

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 RAQAMLI  
ILMIY KENGASH**

---

**QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI  
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**QURBONALIYEV QOBILJON QOSIMJON O‘G‘LI**

**KREMNIY SIRTIDAGI MARGANES OLIY SILITSIDINING  
ELEKTROFIZIK VA FOTOTERMIK XUSUSIYATLARI**

**01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi**

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Namangan-2024**

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)  
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
физика-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
physical-matematical sciences**

**Qurbonaliyev Qobiljon Qosimjon o'g'li**

Кремний sirtidagi marganes oliy silitsidining elektrofizik va fototermik  
xususiyatlari ..... 3

**Курбаналиев Кабилджан Касимджан угли**

Электрофизические и фототермические свойства высших силицидов  
марганца на поверхности кремния..... 23

**Kurbonaliev Kobiljon Kosimjon ugli**

Electrophysical and photothermal properties of higher manganese silicides  
on the silicon surface..... 45

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 49

**NAMANGAN MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 RAQAMLI  
ILMIY KENGASH**

---

**QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI  
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**QURBONALIYEV QOBILJON QOSIMJON O‘G‘LI**

**KREMNIY SIRTIDAGI MARGANES OLIY SILITSIDINING  
ELEKTROFIZIK VA FOTOTERMIK XUSUSIYATLARI**

**01.04.10 – Yarimo‘tkazgichlar fizikasi**

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Namangan-2024**

**Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalari vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/FM986 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Muqimiy nomidagi Qo'qon davlat pedagogika instituti va Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasiga ([www.nammti.uz](http://www.nammti.uz)) va Ziyonet Axborot-ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Xusanov Axmadjon Jo'rayevich**  
fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

**Rasmiy opponentlar:**

**Dadamirzayev Muxammadjon G'ulomqodirovich**  
fizika-matematika fanlari doktori, professor,

**Arzikulov Eshkuvat Ulashevich**  
fizika-matematika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**Qoraqalpoq davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Namangan muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil "22" iyun soat 10<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy. Tel./faks: (99869) 225-10-07; (99869) 225-76-75, e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz), Namangan muhandislik-texnologiya instituti 3-bino, 1-qavat, ilmiy kengash xonasi).

Dissertatsiya bilan Namangan muhandislik-texnologiya institutiining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin. ( 291 raqam bilan ro'yxatga olingan.) Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi, 7-uy. Tel: (99869) 225-10-07.

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil "12" iyunda tarqatildi.  
(2024 yil "12" iyundagi № 13 raqamli reestr bayonnomasi.)

**U.I. Erkaboyev**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash raisi, f.-m.f.d., professor

**A.A. Abdulkarimov**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash ilmiy kotibi, PhD, dotsent

**N.Yu.Sharibayev**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
f.-m.f.d., professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda, qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida istiqboli bilan ajralib chiqadigan tejamkor, tannarxi arzon termobateriyalarni yaratish bo'yicha ko'plab tadqiqotlarni olib borish va ularni iqtisodiyotning barcha sohalarida qo'llash elektronikaning yetakchi yo'nalishlardan biri bo'lib qolmoqda. Xususan, olimlar tomonidan tadqiqot ishlari olib borilayotgan marganes oliy silitsid – kremniy strukturali termobataryalar o'zining qisqa vaqtda taraqqiyot yo'lidagi yuqori natijalarga erishmoqda. «Energiya tejamkor, tannarxi arzon, ekologik jihatdan toza va samarador bo'lgan termobataryalar yaratishni» hamda ularni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Ayniqsa, zamonaviy elektron qurilmalarni ishlab chiqarishdagi texnologiyalar takomillashib borgani sari elektrofizik parametrlari tashqi ta'sirlarga chidamli yarimo'tkazgich materiallarni hamda ular asosida ishlab chiqilgan asbob va qurilmalarni amaliyotga joriy etish ko'lami ortib bormoqda. Energiya tejamkor yarimo'tkazgich qurilmalar asosida yaratilgan sovitish texnik vositalari, kulerlar va boshqa qurilmalar qatorida kremniy asosida yaratilgan marganes oliy silitsid – kremniy strukturali termobataryalardan foydalanish kunning dolzarb masalalaridan hisoblanmoqda.

Jahon miqyosida, marganes oliy silitsid – kremniy strukturasi asosida yaratilgan termobataryalardan kichik qiymatdagi kuchlanish manbalari, kichik o'lchamdagi mikrosovutgichlarni, sezgirligi yuqori va inersiyasi kichik bo'lgan keng infraqizil nurlanish spektri oralig'ida ishlovchi sezgir fotopriyomniklarni issiqlikni o'lchovchi harorat datchiklarni ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada marganes oliy silitsid – kremniy strukturasi asosida termobataryalar va infraqizil nur fotopriyomniklarni yaratishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda ilm – fan rivojiga, yarimo'tkazgich materiallar asosida yaratilgan energiya tejamkor asboblari va qurilmalarning, jumladan, termobateriyalarning parametrlarini takomillashtirish va tadqiq etishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Mamlakatimizda ilm-fanni rivojlantirish va uni amaliyotda qo'llashdagi muhim ahamiyatga ega bo'lgan fundamental tadqiqotlar negizida 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda “Yashil iqtisodiyot” texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20% ga oshirish”<sup>1</sup> kabi bir qator vazifalar belgilab berilgan. Xususan, marganes oliy silitsid-kremniy asosida yaratilgan termobateriyalarning elektrofizik va fototermik xossalari ochib berish imkoniyatini o'rganish muhim ahamiyatga ega bo'lishi bilan bir qatorda qo'yilgan vazifalarni bajarishga xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 9 sentyabrdagi PF-220-son “Energiya tejovchi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi

---

<sup>1</sup>O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi” to'g'risidagi Farmoni

energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmoni, 2021 yil 9 apreldagi PQ-5063-son "O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida", 2021 yil 19 martdagi PQ-5032-son "Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" hamda 2020 yil 10 iyuldagi PQ-4779-son "Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg'i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur dissertatsiya ishi, respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining III. "Energiya, energiya resurslarini tejash, transport, raketa va kosmik texnikasi, aviatsiya, robototexnika, mashinasozlik va asbobsozlik, zamonaviy elektronika, mikroelektronika, fotonika, elektron asbobsozlikni rivojlantirish" dagi ustuvor yo'nalishlarga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Marganes oliy silitsid – kremniy tizimini o'rganish bo'yicha so'nggi yillarda dunyodagi olimlar va mutaxassislar ko'plab tadqiqotlar olib bormoqdalar. Amerikalik olimlar I.Boren va A.Fogel hamda germaniyalik olim M.Binneves va boshqalarning ilmiy maktablarida marganes silitsidlarining hosil bo'lishidagi fazalar o'tishi, yarimo'tkazgich materiallar, shu jumladan, kremniy sirtida hosil bo'lgan silitsidda marganes atomlarining turli xil konsentratsiyada bo'lishi va ular hosil bo'lgan marganes silitsidlarining elektrofizik hamda fizik-kimyoviy xususiyatlarini kuchli ta'sir qilishi ko'rsatib berilgan.

Rossiyalik olimlardan V.K.Zaysev<sup>2</sup> (Fizika-texnika instituti, Sankt-Peterburg), O.S.Orexov<sup>3</sup> (Kristolografiya instituti, Moskva sh.), F.Yu.Solomkin (Fizika-texnika instituti, Sankt-Peterburg sh.), V.V.Klechkovskaya (Kristolografiya instituti Moskva sh.) L.I.Petrova (Metallurgiya instituti, Moskva sh.), O.N.Gruba (janubiy Ural davlat universiteti, Chelyabinsk sh.) tomonidan kremniy sirtida marganes atomlari 13 xildan ortiq silitsidlarni hosil qilishi, ularni ichida eng ko'p tarqalgani Mn<sub>4</sub>Si<sub>7</sub> tarkibidagi marganes oliy silitsidi ekanligi va uning elektrofizik xususiyatlari yarimo'tkazgich materiallar singari bo'lishini aniqlaganlar.

Rossiyaning (Sankt-Peterburg sh) Fizika-texnika institutining olimlari M.I.Fedorov, V.K.Zaysev va boshqalar tomonidan kremniyga metall o'tish guruhining atomlarini kiritish orqali hosil qilgan silitsid qatlamlar asosida termoelektrik elementlarni yaratish texnologiyalari hamda ularni amaliyotda foydalanish sohalari ko'rsatib berilgan.

---

<sup>2</sup> Zaysev V.K., Tarasov V.I., Adilbekov A.A. Perexod metall – nemetall v kompensirovannom visshem silitside margansa. //FTT. 1976. T. 16. Vip 3.s.581 – 584.

<sup>3</sup> Orexov A.S., Kamilov T.S., Gaipov A.G., Vaxabov K.I., Klechovskaya V.V. //JTF, 2010, tom 80, vip 6, s. 121 – 124

O‘zbekistonlik olimlardan akademiklar M.S.Saidov, R.A.Mo‘minov, A.T.Mamadolimov, M.K.Bahodirxonov va S.Zaynobiddinov hamda taniqli professorlar A.Qosimoxunova, T.Komilov, X.K.Aripov, K.A.Abdurahmonov va Sh.B.Utamurodovning ilmiy maktablarida yarimo‘tkazgich materillarning olish texnologiyasini mukammallashtirish, ularning elektrofizik, fotoelektrik va optik xususiyatlarini har tomonlama o‘rganish, hamda bu materiallar asosida yaratilgan qurilmalarni amliyotga tadbiq etishdagi imkoniyatlar ko‘rsatib berilgan. Bu ilmiy ishlar dunyoga tanilgan xorijiy olimlar tomonidan e’tirof etilgan yarimo‘tkazgich materiallar asosida termobataryalarni yaratishda A.Qosimoxunova, T.Komilov va A.Risbayevning ilmiy maktablarida ahamiyatga loyiq ilmiy tadqiqot ishlari amalga oshirilgan. Mazkur tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan termobateriya va termoelementlarning muayyan darajada ijobiy natijalarga erishilgan holda ishlab chiqarishida qo‘llanilib kelinayotgan bo‘lsada, ammo ularning element tarkibi yetarli darajada inobatga olib o‘rganilmagan va marganes oliy silitsidini kremniy sirtida shakllanishining fizik mexanizmi yaratilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejaları bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya ishi Qo‘qon davlat pedagogika institutining ilmiy tadqiqotlar negizida hamda Toshkent davlat texnika universitetining “Raqamli elektronika va mikroelektronika” kafedrasida olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar bazasida hamda Toshkent davlat texnika universitetining “Umumiy fizika” kafedrasida O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan mablag‘lashtirilgan F–OT–2021–422–raqamli “Nanoo‘lchamli termoelektrik  $BaSi_2$  va  $Mn_4Si_7$  plyonkalarini hosil bo‘lishi va ularning xossalari” mavzusidagi fundamental ilmiy tadqiqot loyihasi (2021-2022 yy.) doirasida amalga oshirilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** Marganes oliy silitsid – kremniy strukturasi olishning takrorlanuvchi texnologiyasini yaratish hamda ular asosidagi termobataryalarning elektrofizik va fototermik xususiyatlarini o‘rganishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

monokristall kremniy sirtida marganes oliy silitsidi qatlamini olish va olingan qatlam tarkibidagi marganes kirishma atomlarining konsentratsiyasini boshqarishning termodinamik shartlari va texnologik bosqichlarini aniqlash;

monokristall kremniy sirtida o‘stirilgan marganes oliy silitsididagi marganes atomlarining miqdorini hamda silitsid qatlamining qalinligi va qattiq faza holatini boshqarib,  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  tuzilishidagi strukturalarni olishning takrorlanuvchi texnologiyasini yaratish;

marganes oliy silitsid – kremniy o‘tish chegarasida haroratni elektr kuchlanishga aylantirish koeffitsiyenti  $\alpha$ -ning qiymatiga infraqizil nurlanishning ta’sirini o‘rganish;

marganes oliy silitsidining elektrofizik parametrlarini keng harorat  $T = 77 \div 900K$  oralig‘ida o‘rganib termoelektr yurituvchi kuchlanish koeffitsiyentining qiymatini aniqlash va samaradorligi yuqori bo‘lgan termobataryalarning yaratish imkoniyatlarini ochib berish;

kremniy asosida olingan marganes oliy silitsidining elektrofizik va fototermik parametrlarini tadqiq etib, termoelektr kuchlanishni hosil bo'lishining fizik mexanizmini yaratish;

monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidi asosida haroratni elektr kuchlanishiga aylantiruvchi samaradorligi yuqori bo'lgan termobatareyalar va sezgirligi yuqori bo'lgan infraqizil nur fotopryomniklarni yaratish imkoniyatlarini ko'rsatib berish.

**Tadqiqotning ob'ekti** Choxralskiy usuli bilan o'stirilgan monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidi tanlab olingan.

**Tadqiqotning predmeti** marganes atomlari bilan legirlangan monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidining elektrofizik va fototermik xususiyatlarini hamda hosil bo'lgan termoelektr yurituvchi kuchlanishni o'rganishdan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida mikrozonli tahlil, ikkilamchi ionlar massalari spektrometri, rentgen fazali tahlil, infraqizil spektrometrlar, Xoll effekti, Ecopia HMS – 3000 qurilma asosidagi Van – der – Pau kabi zamonaviy usullar va tahlil qilish qurilmalaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ilk bor, monokristall kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidi tarkibidagi marganes kirishma atomlarining konsentratsiyasini diffuziya vaqti ( $t = 0,5 - 2$  soat va haroratini  $T = 950 \div 1200^\circ\text{C}$ ) o'zgartirish orqali boshqarish imkoniyati aniqlangan;

monokristall kremniy sirtida marganes oliy silitsidi qatlamidagi marganes atomlarining miqdorini, silitsid qatlamining qalinligini hamda kristall tuzilish holatini boshqarish asosida ilk bora  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  tuzilishidagi strukturalarni marganes atomlarini vakuumda diffuziya qilish orqali olishning takrorlanuvchi texnologiyasi yaratilgan;

ilk bor, kremniy sirtida olingan marganes oliy silitsidining termo EYuK ni qiymati IQ nurlarni  $\lambda = 0,2 \div 20\text{mkm}$  ( $h\nu = 6,2 \div 0,62\text{ eV}$ ) to'lqin uzunligi oralig'ida yuqori va turg'un (o'zgarmas) bo'lishi, haroratni elektr kuchlanishga aylantirish koeffitsiyenti  $\lambda = 10,6\text{ mkm}$  to'lqin uzunligida eng katta  $S = 500 \div 2000\text{ mkV/Vt}$  qiymat oralig'ida va termo EYuK koeffitsiyentining o'rtacha qiymati  $a = 360\text{ mkV/K}$  ga teng bo'lishi aniqlangan;

ilk bor marganes oliy silitsidining elektrofizik parametrlari keng harorat  $T = 77 \div 900\text{K}$  oralig'ida o'rganilganda termoelektr yurituvchi kuchlanish koeffitsiyentining o'rtacha qiymati  $a \approx 360\text{ mkV/K}$  ga teng bo'lishi nazariy hisoblardan aniqlandi;

kremniy sirtida marganes kirishma atomlarini diffuziya qilganda marganes oliy silitsidini shakllanishining fizik mexanizmi taklif etildi;

monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidi asosida haroratni elektr tokiga aylantirish samaradorligi yuqori bo'lgan termobatareyalarni, hamda sezgirligi yuqori bo'lgan infraqizil nur fotopryomniklarni yaratish imkoniyatlari tadqiqotlar natijalari asosida ko'rsatib berildi.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

Marganes atomlarining turli konsentratsiya qiymatida  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  strukturalarini olishning termodinamik shartlari va texnologik bosqichlari ishlab chiqilgan;

$Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  strukturalar asosida yupqa qatlamli termobatareyalarni hamda sezgirligi yuqori IQ nur fotopriyomniklarni yaratish imkoniyatlari ko'rsatilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi:** Zamonaviy o'lchash va tahlil qilish usullarining bir – biridan mustaqil qo'llangaligi, o'lchangan tajriba natijalari va nazariy hisoblardan olingan kattaliklarni o'zaro va boshqa mualliflarning ilmiy tadqiqotlarining natijalari bilan mos tushishi hamda tajribalarning tahlili asosida marganes oliy silitsidini kremniy sirtida o'sishida taklif etilgan fizik mexanizm ilmiy tushintirilgani va yarimo'tkazgichlar fizikasini fundamental tasavvurlariga mosligi, tadqiqotlar asosida olingan ilmiy natijalar mutaxassislar ishtirokida xalqaro va respublika miqyosidagi ilmiy anjumanlarda ma'ruzalar va muhokamalar qilinganligi asosida izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqotda olingan natijalarning ilmiy ahamiyati hosil qilingan marganes oliy silitsid – kremniy tizimida va ularni o'tish chegarasida hosil bo'lgan qatlamning elektrofizik parametrlarini o'lchash, termo EYuKning qiymatini aniqlash, shuningdek, marganes oliy silitsid – kremniy chegarasida getroo'tish hosil bo'lishi, marganes oliy silitsidining fizik xususiyatlari yarimo'tkazgich xususiyati kabi bo'lishi, uning elektrofizik va fotoelektrik parametrlari hamda ta'qiqlangan sohasining qiymati zamonaviy o'lchashlar va nazariya hisoblar asosida aniqlandi hamda marganes oliy silitsidi qatlamining hosil bo'lishi ustida ko'plab tajriba kuzatuv ishlari bajarildi va statistik tahlillar tushuntirildi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, taklif etilayotgan samaradorligi yuqori termobatareyalarni hamda sezgirligi yuqori termodatchiklar va infraqizil nurlarni sezuvchi fotopriyomniklarni yaratish imkoni ko'rsatib berildi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Kremniy sirtidagi marganes oliy silitsidining elektrofizik va fototermik xususiyatlarini o'rganishda olingan tajriba natijalari asosida:

Monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidining elektrofizik parametrlari  $T = 77 \div 900K$  harorat oralig'ida, termoelektrik koeffitsiyentning o'rtacha qiymati  $a \approx 360$  mkV/Kga teng bo'lishi, bunday termobatareyalarni kremniy asosida yaratishda ishlab chiqilgan texnologik bosqichlar «FOTON» AJda yarimo'tkazgich asboblarni (diodlar, tranzistorlarni) olishdagi texnologiyada foydalanildi, bu ularning elektrofizik parametrlarini turg'un bo'lishiga olib keldi ( «FOTON» AJ ning 2022 yil 25 iyuldagi 211-son ma'lumotlar), yaratilgan texnologiyadan foydalanish asosida «FOTON» AJda ishlab chiqarilayotgan yarimo'tkazgich asboblarning olish texnologiyasini takomillashtirish imkonini berdi;

Monokristall kremniy sirtida olingan marganes oliy silitsidida hosil bo'lgan termoelektr yurituvchi kuchlanish tushayotgan quyosh nurining  $\lambda=0,2\div 20$  mkm to'liq uzunligi oralig'ida kuzatilishi asosida, "All Solar" MChJ da ishlab

chiqarilayotgan quyosh elementlarining orqa tomoniga marganes oliy silitsid – kremniy tuzilishidagi termobataryalar o‘rganilib, quyosh elementlarining qizishida ajralgan issiqlik hisobiga ishlaydigan termobataryea sifatida foydalanish mumkinligi ko‘rsatib berildi (“All Solar” MChJ ning 2022 yil 7 oktyabrdagi №S22-son ma’lumotlari). Dissertatsiya ishida aniqlangan ilmiy natijalarni amaliyotda foydalanish asosida “All Solar” MChJda kremniy asosida ishlab chiqarilayotgan quyosh panellarining elektr kuchlanish hosil qilish samaradorligi 11% ga ijobiy o‘zgarishga erishildi.

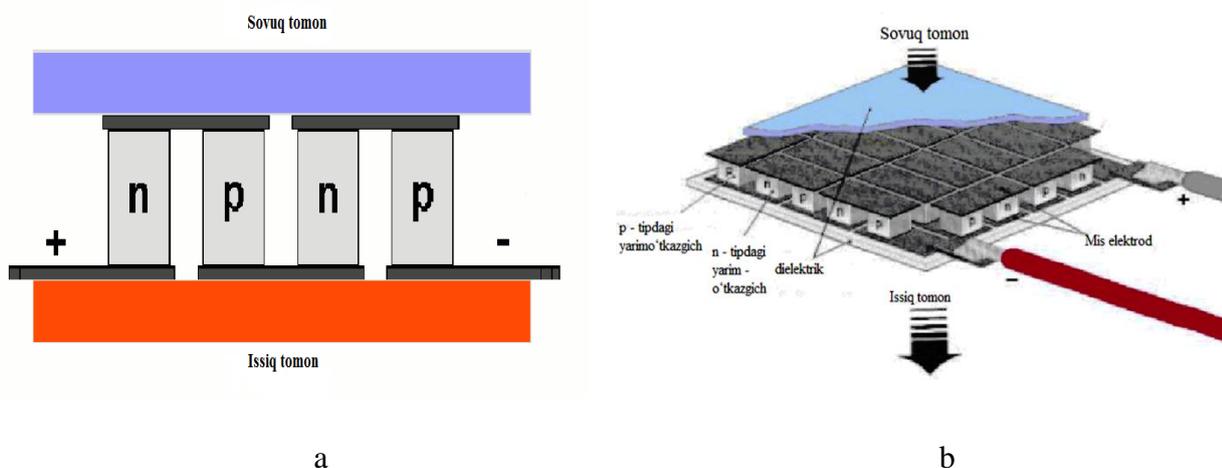
**Tadqiqot natijalarining aprobatyasi.** Dissertatsiya ishining natijalari 6 ta xalqaro va 3 ta respublika miqyosidagi ilmiy konferensiyalarda ma’ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 16 ta ilmiy ish, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta ilmiy maqola, jumladan 1 tasi Scopus ma’lumotlar bazasida kiritilgan xorijiy xalqaro jurnallarda nashr qilingan hamda tadqiqot mavzusi bo‘yicha 1 ta EHM uchun dasturiy guvohnoma olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhatidan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 30 ta rasm va 9 ta jadvalni o‘z ichiga olgan holda, 120 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida bajarilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari hamda ob’ekt va predmetlari tavsiflangan, uning O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarning taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.



1 – rasm. a - Pelt’e effekti asosida termoelektrik kuchlanishni hosil bo‘lishi, b - Pelt’e effekti asosida yaratilgan termobataryaning tuzilishi.

Dissertatsiyaning **“Metall – yarimo‘tkazgich chegarasidagi marganes atomlarini qattiq fazali reaksiyalari, marganes oliy silitsid – kremniy struktursining elektrofizik xususiyatlari”** deb nomlangan birinchi bobida, dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy va respublika jurnallarida chop etilgan ilmiy adabiyotlarning tahlili berilgan. Bu bobda turli mualliflar tomonidan marganes oliy silitsidining xususiyatlari, olish texnologiyasi, marganes atomlarini silitsid qatlamidagi joylashuvi hamda kremniy sirtida marganes kirishma atomlarini kremniy atomlari bilan o‘zaro qattiq fazali kimyoviy reaksiyalari haqidagi mavjud ilmiy ma’lumotlar berilgan, termobatareyalarda EYuK ni hosil bo‘lishi Pelt’e effekti asosida tushuntirib, fizik mexanizmi ochib berilgan.

Adabiyotlarning tahlili asosida, yarimo‘tkazgich materiallarni monoxramatik ( $h\nu \geq E_g$ ) yorug‘lik bilan yoritilganda qo‘shimcha issiqlik hosil bo‘lishi, agarda ikkala kontaktdagi haroratlar turlicha bo‘lsa, kontaktlar orasida elektr kuchlanishi hosil bo‘lishi aniqlangan (1-rasm) Bunday fizik hodisa Pelt’e effekti deb atalib, u asosida termobatareyalarni yaratish mumkinligi ko‘rsatib berilgan. I bobning oxirida dissertatsiyani bajarishda ilmiy yo‘nalish va vazifalar belgilab olingan.

Dissertatsiyaning **“Kremniy sirtida marganes oliy silitsidlarini olish texnologiyasi, dissertatsiyada foydalanilgan zamonaviy o‘lchash usullar va qurilmalar”** deb nomlangan ikkinchi bobida, kremniyga marganes kirishma atomlarini gaz holatidan diffuziya qilib marganes kirishma atomlari turli miqdorda (konsentratsiyada) bo‘lgan marganes oliy silitsid qatlamlarini olish, sirt va hajmda marganes kirishma atomlarining taqsimotini o‘rganish hamda marganes va kremniy atomlaridan tashkil topgan silitsidlarning tarkibi va elektrofizik parametrlarini o‘rganishda foydalanilgan zamonaviy usullar va qurilmalar haqida ma’lumotlar berilgan. Tajribalar asosida olingan natijalarni, adabiyotlardagi mavjud ma’lumotlar bilan o‘zaro solishtirishda aniqlangan o‘zaro mosligi asosida ilmiy xulosalar keltirilgan. Toshkent davlat texnika universitetining “Raqamli elektronika va mikroelektronika” kafedrasida so‘nggi yillarda olingan zamonaviy elektron qurilmalarning imkoniyatlari ko‘rsatib berilgan hamda marganes atomlarini kremniy atomlari bilan o‘zaro birikib hosil qiladigan silitsidlarining tarkibi haqida mavjud ilmiy xulosalar keltirilgan.

Dissertatsiya ishini bajarishda marganes kirishma atomlarini monokristall kremniyga diffuziyasi ikki xil mexanizm asosida amalga oshirildi. Birinchi diffuziya mexanizmi, marganes kirishma atomlari kremniy kristall panjarasidagi vakansiyalarda joylashgan boshqarib bo‘lmaydigan nuqsonlarni chiqarib ularning o‘rniga almashib o‘tirishi hisobiga sodir bo‘ladi deb taklif qilindi. Ikkinchi, diffuziya mexanizmi, kristall panjarada tugunlararo joylashgan kremniy atomlari bilan marganes kirishma atomlari o‘zaro ta’sirlashib monokristall kremniy sirtida marganes oliy silitsidlarini hosil qilishi bilan tushuntirildi.

Ilmiy adabiyotlarning tahlili asosida, yarimo‘tkazgich materialda vakansiyalar va tugunlar aro atomlar soni o‘zaro teng bo‘lsa, yuqoridagi ikki xil diffuziya mexanizmlarini bir vaqtda kuzatish mumkinligi aniqlandi.

Marganes kirishma atomlarini gaz holatidan monokristall kremniyga diffuziya qilishda taklif etilgan fizik mexanizmida, birinchi navbatda marganes kirishma atomlarining katta miqdordagi konsentratsiyasi kremniy sirtida qattiq fazani yupqa qatlamni hosil qilishi bilan tushuntirildi. Shundan so‘ng, diffuziya jarayonida birinchi bo‘lib  $Mn_xSi_{1-x}$  tarkibdagi birikmali silitsidlar hosil bo‘ldi. Bu holatda marganes kirishma atomlarining sirdagi diffuziyasi asosiy hisoblanadi. Ikkinchi navbatda hosil bo‘lgan qatlamda kremniy atomlarining miqdori kam bo‘lib, taglik kremniy sirtiga yaqinlashgan sari ularning miqdori ortib bordi. Kremniy hajmiga kirib borish chuqurligiga bog‘liq marganes kirishma atomlarining element fazasini taqsimoti 1-jadvalda ko‘rsatildi.

Marganes oliy silitsidi qatlamining element faza tarkibi

1- jadval

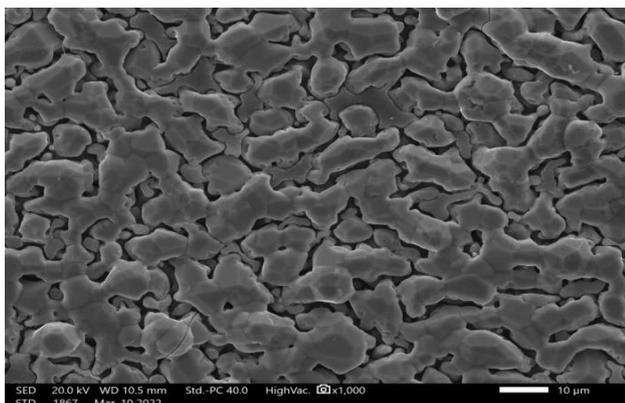
Qatlam qalinligi (mkm)	Atomlarni % dagi ulishi		Atomlarni massa og‘irligining % dagi ulishi	
	<i>Mn</i>	Si	<i>Mn</i>	Si
0	38,11	61,89	52,35	47,65
1	37,01	62,99	52,00	48,00
2	39,22	60,78	52,71	47,29
3	37,4	62,6	52,10	47,90
4	36,07	63,93	51,60	48,40
5	34,1	65,9	49,80	50,20
6	33,9	66,1	48,50	51,50
7	31,02	68,98	46,50	53,50
8	27,16	72,84	41,30	58,70
9	13,5	86,5	20,27	79,73
10	6,25	93,75	11,42	88,58
11	4,45	95,55	8,26	91,74
12	1,82	98,18	2,90	97,10
13	0,68	99,32	1,42	98,58
14	0,12	99,88	0,32	99,68

Dissertatsiyaning “**Marganes oliy silitsidining element tarkibi va strukturasi o‘rganish**” nomli uchinchi bobida, yarimo‘tkazgich kremniy sirtida elementlarning silitsid qatlamlarini olish usullari turli xil bo‘lgani bilan bu jarayonda albatta qattiq fazali kimyoviy reaksiya sodir bo‘lishi aniqlandi. Marganes oliy silitsid qatlamlarni kremniy sirtida bir necha bosqichda hosil bo‘lishi diffuziyaning texnologik jarayonlarining bosqichlarini o‘rganish hisobiga ekanligi aniqlandi. Boshlang‘ich monokristall kremniyning kimyoviy tozalangan sirtida marganes metall qatlami kimyoviy o‘tkazish yoki vakuumda changlantirish orqali hosil qilindi. So‘ngra kremniy namunalarga qo‘shimcha haroratli ishlov berib sirdagi marganes atomlarini kremniyning hajmiga kirishi va uning sirtida marganes atomlarining kremniy atomlari bilan birikishi natijasida marganes atomlarining silitsidlari hosil qilindi. Marganes atomlarini kremniyga kiritish ikki bosqichli diffuziya jarayonida,

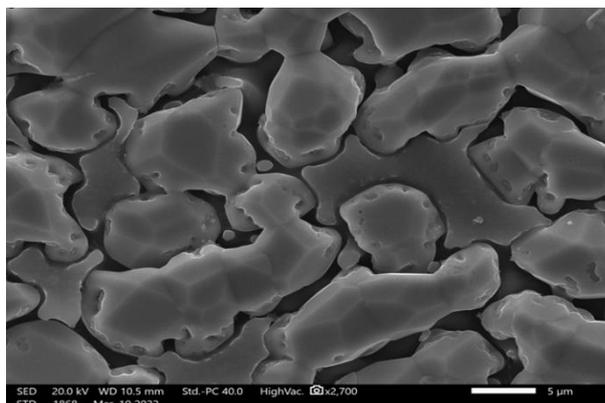
birinchi harorat  $T \leq 400^{\circ}\text{C}$  gacha bo'lgan nisbatan past haroratda, ikkinchi yuqori haroratlarda  $T > 950 \div 1200^{\circ}\text{C}$  amalga oshirildi. Monokristall kremniy taglikda (kristall o'q yo'nalishi [001] va [111] bo'lgan) marganes kirishma atomlarining silitsid qatlamini hosil qilishdagi ikkinchi bosqich diffuziya jarayoni  $t = 30$  minut vaqt oralig'ida amalga oshirilib, marganes kirishma atomlarini kremniy bo'yicha ikki ko'rinishdagi taqsimoti olindi. Bunda, birinchi marganes oliy silitsidi kremniyning sirti va sirt oldi qatlamidagi taqsimot bo'lib, undagi marganes atomlarining konsentratsiyasining miqdori  $N_{Mn} = 10^{18} \div 10^{20} \text{ sm}^{-3}$  oralig'ida bo'ldi va bu qiymat tok tashuvchi kovaklarning konsentratsiyasiga teng bo'ldi. Ikkinchi taqsimot qismi, kremniy hajmida teng taqsimlangan marganes atomlarining konsentratsiyaning miqdori  $N_{Mn} = 10^{14} \div 10^{16} \text{ sm}^{-3}$  oraliqda va  $p$  – turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan strukturalar olindi.

Hosil bo'lgan marganes oliy silitsidining strukturasi, topologiyasi, sirt oldi qatlamning faza tarkibi EMR -102 rusumli elektron mikroskopda hamda UXA-840 va X4 30 SFEG rusumli elektron mikroanalizatorlarda o'rganildi. Olingan elektronogrammalarni mavjud ilmiy adabiyotlardagi ma'lumotlar bilan solishtirish asosida marganes oliy silitsidining atom tekisliklarining orasidagi masofa aniqlandi. Kremniy namunalarini sirtida marganes oliy silitsidlari ko'proq  $Mn_4Si_7$  tuzilishdagi tarkibda bo'lishi ilmiy tahlillar va tajribalar asosida aniqlandi. Hosil bo'lgan marganes oliy silitsidi qatlamining qalinligi va donachalar ko'rinishida alohida – alohida bo'lishi yopiq kvarts ampulasiga solingan marganes kirishma atomlarining diffuziya jarayonidagi bug' holatining bosimiga hamda diffuziya harorati va vaqtiga bog'liq bo'lishi aniqlandi.

2 – rasmda yopiq (vakuum olingan) kvarts ampulalarda ( $P=10^{-5} \div 10^{-6}$  mm.smb.ust) kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidi hosil qilgan qatlamning topologiyasi berildi. 2 (a) – rasmdagi sirt topologiyasi marganes atomlari hosil qilgan oliy silitsid qatlami, diffuziya qilingan marganes atomlarning og'irligi shartli ravishda  $m_{Mn}^1$  qilib tanlab olindi. 2(b) – rasmdagi sirt topologiyasi diffuziya jarayonida marganes atomlarining shartli og'irligi birinchi holatga nisbatan ikki barobar ko'p  $m_{Mn}^2 = 2m_{Mn}^1$  bo'lgan holatda olindi. Elektron mikroskop tasvirlari ilmiy tahlil qilganda,  $m_{Mn}^1$  – shartli og'irlikdagi birinchi holatda kremniy sirtidagi silitsid donachalarining o'lchamlari  $5 \div 20$  mkm oralig'ida bo'lgan polikristall tuzilishdagi uzluksiz qatlam hosil bo'lishi aniqlandi.  $m_{Mn}^2$  – shartli og'irlikda marganes kirishma atomlari solingan kvarts ampulalarda o'tkazilgan diffuziyadan so'ng kremniy sirtida marganes oliy silitsidi alohida orolchalar ko'rinishida monokristall tuzilishda hosil bo'ldi (2-rasm. b ko'rinish).



a)



b)

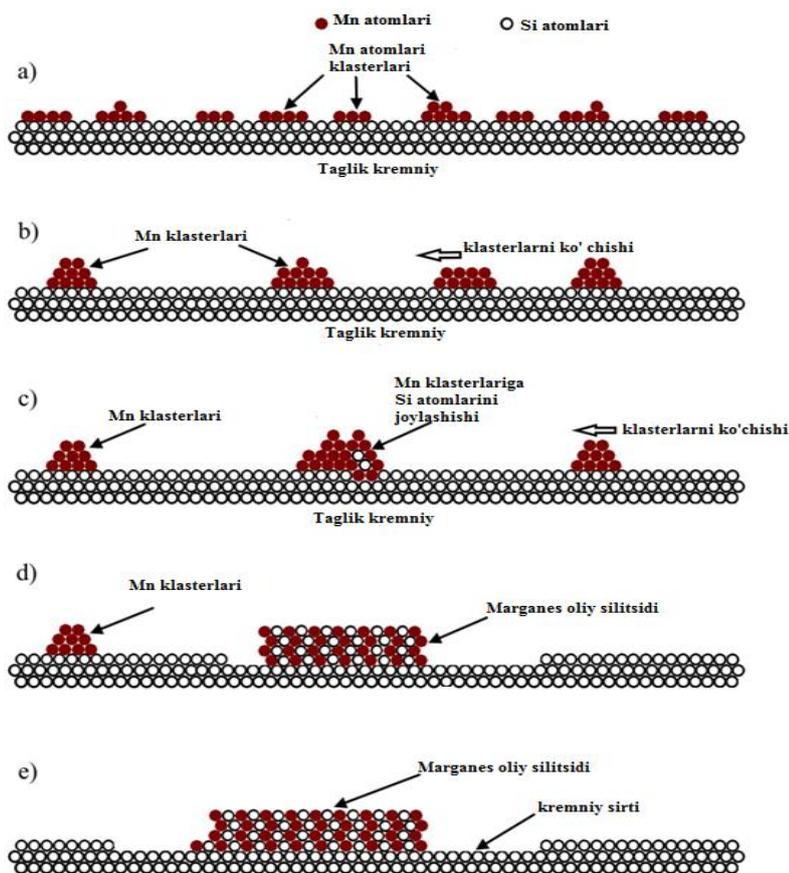
**2-rasm. Monokristall kremniy sirtida hosil bo'lgan marganes oliy silitsidining topologiyasi, a-polikristall tuzilishida b-monokristall tuzilishida.**

Kremniyga marganes kirishma atomlarini diffuziya qilib olingan  $Mn_xSi_{1-x}$  –  $Si < Mn >$  –  $Mn_xSi_{1-x}$  strukturalarni hosil bo'lishi voltamper xarakteristikasi (VAX) ni o'lchash natijalarida ham o'z tasdig'ini topdi. Marganes kirishma atomlari bilan legirlangan va diffuziyadan so'ng turli tezliklarda sovitilgan kremniy strukturalarning VAX deyarli bir xil ko'rinishda bo'ldi.

Strukturalar diffuziyadan so'ng ikki xil tezlikda sovitilganda taglik kremniy sirtida hosil bo'lgan marganes oliy silitsid qatlami shuntlash xususiyatiga ega bo'lib, taglik kremniyning elektrofizik parametriga ta'sir ko'rsatdi va VAX da tokning kuchlanishga bog'liq o'sishi boshqa ko'rinishda bo'ldi. Tajriba natijalarini taxlili hamda olingan natijalarni boshqa mualliflarning ilmiy ishlari bilan solishtirib, kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsid qatlami va monokristall kremniy tagligi orasida yuqqa o'tish qatlamida kremniy – bor – marganes atomlaridan iborat yuqori qarshilikdagi yuqqa o'tish qatlamida hosil bo'lishi aniqlandi.

3 - rasmda kremniy sirtida marganes oliy silitsidini hosil bo'lish jarayoning mexanizmi tushuntirildi. Marganes oliy silitsidini kremniy sirtida hosil bo'lishining asosiy sabablardan biri, metall silitsidlarining qattiq fazalaridagi atomlar taglik materialning atomlari bilan sodir bo'ladigan o'zaro kimyoviy reaksiyaga bog'liq bo'ladi. Marganes kirishma atomlari kremniy oksid qatlami sirtida kremniy atomlari bilan o'zaro birikib birikmalarni hosil qilishi kuzatildi.

Marganes atomlari sublimatsiyalanuvchi metall bo'lgani sababli kremniyning erish haroratidan ancha past  $T = 940^\circ\text{C}$  haroratda gaz – bug' holatiga o'tadi. Shu sababli kremniy oksidi sirtidan marganes atomlarining bug'lanish ehtimoli katta bo'lib, oksid qatlam sirtidan qayta bug'lanib gaz holatiga o'tishi mumkin. Yuqori haroratlarda ( $T = 1000 \div 1200^\circ\text{C}$ ) gaz – bug' holatidagi marganes atomlari kremniy tagligiga urilib sirtidan qaytadigan miqdori katta bo'ladi. Kremniy sirtiga urilgan marganes atomlarining kinetik energiyasini asosiy miqdori yo'qoladi va kremniy atomlari bilan o'zaro bog'lanishi uchun yetarli darajadagi energiyaga ega bo'ladi. Taglik sirtida kremniy atomlari bilan bog'langan marganes atomlari hosil bo'lsada, ularni soni nisbatan kam bo'lgani sababli silitsid murtagini shakllanishiga imkon bermaydi.



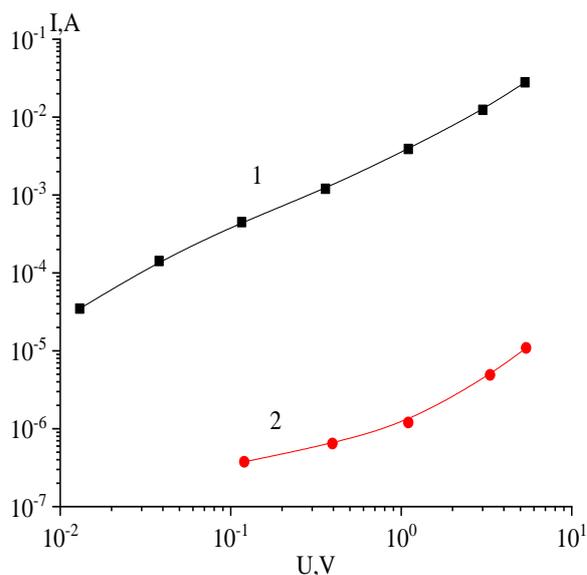
**3-rasm. Kremniy sirtida marganes oliy silitsidini hosil bo'lishi mexanizmining modeli**

bilan birikib kristallanish markazlarini (murtaklarini) hosil qiladi, bu jarayon marganes oliy silitsid qatlamini hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

Olingan  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  strukturalarning kimyoviy potensialini hisoblaganda, Fermi sathi taglik kremniyning valent sohasida joylashib,  $0,01 eV$  energiya qiymatiga teng bo'ldi (ya'ni  $kT = 0,402 eV$  dan kichik bo'ldi). Bu holatda silitsid donachalari orasidagi potensial to'sig'ning qiymati  $E_F = 0,06 eV$  ga teng bo'ldi. Donachalar orasidagi potensial to'siqlarning aniqlangan qiymatidan shuni aytish mumkinki, haroratni oshishi bilan elektroo'tkazuvchanlik ( $\sigma$ ) va zaryad tashuvchilarning harakatchanligi ( $\mu$ ) faollashish xususiyatiga ega bo'lib, quyidagi qonuniyat asosida o'zgarishi aniqlandi:  $\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{E_{act}}{kT}\right)$ . Bu formula -dan foydalanib, kristall marganes oliy silitsid qatlamidagi tok tashuvchi kovaklarning harakatchanligini harorat ta'sirida o'zgarish qonunyati ko'rsatib berildi va fizik mexanizmi tushuntirildi. Marganes oliy silitsidining termo EYuK  $\alpha$  -koeffitsiyentining qiymatini harorat kamayishi bilan oshishi hosil bo'lgan silitsid qatlamning issiqlik o'tkazuvchanligini kamayishi bilan tushuntirildi. Kremniy tagligida o'sgan marganes oliy silitsidining termo EYuK koeffitsiyenti va issiqlik o'tkazuvchanligini o'zaro bog'langan parametrlari hisoblandi. Bu ulardan tashqari tok tashuvchi kovaklarning konsentratsiyasi va harakatchanligi ham kremniy sirtida

Gaz - bug' holatidagi marganes atomlarining oqimining kinetik energiya -sining qiymati kichik bo'lganligi sababli oksid kremniy ( $SiO_2$ ) bilan mustahkam bog' hosil qilmaydi. Oksid kremniy -ning qatlami qalin bo'lganligi sababli, taglik kremniydan kremniy atom-larini sirtga diffuziyasining ehtimoli kam bo'ladi. Har qanday kremniy sirtida yupqa oksid qatlam bo'lgani sababli, yupqa oksid kremniy qatlamidan marganes kirishma atomlari osonlik bilan o'tib kremniy sirtidagi atomlar bilan birikib silitsid hosil qiladi. Yuqori haroratlarda kremniy sirtidagi atomlardan tashqari bog'lanmagan erkin kremniy atomlari mavjud bo'lib, bu atomlar marganes atomlari

hosil boʻlgan marganes oliy silitsidining asosiy elektrofizik parametrlardan ekanligi aniqlandi.



**4 – rasm. Marganes atomlari diffuziyasidan soʻng olingan strukturalarning volt-amper xarakteristikasi.**

**MOS – Si – MOS** strukturaga ega boʻlib, 1-tez sovitilgan, 2-sekin sovitilgan hamda kremniy tagligida hosil qilingan marganes oliy silitsidida olindi.

**Natijalar harorat  $T = 300K$  va qorongʻilikda oʻlchandi.  $MOS – Mn_xSi_{1-x}$  belgilandi.**

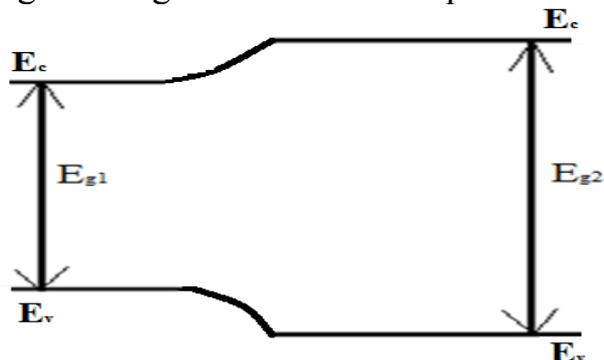
kristallanishi aniqlandi.

Taglik kremniyning strukturasi oʻsayotgan binary birikmali marganes oliy silitsid ( $Mn_4Si_7$ ) qatlamining strukturasi moslashuvi natijasida oʻsayotgan silitsid qatlam monokristall yoki polikristall holatda boʻlishi koʻrsatib berildi. Kremniy sirtida oʻsadigan marganes oliy silitsidlari taglik monokristall kremniyning hajmiga hamda sirtiga qarab oʻsishi aniqlandi. Bunda hosil boʻlgan silitsid qatlam qalinlikning ~55% hajmga, ~45 % sirtida oʻsishi kuzatildi. Bu holat kremniy atomlari kristall panjara tugunidan chiqib vakansiya hosil qilishi va oʻsayotgan sirt tomoniga qarab diffuziya hisobiga koʻchish mexanizmi bilan tushintirildi.

Dissertatsiyaning **“Marganes oliy silitsid – kremniy oʻtish chegarasida hosil boʻlgan getrooʻtish asosida olingan fotodiodlarni xususiyati va ular asosida yaratilishi taklif etilgan qurilmalar”** deb nomlangan toʻrtinchi bobida, marganes oliy silitsid – kremniy oʻtish chegarasidagi ikki xil fazani bir biridan farqi nafaqat ularning elektrofizik parametrlarini turli xil boʻlishiga, balki, bu fazalardagi materiallarning taqiqlangan soha energiyasining qiymatlari ham turlicha boʻlishi bilan ajralib turishi koʻrsatib berildi. Tajriba natijalarining ilmiy tahlili shuni koʻrsatadiki,  $Mn_4Si_7$  birikmali marganes oliy silitsidining xususiyatlari yarimoʻtkazgich materillarning xususiyatlari kabi boʻlib, uning taqiqlangan sohasining energetik qiymati, silitsid qatlamni va taglik kremniy elektroʻtkazuvchanligi hamda Xoll koeffitsiyentini harorat taʼsirida oʻzgarishi asosida

Gaz faza holatidan marganes kirishma atomlarini kremniy sirtida oʻsib kristallanishida taglik kremniy strukturasi taʼsiri kattaligi tajriba natijalari asosida aniqlandi. Kremniy sirtida oʻsayotgan marganes oliy silitsidi qatlamida haroratni nisbatan yuqori boʻlishi hisobiga kremniy sirtidagi marganes atomlari kristallanib qattiq holatga oʻtishiga qadar sirtida maʼlum masofaga koʻchib harakatlani shi aniqlandi (3-rasm). Marganes kirishma atomlarini kremniy sirtida koʻchib harakatlanish ehtimoli katta boʻlgani sababli, hosil boʻlgan kristallanish murtagi (zarodsh) taglik kremniy strukturasi tuzilishida

aniqlandi. Bunda marganes oliy silitsidining taqiqlangan sohasining energetik qiymati  $E_g \approx 0,67 \div 0,8 \text{ eV}$  oralig'ida bo'lishi hamda yarimo'tkazgich kremniyga o'tish chegarasida getroo'tishni hosil qilishi ko'rsatib berildi (5-rasm).

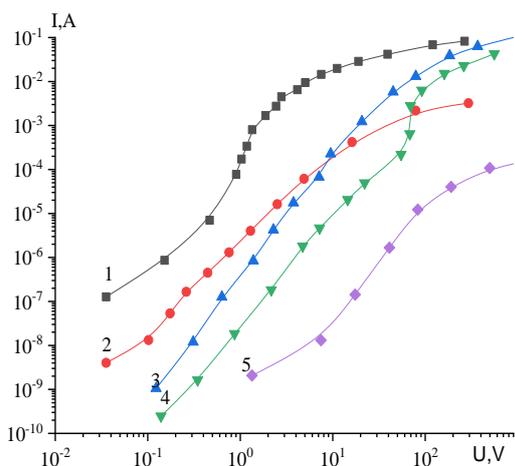


**5-rasm. Marganes oliy silitsidi va monokristall kremniy o'tishi chegarasida hosil bo'lgan getroo'tishning sohalar diagrammasi,  $E_{g1} \approx 0,67 \div 0,8 \text{ eV}$ ,  $E_{g2} = 1,12 \text{ eV}$  ( $E_{g1} - \text{Mn}_4\text{Si}_7$ ,  $E_{g2} - \text{Si}$ ).**

Marganes oliy silitsidi qatlamini kremniy sirtida hosil qilish uchun boshlang'ich namuna sifatida elektronika sanoatida ishlatiladigan KDB – 10 markali monokristall kremniy ishlatildi. Yaratilgan ikki bosqichli diffuzion texnologiya asosida kremniyning ikki sirtida marganes oliy silitsidlarining qatlamlari hosil qilindi. Bunda marganes oliy silitsidi qatlamining qalinligi  $d \approx 5 \div 7 \text{ mkm}$  oralig'ida bo'ldi. Hosil bo'lgan marganes oliy silitsidining o'tkazuvchanligi  $p$  – tur,

tok tashuvchi kovaklar hisobiga bo'lib, ularning konsentratsiya miqdori  $p \approx 10^{19} \div 10^{20} \text{ sm}^{-3}$  oralig'ida bo'ldi. Tajriba natijalarini tahlili asosida kremniy sirtida hosil bo'lgan marganes oliy silitsid qatlamini, kuchli legirlangan aynigan yarimo'tkazgich sifatida qarash mumkin deb taklif etildi.

Tajribalarda olingan strukturalarning baza qarshiligi ikki zond usuli bilan o'lchanganda oliy marganes silitsidlari hosil bo'lgan kremniy tagligining (bazani) solishtirma qarshiligi  $\rho_\delta \approx (2 \div 5) \cdot 10^4 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  oralig'ida bo'lib, nazariy hisoblarga yaqin qiymatni berdi. Olingan strukturalarning bazasidagi tok tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligini aniqlash maqsadida Xoll koefitsiyentini turli haroratlarda va fotovolt – amper xarakteristikasi integral yorug'likning turli qiymatlarida o'rganildi (6-rasm).



6 – rasm. Fotovolt-amper xarakteristika turli holatlarda va harorat  $T=80\text{ K}$  o'lchash natijalari, 1 –  $p^+ - Si < Mn > -p^+$  struktura bazasining kengligi  $70 \div 75\text{ mkm}$  bo'lganda va yoritilgan holatda, 2 –  $p^+ - Si < Mn > -p^+$  strukturaning qorong'u holatidagisi, 3 –  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  struktura yuzasining kengligi  $1,5\text{ mkm}$  va to'g'ri kuchlanish ulanganda, 4 –  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  struktura yuzasining kengligi  $5000\text{ mkm}$  va to'g'ri kuchlanish ulanganda, 5-  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  struktura yuzasining kengligi  $5000\text{ mkm}$  va teskari kuchlanish ulangandagi holat, bunda  $p^+ - Mn_4Si_7$  marganes oliy silitsidini bildiradi

Olingan strukturalar infraqizil nurlarning kichik intensivligi bilan yoritilganda struktura bazasining solishtirma qarshiligining qiymati keskin kamayib  $\rho_b \approx 5 \div 10\text{ Om} \cdot \text{sm}$  dan kichik bo'ldi, bu holda ham tok tashuvchilar kovaklar ekanligi aniqlandi. Infraqizil nurlar bilan yoritilganda marganes oliy silitsidi va taglik monokristall kremniy oraliq'idagi o'tish chegarasi qatlamida hamda strukturaning bazasida muvozanatda bo'lmagan tok

tashuvchilarni (kovaklar) vujudga kelishi tajriba natijalari asosida ko'rsatib berildi. Olingan strukturalarning bazasi  $p$  – kovak o'tkazuvchanlikka, solishtirma qarshiligining qiymati  $\rho_b \approx 5 \div 10\text{ Om} \cdot \text{sm}$  bo'lganda tok tashuvchi kovaklarning konsentratsiyasi taxminan  $\sim 10^{15}\text{ sm}^{-3}$ ni tashkil etdi. Huddi shu kabi holat boshqa mualliflar tomonidan  $\lambda = 0,2\text{ mkm}$  to'liq uzunligiga mos bo'lgan fotonlar energiyasi bilan yoritilganda marganes kirishma atomlari kiritilib boshlang'ich kremniydagi bor atomlarini to'liq kompensatsiyalangan kremniyda ham kuzatilgan.

Olingan strukturalarda bunday holat kuzatilmadi, bunga sabab, strukturalarning kontakti -dagi fizik hodisalar getroo'tish qatlamidagi tok tashuvchilarning injeksiyasi bilan tushintirildi. Olingan tajriba natijalari  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > -Mn_4Si_7$  strukturalarda hosil bo'lgan kontakt hodisalarning fizik mexanizmi asosida tushintirildi.

Marganes oliy silitsid – kremniy hamda metall – marganes atomlari bilan legirlangan kremniy tizimidagi strukturalarni yoritgan-dagi VAT va taklif etilgan sohalar diagrammasining ilmiy tahlili asosida quyidagilar aniqlandi:

1. Marganes kirishma atomlari kremniyga diffuziya qilganda (gaz holatidan yoki kremniy sirtidagi marganes metall qatlamidan) kremniy sirtida hosil bo'lgan marganes oliy silitsid qatlami tok tashuvchi kovaklarni kremniyga injeksiyasini ta'minlovchi mono-polyar injeksion xususiyatiga ega ekan.

2. Olingan  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > -Mn_4Si_7$  yoki  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > -M$  tizimidagi strukturalarning bazasining qiymati katta qarshilikka ega bo'lib nisbatan past haroratlarda ( $T = 77 \div 200\text{ K}$ ) va IQ nurning  $h\nu \geq E_g$  energiyaga teng yoki undan katta fotonlar energiyasi bilan yoritilganda baza qarshilikligining qiymati keskin kamayib  $i$  – turdagi fotoo'tkazuvchanlik holatiga o'tdi.

3. Hosil qilingan MOS –  $i - Si < Mn > -MOS$  yoki MOS –  $i - Si < Mn > M$  strukturalarning  $i$  – o'tish qatlamidagi tokning qiymati chegaralangan fazalardagi hajmiy zaryadlarning holati kabi bo'lishi aniqlandi.

4. Olingan strukturalarning bazasini past haroratlarda fotosezgirlik xususiyati ortib, qarshiligini yorug'lik ta'sirida kamayishi marganes oliy silitsidida hosil bo'lgan tok tashuvchi kovaklarning zarbli ionizatsiyasi hamda o'tish qatlamidan tok tashuvchi

kovaklarning injeksiyasini ortishi hisobiga qo'shimcha energiya olishi orqali tushintirildi.

$Mn_4Si_7 - Si < Mn >$  getrostrukturadan tok o'tganda kontakt marganes oliy silitsid chegarasi sohasida Joule issiqligidan boshqa va tabiati undan farq qiladigan Pelte issiqligi ajrab chiqishi tajribalar davomida aniqlandi va ajrab chiqadigan issiqlik miqdori strukturaga ulangan tashqi doimiy kuchlanishning kutbiga bog'liq bo'lishi ko'rsatib berildi. Marganes oliy silitsid-kremniy o'tish chegarasida hosil bo'lgan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining o'rtacha qiymati  $k \sim 1,5 \cdot 10^{-4} \text{Vt/sm}\cdot\text{K}$  ga teng bo'lishi nazariy hisoblar asosida aniqlandi. Haroratning  $T = 80 \div 90 \text{K}$  oralig'ida olingan silitsid qatlamning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini qiymati  $k \sim 6 \text{Vt/sm}\cdot\text{K}$  ga teng bo'ldi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining bunday qiymatida hosil bo'lgan issiqlik oqimi marganes oliy silitsid – kremniy chegarasidan kremniyning hajmiga qarab yo'nalishi ko'rsatib berildi.

Olingan  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  tuzulishdagi strukturalar uchun ikki xil termoelektrik kuchlanishlar qiymatlari mavjudligi aniqlandi. Bunda,  $U_1$  – Joule issiqligi va  $U_2$  – Pelte effekti asosida ajralib chiqqan issiqliklar hisobiga hosil bo'lgan kuchlanish strukturaning umumiy energetik jarayonini tashkil qildi. Nazariy hisoblar asosida Joule issiqligining ta'siri, Pelte effektidan ajralgan issiqligining ta'siridan ancha kamligi aniqlandi, ya'ni, Joule issiqligi tekshiralayotgan strukturaning harorati mingdan bir gradusga oshib ( $\Delta T = 0,001 \text{K}$ ) undan keyingi haroratni o'sishida deyarli o'zgarishsiz bo'lishi nazariy hisoblardan aniqlandi. Shuning uchun ikki xil issiqlik ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanishlarning farqi  $U_1 \ll U_2$  nisbatda bo'lganini hisobga olib,  $U \approx U_2$  ga teng deb qabul qilinib nazariy hisoblar amalga oshirildi. Buning natijasida keyingi hisoblarda issiqlikni faqat Pelte effekti asosida ajralib chiqadi deb qabul qilindi. Tajribalarda strukturalarning geometrik o'lchamining qalinligi  $l_1 = 1 \text{mm}$ , kengligi  $l_2 = 2 \text{mm}$  va uzunligi  $b = 2 \text{mm}$  teng bo'lib, tuzilishi to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'ldi.

Tajriba natijalarining tahlili shuni ko'rsatadiki, yupqa oksid kremniy qatlamidan marganes kirishma atomlari diffuziya yo'li bilan kremniy sirtiga o'tib silitsid qatlamini hosil qilar ekan. Kremniy sirtida silitsid qatlamini hosil bo'lishi uchun marganes atomlari kremniy atomlari bilan birikib hosil qiladigan molekullarning konsentratsiyasi marganes atomlarining kremniydagi maksimal eruvchanligidagi konsentratsiya miqdoriga teng yoki yaqin bo'lishi kerak. Ilmiy adabiyotlardan ma'lumki, marganes kirishma atomlarini kremniydagi eruvchanligi  $T = 1000 \div 1200^\circ\text{C}$  harorat oralig'ida  $N_{Mn} \sim 10^{15} \div 10^{16} \text{sm}^{-3}$  ni tashkil qiladi.

Oksid kremniydan diffuziya orqali o'tgan marganes atomlarining konsentratsiyasi  $N_{Mn} \sim 10^{13} \div 10^{14} \text{sm}^{-3}$  ga teng bo'lib, kremniyda marganes kirishma atomlarini maksimal eruvchanligi qiymatidan ikki-uch darajada kam bo'lib, marganes oliy silitsidlarini kremniy sirtida shakllanishiga to'sqinlik qilishi tajribalarda aniqlandi. Marganes kirishma atomlarini oksid kremniy qatlamida ushlab qolinishi oqibatida kremniy – oksid kremniy ( $Si - SiO_2$ ) o'tish chegarasida marganes oliy silitsidi qatlami shakllanmadi. Oksid kremniy qatlamidan o'tgan marganes kirishma atomlari harorat yuqori va marganes atomlarining diffuziya koeffitsiyenti katta bo'lgani sababli kremniy hajmiga tezda taqsimlanib ketdi.

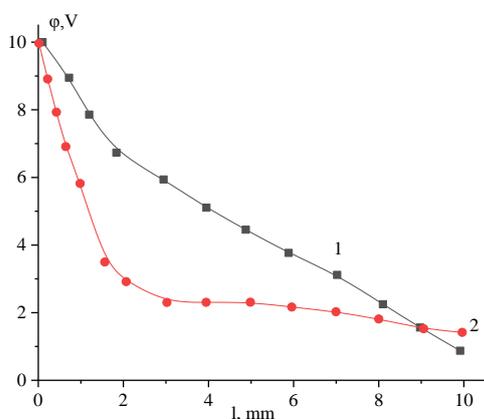
Hosil qilingan strukturalarni monoxramatik nurning fotonlar energiyasi ta'qiqilgan soha energiyasiga teng yoki katta energiya ( $h\nu \geq E_g$ ) bilan yoritilgandagi VAX da ikkinchi uchastka hosil bo'lishi kuzatildi. Bunda VAX qorong'ulikda va yoritilganda o'lchanganda  $U=1V$  kuchlanishgacha bo'lgan oraliqda olingan natijalar orasida deyarli farq kuzatilmadi. Qo'yilgan kuchlanish qiymati  $U \geq 2V$  dan ortganidan so'ng qorong'ulikdagi VAX bilan yoritilgan holatdagisining farqi ortib, ularning o'zaro nisbatidagi farq 100 marotabadan ham katta bo'ldi.

Fototokni qiymati  $J_f \geq 4 \cdot 10^{-3} A$  bo'lganda strukturalarda issiqlik ajralib chiqish holati kuztildi. Fototokni qiymati  $J_f \geq 10^{-2} A$  ga yetganda  $Mn_4Si_7 - Si < Mn >$  o'tish chegarasida issiqlik ajralib chiqishi sezilarli darjada katta bo'ldi. Strukturaga ulangan o'zgarmas tokning qutbi almashtirilganda, qizish sohasi strukturaning qarama – qarshi tomoniga, ya'ni strukturaning  $Si < Mn > - Mn_4Si_7$  o'ng tomoniga o'tdi.

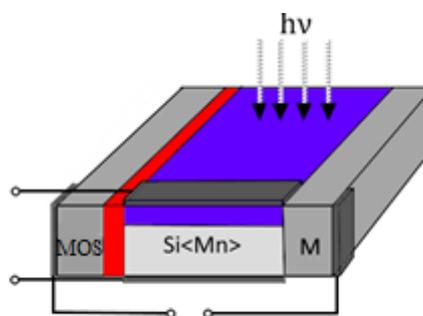
$Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  strukturalarni qorong'ulikdagi tok qiymati ulangan kuchlanishni qiymatiga bog'liq bo'lib, harorat pasayganda bunday holat kuzatilmadi. Xuddi shunday holat fototokning qiymati  $J_f \leq 10^{-2} A$  bo'lishiga qadar barcha strukturalarda kuzatildi. Ikkinchi tur strukturalarda kontaktlar orasidagi masofa, baza qarshiligi va strukturaning chetki qismida hosil bo'lgan tok tashuvchilarning konsentratsiyasi (kovaklar) strukturalarni past haroratda ( $T = 80 K$ ) va yoritilgan holatda tekshirganda sezilarli darajada katta bo'lishi aniqlandi.

$Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  strukturaga ulangan tashqi manba kuchlanishini bazadagi kontaktlar orasida taqsimlanishi  $U(L)$  o'rganilganda, olingan strukturalarda silitsid – kremniy o'tish chegarasida maydon kuchlanishining asosiy miqdori tushishi aniqlandi. Bu tajribalar asosida kuchlanishning asosiy miqdori marganes oliy silitsid – kremniy o'tish chegarasida qarshiligining qiymati kichik bo'lgan fotoo'tkazuvchan qatlam hosil bo'lishi aniqlandi. (7 va 8 – rasmlar)

Olingan ilmiy natijalarga tayanib "Raqamli elektronika va mikroelektronika" kafedrasida sinov tarzida marganes oliy silitsidi asosida termobataryalar laboratoriya sharoitida yaratildi.



**7-rasm. MOS – Si < Mn > – M strukturasi-  
ulangan tashqi kuchlanishning taqsimoti  
1)  $T = 300 K$ , 2)  $80 K$ , monoxramatik nur  
bilan yoritilganda  $h\nu > E_g$ .**



**8 – rasm. Past haroratlarda  
monoxramatik nur bilan yoritilgan  
( $h\nu \geq E_g$ ) strukturaning ko'rinishi.**

Tajribalar asosida yaratilgan termobatareyalar o'zining ixchamliligi, texnologiyasining kam energiya talab qilishi, kremniy asosida bo'lgani uchun zamonaviy planar texnologiyani qo'llash imkoniyatlari mavjudligi, bazasining solishtirma qarshiligi kichik  $\rho_b \geq 10 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  bo'lgani uchun, sanoatda ishlatiladigan KDB-10 markali monokristall kremniydan boshlang'ich namuna sifatida foydalanish mumkinligi hamda termobatareyalarning samaradorligi yuqoriligi bilan ajralib turdi. Marganes oliy silitsidi asosida termobatareyalarni sanoat miqyosida ishlab chiqarish mumkinligi hamda olingan strukturalarni elektronika va xalq xo'jaligining turli sohalarida ishlatish imkoniyatlari ko'rsatib berildi.

Dissertatsiya ishini yakunida monokristall kremniy sirtida o'stirilgan oliy marganes oliy silitsidi asosida, IQ nurlarni sezadigan fotopriyomniklarni yaratish imkoniyatlari ko'rsatib berildi. Yaratiladigan IQ nurni sezuvchi termobatareyalarning parametrlarini hozirda mavjud termobatareyalarning parametrlari bilan o'zaro solishtirganda ayrim holatlarda taklif etilgan termobatareyalarning parametrlari mavjudlaridan ustunligi va afzalligi aniqlandi (2-jadval).

Marganes kirishma atomlarini gaz – bug' holatida diffuziya qilib kremniyning sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidi asosida laboratoriya miqyosida IQ nurni sezuvchi va issiqlik fotopriyomniklarning tajriba namunasi yaratildi.

Ilmiy tadqiqotlar asosida olingan tajriba natijalaridan foydalanib, marganes oliy silitsid qatlami asosida spektral sezgirligi yuqori va keng, xona haroratida ishlaydigan, inersiyasi kichik, mexanik ta'sirlarga chidamli, tannarxi arzon, issiqlik va IQ-nurlarni sezadigan va o'lchaydigan datchiklarni yaratish mumkinligi ko'rsatib berildi. Bunday IQ- nurlarni sezuvchi fotopriyomniklarni ma'lumotlarni tez qabul qilib, qayta ishlab va uzatishda samarali ishlatish imkoniyatlari ochib berildi.

Mavjud hamda marganes oliy silitsidi asosida yaratilingan termobatareyalarning parametrlari haqida ma'lumot.

2-jadval

Termoelektrik batareya	Maksimal kuchlanish, $U$	Maksimal tok kuchi, $I$	Ishlash harorat oralig'i, $T$ , °C	O'lchami	Quvvati
SP 1848-27145	4,8 V	669 mA	30 ÷ 150°C	40 × 40 mm <sup>2</sup>	3,4 W
TEGI-241-14-12	11,5 V	610 mA	0 ÷ 120°C	54,5 × 54,5 mm <sup>2</sup>	70 W
TEGI-12706	12 V	4,2 A	30 ÷ 100°C	40 × 40 mm <sup>2</sup>	53 W
TEGI-12703	12 V	2,5 A	30 ÷ 100°C	30 × 30 mm <sup>2</sup>	35 W
$Mn_4Si_7 - Si$ < Mn > - $Mn_4Si_7$	500 ÷ 800 $\mu V$	20 ÷ 40 $\mu A$	-180 ÷ 350°C; -180 ÷ 1000°C	4 × 8 mm <sup>2</sup>	Laboratoriya yada yaratildi 0,1 ÷ 1 W

Marganes oliy silitsid-kremniy tuzulishidagi strukturalar asosida termoelektr yurituvchi kuchlanishining qiymati katta bo'lgan, samaradorligi yuqori termobatareyalarni yaratish iqtisodiy jihatdan mavjud yarimo'tkazgich materiallar asosida yasalganlardan arzon bo'lishi bilan ajralib turishi ko'rsatib berildi.

## XULOSA

Dissertatsiya ishining mavzusi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi ilmiy xulosalar aniqlandi:

1. Ilk bor monokristall kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidi tarkibidagi marganes kirishma atomlarining konsentratsiyasini boshqarishning termodinamik shartlari va texnologik bosqichlari ( $T = 950 \div 1200^\circ\text{C}$  haroratda,  $t=0,5 \div 1$  soat marganes kirishma atomlarining bug' holatdagi bosimi) aniqlandi.

2. Monokristall kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidida marganes atomlarining konsentratsiyasini hamda silitsid qatlamining qalinligi va kristall holatini boshqarish asosida bazasining solishtirma qarshiligi turli qiymatlarda bo'lgan  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  tuzulishidagi strukturalar olindi.

3. Kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidining element tarikibi va kremniy sirtida hosil bo'lgan qatlam topologiyasi texnologik jarayonning harorati va vaqtiga bog'liq o'zgarishining qonuniyati aniqlandi.

4. Ilk bor marganes oliy silitsidi hosil qilgan termo EYuK ning qiymati monoxromatik yorug'likning  $\lambda = 0,2 \div 20\text{mkm}$  ( $h\nu = 6,2 \div 0,62\text{ eV}$ ) to'lqin uzunligi oralig'ida hosil bo'lishi, bunda haroratni kuchlanishga aylantirish koeffitsiyenti  $\lambda = 10,6\text{ mkm}$  to'lqin uzunligida eng katta  $S = 500 \div 2000\text{ mkV/Vt}$  qiymatga teng bo'lishi, hamda termo EYuK koeffitsiyentining qiymati  $a = 360\text{ mkV/K}$  ga va tezkorligi  $\tau \leq 10^{-12}\text{ s}$  bo'lishi aniqlandi.

5. Marganes oliy silitsid – kremniy o'tish chegarasida hosil bo'lgan termoelektr yurituvchi kuchlanishning qiymatiga infraqizil nur ta'sir qilganda ma'lum fotonlar energiyasi ( $h\nu = 0,62 \div 6,2\text{ eV}$ ) va  $T = 77 \div 900\text{ K}$  harorat oralig'ida o'zgarmasdan turg'un qolishi aniqlandi.

6. Birinchi marotaba kremniy sirtida o'stirilgan marganes oliy silitsidi asosida hosil qilingan  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > -$  tuzulishidagi strukturaning o'sishini fizik mexanizmi ilmiy asoslandi.

7. Monokristall kremniy sirtida hosil qilingan marganes oliy silitsidlari asosida haroratni elektr tokiga aylantiruvchi samaradorligi yuqori bo'lgan termobatareyalarni hamda infraqizil nurlarga sezgirliги yuqori bo'lgan fotopriyomniklarni yaratish imkoniyatlari ko'rsatib berildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.11.2022.FM/Т.66.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАМАНГАНСКОМ  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**КОКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**КУРБАНАЛИЕВ КАБИЛДЖАН КАСИМДЖАН УГЛИ**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСШИХ  
СИЛИЦИДОВ МАРГАНЦА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ**

**01.04.10 – Физика полупроводников**

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Наманган-2024**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2023.4.PhD/FM986.**

Диссертация выполнена в Кокандском государственном педагогическом институте и Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.nammti.uz](http://www.nammti.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Хусанов Ахмаджон Жураевич</b> кандидант физико - математических наук, доцент
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Дадамирзаев Мухаммаджон Гуломкадирович</b> доктор физико - математических наук, профессор <b>Арзикулов Эшкuvat Улашевич</b> доктор физико - математических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Каракалпакский государственный университет</b>

Защита диссертации состоится «22» июнь 2024 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 при Наманганском инженерно – технологическом институте по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Касансайская 7, Административное здание Наманганского инженерно – технологического института, 3-здания, 1-этаж, малый зал совещаний, Тел./факс: (99869) 225-10-07; (99869) 225-76-75, e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наманганского инженерно – технологического института (зарегистрирована за № 291) по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Касансайская -7, Тел./факс: (99869) 225-10-07; (99869) 225-76-75.

Автореферат диссертации разослан «12» июнь 2024 г.  
(протокол рассылки № 13 от «12» июнь 2024 г.)

**У.И.Эркабоев,**  
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней,  
д.ф-м.н., профессор

**А.А. Абдукаримов**  
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней,  
PhD., доцент

**Н.Ю. Шарибаев**  
Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней,  
д.ф-м.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

### **Актуальность и востребованность диссертационной работы.**

Проведение исследований по повышению эффективности выработки энергии и создания энергосберегающих, дешевых термобатарей, а также их применение в областях экономики является одним из ведущих направлений электроники в мире. Усовершенствование технологии получения полупроводниковых материалов, а также создание приборов и устройств на их основе со стабильными электрофизическими параметрами дает возможность применения их на практике. К энергосберегающим полупроводниковым приборам можно отнести охлаждающие технические оборудования, кулеры и другие устройства, в том числе термобатареи на основе структур высший силицид марганец – кремний и применения этих приборов и устройств на практике является важной задачей на сегодняшний день.

В настоящее время создание тонких эффективных термобатарей, которые работают на основе выделяемого тепла и применение их на практике является весьма актуальной проблемой электроники. Термобатареи на основе структур высший силицид марганец-кремний позволяют создавать источники с малыми значениями напряжения и малыми размерами микрохолодильников, а также высокочувствительные фотоприёмники в широком спектре ИК излучения и датчики температуры с малой инерционностью. В этом направлении особое внимание уделяется созданию термобатарей и фотопремников инфракрасного излучения на основе структур высший силицид марганец-кремний.

В республике ведутся широкомасштабные научные исследования по разработке новых полупроводниковых приборов и усовершенствованию рабочих параметров энергосберегающих устройств и достигнуты определенные успехи. В принятой стратегии нового Узбекистана на 2022 – 2026 годы отмечены важные задачи, а именно “безперебойное обеспечение экономики электроэнергией, а также активное применение технологии “Зеленая экономика” во всех областях и повышение эффективности обеспечения энергии на 20 %”<sup>1</sup>. Исследование электрических и фототермических свойств высших силицидов марганца на поверхности кремния является одним из важных и актуальных на сегодняшний день и вносит определенный вклад для выполнения поставленной задачи.

Исследования, выполненные в диссертационной работе в определенной степени служат выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан ПП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг» от 7 февраля 2017 года и № ПП-5032 «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» от 19 марта 2021 года, № ПП-5234 «О мерах по внедрению Специального режима применения технологий

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан, от 28.01.2022 г. № УП-60

искусственного интеллекта» от 26 августа 2021 года, а также других нормативно-правовых документов, касающихся данной отрасли деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии Республики Узбекистан III-3 «Энергетика, энерго – и ресурсосбережение, транспорт, машина и приборостроение, развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники и электронного приборостроения».

**Степень изученности проблемы.** В последние годы ведутся комплексные исследования структур высший силицид марганец – кремний многими учеными и специалистами.

В научных школах под руководством американских ученых И.Боренном и А.Фогельем а также германским ученым М.Бенневеским и другими показано, что при образовании силицидов марганца на поверхности кремния изменение концентрации атомов марганца приводит к изменению электрофизических и физико – химических свойств образованных силицидов марганца.

Российскими учеными В.К. Зайцевым<sup>2</sup> (Физико-технический институт, Санкт-Петербург), О.С.Ореховым<sup>3</sup> (институт Кристаллография, г.Москва), Ф.Ю.Соломкиным (Физико – технический институт, г. Санкт-Петербург), В.В. Клечковской (Институт Кристаллографии, г. Москва), Л.И.Петровой (институт Металлургия, г.Москва), О.Н. Груба (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск) и другими научными школами был исследован фазовый переход образованных силицидов марганца в кремний. В этих исследованиях было показано, что в зависимости от элементного состава атомов марганца на поверхности кремния образуются более 13 видов силицидов и показано, что среди них наиболее встречающимися являются высшие силициды марганца в виде  $Mn_4Si_7$ , а также показано, что их электрофизические свойства имеют полупроводниковый характер.

Российские ученые из Физико-технического института (г. Санкт-Петербург) В.В. Клечковская, М.И. Федеров, В.К. Зайцев и другие показали возможности создания термоэлектрических элементов на основе образованных силицидов на кремнии, легированного примесными атомами переходных групп металлов, а также показаны области применения их на практике.

В Узбекистане в научных школах под руководством академиков Академии наук Республики Узбекистан М.С.Саидовым, Р.А.Муминовым, А.Т.Мамадалимовым, М.К.Бахадырхановым, И.С.Зайнобиддиновым, а также ведущими профессорами А.Касымахуновой, Т.Камиловым, Х.К.Ариповым, К.П.Абдурахмоновым и Ш.Б.Утамуродовой ведутся всесторонний комплексные научные исследования по усовершенствованию технологий

---

<sup>2</sup> Зайцев В.К., Тарасов В.И., Адилбеков А.А. Переход металл – неметалл в компенсированном высшем силициде марганца. //ФТТ. 1976. Т. 16. Вып 3.с.581 – 584.

<sup>3</sup> Орехов А.С., Камилов Т.С., Гаипов А.Г., Вахабов К.И., Клечковская В.В. //ЖТФ, 2010, том 80, вып 6, с. 121 – 124

получения полупроводниковых материалов и изучению их электрофизических, фотоэлектрических и оптических свойств, а также разработки современных приборов на их основе. Эти научные исследования признаны зарубежными учеными с мировым именем. Особенно интересные результаты были получены в научных школах под руководством профессоров А.Касымахуновой, Т.Камиловым и А.Рысбаевым. Ими были показаны возможности создания термоэлементов и термобатарей на основе кремния и полупроводниковых соединений, а также применения их на практике. Однако, до настоящего времени не был исследован элементный состав образованных высших силицидов марганца на поверхности кремния и не был объяснен физический механизм образования высших силицидов марганца на кремнии.

**Связь темы диссертации с тематическими планами научно-исследовательской работы высшего учебного заведения.** Диссертационная работа выполнена на основе научно-исследовательских работ Кокандского государственного педагогического института, а также на научной базе кафедры «Цифровая электроника и микроэлектроника» и кафедры «Общей физики» при Ташкентском техническом государственном университете при выполнении фундаментального научно исследовательского проекта под номером Ф–ОТ–2021–422 по теме «Образование наноразмерных термоэлектрических пленок  $\text{BaSi}_2$  и  $\text{Mn}_4\text{Si}_7$  и их свойства» финансируемой министерством Высшего образования, науки и инновации развития Республики Узбекистан.

**Цель диссертационной работы.** Разработать воспроизводимую технологию получения структур высший силицид марганец – кремний и исследовать электрические и фототермические свойства полученных на их основе термобатарей.

**Задачи исследования:**

получить высшие силициды марганца на поверхности монокристаллического кремния и определить термодинамические условия и технологические режимы управления концентрацией и составом примесных атомов марганца в полученных силицидных пленках;

разработать воспроизводимую технологию получения структур типа  $\text{Mn}_x\text{Si}_{1-x} - \text{Si}\langle\text{Mn}\rangle - \text{Mn}_x\text{Si}_{1-x}$ , позволяющие управлять концентрацией атомов марганца в структуре высший силицид марганца на поверхности монокристаллического кремния;

исследовать влияние инфракрасного излучения на значение коэффициента термоэлектрического преобразования  $-\alpha$  на границе между высший силицид марганца - кремний;

исследовать электрофизические параметры и коэффициенты термопреобразований полученных высших силицидов марганца в широком интервале температур  $T=77\div 900$  К и показать возможности создания эффективных термобатарей на основе высших силицидов марганца на поверхности монокристаллического кремния;

исследовать электрофизические и фототермических параметры высших силицидов марганца, полученных на основе монокристаллического кремния и

определить физические механизмы возникновения термоэлектродействующего напряжения;

- показать возможности создания эффективных преобразователей (термобатарей) тепла в электрическое напряжение, а также чувствительных фотоприёмников инфракрасного излучения на основе полученных высших силицидов марганца на поверхности кремния.

**Объект исследования:** высший силицид марганца, полученный на поверхности монокристаллического кремния, выращенного методом Чохральского.

**Предметы исследования:** электрические и фототермические свойства высших силицидов марганца, полученные диффузионным методом при легировании в монокристаллический кремний примесных атомов марганца, а также термоэлектрические действующие напряжения, возникающие в них.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы были использованы методы микронзондового анализа, атомно-силовой микроскоп марки Core AFM, масс спектроскопия вторичных ионов, рентгенофазный анализ, инфракрасная спектроскопия, эффект Холла, метод Ван-дер-Пау на установке Escoria HMS-3000 и другие современные методы и приборы, позволяющие анализировать состав, измерять электрофизические параметры и толщину образованных пленок высших силицидов марганца на кремнии.

**Научная новизна диссертационной работы:**

впервые определены термодинамические условия и технологические режимы ( $T = 950 \div 1200^\circ\text{C}$  и  $t = 0,5 - 2$  ч) позволяющие управлять концентрацией примесных атомов марганца в пленке высшего силицида марганца, полученного на поверхности монокристаллического кремния;

разработана диффузионная технология управления концентрацией и составом атомов марганца, а также толщиной пленок высших силицидов марганца впервые полученных структур типа  $\text{Mn}_x\text{Si}_{1-x} - \text{Si}\langle\text{Mn}\rangle - \text{Mn}_x\text{Si}_{1-x}$ ;

впервые установлено, что величина термоэлектродействующего напряжения в высших силицидах марганца, полученных на поверхности кремния, наблюдается в широком интервале длины волны инфракрасного излучения  $\lambda = 0,2 \div 20$  мкм ( $h\nu = 6,2 \div 0,62$  эВ) и при воздействии монохроматического излучения длиной волны  $\lambda = 10,6$  мкм достигает своего максимального значения  $S = 500 \div 2000$  мкВ/Вт, а коэффициент термопреобразования в этом случае будет равен  $\alpha = 360$  мкВ/К.

впервые установлено, что при изучении электрофизических параметров высших силицидов марганца, полученных на поверхности монокристаллического кремния в широком интервале температур  $T = 77 \div 900\text{K}$ , средняя величина термоэлектродействующего напряжения будет равна  $\alpha \approx 360$  мкВ/К;

объяснен физический механизм образования высших силицидов марганца на поверхности кремния при диффузии примесных атомов марганца;

предложено создание эффективных термобатарей и чувствительных фотоприёмников ИК излучения на основе высших силицидов марганца, полученных на поверхности монокристаллического кремния.

#### **Практические результаты исследования:**

определены термодинамические условия и технологические режимы для получения  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  структур с различными концентрациями атомов марганца;

показаны возможности создания тонкопленочных термобатарей и высокочувствительные фотоприемники ИК излучения на основе  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  структур.

**Достоверность результатов исследований** основывается и подтверждается применением современных методов независимых друг от друга экспериментальных исследований, таких как микронзондовый анализ, масс спектроскопия вторичных ионов, инфракрасная спектроскопия, метод Ван-дер-Пау и другие, которые позволили получить научные данные о состоянии примесных атомов марганца в тонких пленках высших силицидов марганца. А также соответствие экспериментальных результатов с теоретическими расчетами, представленных в диссертационной работе и хорошее согласие предложенной физической модели с фундаментальными представлениями физики полупроводников. Полученные научные результаты исследований докладывались и обсуждались на международных и республиканских научных конференциях.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость диссертационной работы заключается в расширении представлений о физических процессах, происходящих на границах между высшими силицидами марганца и монокристаллического кремния, исследовании электрофизических параметров и состава структур образованных пленок высших силицидов марганца, определении значений термоэлектро действующего напряжения, а также обнаружении образования гетеропереходов на границе между высший силицид марганца-кремний. Установлено, что полученные пленки высшего силицида марганца имеют дырочную проводимость. С применением современных методов измерений и теоретических расчетов исследованы электрофизические и фототермические параметры и ширина запрещенной зоны пленки, образованного высшего силицида марганца на поверхности монокристаллического кремния.

Практическая значимость полученных результатов исследований заключается в том, что показана возможность создания эффективных термобатарей, а также чувствительных датчиков температур и фотоприемников ИК излучения со стабильными рабочими параметрами на основе высших силицидов марганца на поверхности кремния.

**Внедрение результатов исследования.** При исследовании термоэлектрического напряжения полученных высших силицидов марганца на поверхности кремния в интервале температур  $T=77\div 900K$  было установлено, что средняя величина коэффициента термоэлектрического переобразования

соответствует  $\alpha \approx 360$  мкВ/К. Установленные технологические режимы для получения термобатарей на основе высшего силицида марганца, использовались при изготовлении полупроводниковых приборов (диоды, транзисторы), которые привели к стабилизации их электрофизических параметров (справка 211 от 25 июля 2022 г. АО «FOTON» Республики Узбекистан). Применение разработанной технологии позволило усовершенствовать технологию получения полупроводниковых приборов на АО «FOTON».

На основе образования термоэлектродействующего напряжения в широком интервале длины волны солнечного излучения  $\lambda=0,2\div 20$  мкм на высших силицидах марганца, полученных на поверхности монокристаллического кремния, на ООО «All Solar» показана возможность применения разработанных термобатарей, установив их на тыльной стороне солнечных панелей (ООО «All Solar» № S22 от 7 октября 2022 года). Применение научных результатов диссертационной работы в производстве ООО «All Solar» позволило повысить эффективность выпускаемых солнечных панелей.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 6 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ, 7 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ, 1 статьи в зарубежных международных реферируемых Scopus журналах и 1 свидетельства для программ ЭВМ, в материалах.

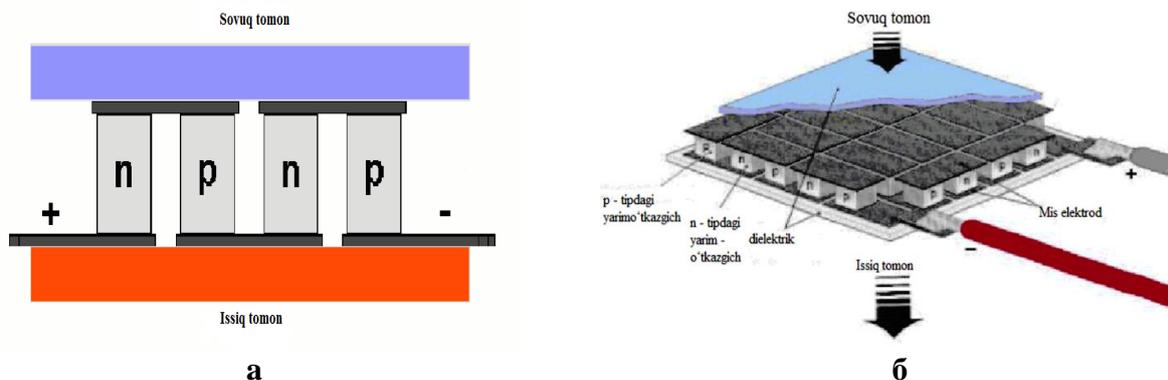
**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Текст диссертации изложен на 120 страницах, включая 30 рисунков и 9 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертационной работы, определена связь исследования с основными приоритетными направлениями развития науки и техники, определено состояние решения данной научной проблемы, обоснованы цель, задачи, объекты и методы исследования, показана научная новизна и практическая ценность диссертации, а также возможности применения полученных научных результатов на практике. В конце диссертации приведены информации об апробации результатов исследований на международных и республиканских научно-практических конференциях и о публикациях, а также информации об объеме и содержании диссертационной работы.

Первая глава «**Твердофазная реакция примесных атомов марганца на границе металл-полупроводник, электрофизические свойства структур высшего силицида марганца-кремний**» посвящена литературному обзору и

приведен анализ существующих научных литератур, опубликованных в зарубежных и республиканских журналах по направлению диссертации. Показаны существующие технологии получения высших силицидов марганца на поверхности кремния, свойства и расположения атомов марганца в слое высшего силицида марганца, также описан механизм образования твердотельных фаз при химической реакции атомов марганца в кремнии. Физический механизм образования электродействующего напряжения в современных термобатареях можно объяснить на основе эффекта Пельтье.



**Рис.1. а – образование термоэлектродействующего напряжения на основе эффекта Пельтье, б – структура термобатареи, разработанной на основе эффекта Пельтье.**

Из анализа литературных данных установлено, что если осветить полученные структуры монохроматическим светом, энергия которой больше или равна ширине запрещенной зоны полупроводникового материала ( $h\nu \geq E_g$ ) или интегральным светом, один из контактов нагревается и возникает дополнительный электрический ток. Температура противоположного контакта находится в холодном состоянии, что приводит к направленному движению образованных носителей заряда, который приводит к появлению термо ЭДС между двумя контактами материала (рис. 1). Такое физическое явление называется эффектом Пельтье и на основе этого эффекта можно создавать термобатареи. В конце I главы определены научные направления и задачи для выполнения диссертационной работы.

Вторая глава «**Технология получения высших силицидов марганца на поверхности кремния, использованные современные методы и приборы при выполнении диссертации**» посвящена технологии диффузионного легирования примесных атомов марганца для получения высших силицидов марганца на поверхности кремния из газовой фазы, возможности управления концентрацией примесных атомов марганца при образовании высших силицидов марганца, получению различных слоев (отличающихся электрофизическими параметрами и толщиной) высших силицидов марганца на поверхности кремния. Подробно описаны методики и возможности современных установок, которые были использованы при выполнении поставленной задачи диссертации. Приведен научный анализ полученных результатов со сравнениями их с существующими научными данными, которые имели хорошее соответствие, что подтверждает о достоверности полученных научных результатов. В конце главы показаны возможности современных

приборов и установок, приобретенных в последние годы на кафедре «Цифровая электроника и микроэлектроника» Ташкентского государственного технического университета и приведены научно обоснованные заключения о пленках высших силицидов марганца, образованных на поверхности кремния.

В процессе выполнения диссертационной работы диффузия примесных атомов марганца в кремний производилась двумя механизмами. В первом предложенной механизме диффузия примесных атомов марганца осуществлялась за счет вытеснения неконтролируемых примесных атомов, которые осаждаются в вакансиях кристаллической решетки кремния. Во втором механизме происходит взаимосвязь между атомами марганца и кремния, которые находятся между узлах кристаллической решетки образуются молекулы высших силицидов марганца на поверхности кремния.

Таблица-1.

Толщина слоя (мкм)	% доля атомов		% доля атомой массы	
	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>
0	38,11	61,89	52,35	47,65
1	37,01	62,99	52,00	48,00
2	39,22	60,78	52,71	47,29
3	37,4	62,6	52,10	47,90
4	36,07	63,93	51,60	48,40
5	34,1	65,9	49,80	50,20
6	33,9	66,1	48,50	51,50
7	31,02	68,98	46,50	53,50
8	27,16	72,84	41,30	58,70
9	13,5	86,5	20,27	79,73
10	6,25	93,75	11,42	88,58
11	4,45	95,55	8,26	91,74
12	1,82	98,18	2,90	97,10
13	0,68	99,32	1,42	98,58
14	0,12	99,88	0,32	99,68

Из анализа литературных данных известно, что если в полупроводнике количество вакансий и междуузельных атомов будут равны, то при таких условиях происходят одновременно оба предложенных механизма диффузии.

Во время диффузии примесных атомов марганца из газовой фазы в монокристаллический кремний первоначально образуется тонкий твердофазный слой на поверхности кремния с большой концентрацией атомов марганца. После этого в процессе диффузии на поверхности кремния образуются силициды типа  $Mn_xSi_{1-x}$ . В этом процессе основным является диффузия атомов марганца на поверхности кремния. В приповерхностном слое, который образуется во втором этапе диффузии, концентрация атомов марганца равномерно распределяются по объему и будет расти сближением на

поверхность кремния. В таблице - 1 показано распределение примесных атомов марганца относительно глубины от поверхности кремния.

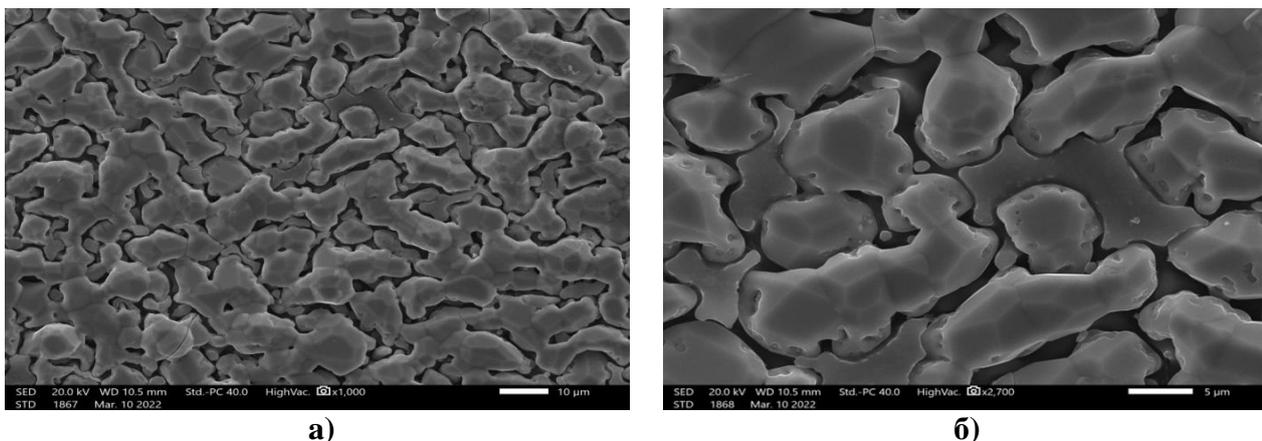
В третьей главе «**Исследование элементного состава и структуры высших силицидов марганца**» приведены результаты исследований, в которых обосновано, что независимо от способа получения силицидных слоев на поверхности различных полупроводниковых материалов, в них обязательно происходит твердофазная химическая реакция. Из анализа экспериментальных исследований установлено, что образование высших силицидов марганца на поверхности кремния происходит в нескольких этапах технологического процесса диффузии. После химической очистки поверхности исходных образцов монокристаллического кремния методом химического осаждения из растворов или методов напыления в вакууме был получен тонкий металлический слой марганца.

После этого производилась диффузия примесных атомов марганца в объеме кремния и в этом процессе диффузии на поверхности кремния образовались высшие силициды марганца. Диффузия примесных атомов марганца производилась в два этапа, первая с относительно низкой температурой  $T \leq 400$  °С, а вторая в интервале температур  $T = 950 \div 1200$  °С. Во втором этапе для получения высшего силицида марганца на поверхности монокристаллического кремния (с кристаллографической осью ориентации [001] и [111]) диффузия производилась в течение  $t = 30$  минут и были получены два участка распределения примесных атомов марганца в кремний. В первом участке силициды марганца образовались на поверхности и приповерхности кремния с концентрацией атомов марганца  $N_{Mn} = 10^{18} \div 10^{20}$  см<sup>-3</sup>, которые соответствовали концентрации носителей тока – дырок. Во втором участке примесные атомы марганца равномерно распределены в объеме кремния с концентрацией  $N_{Mn} = 10^{14} \div 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, в этом случае в объеме не образуются высшие силициды марганца, но основными носителями тока в объеме кремния тоже были дырки.

С помощью растрового электронного микроскопа марки ЭРМ-102, электронного микроанализатора марки УХА-840 и марки X4 30 SFEG изучали структуру, топологию и состав образованного высшего силицида марганца на поверхности и приповерхности кремния. Сопоставляя полученные электронограммы с существующими научными литературными данными были определены межуатомные расстояния в образованных высших силицидах марганца. Установлено, что на поверхности монокристаллического кремния в основном образуются высшие силициды марганца типа  $Mn_4Si_7$ . Показано, что толщина и размеры пленок высших силицидов марганца в первоначально образованных островках зависят от давления паров примесных атомов марганца в кварцевой ампуле, а также от температуры и времени диффузии.

На рис. 2 представлены топология образованных пленок высших силицидов марганца на кремнии, полученных в закрытых кварцевых ампулах (откаченной вакуумом  $P = 10^{-5} \div 10^{-6}$  мм.рт.ст.). На рис. 2 (а) показана топология пленок высших силицидов марганца, в котором масса диффузанта атомов

марганца была подобрана условно  $m_{Mn}^1$ . На рис. 2 (б) представлена топология пленок высших силицидов марганца, в котором масса диффузанта атомов марганца была в два раза больше чем в первом случае  $m_{Mn}^2=2 m_{Mn}^1$ .



а)  
б)  
**Рис 2. Топология высших силицидов марганца на поверхности монокристаллического кремния: а- поликристаллическая структура; б- монокристаллическая структура.**

Анализ полученных топологий показал, что при первом случае, в котором условная масса диффузанта марганца была два раза меньше чем во втором на поверхности кремния образовались пленки высших силицидов марганца с размерами зерен между  $5 \div 20$  мкм с поликристаллической структурой. В образцах кремния, в которых при получении пленок высших силицидов марганца в кварцевой ампуле были приложены примесные атомы марганца весом  $m_{Mn}^2$ . В этом случае на поверхности кремния первоначально образовались отдельные островки и с дальнейшим увеличением времени диффузии образовались сплошные пленки высших силицидов марганца.

На рис.3 показан физический механизм образования высших силицидов марганца на поверхности монокристаллического кремния. Механизм образования на поверхности кремния высших силицидов марганца можно объяснить на основе образования металлических силицидов различных элементов на поверхности кремния за счет химической реакции с атомами подложки. Как известно, примесные атомы марганца относятся к сублимационным металлам и поэтому при температуре  $T=940^\circ\text{C}$  меньшем чем температура плавления чистого кремния атомы марганца переходят в газопарообразное состояние. Поэтому из поверхности оксида кремния вероятность испарения атомов марганца будет больше и в определенных условиях атомы кремния могут переходить из твердой фазы в газо-паровую фазу. При высоких температурах  $T=1000 \div 1200^\circ\text{C}$  кинетическая энергия в газопаровом состоянии будет больше и они сталкиваются с атомами кремния подложки. Энергия атомов марганца будет достаточна для образования высших силицидов марганца на поверхности кремния. В начальной стадии концентрация образованных соединений кремний-марганец  $\text{Si}\langle\text{Mn}\rangle$  будет меньше который не дает образования зародыша высшего силицида. Кинетическая энергия примесных атомов марганца в газо-паровом потоке будет больше и это не позволяет образованию устойчивой связи с оксидом кремния

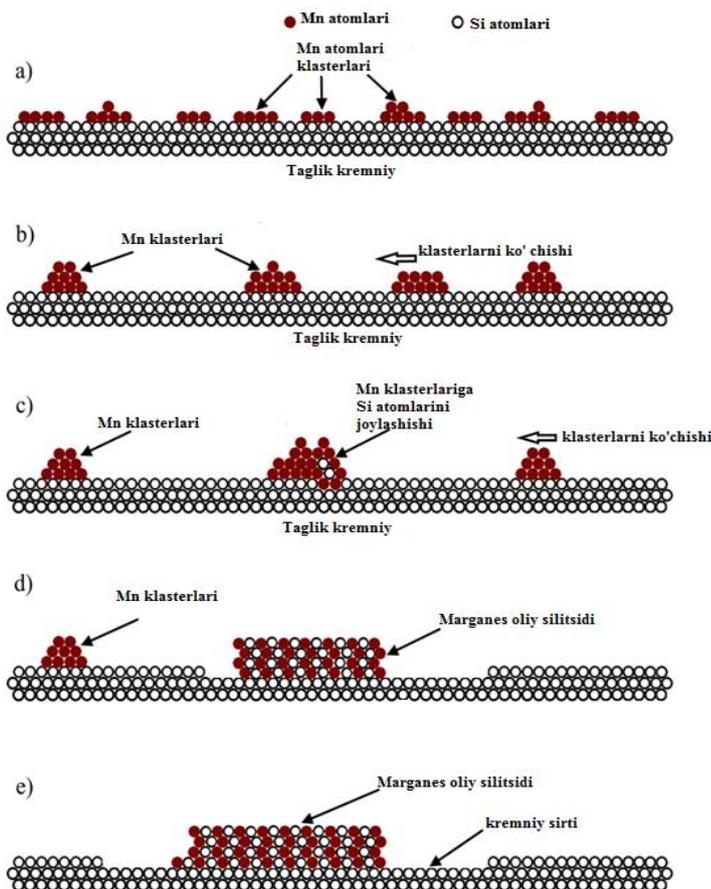
(SiO<sub>2</sub>). Из-за большой толщины оксидного слоя кремния, из подложки диффузия атомов кремния на поверхность будет меньше.

Когда слой оксида кремния на поверхности материала будет тоньше, примесные атомы марганца легко переходят через оксидный слой и образуют на поверхности кремния силицидные соединения. При высоких температурах на поверхности кремния кроме примесных атомов марганца будет в достаточно большом количестве междузельные атомы кремния переходящие от подложки, которые образует силицидные соединения кремний-марганец являющимися центрами кристаллизации (зародышные центры).

Эти центры кристаллизации приводят к образованию слоя высших силицидов марганца на поверхности кремния.

Предложенный механизм образования высших силицидов марганца на поверхности кремния типа  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  структур нашли свое подтверждение при исследовании вольт-амперной характеристики (ВАХ) (рис. 4). ВАХ структур, которые были получены разными скоростями охлаждения после диффузии примесных атомов марганца в кремний имели почти одинаковые зависимости.

Полученные структуры  $Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$  после диффузии охлаждались двумя способами, т.е. быстрой и медленной, при этом кремниевая подложка влияла на получение пленок высших силицидов марганца как шунтирующий элемент и в таких случаях зависимости тока от приложенного напряжения имели другую зависимость в исследуемой области ВАХ.



**Рис.3. Модель механизма образования высшего силицида марганца на поверхности кремния**

значение  $\sim 0,06$  эВ.

Из вычисленной величины потенциального барьера можно сказать, что с ростом температуры электропроводность ( $\sigma$ ) и подвижность ( $\mu$ ) носителей заряда меняются по следующему закону:  $\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$ .

На основе этой формулы объясняется зависимость подвижностей носителей тока от (дырки) температуры и механизма тока прохождения на кристаллическом слое высших силицидов марганца на кремнии.

Увеличение величины коэффициента термо ЭДС  $-\alpha$  с уменьшением температуры в слое высшего силицида марганца объясняется уменьшением теплопроводности силицидного слоя. Параметры коэффициента термо ЭДС и теплопроводности в образованных высших силицидах марганца связаны между собой. Установлено, что концентрация дырок участвующих в токопереносе и величина их подвижностей также является основными параметрами образованного высшего силицида марганца на кремнии.

Определено влияние структуры подложки кремния на условия роста пленок при диффузии примесных атомов марганца из газовой фазы на поверхность кремния. При росте слоев высших силицидов марганца на подложке кремния из-за относительной высокой температуры атомы марганца до кристаллизации на поверхности кремния проходят определенное расстояние.

Из анализа полученных результатов, а также при сопоставлении результатов исследования с результатами других авторов установлено, что между образованными высшими силицидами марганца и подложкой монокристаллического кремния образуется тонкий высокоомный переходный слой.

Из расчетов химического потенциала полученных

$$Mn_xSi_{1-x} - Si < Mn > - Mn_xSi_{1-x}$$

структур установлено, что уровень Ферми в этих структурах находится в валентной зоне кремния с энергией ионизации  $E_F=0,01$  эВ (т.е. будет меньше чем величины  $kT = 0,402$  эВ). При этом потенциальный барьер между зернами образованных высшими силицидами марганца имеет

Из-за большой вероятности перемещения атомов марганца на поверхности кремния образованные центры кристаллизации зародыши приобретают структуру подложки (рис.3.). Кроме того, в зависимости от условий диффузии (температуры, время) примесные атомы марганца образовав бинарное соединение высших силицидов марганца  $Mn_4Si_7$  могут иметь монокристаллические или поликристаллические структуры. Установлено, что пленки высших силицидов марганца растут 55 % в объеме и 45 % на поверхности монокристаллической кремниевой подложки. Такой механизм роста пленок высших силицидов марганца объясняется тем, что атомы кремния, покидая кристаллический узел образуют вакансии и основное количество свободных атомов кремния диффундируются на поверхность, образуя молекулы с атомами марганца, которые приведут к образованию пленок высших силицидов марганца.

В четвертой главе диссертации «Свойства фотодиодов на основе гетероперехода, образованной на границе высшего силицида марганец-кремний и предложенные приборы на их основе » посвящена исследованию образованных слоев между границей высший силицид марганец-кремний и показано, что кроме разницы электрофизических параметров между этими фазами, у них также отличаются величины ширины запрещенной зоны. Научный анализ полученных результатов показал, что свойства образованных высших силицидов марганца типа  $Mn_4Si_7$  почти одинаковы с параметрами полупроводникового материала. Величина ширины запрещенной зоны высшего силицида марганца определялась измерением температурной зависимости электропроводности и коэффициента Холла. Из анализа результатов исследования была определена величина ширины запрещенной зоны высшего силицида марганца, которая находилась в интервале энергии  $E_g \approx 0,67 \div 0,8$  эВ и образовал гетеропереход при переходе в монокристаллический кремний с энергией запрещенной зоны  $E_g=1,12$  эВ (рис. 5).

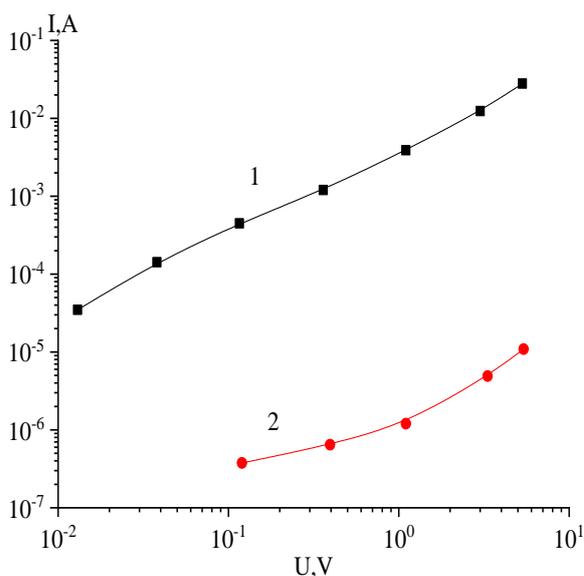


Рис.4. Вольт-амперная характеристика

пленок высших силицидов марганца на поверхности кремния полученных при освещении и температуре  $T=80\text{ К}$  1-при резком охлаждении после диффузии, 2-при медленном охлаждении, в темноте и при  $T = 300\text{ К}$ . ВСМ – высший силицид марганца  $Mn_xSi_{1-x}$

марки КДБ-10.

С применением разработанной двухэтапной диффузионной технологии на двух противоположных сторонах кремния был получен слой высшего силицида марганца толщиной  $d=5\div 7\text{ мкм}$ . Из результатов измерения электрофизических параметров установлено, что проводимость полученных слоев высших силицидов марганца была дырочной и в нем концентрация дырок составляла порядка  $N_p \approx 10^{19}\div 10^{20}\text{ см}^{-3}$ . Результаты исследований электрофизические свойства высших силицидов марганца на поверхности кремния показали, что образованные пленки высшего силицида марганца можно рассматривать как вырожденный полупроводник.

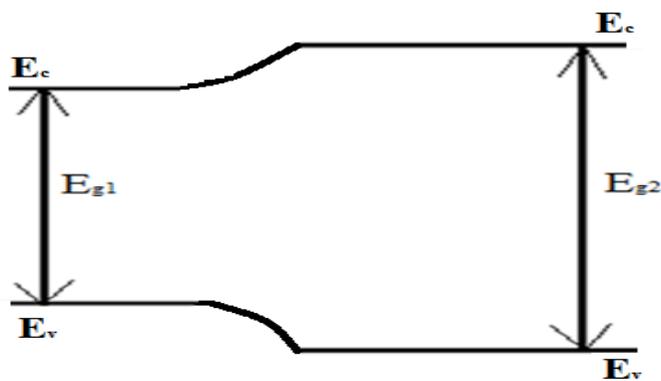


Рис. 5. Зонная структура гетероперехода образованного при переходе от высших силицидов марганца на монокристаллический кремний,  $E_{g1} \approx 0,67 \div 0,8\text{ эВ}$ ,  $E_{g2} = 1,12\text{ эВ}$ .

амперная характеристика при различных интенсивностях интегральной освещенности (рис. 6).

При освещении полученных структур малой интенсивностью ИК излучения удельное сопротивление базы, в котором носителями тока являются дырки, резко уменьшается и находится в интервале  $\rho_b \approx 5 \div 10\text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Установлено, что при освещении ИК излучением границы между слоями высшего силицида марганца и база полученных структур имела  $p$ -дырочную проводимость с удельным сопротивлением  $\rho_b \approx 5 \div 10\text{ Ом} \cdot \text{см}$ , при этом концентрация дырок составляла порядка  $\sim 10^{15}\text{ см}^{-3}$ . Такие результаты были получены при исследовании образцов компенсированного кремния равномерно легированного примесными атомами марганца при освещении их энергиями фотонов длиной волны  $\lambda = 0,2\text{ мкм}$ . В полученных нами структурах не наблюдается такая зависимость, поэтому физические процессы происходящие в контактной области можно объяснить инжекцией носителей тока (дырок) из образованного слоя высшего силицида марганца в кремний.

Для получения высшего силицида марганца на поверхности кремния в качестве исходного материала был использован промышленный монокристаллический кремний

Сопротивление базы полученных структур измерялась двухзондовым методом, при этом удельное сопротивление кремниевой подложки составляло  $\rho_b \approx (2 \div 5) \cdot 10^4\text{ Ом} \cdot \text{см}$  и было близко по величине определенными теоретическими расчетами. Для определения концентрации и подвижности носителей тока полученных структур были исследованы коэффициент Холла и фотовольтамперная характеристика при различных интенсивностях интегральной освещенности (рис. 6).

Поэтому полученные результаты научных исследований были объяснены на основе физического механизма контактного перехода структур  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$ . Из научного анализа результатов исследований ВАХ при освещении полученных структур высший силицид марганец – кремний и металл – кремний, легированного примесными атомами марганца, а также из предложенной зонной диаграммы определены следующие:

1. В процессе диффузионного легирования кремния примесными атомами марганца (из газовой фазы или металлического слоя марганца, напыленного на поверхность кремния) на поверхности и приповерхностной области кремния образуется слой высшего силицида марганца, который обладает свойством монополярной инжекции дырок в кремний;

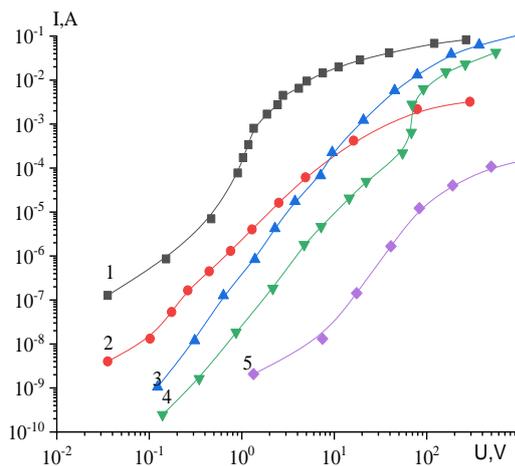
2. Высокоомная база полученных структур  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  или  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - M$  при низких температурах ( $T=77\div 200K$ ) и при освещении ИК излучением с энергией фотонов  $h\nu \geq E_g$  сопротивление базы становится низкоомной дырочной проводимостью;

3. В структурах ВСМ -  $i - Si < Mn > - ВСМ$  или  $ВСМ - i - Si < Mn > M$  ток в переходном  $i$  - слое будет как в режиме тока ограниченного пространственным зарядом;

4. Большая величина фоточувствительности базы полученных структур при низких температурах, обусловлена ударной ионизацией и ростом инжекции носителей тока (дырок) от образованного высшего силицида марганца в переходном слое.

Установлено, что при протекании тока в гетероструктурах типа  $Mn_4Si_7 - Si < Mn >$  в слое высших силицидов марганца выделяются не только тепло вида Джоулева нагрева, но также другой вид тепла отличающийся от природы Джоулевого тепла. По природе и величине этот вид тепла можно отнести к теплу Пельтье, величина которой связана с полярностью подключенного внешнего постоянного напряжения. Коэффициент теплопроводности в границе между высшими силицидами марганца и кремния определен по теоретическим расчетам и был равен  $k \sim 1,5 \cdot 10^{-4}$  Вт/см·К. Средняя величина коэффициента теплопроводности полученного силицидного слоя в интервале температур  $T=80\div 90$  К был равен  $k \sim 6$  Вт/см·К. Показано, что образованное тепло при таком коэффициенте теплопроводности на границе между высшим силицидом марганца и кремния направляется в сторону объема кремния.

Из проведенных расчетов были определены два вида величины термоэлектрического напряжения в полученных структурах  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$ . Из них  $U_1$  - за счет Джоулевого тепла и  $U_2$  - за счет тепла на основе эффекта Пельтье, в совокупности которых составляют общие выделяемые энергии структур. На основе теоретических расчетов было определено, что величина Джоулевого тепла намного меньше, чем тепло выделяемое на основе эффекта Пельтье.



**Рис.6. Фотовольт-амперная характеристика полученных структур при  $T=80$  К в различных условиях. 1- при ширины поверхностного слоя  $70 \div 75$  мкм структур  $p^+ - Si < Mn > -p^+$ ; 2- ВАХ  $p^+ - Si < Mn > -p^+$  при темновой состоянии; 3- при ширины поверхностного слоя  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  структур  $1500$  мкм и прямом включении; 4-  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  структур  $5000$  мкм при ширины поверхностного слоя и прямом включении; 5-  $p^+ - Si < Mn > -Mn$  структур при ширины поверхностного слоя  $5000$  мкм и в обратном включении, здесь  $p^+$ -означает высших силицидов марганца типа  $Mn_4Si_7$ .**

диффузии в кремнии из газовой фазы переходит из тонкого оксидного слоя кремния и образует высший силицид марганца. Для образования высших силицидов марганца концентрация примесных атомов марганца должна быть равна или близка к максимальной растворимости в кремнии. Из литературных данных известно, что максимальная растворимость примесных атомов марганца составляет  $N_{Mn} = 10^{15} \div 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при температурном интервале  $T = 1000 \div 1200^\circ\text{C}$ .

Концентрация примесных атомов марганца в кремнии при диффузии через слой оксида кремния достигается до  $N_{Mn} = 10^{13} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$  это в два – три раза меньше, чем максимальная растворимость в кремнии. Результаты удержания примесных атомов марганца в оксидном слое кремния ( $Si - SiO_2$ ) не формируют слой высшего силицида марганца. Примесные атомы марганца, которые переходят через оксидный слой кремния из-за большого значения коэффициента диффузии быстро распределяются в объеме кремния.

Исследования ВАХ полученных структур при освещении монохроматическим освещением с энергией фотонов, которые равны или больше чем ширина запрещенной зоны кремния ( $h\nu \geq E_g$ ) появляется второй участок. Установлено, что исследование ВАХ при напряженности приложенного поля до  $U = 1 \text{ V}$  не зависимо от освещения или темноты не

Установлено, что при выделении Джоулевого тепла температура исследованных структур нагревается на тысячную долю градуса ( $\Delta T = 0,001 \text{ K}$ ) после чего температура структур фактически не меняется. Поэтому предложенные величины напряжения имеют следующие соотношения  $U_1 \ll U_2$ , что при теоретических расчетах проведенных в дальнейшем можно рассматривать  $U_1 \approx U_2$ . Поэтому в дальнейших расчетах было только учтено напряжение, которое образуется при выделении тепла Пельтье. Для исследования были выбраны геометрические размеры подложки кремния четырехугольной формы толщиной  $t = 1 \text{ мм}$ , шириной  $a = 2 \text{ мм}$  и длиной  $b = 7 \text{ мм}$ .

Из результатов исследования установлено, что примесные атомы марганца при легировании методом

наблюдается разность между этими измерениями. При напряжении  $U \geq 2 \text{ V}$  разница между результатами ВАХ, полученные в темноте и освещении увеличивалась, и отношение этих результатов составляло больше чем в сто (100) раз.

В процессе исследования установлено, что когда значения фототока будет  $J_{\phi} \geq 4 \cdot 10^{-3} \text{ mA}$  наблюдается нагрев структур. Когда значения фототока достигается  $J_{\phi} \geq 10^{-2} \text{ A}$  границы структуры  $\text{Mn}_4\text{Si}_7 - \text{Si} < \text{Mn} >$  нагреваются достаточно сильно. Изменение полярности приложенного постоянного тока нагрев переходит в противоположную сторону, т.е. нагрев наблюдается в левой части структуры  $\text{Si} < \text{Mn} > - \text{Mn}_4\text{Si}_7$ .

Значение тока в структурах  $\text{Mn}_4\text{Si}_7 - \text{Si} < \text{Mn} > - \text{Mn}_4\text{Si}_7$  при темноте зависят от приложенного напряжения, при низких температурах разницы между полученными результатами исследования при освещении монохроматическим излучением и интегральным светом фактически не наблюдается. Такое состояние наблюдается во всех исследованных структурах, когда значения фототока будет равно или меньше чем  $J_{\phi} \leq 10^{-2} \text{ A}$ .

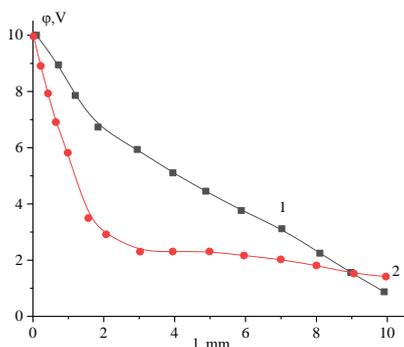


Рис.7. Распределение внешнего напряжения приложенного на структуры ВСМ –  $\text{Si} < \text{Mn} > - \text{M}$ . 1 – при  $T = 300 \text{ K}$ , 2 - при  $T = 80 \text{ K}$ , освещенного монохроматическим излучением  $h\nu > E_g$ .

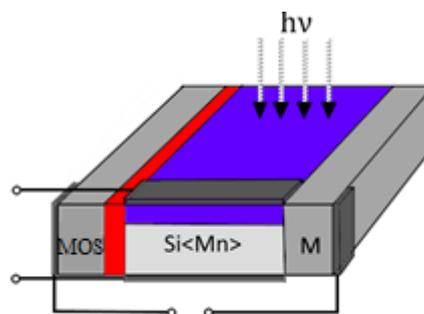


Рис.8. Внешний вид экспериментально исследованной структуры при температуре  $T = 80 \text{ K}$  и освещении монохроматическим светом  $h\nu \geq E_g$ .

Исследования полученных структур при низких температурах ( $T = 80 \text{ K}$ ) показало, что базовое сопротивление и концентрация носителей тока (дырки) будет достаточно большой. Исследование распределения внешней напряженности поля на базе полученных структур  $\text{Mn}_4\text{Si}_7 - \text{Si} < \text{Mn} > - \text{Mn}_4\text{Si}_7$ , показало, что основное падения напряжения происходит между границами высший силицид марганец – кремний. На основе полученных результатов было установлено, что между границей высший силицид марганца – кремний образуется фотопроводящий слой с меньшим сопротивлением (рис. 7. и рис. 8).

На основе полученных научных результатов на кафедре «Цифровая электроника и микроэлектроника» в лабораторных условиях были созданы термобатареи на основе высший силицид марганец-кремний. Испытания разработанной термобатареи показали, что они отличаются от существующих по комфортабельности, технологии, малой потребляемой энергией,

возможностью применения в современной планарной кремниевой технологии, использования в качестве исходного материала промышленного низкомного кремния марки КДБ-10 и эффективности преобразования которые позволяют создать различные виды термобатарей на основе высших силицидов марганца полученных на поверхности кремния. Также показаны возможности использования таких термобатарей в различных областях электроники и народного хозяйства.

В конце диссертационной работы показана возможность создания фотоприемников ИК излучения на основе высших силицидов марганца, полученные на поверхности монокристаллического кремнии. Установлено, что параметры фотоприемников ИК излучения, созданные на основе силицидов, имеют определенные преимущества по сравнению с существующими (таблица-2).

Информация о параметрах существующих термобатарей с термобатареями на основе высших силицидов марганца.

Таблица 2

Термоэлектрические батареи	Максимальное напряжение, $U$	Максимальная сила тока, $I$	Диапазон рабочих температур, $T$ , °C	Размер	Мощность
SP 1848-27145	4,8 V	669 mA	30 ÷ 150°C	40 × 40 mm <sup>2</sup>	3,4 W
TEGI-241-14-12	11,5 V	610 mA	0 ÷ 120°C	54,5 × 54,5 mm <sup>2</sup>	70 W
TEGI-12706	12 V	4,2 A	30 ÷ 100°C	40 × 40 mm <sup>2</sup>	53 W
TEGI-12703	12 V	2,5 A	30 ÷ 100°C	30 × 30 mm <sup>2</sup>	35 W
$Mn_4Si_7 - Si$ < Mn > - $Mn_4Si_7$	100 ÷ 400 mV	20 ÷ 40mA	-180 ÷ 350°C; -180 ÷ 1000°C	4 × 8 mm <sup>2</sup>	Создан в лаборатории. 3 ÷ 48 W

Создан в лабораторных условиях фотоприемник ИК излучения на основе высших силицидов марганца, полученных методом газо-фазовой диффузии примесных атомов марганца в кремний.

На основе полученных научных результатов показана возможность создания фотоприемников теплового и ИК излучения с высокой спектральной чувствительностью, работающие при комнатной температуре, с малой инерционностью и себестоимостью, хорошей механической прочностью. Показано, что такие чувствительные фотоприемники ИК излучения могут быстро и эффективно переобрабатывать и передавать информацию.

Термобатареи на основе структур высший силицид марганец – кремний, преобладающие высоким коэффициентом преобразования тепла к электрическому напряжению, дает возможность создания эффективных термобатарей, отличающихся простой технологией получения от существующих термобатарей на основе других полупроводниковых материалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследовательских работ по теме диссертации определены следующие научные результаты:

1. Впервые определены термодинамические условия и технологические режимы, ( $T = 950 \div 1200^\circ\text{C}$ ,  $t = 0,5 - 2$  ч и давления пиров примесных атомов марганца) позволяющие управлять концентрацией примесных атомов марганца в пленках высших силицидов марганца, полученного на поверхности монокристаллического кремния.

2. Управляя концентрацией атомов марганца, а также толщиной и кристаллической структурой силицида марганца были получены структуры  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  с различными удельными сопротивлениями базы.

3. Определены закономерности изменения элементного состава и топологии полученных высших силицидов марганца в зависимости от температуры и времени диффузии, а также дополнительного термоотжига.

4. Впервые установлено, что термоэлектрическое напряжение появляется в широком интервале длины волны  $\lambda = 0,2 \div 20$  мкм ( $h\nu = 6,2 - 0,62$  эВ) монохроматического излучения и при длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм переобразование температуры в напряженность достигает максимального значения и будет находиться в интервале  $S = 500 \div 2000$  мкВ/Вт с коэффициентом преобразования  $\alpha = 360$  мкВ/К с быстротой  $\tau \leq 10^{-9}$  с.

5. Показано, что при воздействии ИК излучения на границе между высшим силицидом марганца и кремнием в интервале энергией фотонов ( $h\nu = 0,62 \div 6,2$  эВ) и в температурном диапазоне  $T = 77 \div 900$  К величина образованных термоэлектрических напряжений сохраняет свое значение.

6. Впервые научно обоснован физический механизм роста структур  $Mn_4Si_7 - Si < Mn >$  высших силицидов марганца на поверхности монокристаллического кремния.

7. Показана возможность создания преобразователей тепла в электрическое напряжение, т.е. эффективных термобатарей и высокочувствительных фотоприемников ИК излучения на основе высших силицидов марганца на поверхности монокристаллического кремния.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 ON AWARDING  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE NAMANGAN INSTITUTE OF  
ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

---

**KOKAND STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE  
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**KURBONALIEV KOBILJON KOSIMJON OGLI**

**ELECTROPHYSICAL AND PHOTOTHERMAL PROPERTIES OF HIGHER  
MANGANESE SILICIDES ON THE SILICON SURFACE**

**01.04.10 – Physics of semiconductors**

**ABSTRACT OF DISSERTATION DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

**Namangan-2024**

**The topic of the dissertation Doctor of Philosophy (PhD) in physical and mathematical sciences is registered by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under No. B2023.4.PhD/FM986.**

The dissertation was completed at the Kokand State Pedagogical Institute and Tashkent State Technical University. The abstract of the dissertation is available in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the website Of the Scientific Council ([www.nammti.uz](http://www.nammti.uz)) and on the Information and Educational portal "ZiyoNet" ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Husanov Akhmadjon Zhurraevich**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

**Official opponents:**

**Dadamirzayev Mukhammadjan Ghulomqodirovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Arzikulov Eshkuvat Ulashevich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**Leading organization:**

**Karakalpak State University**

The defense of the dissertation will be held at 10<sup>00</sup> on "22" june 2024 at the meeting of Scientific Council PhD.03/30.11.2022.FM/T.66.04 at the Namangan institute of Engineering and Technology. (Adress: 160115, Namangan city, Kasansay Str. 7, administrative building, small conference hall, tel. (+99869)228-76-68, 225-10-07, Fax: (+99869) 228-76-75. e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz))

You can get acquainted with the dissertation work at the Information Resource Center of the Namangan Institute of Engineering and Technology (registration number No. 291). Address: 160115, Namangan city, Kasansay Str.7, tel. (+99869) 228-76-68; Fax: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz)

The abstract of the dissertation was sent on "12" june, 2024.  
(mailing protocol No. 13 on "12" june 2024)

**U. I. Erkaboev,**

Chairman of the Scientific Council on award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**A. A. Abdukarimov,**

Scientific Secretary of the Scientific Council on award of scientific degrees, PhD

**N. Yu. Sharibaev,**

Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council for the award of scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work.** Manganese consists in the creation of a repeatable technology for obtaining a higher silicon – silicon structure, as well as the electrophysical and photothermal study of the thermobatareas on which they are based.

**The object of the research** Monocrystalline silicon surface grown by the Czochralski method selected manganese high silicon.

**The subjects of the research** it consists in studying the electrophysical and photothermal properties of manganese high silicon, formed on the surface of monocrystalline silicon, which is legitimized by manganese atoms, and the thermoelectric conducting voltage generated.

**The scientific novelty of the research is as follows:**

for the first time, the ability to control the concentration of manganese input atoms in manganese high silicon, grown on the surface of monocrystalline silicon, by changing the diffusion time ( $t = 0,5 - 2$  hours and temperature  $T = 950 \div 1200^\circ\text{C}$ );

higher silicon atom in the surface layer marganes silitsidi marganes monokristall, the amount of the thickness of the layer of crystalline structure in managing the condition and silitsid for the first time  $Mn_4Si_7 - Si < Mn > - Mn_4Si_7$  made towards technology which balances the structure of atom diffusion vakuumda created to get through repeat for marganes;

for the first time, the thermo thermoelectric voltage value of manganese high silicide obtained on silicon surface was found to be high and stable (constant) in the range of IR beams  $\lambda = 0,2 \div 20\text{mkm}$  ( $h\nu = 6,2 \div 0,62\text{ eV}$ ) wavelengths, with a temperature conversion factor of electric voltage at wavelengths  $\lambda = 10,6\text{ mkm}$   $\mu\text{m}$  in the largest  $S = 500 \div 2000\text{ mkV/W}$  value range, and the mean value of Thermo thermoelectric voltage coefficient  $a=360\text{ mkV/K}$ ;

for the first time, when the electrophysical parameters of manganese high silicon were studied in the range of wide temperature  $T = 77 \div 900\text{K}$ , it was determined from theoretical calculations that the average value of the thermoelectric-conducting voltage coefficient would be  $a \approx 360\text{ mkV/K}$ ;

a physical mechanism for the formation of manganese high silicide has been proposed when manganese diffuses entry atoms on the silicon surface;

the possibilities of creating thermobatareas with a high efficiency of converting temperature to electric current, as well as infrared light photovoltaic cells with a high sensitivity, based on the manganese high silicide formed on the surface of monocrystalline silicon, were shown on the basis of the results of studies.

**The validity of the research results** One of the modern methods of measurement and analysis – based on the independent application of one, the results of the measured experiment and the corresponding sizes from theoretical calculations with the results of scientific research by mutual and other authors, as well as the analysis of experiments, the physical mechanism proposed in the growth of manganese high silicon on the surface of silicon is explained on the basis of scientific understanding and.

**Approbation of the research results.** The results of the dissertation work were reported and discussed at 6 international and 3 Republican-wide scientific conferences

**Publication of the research results.** On materials of the dissertation published 16 scientific works, 7 articles in the journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of dissertation works, 1 articles in foreign international refereed Scopus journals and 1 certificate for computer programs, in materials.

**The structure and scope of the work.** The thesis consists of an introduction, 4 chapters, a conclusion, and a list of references. The text of the thesis is presented 120 pages including 30 figures and 9 tables.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть, part I)**

1. Zikrillaev N.F., Khusanov A.J., **Kurbonaliev K.K.** Properties of “Higher Manganese Silicide-Silicon” Heterostructure // *East European Journal of Physics*. 2023. Vol.3. pp. 291-295. (№3, Scopus. IF: 0.8, Q4; <https://www.scopus.com/sourceid/21101018929>).
2. Zikrillaev N.F., Saitov E.B., Khusanov A.J., **Kurbonaliev K.K.**, Tursunov O.B. Features Of Self-Oscillatory Processes In A Strongly Compensated Silicon With Nanoclusters Of Impurity Atoms // *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 2021. Vol.8. №1. pp.935-939. (01.00.00. №35).
3. Зикриллаев Н.Ф., Турсунов О.Б., Шоабдурахимова М.М., **Курбоналиев К.К.** Фотоэлектрические свойства варизонных структур на основе кремния с нанокластерами примесных атомов Zn и Se // *Физика полупроводников и микроэлектроника*. 2020. том 2. вып. 2. С. 15-19. (01.00.00. №16).
4. Zikrillaev N.F., Khusanov A.J., **Kurbonaliev K.K.** Features of the temperature dependence of the photoconductivity of the base of  $Mn_4Si_7 - Si_{<Mn>} - Mn_4Si_7$  structures // *Texas Journal of Engineering and Technology*. 2022. Vol. 11. pp. 44 – 47. (01.00.00. №35).
5. Зикриллаев Н.Ф., Камиллов Т.С., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.** Изучение элементного состава и структуры высших силицидов марганца // *Физика полупроводников и микроэлектроника*. 2021. том 3. вып. 5. С. 25-30. (01.00.00. №16).
6. Zikrillayev N.F., Xusanov A.J., **Kurbonaliev K.K.**, Urakova F.E., Shoabduraximova M.M. Marganes oliy silitsidi asosida samaradorligi yuqori termobataryalarni yaratish imkoniyatlari// *FAN va JAMIYAT*. 2022. № 4. 20 – 22 bet. (01.00.00. №15)
7. Zikrillayev N.F., Shoabduraximova M.M., Kamilov T.S., Khusanov A.Zh., **Kurbonaliev K.K.**, Norkulov N., Saitov E.B. Obtaining manganese silicide films on a silicon substrate by the diffusion method // *Physical Sciences and Technology*. 2022. Volume 9. Issue 2. pp. 89 – 93. (01.00.00. № 35)

**II bo'lim (II часть; part II)**

8. Zikrillayev N.F., Ayupov K.S., Shoabduraximova M.M., **Qurbonaliev Q.Q.** Sirtiga bor atomlari o'tkazilgan kremniyga marganes kirishma atomlari diffuziyasining taqsimotini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. № **DGU 17076**. 23.06.2022
9. Зикриллаев Н.Ф., Сайтов Э.Б., Ботиров Б.М., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.** // Технология формирования кластеров примесных атомов в кремнии. Республиканская конференция по физической электронике и фотонике, Ташкент – 2019 г. С. 176 – 177.
10. Зикриллаев Н.Ф., Сайтов Э.Б., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.**, Тураев

- Ф., Шодиева Н. // Технология формирования кластеров германия в монокристаллического кремния. Республиканская научно-техническая конференция “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии”, Ташкент – 2019 г. С. 346 – 348.
11. Зикриллаев Н.Ф., Камилов Т.С., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.**, Вахобов К.И., Турсунов О.Б. // Электрофизические свойства плёнок высшие силицида марганца в кремний. Фотоэнергетикада наноструктурали яримўтказгичлар, II халқаро илмий анжуман, Ташкент – 2021 г. С. 265 - 270.
  12. Зикриллаев Н.Ф., Аюпов К.С., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.**, Сайтов Э.Б. // Инжекционные автоколебания тока в структурах  $p - p(Si < Mn > - p^+$  на базе кремния легированного примесными атомами марганца. Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы. Сборник материалов международной онлайн конференции, Ташкент – 2020 г. С. 130 – 134.
  13. Зикриллаев Н.Ф., Хусанов А.Ж., **Курбоналиев К.К.** // Марганец олий силициди пардаси билан марганец киришмали кремний контакти асосидаги тузилмаларда электр ва фотоэлектр ходисалар тадқиқоти. Тенденции развития физики конденсированных сред. Международной научной конференции, Фергана 2021 г. С. 201 – 204.
  14. Ибодуллаев Ш.Н, Насриддинов С.С., Маннонов М.И., **Курбоналиев К.К.** // Возможности создания люксметра фоторезисторной структуры на основе кремния с наноструктурами. Фотоэнергетикада наноструктурали яримўтказгичлар, II халқаро илмий анжуман, Тошкент - 2021. С. 393-394.
  15. Зикриллаев Н.Ф., Шоабдурахимова М.М., **Курбоналиев К.К.** // Влияние концентраций исходных примесных атомов в кремнии на концентрацию электроактивных атомов диффузионно легированных примесей. Проблемы фотоники и перспективы развития, Материалы республиканской научно – практической конференции Ургенч – 2022. г. С. 280 – 283.
  16. Xusanov A.J., **Qurbonaliyev Q.Q.**, Vaxobov Q. // Marganes kirishma atomlarini kremniy monokristaliga gaz holatidan diffuziya qilgandagi taqsimoti. Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo‘tkazgich materiallar. III xalqaro ilmiy anjumani ma’ruzalar to‘plami. Toshkent 24 – 25 - noyabr 2022 y. 398 – 400 bet.
  17. Kamilov T.S., Xusanov A.J., **Qurbonaliyev Q.Q.**// Marganes oliy silitsidining elektrofizik xususiyalariga taglik kremniyning ta’siri. Fotoenergetikada nanostrukturali yarimo‘tkazgich materiallar. III xalqaro ilmiy anjumani ma’ruzalar to‘plami. Toshkent 24 – 25 - noyabr 2022 y. 209 – 210 bet.

Avtoreferat Namangan shahar “Usmon Nosir Media” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi (10.06.2024).

Bosishga ruxsat etildi 11.06.2024-y.  
Bichimi 60X84 1/16, “Times New Roman”  
Garniturada raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tobog‘i 3. Adadi: 100. Buyurtma: № 17

---

“ FAZILAT ORGTEX SERVIS”  
hususiy korxonasi bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Namangan sh. Amir Temur ko‘chasi 97 uy.  
Tel: (+998) 91-346-44-43, (+998) 99-608-69-44





