30% gacha oshirish imkoni mavjud. Bu bioo'g'itni ehtiyojiga qarab, suyuq va quruq holatlarda ishlatish mumkin.

Yuqorida aytib o'tkanidek, biogaz ishlab chiqarish jarayonidan so'ng qoladigan qoldiqdan yuqori sifatli o'g'it (biogumus) olinishi mumkin. Bioo'g'it go'ngini bijg'itish uni dezodoratsiya qiladi (hidsizlantiradi), gelmentlarini, hamda yovvoyi o'simliklar urug'larini yo'qotadi, o'simlik uchun zarur bo'lgan moddalarni (o'g'itsimon) yengil o'zlashtiriladigan shaklga (mineral shaklga) o'tkazadi.[1]

O'simliklar uchun oziqaviy moddalar miqdori azot, fosfor, kaliy deyarli o'zgarmaydi. Biogaz olinganidan keyingi qurilmadan chiqqan go'ngning kimyoviy tarkibi quyidagi 1- jadvalda bayon etilgan.

1-jadval.Go'ng kimyoviy tarkibining bijg'ish jarayoni vaqtiga qarab o'zgarishi (%)

Bijg'ish davri, sutka	Azot		P ₂ O ₅	K ₂ O	Numumiy
	Umumiy N	Ammoniylik N- NH ₄			
0 (nazorat)	0,32	0,13	0,11	0,24	12,2
5	0,31	0,13	0,11	0,24	11,9
10	0,31	0,16	0,11	0,24	10,5
15	0,31	0,16	0,11	0,24	9,6

Go'ngni anaerob bijg'itishda uni tarkibidagi kaliy va fosfor butunlay o'zgarmaydi. Azot moddalari go'ngga ishlov berishni boshqa usullari ishlatilganda 50% yo'qotilsa, anaerob bijg'ishda 5% yo'qoladi. Shuni ham eslab qolish lozimki, yangi go'ngni azot organik shaklda bo'lsa, anaerob bijg'ish oqibatida u o'simlik uchun qulay bo'lgan ammoniy shakliga o'tadi.

Go'ngni anaerob bijg'itish atrof-muhitni muhofazasi uchun qanchalik foydali ekanligini iqtisodiy hisob-kitob qilish ancha mushkul vazifa. Bu yo'l bilan ishlov berilgan go'ng, biologik mo'tadil xolatda bo'lib, hashorotlarni o'ziga tortmaydi. Anaerob bijg'ishdan keyin, go'ngdagi qo'lansa hid beradigan moddalar yo'qoladi.

2-jadval.Bijg'itilgan go'ng tarkibida kuchli hid beradigan moddalar miqdori

Birikmalar	Tabiiy go'ng, %	Bijg'itilgan go'ng, %
Fenol	100	4
Krezol «P»	100	10
Skatol	100	79
Moy kislota	100	3

Anaerob ishlov berishda poleviruslar miqdori 98,5% ga kamayadi, indeks E.koli 10^8 dan 10^5 - 10^4 gacha, parazitlarni urug'i 90-100 % yo'qoladi

Tabiiy resurslardan foydalanganda qo'yiladigan ekologik talablar xo'jalik hisob kitobi sharoitida, «ulardan foydalanilganda o'rniga qo'yish» degan iboralar qonuniy hujjatlar asosida ishga tushganda alohida ahamiyat kasb etadi.

Xitoyda o'g'it sifatida foydalanishda poliz ekinlari, bug'doy o'simliklari, sholipoyalarni o'g'itlashda, quruq holatga keltirilgan bioshlamada qo'ziqorin yetishtirib, qo'ziqorin yetishtirish tezligini 2 barobarga oshirishga erishganlar.[2]

O'simlik uchun suyuq holatdagi bioo'g'itni suspenziya shaklida to'g'ridan – to'g'ri o'simlikni tanasiga sepilsa o'zlashtirish uchun qulay holatda mineral moddalarni o'simlik barglari orqali oson o'zlashtirib oladi. Buning natijasida mo'l hosil olish imkoniyati yanada oshadi deb o'ylayman.

Rivojlangan davlatlar biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni qishloq xo'jaligida organik o'g'it sifatida samarali foydalanadi. Buning uchun ular quyidagi usullardan foydalanadi:

To'g'ridan-to'g'ri qo'llash:

- o biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni to'g'ridan-to'g'ri dalalarga sepish orqali foydalanish.
- o misol: Germaniyada biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni ning 70% qismi qishloq xo'jaligida to'g'ridan-to'g'ri qo'llaniladi.

Kompostlash:

- o biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni ni boshqa organik chiqindilar bilan aralashtirib, kompost o'g'it sifatida ishlatish.
- o misol: Daniyada biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni kompostlash orqali yuqori sifatli organik o'g'it ishlab chiqariladi.

Granulalash:

- o biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni ni quritib, granulalash orqali qulay shaklda saqlash va tarqatish.
- o misol: Niderlandiyada biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiqni granulalash texnologiyalari keng qo'llaniladi.

Ba'zi rivojlangan davlatlar biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalarni oziqaviy maqsadlarda ham qayta ishlaydi. Buning uchun ular quyidagi usullardan foydalaniladi:

Mikroorganizmlar uchun oziq modda sifatida:

- o biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalarni mikroorganizmlar uchun oziq modda sifatida ishlatiladi.
- o misol: Shvetsiyada biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalarni mikroorganizmlar uchun substrat sifatida qo'llaniladi.

Balchiqni qayta ishlash:

- o biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalar balchiqni quritib, hayvonlar uchun ozuqa sifatida ishlatish.
- o misol: Germaniyada biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalar balchig'i qoramol ozuqasi sifatida qo'llaniladi.

3-jadval: Quyida rivojlangan davlatlarning biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalardan foydalanish bo'yicha tajribalari keltirilgan:

Davlat	Foydalanish Usuli	Natijalar
Germaniya	To'g'ridan-to'g'ri qo'llash	Qishloq xo'jaligida unumdorlikni oshirish
Daniya	Kompostlash	Yuqori sifatli organik o'g'it ishlab chiqarish
Niderlandiya	Granulalash	Qulay saqlash va tarqatish imkoniyati
Shvetsiya	Mikroorganizmlar uchun oziq modda	Biologik xilma-xillikni saqlash

Biogaz qurilmasini barpo etgan Toshkent viloyati, Zangiota tumani hududidagi "Milk-Agro" naslchilik fermer xo'jaligida ham biog'itdan oqilona foydalanishmoqda. Suyuq holatdagi bioo'g'itni separatorlar yordamida suvdan quruq bioo'g'itni ajratib olishib, quruq tuproq bilan aralashtirilib bioo'g'itni quruq holatdakisini olishga erishmoqdalar. Olingan bioo'g'itni elakdan o'tkazib, mayda donacha holatdagilarini gullar uchun, nisbatan yirik holatdagi biogumusni sabzavotlar uchun qo'llamoqdalar. O'z hududidagi tomorqalarni bioo'g'it bilan ishlov berib yuqori hosil olmoqdalar. Qolgan qismini esa bozorda sotmoqdalar. Gullar uchun mo'ljallangan bioo'git 10 kg og'irlikga ega buning narxi 30000 so'm, sabzavotlar uchun uning og'irligi 25 kg narxi 50000 so'mni tashkil etmoqda. Bu o'gitni sotishdan ham daromad kelmoqda.

Ozuqaviy maqsadda foydalanish. Yuqorida bigaz qurilmasidan chiqayotgan mahsulotlardan yoqilg'i sifatida, elektr energiya va o'g'it sifatida foydalanish mumkinligi haqida aytib o'tdik. Biogaz chiqindisi bo'lgan biooshlamadan uning tarkibini o'rgangan holatda hayvonlar uchun ozuqviy maqsadda ham foydalansa bo'lishi ta'kidlanmonda. Agar hayvon ozuqasiga biooshlama aralashtirilib berilsa, ozuqaning sifat ko'rsatkichi juda yuqori darajaga yetadi.

Suyuq holatdagi biooshlamani cho'chqa ozuqasiga qo'shib berilsa, cho'chqa semirishi 1-2 barobar tezlashadi hamda cho'chqaning bo'yiga, eniga o'sishi nisbatan yuqori bo'ladi.

Baliqchilik hovuzlarida baliq ivildiriqni hovuzga tashlagandan so'ng, kuchli ozuqaviy muhitda boqilsa 6 oy davomida baliq vazni 2 – 3 kg ga yetadi. Agar o'rta ozuqaviylik muhitida boqilsa 6 oyda 1,5 – 2 kg ni tashkil etadi. Yuqori ozuqaviy muhitda boqilgan baliqlar ozuqa narxi qimmatligi hisobiga, baliq tannarxi qimmatga tushadi, bu esa daromadni kamaytiradi. Shuning uchun baliqchilik hovuzlarida o'rta darajada ozuqaviy muhitda baliqlar boqilib belgilangan kilogrammni olish uchun ko'proq vaqt davomida boqiladi.[3]

Agar baliq ozig'i o'rta darajada berilib, qo'shimcha sifatida biogaz qurilmasidan chiqqan suyuq holatdagi bioshlama hovuzlarga sepib turilsa, belgilangan 6 oy davomida baliq vazni 2-3 kg ni tashkil etadi. Biooshlama nafaqat baliqlar uchun ozuq, balki hovuzdagi baliqlar oziqlanadigan o'simliklarni tezda o'sishiga ham sabab bo'ladi. Bu o'simliklar bilan ozuqa va bioshlama bilan oziqlangan baliqlar tezda yetilib daromad beradi.

Biogaz qurilmalari organik chiqindilarni qayta ishlab, metan gazini ishlab chiqarish orqali energiya olish imkonini beradi. Biroq, biogaz jarayonidan keyin qolgan qoldiq moddalar (digestat) ham qimmatli resurs hisoblanadi. Bu qoldiq moddalar o'g'it sifatida yoki oziqaviy maqsadlarda qayta ishlanishi mumkin. Rivojlangan davlatlar (masalan, Germaniya, Daniya, Shvetsiya, Niderlandiya) bu sohada keng tajribaga ega bo'lib, ularning usullari dunyo bo'ylab qo'llanilmoqda. Biogaz qurilmalarida ajralgan chiqindilardan o'g'it va oziqaviy maqsadlarda

foydalanish rivojlangan davlatlar tajribasida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Bu usullar nafaqat atrof-muhitni muhofaza qilish, balki qishloq xo'jaligida unumdorlikni oshirish va qo'shimcha iqtisodiy daromad olish imkonini beradi. O'zbekiston kabi mamlakatlar uchun bu tajribalarni o'rganish va qo'llash katta istiqbollarga ega.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. A. Arsolnov, T. Sultonov, M.Xo'jaev. O'zbekistonda biogaz texnologiyalarini rivojlantirish omillari va uning moliyaviy manbaalari.
2. <http://www.fluid-biogas.com>
3. Марченко Н. М., Шебалкин А. Е., Воропаев В. В. и др. Технология и технические средства для внесения органических удобрений // М.: Росагропромиздат, 1991. 190 с
4. Хайнц Шульц. Биогазовые установки Практическое пособие // Германия. 2008 год.

YANGI METOD ASOSIDA QUYOSH ENERGIYASIDAN FOYDALANIB MINERALLASHGAN SUVNI ICHIMLIK SUVIGA AYLANTIRISH

Sh.A. Abriev*, T.Z. Axtamov, Y.M. Qurbanov

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi S.A.Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti

O'zbekiston, Toshkent, Chingiz Aytmatov ko'chasi, 2-b-uy

**abrievshaxzod1997@gmail.com*

Hozirgi kunda ichimlik suvi yetishmovchiligi global muammolardan biri bo'lib, aholi sonining ortishi va sanoat rivojlanishi ushbu masalaning dolzarbligini yanada oshirmoqda. Ushbu tadqiqotda quyosh elementlari tuzilmasi sho'r suvni chuchuklashtirish qurilmasining ishlash tamoyillari o'rganildi va tajriba sinovlaridan o'tkazildi. Qurilmaning asosiy energiya manbai sifatida quyosh nurlanishidan foydalanildi hamda uning tarkibiy qismi quyosh elementlari tuzilmasi, issiqlik kollektori, reflektor va sovutish tizimidan iborat. Tadqiqot natijalari qurilmaning sho'r suvni chuchuklashtirish jarayonida samaradorligini tasdiqlab, uni ichimlik suvi ta'minoti cheklangan hududlarda muqobil yechim sifatida qo'llash imkoniyatini ko'rsatdi. Kelajakda chuchuk suv resurslariga bo'lgan talabni oshishi ushbu qurilmaning keng qo'llanilish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi

Suv yer sharining 67% ga yaqin qismini tashkil qiladi. Bundan tashqari, ushbu suvning 97% (sho'r suv ichishga va sug'orish uchun yaroqsiz) okeanlarda joylashgan. Chuchuk suv sayyoramizdagi umumiy suvning juda kam qismi 3% ni tashkil qiladi. Ushbu past foizda daryolar va ko'llar 0,3% ni, qolganlari esa yer osti va muzliklarda saqlanadi. Yer osti suvlari iste'mol uchun doimiy yechim bo'lolmaydi, chunki u cheklangan va yer osti suvlarining kamayishi tabiatga va mavjud infratuzilmalarga zarar yetkazishi mumkin[1]. Yer usti suvlarini katta qismi sho'rlanganligi sababli ichimlik suvi tanqisligi dunyoning chekka hududlarida, ayniqsa, qishloq joylarida katta muammo hisoblanadi. Natijada quyosh energiyasidan foydalanib sho'r suvlarni chuchuklashtirish jarayoni sho'rlangan hududlarda ichimlik suvi ta'minotini yaxshilash uchun maqbul variant sifatida e'tirof etish mumkin. Toza ichimlik suvi inson salomatligi uchun muhim

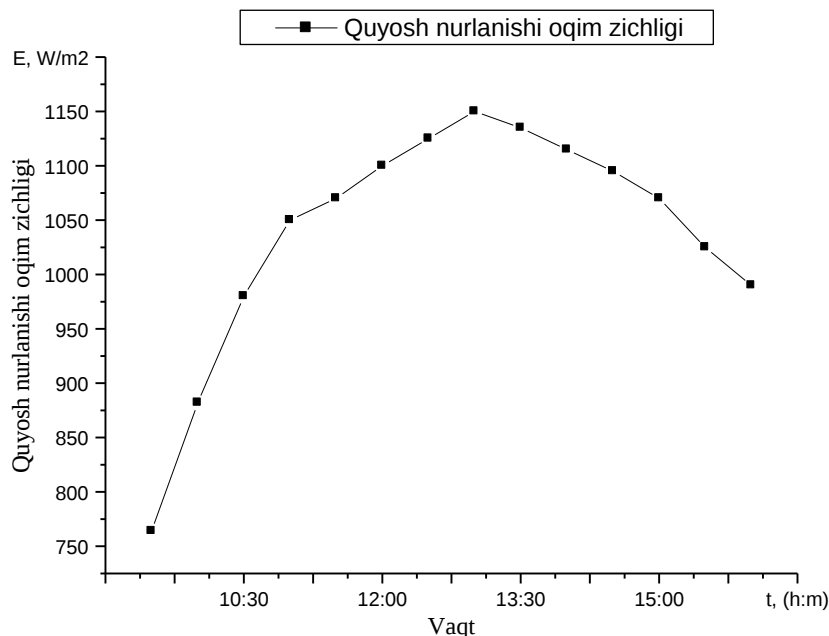
omillardan biri bo'lib, uning yetarli darajada ta'minlanishi ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanish bilan bevosita bog'liqdir[2]. Uzoq yillar davomida sho'r suvni chuchuklashtirish maqsadida quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha turli ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Biroq, ushbu tadqiqotlarning aksariyati asosan kunning issiq vaqtiga, ya'ni yoz oylariga to'g'ri keladi. Bu esa quyosh energiyasidan foydalanuvchi suv chuchitgich qurilmalarining ish faoliyatini muayyan vaqt oraliq'ini cheklaydi. Toza ichimlik suvi olish va aholi uchun yakuniy iste'molga yetkazib berish kabi amaliy ishlar davlat siyosati darajasida yo'lga quyilgan bo'lib, bunga qo'shimcha ravishda O'zbekiston Fanlar akademiyasining S.A. Azimov nomidagi Fizika-texnika institutining bir guruh tashabbuskor olimlar tomonidan iste'molga yaroqsiz, ifloslangan va sho'r suvlardan iste'molga yaroqli chuchuk suv olish bo'yicha tadqiqotlar izchil olib borilmoqda.[3]

Dengiz suvini tuzsizlantirish-bu suv tarkibidagi tuzlar miqdorini kamaytirish jarayonidir. Dengiz suvida mineral tuz, gaz (azot, kislorod, karbonat angidrid, vodorod sulfid) va kam miqdorda organik moddalar erigan bo'ladi. Okean va dengiz suvining tarkibida tuz miqdori o'rtacha 3,47 foizni, o'zgaruvchanligi 3,4-3,6 foizgacha tashkil etadi, ichish uchun yaroqli suvda esa ushbu ko'rsatkich 0,05 foizdan oshmasligi kerak. Tuzsizlantirish jarayonidan so'ng suv tarkibidan kalsiy va boshqa zararli moddalarni tozalash zarur bo'ladi. Shu sababli, suvni tozalash uskunalaridan foydalanish majburiy hisoblanadi.

Suv chuchutgich qurilmasini tarkibi: Quyosh elementlari tuzilmasi asosida suv chuchutish qurilmasi sho'r suvdan toza ichimlik suvi olish yoki boshqa texnik maqsadlarni ko'zlab ishlatiladigan toza suv ajratib olishga mo'ljallangan qurilma bo'lib, uning asosiy energiya ta'minoti quyosh nurlanishi hisoblanadi. Ushbu qurilmaning asosi issiqlik kollektori (IK) zanglamaydigan po'lat asosli metall qotishmadan tayyorlangan bo'lib, sho'r suv muhitida korroziyaga yuqori darajada chidamlilikka ega. Kollektorning tashqi yuzasi (quyoshga tomon qaratilgan yuzasi) qalinligi 4 mm bo'lgan toblangan oyna orqali izolyatsiya qilingan, quyosh nurlanishi shisha orqali o'tish jarayonida taxminan 4-5% energiya yo'qotishiga uchraydi. Shaffof oyna chetki chrgaraviy qismi 20 mm kenglikda nur yutish koeffitsiyentli yuqori bo'lgan qatlam bilan bo'yalgan. IK ning ichki qismida yuzasiga tushayotgan nurlanishi intensiv yutuvchi 150 W quvvatga ega bo'lgan kristalli kremniy asosidagi quyosh elementlari tuzilmasi joylashgan. IK ichki qismining quyosh elementlari tuzilmasining joylashuvining davomida esa, hosil bo'lgan suv bug'ining erkin harakatlanishini ta'minlovchi maxsus tirqish mavjud bo'lib, unga ulangan sovutish tuzilmasi hisobiga suv bug'ining haroratini kamaytirib tirqishda suv tomchilari hosil qiladi va ular og'irlik kuchi hisobiga pastda joylashgan suv yig'uvchi idishga tushirib beradi. Issiqlik kollektorining ikki yon tomonida nur qaytaruvchi reflektorlar bilan jihozlangan bo'lib, quyosh nurlanishini intensiv yutuvchi quyosh elementlari tuzilmasi yuzasiga tushirib beradi. Ko'chma arava konstruksiyasi, qurilmaning optimal burchakka moslash dastagi va qayta ishlanadigan va tozalanadigan suvni saqlash idishdan tarkib topgan.

Tajribaning o'lchash metodologiyasi tadqiqot ishi bo'yicha amaliy tajriba Fizika-texnika institutining Geliomaydonchasida joriy yilning fevral-mart oylarida olib borildi va o'sha kungi havo harorati o'rtacha 6-26°C ni, Quyoshdan tik tushayotgan yorug'lik intensivligining qiyom nuqtasidagi quyosh nurlanishi oqim zichligi yon va pastki reflektorlar ishlatilganda 1130-1150 W/m² gacha qiymatlari qayd qilinib olindi. Fotoelektrik suv chuchutish qurilmasi gorizontga nisbatan o'rtacha $\alpha=39^\circ$ optimal burchak ostida ish rejimi holatiga keltirildi va har 20-25 daqiqada o'zgartirilib, quyoshdan kelayotgan yorug'lik intensivligini yuza birligiga perpendikulyar tushishligi ta'minlanishi samaradorlikka sezilarli ta'sir etdi. Tadqiqot ishi mart oyi kunlarida 10⁰⁰ dan 16⁰⁰ gacha amalga oshirildi, tajribaninig maqsadi mavjud sho'r suvdan toza ichimlik suvi olish

edi va bu natijaga erishildi. Dastlab quyilgan sho‘r suv miqdori 16 litr bo‘lib, qaynash jarayoni boshlangan so‘ng har soatda 2.6-2.9 litrgacha chuchik suv olindi. IK da maksimal harorat 92-95°C gacha tashkil qildi va hvarorat ortishi bilan bug‘lanish jarayoni keskin ravishda tezlashishi kuzatilda, 11²⁰ dan 14³⁰ gacha bo‘lgan davrda maksimal bo‘ldi.



1-rasm. Quyosh nurlanishing oqim zichligini vaqtga bog‘lanish grafigi.

1-Rasmda mart oyi kunlarida quyosh nurlanish oqim zichligining yuqori va past qiymatlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi keltirilgan. Sho‘r suvning haroratini qisqa vaqt ichida oshirish maqsadida, yon tomonlardan ikkita va pastki qismida bitta reflektorlardan foydalanildi. Ushbu reflektorlar quyosh nurlanishini oqim zichligini oshirish orqali suv haroratini keskin ravishda oshirishga erishildi. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatdiki, boshlang‘ich harorati 17°C bo‘lgan sho‘r suv reflektorlar yordamida 25-30 soat ichida 92°C gacha ko‘tarildi. Bu esa reflektorlarning quyosh energiyasidan samarali foydalanish imkoniyatlarini oshirishdagi ahamiyatini tasdiqlaydi.

Adabiyotlar:

1. Ahsan A, Islam KMS, Fukuhara T, Ghazali AH. Experimental study on evaporation, condensation and production of a new Tubular Solar Still. Desalination. Vol 260, paGES 172–179, 2010
2. A. Madhlopa, C. Johnstone. Potential for water distillation by using solar energy in Malawi. Environment and Health International. Vol 10, issue 2, page 51, 2nd March, 2008.
3. R.A.Muminov, M.N.Tursunov, H.Sabirov, T.Z.Axtamov. Yassi reflektorlar bilan jihozlangan ko‘chma fotoissiqlik qurilmaning samaradorligini oshirish. "IRRIGATSIYA va MELIORATSIYA" jurnali. №4(34). Toshkent. 2023. C. 48-53.

**FOTOISSIQLIK QURILMASINING FOTOELEKTRIK BATAREYASIGA
NISBATAN ELEKTRO-FIZIK ANALIZLARI TAHLILI**

T.Z. Axtamov¹, S.A. Bobomuratov¹, Sh.J Qarshiyev²

¹O'zR FA Fizika-texnika instituti "Fizika – Quyosh" IICHB,
O'zbekiston 100084, Toshkent sh., Chingiza Aymatov, 2B

²Termiz Davlat Universiteti

O'zbekiston, 190111, Termiz, Termiz shahri, "Barkamol avlod" ko'chasi 43-uy

Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi kremniy asosli quyosh elementlaridan (QE) tuzilgan quyosh batareyalarining samaradorligi harorat ortishi bilan kamayib ketish hodisasini o'rganish, atmosfera muhit harorati 50°C dan oshganda, fotoelektrik batareyalar FIK 40% gacha tushib ketishi jarayonini tahlil qilib, bu hodisani oldini olish imkoniyatlarini o'rganish maqsadga muvofiqdir.

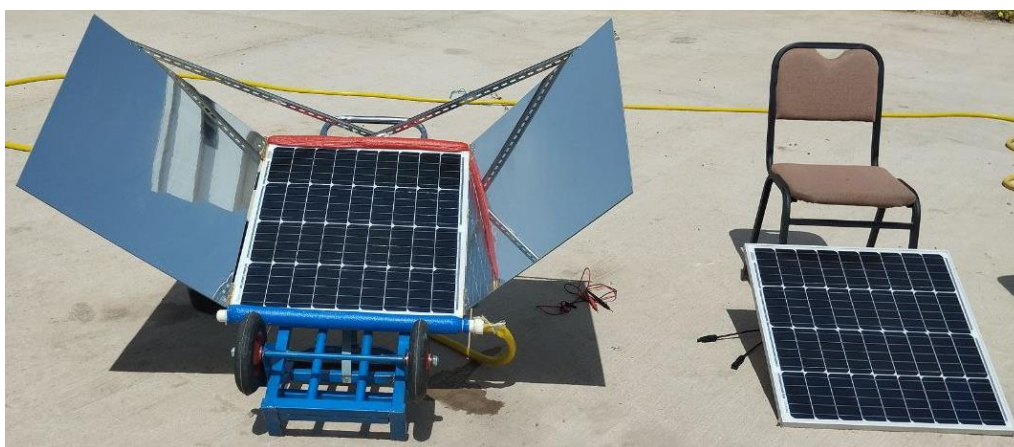
FEBlardan iqlim sharoitlari hisobga olinmasdan foydalanish ularning samaradorligiga katta ta'sir qilishi ko'p ishlarda qayd qilingan [1-2] Bizning tadqiqotdagi fotoelektrik qurilma oq himoya qoplamali monokristall kremniyli bo'lib umumiy AM 1,5 sharoitida tajriba olindi. FEBning quvvati 60 vtni tashkil qiladi. Fotoelektrik batareyalarni to'g'ri joylashtirish, turli ob-havo

s
h
a

Tajriba 2024 yil 22-may kuni havo harorati +35°C bo'lgan Termiz sharoitida (kenglik 37°13') o'tkazildi. O'lchashlar soat 09:00 dan 15:00 gacha 20 daqiqa interval bilan treker rejimida olib borilgan. Fotoelektrik qurilmaning umumiy tashqi ko'rinishini quyidagi rasmdan ko'rishimiz mumkun.

i
d
a

u
n
i
n
g



i
q
t
i

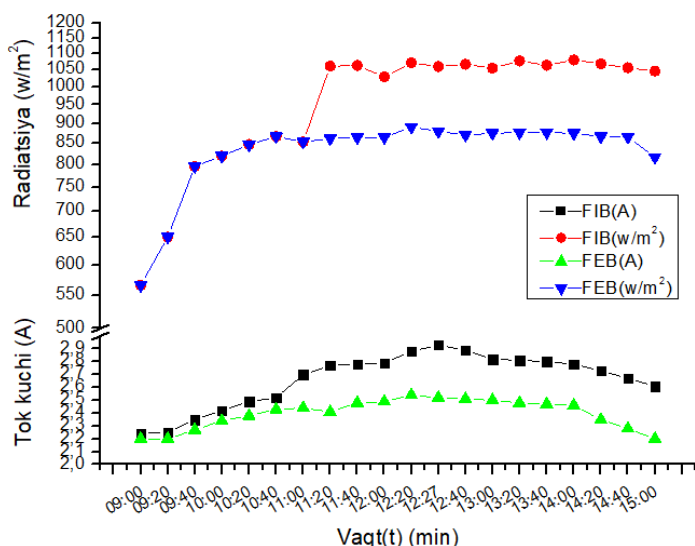
a)

b)

1-rasm. a) Fotoissiqlik batareyasi. b) Fotoelekterik batareya.

Quyosh harakati yo'nalishiga qarab yo'nalishini o'zgartirish orqali FEB hamda FIBlar bir biriga nisbatan taqqoslangan FEB hamda FIBlar gorizonta bu chagi 43° dan qiyom vaqtigacha 24° burchak ostigacha tushib so'ngra yana 37° burchakgacha ko'tarilib tajribalar olindi. Tajriba natijalarini quyidagi grafik asosida tushuntirish mumkin.

s
a
m

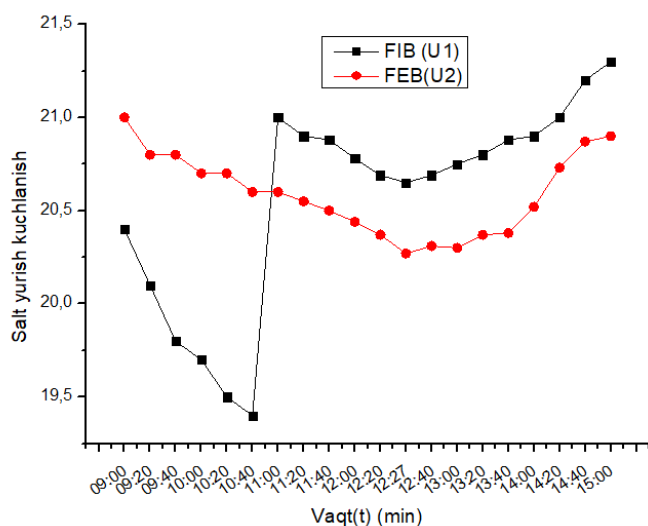


2- rasm. Fotoelektrik batareyalarning elektr parametrlarining kunduzgi vaqtga bog‘liqligi.

Ushbu 2-rasmdan tushunish mumkinki, FEB, FIBlar tajriba vaqtida qisqa tutashuv toki va quyosh yorug‘lik oqimi zichligi o‘lchandi va shu kattaliklar asosida FEB hamda FIBlarning elektr parametrlari hisoblandi.

Odatiy rejimdagi FEB hamda FIB yorug‘lik nurlanish intensivligiga qarab Fotoelektrik batareyaning qisqa tutashuv toki zinet vaqtigacha ortib borgan, zinet vaqtdan so‘ng pasayganini kuzatishimiz mumkin. FIB esa FEBga nisbatan ko‘proq yorug‘lik oqimi zichligi hamda qisqa tutashuv tokining qiymati sezilarli darajada ortiqroq ko‘rsatayotganini yaqqol kuztishimiz mumkin. Bunga sabab qilib mahsus yorug‘lik oqimini yig‘uvchi refflektorlar hisoblanadi.

Olingan natijalarga assoslanib FEB hamda FIBlarning parametrlari hisoblanib quyidagi grafik olindi.



3-rasm. FEB hamda FIBlarning salt yurish kuchlanishlarining kunduzgi vaqtga bog‘liqligi.

Harorat ortishi ikkala FEB, FIBlarning zinet vaqtigacha salt yurish kuchlanishi kamayib, keyin yana ortganini ko‘rishimiz mumkin. Hamda ma‘lum vaqtdan Ichida FIBsi FEBsiga nisbatan

sezilarli natijada kamaygani so'ngra soat 11:00 dan boshlab sezilarli darajada ortganini ko'rish mumkin. Bunga sabab qilib dastlab FIB ichida issiqlik qamalib qolgani sababli salt yurish kuchlanishi tushib 11:00 da kollektordan suv oqizilgani sababli kuchlanish FEBga nisbatan ko'proq natija ko'rsatgan. So'ngra FIBning kollektor qismida o'tkazilgan suv oqimi FEBda yig'ilgan energiyani olib issiq suv shaklida chiqib ketib qo'shimcha issiq suv olish imkonini yaratdi (2-3rasmlar). Ushbu rasmlardan tushunish mumkinki, tajribada bir xil quvvatli 2 ta FEB hamda FIBlar bir biri bilan taqqoslangan hamda elektr parametrlari aniqlanib olingan. FEBsi FIBsiga nisbatan salt yurish kuchlanishidan ham qisqa tutashuv toki jihatidan ham kamroq qiymatni ko'rsatgan. Ushbu tajribadan FIB bir vaqtning o'zida ham elektr energiya ham 40°C dan 50 °C gacha issiq suv olish imkonini yaratmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. M. Salem Ahmed, A. S. A. Mohamed, Hussein M. Maghrabie. Performance Evaluation of Combined Photovoltaic Thermal Water Cooling System for Hot Climate Regions // Journal of Solar Energy Engineering February 2019.
2. Фундаментальные и прикладные вопросы физики, Труды Международной конференции, Ташкент, сентябрь 22-23, 2020г. Исследование эффективности использования автономных фотоэлектрических станций в условиях жаркого Muminov R. A., Tursunov M. N., Sabirov Kh., Abilfayziyev Sh. N., Yuldoshov B. A. and Toshpulatov S. F. Testing of crystalline silicon-based photoelectric and photothermal batteries in real climate conditions and comparison of parameter changes. Journal of Physics: Conference Series 2388 (2022) 012128. doi:10.1088/1742- 6596/2388/1/012128
3. Muminov, R.A., Tursunov, M.N., Yuldoshev, I., Sabirov, H., Kholov, U., and Akhtamov, T., Features of optimization of increasing the efficiency of an autonomous photo thermal installation for rural regions // E3SWeb of Conferences, 2020, vol. 216, p. 01146.
4. I.A. Yuldoshev, A.K. Saymbetov. Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators [Combined photo thermo converters solar energy with reflecting concentrators] // Proceedings of XII International Scientific Conference "Solid State Physics" 2014y. 25-27 June, p.217-219

BIR JINSLI BO'LMAGAN YARIMO'TKAZGICHLARDA FOTOMAGNITOELEKTRIK HODISALARNI O'RGANISH

G. Gulyamov, G.N.Majidova*, S.Q.Madumarova, Sh.O.Mamadaliyev

*Namangan Davlat Texnika Universiteti,
Uzbekiston 160103, Namangan, Islom Karimov ko'cha 12 uy,*

**m.gulnoza.1985@gmail.com.*

Bilamizki bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgichlar, ya'ni geterostrukturali yarim o'tkazgichlar, fotomagnitoelektrik effekt kabi hodisalarni o'rganishda katta ahamiyatga ega. Fotomagnitoelektrik effekt bu yarim o'tkazgichlarda magnit maydon va yorug'likning o'zaro ta'siri natijasida elektron va teshiklarning dinamikasi o'zgartirgan hodisadir. Bu hodisa, asosan, optik,

elektrik va magnit xususiyatlarining birlashishiga asoslanadi va yangi texnologiyalarni ishlab chiqishda muhim o‘rin tutadi.

Dunyoda bu sohada bir qator olib borilayotgan ilmiy izlanishlarni taxlil qilsak, bir jinsli bo‘lmagan yarim o‘tkazgichlarning fotomagnitoelektrik effektini o‘rganish, ayniqsa, geterostrukturali va nano-strukturali materiallar asosida olib borilmoqda. Bunday materiallar, masalan, grafen, bidimensional materiallar (masalan, molibden disulfid) yoki kvant nuqtalar kabi yangi materiallarda fotomagnitoelektrik effektini o‘rganish, yangi optoelektron qurilmalar yaratishga imkon beradi.

Fotomagnitoelektrik effektini o‘rganish orqali yangi energiya samaradorligi yuqori qurilmalar va energiya tejash texnologiyalarini yaratish mumkin. Bu energiya samaradorligini oshirishga yordam beradi, masalan, quyosh batareyalari yoki optoelektron qurilmalarini ishlashida ko‘rishimiz mumkin.

Biz esa ushbu ishimizda geterostruktura asosida olingan quyosh fotoelementining quvvatiga magnit maydon ta‘hiri ko‘rganmiz.

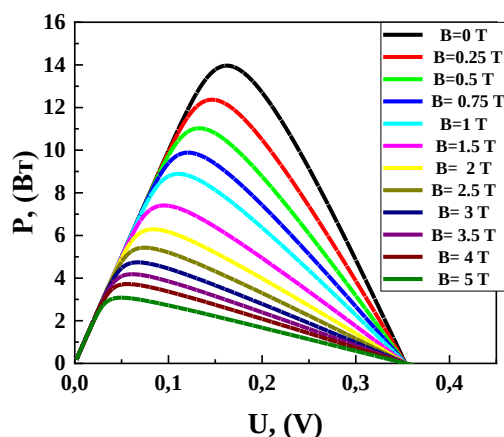
Na‘munaga magnit maydon va yorug‘likni ta‘sir ettirilganda ideal diod uchun olingan Shokli ifodasi qo‘yidagicha tus oladi.

$$j = j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U - U_1 + J((R_b - AU^n) + \frac{R_x JB}{1}))}{kT_e}} - 1 \right) + \frac{U}{R_u} - J_f, \quad (1)$$

Hosil bo‘lgan (1) ifodamizga kuchlanishni ko‘paytirib fotoelementning quvvatini ifodalovchi formula keltirib chiqarib olamiz.

$$P = \left(j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U - U_1 + J((R_b - AU^n) + \frac{R_x JB}{1}))}{kT_e}} - 1 \right) + \frac{U}{R_u} - J_f \right) \cdot U, \quad (2)$$

Bu formulaga qo‘yidagi tajribalarda olingan sonli qiymatlarni qo‘yish orqali quvvatni kuchlanishga bog‘liq grafikga ega bo‘lamiz (1-rasm).



1-rasm. Quvvatning turli magnit maydonlar ta'sirida kuchlanishga bog'liqligi

Olingan grafikdan ko'rinadiki B ortib borgan sari fotoelementning maksimal quvvati kamayib borar ekan.

Na'munadan o'tayotgan tok zichligi yo'nalishi bilan magnit maydonning yo'nalishi orasidagi burchak potensial to'siq balandligiga ta'sir qiladi. Buning natijasida dioddan o'tayotgan tok magnit maydoning yo'nalishiga bog'liq bo'ladi.

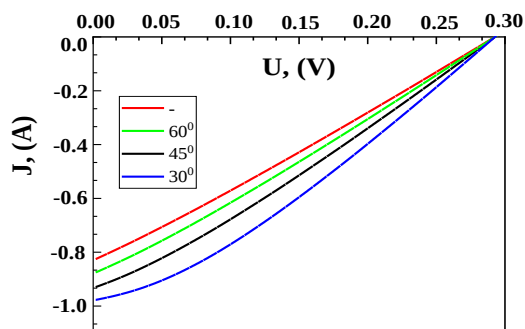
Bu esa o'z navbatida diodning VAXiga magnit maydonning p-n o'tish tekisligiga qanday yo'налgan ekanligiga bog'liq bo'ladi. Magnit maydonni induksiyasining p-n o'tish tekisligiga perpendikulyar yo'nalishi bilan hosil qilingan burchagi dioddagi kuchlanishga $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi \sin^2 \alpha$ ko'rinishida o'zgarishini tajribada aniqlangan. Biroq bu yerda ikkinchi xad $\Delta\varphi \sin^2 \alpha$ imperik tanlab olingan. Nazariy jihatdan asoslanmagan.

Bizga ma'lumki magnit maydonda harakatlanayotgan zaryadlarga ta'sir qiluvchi kuch Lorens kuchi bo'lib $F = qB\vartheta \sin \alpha$ burchak sinusining birinchi darajasiga bog'liq bo'ladi.

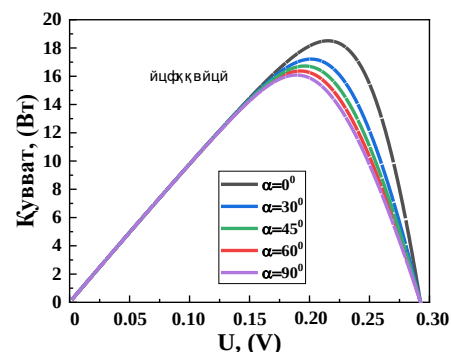
Shuning uchun na'munada yuzaga keluvchi Xoll kuchlanishi ham $\sin \alpha$ ga pro-porsional bo'lishi kerak. Basharti tok kuch chiziqlarining magnit magnit maydonida egilishini hisobga oladigan bo'lsak u holda Xoll kuchlanishi-ning p-n o'tish tekisligiga perpendikulyar tashkil etuvchisi yuzaga keladi. Bu esa p-n o'tishga qo'shilgan tashqi kuchlanishga qo'shimcha Xoll kuchlanishiga proporsional bo'lgan qo'shimcha kuchlanishni hosil bo'lishiga olib keladi. Agarda magnit maydoni hisobiga yuzaga keluvchi Xoll kuchlanishi bilan bog'liq bo'lgan potensial to'siq balandligini o'zgarishini hisobga olsak, dioddan o'tayotgan tokning magnit maydoniga bog'liqligini (3)ifoda ko'rinishda yozishimiz mumkin.

$$P = \left(j_s \left(e^{\frac{e\varphi_0}{kT} - \frac{e(\varphi_0 - U - U_1 + J((R_b - AU)^n) + aR_x J \beta \sin \alpha)}{kT_e}} - 1 \right) + \frac{U - J((R_b - AU)^n)}{R_u} - J_f \right) \cdot U, \quad (3)$$

Bu yerda potensial to'siqning balandligini o'zgarishi $\sin \alpha$ ga proporsional bo'ladi. Yorug'lik tushayotgan na'munaning VAXning magnit maydoning yo'nalishiga bog'liq bo'lgan grafik hosil bo'ladi.



2-rasm. Magnit maydon turli yoʻnalishi uchun VAXni oʻzgarishi



3-rasm. Magnit maydoni turli burchaklar uchun quvvatning kuchlanishga bogʻliqlik grafigi

VAXning magnit maydon bilan tok orasidagi burchakga bogʻliqligi fotoelementning quvvatiga ham taʼsir qiladi. VAXning (1) ifodasidan foydalanib fotoelementning quvvatini burchakka bogʻliqligini grafiklarini olaylik. (3) rasmda fotoelement quvvatining (3) ifodalardan foydalangan holda turli burchaklar uchun quvvatning kuchlanishga bogʻliqlik grafiklari keltirilgan.

Grafiklardan koʻrinib turibdiki, turli burchaklar uchun quvvat grafiklari ham turlicha boʻlgan. α burchak 0 boʻlgan hol uchun fotoelementning quvvati berilgan magnit maydonida eng katta qiymatga erishgan. Shunday qilib magnit maydonining yoʻnalishini oʻzgartirish yoʻli bilan fotoelementda ishlab chiqarilayotgan foydali quvvatga taʼsir oʻtkazish mumkin. Bu esa magnit maydoni orqali fotoelement foydali quvvatini boshqarish imkonini beradi.

Magnit maydon, shuningdek, p-n oʻtishlarning optik xususiyatlariga ham taʼsir qilishi mumkin. Masalan, magnit maydon p-n oʻtishlarining fotogeneratsiyasi va fotoqoplama jarayonlariga taʼsir etadi, bu esa fotodiodlar yoki fotovoltaik elementlarning ishlash samaradorligini oshirishga yordam beradi.

Adabiyotlar

1. С. Зи, Физика полупроводниковых приборов. М: Мир. 1984. С. 58-65.
2. D. Yang, F. Wang, Y. Ren, Y. Zuo et al, "A Large Magnetoresistance Effect in p–n Junction Devices by the Space-Charge Effect," *Adv. Funct. Mater*, 2013. V.23. P. 2918–2923.
3. G.Gulyamov, G. N. Majidova, F. R. Mukhitdinova, Changing the Voltage of the p-n Junction in a Magnetic Field // *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. 2023. Vol 21, pp. 273–277 (**Scopus**: CiteScore: 1.1. Q3; [https:// DOI: 10.1380/ejsnt.2023-047](https://doi.org/10.1380/ejsnt.2023-047)).
4. Gulyamov G., Majidova G. N., Mukhitdinova F. R., Suvanov A. X., Effect of magnetic field on photoelectric characteristics of p-n junction diode // *Journal of Optoelectronics laser*. 2022. Vol.41. Iss. 9. pp. 451-462.
5. Gulyamov G., Majidova G.N., Influence of electron and phonon heating on the characteristics of solar photocells // *Romanian journal of physics*. 2023. Vol.68. No. 3-4. pp.110-115.
6. Gulyamov G., Majidova G. N., Mukhitdinova F. R., Madumarova S.Q., Changes in Diodes with a p-n – Transition Under the Influence of Microwave Radiation // *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol.2700. 050008

KICHIK QUYOSH ELEKTR STANSIYASI UCHUN AKKUMULYATOR BATAREYALARINI TANLASH

A.U. Xaqiqov

*Farg'ona politexnika instituti,
O'zbekiston, 150107, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi 86*

haqiqovanvarjon@gmail.com

Ushbu maqolada kichik quyosh elektr stansiyalarida foydalaniladigan akkumulyator batareyalarini tanlash tamoyillari, ularning texnik xususiyatlari va samaradorligi o'rganiladi. Batareyalarning turli turlari, ularning energiya sig'imi, xizmat muddati va samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillar tahlil qilinadi. Grafik va jadval ko'rinishida taqdim etilgan natijalar orqali optimal akkumulyator tanlash bo'yicha tavsiyalar beriladi.

Bugungi kunda quyosh energiyasidan samarali foydalanish masalasi dolzarb hisoblanadi. Quyosh elektr stansiyalarining uzluksiz ishlashini ta'minlashda akkumulyator batareyalar muhim rol o'ynaydi. Ular quyosh panellaridan olingan energiyani saqlash va talabga qarab ta'minlash vazifasini bajaradi. Akkumulyator batareyalarining to'g'ri tanlanishi tizimning umumiy samaradorligi va iqtisodiy jihatdan foydaliligiga bevosita ta'sir qiladi.

Akkumulyatorlar texnologik xususiyatlariga ko'ra quyidagi asosiy turlarga bo'linadi:

Qo'rg'oshin-kislotali (Pb-Acid) batareyalar. Qo'rg'oshin-kislotali akkumulyatorlar eng qadimgi va eng keng tarqalgan energiya saqlash texnologiyalaridan biridir. Ular nisbatan arzon bo'lib, avtomobil sanoatida, favqulodda quvvat manbalarida va kichik quyosh energiya tizimlarida keng qo'llaniladi. Ushbu batareyalar kam texnik xizmat talab qiladi va yuqori tok chiqarish qobiliyatiga ega. Biroq, ularning energiya zichligi past, xizmat muddati nisbatan qisqa va atrof-muhitga zarar yetkazishi mumkin.

Litiy-ion (Li-ion) batareyalar. Litiy-ion akkumulyatorlar yuqori energiya zichligi va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi. Ular yengil, yuqori samaradorlikka ega va kam texnik xizmat talab qiladi. Bu batareyalar portativ elektronika, elektr transport vositalari va quyosh energiyasi tizimlarida keng qo'llaniladi. Ularning asosiy kamchiligi – yuqori narx va ba'zi modellarining ortiqcha qizishi tufayli xavfsizlik muammolariga ega bo'lishi.

Nikel-kadmiy (Ni-Cd) batareyalar. Nikel-kadmiy batareyalari yuqori yuklama bardoshlilikiga va uzoq xizmat muddati bilan mashhur. Ular yuqori harorat sharoitida yaxshi ishlaydi va ko'p marta zaryadlash-razryadlash jarayoniga bardosh bera oladi. Biroq, Ni-Cd batareyalarining kamchiligi ularning ekologik zararli ekanligi va "xotira effekti" sababli samaradorligi pasayishi mumkinligidir.

Nikel-metal gidrid (Ni-MH) batareyalar. Nikel-metal gidrid batareyalari nikel-kadmiy batareyalariga nisbatan ekologik toza va yuqori energiya zichligiga ega. Ular portativ qurilmalarda va ba'zi elektr transport vositalarida keng qo'llaniladi. Ni-MH batareyalarining asosiy kamchiligi – yuqori o'z-o'zidan razryadlanish darajasi va Li-ion batareyalarga qaraganda nisbatan past samaradorlikka ega bo'lishidir.

Sizga kerak bo'lgan batareya tizimining hajmini hisoblash uchun kunlik kilovatt-soat (kVt) energiya sarfini baholashdan boshlang. Bu raqam sizning energiya talablaringizni qondirish uchun zarur bo'lgan quyosh batareyalarining quvvatini aniqlash uchun zarurdir. Oddiy uy xo'jaliklari uchun 100% energiya ofsetiga mos keladigan quyosh tizimi yurtimizning aksariyat hududlarida yoritish tizimlarni quvvatlantirish uchun bitta 10 kVt-soat batareya bilan tavsiya etilishi mumkin.

Aniqroq ehtiyojni aniqlash uchun bir necha kun davomida uy xo'jaliklari tomonidan foydalanilgan umumiy kVt/soatni hisoblashingiz kerak. Ehtiyojlaringizni hisoblashning soddalashtirilgan usuli:

Barcha jihozlaringizni va ularning quvvatini sanab o'ting.

KVt/soatni olish uchun har bir qurilmaning quvvatini kuniga sarflangan soatlar soniga ko'paytiring.

Kunlik umumiy miqdorni olish uchun barcha jihozlarning kVt/soatini qo'shing.

Misol uchun, agar sizning uyingiz kuniga taxminan 30 kVt soat quvvat sarflasa, sizga shunchalik ko'p quvvat beradigan batareya tizimi kerak bo'ladi.

48V 100 Ah lityum temir fosfat batareyasi, saqlash hajmi $h = 48V * 100AH = 4,8 \text{ kVt} / \text{soat}$

Quyida turli akkumulyator batareyalarining texnik xususiyatlari jadval shaklida keltirilgan:

Akkumulyator turi	Energiya sig'imi (Wh/kg)	Xizmat muddati (yil)	Samaradorlik (%)	Narx (\$)
Pb-Acid	30-50	3-5	70-85	50-150
Li-ion	150-250	8-15	90-98	200-500
Ni-Cd	45-80	10-15	70-80	300-600
Ni-MH	60-120	5-10	75-85	350-700

Optimal akkumulyator tanlash quyidagi omillarga bog'liq:

Quvvat sig'imi – Batareyaning talab qilinadigan energiyani saqlash imkoniyati.

Xizmat muddati – Uzluksiz ishlash yillari.

Narx va iqtisodiy samaradorlik – Xarajat va energiya tejamkorlik omili.

Ishlash sharoitlari – Haroratga chidamlilik, zaryadlash va razryadlash sikllari.

Akkumulyator quvvat sig'imini aniqlash uchun quyidagi formula qo'llaniladi:

$$C = \frac{E}{V} (Ah)$$

Bu yerda: C – quvvat sig'imi (Ah),

E – umumiy talab qilinadigan energiya (Wh),

V – batareyaning nominal kuchlanishi (V).

Akkumulyator umumiy energiya sig'imi:

$$E = P * t (Wh)$$

Bu yerda: E – talab qilinadigan umumiy energiya (Wh),

P – o'rtacha quvvat sarfi (W),

t – ishlash vaqti (soat).

Xulosa qilib aytganda maqolada kichik quyosh elektr stansiyalari uchun eng mos akkumulyator batareyalarini tanlash bo'yicha tavsiyalar berildi. Tahlil natijalariga ko'ra, Li-ion batareyalari yuqori samaradorlik va uzoq xizmat muddati tufayli eng maqbul variant sifatida tavsiya etiladi. Biroq, iqtisodiy jihatdan arzonroq variantlar uchun qo'rg'oshin-kislotali batareyalar ham muqobil tanlov bo'lishi mumkin. Tanlovda texnik va iqtisodiy omillarni hisobga olish muhim ahamiyat kasb etadi.

СВОБОДНОПОТОЧНЫЕ МИКРО-ГЭС КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЕ

С.Ф. Эргашев, У.С. Рустамов, Д. Ботиров*

Ферганский политехнический институт
Узбекистан, 150107, г. Фергана, ул. Ферганская, 86

[*nshoxnoza@gmail.com](mailto:nshoxnoza@gmail.com)

Рост потребления и удорожание электроэнергии в современных условиях требуют активного внедрения энергосберегающих технологий. Однако, даже их широкое применение позволяет снизить энергозатраты лишь на 10–15%, что не обеспечивает полной компенсации расходуемых энергоресурсов. В связи с этим становится актуальным поиск альтернативных возобновляемых источников энергии, среди которых гидроэнергетика занимает одно из ведущих мест [1,2].

Анализ гидроэнергетического потенциала водоотводящих каналов и рек Ферганской долины показывает высокую перспективность внедрения малых свободнопоточных микрогидроэлектростанций (микро-ГЭС) с единичной мощностью от 0,5 до 100 кВт [3]. Разработка и внедрение автономных, автоматизированных микро-ГЭС особенно важны для сельскохозяйственного сектора, нуждающегося в доступной и стабильной электроэнергии [4]. Ключевым преимуществом таких установок является возможность их интеграции в существующие водоотводящие каналы без значительных изменений в инфраструктуре [5].

Гидродинамические параметры водоотводящих каналов

Большинство ирригационных систем региона функционируют в самотёчном режиме. Согласно исследованиям [6], расход воды в этих каналах варьируется в диапазоне от 0,1 до 100 м³/с, а скорость течения составляет 0,5–5 м/с.

Энергетический потенциал водного потока можно определить по формуле:

$$NQ = \rho g H$$

где:

ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – рабочий напор, м;

Q – расход воды, м³/с.

Фактическая мощность гидроагрегата ($N_{га}$) всегда ниже, чем теоретическая мощность потока, так как учитываются потери энергии на гидравлические сопротивления и КПД установки:

$$N_{га} = \rho g H Q \eta_K$$

где η_K – гидравлический КПД установки.

Кроме того, электрическая мощность генератора ($P_{га}$) будет ещё меньше из-за потерь в передаточных механизмах и самом генераторе.

Перспективные технологии микро-ГЭС. В условиях Ферганской долины естественный перепад высот в большинстве случаев не превышает 0,5–5 м, что делает нецелесообразным использование традиционных деривационных микро-ГЭС. В связи с этим наибольший интерес представляют следующие типы установок:

1. Микро-ГЭС на водяных колёсах. Данный тип микро-ГЭС используется при малых перепадах высот. КПД современных водяных колёс достигает 90%, что делает их конкурентоспособными с традиционными гидротурбинами. Пример: В Фергане на канале Маргелансай была установлена микро-ГЭС на водяных колёсах. При перепаде высот 4 м и расходе воды 4 м³/с она генерировала до 50 кВт·ч электроэнергии.
2. Водовихревые микро-ГЭС (Wasserwirbeltechnik). Этот перспективный тип микро-ГЭС, разработанный Францем Цотлётерером (Franz Zotloterer), позволяет эффективно использовать малые перепады высот (1–3 м). Пример: В австрийском городке Оберграфендорф водовихревая микро-ГЭС при напоре 1,2 м и расходе воды 1 м³/с обеспечивала генерацию 9,5 кВт·ч электроэнергии.

Количество генерируемой энергии рассчитывается по уравнению:

$$P=\eta(W_k+W_{\text{pot}})$$

где: $W_k=\eta m(Mr)^2$ – кинетическая энергия потока, Дж;

$W_{\text{pot}}=mgh$ – потенциальная энергия потока, Дж.

КПД водовихревых установок достигает 65–75%, что делает их эффективными при свободном течении воды.

Дополнительные преимущества микро-ГЭС. Одним из значимых преимуществ данных установок является их способность к аэрации воды. При вращении лопастной турбины (10–15 об/мин) происходит насыщение воды кислородом, что способствует улучшению качества воды и её очистке от загрязняющих веществ. Этот эффект особенно полезен для ирригационных каналов, где требуется поддержание биологического баланса.

Исследование показало, что свободнопоточные микро-ГЭС являются перспективным решением для Ферганской долины, обеспечивая экономичную и экологически чистую электроэнергию. Оптимальными для данных условий являются микро-ГЭС на водяных колёсах и водовихревые установки, обладающие высоким КПД при малых перепадах высот. Кроме того, они способствуют аэрации воды, улучшая её качество. Дальнейшие исследования и разработка эффективных систем управления микро-ГЭС могут значительно повысить их распространение в регионе.

Использованные литература

1. Андреев А.Е., Бляшко Я.И., Елистратов В.В. и др. Гидроэлектростанции малой мощности. СПб.: Политех. ун-т, 2005. 432 с.
2. Отакулов О.Х., Эргашев С.Ф., Сулаймонов О.Н. Перспективы развития микро-ГЭС в Узбекистане // Узбекгидроэнерго, 2019.
3. Franz Zotloterer. Wasserwirbeltechnik. Wildgansstraße 5 A-3200 Obergrafendorf, Austria.
4. Отакулов О.Х., Эргашев С.Ф., Рустамов У.С. Технические показатели микро-ГЭС на Маргелансайте // Тошкент, 2018.
5. Wildgansstraße 5 A-3200 Obergrafendorf, Austria. Технологии гидроэнергетики в Европе. 2019.
6. Эргашев С.Ф., Рустамов У.С., Орипов А. Методика расчёта свободнопоточных микро-ГЭС // Фергана, 2018.

ZAMONAVIY QUYOSH ELEMENTLARINING ASOSIY FOTOELEKTRIK PARAMETRLARINI TAJRIBADA ANIQLASH

M.A. Alinazarova

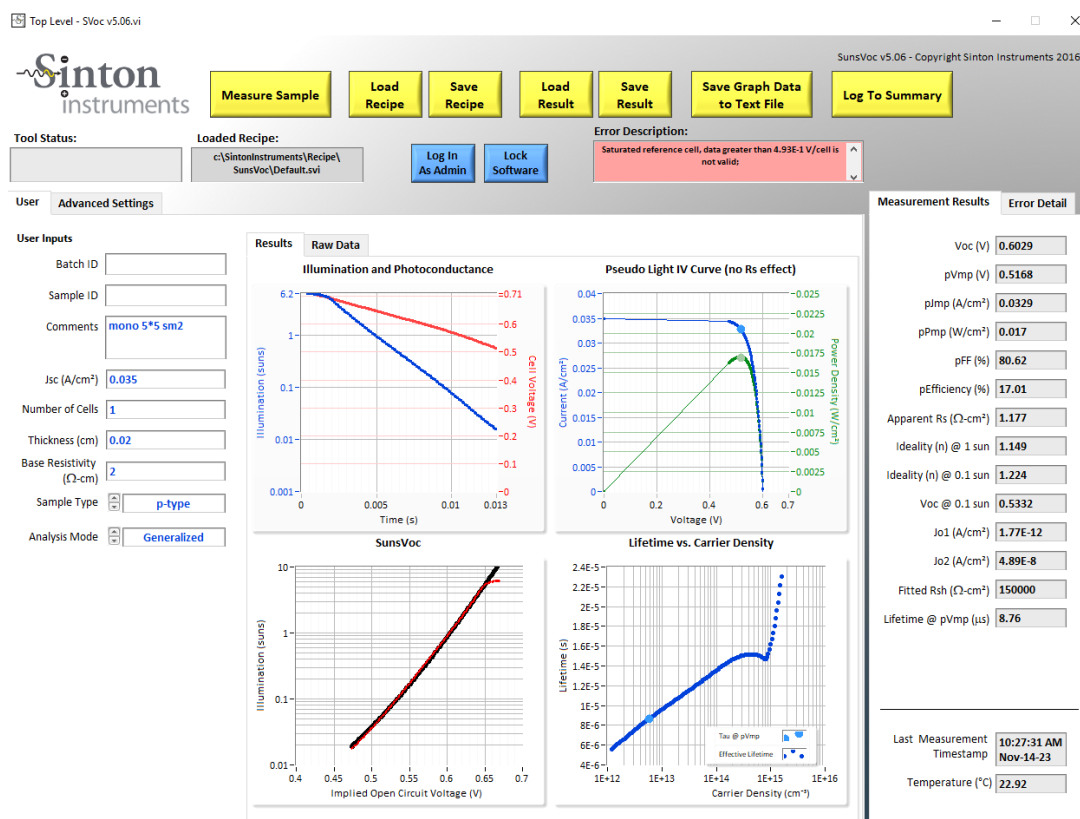
Namangan viloyati pedagogik mahorat markazi

Turli yarimo'tkazgich materiallar asosidagi quyosh elementlarining tajriba namunalarini o'rganish maqsadida "Sinton Instrument Suns-Voc" standart qurilmasidan foydalaniladi. Boshqacha aytganda, bir kompleks dasturiy ta'minot asosida kremniy kristalidagi zaryad tashuvchilar yashash vaqtlarini va Quyosh elementlarining Volt-Amper xarakteristikalarini o'lchash ta'minlangan. Quyosh elementlarining Volt-Amper xarakteristikalarini o'lchash jarayonlarida zaryad tashuvchilarning yashash vaqtlarining fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasiga bog'liqligi, yoritilganlikning vaqt davomida o'zgarishi va salt ishlash kuchlanishining yoritilganlikka bog'liqligini o'lchash imkoniyati yaratilgan. Kremniy asosli Quyosh elementlarining kompleks harakteristikalarini qisqa vaqt oralig'ida "Sinton Instrument Suns-Voc" qurilmasi yordamida o'lchash mumkin. Qisqa 13 ms vaqt oralig'ida o'lchangan kompleks xarakteristikalarining umumiy ko'rinishi monokristal kremniy Quyosh elementlari uchun 1-rasmdagidek ko'rinishda bo'ladi. 1-rasmdagi ma'lumotlardan aniqlash mumkinki, bunday quyosh elementining Volt-Amper xarakteristikasi yuqori sifatda bo'lib, uning to'ldirish ko'effitsiyenti $FF = 0,802$ ni va FIK esa $\eta = 17,01\%$ ni tashkil etadi. Quyosh elementining (diod) noideallik ko'effitsiyenti esa yoritilganlik darajasiga bog'liq holda o'zgaruvchan qiymatlarga ega. Yoritilganlik 0,1 Quyosh yoritilganlikdan 1,0 Quyosh yoritilganlikkacha ortganda noideallik ko'effitsiyenti $n_{0,1} = 1,224$ dan $n_{1,0} = 1,149$ gacha o'zgaradi. "Sinton Instrument Suns-Voc" qurilmaning dasturiy ta'minoti o'lchash natijalarini Exell jadvali shaklida komputerga export qilishga imkon beradi. Ana shunday holatlarga mansub ma'lumotlar monokristal kremniy Quyosh elementlari uchun 2. 6.8-rasmda keltirilgan.

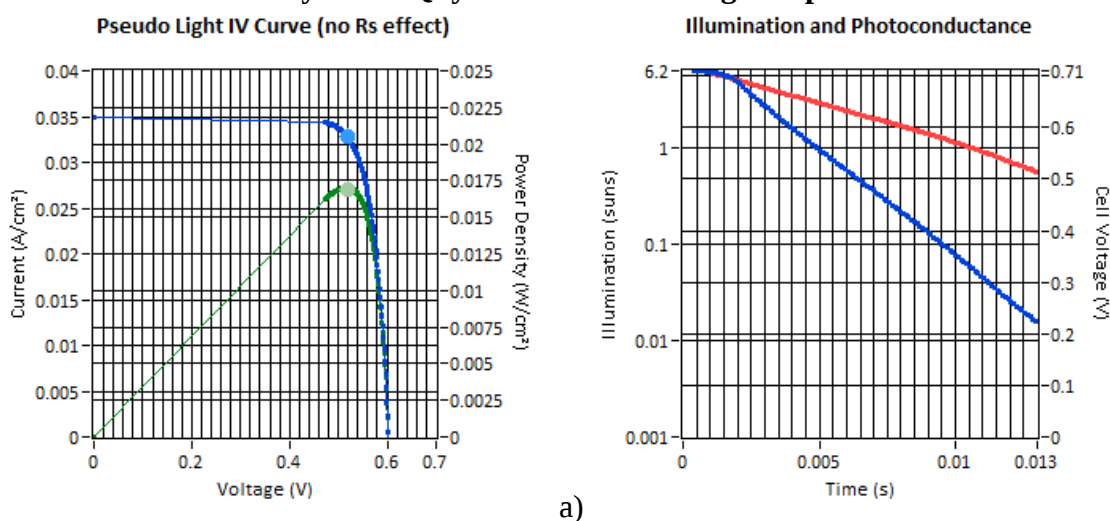
2 - rasmda (a) berilgan Volt-Amper xarakteristikadan ko'rinadiki, monokristal kremniy Quyosh elementlari uchun qisqa tutashuv tokining zichligi $J_{qt} = 35 \text{ mA/cm}^2$ ni, salt ishlash kuchlanishi esa $U_{si} = 0,62 \text{ V}$ ni tashkil etadi. Maksimal quvvat nuqtasi esa, mos ravishda $J_m = 33 \text{ mA/cm}^2$ ni, salt ishlash kuchlanishi esa $U_m = 0,58 \text{ V}$ ga tog'ri keladi. 2 - rasmda (a) shuningdek fotoelektrik quvvatning fotokuchlanishga bog'liqlik grafigi ham keltirilgan, uning qiymatlari o'ng chetdagi vertical oqqa joylashtirilgan.

Bunday natijalarni tushuntirish uchun 2 - rasmda (b) keltirilgan kremniyning fotoo'tkazuvchanligining o'zgarishini e'tiborga olish mumkin.

2-rasmda ifodalangan "Sinton Instrument Suns-Voc" qurilmasi yordamida o'lchangan kremniy asosli Quyosh elementining harakteristikasi, jumladan (b) yoritilganlik va kuchlanishning vaqt davomida o'zgarishi dinamikasidan ko'rinadiki, yoritilganlik deyarli 3 tartibga kamayganda elementdagi kuchlanish 40 % gagina pasayadi. Bundan kelib chiqadiki, yorug'lik oqimining o'zgarishi bilan generatsiya-rekombinatsiya mexanizmlarining o'zgarishi ham katta rol o'ynashi mumkin. Generatsiya-rekombinatsiya mexanizmlarining o'zgarishini odatda (diod) p - n -o'tishning noideallik ko'effitsiyenti miqdori orqali baholash mumkin. Darhaqiqat monokristal kremniy asosli Quyosh elementi uchun yoritilganlik 0,1 Quyosh yoritilganlikdan 1,0 Quyosh yoritilganlikkacha ortganda noideallik ko'effitsiyenti $n_{0,1} = 1,224$ dan $n_{1,0} = 1,149$ gacha o'zgaradi. Bunday holatda to'yinish tokining zichligi ham $J_{01} = 1,77 \times 10^{-12} \text{ A/sm}^2$ dan $J_{02} = 4,89 \times 10^{-8} \text{ A/sm}^2$ gacha o'zgaradi va zaryad tashuvchilarning o'rtacha yashash vaqti 8,76 μs ni tashkil etadi.



1-rasm. “Sinton Instrument Suns-Voc” qurilmasi yordamida o‘lchangan monokristal kremniy asosli Quyosh elementlarining kompleks harakteristikalari



2-rasm. “Sinton Instrument Suns-Voc” qurilmasi yordamida o‘lchangan monokristal kremniy asosli Quyosh elementlarining harakteristikalari: a) fototok va quvvatning kuchlanishga bog‘liqligi; b) yoritilganlik va kuchlanishning vaqt davomida o‘zgarishi grafigi

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhati

1. Ж.Зияитдинов «Моно - ва поликристалл кремний асосидаги р-п-структураларнинг фотозлектрик характеристикаларига ҳароратнинг таъсири», диссертация автореферати, ихтисослик: 01.04.07 – Конденсирланган ҳолат физикаси (физика-математика фанлари), Фарғона политехника институти. 2021, -52 с.

2. Разработка кремниевых многосторонне освещаемых солнечных фотоэлектрических генераторов. Дисс. на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по спец. 05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии. ФерПИ, 2023, -142 с.

3. Е.Б.Чубенко, А.Л.Долгий, А.А.Клышко Преобразователи энергии на основе структур макropористый кремний/оксид цинка. // Сборник материалов 4-ой Международной Научной Конференции «Материалы и структуры современной электроники», 23–24 сентября 2010 г., Минск, Беларусь. С. 77–80.

V ШЎБА. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРНИНГ РАДИАЦИОН ФИЗИКАСИ

γ - ^{60}Co –NURLANISHINI BAMBUK TOLALARINING ELEKTROFIZIK XOSSALARIGA TA'SIRINI TADQIQ QILISH

A.T. Mamadalimov^{1,2}, N.K.Xakimova¹, Sh.M. Norbekov³

¹O'zMU huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

²Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti

³Toshkent menejment va iqtisodiyot instituti

Adabiyotlarga ko'ra, bilamizki yuqori energiyali zarralar va γ -kvantlarning nur ta'sirlari yarimo'tkazgichlarning fizik xususiyatlariga ta'sir qilish uchun juda samarali vositadir. Yuqori energiyali nurlanishda hosil bo'ladigan kristall panjara nuqsonlarini o'rganish va kristall xossalari, shuningdek unda hosil bo'ladigan nuqsonlar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash katta ilmiy qiziqish uyg'otadi va zamonaviy qattiq jismlar fizikasining asosiy dolzarb muammolariga kiradi. Ushbu ishning maqsadi γ - ^{60}Co izotopi nurlanish manbai bilan turli dozalarda nurlantirilgan bambuk tolalari (BT) namunalarining elektrofizik xususiyatlarini o'rganishdan iborat. Nurlanish manbai sifatida γ - ^{60}Co tanlangan, sababi sun'iy radionuklid bo'lgan γ - ^{60}Co hozirda eng ko'p ishlatiladigan γ -nur nurlanish manbai hisoblanadi. Bundan tashqari, kobalt manbai keng nurlanish maydoni bilan ajralib turadigan afzalliklarga ega va namunalarni tajribaning bir xil partiyasiga joylashtirish mumkin.

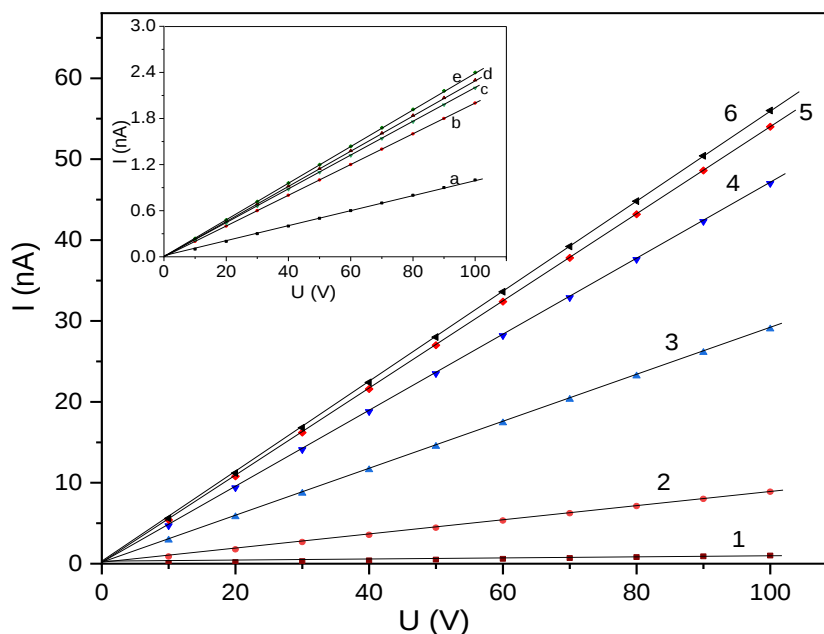
Yarimo'tkazgichlarga radiatsiya bilan ishlov berishning afzalliklari, ta'sir qilayotgan dozalarni yuqori aniqlikda nazorat qilish va materiallarda qat'iy belgilangan konsentratsiyalarda ma'lum turdagi nuqsonlarni hosil qilish imkoniyatidadir. Radiativ ya'ni, bombardimon zarrachalardan, panjara atomiga o'tkaziladigan energiya, atomni panjara joyidan siljitish uchun zarur bo'lgan chegara energiyasidan oshib ketganda, oddiy nuqsonlar (Frenkel juftlari, shuningdek, fazoviy ajratilgan bo'sh joylar va oraliq atomlar) hosil bo'ladi. Ushbu maydonlar nuqsonli klasterlar deb ataladi. Nurlanish ostida Frenkel juftlari (vakansiyalar va interstitsial atomlar) harakatchanligini juda past haroratlarda ham yo'qotmaydi [1-2].

Tadqiqot doirasida, umumiy nurlanish dozasi 65.73 ren/s miqdordagi nurlanish manbaiga ega bo'lgan γ - ^{60}Co izolyatsion muhit kapsulasi (quduq) tanlab olindi va tadqiqot namunalari vazifasiga qarab 0.5 soatdan 120 soatgacha bo'lgan vaqt diapazonida nurlantirildi. Tajriba ob'ektlari sifatida bambuk tolalari tanlangan.

Tajribalarda turli dozalarda nurlantirilgan va yod bilan legirlangan BT namunalari, tozalangan va ishlov berilmagan namunalarga nisbatan o'tkazuvchanligi nurlanish dozasi ga bog'liq holda sezilarli miqdorda oshganligi kuzatildi.

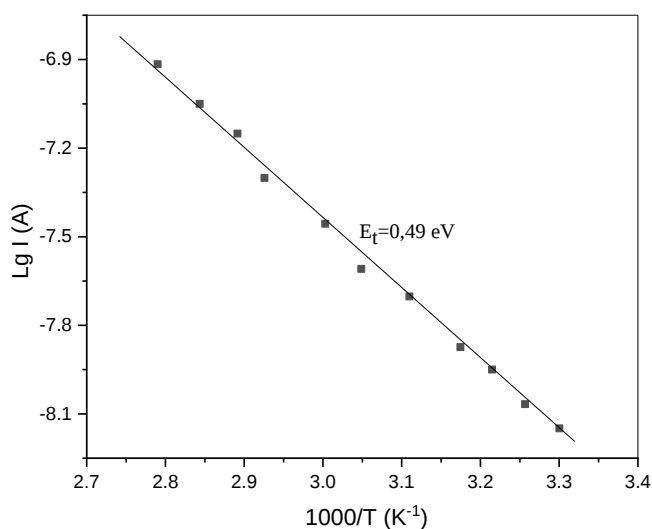
1-rasmda γ - ^{60}Co nurlanish manbai bilan $1.2 \cdot 10^6$ ren, $2.8 \cdot 10^6$ ren, $5.7 \cdot 10^6$ ren, $28.4 \cdot 10^6$ ren miqdorda nurlantirilgan BT namunalarining VAX ko'rsatilgan. Barcha namunalarning geometrik o'lchami va massasi bir xil.

1-rasmda ishlov berilmagan (tozalangan) BT namunasi (a chiziq) legirlanmagan faqat γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan $1.2 \cdot 10^6$ ren, $2.8 \cdot 10^6$ ren, $5.7 \cdot 10^6$ ren, $28.4 \cdot 10^6$ ren miqdorda nurlantirilgan (b, c, d, e chiziqlar) namunalari bilan solishtirilgan.



1-rasm. γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan ishlov berilgan va yod bilan legirlangan BT namunalarining VAX

Natijalarga ko'ra, γ -nur bilan ishlov berilgan namunalarning o'tkazuvchanligi, nur dozasi ortishi tartibida ortgan. Birinchi 5 soatlik nurlanish dozasi dan keyingi dozlarda yuqori sezilarliy darajada ortmaganligi kuzatildi. Ammo turli dozalarda γ -nur bilan ishlov berilgan va yod bilan legirlangan namunalarda buning aksini ko'rishimiz mumkin. 1-rasm da ishlov berilmagan (1-a), yod bilan legirlangan (2) va mos ravishda γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan $1.2 \cdot 10^6$ ren, $2.8 \cdot 10^6$ ren, $5.7 \cdot 10^6$ ren, $28.4 \cdot 10^6$ ren miqdorda nurlantirilgan hamda yod bilan legirlangan (3), (4), (5), (6) chiziqlar. Natijalarga ko'ra, faqat yod bilan legirlangan namunadan o'tayotgan tok 100 V kuchlanishda $I=8.9$ nA ni tashkil qilgan va radiaktiv ishlov berilgan namunalarda esa nurlantirish dozasi ga bog'liq holda $I=56$ nA gacha tok o'tganligi kuzatildi.



2-rasm. γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan nurlantirilgan va yod bilan legirlangan BT tok kuchini haroratga bog'liqligi

Агар yarimo'tkazgichda donor yoki akseptor sath hosil qiluvchi aralashmalar mavjud bo'lsa ham, mutlaq nol haroratda yarimo'tkazgichda umuman erkin elektron (yoki kovak) mavjud bo'lmaydi. Harorat ko'tarilganda kiritma elektronlari birinchi bo'lib ajralib chiqadi, chunki kiritma hosil qilgan sathning (donor yoki akseptor) faollanish energiyasi yarimo'tkazgich atomlarining faollanish energiyasidan ancha past bo'ladi. Haroratning yanada oshishi kiritma atomlarining ionlanishiga olib keladi va shundan keyingina yarimo'tkazgichning ichki elektr o'tkazuvchanligi paydo bo'ladi.

γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan nurlantirilgan va yod bilan legirlangan BT namunasida elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi o'rganildi (2-rasm). Rasmdan ko'rinib turibdiki, $+20 \div 85^\circ\text{C}$ harorat oralig'ida I elektr toki aktivlanish energiyasi $E_t=0,49\text{ eV}$ bilan eksponensial o'sadi. Buning sababi radioaktiv ishlov berilgan BT tarkibidagi yod $E_t = E_c-0,49\text{ eV}$ chuqur sath hosil qilishi bilan bog'liq. Bu shuni ko'rsatadiki, asosiy holatda elektronlarning yod molekulasidan BT o'tishi energetik jihatdan qulaydir.

Bundan xulosa qiladigan bo'lsak γ -nur ta'sir qilayotgan dozasiga bog'liq holda BT namunasida qo'shimcha nuqsonlar hosil qiladi. Buning natijasida BT namunasiga kiritilayotgan yod γ -nur ta'sirida hosil bo'lgan nuqsonlarga tashqi harorat ta'sirida osongina joylashib oladi. Buning natijasida nuqsonlarga o'tirgan yod taqiqlangan zonada energetik sath hosil qiladi.

Adabiyotlar

1. Watkins G.D. EPR and optical absorption studies in irradiated semiconductors, in: Radiation Effects in Semiconductors // Plenum Press. New York. 1968. pp. 67-81.
2. Gaidar G.P. Changes in Hall parameters after γ -irradiation (^{60}Co) of n-Ge // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2011. V.14. I 3. Pp. 294-297.

ИК-СПЕКТРЫ p-Si ЛЕГИРОВАННОГО Tb И Tm

Я.А.Сайдимов, Ф.Б.Умаров

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. М. Улугбека.

Одним из важных вопросов является влияние РЗЭ на электрические свойства. В большинстве своем атомы замещения ведут себя как изоэлектронные, и влияние на электрические свойства в основном сводится к «очистке» материала. Влияние же одиночных атомов РЗЭ на кинетические явления в полупроводниках как центров рассеяния изучено мало. Исключением является иттербий в фосфиде индия, на котором обнаружено резонансное рассеяние электронов. Тем не менее эта проблема, безусловно, представляет интерес [1].

Для экспериментального изучения влияния РЗЭ на характеристики монокристалла кремния нами были использованы образцы кремния р-типа проводимости. Удельное сопротивление исходных образцов, которые были измерены с помощью эффекта Холла, 18–20 Ом·см, подвижность основных носителей заряда $400\text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, концентрация основных носителей $4,17 \cdot 10^{14}\text{ см}^{-3}$ соответственно. Концентрация оптически активного

кислорода и углерода измеренных с помощью ИК-Фурье спектрометра составляло для $N_O = 7,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_C = 0,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

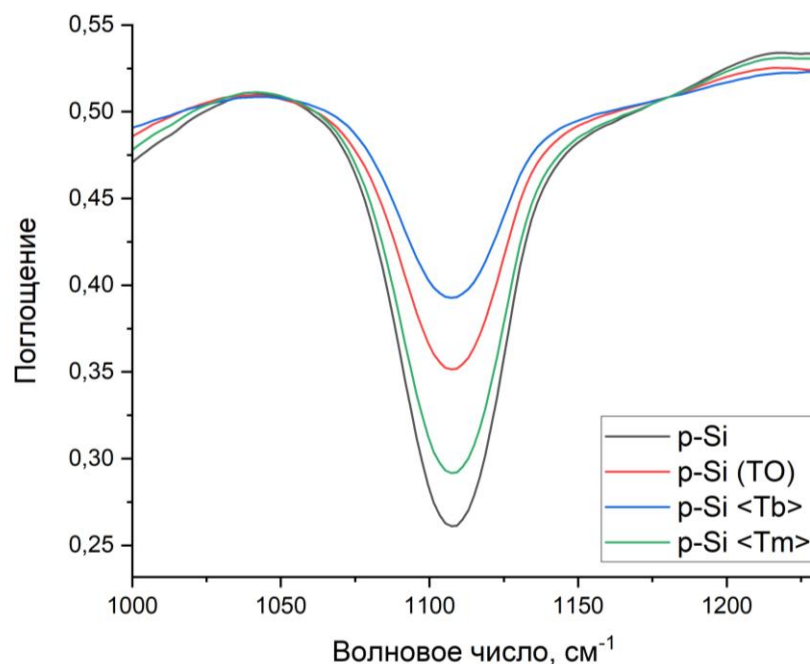


Рис. 1. ИК-спектр образцов Si

Для исследования изменения концентрации оптически активного кислорода и углерода был использован ИК-Фурье спектрометр ФСМ-2201. Полученный ИК-спектры образцов и результаты оценки концентрации кислорода и углерода представлены в рис. 1 и табл. 1 соответственно.

Таблица 1.

№	Образец	Кислород	Углерод
1.	p-Si	$7,702 \times 10^{17}$	$0,103 \times 10^{17}$
2.	p-Si (TO)	$6,472 \times 10^{17}$	$0,20 \times 10^{17}$
3.	p-Si<Tb>	$1,760 \times 10^{17}$	$0,106 \times 10^{17}$
4.	p-Si<Tm>	$7,209 \times 10^{17}$	$0,069 \times 10^{17}$

Как видно из таблицы 1 и рис. 1, в результате диффузии редкоземельных элементов в монокристаллический кремний, содержание оптически активного кислорода и углерода относительно исходных данных уменьшилось до 40 %. Что свидетельствует об их активном взаимодействии с атомами кислорода и углерода в кристаллической структуре образцов.

В доступных нам литературных данных не имеются данные об электрической активности РЗЭ в кремнии. Кроме того, разница ковалентных радиусов РЗЭ и матричного элемента, теоретически указывает на то, что РЗЭ в кремнии не могут образовать твердый раствор замещения, то есть вероятность того, что РЗЭ окажется в узле кристаллической решетки очень мала. При замещении атомов в кристаллической решетке атомы РЗЭ, из-за большого различия ковалентных радиусов примесные атомы создают точечные дефекты с повышенной упругой деформации вокруг атома.

Список литературы

1. Мастеров В. Ф., Захаренков Л. Ф. Редкоземельные элементы в полупроводниках АПВ // Физика и техника полупроводников, 1990, том 24, выпуск 4, 610–630
2. Латухина Н.В., Лебедев В.М. Диффузионное легирование кремния редкоземельными элементами. Материалы электронной техники. №1. Материаловедение и технология. Полупроводники. 2011. 7–12 с.
3. Зайнабидинов С.З., Назыров Д.Э., Усачева В.П. Исследование диффузии, растворимости и электрофизических свойств скандия, празеодима и европия в кремнии. Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research, 2020, №1(3) 19 стр.

МЕТОДЫ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЖИВЫХ И НЕЖИВЫХ ОБЪЕКТАХ

Г.Ахматова¹, Ф.А.Искандарова², Р.Иброхимов¹

¹*Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики*

²*Центр развития нанотехнологии при Национальном Университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека*

Современная радиационная физика связана с воздействием на так называемые сложные объекты, так что при теоретическом их изучении оказалось необходимым применять новую концепцию «Complexity» (см. напр. [1]). Эта концепция базируется на использовании двух крупных подходов синергетики и синергистики. В этой схеме особый интерес вызывают механизмы, приводящие к рождению нового, что стало называться специальным термином «эмерджентность». С достаточной надежностью можно считать, что, эта эмерджентность связана именно с нелинейностью, которая в более общем контексте обусловлена синергизмом под которым понимается совместные действия разнородных факторов совместного воздействия. Систематический анализ синергизма в области РФКС делает первые шаги [2]; данная работа существенно развивает это направление.

Пример синергистики демонстрирует рисунок 1, относящийся к радиационной биологии.

Здесь показано как два различных фактора воздействия (ионизация и сторонний прогрев объекта) реализуют уничтожение раковых клеток [3]. Видно, что раковые клетки уничтожаются как при отдельном воздействии, каждым из факторов линии 1 и 2, и как должно было бы выглядеть их совместное воздействие при простой аддитивности (линия 3) – простая сумма эффектов. Однако в реальности имеем эффект: аддитивность пропадает и проявляется нелинейный эффект усиления совместного действия (линия 4). Каковы механизмы этого нелинейного эффекта? Для выяснения этого животрепещущего вопроса можно использовать четырехстадийную схему Платцмана-Стародубцева (1952-1960гг.), включающую последовательность четырех стадий: физическую, физико-химическую, химическую, биологическую, чтобы выяснить, как пять базовых каналов передачи энергии от радиации к веществу (ионизация, упругий удар, тепло, упругие волны, ударные волны), комбинированно воздействуя, проявляются на каждой стадии. Где рождается нелинейность (эмерджентность)?!

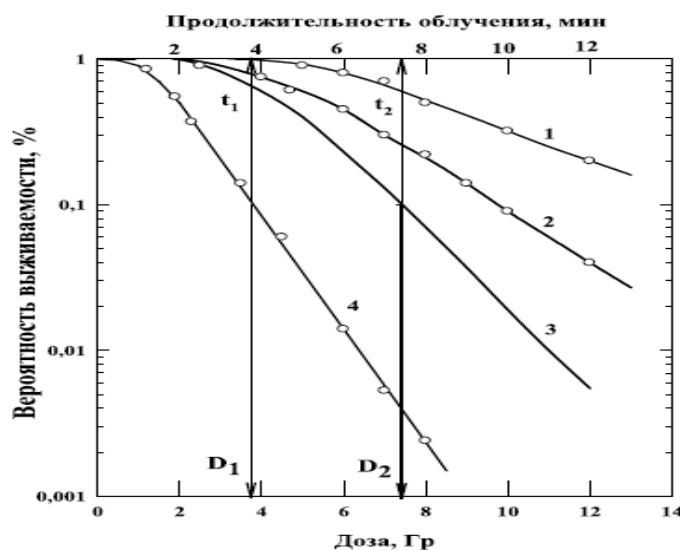


Рис. 1. Пример количественной оценки коэффициента синергического усиления [3].

Ответ таков: эмерджентность может рождаться на любой из перечисленных выше стадий. Наиболее эффективным методом ответом на этот вопрос является (на наш взгляд) использование моделирования макро и микропроцессов с помощью методов теории катастроф [4-5]. Согласно автору, этой теории Р.Тому (1972г.), для моделирования используется следующая процедура, 2 фактора воздействия различной природы полагаются управляющими параметрами, а сам эффект разрыва связи следует назвать параметром порядка.

Анализ методами теоретической физики дает некоторое нелинейное выражение параметра порядка через управляющие параметры. В результате, если теоретическая модель выбрана правильно, то (в обязательном порядке!) графическое изображение, указанной выше функции, должно выглядеть как на рисунке 2. Это – так называемая прямая задача теории катастроф, но возможно и обратная задача [5].

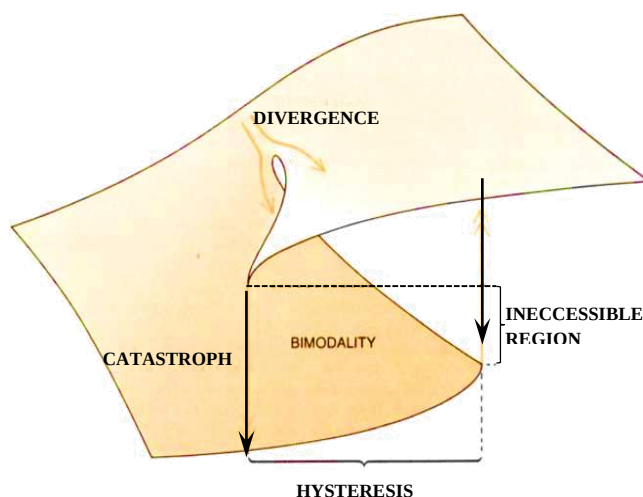


Рис. 2. Катастрофа Сборка, изображаемая поверхностью Уинти, содержащая 5 флагов катастроф [5].

Суть метода теории катастроф: Р.Том связал семь универсальных случаев – видов поверхностей с типами всевозможных неустойчивостей отвечающих различным процессам

природы (некий аналог таблицы Менделеева). Координаты этих многомерных поверхностей делились на параметры порядка и управляющие параметры между которыми реализуются универсальные алгебраические уравнения. Задаваясь определённой моделью изучаемого явления следует подогнать соответствующие уравнения под выражения Р.Тома. Если это оказывается возможным, то модель – **истинно верная**; в противном случае она требует замены. Эта методология нами была использована в нескольких случаях:

1. Выявление механизма деструкции вируса SARS-2V с помощью воздействия низкоэнергичного и низкодозового рентгеновского излучения ($h\nu \approx 2,5$ кэВ; $D \approx 1$ Гр) [1]. При моделировании использовались три управляющих параметра, в том числе магнитное поле, влияющее через спиновый катализ на эффективность процесса деструкции вируса;

2. Выявление механизмов радиационно-химических превращений в технологии Большой Солнечной Печи (БСП), где управляющими параметрами отбирались температура и ее градиент, высокая интенсивность излучения и эффективная ширина солнечного спектра излучения, а также напряженность магнитного поля – модель четырех управляющих параметров;

3. Выявление возможного механизма использования комбинированного действия ветра и солнечного излучения на возможность эффективного управления «ветраками» преобразования энергии ветра и солнца в электричество – использовалась модель двух управляющих параметров.

Во всех этих трех случаях обнаружена хорошая возможность моделирования явления синергизма, сочетающая комбинированные воздействия – в полном соответствии с выводами работы [2].

Благодарности. Авторы выражают благодарность своим коллегам проф. Оксенгендлеру Б.Л. и к.ф.-м.н. Никифоровой Н.Н. за плодотворное сотрудничество.

Литература

1. Oksengendler B.L. The features of Auger destruction in quasi-one-dimensional objects of inorganic and organic nature / B.L.Oksengendler, N.N.Turaeva, S. Kh.Suleymanov // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. - 2022. Vol. 512(4). - P. 66. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2021.12.009>
2. Аскарлов Б. Идеи синергизма в радиационной физике конденсированных сред / Б.Аскарлов, Б.Л.Оксенгендлер, Н.Н.Тураева // Scient.Bull. phisical and Mathematical Res. – 2024. - Т.6. - С. 59-64
3. Евстратова Е.С., В.Г.Петин Идеи синергизма в онкологии: Перспективы практической реализации // Исследование и практика в медицине – 2020. - Т.70, №2. - С. 82-92. DOI: [10.17709/2409-2231-2020-7-2-8](https://doi.org/10.17709/2409-2231-2020-7-2-8)
4. Oksengendler B.L., Turayeva N.N., Suleymanov S.Kh., Iskandarova F.A. Sars-Cov-2, Covid-19 and radiation: history, results and prospects // Uzbekistan Journal of Polymers – 2025. – Vol. 4(1). – P. 31-38
5. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф // Москва «Мир» - 1984. - Т.1. - С.349

**КИНЕТИКА РЕЛАКСАЦИИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В КРЕМНИИ,
КОМПЕНСИРОВАННОМ АТОМАМИ РОДИЯ И НЕЙТРОННО-
ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ**

Ш.А. Махмудов¹, А.К. Рафиков¹, Р.Рустамов²

¹ *Институт ядерной физики АН РУз,*

² *Ташкентский академический лицей №1 МВД РУз*

email: rafikov@inp.uz

Аннотация: В работе изучена кинетика релаксации фотопроводимости в р-тип кремнии, компенсированном родием, и нейтронно-легированном кремнии (НЛК). Исследовано влияние термообработки (1370÷1570 К) на рекомбинацию носителей заряда. Показано, что стабилизация времени жизни происходит при 1570 К, а влияние примесей минимально.

Ключевые слова: фотопроводимость, кремний р-типа, компенсация примесями, родий, нейтронное легирование, релаксация, термообработка, время жизни носителей заряда, рекомбинация.

Современные исследования полупроводниковых материалов играют ключевую роль в развитии микроэлектроники и нанотехнологий. Кремний (Si) является основным материалом в производстве полупроводниковых приборов благодаря его уникальным электрическим свойствам. Однако для улучшения его характеристик применяются различные методы легирования, в частности компенсация примесями, такими как бор (В), фосфор (Р) и родий (Rh).

Фотопроводимость компенсированного кремния определяет его способность реагировать на световые воздействия, что важно для сенсоров, солнечных батарей и детекторов излучения. В данной работе рассматривается кинетика релаксации фотопроводимости в кремнии р-типа, компенсированном атомами родия. Анализируются влияния температурной обработки и легирующих примесей на релаксационные процессы [1].

Объектом исследования являлся кремний р-типа с удельным сопротивлением 2 кОм·см. Легирование проводилось методом термодиффузии при температуре 1370-1570 К в течение 10 часов. Измерения фотопроводимости выполнялись методом импульсного освещения и регистрации временной зависимости фототока. Анализ проводился на основании сравнительных экспериментов с образцами, компенсированными различными примесями (В, Р, Rh) [2].

Результаты исследования представлены на рисунках 1-3. Время жизни носителей заряда находилось в диапазоне 10–90 с в зависимости от степени компенсации. Влияние температурной обработки на фотопроводимость представлено в таблице 1.

Анализ экспериментальных данных показал, что релаксационные процессы фотопроводимости в компенсированном кремнии мало зависят от конкретного типа легирующей примеси. Это подтверждается ранее опубликованными данными [4,5].

Согласно полученным данным, увеличение температуры отжига способствует росту времени жизни носителей заряда, что объясняется снижением концентрации радиационных дефектов [3]. При температурах выше 1470 К наблюдается насыщение этого эффекта.

Сопоставляя кинетики релаксации фотопроводимости в кремнии *p*-типа, компенсированном примесями родия и атомами фосфора, можно сказать, что релаксационный процесс (при равенстве ρ образцов), на наш взгляд, не зависит от наличия примеси, создающей глубокие энергетические уровни.

Таблица 1.

Влияние температуры отжига на время жизни носителей заряда

№	Температура отжига, Т (К)	Время жизни носителей заряда, τ (мкс)
1.	1270	10
2.	1370	12
3.	1470	30
4.	1570	60

Анализ полученных результатов приведён на рисунке 1. На этом рисунке показано, как изменяется время жизни носителей заряда при термообработке *p*-тип кремния. Видно, что при температурах отжига до 1370 К время жизни остаётся низким ($\sim 10 \div 12$ мкс), что объясняется высокой концентрацией радиационных дефектов. При 1470 К время жизни носителей заряда (τ) резко увеличивается (~ 30 мкс), что связано с началом восстановления кристаллической структуры. При 1570 К достигается максимальное значение времени жизни (~ 60 мкс), что указывает на полное завершение процессов восстановления. Таким образом, оптимальная температура отжига для увеличения времени жизни носителей заряда составляет 1370÷1570 К.

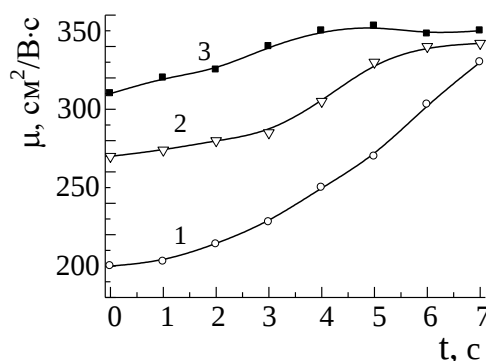


Рисунок 1. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры изотермического отжига в НЛК (после температуры отжига $T_{отж.} = 1570$ К, $t = 30$ мин) при различном флюенсе тепловых нейтронов (см^{-2}):
1 - 10^{19} ; 2 - 10^{18} ; 3 - 10^{17}

На рисунках 2 и 3 исследована кинетика фотопроводимости. В ходе эксперимента была выбрана оптимальная из образцов *p*-Si<B,P> и *p*-Si, после чего они подвергались термической обработке при температурах 1370 К и 1570 К. Затем изучалась их кинетика релаксации фотопроводимости.

Изучать времени жизни носителей заряда в компенсированном кремнии р-типа в зависимости от концентрации исходного бора восстановление времени жизни носителей заряда (τ) в нейтронно-легированном кремнии (НЛК). Однако результаты, полученные различными авторами в разные годы, не всегда согласуются. Одной из причин этого, на наш взгляд, является различные условия термообработки кремния (температура, время отжига, геттерирующая среда и др.) после нейтронного-легирования. В то же время термическая операция является составной и неотъемлемой частью технологии НЛК, и избежать её невозможно. Кроме того, высокоомных НЛК τ слабо изучено.

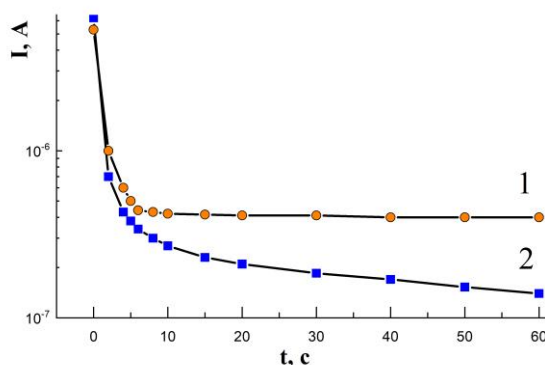


Рисунок 2. Кинетика релаксации фототока в p-Si<B,P> (1) и p-Si (2)

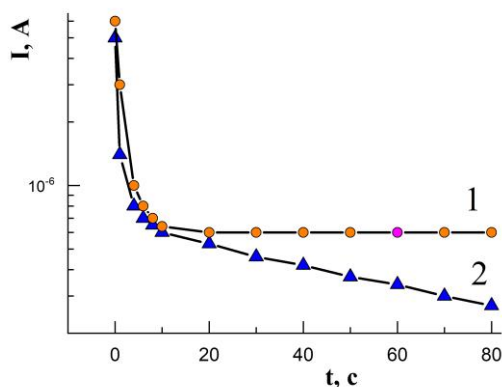


Рисунок 3. Кинетика релаксации фототока в p-Si<B,Rh> при различных температурах диффузии: 1 – 1370 K; 2 – 1570 K

В данной работе методом затухания фотопроводимости изучалось влияние высокотемпературной обработки на рекомбинационные свойства НЛК после температура отжига 1373 K. Результаты приведены в таблица 1.

Как видно из таб.1 времени жизни носителей заряда в зависимости концентрации бора в НЛК практически одинаковый, т.е. около мкс.

Изменение времени жизни носителей заряда от длительности термообработки показано на рис. 4-5. Отжиг проводился при температуре 1570 K. Как видно с увеличением времени отжига τ падает, а затем не изменяется. Поэтому незначительное отклонение значение τ приведенные в табл.1, на наш взгляд, связано не полностью отжига радиационных дефектов [6].

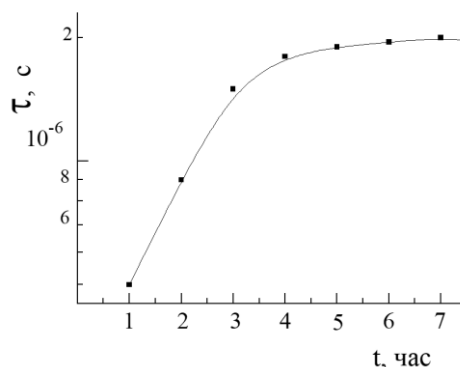


Рисунок 4. Зависимость времени жизни носителей заряда в НЛК (исходный КДБ-1) от длительность отжига, при температуре ~1570 К.

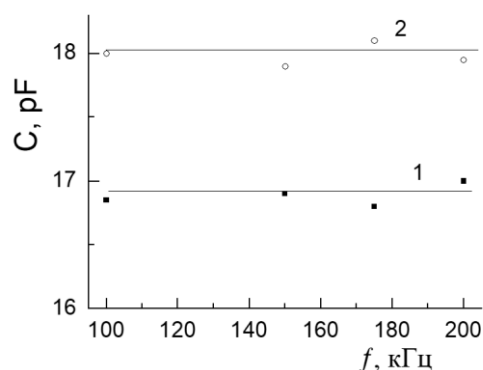


Рисунок 5. а) Зависимость емкости образцов от обратного напряжения для структур на основе кремния при 300 К и 200 кГц:

1- p-Si и 2- p-Si<B,P>

б) Зависимость емкости образцов от частоты для структур на основе кремния:

1- p-Si и 2- p-Si<B,P>

В ходе исследования выявлено, что релаксация фотопроводимости в кремнии *p*-типа, компенсированном родием, мало зависит от типа легирующих примесей. Основным фактором, влияющим на релаксационные процессы, является температурная обработка. Данные экспериментов показали, что при температурах отжига выше 1470 К достигается максимальная стабилизация времени жизни носителей заряда.

Литература:

1. Smith, R. & Jones, T. (2005). Semiconductor Physics. New York: Springer.
2. Zhao, L. et al. (2010). Effects of Doping on Silicon Conductivity. Journal of Applied Physics, 108(3), 305-312.
3. Ivanov, P. & Kuznetsov, V. (2012). High-Temperature Effects in Doped Silicon. Russian Physics Journal, 55(7), 689-700.
4. Kim, H. & Lee, J. (2015). Relaxation Kinetics in Semiconductor Materials. Physica B, 460, 120-126.
5. Brown, D. et al. (2018). Impact of Heat Treatment on Photoconductivity. Materials Science Reports, 45(5), 410-425.
6. Gupta, R. et al. (2020). Advanced Silicon Processing for Photonic Applications. IEEE Transactions on Semiconductors, 67(9), 1123-1135.

ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ АТОМОВ Ва НА СОСТАВ И ЭЛЕКТРОННУЮ СТРУКТУРУ ОКСИДОВ WO_3

З.А. Исаханов, М.М. Махмудов, М.А. Махмудов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, 100125 Ташкент, Узбекистан

za.isakhanov@gmail.com

В последнее время материалы на основе оксидов вольфрама стали предметом многочисленных исследований. Так как, они используются в создании омических контактов и барьерных слоев в больших и сверхбольших интегральных схемах, вторично-эмиссионных и термоэмиссионных катодов, зондов для сканирующих зондовых микроскопов, газовых и химических сенсоров, электрохромных материалов, фотокатализаторов для очистки воды и воздуха [1, 2], преобразователей солнечной энергии [3, 4] и др.

При напылении атомов щелочных и щёлочноземельных элементов субмонослойной толщины приводит к уменьшению работы выхода ϕ и к увеличению коэффициентов истинно-вторичных электронов δ и квантовый выход фотоэлектронов γ металлов и полупроводников. Однако, такие исследования в случае оксидных пленок W не проводились. В данной работе приводятся экспериментальные данные по влиянию осаждения атомов Ва с толщиной $\theta < 1$ монослой на поверхность поликристаллических пленок WO_3 . Результаты приводятся для пленки $WO_3/W(111)$ с $d \approx 600 \text{ \AA}$. При напылении Ва кривые $\phi(\theta)$ проходит через минимум. Мы принимали, что при $\phi = \phi_{\min}$ толщина осажденных атомов Ва составляет ~ 1 монослой.

На рис.1 приведены зависимости $\delta(E_p)$ в области $E_p = 1 - 20 \text{ эВ}$ для WO_3 , покрытого атомами Ва с $\theta = 0; 0,5$ и 1 монослой. Видно, что при $\theta = 0$ резкий рост δ наблюдается с $E_p \approx 6,2 \text{ эВ}$, что соответствуют начало эмиссии электронов из верхнего края заполненной зоны на уровень вакуума. При $E_p < 6 \text{ эВ}$ на кривой обнаруживается два максимума очень низкой интенсивностей, обусловленные наличием примесных уровней в запрещенной зоне. После напыления Ва с $\theta = 0,5$ монослой, резкий рост δ наблюдается начиная с $E_p \approx 4,2 \text{ эВ}$, а при $\theta \approx 1$ монослой – с $E_p \approx 3,4 \text{ эВ}$, т.е. сродство к электрону χ уменьшается на $\sim 2 \text{ эВ}$.

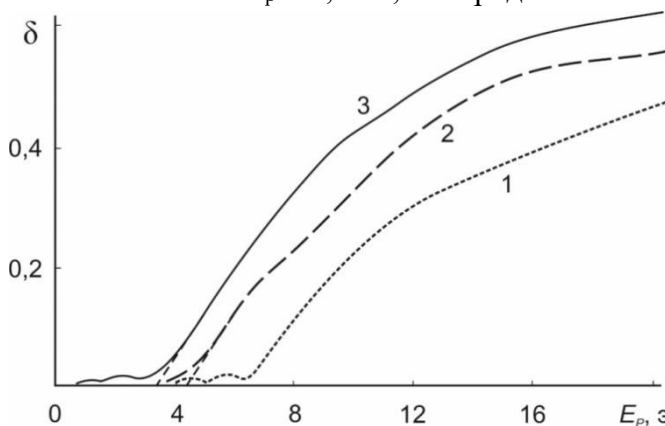


Рис.1. Зависимости $\delta(E_p)$ в области $E_p = 1 - 20 \text{ эВ}$ для WO_3 , покрытого атомами Ва с θ , монослой 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1.

Положение примесных уровней (E_{pr1}, E_{pr2}) также смешается на 2 и 2,8 эВ. При увеличении $\theta \approx 1,5 - 2$ монослоев χ увеличивается на $\sim 0,2 \text{ эВ}$. При $\theta \geq 2$ монослоев работа выхода поверхности ϕ равняется ϕ толстого барьера и определение значения χ практически невозможно. Можно полагать, что значения χ приближается к значению χ чистого WO_3 . При этом δ уменьшается во всех области E_p . Это связано тем, что истинно-вторичных электронов (ИВЭ) начинают выходить не только от WO_3 , но и от слоев Ва. При $\theta \geq 5$ монослоев ИВЭ в основном выходят из слоев Ва. Так как

эмиссионная эффективность слоев бария значительно меньше (для Ва $\delta_m \approx 0,9 - 1$), чем для WO_3 ($\delta_m \approx 3,5$) значение δ резко уменьшается.

На рис.2 приведены спектры фотоэлектронов для системы $Ba^0 + WO_3$. Видно, что с ростом θ до 1 монослоя ширина спектра ΔE увеличивается на 2,8 эВ, т.е. значение χ оксида уменьшается на 2,8 эВ. При этом положение максимумов на КЭР фотоэлектронов не меняется, а их интенсивности увеличивается, увеличивается также площадь под кривой (квантовый выход) фотоэлектронов и появляются новые особенности. Особенность при $E_U \approx -1,2$ эВ обусловлено возбуждение электронов из ВаО ($6s(Ba) + 2p(O)$).

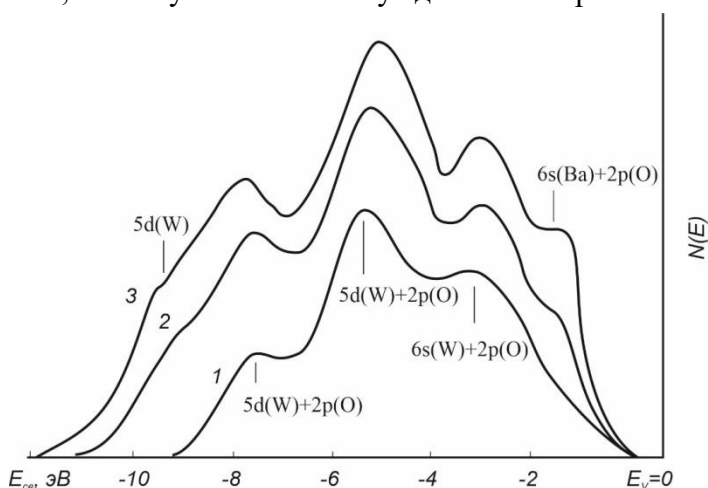


Рис.2. Спектры фотоэлектронов для системы $Ba^0 + WO_3$ при различных значениях θ , монослоев: 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1,0.

Отметим, что при осаждении Ва на W с $\theta = 1$ монослой уменьшение ϵ_f составляет $\sim 2,2$ эВ. В случае WO_3 уменьшение составляет $\sim 2,8$ эВ. Результаты ОЭС показали, что при $\theta = 1$ на поверхности WO_3 формируется монослойное покрытие ВаО, что приводит к более эффективному уменьшению ϵ_f . Известно, что уменьшая значение χ можно получить сведения о максимумах плотности свободных состояний вблизи уровня вакуума.

На рис.3 приведены спектры ИВЭ, снятые при $E_p \approx 10$ эВ для пленки WO_3 и WO_3 покрытой Ва толщиной 0,5 и 1 монослоев. Начало спектра для WO_3 соответствуют уровню вакуума E_v . Видно, что при $\theta = 0,5$ монослой начала спектра смещается в сторону меньших энергии на ~ 2 эВ и число ИВЭ резко увеличивается. Основной пик ИВЭ смещается $\sim 2,5$ эВ относительно чистого WO_3 . Вблизи пика ИВЭ появляется небольшой максимум при $E_{C1} \approx -1,4$ эВ. При увеличении θ бария до 1 монослоя начала спектра смещается на $\sim 2,8$ эВ наблюдается еще большее увеличение числа ИВЭ. При этом интенсивность E_{C1} увеличивается и его положение смещает на $\sim 0,2$ эВ и

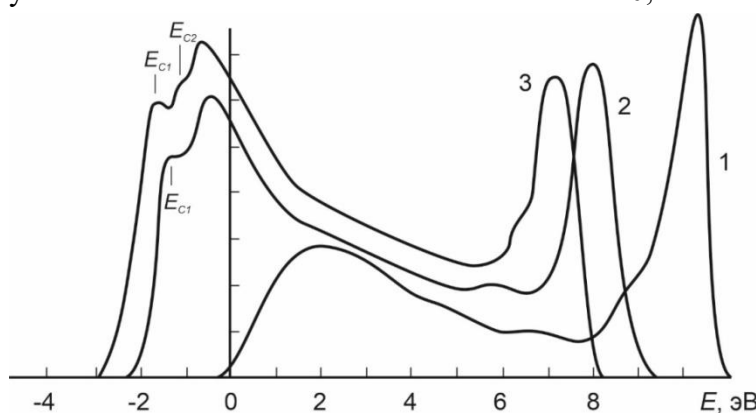


Рис.3. Спектры ИВЭ, снятые при $E_p \approx 10$ эВ для пленки WO_3 (кривая 1) и WO_3 с покрытием Ва толщины 0,5 (2) и 1 (3) монослоев

появляется новая особенность при $E_{C2} \approx -1,1$ эВ. Увеличение θ до 1,5 монослоя показали что наличие E_{C2} связано с выходом ИВЭ из пленки ВаО.

Известно, что при адсорбции атомов Ва и Cs с $\theta \leq 1$ атомных слоев состав и структура поверхностных слоев W практический не меняется. Поэтому все изменения эмиссионных и оптических свойств системы $Ba^0 + WO_3$ в основном связана уменьшением χ (следовательно

работа выхода) поверхности. Последнее приводит к увеличению глубины зоны выхода (λ) ИВЭ и ФЭ. Расчеты, проведены по формуле:

$$\lambda = \frac{5,2 * 10^{-6} * A(Z_{эфф})}{\rho * Z_{эфф}} E_{pm}^{1,4}$$

показали, что λ для чистого WO_3 составляет $\lambda \approx 150-200 \text{ \AA}$, где E_{pm} – энергия E_p соответствующая значению вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) σ_m . Для WO_3 $E_{pm} \approx 650 - 700 \text{ эВ}$. Значение σ_m для WO_3 составляет $\sim 2,9$, а для WO_3 с монослойным покрытием Ва $\sim 4,6$. При этом положение E_{pm} смещается до $900 - 1000 \text{ эВ}$. Исходя из этого, можно полагать, что значение λ увеличивается $\sim 1,3 - 1,5$ раза. В таблице приведены основные параметры энергетических зон, значения σ_m , γ и λ для пленки WO_3 и WO_3 с монослойным покрытием бария.

Таблица 2.

Основные параметры энергетических зон, значения σ_m , γ и λ для пленки WO_3 и WO_3 с монослойным покрытием бария.

Объекты исследования	Параметры зон, эВ						σ_m	γ	$\lambda, \text{ \AA}$
	E_V	E_F	E_g	κ	$E_{пр1}$	$E_{пр2}$			
WO_3/W	6,2	4,3	2,8	3,4	4,6	5,9	2,9	$3*10^{-3}$	150-200
$Ba^0+WO_3 \theta=1$	3,4	1,5	2,8	0,6	1,8	3,1	4,6	$9*10^{-3}$	250-300

На основе этой таблицы можно построить примерную зонно – энергетическую диаграмму WO_3 и WO_3 с монослойным покрытием Ва (рис.4). Из рис.4 видно, что после напыление Ва с толщиной ~ 1 слой κ уменьшается на $\sim 2,8 \text{ эВ}$. Экспериментальные результаты показывают при этом значение E_g и положения примесных уровней E_1 и E_2 практически не меняются.

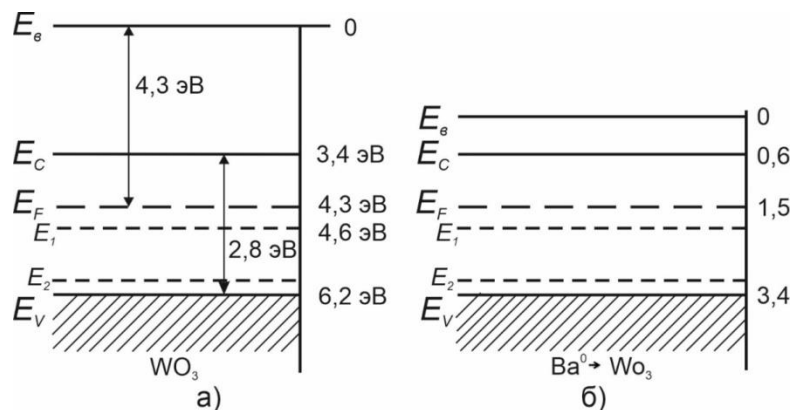


Рис.4. Примерная зонно – энергетическая диаграмма поверхностных слоев пленки WO_3 (а) и WO_3 с монослойным покрытием Ва(б)

Литература

1. Oderinde Olayinka, Mengmeng Kang, Mulenga Kalulu, Yao Fang, Facile synthesis and study of the photochromic properties of deep eutectic solvent-templated cuboctahedral- WO_3/MoO_3 nanocomposites / Superlattices and Microstructures 125, October 2018. DOI:10.1016/j.spmi.2018.10.023.

2. H. Zheng, Z. O. Jian, M. S. Strano, R. B. Kaner, A. Mitchel and K. Kalantar-zadeh, Adv. Funct. Mater., 2011, 21, 2175–2196. doi.10.1002/adfm.201002477 Nanostructured Tungsten Oxide – Properties, Synthesis, and Applications
3. H. Simchi, B. E. McCandless, T. Meng, et al., J. Alloys Compd. **617**, 609 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.08.047>
4. H. Zheng, Y. Tachibana, and K. Kalantar-zadeh, Langmuir **26**, 19148 (2010). <https://doi.org/10.1021/la103692y>

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ЭГ-2

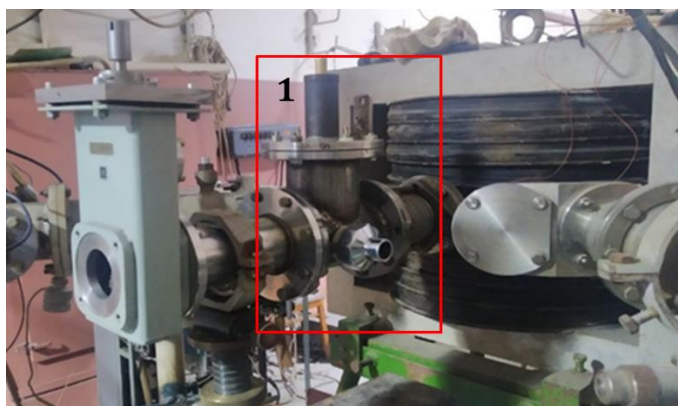
Я.А.Сайдимов, Р.Ф.Руми, Ф.Б.Умаров

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана им. М. Улугбека.

ЭГ-2 -многокомпонентный комплекс с разнообразной технической оснасткой, которая обеспечивает получение высокого напряжения от 0,3 до 2 миллионов вольт. При работе всего этого комплекса на выходе мы имеем пучок заряженных ионов с энергией - протонов от 0,3 до 1.5 МэВ или α -частиц до 2,5 МэВ (с высоким энергетическим разрешением $\sim 5\text{КэВ}$) и током пучка от 10 нА до 1,5 $\mu\text{А}$.

В результате проведенной в 2023 году модернизации выходных каналов ускорителя (в соответствии с постановлением Каб.Мин.а № 639 пункт.17) был изготовлен центральный выходной канал ускорителя (рис. 1.а), ток пучка на сегодняшний день увеличен до 5 мкА и ведутся работы по возможности дальнейшего увеличения тока.

Основным параметром при проведении облучения полупроводниковых материалов на ускорителе является распределение тока пучка на поверхности образцов и размер пучка ионов. Для измерения распределения тока пучка и размера пучка был изготовлен и собран специальное устройство показанное на рис.1.а-1. Само устройство состоит из, штока-держателя 1.б-2, электромагнитной катушки 1.б-3, которая поднимает и отпускает шток, ограничителя штока 1.б-4 и кварцевое окошко с несколькими латунными сетками подключенных к микроамперметру 1.б-1.



(а)



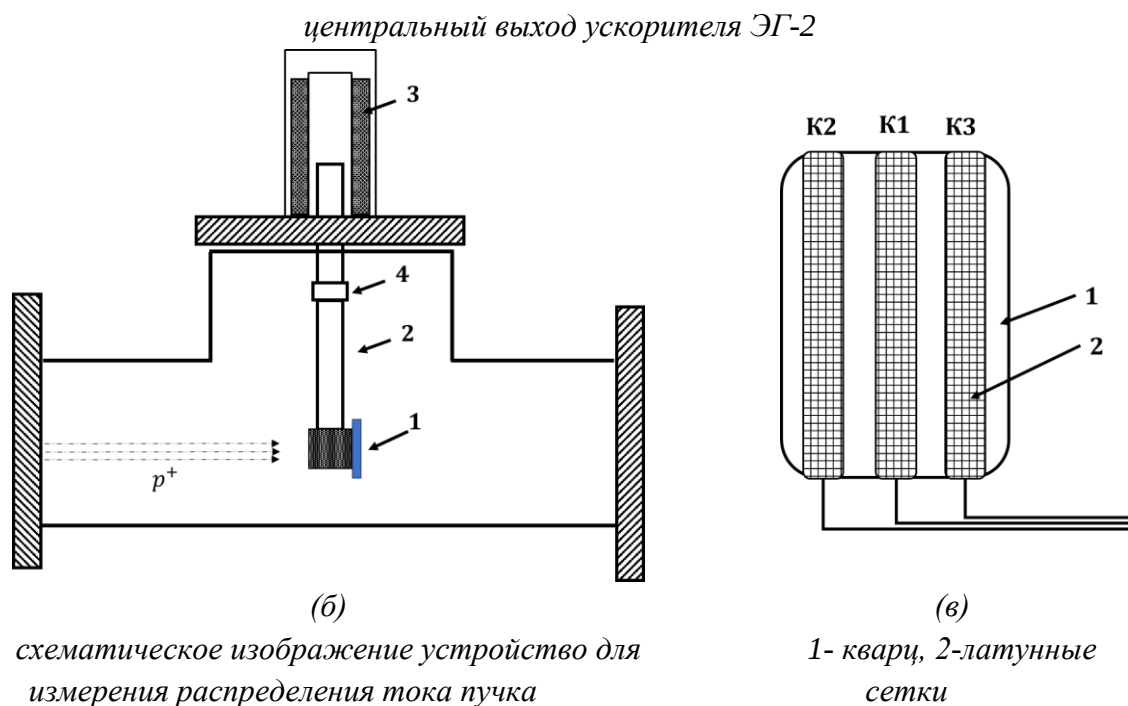


Рис. 1.

Схематическое изображение кварцевого окошко представлено на рис. 1.в. Данное устройство позволит получения экспериментальных данных об распределения тока пучка ускоренных протонов на поверхности образцов, что позволит производить более качественные расчеты дозы облучения.

Литература

1. Дж. Димс, Дж. Винйард. Радиационные эффекты в твердых телах. // М., 1960 стр. 11.
2. А.К. Вальтер и др., Электростатические ускорители заряженных частиц. // М., Госатомиздат, 1963 стр. 60.

VI ШЎБА. КОНДЕНСАЦИЯЛАНГАН МУҲИТЛАР ФИЗИКАСИ

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ СКОПЛЕНИЙ Ni И Cu В Si

С.З. Зайнабидинов¹, Н.А. Тургунов², Н.Б. Хайтимметов²,
Р.М. Турманова², Ш.А. Собирова²

¹Андижанский государственный университет

²Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при
Национальном университете Узбекистана

Современные рентгеноструктурные методы исследования полупроводниковых материалов относятся к самым информативным, надежным и широко распространенным [1,2]. Изучение структурных свойств кремния, легированного различными примесями, представляет большой интерес благодаря его уникальным физико-химическим свойствам, так как он является основным материалом для микро- и нанoeлектроники. В настоящей работе исследованы структурные свойства монокристаллического кремния, легированного никелем и медью.

Для исследований были изготовлены исходные образцы p -Si и легированные образцы p -Si<Ni,Cu>. В качестве исходного образца был использован монокристаллический кремний марки КЭФ, выращенный по методу Чохральского с удельным сопротивлением 0,3 Ом·см. Одновременная диффузия атомов никеля и меди в кремнии проводилась в горизонтальной печи СУОЛ-4 при температуре $T=1473$ К в течение 5 часов. После диффузионного отжига образцы охлаждались со скоростью $v_{охл}=200$ К/с. Рентгенографические исследования образцов были проведены с помощью современного рентгеновского дифрактометра марки Malvern Panalytical Empyrean.

На рис 1. приведен снимок отдельного участка образца p -Si<Ni,Cu>, на котором видно, что после диффузии в данном образце наблюдается возникновение различных примесных скоплений. Размеры этих скоплений достигают до 300 нм и они имеют разные геометрические формы.

Результаты рентгеноструктурного анализа образца p -Si<Ni,Cu> приведены на рис. 2. Полученная дифракционная картина показывает, что после диффузии никеля и меди в образцах кремния наблюдаются несколько структурных рефлексов (пики) с различной интенсивностью, которые не наблюдались в исходном образце. Пик с самой высокой интенсивностью, относится монокристаллическому кремнию с кристаллографической плоскостью (111). Он наблюдается при углах $2\theta=28,99^\circ$ и этот рефлекс после диффузии немного сдвинулся в сторону больших значений угла. При этом разница углов составляла $\Delta\theta=0,6^\circ$. В этом рефлексе значение d составляет 1,84 нм, а значение $L=0,474$ нм. Полученные данные показали, что в этой области наблюдаются уменьшение среднего размера кристаллитов L почти в 6 раз и увеличение межплоскостного расстояния d почти в 3 раза по сравнению с исходным образцом. Данный результат показывает, что в процессе легирования, за счет проникновения примесных атомов в объем образца, происходит деформация кристаллической решетки кремния.



Рис. 1. Снимок образца $n\text{-Si}\langle\text{Ni,Cu}\rangle$.

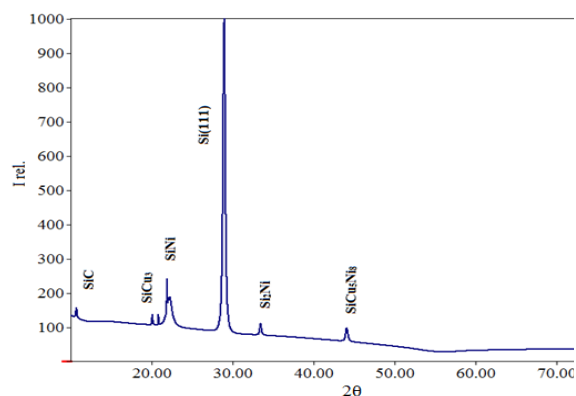


Рис. 2. Рентгенограмма образца $n\text{-Si}\langle\text{Ni,Cu}\rangle$.

Наблюдаемый рефлекс при углах $10,77^\circ$ на рис. 2, соответствует соединению SiC. Из приведенных результатов выясняется, что значения среднего размера L и межплоскостного расстояния d этого рефлекса составляют 0,92 нм и 0,82 нм соответственно. Последующий рефлекс отражается с относительно низкой интенсивностью, по сравнению с другими рефлексами, и он наблюдается при углах $20,14^\circ$. Полученные данные показали, что значения L и d этого рефлекса равняются 1,4 нм и 0,88 нм соответственно. Было выявлено, что он соответствует соединению SiCu_3 . Многообразие формирующихся силицидных фаз меди в кремнии и различие в их характеристиках являются причинами того, что полученные результаты разными авторами работ зачастую не совпадают [3,4]. При углах $2\theta=22,24^\circ$ в рентгенограмме имеется пик, соответствующий соединению SiNi. При более высоких значениях угла 2θ наблюдаются еще два рефлекса с низкой интенсивностью. Они наблюдаются в интервале $33\text{--}45^\circ$ и представляют собой соединения атомов примесных элементов никеля и меди с кремнием. Пик, находящийся при углах $2\theta=33,48^\circ$ в рентгенограмме соответствует соединению Si_2Ni . Средний размер кристаллита данного соединения равен $L=0,719$ нм, а межплоскостное расстояние d равняется 1,87 нм. Следующий пик, наблюдаемый при углах $2\theta=44,12^\circ$ в рентгенограмме, соответствует соединению SiCu_5Ni_8 . Для данного рефлекса значение L и d равняются 0,495 нм и 1,87 нм, соответственно. Из вышеуказанного можно сделать вывод, что при высокотемпературном легировании кремния примесями никеля и меди в объеме образцов формируются различные двухкомпонентные или трехкомпонентные соединения атомов матричного элемента и примесей, которые имеют собственные параметры кристаллической структуры.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показали, что при одновременном диффузионном легировании кремния примесями никеля и меди наблюдается образование скоплений примесных атомов. Данные скопления имеют различные геометрические формы и их размеры достигают до 300 нм. В процессе одновременного легирования кремния никелем и медью при температуре $T=1473$ К наблюдается искажение кристаллической структуры кремния, в результате которого выявляются уменьшение среднего размера кристаллитов L почти в 6 раз и увеличение межплоскостного расстояния d почти в 3 раза по сравнению с аналогичными значениями в исходном образце. В объеме образцов $n\text{-Si}\langle\text{Ni,Cu}\rangle$ образуются двух- или трехкомпонентные соединения, с участием атомов кремния, меди и никеля. Вместе с тем,

наблюдается формирование соединений атомов кремния с атомами технологических примесей, таких как углерод и кислород.

Литература.

1. Zhu Y.T., Liao X.Z., Wu X.L. Deformation twinning in nanocrystalline materials. Prog. Mater. Sci. 2012. V. 7. N 1. pp. 1-62.
2. Mylvaganam K., Zhang L.C. Nanotwinning in monocrystalline silicon upon nanoscratching. Scr. Mater. 2011. V. 65. pp. 214-216.
3. Jung S.J., O'Kelly C.J., Boland J. Position Controlled Growth of Single Crystal Cu₃Si Nanostructures // Crystal Growth & Design. 2015. 15(11).
4. Бучин Э.Ю., Наумов В.В., Васильев С.В. Формирование нанопористых пленок силицидов меди // ФТП. 2019. Том 53. Вып. 3. с. 418-422.

MATHECAD DASTURIDA RUX VA OLTINGUGURT KIRISHMA ATOMLARINI KREMNIYGA LEGIRLASHNING DIFFUZIYA USULINI MATEMATIK MODEL

M.K. Haqqulov^{1,2}, F.Q. Shakarov², G.O. Abdurazzaqova¹

¹O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

²Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Adabiyotlardan ma'lumki, diffuziya jarayoni yarimo'tkazgich materiallarda kiritiladigan kirishma atomlari manbaining turiga bog'liq ravishda cheksiz va cheklangan manbadan amalga oshiriladi [4:2]. Cheksiz manbadan diffuziyada diffuzant manbasi uzluksiz bo'lib, kontsentratsiyasi vaqt davomida o'zgarmaydi va (1) tenglama yordamida ifodalanadi.

$$N(x, t) = C_s \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1)$$

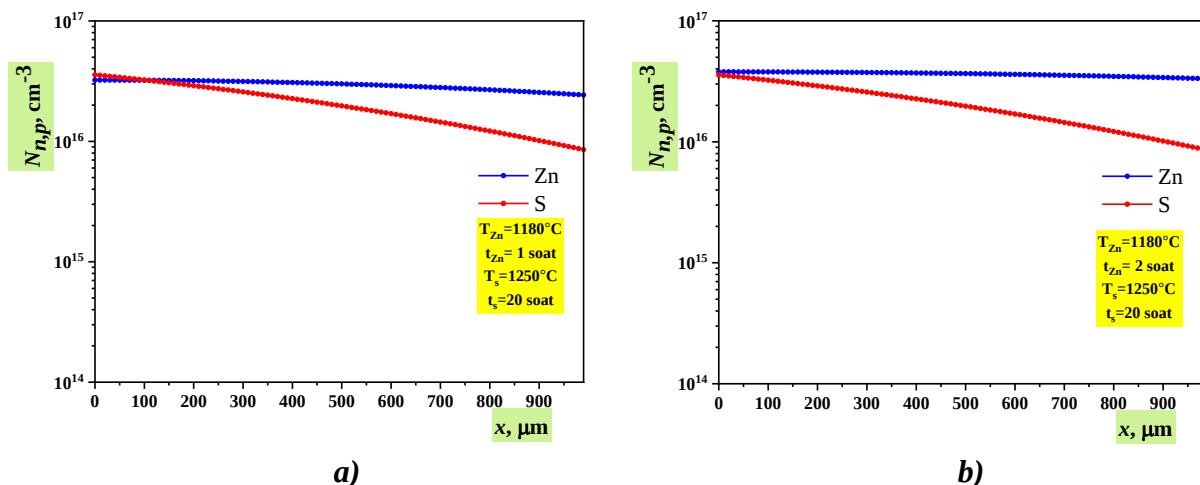
bu yerda: C - kontsentratsiya, x - masofa, erfc - xatolik funksiyasi, t - vaqt. Cheklangan manbadan diffuziyada diffuzant manbasi chegaralangan bo'lib, kontsentratsiyasi vaqt davomida o'zgaradi va (2) tenglama yordamida ifodalanadi.

$$N(x, t) = \frac{C_s}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp \left(-\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t} \right) \quad (2)$$

Kremniyda ZnS binar nanoklasterlarini hosil qilish uchun rux (Zn) va oltingugurt (S) kirishma atomlarining eruvchanlik qiymatlari maksimal darajada bir-biriga yaqin bo'lishi talab etiladi. Bu shartni ta'minlash maqsadida *MathCad* dasturida ishlab chiqilgan matematik model yordamida oltingugurt va rux kirishma atomlari kremniyga ketma-ket va parallel tarzda diffuziya taqsimoti hisoblandi. Zn va S kirishma atomlarini kremniyga ketma-ket hamda bir vaqtda (parallel) legirlash mexanizmlari tanlab olindi:

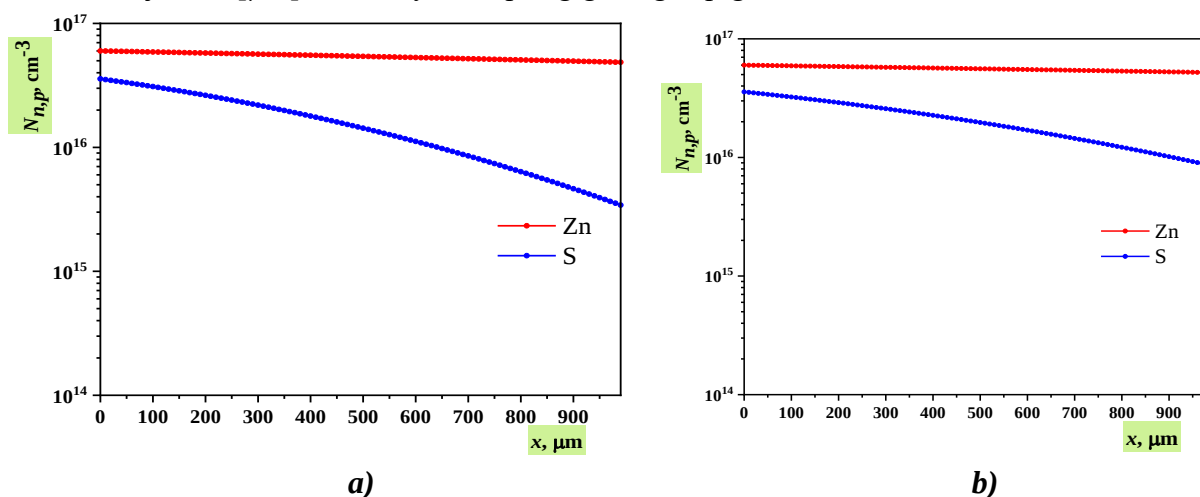
1. Kremniyga avval S kirishma atomlarini $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda, so'ngra Zn kirishma atomlarini $T=1180^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi. Dastlab oltingugurt kirishma atomlari uchun diffuziya jarayoni 1250°C haroratda bajarildi va bunda diffuziya vaqti 20 soatni tashkil etdi. Rux elementi uchun esa diffuziya jarayoni 1180°C haroratda bajarilganda bu harorat uchun

diffuziya vaqtlari 1 soat va 2 soatni tashkil etdi. Bir qancha o'tkazilgan hisoblash natijalaridan ba'zilarining grafigi, ya'ni $N_{n,p}$ (cm^{-3}) - diffuziyalangan atomlarning konsentratsiyasi, x [μm] - diffuziya chuqurligiga bog'liqligi 1-rasmda keltirildi.



1-rasm. Kremniy monokristalliga dastlab rux ($T=1180^{\circ}\text{C}$; 1 soat; 2 soat so'ngra oltingugurt ($T=1250^{\circ}\text{C}$; $t=20$ soat) kirishma atomlari diffuziyasining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi: *a* – $t=1$ soat; *b* – $t=2$ soat.

2. Kremniyga S va Zn kirishma atomlarini bir vaqtda (parallel) $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi. Kremniy monokristalliga oltingugurt va rux kirishma atomlarining parallel diffuziyasi, ya'ni turli vaqt va harorat sharoitlarida bir vaqtda (parallel) oltingugurt va rux kirishma atomlari diffuziya qilingandagi taqsimoti hisoblandi. Bunda diffuziya jarayoni 1250°C haroratda bajarildi va diffuziya vaqtlari 10 soat va 20 soatni tashkil etdi. Bir qancha o'tkazilgan hisoblash natijalaridan ba'zilarining grafigi, ya'ni $N_{n,p}$ (cm^{-3}) – diffuziyalangan atomlarning konsentratsiyasi, x [μm] - diffuziya chuqurligiga bog'liqligi 2-rasmda keltirildi.



2-rasm. Oltingugurt va rux kirishma atomlarini kremniy monokristalliga $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratdagi parallel diffuziyasining taqsimoti: *a* - $t=10$ soat; *b* - $t=20$ soat.

Olib borilgan tahlillar va hisoblashlar natijasida kremniyda ZnS binar nanoklasterlarining hosil bo'lishi uchun zarur shartlar aniqlandi. Xususan, rux va oltingugurt kirishma atomlarining ketma-ket diffuziyasida dastlab rux, so'ng oltingugurt atomlarini kiritish maqsadga muvofiq

ekanligi aniqlandi. Ushbu jarayonda rux uchun maqbul diffuziya harorati 1180°C, oltingugurt uchun esa 1250°C bo'lishi aniqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. McCloy J., Tustison R. Chemical vapor deposited zinc sulfide // SPIE The International Society for Optical Engineering. – 2013. – P. 1-9.
2. Onwudiwe D.C., Adeyemi J.O., Papane R.T., Bobinihi F.F., Hosten E. Synthesis, optical and structural characterisation of ZnS nanoparticles derived from Zn(II) dithiocarbamate complexes // Open Chemistry. – 2021. – Vol. 19. – P. 1134-1147.
3. Iliev Kh.M., Koveshnikov S.V., Isakov B.O., Kosbergenovb E.Zh., Kushiev G.A., Khudoynazarov Z.B. The Elemental Composition Investigation of Silicon Doped with Gallium and Antimony Atoms // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2024. – Vol. 60, No. 4. – P. 633–639.
4. Iliev Kh.M., Zikrillaev N.F., Ayupov K.S., Isakov B.O., Abdurakhmanov B.A., Umarchodjaeva Z.N., Isamiddinova L.I. Effect of GaSb Compound on Silicon Bandgap Energy // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2024. – Vol. 16, No. 2. - P. 1-4
5. Iliyev X.M., Isamov S.B., Isakov B.O., Qurbonova U.X., Abduraxmonov S.A. A surface study of Si doped simultaneously with Ga and Sb // East European Journal of Physics. – 2023. – No. 3. – P. 303-307.

XLORBENZOL MOLEKULARINING DEFORMATSION TEBRANISH CHASTOTALARINI RAMAN SPEKTRLARI YORDAMIDA TAHLIL QILISH

Sh.T. Ahmedov

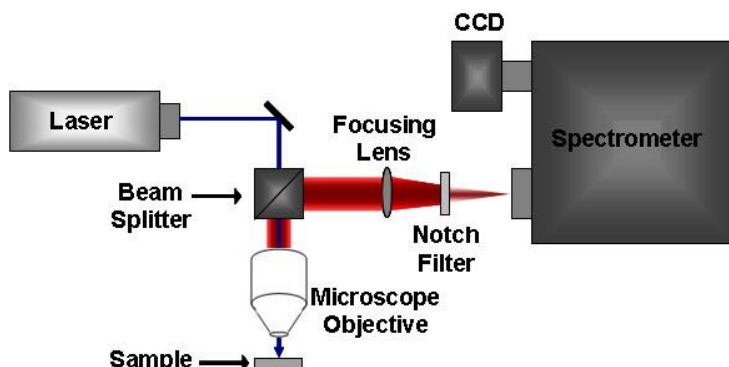
Chirchiq davlat pedagogika universiteti

Ushbu maqolada suyuq aromatik uglevodorodlar qatorida bo'lgan xlorbenzolning tebranish spektrlari Raman spektroskopiyasi yordamida keng chastota diapazonida o'rganilgan. Atomlar turli chastotada tebranish rejimlari spektrlar bo'yicha olingan ma'lumotlardan aniqlanadi. Xlorbenzol moddasi uchun potentsial to'siqlarni hisoblash uchun yarim empirik usuldan foydalanish imkoniyati ko'rsatilgan.

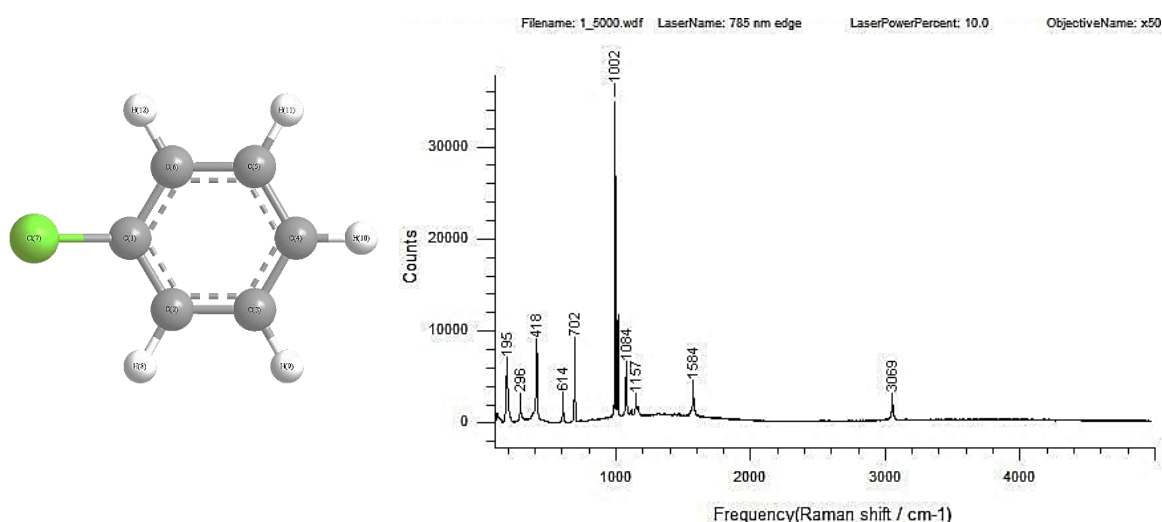
Molekulalarning tebranish spektrlari chiziqlarning maksimal joylashuvi, ularning intensivligi va shakli bilan tavsiflanadi. Molekulyar o'zaro ta'sirlar natijasida yuzaga keladigan ushbu parametrlarning o'zgarishini o'rganish suyuqliklarning tuzilishi [1-3], shuningdek molekulyar dinamikani o'rganishga imkon beradi. Suyuqliklardagi molekulalararo o'zaro ta'sirlar molekulardagi atomlararo bog'lanish kuch konstantalarining o'zgarishiga olib keladi.

Ushbu o'zaro ta'sirlarning dinamik tabiati suyuqliklarning tebranish spektrlaridagi chiziqlarning kengayishiga sabab bo'ladi. Suyuqlikda turli komplekslar va assotsiatsiyalar hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'lgan nisbatan uzoq muddatli lokal tartibning mavjudligi molekula ichidagi tebranishlar chastotalarining o'zgarishida namoyon bo'ladi. Taqdim etilgan ishda biz xlorbenzol (C_6H_5Cl) suyuq aromatik uglevodoroddagi molekulalararo o'zaro ta'sirlarni Raman spektrlarini tahlil qilib o'rganamiz. Xlorbenzol moddasi benzol halqasidan iborat bo'lib, uning bir vodorod atomi xlor (Cl) atomi bilan almashtiriladi. Raman spektrlari 785 nm to'lqin uzunlikka ega lazerli Raman spektrometri yordamida qayd etilgan. Bu usul yuqori sezuvchanlikka ega bo'lgan juda

ixcham moslashuvchan tizim bo'lib, zaif sochilish spektrlarini qayd qilish uchun ishlatilishi mumkin. Eksperimental qurilma sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Raman spektrlarini qayd qilish uchun eksperimental qurilma sxemasi. $100\text{--}5000\text{ cm}^{-1}$ spektral diapazonda skanerlash mexanizmi, hamda (785 nm) qo'zg'atuvchi lazerni o'z ichiga oladi.



2-rasm. Suyuq xlorbenzolning strukturaviy tuzilishi va uning Raman spektri

$100\text{--}5000\text{ cm}^{-1}$ spektral diapazondagi sof suyuq xlorbenzolning olingan Raman spektrlarining umumiy ko'rinishi 2-rasmda keltirilgan. Suyuqliklardagi molekullarning tebranish relaksatsiyasi asosan molekullararo o'zaro ta'sirlar bilan belgilanadi. Molekulyar tebranishlarda relaksatsiyaning uch mexanizmi ajralib turadi; (i) energiya relaksatsiyasi, bu molekula ichidagi tebranishlar energiyasini harakatning boshqa barcha erkinlik darajalariga, shu jumladan molekullarning translatsion va aylanish harakatlariga va boshqa tebranish rejimlariga tarqalishi; (ii) faza relaksatsiyasi, ya'ni atrofdagi molekullar bilan to'qnashuv yoki boshqacha aytganda, mahalliy maydon tebranishlari orqali molekula ichidagi tebranishlarning fazaviy modulyatsiyasi; (iii) rezonans energiya almashinuvi - bir xil turdagi ossilatorlar o'rtasida molekula ichidagi tebranishlarning energiya kvantlarining almashinuvi [4].

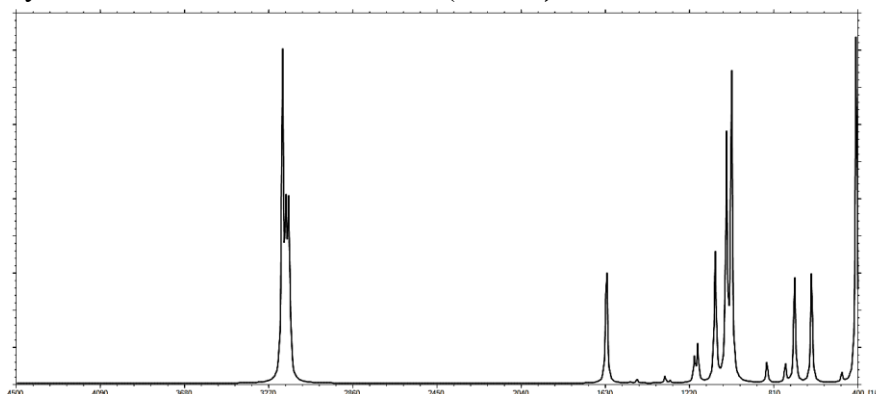
Bizning eksperimental ma'lumotlarimizga ko'ra, xlorbenzolda C-Cl ning Raman chiziqlari murakkabdir. Xlorbenzol uchun taxminan 195 cm^{-1} , 418 cm^{-1} , 1001 cm^{-1} va 3069 cm^{-1} chastotali to'rtta asosiy diapazonni ajratish mumkin. Raman diapazonlarini deformatsion tebranishlarini maxsus nazariy tahlillarsiz belgilash qiyin, chunki bu suyuqliklarning tebranish spektrlari juda murakkab. Shuning uchun o'rganilayotgan suyuqliklardagi Cl ning deformatsion chastotalarini hisoblash yarim empirik usullarga asosan B3LYP 6-31G metodida bajarildi

(1-jadval).

ν, cm^{-1}			Band
Adabiyotlarda	Tajriba	Hisoblash	
	418	415	ω (C-Cl)
609	614	614	ω (C-C)
1001	1001	1012	ω (C-C)
1156	1156	1188	δ (C-H)
1580	1584	1615	ω (C-C)
3068	3069	3176	ν (C-H)

1-jadval. Deformatsion tebranishlari hisoblangan yakuniy tajriba chastotalari

Umuman olganda, B3LYP 6-31G usuli aniq va ishonchli natijalarni taqdim etish bilan birga, ilmiy tadqiqotlarda keng qo'llaniladi. Bizning tadqiqot natijalariga ko'ra eksperimental olingan ma'lumotlar nazariy hisoblashlar bilan mos tushadi (3-rasm).



3-rasm. Kvant kimyoviy usulda hisoblashlardan olingan natija

Agar tebranishlarining potentsial to'sig'ining balandligi ma'lum bo'lsa, mos keladigan chastotani topish va hisoblangan qiymatlarni eksperimental kuzatilganlar bilan taqqoslab, tebranishlarning chastotalarini aniqlash qiyin emas. O'rganilayotgan moddalar uchun burilish tebranishlarining hisoblangan chastotalari va tegishli tajriba qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan, ko'rinib turibdiki, hisoblangan va eksperimental chastota qiymatlari qoniqarli mos tushadi. Bunday holda, potentsial to'siqning balandligi U va burilish tebranishlarining chastotasi ν o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha [5] bo'ladi:

$$\nu = \frac{3}{2\pi c} \sqrt{\frac{U}{2}}, \quad (1)$$

Agar og'irroq guruhlarni o'z ichiga olgan molekularlar uchun spektrning eng past chastotali sohasida joylashgan chiziqlar odatda burilish tebranishlari bilan bog'liq bo'lsa, xlor almashgan benzollarda burilish tebranishlari holatiga tegishli chiziqlar nisbatan keng spektrli 710 cm^{-1} sohada yotishi mumkin. Tahlil qilingan manbalarga asosan, xlorbenzol molekularidagi repulsiya energiyalari uning kimyoviy tuzilishi va elektron zichligiga bog'liq. Masalan, benzolda elektron zichligi bir xil taqsimlanadi, xlorbenzolda esa xlor atomi elektronga tortuvchi xususiyatga ega bo'lib, bu halqaning elektron zichligini pasaytiradi va repulsiya energiyasini kamaytiradi.

Adabiyotlar

1. B.J. Ka, E. Geva. Vibrational energy relaxation of polyatomic molecules in liquid solution via the linearized semiclassical method. *J. Phys. Chem. A* 110, 9555 (2006).
2. S.A. Kirillov, A. Morresi, M. Paolantoni. Recovery of the depolarization ratio of single lines from overlapping isotropic and anisotropic Raman profiles and assignment of molecular vibrations, with special reference to toluene and toluene-d8. *J. Raman Spectrosc.* 38, 383 (2007).
3. D. Wang, K. Mittauer, N. Reynolds. Raman scattering of carbon disulfide: The temperature effect. *Am. J. Phys.* 77, 1130 (2009).
4. J. Lindner, P. Vohringer, M.S. Pshenichnikov, D.A. Wiersma, M. Mostovoy. Vibrational relaxation of pure liquid water. *Chem. Phys. Lett.* 421, 329 (2006).
5. Sherzodjon To'lg'in o'g'li Ahmedov, Bahodir Xudoyberganovich Eshchanov, and Jalol Baxtiyor o'g'li Shodmonov. "Aromatik uglevodorodlarda molekulararo o'zaro ta'sirlashuvning raman spektrlarida namoyon bo'lishi" Academic research in educational sciences, vol. 3, no. 3, 2022, pp. 693-705.

INVESTIGATION OF THE INTERACTIONS BETWEEN AMINO ACIDS AND UREA MOLECULES

U.Holikulov, A.Jumabaev

Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan.

utkirxolikulov12@gmail.com

The study of amino acid-urea interactions is a popular research topic because of its importance in protein structure, function, and stability. The presence of multiple hydrogen-donor and hydrogen-acceptor sites in amino acids and urea molecules makes them ideal systems for studying intermolecular hydrogen bonding [1]. The aim of this study is to analyze the structural, electronic, and vibrational properties of complexes of amino acids such as glycine (Gly), alanine (Ala), and serine (Ser) with urea molecules using quantum mechanical computational methods. Quantum mechanical calculations were performed using the density functional theory (DFT) method with the B3LYP functional and the 6-311++G(d,p) basis set.

The computational results showed that the optimal geometry of amino acid-urea complexes is stabilized by hydrogen bonds and charge exchange between donor-acceptor sites (Fig. 1). Molecular electrostatic potential (MEP) surface analysis revealed the electrophilic and nucleophilic centers of amino acids and urea molecules. It was found that the molecules have a rich-electron density around the oxygen atoms and a poor-electron density near the hydrogen atoms of the amino group. Frontier molecular orbital (FMO) analysis shows that the energy gaps between the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) decrease upon complex formation, indicating an increase in chemical reactivity. Atoms in Molecules (AIM) analysis confirms the presence of O-H...H, N-H...O, and O-H...N hydrogen bonds in the complexes. Vibrational spectra showed red shifts in the O-H, N-H, and C=O stretching frequencies, confirming the presence of hydrogen bonds. AIM analysis identified bond critical points (BCPs) with high electron density, indicating strong hydrogen bonds. Non-

covalent interaction (NCI) analysis confirmed the presence of intermolecular interactions, with distinct peaks corresponding to hydrogen bonds and van der Waals forces.

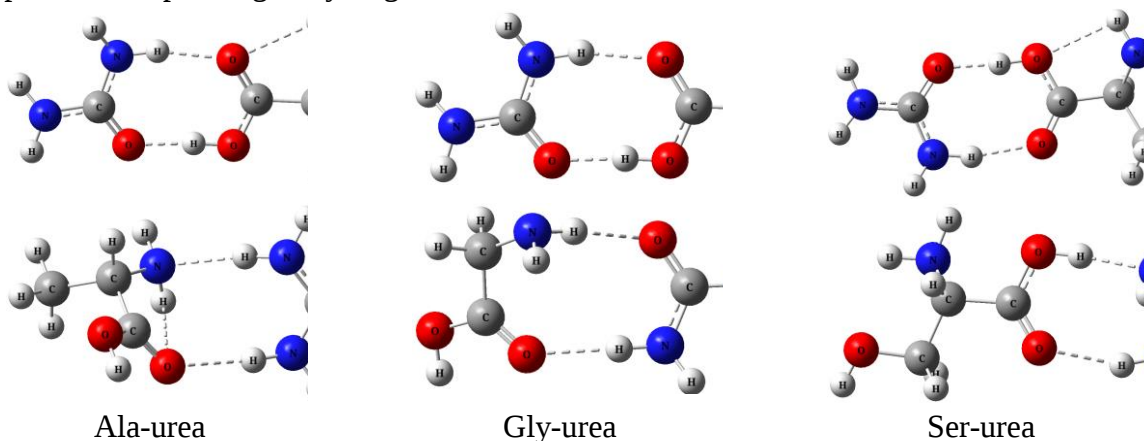


Fig. 1. The optimized geometric structures of amino acid – urea complexes

This study investigated the nature of the intermolecular interactions between urea and the amino acids Ala, Gly, and Ser. The analyses revealed that hydrogen bonding and charge transfer play important roles in stabilizing urea-amino acid complexes.

References

1. Jumabaev, A., Holikulov, U., Hushvaktov, H., Issaoui, N., Absanov, A. (2023). *Journal of Molecular Liquids*, 377, 121552.

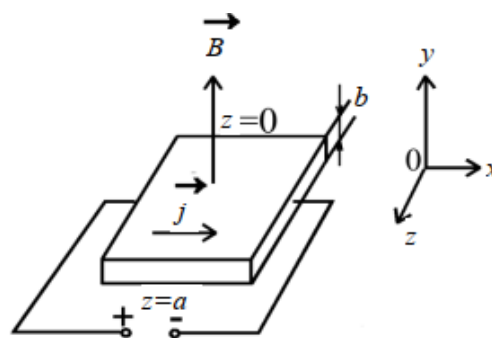
XOLL EFFEKTINI KORPUSKULAR NAZARIYA YORDAMIDA ANIQLASH

Y.I. Ismoilov, D.B.Ahmadjonova

Fargʻona davlat universiteti, fizika yoʻnalishi talabasi

Xoll effekti, 1879-yilda kashf etilgan, tok oqimi boʻlgan oʻtkazgichga koʻndalang magnit maydoni qoʻllanganda kuzatiladi. Bu sharoitda oʻtkazgichda mavjud boʻlgan uzunlamasina elektr maydon bilan birga, koʻndalang elektr maydon paydo boʻladi, shunday qilib tok (oʻtkazgich boʻylab oqishda davom etadi) va elektr maydon bir-biriga parallel boʻlmaydi. Natijada namunada koʻndalang potentsiallar farqi paydo boʻladi. Xoll effektining paydo boʻlish sababi elektronlarning magnit maydoni tomonidan chetga surilishidir. Qattiq jismlarning zonali nazariyasi ishlab chiqilishidan oldin, nega elektronlar — tok tashuvchilar — baʼzan ijobiy zaryadlar surilishi kerak boʻlganidek surilganligi tushunarsiz edi.

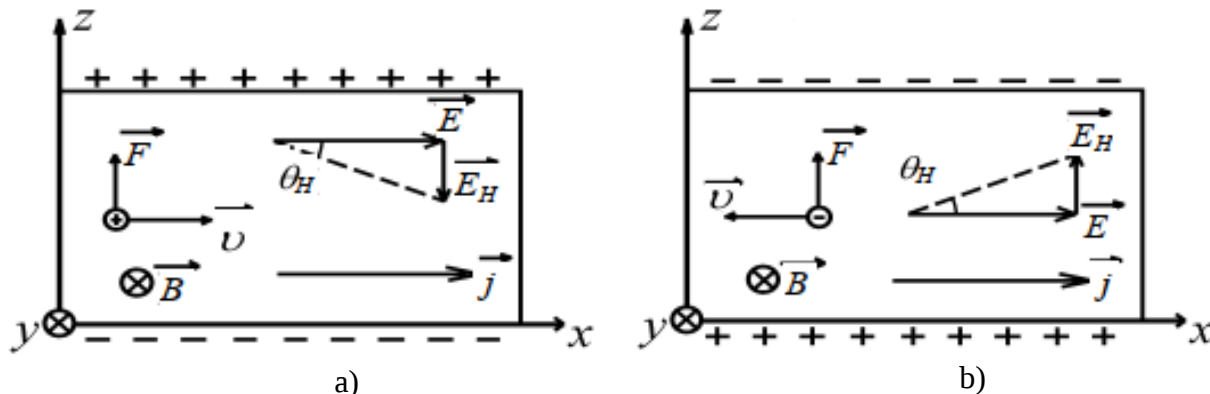
Biroq, quyida koʻrsatilganidek, kovaklar uchun aynan shunday effekt kutilgan. Avvaliga Xoll effektini kirish, tasvirlash maqsadida termal tezliklar zarralarning harakatini eʼtiborsiz qoldirib, har bir



1-rasm. Xoll effektini kuzatish boʻyicha eksperiment sxemasi.

to'qnashuvdan keyin ular dam olish holatiga kelgani deb hisoblaymiz, shunda zarrachalar harakati qo'llanilgan maydonlar tomonidan to'liq belgilanadi.

Xoll effekti bu ko'ndalang galvanomagnit effekt bo'lib, uning mohiyati quyidagidan iborat: agar yarimo'tkazgichdan asosidagi plastinkani tashqi magnit maydoni $\vec{B}$ ga joylashtirib, plastinka bo'ylab tok o'tkazilsa va magnit maydoni bilan kesishgan elektr maydoni hosil qilinsa, harakatlanayotgan zaryadlarning plastinaning bir chetki tomoniga siljishi natijasida Xoll kuchlanishi deb ataladigan ko'ndalang potentsiallar farqi yuzaga keladi.



2-rasm. Kovakli (a) va elektronli (b) yarimo'tkazgichlarda asosiy zaryad tashuvchilarning siljishi.

Har ikki holatda ham θ_H xoll burchagi ko'rsatilgan bo'lib, u x o'qi bilan natijaviy elektr maydon kuchlanganlik vektori orasida hosil bo'ladi. Xoll effektini batafsil ko'rib chiqamiz. 1-rasmda yarimo'tkazgich namunasi ko'rsatilgan, uning ikki qirrasi to'g'rilanmaydigan kontaktlar orqali tashqi batareyaga ulangan.

x o'qini tok zichligi $\vec{j}$ yo'nalishida tanlaymiz. Magnit maydoni $\vec{B}$ Oy o'qi yo'nalishida bo'lsin. Masalan, erkin elektronni ko'rib chiqamiz, u Ox o'qining manfiy yo'nalishida o'rtacha $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanadi.

Ma'lumki, magnit maydonida harakatlanayotgan elektronga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$\vec{F} = -e[\vec{v}, \vec{B}], \quad (1)$$

bu yerda e - elektron zaryadining qiymati. Lorens kuchi ta'siri natijasida elektronning trayektoriyasi z o'qi yo'nalishida biroz og'adi va bu yo'nalishda tok o'ta olmaganligi sababli elektronlar yon sathda ($z = a$, 1-rasmga qarang) to o'sha yo'nalishda Lorens kuchiga teng, lekin yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lgan Xoll elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}_H$ hosil bo'lguncha to'planadi. Bu kuchlarni tenglashtirgan holda, quyidagini olamiz:

$$\vec{E}_H = [\vec{v}, \vec{B}]. \quad (2)$$

Om qonunining differensial ko'rinishidan foydalanib, ushbu ifodani olamiz:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad (3)$$

bu yerda $\sigma = e \cdot n \cdot \mu_n$ - namunaning o'ziga xos elektr o'tkazuvchanligi, n - zaryad tashuvchilar (bu holda - elektronlar) konsentratsiyasi, $\mu_n = \frac{\langle v \rangle}{E}$ - elektronlar harakatchanligi, ya'ni

elektr maydonining birlik kuchlanishida ularning oʻrtacha dreyf tezligiga teng boʻlgan qiymat. (3)-munosabatni quyidagicha qayta yozamiz:

$$\vec{j} = e \cdot n \cdot \mu_n \cdot \vec{E} = -e \cdot n \cdot \vec{v}. \quad (4)$$

(2) munosabatdan v ni chiqarib tashlasak, biz quyidagilarni olamiz:

$$\vec{E}_H = -\frac{1}{en} \cdot [\vec{j}, \vec{B}] = R \cdot [\vec{j}, \vec{B}]. \quad (5)$$

Namuna orqali oʻtadigan toʻliq tok $I = j \cdot a \cdot b$ va koʻndalang kuchlanish $U_H = E_H \cdot a$, ekanligini yodda tutgan xolda, Xoll EyuKni (rasshifrovka zarur) namunadagi elektr toki bilan bogʻlovchi quyidagi tenglamani olamiz:

$$U_H = R \cdot \frac{I \cdot B}{b} \quad (6)$$

R – kattalik Xoll doimiysi deb ataladi va n -tip yarimoʻtkazgichlar uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$R = -\frac{1}{e \cdot n} \quad (7)$$

shu bilan birga, Xoll doimiysi R_H ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$R_H = \frac{U_H \cdot b}{I \cdot B} \quad (8)$$

bu yerda U_H - Xoll kuchlanishi, b - namunaning qalinligi, I – tok kuchi, B – tashqi magnit maydoni induksiya vektori. Shunday qilib, kuchli magnit maydonlarida Xoll koeffitsiyenti shunday sodda koʻrinishga ega boʻladi.

Xoll effekti, korpuskulyar nazariyaga asoslanib, yorugʻlikning fotonlar shaklida modda bilan oʻzaro taʼsirini tushuntiradi. Xoll effekti magnit maydon taʼsirida harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarning yon tomonlarga siljishi natijasida koʻndalang potentsiallar farqining hosil boʻlishi bilan izohlanadi. Tadqiqotda ushbu effektning fizik mohiyati, matematik ifodalari va uning yarimoʻtkazgich materiallaridagi ahamiyati tahlil qilindi. Xoll kuchlanishi va Xoll doimiysi orqali zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligi aniqlanishi koʻrsatildi. Olingan natijalar yarimoʻtkazgich fizikasi va elektronika sohasida Xoll effektidan amaliy foydalanish imkoniyatlarini belgilaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Hall, E. (1879). "On a New Action of the Magnet on Electric Currents." American Journal of Science, 3rd Series, 18(106), 257–278.
2. Kittel, C. (2005). Introduction to Solid State Physics (8th ed.). John Wiley & Sons.
3. Ashcroft, N. W., & Mermin, N. D. (1976). Solid State Physics. Saunders College Publishing.
4. Ziman, J. M. (2001). Principles of the Theory of Solids. Cambridge University Press.
5. Liu, H., & Wang, J. (2014). "Applications of the Hall Effect in Solid-State Devices." Journal of Applied Physics, 116(12), 123701.

SPECTROSCOPIC AND COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF MOLECULAR COMPLEXES OF IBUPROFEN WITH SOLVENT MOLECULES

A.Jumabaev, U.Holikulov

Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan.

utkirxolikulov12@gmail.com

Study of the intermolecular interactions of drugs with solvents is essential for optimizing drug formulation, solubility, and pharmaceutical properties [1]. Ibuprofen is a widely used nonsteroidal anti-inflammatory drug. Solvents such as ethanol (EtOH) and dimethylformamide (DMF) are commonly used to increase drug solubility. Studying the interaction of ibuprofen with these solvents provides information about its molecular stability.

The aim of this study was to study the intermolecular interactions between ibuprofen and solvents (EtOH and DMF) using vibrational spectroscopy and quantum chemical computational methods. Raman and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy were used to analyze the effects of solvents on the vibrational spectra. Raman spectra of the samples were recorded using a Renishaw InVia Raman spectrometer, and FTIR spectra were recorded using a Shimadzu IRTracer-1S spectrometer at room temperature. Quantum chemical calculations were performed using the Density Functional Theory (DFT) method at the B3LYP/6-311++G(d,p) level in the Gaussian 09W program [2].

The results of the study showed that ibuprofen and solvent molecules form molecular complexes with different structures using intermolecular O-H...O and C-H...O hydrogen bonds (Fig. 1).

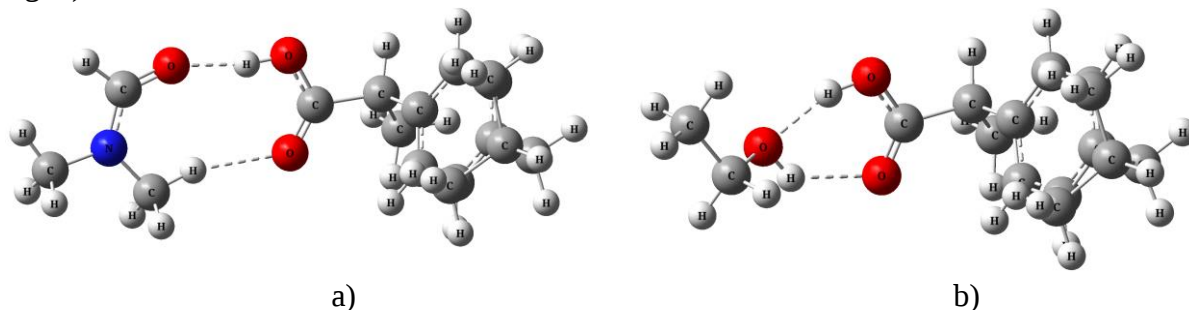


Figure 1. Optimal geometric structures of the complexes of ibuprofen with DMF (a) and EtOH (b) molecules

Molecular electrostatic potential (MEP) surfaces were simulated to identify the active sites in intermolecular interactions in ibuprofen, solvents, and their complexes. The MEP surfaces showed that the most negative electrostatic potential surface (electrophile) is located around the oxygen atoms of ibuprofen, and the most positive electrostatic potential surface (nucleophile) is located near the hydrogen atoms of the O-H group. The vibrational spectra confirm the structural changes induced by solute-solvent interactions, with significant shifts in the O-H and C=O stretching frequencies of ibuprofen. Atoms in Molecules (AIM) [3] analysis was used to analyze the topological parameters of the electron density at critical points along the bonding path between ibuprofen and solvent molecules. The results of the analysis confirmed that the molecular complexes are formed by moderate O-H...O and weak C-H...O hydrogen bonds.

In this study, the interaction of ibuprofen with ethanol and DMF molecules was investigated using experimental and quantum chemical computational methods. The experimental and computational results supported each other and confirmed that hydrogen bonds are the dominant character in the formation of molecular complexes.

References

1. Rainsford, K. D. (2009). Ibuprofen: pharmacology, efficacy and safety. *Inflammopharmacology*, 17, 275-342.
2. Bader, R. F. W. (1990). *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*. Oxford University Press.
3. Frisch, M. J., et al. (2009). Gaussian 09, Revision D.01. Gaussian, Inc.

INTERMOLECULAR INTERACTIONS IN AQUEOUS ANILINE: RAMAN SPECTROSCOPY AND DFT STUDY

B. Khudaykulov

*Sharof Rashidov Samarkand State University 15 University Blvd.,
140104, Samarkand, Uzbekistan;
bekzodxudaykulov30@gmail.com*

The study of the nature of intermolecular forces has been the focus of attention of scientists for many years. This is because the interaction forces provide a basis for studying not only the physicochemical, but also the biological properties of molecular systems [1]. Along with the widely studied hydrogen bond (H-bond), it is also important to study weak (van der Waals and other) interactions [2]. In this work, in order to study the effect of aniline on solutions, the vibrations of aniline in water were analyzed using Raman spectroscopy. The interactions in aniline-water complexes, molecular electrostatic potential surface (MEPS) surface, frontier molecular orbital (FMO) analysis, atoms in molecules (AIM), reduced density gradient (RDG) and quantum chemical parameters such as non-covalent interaction (NCI), electron localization functions (ELF) and localized orbital locator (LOL) were analyzed using calculations.

Raman spectra of aniline and its aqueous solution were recorded on a Renishaw Invia Raman spectrometer and calculations were performed using the density functional theory (DFT) method, the Gaussian 09W program.

Fig. 1 shows that the maximum of the symmetric C-H stretching band in the TCM solution corresponds to 3102 cm^{-1} in Raman, but in the 1M TCM solution, it is 3112 cm^{-1} , with a blue shift of 10 cm^{-1} . The solutions are given in mole fraction (m. f.). The maximum of the N-H vibration band involved in mutual hydrogen bonding is at 3359 cm^{-1} , which does not shift at 0.9 m. f. However, when the concentration is reduced to 0.6 m. f., a red shift to a lower frequency of 3353 cm^{-1} occurred. This means that this aniline forms H-bonds with water through N-H. In the C-H and CC+NHN vibration bands, a blue shift of 2 and 4 cm^{-1} occurred to a higher frequency, respectively, with a decrease in the concentration of aniline. Similarly, the maximum of the NC+HCC+CCC vibration system corresponds to 1276 cm^{-1} in pure form, and a blue shift of up to 4 cm^{-1} (1280 cm^{-1}) was observed at a concentration of 0.7 m. f. With a decrease in

concentration, there was no change in the CC+CCC+HCC (1028), CC+CCC (996), and HNH+HNCC (817) bands.

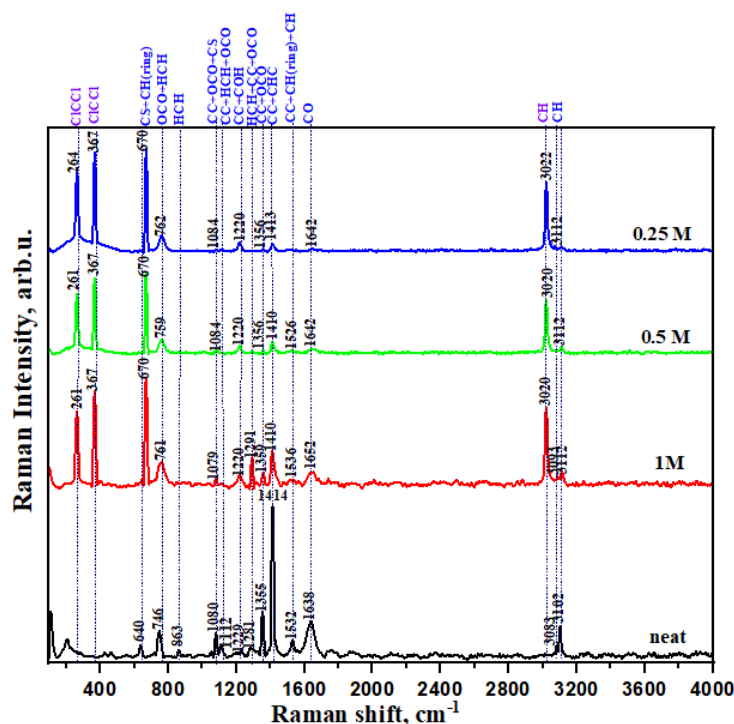


Fig. 1. Raman spectra of TCA in TCM solutions

This means that the red-shift is due to the formation of H-bonds between aniline and water through the HN group. With the remaining atoms (for example, C-H), blue-shift or no shift was observed due to weak or van der Waals interactions. In order to confirm these results, quantum-chemical calculations were performed.

References

1. Ch. Yuanzheng, S. Chenglin, Li Zuowei, Z. Mi. // Eur. Phys. J. D, 2014, 68, 70.
2. J. K. Mishra, N. G. Patwari. // Phys. Chem. Chem. Phys., 2018.

INVESTIGATION OF INTERMOLECULAR INTERACTIONS IN ETHYL ACETATE SOLUTIONS

B. Khudaykulov

Sharof Rashidov Samarkand State University 15 University Blvd.,

140104, Samarkand, Uzbekistan;

bekzodxudaykulov30@gmail.com

The study of molecular complexes provides the foundation for understanding noncovalent interactions, which are significant in many fields of science [1]. Noncovalent interactions are significant in chemistry, biology, and material science. Because macromolecules in live beings are primarily bound by weak, non-covalent (H-bonding, van der Waals interactions, etc.) interactions. The goal of this research is to understand the noncovalent interactions of aniline (PhNH₂)-ethyl acetate (EtOAc) complexes on a microscopic scale and to study the changes in vibrational

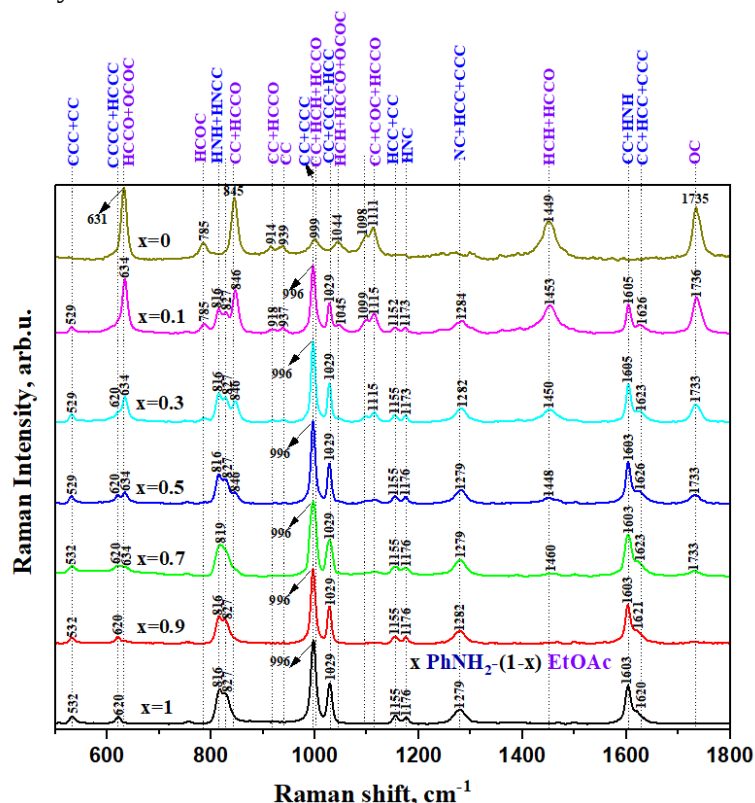


Fig. 1. Raman spectra of PhNH₂ in EtOAc solutions in the region of 500-1800 cm⁻¹

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99

observed. The studies revealed a blue shift in the C-H-bonded vibration maxima when the concentration of PhNH₂ in the EtOAc solution decreased as compared to the pure condition. The NH₂ group's H-bonds primarily exhibited a red shift.

Reference

1. Makuvaza, James T., et al. "Probing cooperativity in C–H··· N and C–H··· π interactions: Dissociation energies of aniline···(CH₄)_n (n= 1, 2) van der Waals complexes from resonant ionization and velocity mapped ion imaging measurements." *The Journal of Chemical Physics* 153.4 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0015624>
2. Jumabaev A, Khudaykulov B, Doroshenko I, et al (2022) Raman and ab initio study of intermolecular interactions in aniline. *Vib Spectrosc* 122:103422. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2022.103422>
3. Jumabaev, A., Koyambo-Konzapa, S. J., Hushvaktov, H., Absanov, A., Khudaykulov, B., Holikulov, U., ... & Nsangou, M. (2024). Intermolecular interactions in water and ethanol solution of ethyl acetate: Raman, DFT, MEP, FMO, AIM, NCI-RDG, ELF, and LOL analyses. *Journal of Molecular Modeling*, 30(10), 349. <https://doi.org/10.1007/s00894-024-06147-0>

ZIG-ZAG KABI TAKRORLANUVCHI DOIRAVIY POTENSIAL TO'SIQLI GRAFENDA ELEKTRON SOCHILISHI

M. Sulaymonov^{1,*}, X. Yusupov², A. Uzoqov^{1,3}, Sh. Nurmatov¹, X. Rahimov¹

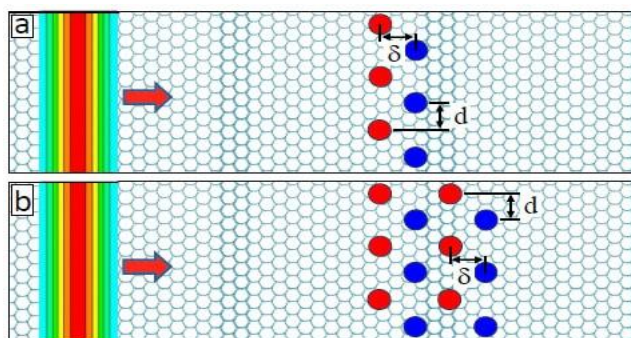
¹ *O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, Toshkent*

² *Kimyo xalqaro universiteti, Toshkent*

³ *Toshkent davlat pedagogika universiteti, Toshkent*

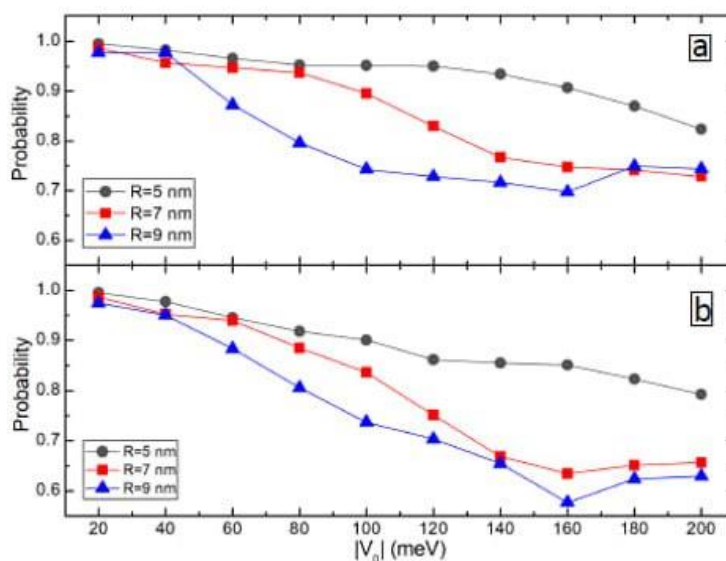
*m.sulaymonov@imssolar.uz

Ideal yoki nuqsonli grafenlar nanoelektronika sohasida foydalanish uchun hozirda mavjud bo'lgan ikki o'lchamli (2D) materiallar orasida eng istiqbolli materiallardan hisoblanadi [1,2]. Shuning uchun, strukturaviy nuqsonlar mavjudligida zaryad tashuvchilarning dinamikasini tushuntirish, grafen asosli nanoelektronik jihozlar ishlab chiqarishda muhim amaliy ahamiyatga ega. Ushbu ishda biz zig-zag kabi takrorlanuvchi davriy statik potensial to'siqlar mavjud bo'lganda (1-rasmga) grafenda zaryad tashuvchilarning xarakati dinamikasi o'rganildi, buning uchun relativistik elektron uchun nostasionar Dirak tenglamasini yechish talab qilinadi. Bunda elektronni to'lqin uyumi sifatida qaraldi. To'lqin uyumi bunday sohada to'siqqa uchrashi natijasida materialning o'tkazuvchanligi o'zgaradi [3]. Turli xil nuqsonlar mavjud grafenlarda to'lqin uyumining tarqalishini o'rganish uchun keng qamrovli tadqiqotlar olib borilmoqda [4,5]. Biroq, potensial to'siqlar orqali to'lqin uyumining tarqalishi bo'yicha nazariy tadqiqotlar to'liq o'rganilmagan. Ushbu ishda biz, grafenda hosil bo'lishi mumkin bo'lgan zaryadlangan sohalarning (elektron va kovaklarga boy bo'lgan) zig-zag kabi takrorlanuvchi panjarani modellashtiramiz. Bunday grafendagi to'lqin uyumining vaqt bo'yicha evolyutsiyasini o'rganish uchun nostatsionar Dirak tenglamasini yechish talab qilinadi [6-8]. Ushbu usul tasodifiy taqsimlangan statik potensial mavjud bo'lgan grafenda to'lqin uyumining evolyutsiyasi uchun samarali tadbiiq qilingan [9].



1-rasm. To'liqin uyumining zig-zag kabi takrorlanuvchi doiraviy potensial to'siqli grafen tarqalishi tasvirlangan. Qizil va ko'k ranglar, mos ravishda musbat va manfiy elektostatik potensial maydonni ifodalaydi.

Ushbu rasmlarda, radiusi R bo'lgan har bir doira odatda tajriba orqali grafen namunalarda kuzatiladigan elektronga boy va kovaklarga boy sohalari mavjudligini ifodalaydi. Sochuvchi markazlar sifatida modellashirilgan ushbu to'siqlar o'zgaruvchan musbat ($+V_0$) va manfiy ($-V_0$) potensiallarni almashib turish orqali mos ravishda elektronlar yoki kovaklarning yuqori zichligi bo'lgan sohalarni ifodalaydi va shu bilan birga butun sochuvchi soha bo'ylab umumiy zaryadni neytralligini taminlaydi. Rasmdagi qizil va ko'k ranglar, mos ravishda musbat va manfiy elektostatik potensial maydonlarni ifodalaydi. Barcha hisoblashlarda, to'liqin uyumi energiyasi $E=100$ meV va kengligini $a_x=10$ nm deb oldik. Markazlar orasidagi masofa $\delta=21$ nm va $d=28$ nm deb qaradik.



2-rasm. Namunalarda to'liqin uyumining o'tish ehtimolligi doira radiusining uch xil qiymati uchun ($R=5$ nm, 7 nm, va 9 nm) va potensial to'siq balandligiga bog'liqligi hisoblandi.

Sochilishni kamayishi, ayniqsa, to'liqin uyumi potensial mavjud hududda bo'lsa uning tarqalishiga sezilarli ta'sir qilishi kuzatildi. To'siq balandligi oshgani sayin, sochilish ehtimolligi yanada kamayar ekan (2-rasmga qarang). Sochuvchi soha umuman olganda zaryadsiz (neytral) bo'lishiga qaramasdan, bunday davriy panjaraning mavjudligi grafendagi to'liqin uyumining tarqalishiga sezilarli ta'sir qilishi aniqlandi.

2-rasmda to‘lqin uyumining sochilish ehtimolligini, to‘siq balandligi qiymatiga bog‘liqligi keltirilgan. Doira o‘lchamining ta’siri nuqtalar orasidagi masofa oshgani sayin yanada yaqqol namoyon bo‘ladi. Nuqtalar ko‘proq tarqalgan konfiguratsiyalarda to‘lqin uyumi har bir potensial sohalar bilan uzoqroq vaqt davomida ta’sirlashadi va potential o‘lchamining ta’sirini kuchaytiradi. Kattaroq doiralar kuchliroq sochuvchi potentsiallarini yuzaga keltiradi va o‘tish ehtimolligini yanada kamaytir ekan.

Adabiyotlar

1. A. H. Castro Neto, et al., Rev. Mod. Phys. 81 (2009) 109.
2. K. S. Novoselov, et al., Nature 490 (2012) 192.
3. J. Jiang, et al., Nano Research, 16 (2023) 3104.
4. Kh. Rakhimov, A. Chaves, and P. Lambin, Appl. Sci. 6 (2016) 256.
5. J.-H. Chen, et al., Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 236805.
6. M. Andelkovic, Kh. Rakhimov, A. Chaves, et al., Physica E 147 (2023) 115607.
7. A. Chaves, L. Covaci, Kh. Rakhimov, et al., Phys. Rev. B 82 (2010) 205430.
8. Kh. Rakhimov, *et al.*, J. Phys.: Cond. Matter 23 (2011) 275801.
9. Kh. Rakhimov, A. Chaves, G.A. Farias, Book chapter in Low-Dimensional Functional Materials, Springer 2013, P.119.

OXSID PEROVSKITLARNING TERMoeLEKTRIK MATERIAL SIFATIDA XOSSALARI

F. Yo‘lchiyeva, G. Abdurahmonov

O‘zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakulteti

yulchiyevafarogat@gmail.com

Umumiy formulasi ABX_3 bo‘lgan (A va B – musbat zaryadlangan ionlar - kationlar, X esa manfiy zaryadlangan ion - anion) perovskitlarga qiziqish keyingi yillarda kuchaygan [1-3]. Buning sababi, perovskitlar, ayniqsa oksidlar guruhiga ($X = O$) mansublarining Quyosh fotoelektrik qurilmalari va termoelektrik generatorlar uchun samarali faol material bo‘lishi imkoniyatidir [4]. Bu borada oksid perovskitlarning asosiy xossalari – tashqi ta’sirlarga chidamliligi va tarkibini keng ko‘lamda o‘zgartirish, ya’ni undagi elementlarni deyarli butun davriy jadval bo‘yicha tanlash mumkinligidir. Bundan tashqari, $AA'BB'O_3$ va murakkabroq tarkibli perovskitlar borki, ko‘pchiligining termoelektrik xossalari hali deyarli o‘rganilmagan. ABO_3 tarkibli perovskitlarning ko‘pchiligi izolyatorlar bo‘lib [5], oraliq metal oksidlari bilan legirlash orqali solishtirma qarshiligini keskin kamaytirish mumkin. Bunda perovskitlarning issiqlik o‘tkazuvchanligi pastligi ham muhim, va u legirlash jarayonida kam o‘zgaradi.

Perovskitlarning energetik zonolari Fermi sathi E_F yaqinida odatda oraliq metal (OM) ning d -orbitallari va kislorodning $O2p$ -orbitallarining chatishuvidan hosil bo‘ladi. Oktaedral OM-O koordinatsiya OM- d -orbitallarni ikki guruhga parchalaydi, ulardan biri uch qayta aynigan t_{2g} orbitallari, ikkinchisi ikki qayta aynigan e_g orbitallari. Fermi sathi E_F ning ushbu orbitallarning qay biriga tushishi d -elektronlarning zichligiga bog‘liq bo‘lib, u o‘z navbatida OM ning valentligiga

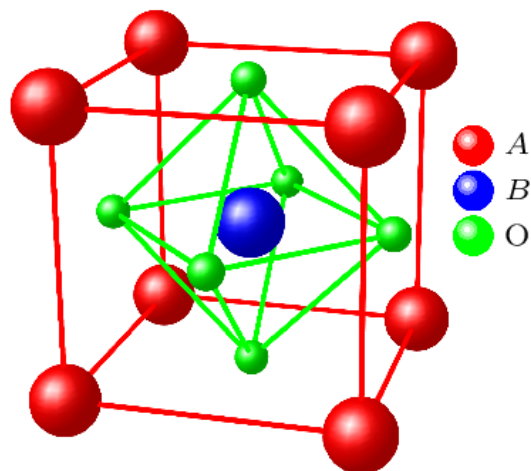
va OM-O bog'lanishidagi zaryad tashish imkoniyatlariga bog'langan. Termoelektrik material bo'lishga da'vogar oksid perovskitlarda Fermi sathi E_F t_{2g} orbitallarining orasiga tushadi. Shunga ko'ra, spin bo'yicha nisbatan yuqori darajada ayniganlik effektiv massaga ijobiy ta'sir ko'rsatadi

va zaryad tashuvchilarning entropiyasi oshishi tufayli Zeebek koefitsientining tajribada topilgan yuqori qiymatlariga olib keladi.

Legirlash jarayoni perovskitlardagi boshlang'ich atomlarni almashtirish hisobiga ham bo'lishi mumkin. Natijada qo'shaloq va undan ham murakkabroq perovskit birikmalar hosil bo'ladi. Shunday birikmalarga misol qilib titanatlar $Sr_{1-x}A_xTi_{1-y}Nb_yO_3$ ($A = Ca, La, Ba, Eu$), manganatlar $CaMn_{1-x}Nb_xO_{3,8}$ va siyrak-yer kobaltatlari $LnCo_{1-x}Ni_xO_3$ ($Ln = La, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy$) ni korsatish mumkin.

Ularda 1000 K atrofida birliksiz sifatlilik $ZT \approx 0,37$ yetgan, bu esa oksid termoelektrik materiallar orasida yuqori ko'rsatkich(6). Oksid perovskitlarning e'tiborga loyiq jihatlaridan biri – ulardan ajoyib termoelektrik xossali yuqori entropiyali materiallar tayyorlash mumkinligi.

Aytilganlardan ko'rinib turibdi-ki, oksid perovskitlarning termoelektrik qurilmalarda qo'llanish imkoniyatlari katta, ayniqsa legirlash orqali murakkab tarkibli perovskitlar birliksiz sifatliliigi 2 dan oshirilsa. Bunda oksid perovskitlarning tabiatda keng tarqalgani va texnologiyasining oddiyligi ham muhim.



Perovskitning tuzilishi

Adabiyotlar

1. J. Irvine, J. L. M. Rupp, G. Liu, et al. (2021) Roadmap on inorganic perovskites for energy applications. J. Phys. Energy **3**, 031502.
2. L. Zhang, L. Mei, K. Wang, et al. (2023) Advances in the Application of Perovskite Materials. Nano-Micro Lett. **15**, 177 (48 bet)
3. G. George, S. Rao Ede, Z. Luo. Fundamentals of Perovskite Oxides: Synthesis, Structure, Properties and Applications. CRC Press, 2022.
4. T. Wu and P. Gao (2018) Development of Perovskite-Type Materials for Thermoelectric Application. Materials **11**, 999 (32 bet).
5. P. P. Khirade and A. V. Raut. Perovskite Structured Materials: Synthesis, Structure, Physical Properties and Applications. In: P. Sharma and A.
6. Kumar (Ed.) Recent Advances in Multifunctional Perovskite Materials. IntechOpen, 2022.

INTERMOLECULAR INTERACTIONS IN FORMAMIDE-DMSO SOLUTIONS

Sh.Yormatov, A.Jumabaev

Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan.

yormatovshavkat@samdu.uz

Polarized Raman spectroscopy is one of the most effective methods for studying the properties of the vibrational symmetry of polar bonds. Identification of molecular vibrational symmetry and orientation allows early detection of biomolecular changes [1]. Moreover, PRS can be used to investigate the structure and vibrational symmetry of biomolecular systems such as proteins, lipids, DNA, and RNA. The results obtained in this method directly depend on the isotropic and anisotropic properties of the polarizability tensor of the molecule.

In this work, polarized Raman spectra of C=O stretching and NH₂ bending modes of formamide (FA) and its solutions with various concentrations were analyzed. The structure and properties of biologically important molecules such as DNA, RNA, proteins, and lipids are strongly dependent on N-H...O=C interactions, which increases the relevance of studying vibrational couplings in this bond. Polarized Raman spectra of neat FA and its binary solution with dimethylsulfoxide (DMSO) at different concentrations were recorded using a Renishaw Invia Raman spectrometer with a 1200 lines/mm grating.

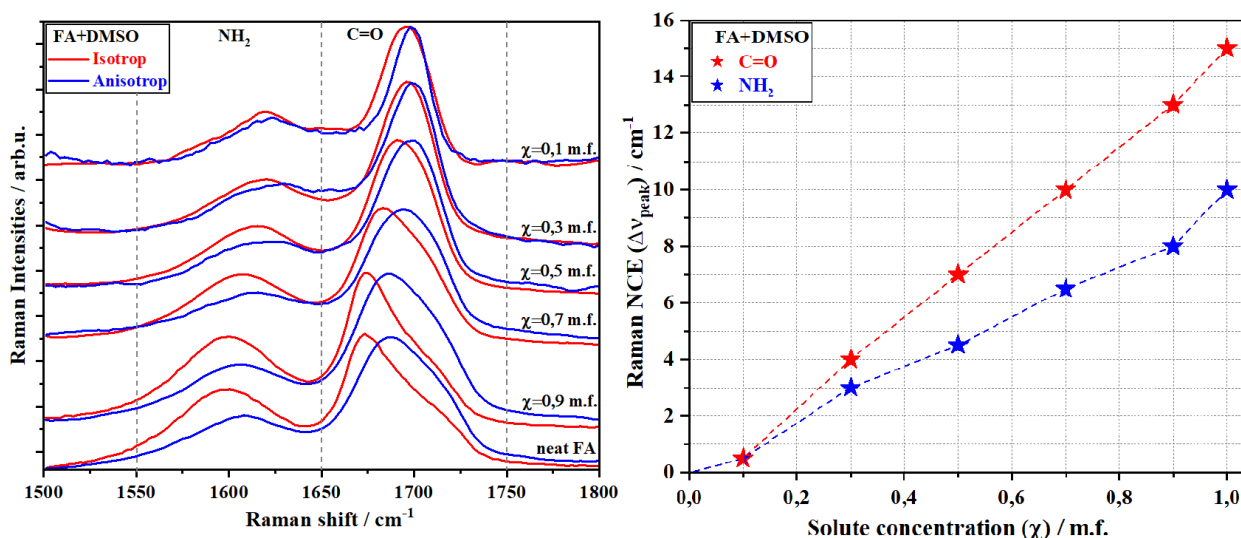


Fig. 1. Isotropic and anisotropic Raman spectra of solutions of FA with DMSO at different concentrations and shift dynamics of their NCE. Spectral range 1500-1800 cm⁻¹.

Figure 1 shows the isotropic and anisotropic Raman spectra of the binary solutions of FA with DMSO and the dynamics of their NCE concentration-dependent changes. The figure shows the decrease in the value of the NCE of the stretching and bending modes in solutions. The NCE concentration dependence of the C=O stretching mode in the solution of FA in DMSO is almost linear. The slightly concave (upward) shape of the curve indicates a stronger interaction of DMSO with the NH₂ groups. This has a strong effect on resonance vibrational couplings by disrupting the short-range orientational ordering of formamide molecules.

This result may be due to the fact that DMSO has a stronger dipole moment than the FA, but a smaller dielectric constant. Although the high dipole moment of DMSO plays an important role

in this process, the low dielectric constant, i.e. its low screening ability (blocking an electric field), complicates the mechanism of interactions.

References

1. Jumabaev, A., Holikulov, U., Yormatov, S., Devi, T. G. (2025). Vibrational Spectroscopy, 136, 103767.

SiO₂(001) YUPQA QATLAM SIRTIDAN SOCHILGAN IONLARNING ENERGETIK TAQSIMOTINI MODELASHTIRISH

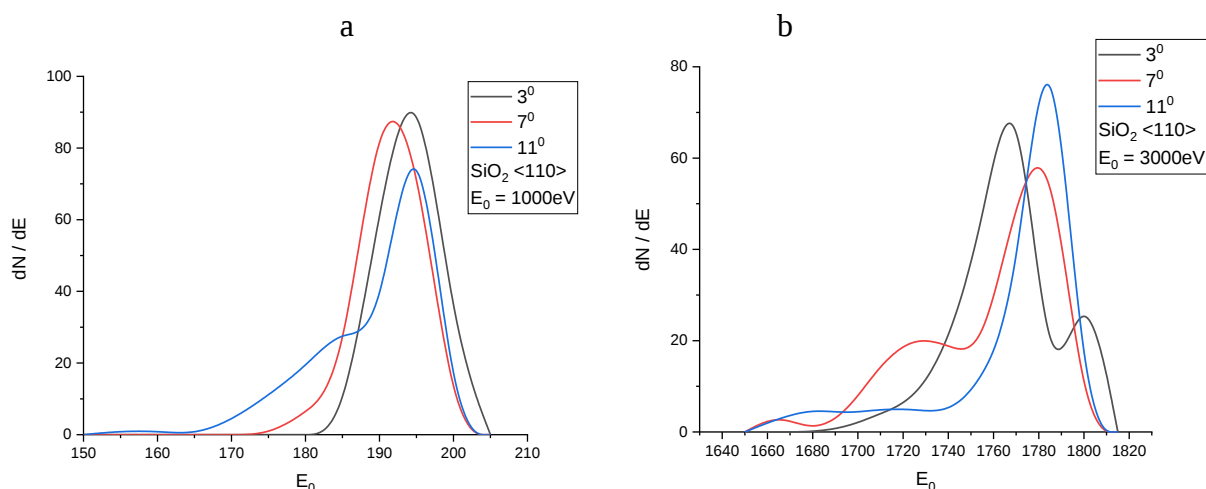
A.S. Ashirov, M.K. Karimov, S.B. Bobojonova, F.K. Masharipov, Sh.F. Bardiboyeva

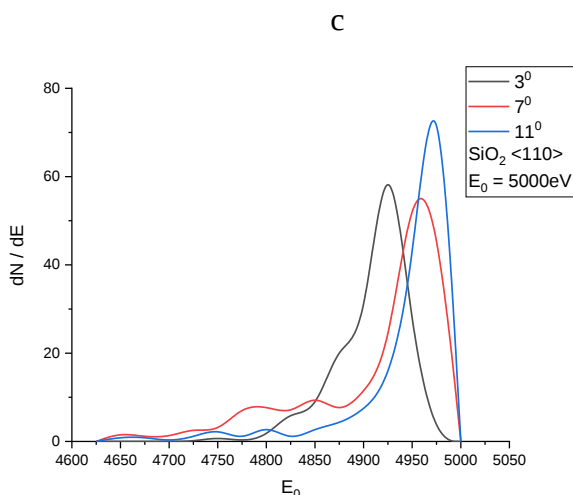
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti,

karimov_m_k@urdu.uz

Kichik energiyali ionlarning sochilishi (KEIS) – materialning yuqori qatlamlaridagi atomlarni aniqlash imkonini beruvchi sirtni tahlil qilish usulidir. U kichik energiyali ionlarni sirtga yo‘naltirish va sochilgan ionlarni kinetik energiyasini o‘lchashdan iborat. Agar ion inert gazdan tashkil topgan va uning tushuvchi energiyasi bir necha keV dan past bo‘lsa deyarli barcha sochilgan ionlar sirt atomlari ishtirokidagi hodisalar natijasidir. To‘qnashuvdan keyin bombardimon qiluvchi ionning energiya yo‘qotishi kinematik jihatdan uning to‘qnashuvchi sherigi (sirt atomi) massasi bilan bog‘liq, shuning uchun sochilgan ionlarning energiya tahlili aslida sirtning massa tahlilini ta‘minlaydi [1-2]. KEIS burchak bo‘yicha ajrata olish, bunda tushgan ion dastasiga nisbatan namuna sirtining orientatsiyasi o‘zgaradi, va qo‘shimcha ravishda real fazodagi sirt atomlari haqida strukturaviy ma‘lumot beradi. Shubhasiz, to‘plangan ma‘lumotlar ko‘p komponentli metal oksid tizimlarni tadqiq qilishda alohida ahamiyatga ega.

Biz SiO₂ (001)<110>, <110> yuzasidan tushish burchagi ostida va 5 keV gacha bo‘lgan boshlang‘ich energiya bilan sochilgan Ne⁺ va Ar⁺ ionlarni energetik taqsimotini o‘rgandik.





1-rasm. SiO₂ (001)<110> sirtidan $\psi=3^{\circ}, 7^{\circ}, 11^{\circ}$ tushish burchaklarida va $E_0=1$ keV (a), 3 keV (b), 5 keV (c) da Ne⁺ ionlarni energetik taqsimoti.

1a-rasmda $\psi=3^{\circ}, 7^{\circ}, 11^{\circ}$ tushish burchaklarida va $E_0=1$ keV bo'lganda SiO₂ (001)<110> sirtidan sochilgan Ne⁺ ionlarni energetik taqsimoti keltirilgan. $\psi=3^{\circ}$ da energetik taqsimot faqat bitta cho'qqiga ega, bu sirt atom zanjiridan sochilgan ionlarga mos keladi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, bunday tushish burchagi va boshlang'ich energiya qiymatlarida ionlar sirt kanallariga kira olmaydi va sochilish faqat sirt atomlaridan bo'ladi. Xuddi shunday cho'qqi $\psi=7^{\circ}$ bulganda ham kuzatildi, ya'ni yagona sirt atom qatoridan sochilgan ionlarga tegishli bo'lgan cho'qqi hosil bo'ldi. Tushish burchagini yanada oshishi ($\psi=11^{\circ}$) bilan energetik spektrda yarim kanal devoridagi atomdan sochilgan ionlarga va sirt atom qatoridan sochilgan ionlarga tegishli bo'lgan, keng sohani egallagan cho'qqi kuzatiladi. Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, boshlang'ich energiyaning ushbu qiymatida sirtga yo'naltirilgan ion yarim kanal tubigacha etib bora olmaydi.

1b-rasmda SiO₂ (001)<110> sirtidan $\psi=3^{\circ}, 7^{\circ}, 11^{\circ}$ tushish burchaklarida va $E_0=3$ keV da Ne⁺ ionlarni energetik taqsimoti keltirilgan. Boshlang'ich energiyaning qiymatini oshishi ikkita cho'qqili taqsimotining shakllanishiga olib keladi. $\psi=3^{\circ}$ da yarim kanaldan sochilgan ionlar soni atom zanjiridan sochilgan ionlar sonidan ko'p ekanligini ta'kidlash kerak. $\psi=7^{\circ}$ bo'lganda ham ikki cho'qqili taqsimot kuzatiladi, ammo tushish burchagining bu qiymatida sirt atom qatoridan sochilgan cho'qqining intensivligi katta. Yarim kanal devoridagi O atomlaridan sochilgan ionlarning energiyasi sirtidan sochilgan ionlar energiyasiga deyarli yaqin qiymatga ega bo'lgani uchun ularga tegishli spektr yarim kanal va sirt atom qatoriga tegishli ionlar hosil qilgan spektr orasiga joylashadi. $\psi=11^{\circ}$ bo'lganda ham sirt atom zanjiridan sochilgan ionlarning cho'qqisini intensivligi yarim kanaldan sochilgan ionlar cho'qqisining intensivligidan ancha katta. Yarim kanaldan sochilgan ionlar hosil qilgan cho'qqidan oldin esa sirt atom qatori bilan birinchi qatlam va birinchi qatlam hamda yarim kanal tubi orasidagi devordan sochilgan ionlarga tegish bo'lgan cho'qqilar hosil qiladi.

Biz ko'rib chiqqan tushish burchaklarning barcha qiymatlarida boshlang'ich energiya qiymati $E_0=5$ keV bo'lsa, sirt atom zanjiridan sochilgan ionlarning cho'qqisi yarim kanalga qaraganda bir necha baravar intensivliroq (1c-rasm). Energiyaning ortishi bilan ionlarning yarim kanalning devorlarida juda ko'plab to'qnashuvlarga uchragani uchun yarim kanalga tegishli cho'qqilar keng oraliqqa joylashadi. Shuni ta'kidlash lozimki, tushish burchagini ushbu qiymatlarida yarim kanal devoriga joylashgan O atomlari ta'sirida cho'qqining kengligi ortgan,

ya'ni O atomlaridan sochilgan ionlar yarim kanal tubi va sirt atomlaridan sochilgan ionlar hosil ionlar energiya qiymatlarining orasiga joylashadi.

Yuqorida keltirib o'tilgan energetik taqsimotlardan shuni kuzatish mumkinki, sirt atom qatori va yarim kanal tubidan sochilgan ionlarga tegishli bo'lgan cho'qqilar qatorida yarim kanal devoridan sochilgan ionlarning cho'qqilari ham kuzatildi. Yarim kanal devoriga joylashgan atomlar ta'sirida sirt atom qatoriga tegishli cho'qqining kengligi ortgan, ya'ni yarim kanal devori va yarim kanal tubida joylashgan atomlardan sochiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.S. Ashirov, U.O. Kutliev, S. Xakimov, S.K. Ismailov. "Low Energy Ar⁺ Ions Scattering from SiO₂ (001)<110> Surface under Grazing Incidence". Materials Science Forum, 1049, pp. 152-157.
2. A. S. Ashirov, M. K. Karimov, U. O. Kutliev and G. X. Allayarova, "Studying the Trajectory of Scattered Ions from Surface Atomic Rows SiO₂(001)<110> at Glancing Incidence" 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, 2024, pp. 2660-2663, doi: 10.1109/EDM61683.2024.10614955.

Si<Mn, S> NAMUNALARINING O'TKAZUVCHANLIGINI HARORATGA BOG'LIQLIGI

A.Sh. Mavlyanov¹, B.A. Abdurahmonov², G.O. Abdurazzaqova³, M.A. Maxmudov⁴

^{1,3}O'zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti

²Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

⁴U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti

Marganes va oltingugurt bilan legirlangan kremniyning o'tkazuvchanligini haroratga bog'liqligini tadqiq etish uchun kremniy namunasi bir vaqtning o'zida hamda ketma-ket ravishda oltingugurt va marganes kirishmalari bilan legirlandi. Kremniy namunalariga krishmalarni kiritish gaz fazasidan diffuziya usuli bilan kavsharlangan kvarts ampulalarda amalga oshirildi. Boshlang'ich material sifatida tarkibida bor konsentratsiyasi $N=7 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ bo'lgan, solishtirma qarshiligi $\rho=3 \Omega \cdot \text{cm}$ ni tashkil qilgan monokristalli kremniy КДБ-3 (111) ishlatildi.

Diffuziya jarayonining harorat rejimi shunday tanlandiki, Mn va S kirishmalarning bir vaqtda diffuziyasi amalga oshirilayotgan ampulalarda dastlab, oltingugurt atomlari bug'lanib, ularning diffuziyasi boshlanadi. Marganes diffuziyasi esa yuqori haroratlarda va keyinroq yuz beradi. Ammo marganes atomlarining kremniydagi diffuziya koeffitsiyenti oltingugurtning diffuziya koeffitsiyentiga qaraganda yuqori bo'lganligi tufayli, ularning butun hajm bo'ylab bir tekis legirlanishi ta'minlanadi.

Kremniy namunalarining o'lchami $8 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ bo'lib, kirishmalar (diffuzant) bilan birga diffuziya pechiga xona haroratida joylashtirildi. Diffuziya haroratida ampula ichidagi bosim bir atmosferadan oshmaydigan qilib parsial bosim p_s tanlandi. Diffuzantlarning p_s va p_{Mn} bug' bosimi diffuziya harorati hamda ampuladagi oltingugurt va marganes miqdori bilan aniqlandi. Pech

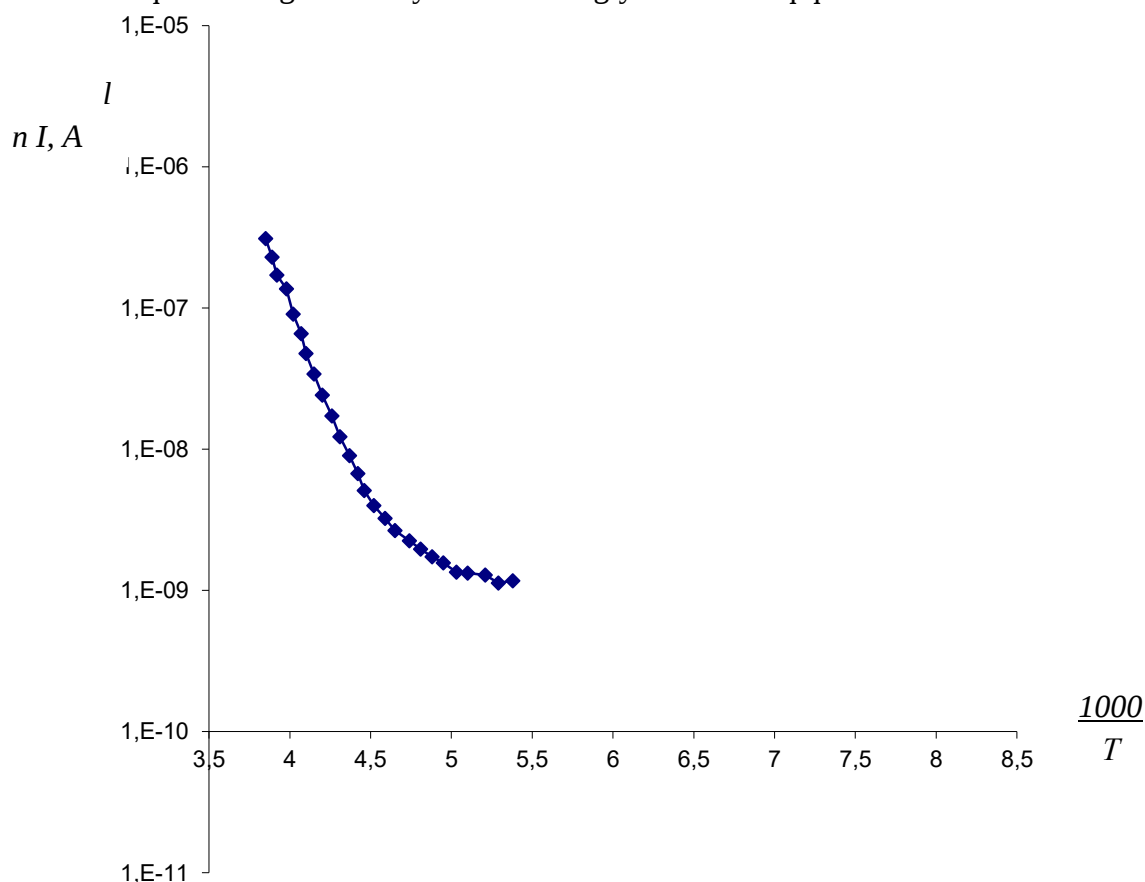
harorati ma'lum bir tezlikda bosqichma-bosqich oshirilib, belgilangan haroratga yetkazildi. Namunalar belgilangan diffuziya haroratida ma'lum vaqt davomida ushlab turildi. Diffuziya jarayoni uchun hisoblangan vaqtdan so'ng belgilangan tezlikda sovutildi. Diffuziyaning yakuniy harorati boshlang'ich materialning parametrlari va o'rganilayotgan kirishma atomlarining eruvchanligiga bog'liq holda aniqlandi. Bunday diffuziya sharoitlarida, odatda yuqori haroratli diffuziyada doimo sodir bo'ladigan kremniy yuzasining yemirilishi deyarli kuzatilmadi. Diffuziyadan so'ng barcha namunalarga kimyoviy va mexanik ishlov berildi va ularning elektr parametrlari Xoll usuli yordamida o'rganildi.

Si<Mn,S> namunalarining o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi bo'yicha tajribalar o'tkazildi (1-rasm). Barcha boshlang'ich namunalar $\rho=3 \Omega \cdot \text{cm}$ oraliqdagi solishtirma qarshilikka ega bo'lgan КДБ-3 rusumidagi kremniy bo'lgan.

Har qanday yarimo'tkazgich materialning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligi bilan aniqlanadi. Ularning qiymatlari esa o'z navbatida haroratga bog'liq bo'ladi.

Namunalar kriostatga joylashtirilib, tok qiymatlarini o'lchash $T=122 \text{ K}$ haroratdan boshlab, $T=257 \text{ K}$ gacha amalga oshirildi. Kriostat ichiga nurlanish tushmasligi uchun kriostat oynasi yopilib, kriostat ichida muvozanatli sharoit ta'minlandi.

Haroratga bog'liqlikni o'lchash natijasida ionizatsiyalashish energiyalari $E_1=0,561 \text{ eV}$ va $E_2=0,163 \text{ eV}$ bo'lgan sathlar aniqlandi. Aniqlangan qiymatlar panjara tugunlaridagi atomar kirishma nuqsonlarning ionizatsiyalashish energiyalaridan farq qiladi.



1-rasm. $E_1 = 0,561 \text{ eV}$ va $E_2 = 0,163 \text{ eV}$ sathlarga ega bo'lgan Si<Mn, S> namuna o'tkazuvchanligini haroratga bog'liqligi

**ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ n-Si<Ni>****Н.А. Тургунов, Н.Б.Хайтимметов, М.М Давлатов***Научно-исследовательский институт физики полупроводников и
микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана,*

Изучение природы скоплений примесных атомов, образующихся на поверхности или в объеме монокристаллов кремния при высокотемпературном диффузионном легировании, а также их влияния на структуру основного матричного элемента позволяет целенаправленно управлять электрофизическими свойствами полупроводникового кремния. Для разработки технологии получения современных полупроводниковых материалов с высокой чувствительностью к внешним воздействиям необходимо основательно изучать закономерности физических явлений, происходящих в объеме полупроводника при различных условиях его изготовления. Одним из важных этапов данного процесса является – легирование полупроводника. При диффузионном легировании монокристаллов кремния примесями $3d$ элементов основная часть примесных атомов находится в электрически нейтральном состоянии в виде различных примесных скоплений. В зависимости от термодинамического состояния и морфологических параметров эти скопления могут существенно влиять на свойства монокристаллов кремния.

Исследование поведения примесных атомов в процессе формирования различных скоплений при высокотемпературном диффузионном легировании полупроводниковых материалов является одним из актуальных проблем современной микроэлектроники. Для получения полупроводниковых материалов с заранее заданными параметрами необходимо учитывать все стадии технологической обработки образцов. Условия, создаваемые при легировании различными примесями, являются одним из основных факторов, влияющих на последующие процессы образования дефектных структур в объеме монокристаллов кремния. Результаты ранее проведенных исследований [1,2] показали, что значение диффузионной температуры играет решающую роль во внедрении атомов примеси и их расположении в кристаллической структуре. Поэтому определение оптимальных параметров диффузии имеет наиболее важное значение в производстве полупроводниковых приборов. В связи с этим настоящей работе рассмотрено влияние времени диффузионного отжига при $T=1523$ К на значение концентрации электроактивных атомов никеля в монокристаллах кремния.

Исследуемые образцы отжигались при температуре 1523 К в интервале от 30 минут до 8 часов в вакуированных и наполненных аргоном кварцевых ампулах с последующей закалкой. После диффузионного отжига образцы охлаждались с различной скоростью. Для достижения быстрого охлаждения ампулы сбрасывались в воду, через тонкий слой масла, которое сохраняло образцы от растрескивания. В этом случае скорость охлаждения образцов достигала $v_{охл} \sim 400$ К/с. Для получения более медленных скоростей охлаждения, ампулы охлаждались на воздухе или вместе с отключенной печью, где скорость охлаждения образцов составляло $v_{охл} \sim 0,05$ К/с.

По сравнению с другими элементами группы металлов, никель в кремнии обладает наибольшей растворимостью и коэффициентом диффузии, и общее число атомов более чем на три порядка превышает растворимость электрически активных атомов [3,4]. Одним из

важных факторов диффузии примесей в кремнии является длительность диффузионного отжига. В процессе диффузии никеля в кремний были исследованы влияние длительности отжига на концентрацию введенных в кремний электрически активных атомов примеси. Как видно из рис. 1 при температуре диффузии 1523 К, в интервале времени отжига от 30 мин до 2 часов наблюдается рост значения концентрации электрически активных атомов никеля почти на один порядок. При начальном значении времени отжига $t=30$ минут она составляет $3,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В течение последующих 30 минут это значение незначительно увеличивается и равняется $4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. При дальнейшем увеличении времени отжига до $t=1,5$ час она существенно увеличивается и достигает $7,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Свое максимальное значение концентрация электроактивных атомов никеля достигает в течение двух часов и равняется $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Дальнейшее увеличение времени отжига приводит к уменьшению этого значения и при $t=8$ час она составляет $\sim 7 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Энергетические уровни примесных центров, определенные в образцах Si, отожженных в условиях максимальной концентрации электроактивных атомов ($2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) составляют для Ni: $E_v+0,2 \text{ эВ}$ и $E_c-0,41 \text{ эВ}$. Эти значения энергетических уровней и их концентрации наиболее стабильны для множества образцов и при повторном отжиге.

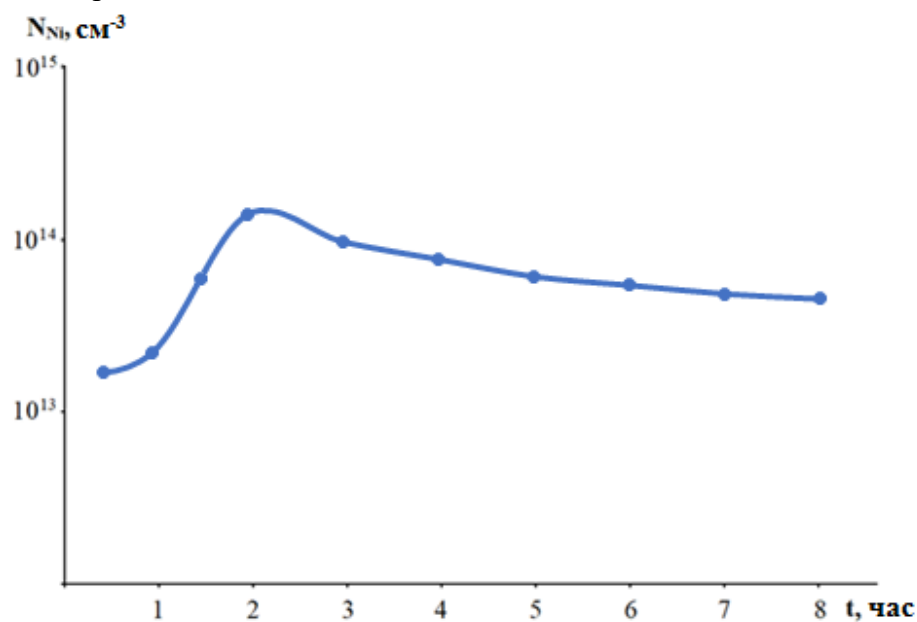


Рис. 1. Зависимость концентрации электроактивных атомов никеля в кремнии от длительности диффузионного отжига при температуре $T=1523 \text{ К}$.

Таким образом, определено значение продолжительности времени диффузии при температуре $T=1523 \text{ К}$ и для достижения максимального количества электрически активных атомов в монокристалле кремния. Также выявлено, что общая растворимость никеля в кремнии не зависит от исходных параметров кремния. Согласно полученным данным основная часть примесных атомов Ni в Si находятся в электрически нейтральном состоянии в виде примесных скоплений.

Литература:

1. Фистуль В.И. Атомы легирующих примесей в полупроводниках. –М.: 2004. -432 с.
2. Zainabidinov S.Z. and Turgunov N.A. Formation and kinetics of decomposition of impurity nickel precipitates in silicon // Russian Physics Journal. 2004. Vol. 47. №12. pp. 1307-1309.
3. Зайнабидинов С.З., Курбанов А.О. Кластеры атомов примеси никеля и их влияние на рекомбинационные свойства кремния. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Естественные науки. 2019. №2. с. 81-93.
4. Zainabidinov S.Z., Musaev K.N., Turgunov N.A., Turaev A.R. Dopant microassociation mechanisms in Si<Mn> and Si<Ni> // Inorganic Materials. 2012. Vol. 48. Issue 11. pp. 1065-1069.