

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM
VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMLI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
MAGISTRATURA BO‘LIMI**

**Qo‘lyozma huquqida
UDK 621. 315**

SAIDAXMEDOV SHAXZOD ABDUMANNOPOVICH

**NANOKLASTERLI KREMNIY ASOSIDA FOTOELEMENT
TAYYORLASH TEXNOLOGIYASINI YARATISH VA UNING
ASOSIY PARAMETRLARINI TADQIQ QILISH**

5A310801 – Elektronika va elektron texnikasi (fizikaviy elektronika)

**Magistr
akademik darajasini olish uchun yozilgan
dissertatsiya**

Ilmiy raxbar

f-m.f.d. prof. M. K. Bahodirhonov

TOSHKENT - 2017

**NANOKLASTERLI KREMNIY ASOSIDA FOTOELEMENT
TAYYORLASH TEXNOLOGIYASINI YARATISH VA UNING ASOSIY
PARAMETRLARINI TADQIQ QILISH**

MUNDARIJA

4

Kirish.

I bob. Fotoelementlar va ularning asosiy parametrlari

- 1.1 Quyosh va uning energiyasi
- 1.2 Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishning fizik asoslari
- 1.3 Fotoelementlar va ularning turlari
- 1.4 Fotoelementlarning asosiy parametrlari

II bob. Kremniy va unda nanoklasterlar olish texnologiyasi

- 2.1 Kremniy materiali va unga ishlov berish usullari
- 2.2 Nanoklasterlar va ularning olish texnologiyasi
- 2.3 Kremniyga VI guruh elementlarini diffuziya qilish texnologiyasi
- 2.4 Kremniy materialida nanoklasterlar hosil qilish
- 2.5 Nanoklasterlarni o'rganish usullari va ularning asosiy material xossalariga ta'siri

III bob. Kremniy asosida nanoklasterli fotoelementlarni laboratoriya variantini yaratish texnologiyasi.

- 3.1 Diffuziya usuli bilan klasterlar hosil qilish, past haroratli diffuziya texnologiyasi.
- 3.2 Fotoelementning foydali ish koeffitsientiga ta'sir etuvchi omillar.
- 3.3 Termolizatsiya effekti va uni oldini olish.

IV bob. Kremniy asosida nanoklasterli fotoelementlarni laboratoriya variantini parametrlarini o'lchash va tahlil etish

- 4.1 Fotoelement tuzilmalariga omik kontaktlar olish texnologiyasi
- 4.2 p-n o'tishning volt amper tasnifi
- 4.3 Fotoelementning foydali ish koeffitsientini hisoblash
- 4.4

Xulosa

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

KIRISH

Mamlakatimizda inson manfaatlari oliy qadriyat deb qaralayotgan bir davrda ijtimoiy – iqtisodiy sohani taraqqiy ettirish, iqtisodiyotni barqaror sur'atlar bilan rivojlantirish, bugungi kun talablariga javob bera oladigan ishlab chiqarish jarayonlarni tashkil etish, yaqin kelajakda barcha sohadagi amalga oshirilishi rejalashtirilayotgan islohotlar izchilligini ta'minlashda energetika tizimining o'рни va salmog'i o'ta muhim hisoblanadi. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti SH.M.Mirziyoevning 2017 yil 7 fevraldagi "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi PF-4947-sonli Farmoni bilan tasdiqlangan "2017-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar Strategiyasi"da iqtisodiyotda energiya hamda resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish, iqtisodiyot tarmoqlarida mehnat unumdorligini oshirish masalalari ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Mamlakatimiz energiya xavfsizligini ta'minlashda, energiya ta'minoti tizimlarida innovatsion texnologiyalarni joriy etgan holda, mamlakatimizning kelajakdagi istiqbolli energiya ta'minoti hisoblangan ekologik toza muqobil energiya manbalaridan foydalanish darajasini oshirish, ushbu manbalar hisobida ishlaydigan qurilmalarni takomillashtirish mamlakatimiz mustaqilligini mustahkamlashda poydevor bo'lib xizmat qilishi bilan bir qatorda bugungi kunning dolzarb masalalaridan biri hisolanadi.

Muqobil energiya manbalaridan keng foydalanish har bir mamlakatning ustuvor maqsadlari hamda energetika havfsizligi vazifalariga muvofiq keladi va energetika sohasining jadal rivojlanayotgan yo'nalishlaridan hisoblanadi. Iqtisodiy taraqqiy etgan va rivojlanib borayotgan mamlakatlarda uglevodorod xomashyosini jahon miqyosidagi zahirolari kamayib borayotgan sharoitda iqtisodiyotning barqaror rivojlanishi va raqobatbardoshligini oshirishning eng muhim omili sifatida muqobil energiya manbalaridan amalda foydalanish

bo'yicha islanmalar jadal sur'atlar bilan olib borilmoqda. O'zbekistonda muqobil energiya manbalaridan, eng avvalo quyosh energiyasidan foydalanish sohasida ilmiy va eksperimental tadqiqotlar olib borish borasida salmoqli tajriba to'plangan bo'lib, ular yuzasidan bir qancha o'n yillar mobaynida islanmalar olib borilmoqda.

2013 yil 1 martda O'zbekiston Respublikasi birinchi Prezidentining PF-4512-sonli "Muqobil energiya manbalarini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoni qabul qilindi. Ushbu Farmonga muvofiq Toshkentda xalqaro quyosh instituti, Navoiyda fotoelektrik panellar ishlab chiqarish, Samarqandda 100 MVt quvvatli quyosh fotoelektrik stansiyasini ishga tushirish kabi ustivor vazifalar belgilandi. Farmonda belgilangan vazifalarni amalga oshirish natijasida quyosh va biogaz energiyasidan foydalanishni yanada samarali usullarini va texnologiyalarini ishlab chiqish, amaliyotga qo'llash uchun ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish hamda zamonaviy moddiy-texnik bazani yaratish bo'yicha imkoniyatlar yaratilmoqda. Respublikamizda quyosh elektr stansiyalarini qurish ishlari bo'yicha dastlabki qadamlar tashlandi. Masalan, Namangan viloyatining Pop tumanida 130 kilovatt quvvatga ega bo'lgan, Buxoroda esa 1,2 megavatt quvvatli quyosh fotoelektr stansiyalari ishga tushirildi va hozir bu loyihalar sinovdan o'tkazilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2011 yil 20 maydagi "Oliy ta'lim muassasalarining moddiy-texnik bazasini mustahkamlash va yuqori malakali mutaxassislar tayyorlash sifatini tubdan yaxshilash chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-1533-sonli Qarorida belgilangan vazifalari ijrosini ta'minlash va universitetda o'quv, o'quv-uslubiy va ilmiy-tadqiqot ishlari samaradiligini oshirish, ilmiy-tadqiqot natijalaridan foydalanish va o'zaro ilmiy hamkorlik mexanizmini yanada takomillashtirish maqsadida Toshkent davlat texnika universiteti, O'zbekiston Milliy universiteti, O'zR FA "Fizika – Quyosh" IICHB, Fizika-texnika instituti, "Energetika va avtomatika" instituti qoshida kadrlar tayyorlash, o'quv va ilmiy-tadqiqot ishlari samaradorligini oshirish, ilmiy-tadqiqot natijalaridan foydalanish, o'qituvchilar va ilmiy xodimlar

malakasini oshirishni tashkil etish hamda ularning faoliyatini muvofiqlashtirish maqsadida «O‘quv-ilmiy kompleks» tashkil etildi.

O‘tkazilayotgan ilmiy-tadqiqotlarning natijalari mamlakat iqtisodiyotining turli tarmoq va sohalarida amalda eksperimental ravishda keng ko‘lamda qo‘llanilmoqda. Respublikada quyosh energiyasi bilan suv isitadigan qurilmalar asosida uy-joylar va ijtimoiy ob‘ektlarni issiq suv bilan ta‘minlash tizimlari ishlab chiqilmoqda va ulardan tajriba tariqasida foydalanilmoqda. Toshkent shahrida, Samarqand viloyati va boshqa mintaqalarda issiq suv olish uchun gelioqurilmalar o‘rnatilgan. Turli quvvatlardagi fotoelektrik qurilmalarni ishlab chiqarish o‘zlashtirilgan. Ko‘plab oliy o‘quv yurtlari va kasb-hunar kollejlari mazkur soha uchun malakali kadrlar tayyorlab kelinmoqda. Mazkur hamkorlik asosida universitetda O‘zbekiston Respublikasi FA “Fizika-Quyosh” ICHB Fizika-texnika instituti, Xalqaro Quyosh energiyasi instituti, Energetika va avtomatika instituti, Toshkent davlat texnika universitetining olimlari va mutaxassislar noan‘anaviy va qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan samarali foydalanish yo‘nalishida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Jumladan Toshkent davlat texnika universitetining “Raqamli elektronika va mikroelektronika” kafedrasida muqobil energiyadan manbalaridan foydalanish bo‘yicha olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlarida prof. Baxodirxanovlar rahbarligida amaliy va fundamental tadqiqotlar doirasida grantlar bajarilmoqda. Ushbu amaliy tadqiqotlarga iqtidorli talabalar va magistrantlar ham jalb etilib, natijalari bo‘yicha universitetda oxirgi uch yilda 4 ta ilmiy monografiya, 100 dan ortiq ilmiy maqolalar chop qilindi, 10 ta ilmiy ixtiro uchun talabnomalar berildi. An‘anaviy tarzda o‘tkazib kelinayotgan Respublika innovatsion g‘oyalar, ishlanmalar va loyihalar yarmarkasiga 10 dan ortiq innovatsion loyihalari bilan ishtirok etdilar. Ushbu dissertatsiya ishida energiya tejamkor, muqobil energiya manbalari hisobida ishlovchi energiya samarador texnologiyalarni va innovatsion loyihalarni ishlab chiqish hamda amaliyotga tatbiq etish, fan-ta‘lim-ishlab chiqarish o‘rtasidagi innovatsion korporativ hamkorlikni rivojlantirish va energetika sohasida malakali ilmiy va ilmiy-

pedagog kadrlar tayyorlash borasidagi olib borilayotgan ilmiy, ilmiy-uslubiy tadqiqotlar natijalarini bir qismi sifatida fotoenergetika, xususan fotoelementlarning yangi avlodi uchun nanoklasterli materiallar taklif qilinadi va uning dastlabki tekshirish va o'lchash natijalari muhokama qilinadi.

Mavzuning dolzarbligi:

Ayni paytda muqobil energiyadan foydalanishni rivojlantirish alohida davlat dasturi doirasidagona emas, balki shu yurtdagi etakchi olimlar, ilmiy-izlanuvchilar, muhandislar bilan bir qatorda iqtidorli talabalar o'tsidagi targ'bot sifatida umumshakl olgan bo'lishi darkor. Zero u butun dunyoda rivojlanibgina qolmay, hali ochilmagan bir qator muammolari bilan ham dolzarbdir. Mamlakatimizdagi yoqilg'i-energetika resurslarini tejashga, tabiiy yoqilg'ilardan samarali va oqilona foydalanishga hamda muqobil energiya manbalaridan foydalanishni rivojlantirishga, xususan Quyosh energiyasidan oqilona foydalanish hamda shu sohada ishlatilayotgan yangi tur materiallarning yaratish va ishlab chiqish shuningdek ishlab chiqarilayotgan quyosh elementlarining foydali ish koeffitsientini oshirishga qaratilgan. Shu nuqtai nazardan mazkur magistrlik dissertatsiya ishida nanoklaster asosida quyosh elementlarini yaratish imkonini beruvchi texnologiyalarni yaratish va uning xossalarini o'rganish muxim vazifalardan biridir.

Magistrlik dissertatsiyasining maqsad va vazifalari:

- Kremniy elementiga belgilangan termodinamik sharoitlarda "past haroratli" va an'anaviy diffuzziya usuli bilan kirishma kiritish klasterlarni uning hajmi va yuzasida klasterlar hosil qilish.
- Asosiy taglik material sifatida eng ko'p tarqalgan (yer yuzida 28%) yarim o'tkazgich materialli kremniy (Si) elementidan foydalanish
- Shu davrgacha Si da klaster sifatida to'liq organilmagan VI guruh elemetlarini sera (S), selen (Se) va tellur (Te) atomlari klasterlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish.

- Si yuzasi va hajmida yuqori konsentrasiyalı klasterlar hosil qilish va uning optik parameterlarini o'lchash hamda tahlil etish.
- Nanoklaster asosidagi fotoelementning parametrlarini o'lchash va tahlil qilish.

Mavzuning muammoli tomonlari va tekshirish o'bekti:

Fotoelement tayyorlash jarayoni murakkab va turli xil funksiyalarga ega bo'lib, bir qancha muammolarga uchrab qolinadi. Jarayonlarni ketma-ketlikda olib borish va yuqori aniqlik darajasida natijalarni tahlil qilib borishni talab qiladi. O'lchash jarayonlaridagi muammolarning qisqacha mazmuni keltirilgan.

- Tashqi ta'sirlarning har doim mavjudligi (harorat, bosim, ortiqcha chang zararlari)
- O'lchanayotgan parametrlarning bir - biriga bog'liqligi, kichik va o'ta kichik birliklarda hisob kitoblarni olib borilishi.
- Foydalanilayotgan qurilmalar eskirganligi yoki yuqori aniqlik darajasida emasligi nazarda tutiladi.

Tadqiqotning amaliy qo'llanishi:

Dissertatsiya ishining amaliy natijalari

- An'anaviy fotoelementlar bor (B) yoki fosfor (P) elementi orqali p – n o'tishlar hosil qilinib kelingan. Ularning foydali ish ko'ffisienti oshirish imkoniyatlari cheklangan.
- Rivojlanib borayotgan yarim o'tkazgichlar fizikasi elementlaridan foydalanib, Si ga VI guruh kirishma atomlarini kiritib, klasterlarni hosil qilish imkoniyati yaratildi.
- Fotoelementning infraqizil nur (IQ) sohasida ham mumkinligi amalda yo'lga qo'yildi. Bu bilan foydali ish ko'ffisientini (FIK) oshirish, tannarxini arzonlashtirish, energiya bo'lgan talabni qisman qondirish imkoniyatini beradi.
- Kremniy monokristalida nano o'lchamli Se yoki Te atomlari klasterlarini hosil qilish fototok tashuvchilarni generatsiyalovchi quyosh spektrlarining

infraqizil sohasidagi maksimal foydalanish imkonini beruvchi nanoklastarli fotoelementlar ishlab chiqish imkoni mavjudligi aniqlandi va tayyorlandi.

- Tadqiqotning amaliy natijalari keib chiqib nafaqat fotoenergetikada, balki nanoelektronika sohasida ham IQ o'ta sezgir datchiklar yaratish imkonini beradi.

Dissertatsiya ishining tarkibi:

- ✓ Magistrlik disertatsiya ishi kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlardan ro'yxatidan tashkil topgan.

- ✓ Kirish qismida mavzuning dolzarbligi, mavzuga qo'yilgan talablar, mavzuning muammoli tomonlari va uning amaliy qo'llanilishi haqida fikr yuritilgan.

- ✓ Magistrlik dissertatsiya ishining birinchi bobida fotoelementlar va ularning asosiy parametrlari haqida ma'lumotlar berilgan.

- ✓ Magistrlik dissertatsiya ishining ikkinchi bobida kremniy yarimo'tkazgich materiali va unda nanoklastarlar hosil qilish texnologiyasi haqida malumotlar keltirilgan.

- ✓ Magistrlik dissertatsiya ishining uchinchi bobida kremniy asosida nanoklastarli fotoelementlarni laboratoriya variantini yaratish texnologiyasi ko'rsatilgan.

- ✓ Magistrlik dissertatsiya ishining to'rtinchi bobida kremniy asosida nanoklastarli fotoelementlarni laboratoriya variantini parametrlarini o'lchash va tahlil etish haqida malumotlar berilgan.

- ✓ Magistrlik dissertatsiya ishining umumiy hajmi 77 varoqdan iborat matndan taskil topgan. Bu matnda 42 rasm, 2 grafik va 5 jadvalni tashkil qildi.

I bob. Fotoelementlar va ularning asosiy parametrlari

Quyosh va uning energiyasi

Quyosh – Quyosh tizimining markaziy jismi sifatida vodorod-geliy plazmasidan (qizigan plazma shar) tashkil topgan, o'z tortishish maydonida muvozanatda tutadigan ulkan shardir va bu tizimda yorug'lik, issiqlik va hayot manbaidir. Quyosh Yerga eng yaqin yulduz bo'lib, massasi bo'yicha Yerdan 332958, diametri bo'yicha 109 marta katta. O'rtacha zichligi $1,41 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (1-jadval). Yer Quyosh atrofida o'rtacha 29,5 km/sek tezlik bilan cho'ziq bo'lmagan el-lipsoid orbita bo'ylab harakatlanadi. Yerning Quyoshdan o'rtacha uzoqligi $149597870 \pm 1,6 \text{ km}$ (astronomik birlik); perigeliyda afeliyga qaraganda 5 mln. km kamroq. Quyosh sirtidagi tortilish kuchi tezlanishi $273,98 \text{ m/sek}^2$. Quyosh sirtidagi effektiv temperatura, uning to'la nurlanishi bo'yicha 5770 K ga teng. O'rtacha zichligi $1,41 \times 10^{11} \text{ kg/m}^3$ va sirtidagi harorat 5770 K. Quyosh sistemasidagi sayyoralar soni 8 ta bo'lib, u Galaktikamiz spiral tarmoqlaridan birida, Galaktika markazidan 10 kps (kiloparsek) masofada joylashgan. Quyosh Galaktika markazi atrofida 200 mln. yil davomida bir marta aylanib chiqadi. Yaqin yulduzlarga nisbatan Quyosh sekundiga 20 km tezlik bilan harakat qiladi.

1-jadval

Planetalar	Planeta-Er orasidagi o'rtacha masofa	Er sutkalarida yil davomiy-ligi	Quyosh davomiy-ligi	Quyosh nurlanishi oqimining zichligi Wt/sm^2
Merkuriy	$57.91 \cdot 10^6 \text{ km}$	88	6.67	903
Venera	$108.21 \cdot 10^6$	225	1.91	258.6
Er	$149.6 \cdot 10^6 \text{ km}$	365	1.00	135.5
Mars	$227.94 \cdot 10^6 \text{ km}$	687	0.4367	58.28
Yupiter	$778.3 \cdot 10^6 \text{ km}$	4333	0.037	5.0
Saturn	$1427 \cdot 10^6 \text{ km}$	10760	0.011	1.49

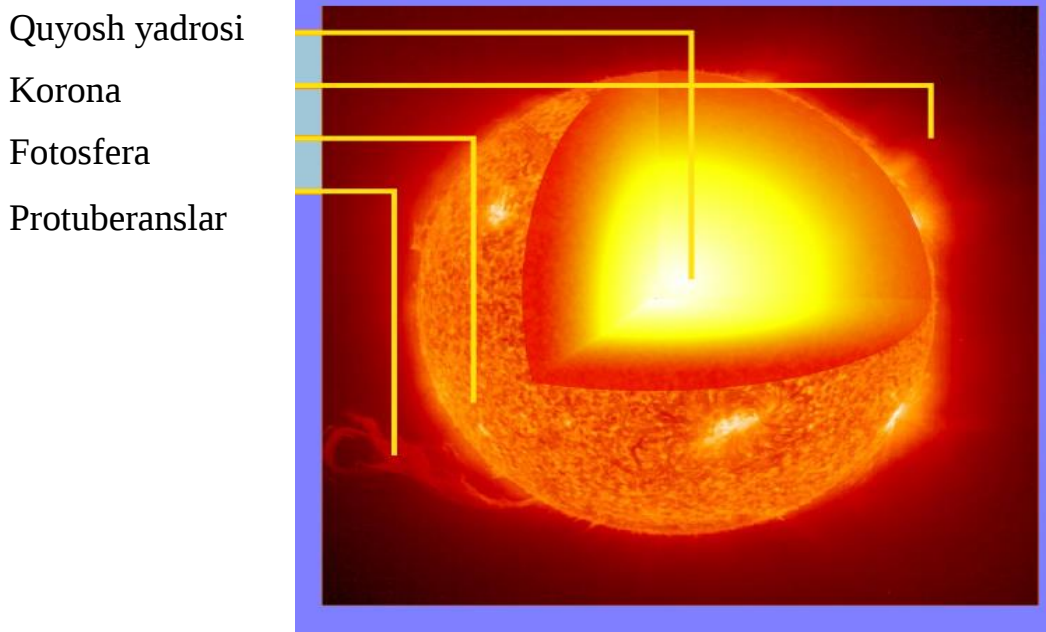
1940 yillar boshida Quyosh radioto'lqinlar manbai ekanligi aniqchandi. 1942 yilda shved olimi B.Edlen va boshqa olimlar Quyosh toji spektridagi bir

necha spektral chiziqni ko'p marta ionlangan kimyoviy elementlarning spektral chiziqlari ekanini aniqladi, shu bilan Quyosh tojining yuqori temperaturaga egaligini kashf etdi. XX asrning yarmida magnit gidrodinamika va plazma fizikasining rivojlanishi Quyosh fizikasining rivojlanishiga muhim turtki bo'ldi. Kosmik eraning boshlanishidan so'ng Quyoshning ultrabinafsha va rentgen nurlanishi raketalar, Yer sun'iy yo'ldoshlariga o'rnatilgan avtomatik orbital rasadxonalar, bortida kosmonavtlar bo'lgan kosmik laboratoriyalar yordamida o'rganilmoqsa.

Quyosh o'z o'qi atrofida yer singari muntazam sharqdan g'arbga tomon aylanadi. Aylanish tezligi Quyosh ekvatorida 2 km/sek bo'lib, qutblari tomon kamayib boradi. Ekvatorda aylanish davri 25, qutblari yaqinida esa 31 sutkaga teng. Quyoshning to'la nurlanishi Quyosh zenitda bo'lganda Yer sirtiga tushadigan yoritilganlik (100 ming lyuks) bo'yicha aniqlanadi. Yerning Quyoshdan o'rtacha masofasida, atmosferadan tashqaridagi yoritilganlik 127 ming lyuksni; Quyoshning yorug'lik kuchi 2,84-10²⁷ shamni tashkil qiladi. Quyoshning to'la nurlanish quvvati 3,83T026 Vt, undan Yerga taxminan 2T017Vt yetib keladi.

Quyosh osmonda burchak diametri o'rtacha 1919"26 ga teng disk singari ko'rinadi. Quyosh sirtining o'rtacha ravshanligi (Yer atmosferasidan tashqarida kuzatilganda) 1,98T09nt, Quyosh diskining markaziy qismlari ravshanligi 2,48T0CH nt ga teng. Quyosh diskida ravshanlikning markazidan chetga tomon kamayishi spektrning turli qismlari (to'lqin uzunliklari)da turlicha (1.1-rasm). Qisqa to'lqinlarda chetga tomon xiralashish uzun to'lqinlarga qaraganda kuchli. Quyosh diskining eng chetida ravshanlik bir sekund burchak ichida yuz marta kamayadi, shuning uchun Quyosh diski cheti juda aniq ko'rinadi. Ravshanlikning Quyosh diski markazidan chetga tomon kamayishi Quyosh atmosferaga egaligidan dalolat beradi. Quyoshni tekshirish asosan uning spektrini o'rganishga asoslangan. Quyosh spektri mingdan ortiq yutilish chiziqlari (Fraunhofer chiziqlari) bilan kesilgan tutash spektrdan iborat.

Quyosh spektrida energiyaning taqsimlanishi 6000°K gacha qizigan mutlaq qora jism spektrinigiga asosan mos keladi.



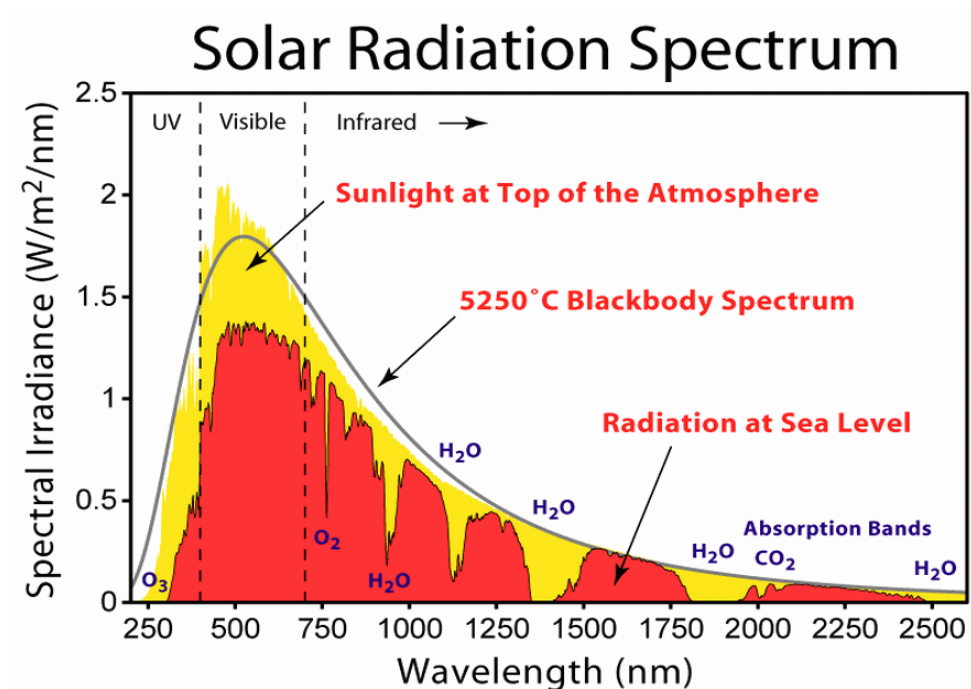
1.1. - rasm. Quyosh tuzilishi

Quyosh atmosferasi tabiatiga ko'ra, 3 ta asosiy qatlam, ya'ni eng pastki qatlam — fotosfera, o'rta qatlam — xromosfera va tashqi qatlam — quyosh tojidan iborat. Quyoshning qariyb barcha nurlanish energiyasi fotosferadan sochiladi. Fotosferaning modda zichligi $3\text{--}10 \sim 7\text{g/sm}^3$, fotosferada temperatura tashqi qatlamlarga o'ta borib kamayadi va uning o'rtacha qiymati taxminan 6000 K , fotosfera chegarasida deyarli 4200 K bo'ladi. Bosimi $2\text{--}10^4$ dan 10^2 N/m^2 gacha o'zgarib turadi. Fotosfera ostida qalinligi 200 ming km konvektiv zona joylashgan. U fotosferaga ta'sir etib turadi, natijada fotosferaning ravshanligi notekis donador (granula) tuzilishga ega va u o'zgarib turadi. Fotosfera granularining diametri $150\text{--}1000\text{ km}$, "yashash davri" $5\text{--}10\text{ min}$. Granulalarning ravshanligi o'rtacha fondan 10% ga ortiq. Fotosferada radial yo'nalishda kvazidavriy tebranishlar harakati topildi.

Milliardlab yil davomida Quyosh har soniyada ulkan energiyani tarqatadi. Quyoshni gigant termoyadro reaktoriga qiyoslash. mumkin. U mutlak kora qattiq jismga uxshab 6000°S haroratda energiyasipi nurlantiradi. Bu nurlanishning manbai termoyadro reaksiyasidir. Har soniyada taqriban $6 \cdot 10^{17}\text{ kg}$

vodorod Quyosh qa'rida geliyga aylanadi. Natijada massalar defekti $4 \cdot 10^3$ kg tent bo'lib, uning hisobiga $E=ts^2$ tenglamaga asosan ajralib chik,ayotgan energiya $4 \cdot 10^{20}$ Joulga tengdir. Yer yuzasiga kelib tushgan quyosh energisining 1/3 qismi yerdan qaytib ketadi va sayyoralar aro oraliqda sochiladi. Quyosh energiyasining qolgan qismi yer atmosferasini, okeanlar va quruqliklarni qizdirishga sarf bo'ladi. Ajralib chiqayotgan energiya asosan elektromagnit to'liqlar ko'rinishida bolib, nurlanishning asosiy qismi 0,2-3 mkm oraliqdadir. Quyosh uzluksiz 10 mlrd. yil davomida turishi mumkin.

Quyosh nurlanishining spektral tarkibi 0,1 mkmdan 30 metr to'liq uzunligigacha bo'lgan oraliqdagi tebranishlardan iborat. Quyosh nurlanishi energiyasining asosiy qismi 0,2- 3 mkm oraliqda jamlangan (1.2 rasm). Shu oraliqdagi nurlanishni quyidagi qismlarga ajratish va nomlash qabul qilingan. Bular jumlasiga spektrning ultrabinafsha qismi (UB) 0,1-0,38 mkm oraliqda, spektrning ko'rinadigan qismi 0,38-0,78 mkm oraliqda, spektrning infraqizil qismi (IQ) 0,78 mkm va ko'rinuvchi nurlanishni binafsha, ko'k, yashil, sariq,



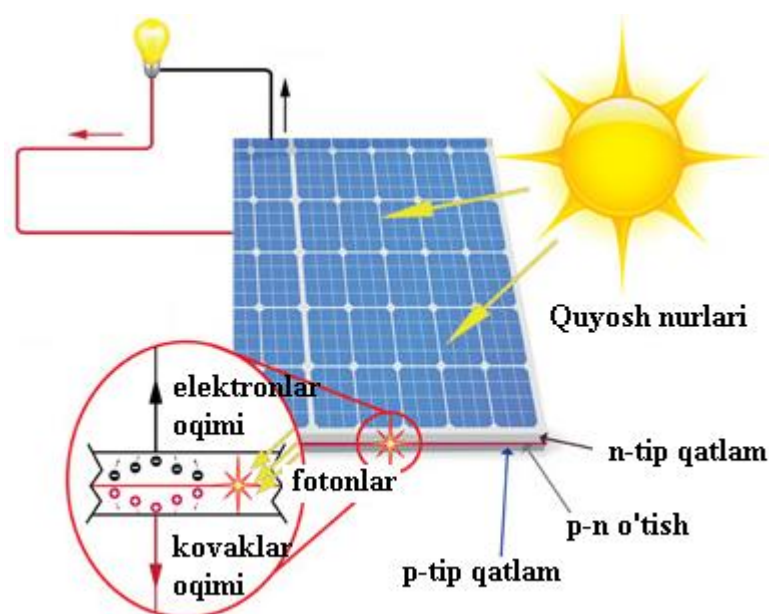
1.2. - rasm. Quyosh nurlanishi energiyasining spektral taqsimlanishi.

1- atmosferadan tashqaridagisi 1360 Wt/m^2 , 2- Er sirtidagi to'la tushayotgan 100 Wt/m^2 , 3 - Erdagi to'g'ridan to'g'ri tushayotgan 834.6 Wt/m^2 undan ortiq to'liq uzunligiga ega bo'lgan qism.

qizil nurlarga ajratiladi. IQ nurlanishni yaqin va uzoq IQ nurlarga ajratiladi. UB nurlanish, koinotda yuqori intensivlikka ega bo'lishiga qaramasdan, Er atmosferasining yuqori qismida mavjud bo'lgan ozonga yutilib, Er sirtiga faqat to'liq uzunligi 0,3 mkmga teng bo'lgan ozroq qismigina etib keladi.

Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishning fizik asoslari

Quyoshdan kelayotgan yorug'lik energiyasini issiqlik yoki elektr energiyasiga aylantirib, undan turli maqsadlarda foydalanish mumkin (1.3. - rasm). Quyosh elektr stansiyalarini yaratish, uylarni quyosh energiyasi bilan isitish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Quyosh energiyasini bevosita elektr energiyaga aylantirib beruvchi yarimo'tkazgichli quyosh batareyalari bu sohada o'z amaliy qo'llanilishini topdi.



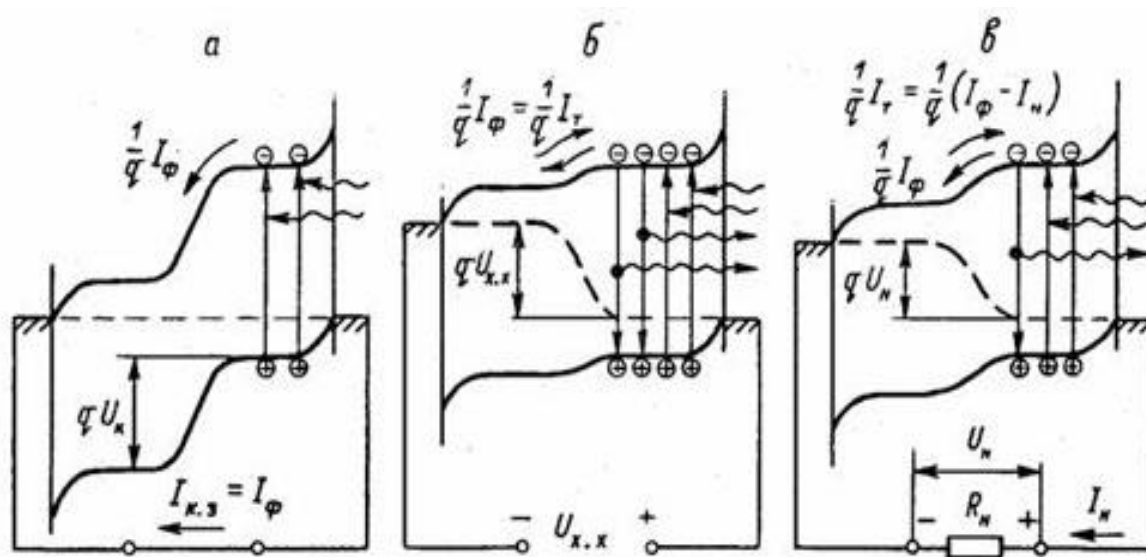
1.3. – rasm. Quyosh energiyasidan elektr energiya olishda fizik jarayonlar.

Kremniy momnokristalli asosidagi sodda Fotoelement quyidagi

konstruksiyaga ega: r – turdagi kremniy plastinasi yuzasidan uzoqda bo'lmagan chuqurlikda metall kontaktga ega bo'lgan p–n–o'tish hosil qilingan; plastinaning orqa tomoniga yaxlit metall kontakt yurgazilgan.

p–n - o'tish yarimo'tkazgichning yoritilayotgan yuzasidan uzoqda bo'lmagan joyda joylashgan bo'lsin. Fotoelement elektr energiya manbai sifatida ishlatilayotgan bo'lsa, uning uchlariga (oxirlariga) yuklama qarshiligi R_{yu} ulangan bo'lishi lozim. Ikki holatni ko'rib chiqaylik: $R_{yu}=0$ (qisqa tutashuv rejimi) va $R_{yu}=\infty$ (salt yurish rejimi). 1.4. a, b – rasmlarda ushbu rejimlar uchun zonalar diagrammasi keltirilgan.

Birinchi holatda yoritilgan p–n–o'tishning zonalar diagrammasi termodinamik muvozanat diagrammasidan farq qilmaydi, p–n sohalar o'rtasida potensiallar farqi nolga teng bo'lishi ta'minlanadi. Lekin p–n–o'tish va tashqi o'tkazgich orqali p-sohadagi elektron va kovaklar juftligining fotogeneratsiyasi bilan izohlanuvchi tok oqib o'tadi. Hajmiy zaryad atrofida hosil bo'lgan fotoelektronlar p–n–o'tishning elektr maydoni ta'sirida n-sohaga tushadi.



1.4 – rasm. a – qisqa tutashuv; b – salt yurish; v – yuklama qarshilikka ishlash rejimlarida, yorig'lik ta'sirida p–n–o'tishning energetik zonalar diagrammalari.

Ularning o'rnini to'ldirish maqsadida qolgan elektronlar p–n-sohaga diffuziyalanadi, natijada ular ham n-sohaga tushib qoladi. n-sohada

elektronlarning metall kontakt tomonga, so'ngra tashqi zanjir va nihoyat p-soha kontakti tomon tartibli harakati hosil bo'ladi. Kontak bilan p-soha chegarasida elektronlarning fotogenerasiyaga uchragan kovaklar bilan rekombinasiyasi sodir bo'ladi.

p–n-o'tishning tashqi zanjiri uzilganda (1.4., b - rasm) fotoelektronlar n-sohaga tushadi va u yerda to'planadi hamda n-sohani manfiy zaryad bilan zaryadlaydi. p-sohada qolgan ortiqcha kovaklar p-sohani musbat zaryad bilan zaryadlaydi. Shu tariqa hosil bo'lgan potentsiallar farqi salt yurish kuchlanishi $U_{s,yu.}$ deyiladi. $U_{s,yu.}$ qutblari p–n-o'tishning to'g'ri ko'chishiga mos tushadi.

Yorug'lik ta'sirida generasiyaga uchragan zaryad tashuvchilar oqimi fototok I_f ni hosil qiladi. I_f qiymati birlik vaqt ichida p–n-o'tishdan o'tgan fotogenerasiyaga uchragan zaryad tashuvchilar soniga teng:

$$I_{\Phi} = q \frac{P_u}{h\nu},$$

bunda q – elektron zaryadi qiymati;

$P_u - \nu$ chastota orqali yutilgan monoxromatik nurlanish quvvati.

Yarimo'tkazgichda har bir yutilgan $h\nu \geq E_g$ energiyali foton bitta elektron-kovak juftini hosil qiladi. Bunday shart Si va GaAs asosida yaratilgan quyosh elementlarida yorqin namoyon bo'ladi.

Quyosh elementlarida nol qiymatiga ega bo'lgan ichki omik yo'qotishlarda qisqa tutashuv rejimi (1.4, a - rasm) p–n-o'tishi siljishining kuchlanishi nolga teng bo'lgan qiymatiga ekvivalentdir, shuning uchun qisqa tutashuv toki $I_{q.t.}$ fototokka teng:

$$I_{k.t.} = I_{\Phi}.$$

Salt yurish rejimida fototok $U_{s,yu.}$ siljish kuchlanishi ta'sirida hosil bo'luvchi injeksion tok - p–n-soha orqali o'tuvchi to'g'ri tok yordamida muvoztalashtiriladi. Injeksion tokning absolyut qiymati quyidagiga teng:

$$I_m = I_0 \exp \left[\left(\frac{q U_{x.x}}{A k T} \right) - 1 \right] = I_\phi ,$$

$I_f \gg I_0$ bo'lganda

$$U_{x.x} = \frac{A k T}{q} \ln \left(\frac{I_\phi}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{A k T}{q} \ln \frac{I_\phi}{I_0} ,$$

bunda k – Bolsman doimiysi, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/K = $0,86 \cdot 10^{-4}$ eV/K;

T – absolyut harorat,

I_0 – to'yinish toki;

A – «noideallik ko'effitsiyenti» – p–n–o'tish volt-amper tavsifining parametri, u quyidagi qonun bo'yicha grafikning turli kesimlarida 1 dan 2 gacha o'zgaradi:

$$A = 0,434 \frac{q}{k T} \Delta U ,$$

bunda ΔU – tok zichligi (yoki tokning absolyut qiymati) ortganda kuchlanishning bir pog'onaga ortishi.

Sifati yaxshi bo'lgan fotoelementlar uchun quyosh nurlanishi qiymatlarida A ning qiymati birga yaqin bo'ladi.

Fotoelement ishlashi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning rekombinasiyasi bilan kuzatiladi. Rekombinasiya jarayonida elektron-kovak juftligining potensial energiyasi yo fotonlarning chiqishi $h\nu \approx E_g$, yo kristall panjaraning qizishiga sarf bo'ladi. 1.4., b – rasmda ikkala jarayon ham qo'shimcha strelkalar orqali ko'rsatilgan.

Fotoelementlar va ularning turlari

Yuqorida p–n o'tish va undan qanday qilib fotoelement sifatida foydalanish mumkinligi haqida so'z yuritilgan edi. Demak quyosh energiyasini to'g'ridan - to'g'ri elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilmalar fotoelementlar (FE) yoki quyosh elementlari deyiladi. Yarim o'tkazgichli materiallar asosida tayyorlangan fotoelementlarni quyidagi turlarga bo'lish mumkin:

1. Shotki baryeri asosidagi fotoelementlar.
2. Getero strukturali fotoelementlar.
3. Yupqa plyonkali fotoelementlar.

Shottka to'siqli quyosh elementlarining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

1) bunday elementlarni past temperaturalarda tayorlash, chunki yuqori temperaturali diffuziya operatsiyasining o'tkazilishi kerak bo'lmay qoladi;

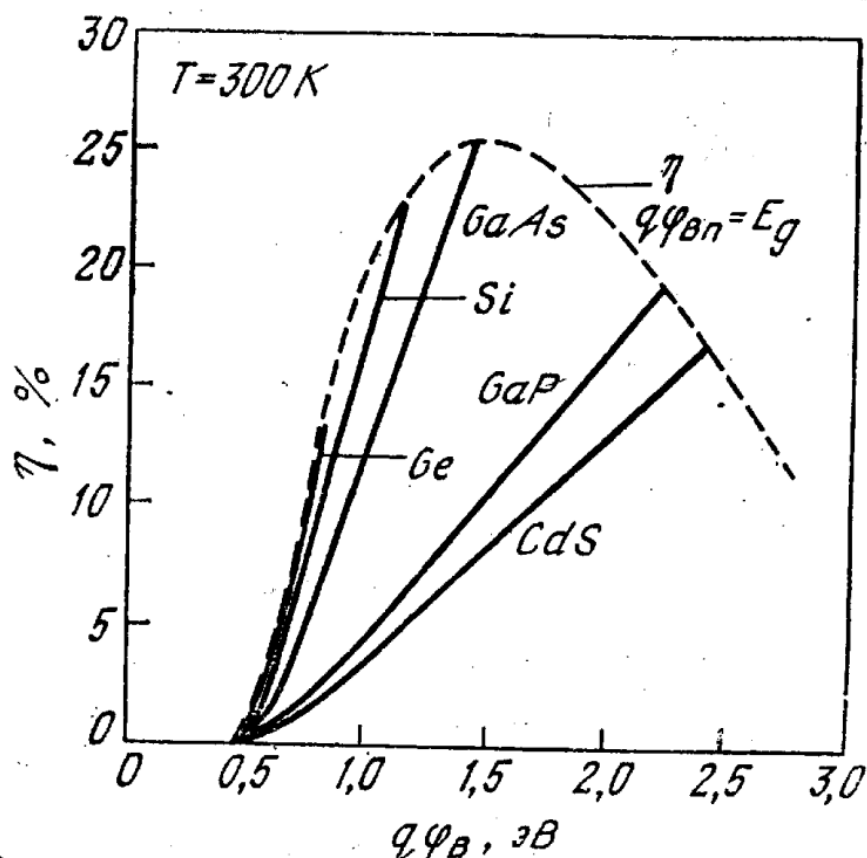
2) polikristall va yupqa plyonkali quyosh elementlarini yaratishda ushbu jarayonni qo'llash;

3) yuqori radiatsion turg'unligi, chunki ular yuzasining yaqinida kuchli elektr maydon mavjud;

4) katta chiqish toki va yaxshi spektral qaytarish, bu ham bulsa kabag'allashgan qatlamning yarim o'tkazgich yuzasiga bevosita tirkanganligi bilan yuzaga kelib, buning natijasida kichik xayot vaqtlarining negativ ta'siri va yuzadagi rekombinatsiyaning yuqori tezligi kamayadi.

Fototok va ikkita spektral qaytarishning asosiy komponentasi kambag'allashgan qatlamda va bazoviy elektroneytral sohasida tashuvchilar generatsiyasi bilan bog'lik. Kambag'allashgan qatlamda tashuvchilarni kollektorlash p-no'tkazishdagi kabi o'tadi. Bunday ideal bog'lanishlar 1.5. - rasm da keltirilgan (yorug'likning qaytishi va rezistiv yo'qotishlar hisobga olinmagan va ideallik faktorni 1ga teng deb qabul qilingan). Ko'rinib turibdiki to'siq balandligi ortishi bilan FIK oshadi va chegaraviy xolda uning maksimal qiymati qV (maks) = Eg, 25% ni tashkil etadi. Bunda FIK chegaraviy qiymatlari har hil yarim o'tkazg'ichlar uchun gomoo'tishlardagi FIKlarning chegaraviy qiymatlariga mos ekanligi ko'rsatadi.

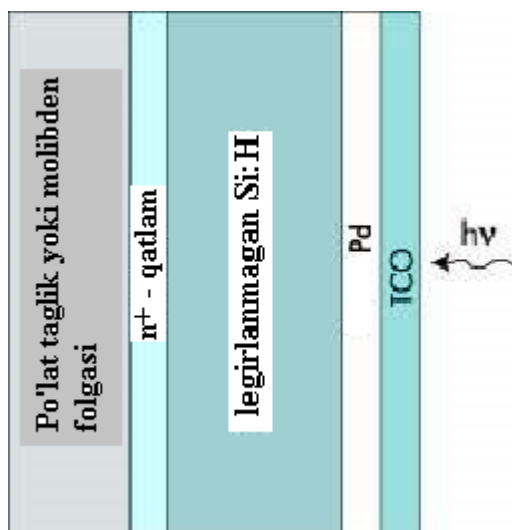
Shottki to'siqning katta balandligini olish uchun, odatda n - turdagi yarim o'tkazgichlar uchun chiqish ishi baland metallardan va p - turdagi yarim o'tkazgichlar uchun esa- chiqish ishi kam metallardan foydalaniladi.



1.5 - rasm. To'siq balandligiga nisbatan o'zgartish effektivligining bog'lanishi.

Masalan , p - turdagi Si ga ikki qatlamli elektrod ishlatiladi (qalinligi 50 A mis qatlami va qalinligi 50 A xrom qatlami), bunda xrom Shottki to'siqini yaratish uchun va mis esa himoyalovchi qoplash uchun foydalaniladi. Bir jinsli tagliklarda yaratilgan metall-yarimo'tkazgich tizimlarning ko'pchiligida to'siqning maksimal balandligi $2/3 E_g$ ni tashkil etadi. Ammo, to'siq balandligining taqiqlangan zona kengligiga nisbati ortishi mumkin, agarda metall va yarimo'tkazgich taglik orasiga kuchli legirlashgan yarimo'tkazuvchi (qalinligi 100 A va taglikga nisbatan qarama-qarshi turda legirlashgan) qatlam kiritilsa. MDP strukturali quyosh elementlarida metall va yarimo'tkazgich taglik orasida yupqa izolyasiyalash qatlami yaratiladi. MDP strukturadagi quyosh elementlarining afzalligi ularda kuchli elektr maydonning yarim o'tkazgich yuzasiga yaqin joylaganligi bilan bog'liq bo'lib, maydon yo'nalishi qisqa to'liqli yorug'lik bilan hosil bulgan tashuvchilarni kollektorlashga yordam

beradi; bundan tashqari, bunday elementlarning aktiv sohasida diffuzion p-n-o'tishli quyosh elementlariga hos bo'lgan va kirishmalar diffuziyasida paydo bo'ladigan, kristallik defektlar yo'q.



1.6. - rasm. Shottki barerli QE konstruksiyasi.

Ko'rinishidan sodda bo'lgan bu elementlarni yaratish ancha qiyinchiliklarni tug'diradi. a-Si:N li QE lari ko'pincha zanglamas po'lat yoki oynalikli tagliklarda yasaladi. Oynali tagliklar ishlatilganda ularga yorug'likka shaffof SnO_2 , In_2O_3 yoki $\text{SnO}_2+\text{In}_2\text{O}_3$ li oksid plyonkasi (TSO) qoplanadi, natijada FEni oyna orqali yoritish imkoni tug'iladi. Legirlanmagan qatlamda elektron o'tkazuvchanlik kam bo'lgani uchun Shottki bareri yuqori chiqish ishiga ega bo'lgan (Pt, Rh, Pd) metallarini a-Si:N ning musbat hajmiy zaryad zonasida cho'ktirish usuli (osajdenie) bilan yasaladi.

Metall taglikka amorf kremniy qoplanganda a-Si:N/metall taglik oralig'ida kerak bo'lmagan potensial barer paydo bo'ladi, bu barerni kamaytirish uchun tagliklar sifatida chiqish ishi kichkina bo'lgan Mo, Ni, Nb metallari qo'llaniladi. Amorf kremniy qoplashdan avval metall taglikka 10-30 nm qalinlikda fosfor bilan legirlangan a-Si:N yotqiziladi. Elektrodlar sifatida amorf kremniy a-Si:Nga oson singib ketadigan metallar Au va Al, hamda Cu va Ag larni ishlatish tavsiya qilinmaydi, sababi amorf kremniy a-Si:N bilan ularning adgeziyasi (yopishishi) yaxshi emas. Shu narsani ta'kidlash lozimki Shottki bareri bilan yasalgan QElari yuklamasiz elektr yurituvchi kuchi (salt kuchlanishi) 0,6 V dan oshmaydi.

Geteroo'tishlar bu taqiqlangan zonalarida har hil energetik holatlaridagi ikkita yarim o'tkazgichlarning kontaktida hosil bo'lgan o'tishlar bo'ladi. Oddiy, p-n o'tishli quyosh elementlari oldida, geteroo'tishli quyosh elementlarining afzalligi quyidagilardan iborat:

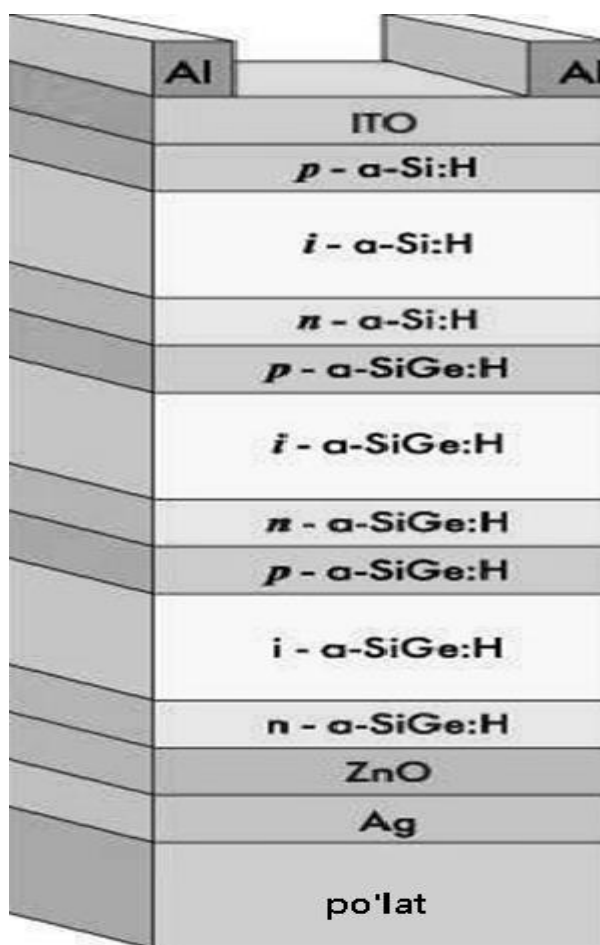
1) energiya E_{g1} etarlicha katta va yuqori energiyali fotonlar ikkinchi yarim o'tkazgichning kambag'allashgan qatlamida yutilish shartlarida, qisqa to'lqin diapozonida spektral qaytarishning kattallashishi;

2) birinchi yarim o'tkazgichdan yorug'likni o'tish sharoitini omonlashtirmasdan, uni kuchli legirlash mumkin bulgan sharta, ketma-ket qarshilikning kamayishi;

3) agarda yarim o'tkazgichning birinchi qatlami etarlicha qalin va yarim o'tkazgich keng taqiqlangan zonaga ega bulgan xolda, uning yuqori radiatsion turg'unligi.

Bu erda keng zonali yarim o'tkazgich, E_{g1} dan kam energiyali fotonlarni o'tkazadigan, optik deraza sifatida foydalanadi. $E_{g2} - E_{g1}$ diapozondagi energiyali fotonlarni gomo o'tishdagi tashuvchilar yaratadi. Agarda tor zonali yarim o'tkazgichda nurning yutilish koeffitsienti katta bulsa, tashuvchilar generatsiyasiga kambag'alashshgan qatlamda e'ki unga yaqin sohada mavjud bo'ladi va tashuvchilarni yig'ish effektivligi katta bo'ladi.

Getero o'tkazgichli fotoelementning qiziqarli misoli – bu o'tkazuvchi shisha-yarim o'tkazgich getero o'tkazgichidir. O'tkazuvchi shishalarga indiya oksidi ($E_g=3,5\text{eV}$ li va elektron yaqinligi $=4,45\text{ eV}$ In_2O_3) , qalay oksidi ($E_g=3,5\text{eV}$ va elektron yaqinligi $=4,8\text{ eV}$ SnO_2) va indiy va qalay qorishmasi oksidi (ITO, In_2O_3 va SnO_2 aralashmasi, $E_g=3,7\text{eV}$ li va elektron yaqinligi $=4,4$ dan $4,5\text{eV}$ gacha) kabi oksid yarim o'tkazgichlar kiradi. Yupqa plyonka turdagi bu oksid yarim o'tkazgichlar bir biriga mos kelgan yaxshi elektr o'tkazuvchanlik va yuqori optik tiniqlikka ega. O'zgartishning yuqori effektivligini olish uchun getero o'tishli kaskad fotoelement tavsiya etiladi. Shuning uchun ular eritish qoplama va getero o'tish qismi rolini o'ynaydi (1.7. -rasm).



1.7 - rasm. Ko'p o'tishli kaskad quyosh elementi.

Elektr aktiv yoki passiv (shisha, plastmassa, keramika, metall, grafit èki metallurgik kremniy kabi) taglikga o'strilgan yoki tushirilgan polikristallik èki tartibga keltirilmagan plyonkalar, yupqa plyonkali quyosh elementlarida, aktiv yarim o'tkazish qatlamlari bo'ladi.

Yupqa plyonkali quyosh elementlarining asosiy ustivorligi narxining past bulishida, chunki ularni tayèrdashda arzon texnologiya va nisbadan arzon materiallardan foydalinadi. Asosiy kamchiliklari esa, past FIK va xarakteristikalarining asta sekin tannazul bo'lishi. Boshqa yupqa plyonkali elementning asosi $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ geteroo'tkazish bo'ladi. Qisqa tutatish toki va FIK donalar ulchamlariga bog'lik bo'ladi. Donalar radiusi 0,3 dan 1mkm va undan katta bo'lishida FIK 4 dan 6,6%gacha ortadi. Yupqa plyonkali quyosh elementlari uchun amorf kremniy(a -Si) material sifatida qo'llaniladi. Metall

qatlami bilan qoplangan shisha taglikda 1-3 mkm qalinlikdagi qatlamlar, yuqori chastotali razryadda ustiriladi. Kristallik va amorf kremniylar jo‘da ham farqlanadi: birinchisi kengligi 1,1eV to‘g‘ri emas taqiqlangan zonaga ega, gidrogenizirlashgan a-Si da optik yutilishlar xarakteristikalariga esa kengligi 1,6eV tug‘ri taqiqlangan zona kristall xarakteristikalariga o‘xshaydi. Gidrogenizirlashgan a-Si yupqa plyonkalarida ham Shottki to‘siqli ham p-no‘tkazishli quyosh elementlari yaratildi. Quyosh spektirining ko‘rinadigan qismida a-Si da yutilish koeffitsienti 10^4 - 10^5sm^{-1} tashkil topgani uchun, eritilgan yuzadan 1mkm dan oshmagan masofada, zaryad tashuvchilar ko‘pchiligi generatsiyalanadi. Diffuzion uzunlik 1mkm dan katta bo‘lmaydi, qorongilik solishtirma qarshilik $100\text{M}\Omega\cdot\text{sm}$ tartibda bo‘ladi. Bundan, qalinligi 1mkm i qatlamli *p-i-p* asbobda ketma ket qarshilik $10^4\Omega\text{sm}$ ekanligini topamiz. Shuning uchun Shottki to‘siqli elementlarda (shaffofli metall qatlam) yaxshi natijalar nisbatan katta emas (FIK 6%) (1.8. – rasm).

Tartiblanmagan yupqa plyonkali, yuqori effektiv quyosh elementlardan tashkil topgan asboblarning chegaraviy imkoniyatini baholash, deffektlari juda ham yuqori zichlikkli, yarim o‘tkazgich plènkalarida etarlicha yupqa, fundamental yutilish chegarasi yaqinida yutilish koeffitsienti yuqori va ularda xarakatchanlik qiymati talab qilinganga etadigan yarim o‘tkazgichlar kerakligi aniqlanadi.



1.7 - rasm. Plyonkali quyosh elementi.

Zamonaviy fotoelementlar

Fotoelementlarning asosiy parametrlari.

Yorug'likka (integral) sezgirligi (S) - nominal anodli kuchlanishda yoki qisqa tutashuv kirishida fototokning uni chaqiruvchi yorug'lik oqimiga bog'liqligi. S ni topish uchun kalibrovka qilingan yorug'lik manbasidan foydalaniladi (masalan odatda 2860 K ga teng bo'lgan cho'lg'amli lampalardan foydalaniladi).

Spektral sezgirligi (S_λ) - fototokning uni chaqiruvchi 1 to'lqin uzunligiga ega bo'lgan nur oqimiga bog'liqligi. Odatda spectral sezgirlik diapazoni 115 – 1200 nm li spektr sohasida bo'ladi (fotokatodning sezgirligiga va materialning kirish oynasidan spectral yutilmaslik koeffisientiga bog'liq holda), kremniyli fotoelementlarda u 400 – 1100 nm ni, germaniyli fotoelementlarda esa 500 – 2000 nm ni tashkil qiladi

Volt – Amper xarakteristikasi – fototokning fotoelementga doimiy yorug'lik oqimi tasirida bo'lgandagi kuchlanishiga bog'liqligi. U fotoelementning optimal ish rejimini aniqlash imkonini beradi. Fotoelementlarda ish rejimi nasisheniya sohasida tanlanadi (kuchlanishda fototok amaliy ozgarmas bo'lgan sohada). Bunday rejim 50 – 100 V li kuchlanishda o'rnatiladi. Yarim o'tkazgichli fotoelementlarda fototok optimal yuklanishda bir necha o'n mA gacha, foto EYK (U_{sk}) esa bir necha yuz mV gacha ko'tarilishi mumkin.

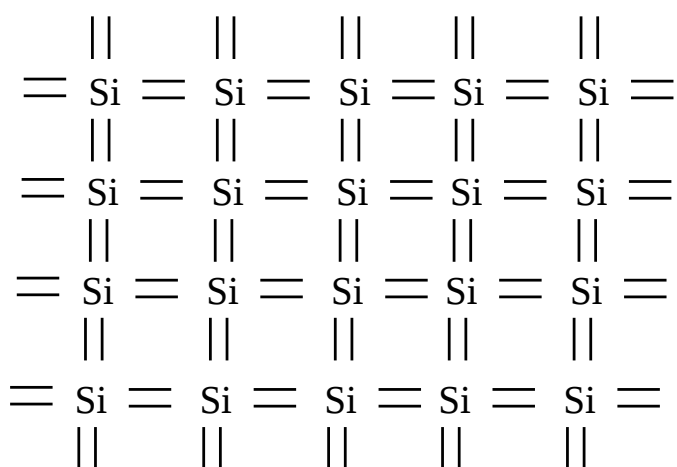
Qorong'ulik toki – yorug'lik tushurilmagandagi tok fotokatodning termoemissiyasida va tok teshilishlarida aniqlanadi, uning kattaligi 10^{-8} - 10^{-14} A gacha bo'lishi mumkin.

FIK yoki quyosh nurini o'zgartirish koeffisienti (energiya o'zgartirgich sifatida foydalaniladigan yarim o'tkazgichli fotoelementlarda) – fotoelementlarda o'suvchi nominal yuklanishning fotoelementga tushayotgan yorug'lik oqimi quvvatiga elektr quvvatining bog'liqligi. Hozirgi kunda fotoelementlarda FIK 15 -18 % ga yetadi.

II bob. Kremniy va unda nanoklasterlar olish texnologiyasi

Kremniy materiali va unga ishlov berish usullari

Kremniy (лат. Silicium), Si, Mendeleev davriy sistemasining IV guruh kimyoviy element bo'lib, atom nomeri 14, atom massasi 28,086. Tabiatda Si elementi uch xil stabil izotop holida bo'ladi: ^{28}Si (92,27%), ^{29}Si (4,68%) va ^{30}Si (3,05%). Kremniy kovalent kimyoviy bog'lanishga ega va quyidagi rasmda keltirilgan.

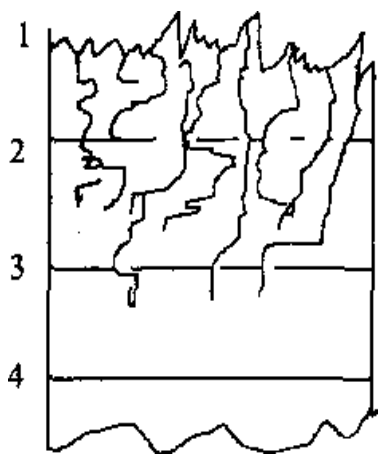


2.1. - rasm. Kremniy kristall panjarasi (kovalent kimyoviy bog'lanish).

Kremniy namunalariga ishlov berish texnologiyasi

Kremniy plastinasidan namuna tayyorlash va ularga mexanik ishlov berish quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi: kesish, jilvirlash, jilolash.

Kesish jarayoni kremniyning monokristall quymasini (slitok) yupqa (qalinligi 250÷600 mkm) parallel tomonli plastinalarga qirqishdan hamda IMS elementlari shakllangandan keyin alohida kristallchalarga ajratishdan iboratdir.



2.2. - rasm. Plastina sirtining mexanik buzilgan qatlami:

- 1 - rel'ef qatlam;
- 2 - yoriqli qatlam;
- 3 - deformasiyalangan qatlam;
- 4 - plastinaning buzilmagan qatlami

1 - tashqi rel'efli qatlam bo'lib, bu qatlam xaotik joylashgan uchliklar, chuqurliklar, yoriqlardan iborat;

2 - yoriqli qatlam bo'lib, bu qatlam yakka holdagi darzliklar va ichki tomonga ketgan yoriqlardan iborat;

3- deformasiyalangan qatlam bo'lib, dislokasiyalarning to'plami, mikroyoriqlarning davomi va ular atrofida joylashgan mexanik kuchlanishlardan iborat.

Sanoatda kremniy quymasini plastinalarga kesishda asosan olmosli ichki kesuvchi disk bilan kesish usulidan foydalaniladi. Hosil bo'lgan plastinalarning yuzasida kesish natijasida mikroyoriqlar, g'adir-budurliklar, ya'ni mexanik buzilgan qatlam hosil bo'ladi.

Plastina sirtining sifati quyidagi kattaliklar bilan xarakterlanadi:

- 1. Mexanik buzilgan qatlam chuqurligi;
- 2. Yuzaning g'adir-budirligi;
- 3. Iflosliklardan tozalash sifati.

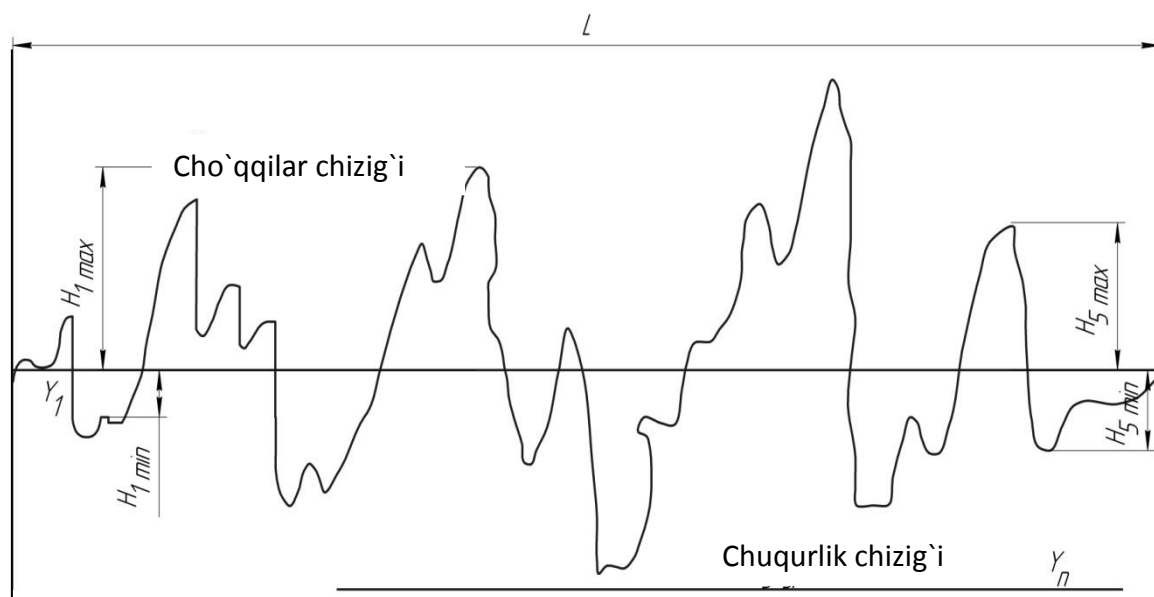
1) *Mexanik buzilgan qatlam uch qismdan tashkil topadi* (2.2. -rasm);

2) *G'adir-budurlik* (2.3. -rasm) profil R_a ning o'rtacha arifmetik og'ishi, ya'ni L asos uzunligi chegarasidagi profil og'ishlari absolyut qiymatlarining o'rtacha arifmetigi bilan baholanishi mumkin:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1.1)$$

yoki R_z profil notekisligining o'n nuqtadagi balandligi bilan baholanishi mumkin:

$$R_z = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 H_{i \max} + \sum_{i=1}^5 H_{i \min} \right]$$



2.3. -rasm. Namunaning g`adir-budirli sirtining profili

R_a va R_z parametrlarning qiymatlariga bog`liq holda ishlov berilgan sirtning sifati mos holda g`adir-budurlik sinfi bilan baholanadi. Plastinalar sirtining g`adir-budurligi 13-14 sinflardan past bo`lishi kerak emas. Bu mos holda balandliklari 0,1 dan 0,025 mkm gacha bo`lgan mikronotekisliklarga to`g`ri keladi.

3) *Plastinalarni tozalash sifati* quyidagicha baholanadi: sirt bilan mexanik va kimyoviy bog`langan iflosliklarning borligi bilan; plastina sirtining birlik yuzasiga to`g`ri keladigan adsorbsiyalangan kirishma atomlari va ionlari miqdori yoki adsorbsiyalangan kirishma molekulalari monoqatlamlarining soni bilan. Plastinalarni kirishmalar adsorbsiyasidan to`liq himoya qilishning iloji yo`qligi sababli ideal toza sirtlar olib bo`lmaydi. Toza sirt deganda shunday

texnologik toza sirt tushiniladiki, bunda qoladigan kirishma konsentrasiyasi hosil qilinishi kerak bo'lgan mikrosxemalar parametrlarining qiymatlariga va turg'unligiga ta'sir qilmasligi kerak.

Jilvirlash - plastinalarga mexanik ishlov berishning ikkinchi operatsiyasi bo'lib, namuna sirtining g'adir-budirliklar va notekisliklarning minimal holatgacha olib kelish imkoniyatini beradi. Jilvirlash deganda plastina sirtini cho'yan, po'lat, latun, shisha va shu kabi materiallardan qilingan qattiq disklarda - uskunalar - jilvirlagichlar va abraziv suspenziyasi (erkin abraziv bilan ishlov berish) yordamida yoki olmosli jilvirlagich disklar yordamida (bog'langan abraziv bilan ishlov berish) ishlov berish jarayoni tushiniladi. Sanoat ishlab chiqarishda kremniy plastinalarini erkin abraziv bilan ikki tomonlama jilvirlash ko'proq qo'llaniladi. Buning uchun donadorligi M14 dan M5 gacha bo'lgan yashil rangli karbid kremniy yoki oq rangli elektrokorundning suvli va gliserinli suspenziyasidan foydalaniladi. Bunda qattiq va suyuq komponentlarning nisbati $Q: S=1:3$ kabi bo'lishi kerak. Jilvirlash jarayoni mikrokukunning donadorligini sekin asta kamaytirib borish bilan o'tkaziladi: dastlabki jilvirlashda M14 karbid kremniy kukunidan foydalaniladi va bunda g'adir-budirliги 6-7 sinfga to'g'ri keladigan sirt hosil bo'ladi; asosiy jilvirlashda M10 karbid kremniy kukunidan foydalaniladi va bunda g'adir budirliги 8-9 sinfga to'g'ri keladigan sirt hosil bo'ladi; yakuniy jilvirlashda M5 elektrokorunddan foydalaniladi va bunda g'adir-budirliги 10-sinfga to'g'ri keladigan sirt hosil qilinadi.

Plastinalarni jilolash. Ishlov berilayotgan sirtning yuqori tozaligini ta'minlash va mexanik buzilgan qatlamning chuqurligini yanada kamaytirish uchun jilolash jarayoni o'tkaziladi. Jilvirlashdan so'ng plastinalar yumshoq jilolagichlarda jilolanadi. Buning uchun satik, batist, sukno, fetr, velyur, zamish, sintetik ko'n va boshqa shu kabi materiallar oddiy jilvirlagich disklariga tortilib kiydiriladi. Jilolash datslabki va yakuniy (nozik) bo'lishi mumkin. Dastlabki jilolash olmosli suspenziya va donadorligi 3 dan 1 mkmgacha bo'lgan pastalar (ASM-3, ASM-1 kabi) yordamida o'tkaziladi. Yakuniy jilolash submikronli olmos kukuni va pastasi yoki donadorligi 0,4 mkmdan kichik bo'lgan alyuminiy,

xrom, sirkoniy, kremniy oksidlari asosidagi yumshoq jilolovchi tarkiblar yordamida o'tkaziladi. Jilolashdan so'ng plastinalarda g'adir-budirli 13-14 sinflarga to'g'ri keladigan sirtlar hosil bo'ladi.

Mexanik ishlov berish plastina sirtining yuqori darajada tekisligini ta'minlasada, undan keyin doim buzilgan qatlam hamda sirt bilan organik va kimyoviy bog'langan iflosliklar qoladi.

Plastina sirtini tozalash ikki xil bo'ladi: suyuq va quruq. Suyuq tozalash fizikaviy va kimyoviyga bo'linadi.

Fizikaviy suyuq tozalashda sirtga adsorbsiyalangan iflosliklar ularning tarkibi o'zgartirilmagan holda desorbsiyalanadi, ya'ni kimyoviy reaksiyasiz ular oddiy eritib yuboriladi.

Plastina sirtidagi hayvon va o'simlik yog'lar, mineral yog'lar, parafin hamda shu kabi boshqa organik va mexanik iflosliklarni yo'qotish uchun organik erituvchilar (toluol, to'rt xlorli uglerod, dixloretn, spirtlarda: etil, metil, izopropil va boshqalar) yordamida *yog'sizlantirish (yuvish)* qo'llaniladi.

Organik erituvchilarda yog'sizlantirish botirish bilan, bug'larda, ul'tratovush yordamida, katta tezlikdagi suv oqimida bajariladi.

Yarimo'tkazgichli namunalarni yuvib tozalash ikkita bosqichdan iborat:

1. Organik eritgichlarda yog'sizlantirish (toluol, spirt);
2. O'ta toza distirlangan suvda yuvish.

Namunalarni yog'sizlantirishda agar iflosliklar qutbsiz tabiatga ega bo'lsa unda toluol, to'rt xlorli uglerod, freondan foydalaniladi. Agar iflosliklar qutbli bo'lsa unda aseton, spirt, uch xlor etilenlardan foydalaniladi.

Namunalarni kimyoviy ishlov berish va tozalash

Kimyoviy ishlov berishning mohiyoti namuna sirtini kislotali yoki ishqorli eritgichlarda eritishdan iborat. Agar eritgich mo'l bo'lib uning temperaturasi o'zgaras bo'lsa qatlam bir xil tezlikda olib tashlanadi. Buning natijasida olib tashlanayotgan qatlam qalinligini aniq hisoblash mumkin. Yarimo'tkazgichning materialiga qarab har xil eritgichlar qo'llaniladi.

Germaniyga kimyoviy qayta ishlov berishda asosiy eritgich sifatida azot va fluor kislotasining aralashmasi hamda vodorod peroksidan foydalaniladi. Azot kislotasi germaniy uchun kuchli oksidlovchi hisoblanadi. Fluor kislotasi bu oksidni eritadi. Vodorod peroksida emirish 70-80°C temperaturada olib boriladi. Yemirgichlarning emirish tezligini ya'ni kimyoviy reaksiyaning borishini boshqarish mumkin. Agar tezlatish kerak bo'lsa brom, sekinlatish kerak bo'lsa sirk kislotasi ma'lum miqdorda yemirgichga qo'shiladi. Germaniy (Ge) uchun eng ko'p ishlatiladigan yemirgichning tarkibi quyidagicha:

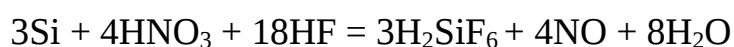


Kremniy (Si) uchun ikki tipdagi yemirgichlardan foydalaniladi: kislotali va ishqorli.

Kislotali yemirgich sifatida azot va fluor kislotalarning har xil tarkibdagi aralashmasidan foydalaniladi. Bunda eng katta emirish tezligi yemirgich tarkibining quyidagi molyar nisbatida kuzatiladi:



Kremniy (Si) ning erishi quyidagi reaksiya bo'yicha bo'ladi:



Eng yaxshi jilovlovchi xususiyatlarga ega yemirgichlarda azot kislotasining miqdori ko'proq bo'ladi ($\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$ va $3:1$). Emirish tezligini kamaytirish uchun asosiy kislotalarga sirk kislotasi CH_3COOH qo'shiladi (1-jadval). Ishqorli yemirgich sifatida KOH va NaOH ning suvli (10 - 20%) eritmasidan foydalaniladi. Oksidlovchi vazifasini suv, oksidni erituvchi vazifasini (kompleks hosil qiluvchi) gidrooksid bajaradi. Bu jarayon 90 - 100 °C da olib boriladi.

1-jadval.

Kremniy uchun ishlatiladigan asosiy kislotali yemirgichlar

Yemirgich turi	Hajmiy tarkib	Qo'llanilishi	Emirish vaqti
SR-8	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$	Kimyoviy jilolash	1 - 2 min
SR-4A	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 5:3:5$	Kimyoviy jilolash va p-n o'tishning chegarasini aniqlash	2 - 3 min
Uayt yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} = 3:1$	{111} tekisligini kimyoviy jilolash	15 sek
Desh yemirgichi	$\text{HNO}_3 : \text{HF} : \text{CH}_3\text{COOH} = 3:1:8$	Ixtiyoriy tekislikni sekin kimyoviy jilolash	1 - 16 soat

Kremniyni ishqorli emirishidagi yig'indi reaksiyaning ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:



Emirishning tezligi temperatura va yemirgich konsentrasiyasining oshib borishi bilan oshib boradi. Emirish tezligi o'zgarmas bo'lishligi uchun yemirgich aralashtirilib turiladi. Emirishning maksimal tezligi yemirgichning 30% li konsentrasiyasida kuzatiladi.

Ishqorli emirgichlar anizotrop emirishli xarakterga ega bo'ladi. Undan dislokasiyalar va boshqa nuqsonlarning borligini aniqlashtirishda qo'llaniladi.

Agar kimyoviy ishlovlar berish jarayonida namuna statik (qo'zg'almas) holatda bo'lsa namunaning sirtlari har xil emiriladi. Bu holatni yo'qotish uchun kimyoviy-dinamik qayta ishlovdan foydalaniladi.

Bunda namuna aylantirilib turiladi va yemirgich aktiv aralashtirib turiladi.

Kimyoviy tozalashda tozalanayotgan plastinaning sirt qatlami yoki iflosliklar kimyoviy reaksiya natijasida olib tashlanadi.

Kimyoviy yog`sizlantirish ishlov berilayotgan materialga ta`sir qilmaydigan, lekin yog`ning molekularini emiradigan tarkiblarda bajariladi. Bunday tarkiblarga yuvuvchi kukunlar (masalan, «Lotos») eritmasi, ishqorlar eritmasi, peroksid-ammiak eritmasi kabilar misol bo`ladi.

Emirish odatda yog`sizlantirishdan keyin o`tkaziladi, chunki faqat shu holdagina yemirgich plastinaning hamma sirtini yaxshi xo`llaydi va ustki qatlam bir tekis olib tashlanadi.

Emirish jarayonini besh bosqichga bo`lish mumkin: ishlov berilayotgan sirtga reagentlarning diffuziyanishi; ularning sirtga adsorbsiyanishi; ishlov berilayotgan material bilan kimyoviy ta`sirlashuv; kimyoviy reaksiya mahsulotlarining desorbsiyasi; sirtidan ularning diffuziyanishi.

Emirish tezligi yo reagentlarning sirtga yoki reaksiya mahsulotlarining yemirgichda diffuziyanishi bilan, yo sirtidagi kimyoviy reaksiya tezligi bilan cheklanadi.

Emirishning eng sekin, aniqlovchi yig`indi jarayoni etaplari diffuziyali bo`lsa, bunday yemirgichlar *jilolovchi yemirgichlar* deyiladi.

Sirt kimyoviy reaksiyalari eng sekin bo`ladigan yemirgichlar *selektiv yemirgichlar* deyiladi. Selektiv yemirgichlarda emirish tezligi temperaturaga, sirtning strukturasi va kristallografik yo`nalishiga bog`liq bo`lib, qovushqoqlikka va yemirgichni aralashtirishga bog`liq bo`lmaydi. Har xil kristallografik yo`nalishlar uchun emirish tezliklari bir-biridan katta farqlanadigan selektiv yemirgichlar *anizotrop yemirgichlar* deyiladi.

Qanday maqsadlar uchun emirishga qarab u yoki bu yemirgichlardan foydalaniladi. Agar kremniy plastinalarida mikrosxema strukturalarini hosil qilish kerak bo`lsa jilolovchi yemirgich qo`llaniladi. Agar strukturalar tayyorlash jarayonida elementlarni izolyasiyalash uchun chuqurchalar hosil qilishda anizotrop yemirgichlar ishlatiladi. Sirt nuqsonlarini aniqlashda selektiv yemirgichlar qo`llaniladi.

Kislotali yemirgichlar yordamida kremniyli plastinaning ixtiyoriy kristallografik yo`nilishida g`adir budirligi 12 dan 14 - sinfgacha bo`lgan oynaday silliq sirt hosil qilish mumkin. Kislotali yemirgich sifatida azot va fluor kislotalarining har xil aralashmasidan foydalaniladi. Kremniy emirish tezligi yemirgichdagi kislotalarning o`zaro nisbatiga, yemirgichni aralashtirish intensivligiga va uning temperaturasiga bog`liq bo`ladi.

Azot kislotasining miqdori oshib borishi bilan emirish sekinlashadi, chunki sirtning oksidlanish tezligi kremniy oksidining erish tezligidan oshib ketadi.

Kremniy plastinasi sirtidagi cho`qqicha va chuqurchadagi yemirgich konsentrasiyalarining farqiga qarab cho`qqichaning erishi chuqurchaga qaraganda tezroq bo`ladi. Shu sababli yarimo`tkazgachli namunaning sirti silliqatlanadi. Azot kislotasining miqdori katta bo`lgan yemirgichlar eng yaxshi jilolovchi xususiyatlarga ega bo`ladi. Masalan: $\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2:1$ yoki $3:1$. Emirishning tezligini yanada kamaytirish uchun qo`shimcha ravishda sirka kislotasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  qo`shiladi.

Plastina va namunalarni tozalashning oxirgi operatsiyasi quruq ishlov berish bo`lib u strukturani shakllantirish, epitaksiya, termik oksidlash, diffuziya, yupqa qatlam o`stirish kabi mos operatsiyalar bilan birgalikda bajariladi.

Quruq tozalashga termik ishlov berish (kuydirish), ionli emirish, gazli emirish, reaktiv ionli (ion-kimyoviy) emirish kabilar misol bo`ladi. Bu usullardan faqat iflosliklarni yo`qotish uchunгина emas, balki mikrosxemalar topologiyasini shakllantirishda kontakt niqob orqali o`ta aniq lokal emirishda ham foydalaniladi.

Nanoklasterlar va ularning olish texnologiyasi

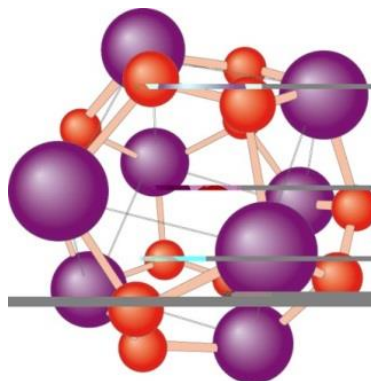
Klaster inglizcha – “[cluster](#)” so`zidan olingan bo`lib tuzilma (atomlar tuzilmasi) degan ma`noni anglatadi. Klaster atamasini birinchilardan bo`lib fanda qo`llagan olim Richard Feynman o`zining g`oyasida katta imkoniyatlarni

ochib beruvchi mulahazani yaratdi. Klasterlarning yaratilishi bilan bog'liq holda elektronikaning muhim bo'g'ini bo'lib xizmat qilib kelmoqda. Quyida ba'zi hollarni ko'rib chiqamiz.

Molekulyar – nurli epitaksiya usuli. Plyonkali materiallarni elektronika sohasida ishlatilishida eng asosiy o'rinni epitaksial plyonkalar egallaydi. Bunday plyonkalar quyosh elementlari olishda, katta va o'ta katta integral sxemalar ishlab chiqarishda, umuman eng zamonaviy va eng noyob mikroelektron asboblarni ishlab chiqarishda alohida rol o'ynaydi. U kelajak elektronikasi, ya'ni nanoelektronikaning ham asosini tashkil etishi tabiiy. Kristall panjarasining tuzilishi asosning kristall panjarasi tuzilishi bilan bir xil bo'lgan monokristal plyonkalar epitaksial plyonkalar deyiladi.

MNEda hosil bo'layotgan plyonka berilgan asosning yuzasida o'sadi va bu yuza bilan u aralashib ketmaydi. MNEda kerakli atomlar asosning yuzasiga kelib o'tiradi va yuzada qatlam-qatlam o'sib boraveradi. Kremniyning yuzasiga kobol't kremniy (CoSi_2) plyonkasini MNE yo'li bilan hosil qilish jarayoni: yuqori vakuum sharoitida yuzasi juda yaxshi tozalangan kremniy monokristalining sirtiga kobol't (Co) va kremniy (Si) manbalaridan ularning atomlari kelib o'tira boshlaydi. Bunda har bir momentda bitta kobol't atomi kelib o'tirganda, ikkita kremniy atomi tushadi. Asosning temperaturasi shunday tanlanadiki, yuzaga kelib o'tirayotgan atomlar CoSi_2 birikmasini hosil qiladi va ularning plyonkasi epitaksial o'sa boshlaydi. Yangi yaratilgan diffuzion usul yordamida nanoklaster parametrlari ya'ni zinchligi, strukturasi, tarkibi, shuningdek klasterlarning haggm hamda sirtidagi taqsimoti boshqariladigan nanoklasterli kremniy namunalari olish imkoniyatlari bilan bog'langan. Kirishma atomlarining klasterlarining hosil bo'lishining termodinamik va texnologik sharoitlari asosan kirishma atomlarining tabiati bilan aniqlanadi. Kremniyda kirishma sifatida Ge, Ni, S, Se va Mn ishlatilishi ko'pgina ilmiy ishlarda kuzatilgan. Kirishmalarni tanlanishiga qarab ularning turli tabiatiga ega bo'lgan, ya'ni elektr betarafr, zaryadlangan mikro va nano klasterlar olish imkoni bilan bo'g'langandir. So'ngi yillarda o'ta panjarali materiallar silisid

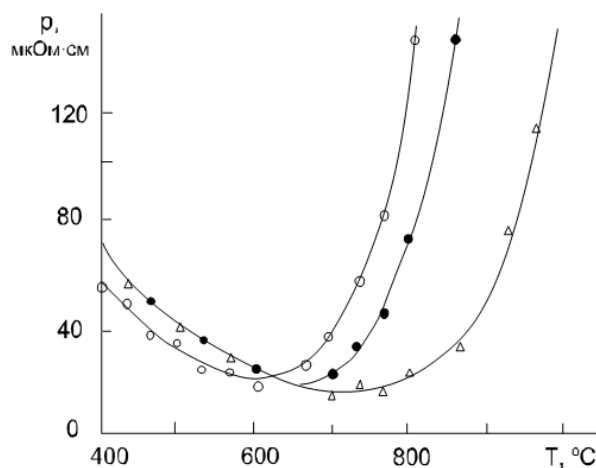
materiallar ko'p ishlatilmoqda. Ularning xususiyatlari kristall, elektron strukturalari, konfiguratsiyalari, ularni vujudga kelishi muhitlari, shu sohada kichik o'lchamli tizimdagi zarrachalar energetik spektrlari o'ziga xosligi, zarrachalarni potensial tusida sochilishi, qaytishi koefitsientining to'siq balandligiga bog'liqligi, umuman olganda nanomateriallar va nanoklasterlarning fizik xususiyatlari o'rganilmoqda.



2.4.-rasm. Kremniy panjarasiga kirishma kiritilganda klasterning panjaraviy tasviri.

Ma'lumki, klassik mexanika moddiy zarralarning aniq chiziqlar, ya'ni trayektoriyalar bo'ylab harakat qilishini miqdoriy qonuniyatlar yordamida o'rganadi. Bunda zarraning boshlang'ich holatini ifodalovchi shartlar ma'lum bo'lsa, kelgusida uning qanday bo'lishi ham aniqlanadi. Oqibat, fanda chuqur iz qoldiradigan va olamning mexanik manzarasini yaratish (barcha hodisalarni mexanik qonunlari asosida tushuntirish) ga intilish paydo bo'ldi.

Afsuski, olamni faqat mexanika qonunlari asosida desak, xato bo'ladi. XIX asr oxiri XX asr boshlarida matematika sohasida erishilgan yutuqlar (differensial hisob, Minkovskiy geometriyasi) tufayli mexanik qonunlarning yangi ko'rinishlari paydo bo'ldi. To'lqin tenglamalarning otasi Ervin Shridenger tomonidan yaratilgan mikrozarralarning harakat (Shridenger) tenglamalari klassik tasavvurlarga sig'maydigan natijalarga olib keldi. Masalan, energiyaning kvantlanishi (klassik mexanikada esa energiya uzluksiz bo'ladi). O'sha davrda bu tenglamalar to'g'risida fikr yuritishga jazm qiladigan inson yo'q edi. Sababi, bunga ma'lum ma'noda "fandagi shakkoklik" deb ham qaralgan.

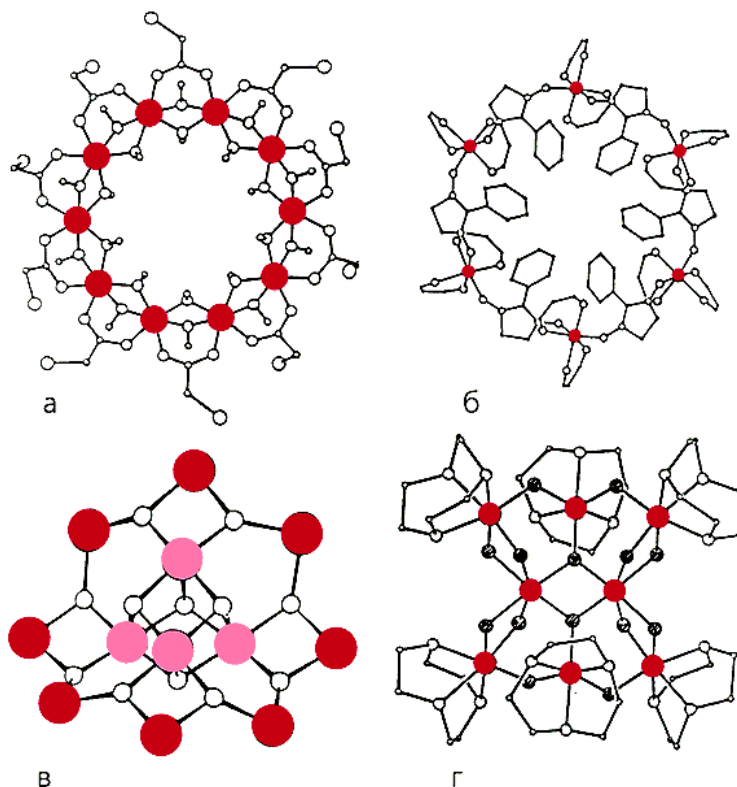


2.5. – rasm: MNE usuli bilan o'stirilgan $\text{CoSi}_2/\text{Si}\langle 100 \rangle$ plyonkasi solishtirma qarshiligining haroratga bog'liqligi.

Moddalarning fizik va kimyoviy xususiyatlari ham atomlarning turiga, tuzilishiga va o'zaro munosabatlariga bog'liq. Bugungi ilmiy tadqiqotlar atom o'lchamidagi nanotuzilmalar hajmiy modda xususiyatlaridan anchagina farqlanishini ko'rsatmoqda. Nanotuzilmalardagi fizik va kimyoviy jarayonlarning izohlash esa yangi qonuniyatlarni keltirib chiqarmoqda. Sodda qilib aytganda, bir necha atom o'lchamlardagi ob'yektlarning noan'anaviy xususiyatlarni o'rganadigan, ularda sodir bo'ladigan jarayonlarning qonuniyatlar tatbiq qilish yo'llarini ko'rsatadigan yangi yo'nalish bugun nanotexnologiya deyiladi.

Magnit molekulalar: tarkibida nodir Yer elementlari va o'tish guruhi metallari ionlari bo'lgan molekulyar kristallarga magnit molekulyar nanoklasterlar deyiladi. Bu kristallarning tarkibiy qismi bo'lgan molekulalar murakkab tuzilishga ega. Ular qo'shimcha ichki erkinlik darajasi-magnit momentiga ega. Aynan shu magnit momenti ularning hossalriga xilma-xillik bag'ishlaydi va ularni tashqi magnit maydoni yordamida boshqarishga imkon beradi. Aytish joizki magnetizm mohiyatan kvant mexanik hodisadir. Mendeleev jadvalining ko'pgina elementlari atomlari, elektron spinlari kompensatsiyalanmagani tufayli magnit momentiga ega. Ular orasida o'tish guruhi metallari (Fe, Co, Ni, Mn va b.) lantanoidlar (nodir yer elementlari va aktanoidlar) eng ko'p e'tiborga molikdir. Odatda molekulalar diamagnitdir,

ammo ba’zida masalan, kislorod molekullari bundan istisno bo’lishi ham mumkin. Mikroskopik moddalarning magnit xossalari unchalik oddiy emas, chunki alohida atom yoki molekullarning magnit momentlari murakkab darjada. Alohida atomlarning magnit xossalari juda yaxshi tushunarli. Hozirga qadar, tarkibida o’tish guruxi yoki nodir yer elementlari atomlari mavjud bo’lgan magnit kristallarning xossalari batafsil o’rganilgan bo’lsada, qator savollar ochiq qolmoqda.



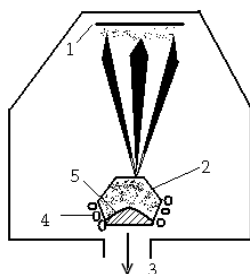
2.6. – rasm: Yuqori spinli molekulyar klasterlar: Fe_{10} (a), Mn_6 (b), Mn_{12} (v), Fe_8 (g). Metall ionlari qora bo’yoq qilib tasvirlangan.

Bu materiallarda mavjud uzoq magnit tartib alohida atomlarning magnit xossasi hissalarining oddiy superpozitsiyasi emas. Magnit tartiblanish – bu jamoaviy kvant mehanik hodisa bo’lib, uning asosida Pauli prinsipi bilan bog’liq atom spinlari orasidagi o’ziga xos ta’sirlashuv yotadi. Bu almashinuv ta’sirlashuvi deyiladi. Almashinuv ta’sirlashuvi moddaning makroskopik sohalarida spinlarning parallel joylashuvini (ferromagnitizm) panjarining qo’shni tugunlarida antiparallel joylashuvi ferromagnetizm yoki magnit

tartiblanishning boshqa murakkab shakllarini yuzaga keltirish mumkin. Magnetik klasterlar yoki magnit molekulalar alohida atomlarning mikroskopik magnetizmini va kristall holda amorf jismlarning makroskopik magnetizmini birlashtiruvchi bo'g'imdir. Shuning uchun ular ba'zan mezoskopik atamasi o'rta, o'raliq ma'nosini bildirib, modda makroskopik jism sifatida shakllanmagan, biroq alohida atom emas, balki atomlar majmuasi bo'lganda ularning xossalarini tavsiflashda ishlatiladi.

Ana shunday xossalarga ega molekulalar o'tish guruhi elementlari ishtirokida qurilgan (Fe, Mn va b.) yuqori spinli metaloorganik molekulalar yoki magnit molekulalar deb ham ataladi. Takidlash lozim, bu molekulalarning uyg'unligi va mukamalligi kishini hayratda qoldiradi. Misol tariqasida oddiy Fe_{10} klasterlarni ko'qib chiqaylik. Bu – xlor kislorod va uglorod ionlari bilan o'ralgan o'nta Fe ionlari, ular orasidagi ta'sirlashuv antiferromagnit xarakterga ega. Shu sabab molekilaning asosi holatiga spini nolga teng S, O, Fe magnit klasterini bir molekula doirasidagi antiferromagnit deyish mumkin.

Gaz fazasida ko'pincha quyidagi jarayonlarni amalga oshirishadi: bug'latish-kondensatsiya (plazmada yoki elektrik dugada bug'latish); cho'kma hosil qilish; topokimyoviy reaksiyalar (tiklanish, oksidlanish, qattiq faza zarralarini uvalanishi). Bug'lanish-kondensatsiya jarayonida suyuq yoki qattiq jismlar inert gazining past bosimida boshqariluvchi haroratda bug'lantiriladi va keyingi kondensatsiya jarayoni muhitning past haroratli qismida yoki sovutiladigan qurilmaning o'zida amalga oshiriladi.



2.7. - rasm. Bug'lanish-kondensatsiya jarayonida nanoparashoklarni olish sxemasi

Bu usul 200 dan bir necha yuzlab o'lchamdagi nanozarralarni olish imkonini beradi. Odatda 20 nm dan kichik bo'lgan zarralar sferik ko'rinishga ega bo'ladilar, undan kattalarida esa qirralar hosil bo'lishi mumkin.

Bug'lanuvchi modda 5 qizdiruvchi kamera 2 ga joylashtiriladi va bu kamera 4 qizdirgich bilan qizdiriladi, kameraning teshiklari ya'ni diagrammalari mavjud. Diagramma orqali bug'lanuvchi modda vakuumli muhitga o'tadi (bosim 0,1-0,01 Pa) va molekulyar dasta hosil bo'ladi. Zarralar deyarli tog'ri chiziqli bo'ylab harakat qiladilar, sovutiluvchi 1 asosida kondensatsoyalanadilar. Gaz qurilmadan 3 klapan orqali chiqarib yuboriladi. Agar bug'latish shunday sharoitda amalga oshiriladiki, unda diagrammagacha bo'lgan oraliqda zarralar o'zaro to'qnashmasalar, zarralarning erkin yugurish yo'li $L_{ch} > d_d$ (d_d -difragmagacha bo'lgan masofa). Qizdirilayotgan kameradan sizib chiquvchi zarralar dastasi deffuzion bo'ladi, dastaning intensivligi J [zarra/(sm² · s)], manbaadan r masofa oraliqda:

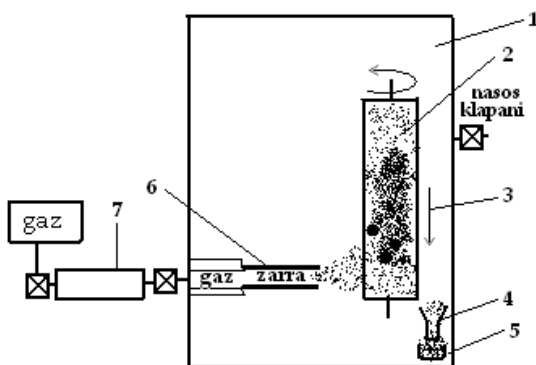
$$J = 1,12 \cdot 10^{22} \frac{\pi d^2 p}{4 r^2 \sqrt{M T}} \cos \theta$$

Bu yerda: P – bosim, M – molekulyar massa, t - issiqlik manbasining harorati, i – tirqish tekisligining normal yo'naltiruvchisi va molekulyar dasta orasidagi burchak.

Ifodadan ko'rinib turibdiki, dastaning $\sim 1/r^2$, ya'ni changlanuvchi zarralarning muhitda taqsimlanishi, manba uchun ham huddi shunday. Boshqacha aytganda muhitga tarqalgan zarralar vakuumda geometrik optika qonunlari bo'yicha taqsimlanadi. Diffuzion tarzda bug'lanishdan hosil bo'lgan molekulyar dastasi juda kichik intensivlikka ega, ya'ni $J = 10^{12} - 10^{14}$ zarra (sm²·s). Kerakli intensivlikdagi molekulyar dastani olishga qarab manbaning qizdirish harorati tanlanadi, shu bilan birga bosim ham shunga mos ravishda tanlanadi. U m oddaning erish haroratidan yuqori yoki past bo'lishi mumkin. Shuni takidlash joizki, ba'zi materiallar (misol, Sn va Ge) bug'lanishida alohida atomlar ko'rinishida, ham kichik klasterlar shaklida ham bug'lanishi mumkin. Qizdirilgan kamera tirqishlaridan effuzion tarzda hosil qilinuvchi, kichik

intensivlikdagi molekulyar dastalarda kichik klasterlarning dasta bo'ylab teng taqsimlanishi kuzatiladi.

Molekulyar dasta hosil qilish usuli nano o'lchamdagi zarralar olish usulining yaxshi tomoni shundaki, molekulyar dastaning intensivligini boshqarish mumkinligi va kondensatsiyalanuvchi muhitga zarralar uzatilishini boshqarish mumkinligidadir. Gaz fazali klasterlarni olish: Kichik intensivlikdagi molekulyar dastalar usuli ko'p hollarda, kimyoviy cho'kma hosil qilish bilan birgalikda kombinatsiya-lashtiriladi. Qurilmaning sovuq sirti yaqinida cho'kma hosil bo'lishi kuzatiladi, yoki bevosita boshqariluvchi harorat ostida sirtning o'zida hosil bo'ladi (zarralar o'zaro to'qnashmasligi uchun past bosimda). Nanozarralarni gaz fazasiga olish usuliga asoslangan qurilmalarda, manbani turli usullar bilan qizdirishga, gazli muhit tarkibi, kondensatsiya jarayonini amalga oshirish metodlari va olingan parashoklarni yig'ib olishga asoslangan usullarga turlicha yondashuvlar qo'llaniladi. Misol, kondensatsiya jarayoni sovitilgan aylanuvchi silindr yoki baraban sirtida amalga oshiriladi, bevosita qabul qiluvchi sig'imga tozalab olinadi.



2.8. – rasm. Metall nanoparashoklarini gaz fazali sintez qiluvchi qurilma sxemasi.

Metall nanoparashoklarni gaz fazali sintez qiluvchi qurilma sxematik tarzda o'z ichiga ishi kamera 1, sovitiluvchi baraban 2, qirgich 3, voronka 4, parashokni qabul qiluvchi sig'im 5, trubka ko'rinishidagi qizdiriluvchi reaktor 6, bug'lanuvchi modda uzatilishini boshqaruvchi qurilma 7, ni o'z ichiga oladi.

Trubka ko'rinishidagi reaktorda bug'lanuvchi moddani inert gazi bilan aralashtiriladi va gaz fazasiga aylantiriladi. Metal nanoparashoklarini gaz fazali sintez qiluvchi qurilma sxemasi (6– rasm). Reaktorda hosil bo'lgan uzluksiz klasterlar yoki nanozarralar oqimi ishchi kameraga keladi, ushbu kamerada 1-50 Pa bosim hosil qilinadi. Sovitilgan aylanuvchi barabanning sirtida nanozarralar parashok sifatida kondensatsiyalanadi va qirg'ich yordamida barabanning sirtidan tozalab olinadi. Kukun varonka orqali, qabul qiluvchi sig'imga kelib tushadi va keyin ishlov berish jarayoniga uzayiladi. Vakuumga bug'lanishdan farqli ravishda siyraklashgan bosimga bug'langan modda atomlari o'z kinetic energiyalarini, gaz atomlari bilan to'qnashish hisobiga tezroq yo'qotadilar va kristall murtaklarini (klasterlar) hosil qiladilar. Kondensatsiya jarayonida nanokristal lmoddalar hosil bo'ladi. Huddi vodorod argon vageliy gazlarining turli bosimli muhitlarida aluminiy bug'larining kondensatsiyalanishi tufayli 20-100 nm li nanozarrala rolinganligi singari.

Inert gazaning tarkibi zarraning o'sishiga bevosita tas'ir qiladi. Kondensatsiyalanuvchi atomning energiyasini muhitdagi og'ir atomlar jadalroq ravishda olib qo'yishadi va bu o'z navbatida, zarralarni o'sishiga sababchi bo'ladi, ya'ni haroratning pasayishi kristall murtaklar turli o'lchamdagi nanozarralarni olish mumkin. Misol; geliyni argonga yoki ksenonga o'zgartirib nanozarralarni o'lchamlarini bir necha bor o'zgartirish mumkin. Gaz fazasida nanokukunlarni olish o'ziga hosligi, qattiq – gaz fazalari chegaralari orasidagi tortishlarning nisbatan kuchsizligidadir. Bu tortilishning o'sib borishi nanozarralarni zichligini agregat holatda oshishiga sababchi bo'ladi. Haroratning yuqori bo'lishi diffusion jarayonini tezlashtiradi, bu esa zarralarning o'sishiga va qattiq fazalar orasida ko'priklar hosil qiladi.

Gaz haroratining yuqoriligi, oqimda zarralarning kondensatsiyasi kamligi sharoitida gaz fazasidan hosil bo'luvchi nanizarralarni ajratib olish bu jarayonnig muammosi hisoblanadi. Nanozarralarni olish uchun turli filtrlar (metall – keramik, elektrik filtrlar) dan foydalaniladi, shu bilan birga siklonli

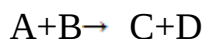
qurilmalarda va gidrosiklonlarda markazdan qochma kuch hisobiga maxsus kenrofugalardan zarralarni cho'ktirish usullaridan ham foydalaniladi.

Kimyoviy usul bilan klasterlarni olish: Metall nanozarralari kondensatsiyalanish vaqtida bug' holatidan kerakli bog'lanishga ega birikmalarni toza kimyoviy reaksiyalar yordamida olish mumkin. Kerakli birikmani olish uchun bug'lanuvchi metalni gaz reagent bevosita gaz fazali muhitda ta'minlash mumkin.

Gaz fazali kimyoviy reaksiyalarda nanomateriallarni sintezi kimyoviy reaksiyalar hisobiga amalga oshiriladi, oson uchuvchi moddalarni bug'laridan tashkil topgan muhitda. Gaz fazasida kesuvchi reaksiyalarni quyidagilarga ajratish mumkin: parchalanuvchi kimyoviy reaksiyalarga, ya'ni quyidagi sxema bo'yicha bir reagent asosida kechadigan



va ikki yoki undan ortiq reagentlar asosida amalga oshiriluvchi reaksiyalar



Birinchi turdagi reaksiyalarni amalga oshirishining asosiy sharti bo'lib, reagentning mavjud bo'lishi xizmat qiladi, qaysiki so'ngi maxsulotni tashkil etuvchi komponentlarini o'zida mujassam etadi. Shuning uchun ikkinchi turdagi gaz fazali reaksiyalar keng amaliyotda qo'llaniladi. Shuning uchun gaz fazali reaksiyalar amalga oshirishda, qatnashuvchi reagentlar yengil uchuvchan bo'lishi lozim. Bu hollarda reagentlar sifatida ko'pincha galogenidlari (ayniqsa metal xloridlar), metal oksixloridlari MeO_n , alkooksidalar $Me(OR)_n$, alkil bog'lanishlar $Me(R)_n$, metall bug'lari va hokazo. Ushbu usul bilan bor nanomaterialni, gazli sajani, metallar, splavlar, nitridlar, karbitlar, silitsidlar, sulfidlar va boshqa bog'lanishga ega nanomateriallarni olish mumkin. Ushbu usulda olinayotgan va tayyor bo'lgan nanomateriallarni xususiyatlariga reaktorning konstruksiyasi kata tas'ir ko'rsatadi, shu bilan birga reagentlari qizdirish, jarayoni kechishida harorat gradientini o'zgarib borishini va bir qancha shunga o'xshash omillar.

Gaz fazali kimyoviy reaksiyalarni odatda turli trubka ko'rinishiga ega bo'lgan materiallarda o'tkazishadi. Tashqi qizdirilish orqali reaksiya kechadigan zonasiga ega bo'lgan reaktorlar bugungi kunda juda keng tarqalgan. Qurilmaning reaksiya kechadigan zonasi odatda kvars, keramik materiallar yoki glinozem materiallardan tayyorlanadi.

Gaz fazasini kukun bilan tasirlashtiruvchi topokimyoviy reaksiyalar odatda sirtlarga yangi zarralarni changaltirish va ularni modifikatsiyalash uchun qo'llaniladi jarayon shunday nazorat qilinishi lozimki, qattiq faza sirtida hosil bo'lishi lozim, yoxud zarralar orasidagi hamda hosil bo'lishi kerak emas. Kimyoviy reaksiyalarga quyidagicha misol keltirish mumkin. Nitritlarni sintez qilish uchun uglerodli muhitda oksidani azot bilan tasirlantirish. Bu usul bilan kremniy, alyuminiy, titan, va sirkoniy nitritlarini sintezini amalga oshirish mumkin.

Kremniyga VI guruh elementlarini diffuziya qilish texnologiyasi

Yarim o'tkazgichli materiallarning taqiqlangan zonasida chuqur sath hosil qiladigan kirishmalar har doim fan nuqtai nazaridan katta qiziqish bildirib kelingan. Jumladan VI guruh elementlarini (S, Se, Te) kirishma sifatida ishlatilib, uning atomlarini ion yoki diffuziya yo'li bilan legirlash orqali Si da chuqur sathlar hosil qilishga erishilgan. Bunday yangi turdagi materiallar hozirgacha kam o'rganilgan fizik hodisalarni yuzaga keltiradi – katta darajadagi qoldiqli o'tkazuvchanlik, sezgirlik, infra qizil va temperaturali fotoo'tkazuvchanlikning yuqolishini misol keltirish mumkin.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, hozirgi kungacha bir qancha kirishmalar kremniyda o'rganilganiga qaramasdan shular qatorida Se bilan kompensastiyalangan kremniy haqida ma'lumotlar juda kam keltirilgan.

Ma'lumki, diffuziya zarrachalar konstantratyasi mavjud bo'lganda sodir bo'ladi. Diffo'ziya Fik konuni orqali ifodalanadi. Fikning birinchi konuni quyidagicha ifodalanadi:

$$j = -D \frac{dN}{dx} \quad (1)$$

bunda j - konstantrastiya gradienti $\frac{dN}{dx}$ bilan bo'lik bo'lgan x yunalish bo'yicha birlik vakt ichida birlik yuzani kesib utuvchi zarrachalar okimi (N). D - kesib utuvchi zarrachalarning diffo'ziya koeffistienti. Uning ulchov birligi [sm^2/s]

Belgilangan vakt bo'yicha va ma'lum bir masofa bo'yicha kesib utuvchi zarrachalarning konstantrastiysi Fikning ikkinchi konuni orqali hisoblanadi:

$$\frac{dN}{dt} = D \frac{d^2 N}{dx^2} \quad (2)$$

Yarimo'tkazgichlarga kirishmalarning diffuziyasi gaz fazasidan (agar bug bosimi etarlicha bo'lsa) yoki material yuzasiga kiritilgan katlamdan amalga oshiriladi. Diffuziyaning asosiy parametri kirishmalar diffuziya koeffistienti D hisoblanadi, uning kiymati haroratga quyidagicha bo'lik:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \quad (3)$$

Bunda Q - panjara kirishma atomining biror muvozanat holatdan boshka holatga sakrab utishi uchun zarur bo'lgan eergiyani kursatuvchi kirishmalarning aktivlash energiyasi. D_0 - o'zgarmas kattalik, u $T \sim \infty$ bo'lganda kirishma diffo'ziya koeffistientini kursatuvchi kiymat.

Q ning qiymati kirishma atomining fizik parametrlariga bog'lik holda keng intervalda o'zgaradi. Odatda yarimo'tkazgichlarda kirishma atomlarining diffo'ziyasi cheksiz manbadan yoki chekli manbadan olib boriladi.

(2) tenglamaning echimi cheksiz manbadan diffo'ziya uchun kirishma atomlari konstantrasiyasining kristall ichiga quyidagicha taksimlanishiga olib keldi:

$$N(x,t) = C_s \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (4)$$

Cheklangan manbadan diffo'ziyalashda esa:

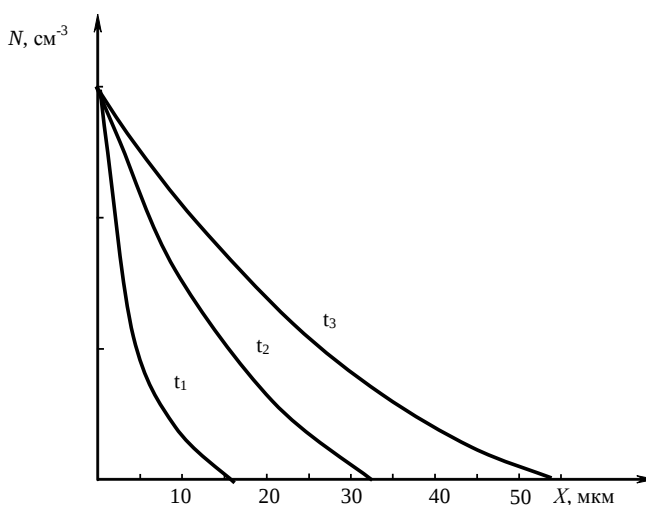
$$N(x,t) = \frac{C}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \quad (5)$$

Bunda t - diffo'ziya vakti, x - katlamdan diffo'ziyagacha bo'lgan masofa, D –berilgan haroratda diffo'ziya koeffistienti.

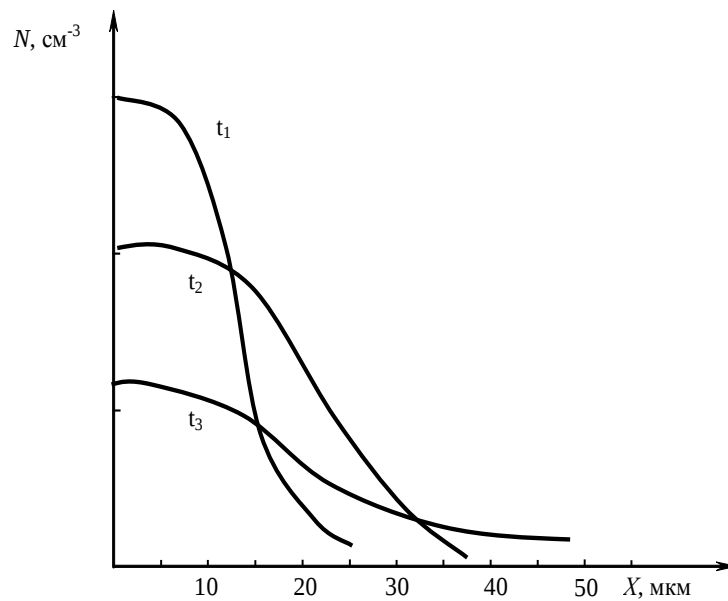
Agar berilgan haroratda kirishmalarning diffo'ziya koeffistienti va diffo'ziya vakti ma'lum bo'lsa, kirishmalarning maksimal maksimal diffo'ziyalanish chukurligi L ni aniqlash mumkin:

$$L = 2\sqrt{Dt} \quad (6)$$

Diffo'ziya vaktida konstantrasiyaning taksimlanishini rasmda kursatamiz.



2.7.rasm. $t_1 < t_2 < t_3$ doimiy manbadan diffuziya qilingan kristall hajmidagi kirishma atomlarining taqsimoti.



2.8. rasm. $t_1 < t_2 < t_3$ cheklangan manbadan diffuziya qilingan kristall hajmidagi kirishma atomlarining taqsimoti.

Kremniyda (a) va arsenid galleyda (b) bir qancha kirishma asosiy diffuzion kattaliklari 3-jadvalda keltirilgan.

3-Jadval

a	Kirishm	$D_0 \text{ sm}^2/\text{s}$	$E_g \text{ eV}$
	B	$5 \cdot 10^{-4}$	3,5
	Al	$4,8 \cdot 10^{-4}$	3,3
	Zn	$1,65 \cdot 10^{-3}$	3,9
	P	$1,05 \cdot 10^{-4}$	3,7
	As	$3,2 \cdot 10^{-5}$	3,6
	Ni	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,47
	Sn	$0,1 \cdot 10^{-3}$	1,4
	Ag	$2,7 \cdot 10^{-3}$	1,59

3- jadvaldan ko'rinib turibdiki diffuziyalanuvchi kirishmalarning energiya aktivastiyasi bir biridan keskin farq qilmoqda. Shuning uchun sharoitga ajratish mo'mkin: ($Q > 2$ eV) bo'lsa sekin diffuziyalanuvchi kirishmalar va ($Q < 2$ eV) bo'lsa sekin diffuziyalanuvchi kirishmalar deyiladi.

Ma'lumotlarga qaraganda diffuziyali yo'li bilan legirlash vaqtida diffuziya koeffitsienti ($D = 10^{-12}$ cm²/sek) hisobiga katta bo'lmagan chuqurlikda Se kirishma atomlari kiritilgan Si na'munalari olish mumkinligi va Si namunasi sirtida juda kuchli bo'lgan emirilish erroziya hodisasi ro'y berishi mumkin.

Yuqoridagi malumotlardan kelib chiqib Si ni Se kirishma atomlari bilan diffuziya usuli bilan legirlashda quyidagilarni maqsad qilib oldik .

1. Se kirishma atomlari bilan Si ni diffuziyali legirlash davomida Sining sirtida silistid qatlamlarni hosil bo'lishini oldini olish.
2. Se kirishma atomlari bilan Si ni diffuziyali legirlash davomida Sining sirtida hosil bo'ladigan erroziyani oldini olish.
3. Se elementining Sida diffuziya koeffitsienti kichikligini hisobga olgan holda yuqori harorat va diffuziya vaqti mutanosibligiga erishish.
4. Si sirtida maksimal konstantastiyadagi Se kirishma atomlarini hosil qilish va uning chuqurligini aniqlash.
5. Se kirishma atomlarining Si kristall panjarasidagi chuqurligini hisoblash va taqsimotini aniqlash.

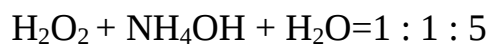
Se atomlari Si ni bilan kompensastiya qilish uchun dastlabki material sifatida, borning konstantastiyasi $N_B = 2 \cdot 10^{17}$ cm⁻³, $N_B = 4 \cdot 10^{16}$ cm⁻³ va $N_B = 2 \cdot 10^{16}$ cm⁻³ bo'lgan KDB-0,1, KDB-0,5, va KDB-1 markali monokristall kremniydan foydalanildi.

Boshlang'ich Si na'munasi 8x4x1 mm o'lchamga ega bo'lgan paralleloped shakilda, Si shaybasidan olmosli disklar yordamida kesib olinadi. Paralleloped shakilda kesib olingan na'munalarga M-14, M-5 olmosli mikroporoshoklar yordamida Si sirtining g'adir budurliklarini tekislash maqsadida mexanik ishlov beriladi.

O'tkaziladigan diffuziya jarayonining ishonchli va aniq bo'lishi uchun boshlang'ich Si na'munalarga mexanik ishlov berishdan so'ng, na'munaning sirtidagi ifloslik va yog'lardan xoli qilish maqsadida na'munalarga kimyoviy ishlov beriladi.

Kimyoviy tozalashni amalga oshirishda ishlatilayotgan kislotalarning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda shisha yoki plastmassali idishlardan va plastmassali pinstetlardan foydalanish lozim.

Si sirtiri yog'sizlantirish maqsadida quyidagi kimyoviy eritmalaridan foydalaniladi.



H_2O_2 - Perekis vodorod

NH_4OH – Amiyak

H_2O – distillangan suv.

Si na'munalariga kimyoviy ishlov birilgandan so'ng, diffziya jarayoni uchun ishlatiladigan kvarst trubkalarni ham kimyoviy tozalash lozim buning uchun quyidagi kimyoviy eritmalaridan foydalaniladi.



HCl – Xlorid kislota

HNO_3 – Azot kislotasi

Har bir kislotaning o'ziga xos tabiati mavjud: HNO_3 – Azot kislotasi Si ning sirtida oksid qatlam hosil qiladi. HF-(Ftorid) kislotasi faqat Si sirtidagi oksid qatlamlarni emirish xususiyatiga ega.

Bizga Sining sirtini kimyoviy sayqallash kerak bo'lib qolsa bu ikala kislotalarning eritmalaridan turli nisbatlaridan foydalanish mumkin.



Si na'munasini qalinligini kamaytirishga ehtiyoj tug'lsa, shu eritmadan Si sirtini kimyoviy emrish sifatida foydalanish mo'mkin. Agar bizga reakstiyaning tezligini oshirish kerak bo'lib HF kislotaning miqdorini oshirish kerak, aksincha reakstiya ezligini kamaytirish kerak bo'lsa HNO_3 kislotaning miqdorini oshirish

kerak bo'ladi. Bu eritma yordamida 20 °S haroratda 10 minut davomida Sining sirtidan 50 mkm emirish mumkin.

Agarda yanada reakstiyaning tezligini yanada kerak bo'lib qolsa ya'ni Si sirtini juda yuqori darajada saysqallash kerak bo'lsa $\text{HNO}_3 + \text{HF} = 3 : 1$ bu eritmaga sirka kislotasini qo'shish kerak bo'ladi.



SN_2SOON – Sirka kislotasi

Elektron va kovaklarning diffuziya koeffistienti Eynshteyn munosabati orqali topiladi

Yarimo'tkazgichlarda elektronlarning diffuziya koeffistienti:

$$D_n = \left(\frac{kT}{e} \right) \cdot \mu_n \quad (8)$$

Kovaklarning diffuziya koeffistienti

$$D_p = \left(\frac{kT}{e} \right) \cdot \mu_p \quad (9)$$

bunda k – Bolstmana doismiysi. $k = 0.86 \cdot 10^{-4}$ Ev/k.

t -harorat (k)

e – elektron zaryadi,

μ_n va μ_p - berilgan haroratda elektron va kovaklarning harakatchanligi.

Elektron va kovaklarning diffo'ziya chuqurligi:

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad (10)$$

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad (11)$$

Jadvalda elektron va kovaklarning diffo'ziya koeffistientining qiymatlari keltirilgan.

2-jadval. Harorat $T = 300^\circ\text{K}$ bo'lganda ba'zi muhim yarimo'tkazgichlar elektron va kovaklarining diffo'ziya koeffistienti.

Yarimo'tkazgich	D_n cm/c	D_p cm/c
Si	35-39	9-11

Ge	95-100	45-50
GaAs	200-220	9-10

Kremniy materialida nanoklasterlar hosil qilish

O'rganilayotgan na'munalar va diffuziya – kvarst ampulasining hajmiga nisbatan massasi aniqlangan toza metal marganest va o'rganilayotgan na'munalar, ichidagi havosi so'rib olingan kvarst ampulaga (ampuladagi bosm 10^{-6} mm.sim ust.) joylashtirilgandan so'ng, ampula xona temperaturasida ($T=300$ K) SOUL-4 diffuziya pechkasiga joylashtirildi.

Na'munalar kvarst ampulaga ampulaning bir uchiga ya'ni aniqlangan temperatura sohasiga, ikkinchi uchiga Se elementi joylashtiriladi, shuning uchun ampulaning uzunligi $20\div 30$ sm oralig'ida bo'ladi.

Chunki bizga adabiyotlardan ma'lumki Se Siga diffuziya qilganda yuqori xaroratlarda Se Sining sirtiga uchub borib o'tirib Sining sirtini emirishni boshlaydi. Biz shu vaziyatlarni hisobga olgan holda diffuziya sharoitini shunday tanladikki Se uzining bug'lanish haroratidan yuqori haroratga ko'tarilmasin. Shu sababdan kvarst ampulasining uzunligi $35\div 40$ sm ga etadigan bo'ldi. Kvarst ampulasining ko'rinishi 2.3. rasmda keltirilgan.

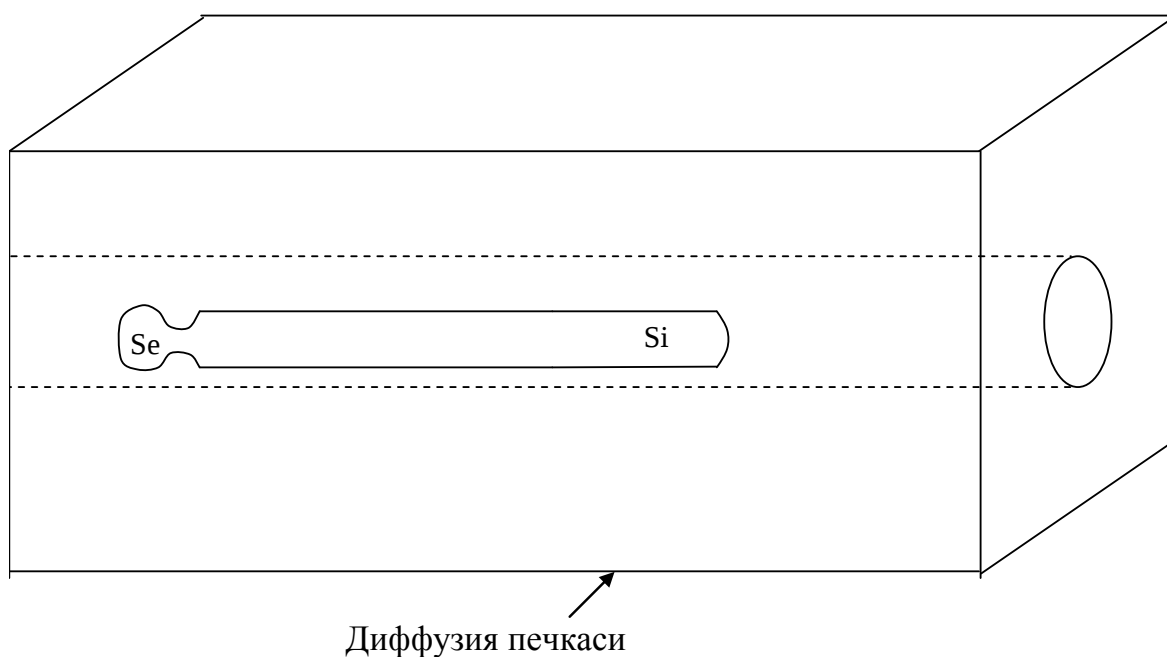
Avvaldan o'rganilgan diffuziya pechkasining harorati, ichida joylashtirilgan kvarst ampulaning harorati $T=550\div 700$ °S haroratga chiqqungacha 5 grad/minut tezlik bilan bosqichma – bosqich ko'tariladi. Se elementi joylashgan ampulaning uchki qismi pechkaning bosh qismiga joylashtiriladi. Pechkaning bosh qismida temperatura $400\div 450$ °C atrofida bo'ladi, bupaytda Se asta sekinlik bilan bug'ga aylanadi va Se atomlari asta sekinlik bilan boshlang'ich Si na'munalarning sirtiga borib o'tiradi va bunda kirishma atomlari to'la holda bug'lanishi uchun $800\div 1000$ °C haroratda malum bir vaqt ushlab turish tavsiya qilinadi. Buning natijasida kreniyning sirti erroziyadan qutiladi.

Diffuziya pechkasining harorati $T=1200\div 1250$ °C haroratgacha $150\div 200$ °C /min etarlicha tezlik bilan ko'tariladi va diffuziya shu ntemperaturada uzoq

muddat davom ettiriladi. Diffuziya jarayoning vaqti 10÷20 soat oralig’da davom ettirilishi mumkin. Diffuziya jarayonining belgilangan vaqti bo’lganidan so’ng na’munalar joylashgan kvarst ampula sirti tekis bo’lgan yaxlit temirning sirtiga qo’yilib sovutiladi.



2.9. rasm Se ni Si ga yangi texnologiya yordamida diffuziya qilishdagi tayyorlangan kvarst ampulasining tayorlanishi.



2.10. rasm Se ni Si ga yangi texnologiya yordamida diffuziya qilishdagi tayyorlangan kvarst ampulasining pechkaga joylashishi.

Nanoklasterlarni o’rganish usullari va ularning asosiy material xossalariga ta’siri

Yuqorida keltirilgandek, yarim o'tkazgichlarning fizik xossalarini ya'ni, ularni o'tkazuvchanlik, fotosezgirlik va magnit hossalarini juda katta ko'lamda boshqarishning asosiy yo'li bu bunday materiallarga kerakli va aniq konsentratsiya miqdorida kirishma atomlar kiritishdir. Hozirgi zamon texnologiyasi bo'yicha kirishma atomlar 3 xil yo'l bilan kiritiladi. Kristallarni o'stirish paytida, diffuziya yo'li bilan va ion implantatsiya yo'li bilan.

Monokristallarni berilgan yo'nalish bo'yicha o'stirish usullarini eng asosiylaridan biri bu Choxlar usulidir. Ushbu usul bilan o'stirilgan Kremniy monokristali quydagi rasmda keltirilgan. Bunda maxsus kvars tigillarda yarim o'tkazgich materiallari suyultirilgan holda bo'lib, bunday suyuqlik yuzasiga aniq yo'nalishiga ([111], [110], [101]) ega bo'lgan ingichka monokristall (zatravka) tushuriladi. Zatravka suyuq yarim o'tgazgichga tekkanidan so'ng, u o'z o'qida aylanish bilan birga asta sekin ($1\text{ch}^3\text{ mm}$) yuqoriga minutiga ko'tarila boshlaydi. Natijada o'sha zatravka yo'nalishiga mos holda, suyuq jism kristall holiga aylanadi. Bunda suyuq holdagi jismga bo'lajak monokristallning qanday fizik parametrlariga ega bo'lishini ta'minlaydigan Bor, Fosfor, Mishyak yoki boshqa kirishma atomlarini kerakli miqdorda qo'shib, ularning butun suyuqlik bo'yicha tekis taqsimoti ta'minlanadi



2.11. – rasm. Choxral usuli bilan olingan Si monokristali.

Kirishma atomlarining bunday usul bo'yicha kiritilishi, o'lchovlari har xil bo'lgan, ammo bir xil fizik parametrlarga ega bo'lgan monokristallar olish uchun ishlatiladi. Kirishma atomlarining yarim o'tkazgich material kristallariga

kiritishning ikkinchi usuli bu diffuziya yordamida bajariladi. Bu usulda asosan kirishma atomlari noma'lum bir yupqa qatlamlarda hosil qilish uchun ishlatiladi. Bunday usulda kiritilayotgan kirishma atomlar konsentratsiyasi, uning diffuziya qilinayotgan temperaturasidagi eruvchanligi, qancha qalinlikka kirishi esa diffuziya koefitsiyenti bilan chegaralanadi. Bu usul hozirgi zamon mikrosxemalar va diskret yarim o'tkazgichli asboblarni yaratish jarayonida asosiy usul hisoblanadi.

Kirishma atomlar kiritishning uchinchi usuli bu kirishma atomlarini vakuumda maxsus yo'llar bilan ularning energiyasini oshirib, kristall yuzani kirishma atomlar bilan bombardimon qilishdir. Natijada kirishma atomlari (ionlari) energiyaga mos holda yuzadan bir necha 10 Å dan bir necha 100 Å gacha kiradi, ya'ni yarim o'tkazgich materialining sirt yuzasidagi o'ta yupqa qatlam kirishma atomlari bilan boyitiladi. Bunday usulda kiritilgan atomlarni elektr aktiv holiga keltirish uchun kristall ma'lum temperaturaga qizdiriladi, bundan tashqari kirishma atom ionlari bilan bombardimon qilingan kirishma atomlari yetib borgan joygacha radiatsion nuqsonlar hosil bo'ladi, agar ionlar energiyasi va dozasi yuqori bo'ladigan bo'lsa unda kristall yuzasi amorf holga kelishi mumkin. Bu usuldan foydalanganda kristall yuzasida xohlagan konsentratsiyadagi kirishma atomlar paydo qilish mumkin.

Nobel mukofotining laureati Richard Feynman tomonidan yaratilgan kvant mexanika borasida ko'pchilik bu murakkab formulalar to'plamidir, degan fikrda. Olim etuk mutaxassis sifatida kvant mexanikasining yuksak istiqbolini ko'ra bilgan. Uning ta'kidlashicha: "Insonlar kelgusida alohida atomlarni boshqarishni o'rganib olib, xohlagan narsalarini yaratishlari (sintez qilishlar) mumkin". Sohaning keyingi rivoji jism zarralari harakatini biror-bir o'lcham yoki yo'nalish bo'yicha chegaralasak, ya'ni kvantlasak, natijada uning harakat qonunlari erkin zarranikidan butunlay farq qiladi. Kvantlashni davom ettirib, zarraning harakatini ikki o'lcham bo'yicha (bir o'lchamli tuzilmalar), so'ngra uni uchala o'lcham bo'yicha ham chegaralasak (nol o'lchamli tuzilmalar), butunlay yangi hodisalar va qonuniyatlar namoyon bo'lar edi. Xususan, 1987

yil ikki o'lchamli elektronlar gazida kvant va kasrli kvant Xoll effektlarining kashf etilishi past o'lchamli tuzilmalarga qiziqishni kuchaytirdi. Ikki o'lchamli tuzilmalardan yorug'likning katta miqdorda sochilishi va yutilishi yupqa pardalarda ulkan magnit qarshiliklar uglerod asosidagi kvant o'lchamli yirik molekulalar fullurenlarining kashf etilishi va ularning amaliyotda ishlatilish istiqbollari-sohadagi izlanishlarga katta turtki berdi.

O'lchamli kvantlanishni yarim o'tkazishlarda namoyon qilish yuqori texnologiyalar (molekulyar nurli epitaktsiya) yordamida biror taglik ustida nafaqat kristolografik tuzilishi, balki kimyoviy tarkibi ham bir-biridan farq qiladigan o'ta yupqa qatlamlar o'stirish orqali amalga oshiriladi. Bu sohada tadqiqot ishlari o'tgan asrning 70-yillaridan boshlandi. E'tiborlisi, asosan uchlangan birikmalar asosida $Al_xGa_{1-x}As$ ikkilangan geteroo'tishlar hosil qilish ustida tadqiqotlar olib borilidi va natijada 2003 yili nemis olimi Bimberg va rus olimi J.Alfyorov Nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi. Hozir yarim o'tkazgichlardagi past o'lchamli strukturalar quydagicha bo'linadi.

Kvant nuqtalar (KN) - bu strukturalarning o'lchamlari mavjud uch yo'nalish bo'yicha qator atomlar orasidagi masofa tartibida bo'ladi (KNlarni ba'zan sun'iy atomlar deb ham atashadi). Masshtabiga bog'liq ravishda struktura nol o'lcham (OD) yoki uch o'lchamli (3D) hisoblanadi. Bu yerda D-dimention – o'lcham, massiv, o'lchov, kattalik, hajm so'zlarining birinchi harfi bo'lib, uning oldidagi raqam esa tuzilma geometrik o'lchami tartibini bildiradi.

Kvant simlar (KS) yoki kvant iplar (KI) – bunda strukturalar o'lchamlari ikki yo'nalish bo'yicha bir necha atomlar orasidagi masofaga teng bo'ladi, uchinchi yo'nalish bo'ylab esa o'lcham makroskopik qiymatga ega bo'ladi (1D). Kvant simlar (KS) yoki kvant iplar (KI) - bunda strukturalar o'lchamlari ikki yo'nalish bo'yicha bir necha atomlar orasidagi masofa tartibida bo'ladi, uchinchi yo'nalish bo'ylab esa o'lcham makroskopik qiymatga ega bo'ladi (1D).

Kvant devorlar (KD), boshqacha aytganda, kvant chuqurliklar (KCh) – strukturalarning o'lchamlari bir yo'nalish bo'yicha qator atom oralig'idagi

masofa tartibida bo'ladi, qolgan ikki yo'nalish bo'yicha esa o'lcham makroskopik qiymatga ega bo'ladi (2D).

O'lchami chegaralangan muhitda elektronlar holati va tashqi ta'sirlarga javoban quyidagicha kechishi mumkin. Faraz qiling, o'quvchi bola futbol maydonida turibdi. U uch o'lcham bo'yicha harakat qilishi, to'rt tarafga yugurishi va yuqoriga sakrashini mumkin. Demak, u X , Y , Z , koordinata o'qlar bo'yicha erkin harakat qiladi. Bunga bolaning uchta erkinlik darajasi bor deyiladi. Yuqoriga harakat qilish, sakrashini tepadan devor bilan chegaralasak, u faqat chor atrofga XOY koordinata tekmasligida yugurishi mumkin. Bunda bolaning harakati ikki o'lchamli bo'ladi. Bolaning ikki yon tomondan ham devorlar bilan to'sib, harakatni yana chegaralasak, u faqat oldinga harakat qila oladi. Agar harakati faqat bitta koordinata o'qi bilan belgilansa, u bir o'lchamli deyiladi. Bola harakati old va orqadan chegaralansa, u harakatlana olmaydi. Bu uning harakati nuqtadan iborat degani. Yuqorida keltirilgan to'rt holatda bolaning tashqi ta'sirga beradigan javobini tasavvur qilib ko'ring. Birinchi holda erkin, ikkinchisida sakrashga da'vat qilinsada, bunga imkoni yo'q, uchinchi vaziyatda esa faqat oldinga va orqaga harakat qila oladi. Tashqi da'vat uni yon tomonga undasada uning iloji bo'lmaydi. To'rtinchi holatda harakati bo'tunlay cheklangan, u faqat etarli bo'lgan tashqi kuchlar ta'siridagina devorlardan devorlardan oshishi mumkin, kuch etarli bo'lmasa, o'z holatini o'zgartira olmaydi. Barcha holda ham bolaning tashqi ta'sir yoki da'vatlarga javobi turlicha ba'zan esa hayri ta'biiy bo'lib, u o'z vaziyatidan kelib chiqib, javob beradiva hatto kutilmagan harakatlar qiladi. Elektron ham bolaga o'xshab o'zini yuqorida tasvirlanganidek tutadi. Chegaralantani tuzilmalarda zarra yoki elektron energiyasini o'z holatidan kelib chiqib o'zgartirdi, potentsial to'siq (devor)larni engish uchun etarlicha energiya berilsagina oshib o'tadi, aks holda energiya qancha katta bo'lmasin, natija kuzatilmaydi. Oqibatda elektron energiyasining uzluksiz ortishiga imkon bermay, sakrab, faqat ma'lum miqdorda o'zgarishiga olib keladi. Fan tilida bu kvantlash deb ataladi. Mazkur hodisalar yordamida ko'plab zamonaviy elektron asboblari va qurilmalar yaratish mumkin. Ularga

yarim o'tkazgichli lazerlar, fotoelementlar, turli datchiklar, sensorlar, tranzistorlar, doimiy xotira qurilmalari, DVD disklar, shuningdek, kvant kompyuterning asosi bo'lgan uch o'lchamli kvant xodisalarga asoslangan mikrosxemalarni kiritish mumkin.

Bu jarayonlarda kremniyli fotoelement sezgirligining spectral sohasini 4 mkm qiymatiga infra qizil spektorlar tomoniga kengayishi mumkin. Ni atomlari klasterlarida mavjud bo'lgan kremniy asosida quyosh elementlarini tayyorlash va ularning parametrlarini o'lchash imkoniyati mavjudligi aniqlandi

III bob. Kremniy asosida nanoklasterli fotoelementlarni laboratoriya variantini yaratish texnologiyasi

Diffuziya usuli bilan klasterlar hosil qilish, past haroratli diffuziya texnologiyasi

Se elementi oltingugurt (S), Se (Te) elementlari qatorida Mendeleev elementi davriy jadvalining oltinchi guruhida joylashgan, shu uchchala elementlarni tibiatan uhshagliklari ham bor masalan: Ularni kremniyga diffuziya qilishda ularning diffuziya koeffisSenti juda kichik, undan tashqari ular yuqori haroratda kremniyga diffuziya qilganda ularning atomlari kremniyning sirtini emirilishiga olib keladi. VI guruh elementlarining diffuzii koeffisSenti quyidagicha.

$$D_s = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right), D_s = 0,92 \exp\left(-\frac{2,2}{kT}\right)$$
$$D_{Se} = 0,95 \exp\left(-\frac{2,44}{kT}\right) D_{Te} = 16,5 \exp\left(-\frac{3,88}{kT}\right)$$

S ga nisbatan yuqori haroratli diffuziya qilinganda Se atomlari kremniyning sirtini ularga nisbatan qo'proq emiradi shu sababli Se ni kremniyga diffuzii qilish, uning atomlarini kremniy panjarasidagi holatini bili shva uning holatini o'rganish bilan juda kam shug'ullanishgan.

Shularga qaramasdan Sening shunday abzalliklari borki kremniyda uning erivchanligi oltingugurt va selennikidan kura ko'proq misol uchun:

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{E_p}{kT}\right) T=1250\text{ }^{\circ}\text{C da } N_s=5\cdot 10^{16}, N_{Se}=10^{17}, N_{Te}=5\cdot 10^{17}.$$

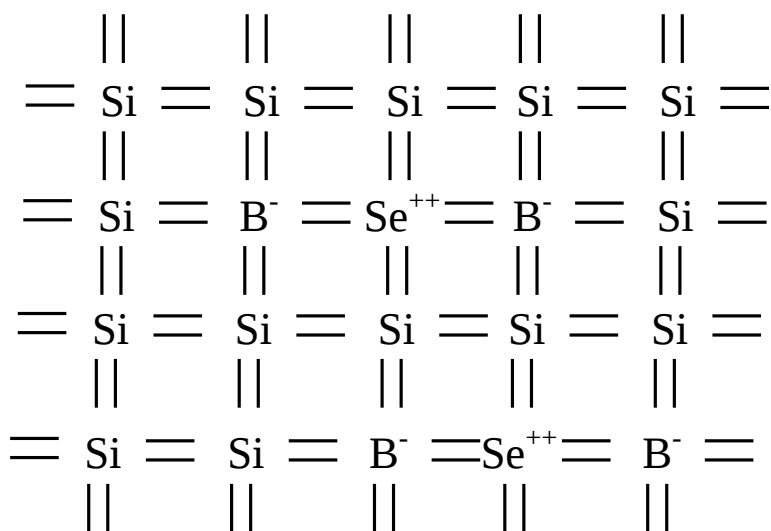
Demak shuni xulosa qilib aytish mumkinki demak Seni kremniyda atomlarining eruvchanli yuqori ekan, kremniyning sirtida maksimal konsentrastiyadagi Se atomlarini kiritish va kirishma atomlari nanoklasSerlani hosil qilish mumkin.

Yarim o'tkazgich materiallarning kiristal panjarasida maksimal darajadagi nanoklasSerlarning shakillanish Texnologiyasini yaratish va ularning elektrofizik xususiyatlarini o'rganish katta ilmiy va amaliy ahamiyatga ega

bo'lib, xozirgacha fanda noma'lum bo'lgan fizik hususiyatlarni va elektronikada qo'llashdagi yangi qirralarni ochishga imkon beradi.

Nanoo'lcham strukturalarni elektronika sanoatidagi mavjud qimmat qurilmalarda, Sexnologik jarayonlarning murakkab bosqichlarida oliydan farqli, kirishma atomlarining kremniy sirtidagi maksimal konsentrastiyasini past xaroratli diffuzion usulidan foydalanib shakillantirishning ma'lum afzalliklari mavjud. Bularga, yarim o'tkazgich kiristalining butun sirti bo'yicha Seng taqsimlangan nanoo'lcham strukturalarini xosil qilish, ularning o'lchami va strukturasini boshqarish imkoniyatlari beradi.

Ma'lumotlarga tahlil qilsak kremniy kristall panjarasiga Se elementi vakanstiyali mexanizm bilan diffuziyalanadi. Demak berilgan haroratda kremniyga vakant joylar hosil bo'lishini Se atomlari kutib turadi, berilgan haroratda bush vakant joylarga ya'ni tugunda turgan kremniy atomi uz o'rnini tashlab ketgan bo'sh joyga Se atomi asta sekin kelib o'tiradi va shu tartibda diffuziya jarayoni davom etadi.



3.1. - rasm. Kremniy kristall panjarasidagi Se atomlarining nanakristall hosil qilishi.

Seni elementi kremniyga diffuziya qilinganda donor xususiyatini namoyish etadi. U oltinchi guruh elementi bo'lgani uchun tashqi qobig'idagi

to'rtta elektroni bilan kovalent kimyoviy bog'lanishga qatnashadi. Kovalent bog'lanishdan ortib qolgan ikkita elektroni kovalent kimyoviy bog'lanishga qatnashmaganligi sababli faqatgina Se atomiga kuchsiz bog'langan. Agarda shu ikkita elektronga kuchsiz energiya berganimizda ular erkin holatga o'tib zaryad toshishga qatnashadi.

Se elementi kremniyda ikkita donor sathlar hosil qiladi.

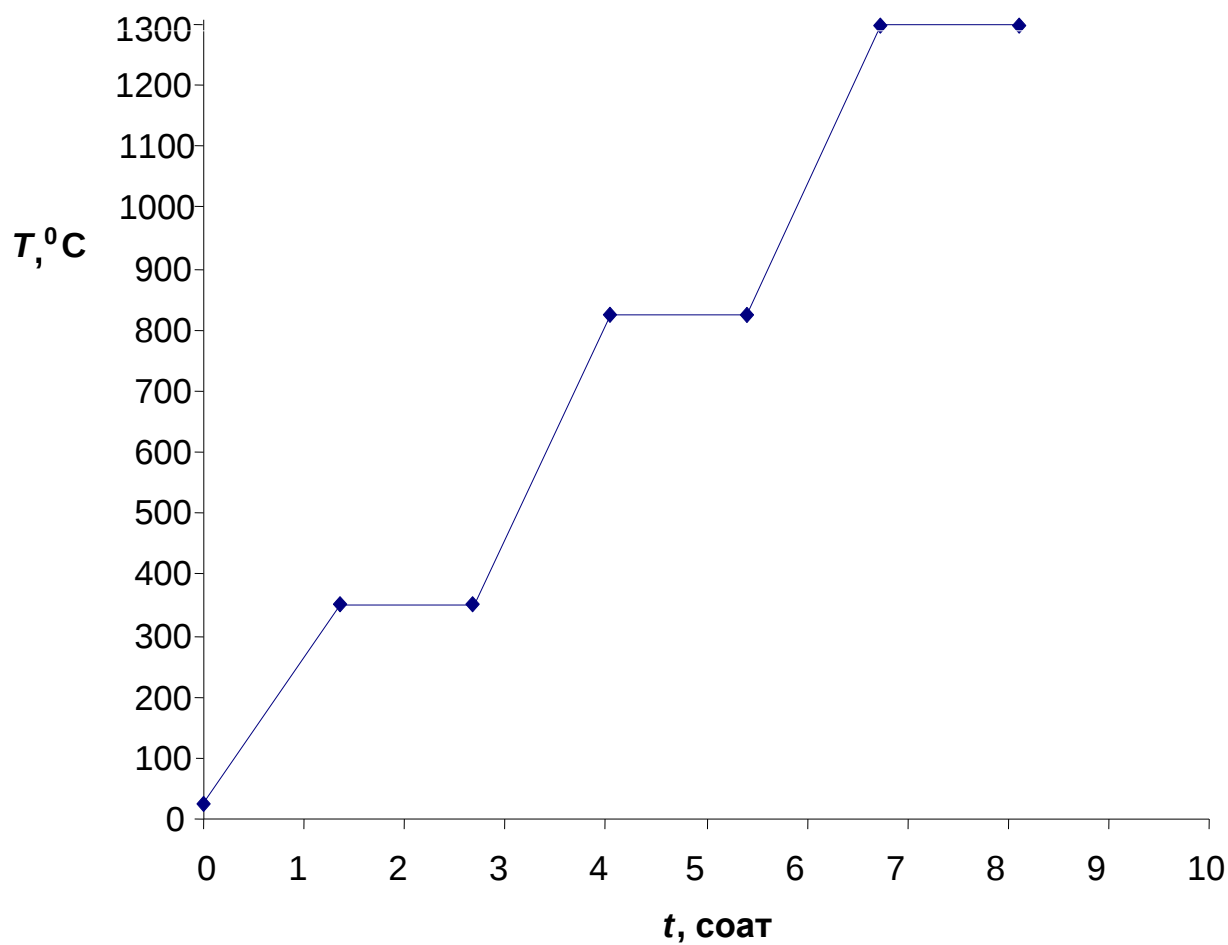
$$E_1 = E_C - 0,3 \text{ eV} \text{ va } E_2 = E_C - 0,59 \text{ eV}$$

Shu sabdan diffuziya jarayoni uchun KDB markali na'munalari tanlab olingan.

1 – holatda diffuziya jarayonida $N_{Se} < 2 \cdot N_B$ munosabat yuzaga keladigan bo'lsa unda Se atomlarining hammasi o'zining ikkitadan elektronlarini Bor elementiga berib, ikki karali musbat ionga aylanadi. Bunday materialda kovaklar soni elektronlar sonidan ko'p bulganligi sababli material n turli hisoblanadi. Bunday materiallarda asosiy zaryad tashishda kovaklar ishtirok etadi va Se atomlarining ko'p qismi quyidagi holatga o'tadi Se^{++} , kam qismi Se^+ holatga o'tadi.

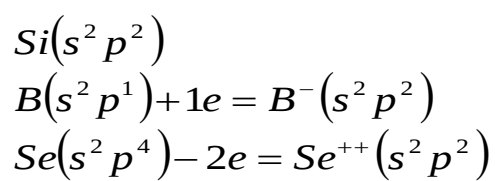
2 – holatda diffuziya jarayonida $N_{Se} = 2 \cdot N_B$ munosabat yuzaga keladigan bo'lsa unda Se atomlarining hammasi o'zining ikkitadan elektronlarini Bor elementiga beradi va Bor elementi atomlarini Se elementi atomlarini olib qo'p qismi bir kara manfiy ionga va juda kam qismi netral holatda bo'lish ehtimolligi bor.

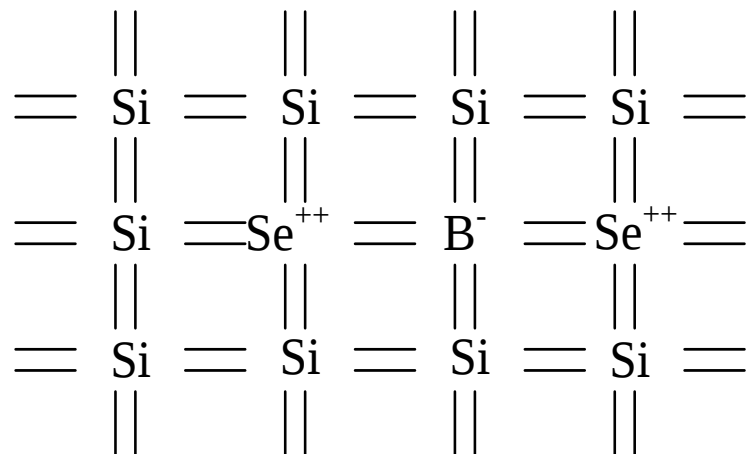
3 – holatda diffuziya jarayonida $N_{Se} > 2 \cdot N_B$ bunday holatda Bor elementining hammasi B^- bir kara manfiy ionga aylanib qoladi, bu paytda Se atomlarining kam qismi Se^{++} , kuprog'i Se^+ va yana kam qismi Se^0 holatda bo'ladi bunda materialning tipi almashinib ya'ni p- turdan n- turga o'tganda bunday materialni Se bilan perekompensastiyalangan kremniy materiali deyiladi.



2.7 rasm. Past haroratli ko'p bosqichli legirlash usuli

(Si)₂ <B,Se> tipdagi yangi elementar yacheykalarni tuzilishi





2.8 rasm. Kremniy panjarasida selen elektroaktiv atomlarining kristall strukturasi

Diffuziya jarayoni oxiriga etganda ampulani pechkadan Se_2 olib katta laxm Semirga sovitiladi. Ampula sovigandan so'ng uning chetroq shamol esib turadigan joyga sindirib Se bilan legirlangan kremniy na'munalarini olib toza havoga 24 soat qo'yib qo'yish kerak, so'ngra na'munalarni olib mkroskopda sirti Sekshirib ko'riladi.

Na'munalarni issiqlik zondi bilan Sekshirib ko'rib uning qaysi tipga mansuligini bilish mumkin. Agar issiqlik zondi r turni ko'rsatsa bunday material Se bilan kompensastiyalangan kremniy na'munasi deyiladi. Issiqlik zondi n yoki p turni kuchsiz ko'rsatsa Se bilan kuchli kompesastiyalangan, aksincha faqat p turni kursatsa Se bilan perekompensastiyalangan kremniy na'munasi deyiladi.

Se atomlarini kremniyga qanaqa miqdorda yoki qancha chuqurlikka kirganligi bilish uchun na'munalarni almazli mikro kukuni yordamida 1 mkm dan jilolab, har bir chuqurlikda tipini tekshirib, to'rt zond yordamida uning solishtirma qarshiligi o'lchab boriladi. Agar jilolash jarayonini davom ettirayotganimizda n turdagi namunaning turi zturga o'zgarsa shu masofada Se atomlarining konsentrastiyasi bor atomlarining yarmiga teng bo'ladi va shu chegara p-n o'tish chegarasi deyiladi. KDB -0,1, KDB -0,5 va KDB-1 na'nunalarida olingan natijalar quyidagi 4 jadvalda ko'rsatilgan. $\text{Si} < \text{B}, \text{Se} >$ uchun tanlangan sharoit $T=1200^\circ\text{S}$, $t=60\text{ min}$, $m_{\text{Se}}=47\text{ mg}$.

KDB - 0,5 na'munasida olingan natijalar 4 jadvalda kursatilgan. $\text{Si} < \text{B}, \text{Se} >$ uchun tanlangan sharoit $T=1200^\circ\text{C}$, $t=60\text{ min}$, $m_{\text{Se}}=45\text{ mg}$.

4 jadvaldagi natijalardan shuni xulosa qilib aytish mumkinki KDB-0,5 namunalarining sirtidan har safar jilolab borganimizda materialning turi p ni lekin uning solishtirma qarshiligining oshib borishini kuzatish mumkin. Jilolanib borish $18\div 20\text{ mkm}$ ga etganida materialning solishtirma qarshiligi eng kata qiymatga erishdi. Se atomlarining konsentrastiyasi $18\div 20\text{ mkm}$ chuqurlikda bor atomlarining konsentrastiyasiga tenglashayapti hamda shu masofada materialning tipii almashayapti ya'ni n turdan p turga o'tayapti.

4-jadval

№	Namuna	W	Тип	$\rho, \text{Om}^*\text{cm}$	n, 1/cm ³	F, эВ	N, 1/cm ³
1	KDB-0,1 S I	3	n	0,00541	9,6E+17	7,70E-02	1,2E+18
2	KDB-0,1 S II	3	n	0,01968	2,6E+17	1,10E-01	4,6E+17
3	KDB-0,1 S III	3	n	0,00433	1,2E+18	7,12E-02	1,4E+18
4	KDB-0,1 S IV	3	n	0,00802	6,5E+17	8,71E-02	8,5E+17
5	KDB-0,5 S I	3	n	0,07538	6,9E+16	1,45E-01	1,1E+17
6	KDB-0,5 S II	3	n	0,07095	7,3E+16	1,43E-01	1,1E+17
7	KDB-1 S I	3	n	0,10676	4,9E+16	1,54E-01	6,9E+16
8	KDB-1 S II	3	n	0,10676	4,9E+16	1,54E-01	6,9E+16
9	KDB - 0,5 Se	3	n	0,07708	6,8E+16	1,45E-01	1,1E+17
10	KDB - 1 Se	3	n	0,23418	2,2E+16	1,74E-01	4,2E+16
11	KDB - 0,1 Te	3	n	0,00262	2,0E+18	5,83E-02	2,2E+18
12	KDB - 0,5 Te	3	n	0,00183	2,8E+18	4,90E-02	2,9E+18
13	KDB - 1Te	3	n	0,01637	3,2E+17	1,06E-01	3,4E+17

5-jadval

№	Qalinlik (Kremniy namunasidan olinayotgan qalinlik) ΔW , mkm	Tipi, (n yoki p)	Solishtirma qarshiligi $\rho, \text{Om}\cdot\text{sm}$
	3	n	706
	2	n	1778
	2	n	3434
	2	n	3349
	2	n	6968
	2	n	4020

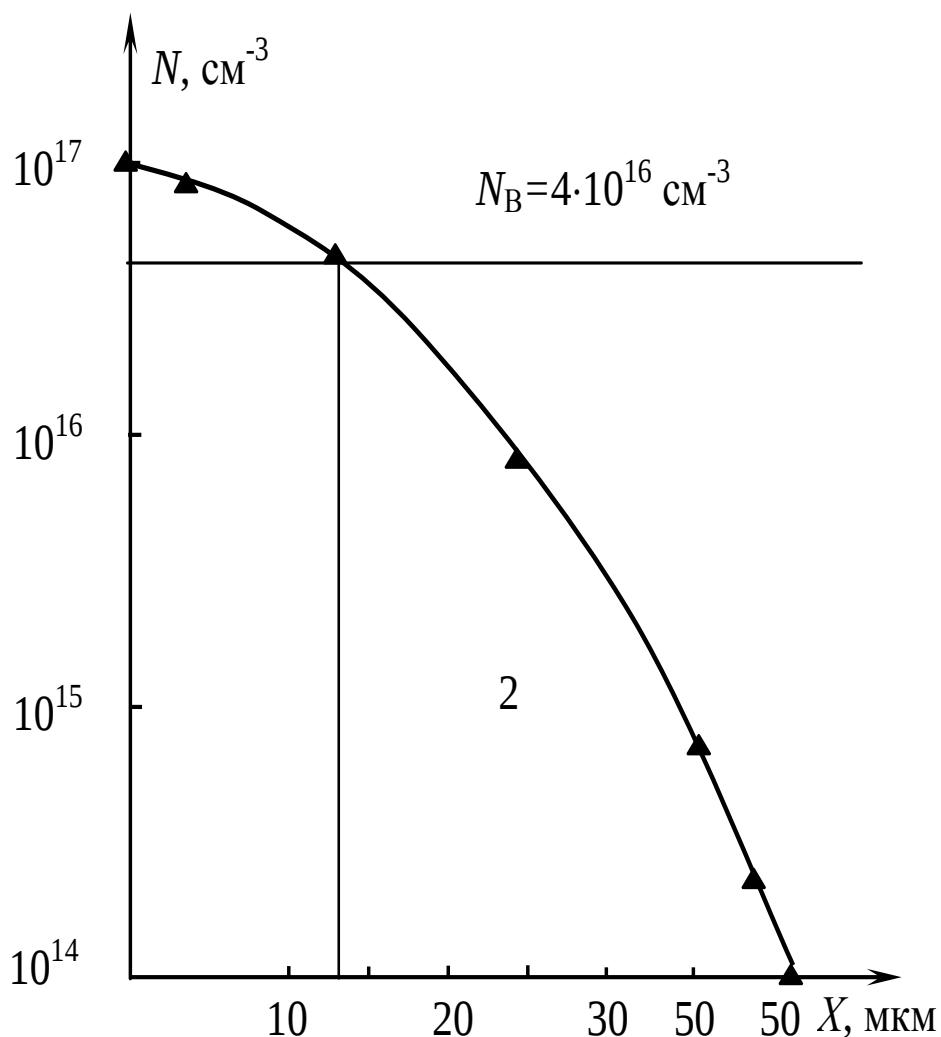
2	n	7357
2	n	3521
2	n	3617
2	n	6092
2	n	3879
2	i	358
4	p(i)	66
3	p	52
2	p	20
2	p	17
2	p	17
2	p	13
2	p	7
2	p	8
3	p	5
5	p	5
5	p	3
5	p	4
5	p	4

Undan tashqari biz jilolashni yanada davom ettirganimizda materialning solishtirma qarshiligi kamayotganini sezish mumkin. Jilolash $25 \div 27$ mkm ga etgungacha shu kamayish davom etdi va materialimish o'zining boshlang'ich holatiga yaqinlashganini kuzatish mumkin. Demak Se atomlari bizning yangi Texnologiyamiz bo'yicha shuncha chuqurlikkacha kremniyning ichiga kirib borgan bu esa 2.3 rasimda batafsil keltirilgan.

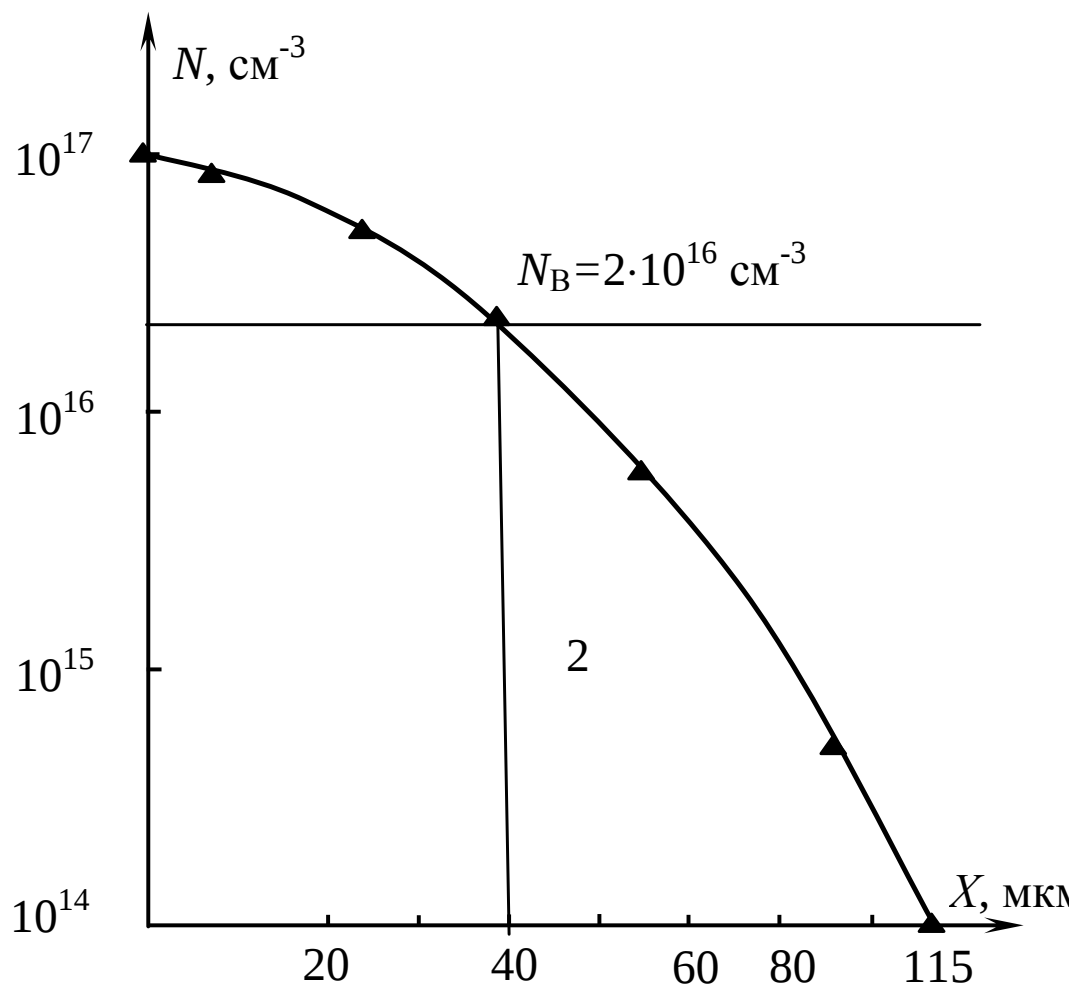
4 jadvaldagi natijalardan shuni xulosa qilib aytish mumkinki KDB-1 namunalarining sirtidan har safar jilolab borganimizda xudi KDB - 0,5 materialning natijasiga o'xshab materialning turi p ni hamda uning solishtirma

qarshiligining oshib borishini kuzatish mumkin. Jilolanib borish 13÷15 mkm ga etganida materialning solishtirma qarshiligi eng kata qiymatga erishdi. Se atomlarining konsentrastiyasi 13÷15 mkm chuqurlikda bor atomlarining konsentrastiyasiga Senglashayapti hamda shu masofada materialning tipi almashayapti ya'ni n turdan p turga o'tayapti.

Biz jilolashni 13÷15 mkm dan so'ng yanada davom ettirganimizda materialning solishtirma qarshiligi kamayotganini sezish mumkin. Jilolash 27÷28 mkm ga etgungacha shu kamayish davom etdi va materialimish o'zining boshlang'ich holatiga yaqinlashganini kuzatish mumkin. Demak Se atomlari bizning yangi texnologiyamiz bo'yicha shuncha chuqurlikkacha kremniyning ichiga kirib borgan biz buni 2.12. rasimda yaqqol yaqqol ko'rishimiz mumkin.



3.2. - rasm KDB-0,5 namunasidagi Se atomlarining hosil qilgan p-n o'tish sohasi chuqurligi va Se atomlarining maksimal kirib borish chuqurligi.



3.3. rasm KDB-1 namunasidagi Se atomlarining hosil qilgan p-n o'tish sohasi chuqurligi va Se atomlarining maksimal kirib borish chuqurligi.

Fotoelementning foydali ish koeffitsientiga ta'sir etuvchi omillar

Quyosh nurlanishining spektral tarkibi 0,1 mkm dan 30 metr to'liq uzunligigacha bo'lgan oraliqdagi tebranishlardan iborat. Quyosh nurlanishi energiyasining asosiy qismi 0,2- 3 mkm oraliqda jamlangan. Shu oraliqdagi nurlanishni quyidagi qismlarga ajratish va nomlash qabul qilingan. Bular jumlasiga spektrning ultrabinafsha qismi (UB) 0,1-0,38 mkm oraliqda, spektrning ko'rinadigan qismi 0,38-0,78 mkm oraliqda, spektrning infraqizil qismi (IQ) 0,78 mkm va Quyosh nurlanishi energiyasining spektral

taqsimlanishi. 1- atmosferadan tashqaridagisi 1360 Vt/m^2 2- Yer sirtidagi to'la tushayotgan 100 Vt/m^2 3- yerdagi to'g'ridan to'g'ri tushayotgan $834.6/\text{m}^2$ undan ortiq to'lqin uzunligiga ega bo'lgan qismni tashkil qiladi. Ko'rinuvchi nurlanishni binafsha, ko'k, yashil, sariq, qizil nurlarga ajratiladi. IQ nurlanishni yaqin va uzoq IQ nurlarga ajratiladi. UB nurlanish, koinotda yuqori intensivlikka ega bo'lishiga qaramasdan, Yer atmosferasining yuqori qismida mavjud bo'lgan ozonga yutilib, Yer sirtiga faqat to'lqin uzunligi $0,3 \text{ mkm}$ ga teng bo'lgan ozroq qismigina etib keladi.

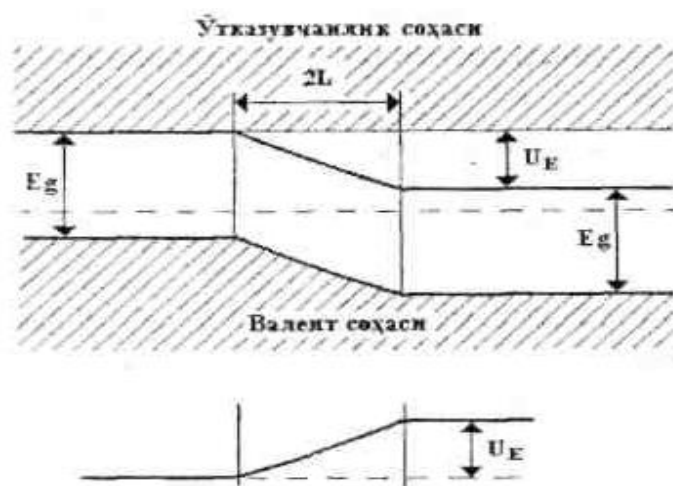
Fotoelektrik batareyalar yoki quyosh batareyalari (QB) murakkab qurilmalar bo'lib, ular ma'lum tartibda ulangan QE dan va bu elementlar joylashtirilgan eltuvchi asoslardan iboratdir. Bular tarkibiga ajratuvchi diodlar xam kiritilgan bo'lishi mumkin. QB konstrukstiyasi silkinish va urinishlarga chidamli va ishlashga oson bo'lishi kerak. QB tayyorlashning texnologiyasini yaratish uchun QE larining potentsial imkoniyatlaridan to'la foydalanish maqsadga muvofiqdir. Buning uchun QB tayyorlash texnologiyasi batareya quvvati yo'qotishlarni maksimal kamaytirish imkonini berishi zarur. QB larida quvvatning yo'qotilishi ikki xil bo'ladi, bular optik va elektrik yo'qotishlardir.

1) Elektrik yo'qotishlar. Elektrik yo'qotishlar asosan QE parametrlarini aniq o'lchashga va ularni parametrlariga qarab aniq saralashga bog'liqdir. Parametrlarga qarab saralash elektrik yuklanmaning optimal nuqtalariga yaqin qilib olib borilishi kerak.

2) Optik yo'qotishlar. Optik yo'qotishlar bu tushayotgan quyosh nurining QE lariga xammasi etib bormasligidadir. Jumladan, bu yo'qotish QB sini germetizastiya qilishdagi (germetik materialining bir jinsli bo'lmaganligi va texnologik jarayon natijasida paydo bo'ladigan nuqsonlar) va frontal yuzaga tushayotgan nurni o'tkazuvchi qoplama (oyna yoki plastik modda)dagi yo'qotishlardan iborat.

Quyosh elementlari konstrukstiyalari Keng tarqalgan kremniy asosidagi QE lari konstrukstiyasi p- va n-materialning bir-biriga tutashtirishdan hosil qilinadi. Yarim o'tkazgich material ichidagi r- va n-tip orasidagi o'tish sohasi (chegara

xududi) elektron- teshik yoki p-n o'tish deyiladi. Termodinamik muvozanatda elektron va teshiklar muvozanat holatini belgilovchi Fermi sathi materialda bir xil holda bo'lishi kerak. Bu shart p-n o'tish hududida ikkilangan zaryadli qatlam hosil qiladi va uni hajmiy zaryad qatlami deyilib, unga taalluqli elektrostatik potentsial paydo bo'ladi. p-n tuzilma sirtiga tushgan optik nurlanish, sirtan material ichiga qarab p - n o'tish yo'nalishiga perpendikulyar ravishda konstantastiyasi kamayib boruvchi elektron-teshik juftliklar hosil qiladi. Agar sirt yuzasidan p-n o'tishgacha bo'lgan masofa nurning kirish chuqurligidan ($1/\alpha$ dan) kichik bo'lsa, elektron-teshik juftliklar p-n o'tishdan ichkarida ham hosil bo'ladi. Agar p - n o'tish juftlik hosil bo'lgan joydan diffuzion uzunlikka teng masofa yoki undan kamroq masofada bo'lsa, zaryadlar diffuziya jarayoni natijasida p-n o'tishga etib kelib, elektr maydoni ta'sirida ajratilishi mumkin. Elektronlar p-n o'tishning elektron bor bo'lgan qismiga (n-qismiga), teshiklar r-qismiga o'tadi. Tashqi r-va n-sohalarni birlashtiruvchi elektrodalarda (kontaktlarda) potentsiallar ayirmasi hosil bo'lib, natijada ulangan yuklanma qarshiligi orqali elektr toki oqa boshlaydi. p-n o'tishga diffuziyalangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar, potentsial to'siq bo'lganligi sababli, ikkiga ajratiladi. Ortiqcha hosil bo'lgan (to'siq yordamida ajratishgan) va to'plangan, n-sohadagi elektronlar va p-sohadagi teshiklar p-n o'tishdagi mavjud hajmiy zaryadni kompensastiya qiladi, ya'ni mavjud bo'lgan elektr maydoniga qarama-qarshi elektr maydonini hosil qiladi. Yoritilish tufayli tashqi elektrodalarda potentsiallar ayirmasi hosil bo'lishi bilan birga yoritilmagan p-n o'tishdagi mavjud potentsial to'siqning o'zgarishi ro'y beradi. Hosil bo'lgan foto-EYUK bor bo'lgan potentsial to'siq qiymatini kamaytiradi. Bu esa o'z navbatida qarama-qarshi oqimlarning paydo bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni elektron qismdan elektronlar oqimini, p - qismdan teshiklar oqimini hosil qiladi. Bu oqimlar



3.4. –rasm. Yoritilmagan p-n o'tishli yarim o'tkazgichda energetik sohalar strukturasi (a), elektrostatik potentsial taqsimoti (b). $2L$ - hajmiy zaryad sohasining kengligi, U_E - p- va n- sohalar chegarasidagi muvozanat xol uchun elektrostatik potentsial, E_g - taqiqlangan soxa kengligi, shtrixlangan chiziq - muvozanat holi uchun Fermi sathi. p-n o'tishga qo'yilgan elektr kuchlanishi ta'siri natijasida tug'ri yunalishdagi tok bilan deyarli teng bo'ladi. Yoritilish jarayoni boshlangan vaqtdan boshlab ortiqcha (muvozanatdagiga nisbatan) zaryadlarning to'planishi (elektronlarning p-sohada va teshiklarning n-sohada) potentsial tushiq balandligini kamaytiradi, yoki boshqacha qilib aytganda elektrostatik potentsialni pasaytiradi (24-rasmga qarang). Bu esa o'z navbatida tashqi yuklanmadan oqayotgan tok kuchini oshiradi va qarama-qarshi oqimlar hosil qiluvchi elektronlar va teshiklar oqimini p-n o'tish orqali o'tishini ta'minlaydi. Yorug'lik tufayli hosil bo'lgan ortiqcha juftliklar soni p-n o'tish yoki tashqi yuklanma orqali ketayotgan juftliklar soniga teng bo'lganda stasionar muvozanat hosil bo'ladi. Odatda bu hol yoritilish jarayonining mingdan bir soniyasi davomida ro'y beradi. QE qisqa tutashuv toki I_{kz} ni, tushayotgan optik nurlanish zichligi va spektral tarkibiga bog'liq holda o'rganish, element tuzilmasi ichida bo'layotgan har bir nurlanish kvantining elektr energiyasiga aylanish jarayoni samaradorligi haqida tasavvur hosil qilish imkoniyatini beradi. Ma'lum yorug'lik oqimi zichligi tushayotgan QE uchun quyidagi tenglamani keltirish mumkin.

$$I_{kzy}(\lambda) = I_{kzt}(\lambda) / [1 - p(\lambda)]$$

bu erda $I_{kzt}(\lambda)$ va $I_{kzyu}(\lambda)$ - mos ravishda berilgan intensivlikdagi yutilgan va tushayotgan nurlanish uchun QE qisqa tutashuv tokining qiymatlari, $p(\lambda)$ - birlamchi qaytish koeffitsienti. Keltirilgan uchchala kattaliklar ham bir xil to'liq uzunligi bo'lgan hol uchun to'g'ri.

QE ni tahlil qilish va sifatini baholash uchun uning I_{kz} tokining spektral xarakteristikasini yutilgan har bir kvant nur uchun hisoblash o'ta muhimdir. Bu kattalikni Quyosh elementining effektiv kvant chiqishi deyiladi va Q_{eff} bilan belgilanadi. Agar N_0 – Yarim o'tkazgich material sirtining birlik yuzasiga tushayotgan kvantlar soni bo'lsa, u holda

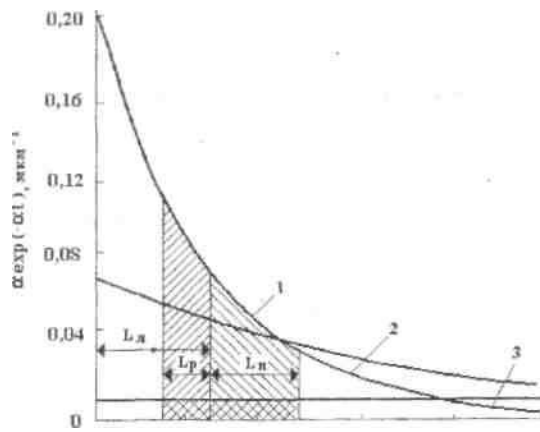
$$Q_{eff} = I_{kz}/N_0$$

bo'ladi, bu erda I_{kz} elek/soniya da o'lchanadi, va Q_{eff} elek/kvant (foton) larda olinishi kerak.

QE effektiv kvant chiqishi ikki parametrga bog'lik bo'lib, u

$$Q_{eff} = \beta\gamma$$

β -ichki fotoeffektning kvant chiqishidir. Bu kattalik har bir yutilgan kvant uchun fotoionizatsiya jarayonida Yarim o'tkazgich ichida hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklarni ko'rsatadi. γ - p - n o'tish potentsial to'siqning tok tashuvchilarni yig'ish (jamlash) koeffitsientidir. Boshqachasiga aytganda tok tashuvchilarning ajratish koeffitsienti ham deyiladi. Bu koeffitsient optik nurlanish yordamida hosil bo'lgan umumiy juftliklardan qancha qismi qisqa tutashuv tokida ishtirok etishini ko'rsatadi. Tashqi o'lchash asbobi ulangan hol uchun $\beta=1$ bo'lsa, har bir kvant bitta juftlik hosil qila olishini ko'rsatadi. Har xil to'liq uzunlikka ega bo'lgan optik nurlanish, materialda har xil chuqurlikka kira oladi (kvantlarning chuqurlikka kirish qobiliyati ularning energiyasiga bog'likdir). Yarim o'tkazgich materiallarda yutilgan kvantlar hisobiga hosil bo'lgan



3.5. Rasm. Har xil to'liqin uzunlikka ega bo'lgan nurlanishning kremniy asosidagi p - n o'tishga perpendikulyar tushgan hol uchun hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklarining taqsimlanishi. 1- $\lambda = 0,619 \text{ mkm}$, $a = 2000 \text{ sm}^{-1}$; 2- $\lambda = 0,81 \text{ mkm}$, $a = 700 \text{ sm}^{-1}$; 3- $\lambda = 0,92 \text{ mkm}$, $a = 90 \text{ sm}^{-1}$. Elektron-teshik juftliklar materialda fazoviy taqsimot hosil qiladi.

Hosil bo'lgan juftliklarning keyingi taqdiri Yarim o'tkazgichli materiallarning diffuzion yo'li uzunligiga bog'liqdir. Agar bu parametr kattaligi etarlicha bo'lsa, u holda nurlanish tufayli hosil bo'lgan ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar faqat diffuziya jarayoni tufayli p - n o'tishga kelib uning elektr maydoni orqali ajratilishi mumkin. Optik nurlanishni aylantirilishi jarayonida muhim rolni elektronlarning diffuziya yo'li uzunligi (L_p) va p - n o'tish chuqurligi (S) o'ynaydi, chunki hosil bo'layotgan va ajratilishi kerak bo'lgan juftliklar ularga bog'liqdir. Optik nurlanishning Yarim o'tkazgich materialga tushish yo'nalishiga qarab p-n o'tish konstrukstiyasining ikki xili mavjud.

1-hol. Optik nurlanish yo'nalishiga p-n o'tish perpendikulyar joylashgan hol. Optik nurlanish, qalinligi ℓ ga teng bo'lgan Yarim o'tkazgich materialning butunlay oxirigacha kiradi.

2-hol. Optik nurlanish yo'nalishiga p-n o'tish parallel joylashgan hol. Nurlanish, kengligi d ga teng bo'lgan tuzilmaga tushadi.

Perpendikulyar va parallel joylashgan p-n o'tishlar uchun yig'ish (jamlash) ko'effisienti quyidagi munosabatlar bilan aniqlanadi.

$$\gamma = (L_n + L_p) / \ell \text{ va } \gamma = (L_n + L_p) / d$$

bu erda, L_n , L_p - mos ravishda elektronlar va teshiklarning diffuziya yo'li uzunligi.

Birinchi qarashda p-n o'tishning parallel joylashishi afzalroq ko'rinadi. Chunki hosil bo'lgan zaryad juftliklarini to'laligicha yig'ish va ajratish uchun Yarim o'tkazgich material qalinligiga va p - n o'tishga nisbatan ularning taqsimlanishi muhimdir. Yarim o'tkazgich ichida juftliklarning material chuqurligiga nisbatan bir tekis hosil bo'lishi ularning p-n o'tish tomon diffuziya hodisasi orqali ajratilish jarayoni uchun o'ta muhimdir. Shuning uchun, ko'p p - n o'tishlarga ega bo'lgan QE larda, ularning p - n o'tishlari tushayotgan optik nurlanishga parallel joylashtiriladi. Optik nurlanishning uzun to'lqinli qismida, bu konstruktsiya zaryad tashuvchilarni yig'ishning yuqori samaradorligiga ega bo'ladi, hamda bir birlik yuzadan katta miqdordagi foto-EYUK olishga imkon yaratadi. Takidlash lozimki, nisbatan kichkina o'lchamli parallel joylashgan p-n o'tishlarga ega bo'lgan mikro QE larida rekombinatsiya hodisasining perpendikulyar joylashgan p - n o'tishlarga nisbatan kattaligi nazariy va amaliy jihatdan aniqlandi. Shuning uchun, bu turdagi QE ning quyosh nurlanishiga qaratilgan yuzasida qisqa to'lqinli nurlarning spektral effektivligini oshirish uchun, qo'shimcha kirishmalar kiritilgan teskari tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qo'shimcha yupqa qatlam hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Ya'ni, yana qisman perpendikulyar konstruktsiya elementiga qaytish maqsadga muvofiqdir.

Parallel joylashgan p-n o'tishli QE larida hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar konstantastiyasi (M) material yuzasidan ichkarisiga qarab o'zgaradi. Perpendikulyar joylashgan p - n o'tishli QE konstruktsiyasi uchun esa n-turdagi material uchun xam r-turdagi uchun ham hosil bo'layotgan juftliklarning aksariyati p - n o'gishga yaqin joyda hosil bo'ladi. Hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklar birlik chuqurlikda quyidagi tenglama orqali aniqlanadi.

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha l)$$

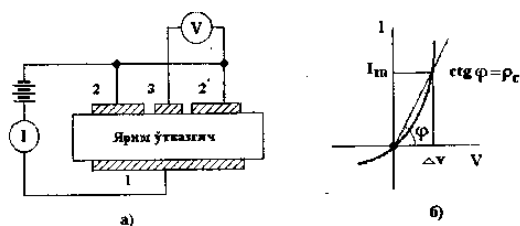
bu erda, N_0 -bir birlik yuzaga tushayotgan kvantlar soni. Juftliklar soni, ichkariga qarab kamayib boradi. Ularning sonini Yarim o'tkazgich materialda

yutilishi mumkin bo'lgan sohada α (E) ni aniqlash mumkin. Kremniy uchun natijasi, bir necha qiymatga ega bo'lgan to'liq uzunliklaridagi hisoblashlar n- va p-turdagi materiallardagi zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari sohalarini, p - n o'tish perpendikulyar bo'lgan hol uchun zaryad tashuvchilar jamlash jarayonini baholash imkonini beradi. Quyosh elementlarining planar konstruktsiyasi (optik nurlanish tuzilma yuzasiga perpendikulyar tushgan hol) QE texnologiyasida va ularni amaliy ishlatishdagi asosiy konstruktsiyadir. Bunday QE har xil Yarim o'tkazgich materiallar asosida ishlab chiqildi. Yuqorida keltirilgan tahlillar asosida yuqori samarali optimallashtirilgan konstruktsiyalar ishlab chiqildi. Ammo har qanday material uchun ham ularga qo'yiladigan, yuqorida keltirilgan, asosiy talablar saqlab qolinishi kerakligi aniqlandi. γ va I_{kz} ni oshirish uchun p-n o'tishning ikkala tomonida ham albatta diffuzion uzunlikni oshirish maqsadga muvofiqdir. Buni amalga oshirish uchun kerakli material tanlash va p-n o'tishni texnologik tayyorlash jarayonida diffuzion uzunlikni kamaymasligiga harakat qilish kerak. Agar uning kamayishi aniq bo'lsa uni hisobga olish zarurdir. Agar L_d ni frontal sirtida oshirish imkoniyati bo'lmasa, u holda frontal sirt qalinligini $L_p \gg \ell$ ga amal qilgan holda olish kerak. Shu asosda baza parametrlarini tanlash zarurdir.

IV bob. Kremniy asosida nanoklasterli fotoelementlarni laboratoriya variantini parametrlarini o'lchash va tahlil etish

Agar Yarim o'tkazgich va metall orasidagi kontaktning volt-amper xarakteristikasi noldan boshlab kuchlanishning katta qiymatlariga teng kT largacha ($V \gg kT$) chiziqli xususiyatga ega bo'lib tok kuchini qarama-qarshi tomonga o'zgartirilganda ham bu qonuniyat saqlansa, kontakt omik deb hisoblanadi. Ammo, kontaktdagi kuchlanish pasayishi yarim o'tkazgichli material hajmidagi kuchlanishlar pasayishidan kam bo'lsayu, tok-kuchlanish (I-V) xarakteristika shu oraliqda chiziqli bo'lmasa ham, kontakt kvazi omik hisoblanadi (Rasm 35).

33 - rasmda misol tariqasida kontaktlar qarshilini o'lchashni 3 zondli usuli va BAX keltirilgan. Omik kontaktni xarakteristikasi $\text{ctg}\varphi$ bilan aniqlanadi.



Rasm 33. Kontaktlar qarshiligini o'lchashning uch zondli usuli (a), o'lchangan volt-ampere xarakteristika (b)

Omik kontaktga ko'yiladigan talablar. Omik kontakt quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi shart:

- A) katta elektr o'tkazuvchanlikka,
- B) yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka,
- C) mexanik mustaxkamlikka.

Kontaktning solishtirma qarshiligi kuchlanish nolga teng bo'lgan hol uchun quyidagi tenglamani qanoatlantirishi kerak, Odatda solishtirma qarshilikning keskin kamayishiga zaryad tashuvchilar konstantriyasi oshirish orqali erishiladi va haroratning kamayishi jarayonida ρ ning ortishi kuzatiladi. Bir metall yordamida olingan kontaktlarda yuqoridagi talablarni bajarish qiyin. Shuning uchun ikki yoki undan ortiq metallar kombinastiyasi orqali talablar bajarilishi mumkin. Bunday kontaktlarda birinchi metall qatlami yarim o'tkazgichli materialda malum tip zaryad tashuvchilar mavjud kirishma rolini bajarishi kerak (faol kontakt) yoki yarim o'tkazgich bilan nisbatan kamroq elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan holda u bilan kimyoviy bog'lanish hosil qilishi kerak (passiv kontakt), Bundan tashqari birinchi metall qatlami mexanik mustaxkamlik uchun masuldir.

Kontaktning ikkinchi metall qatlami yuqori haroratli texnologik jarayonga dosh berishi va tashqi muhit ta'siriga uzoq muddatda chidamli bo'lishi shart. Uchinchi metall qatlam (yoki eng ustki qatlam) qalaylash imkonini berishi, fotoelektrik batareyani elementlar asosida yig'ishni osonlashtirishi va QE ketma-ketlik qarshiligini kamaytirish imkonini, binobarin, kontakt kesimini

oshirish imkoniyatini berishi kerak. Omik kontakt olish usullari Hozirgi zamon yuqori samarali fotoqabullagichlar va QE ishlab chiqarishda ko'p qatlamli kontaktlar ishlatiladi. p-tip kristalli kremniy asosidagi koinotda ishlatiladigan ,quyosh elementlarida Al, Ti, Pd, Ag, n-tip asosidagi QE uchun esa, Ti, Pd, Ag metallari ishlatiladi. Erda ishlatiladigan quyosh elementlari uchun nisbatan arzonroq turadigan metallar ishlatiladi; r-tip uchun Al, Ti, Ni, Cu, n-tip material uchun, Ti, Ni, Cu. Kontaktlar sirti keyin POS-61 markali aralashma yordamida qalaylanadi. Eng arzon va oddiy texnologiya bilan olinadigan kontaktlarda Sn va Al dan foydalaniladi. Omik kontaktlar olish asosan vakuumda uchirish, zlektrokimyoviy o'tkazish, kimyoviy va termik usullar orqali amalga oshiriladi. Yuqoridagi texnologik jarayonlaridan birini ishlatish uchun avvaliga kvaziomik yoki omik kontakt olish uchun kerak bo'lgan asosiy talablarni ko'rib o'tamiz.

1. Metall-yarim o'tkazgichli material chegarasida qarshilikni kamaytirish uchun zaryad tashuvchilarning tunnel usuli bilan oqib o'tishini ta'minlash maqsadida o'ta legirlangan chegaraviy qatlam hosil qilish;

2. Termoelektron tok oqib o'tish mexanizmini boshqarish uchun metallardagi chiqish ishi Fm va yarim o'tkazgichdagi elektronga moyillikning mushtarak qiymatlarini tanlab chegaradagi ϕ_b to'siq kattaligini boshqarish;

3. Ionli implantastiya, mexanik yoki elektrik ishlov berish yo'li bilan yarim o'tkazgichli material yuzasida nuqsonlar hosil qilib, tunnel tusiqlar hududida energetik holatlar hosil qilish.

Yuza katlamdagi kirishmalarining o'ta yuqori konstantastiyasini hosil qilish uchun quyidagi usullardan qo'llaniladi. Qattiq jismli diffuziya manba'idan yoki bug' fazasidan yuqori haroratda diffuziya jarayonini o'tkazish. Kontakt materialning o'zidan diffuziya qilish, misol Zn ning Au-Zn aralashma orqali InP ga diffuziyasi. Ionli implantastiya jarayonidan keyingi termik ishlov usuli.

p^+ va n^+ -qatlamlarni epitaksial usul bilan o'stirish. Kontakt materialini yarim o'tkazgich bilan birgalikda termik eritish va rekristallizastiya qilish.

So'nggi usul suyuq fazali epitaksiya usuliga o'xshash bo'lib, erituvchi metall tanlanganda uning yarim o'tkazgichli materialda eritish qobiliyati hisobga olinadi. Legirlovchi kirishma erituvchi tarkibida bo'lishi mumkin yoki maxsus vosita bilan kiritiladi. Bunday eritma sovuganda yarim o'tkazgich kristallanish jarayonini o'tadi va qayta hosil bo'lgan qatlam eritmadan o'ta legirlanadi. Omik kontaktlar xususiyatlarini o'rganish Quyida berilgan jadvalda ayrim yarim o'tkazgichli QE lari tayyorlashda ishlatiladigan materiallar uchun omik kontaktlar keltirilgan

6-jadval

Yarim o'tkazgichli material	ρ , $\text{om} \cdot \text{sm}$	n-yoki p-kirishmaning konsentratsiyasi	Kontakt materiali	Kontakt turi	Keltirilgan qarshilik om/sm^2
p-Si	-	10^{19}	Al	faol	10^{-6}
p-Si	-	10^{15}	Al	faol	$5 \cdot 10^{-4}$
p-Si	0,5	-	Al	faol	10^{-3}
p-Si	2	-	Ni	passiv	-
p-Si	Har qanday	Har qanday	Pt-Pt-Si		10^{-4}
n-Si	-	-	Al	passiv	$4 \cdot 10^{-3}$
n-Si	-	10^{19}	Ag-Pd-Ti	passiv	
n-GaAs	-	$2 \cdot 10^{16}$	Ni-AuGe-Ni	faol	$8 \cdot 10^{-5}$
p-InP	-	-	Au-Zn-Au	faol	10^{-3}

Quyosh elementlariga taalluqli kontaktlarga qo'yiladigan talablarni ko'rib chiqamiz. Jadvalda QE lari uchun ishlatilgan klasssik kontaktlar keltirilgan. Umuman olganda hozirgi zamon QE lari uchun ishlab chiqilgan kontaktlarning o'nlab har xil materialdan olingan «aktiv» va «passiv» turlari yaratilgan. Shunga qaramasdan ularga qo'yiladigan talablarning asosiy qismlari quyidagilardan iborat:

Kontaktning keltirilgan qarshiligi kichkina bo'lishi kerak. ($\rho_{ko} \rightarrow 0$) Frontal tomonga olinadigan kontakt to'rsimon ko'rinishda bo'lgani uchun, uning qarshiligini kamaytirish kerak. Buning uchun QE eritilgan qalayga tushiriladi, binobarin, kontaktning qatlamlari shu jarayonga chidamli bo'lishi kerak.

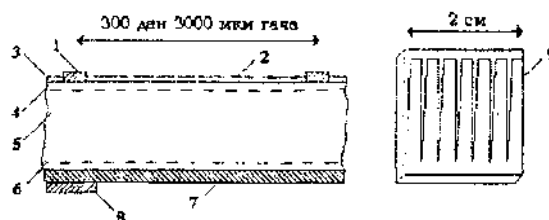
Kontaktning xususiyatlari keyingi har xil texnologik jarayonlar davomida saqlanib qolishi kerak, xususan bu ko'proq frontal kontaktga tegishlidir. QE larini germetizastiya qiluvchn qatlamlar oliigandan keyin kontakt parametrlari uzoq vaqt davomida (20 yil va undan ko'proq vaqt davomida) tashqi muhit ta'siriga chidashi kerak. Kontakt olinadigan materiallar iloji boricha arzonroq bo'lishi, nodir materiallar qo'llanmasligi kerak. Orqa tomondan nurni qaytaruvchi kontaktga ega bo'lgan QE lari olish uchun material tanlanganda nurni qaytarish koeffistientini hisobga olish kerak. Kristalli kremniy asosidagi QE keng qo'llaniladi. Bu QE larida asosan quyidagi kontaktlar ishlatiladi; p-tipdagi Si uchun Al, Al-Ti Pd-Ag va n-tipdagi Si uchun Ti-Pd-Ag. Bu kontaktlar asosan vakuumda uchirish usuli bilan olinadi. Odatda n^+ -Si uchun Ag yaxshi tunnellanish xususiyatiga asoslangan kontakt bo'lib hisoblanadi ($FB=0,6 \div 0,7$ eV). Ammo bu tizimning adgeziyasi yomon, shuning uchun Si bilan Ag orasiga oraliq yupqa qatlam Ti kiritiladi. Bunday kontaktlarda Ag ning qalinligi $2 \div 3$ mkm va titanning qalinligi 1 mkm ga yaqin bo'lishi kerak. Bunday qalin qatlamlarni vakuumda uchirib olish mushkil vazifadir. Tabiiy sharoitda o'tkazilgan tajribalar natijasiga ko'ra bu sistemaning korroziyaga uchrashi mumkinligi aniqlangan va bu jarayon suv bug'ining yutilishiga asoslangani aniqlangan. Shuning uchun keyinchalik titan va kumush orasiga palladiy kiritish tavsiya etilgan va natijada kontaktning elektr toki va haroratga chidamliligi

oshirilgan. Bunday kontaktlarning birdan-bir kamchiligi ularning nisbatan qimmatliligidadir. Bu erda nafaqat materiallar nodirligi, shu bilan birga vakuumda uchirish jarayonining katta isrofgarchilikka olib kelishini ham hisobga olish kerak.

Quyosh elementlariga kontakt olish jarayonining o'tkazilish tartibi. Kontakt olish jarayonining ketma-ketligi quyidagilardan iborat. Si p-n tuzilmasini kontakt olishga tayyorlash (kimyoviy yoki kimyoviy-mexanik usul bilan kontakt olinadigan yuzani tozalash),

- strukturaga fotorezist o'tqazish,
- fotoshablon yordamida kontakt rasmini tushirish,
- fotorezistni mustahkamlash,
- vakuum qurilmasidan foydalanib ketma-ketlik bilan kontakt materiallarini uchirish,
- kontakt adgeziyasini yaxshilash uchun kontaktga issiqlik bilan ishlov berish,
- fotorezistni yuzadan olib tashlash,
- kontakt kesim yuzasini oshirish uchun qalaylash,
- frontal yuzadan nur qaytarishini kamaytirish uchun uni oksid bilan qoplash,
- QE tuzilmasidan shunt beradigan qismlarni kesib olib tashlash,
- QE ning parametrlarini o'lchash.

QE frontal qismidagi yupqa diffuzion jarayon orqali xosil qilingan fosfor kirishmali qatlam odatda katta yuza qarshiligiga ega bo'ladi va uning qiymati odatda 50-100 Om/. Bunday qarshilikni kamaytirish va tuzilma samaradorligini saqlash uchun tashqi (frontal) yuzaga to'rsimon (setka) kontakt olinadi. Bu kontakt birinchidan yuzani ko'p to'smasligi, ikkinchidan omik bo'lishi, uchinchidan yupqa diffuzion qatlamni teshmasligi kerak. (Rasm)

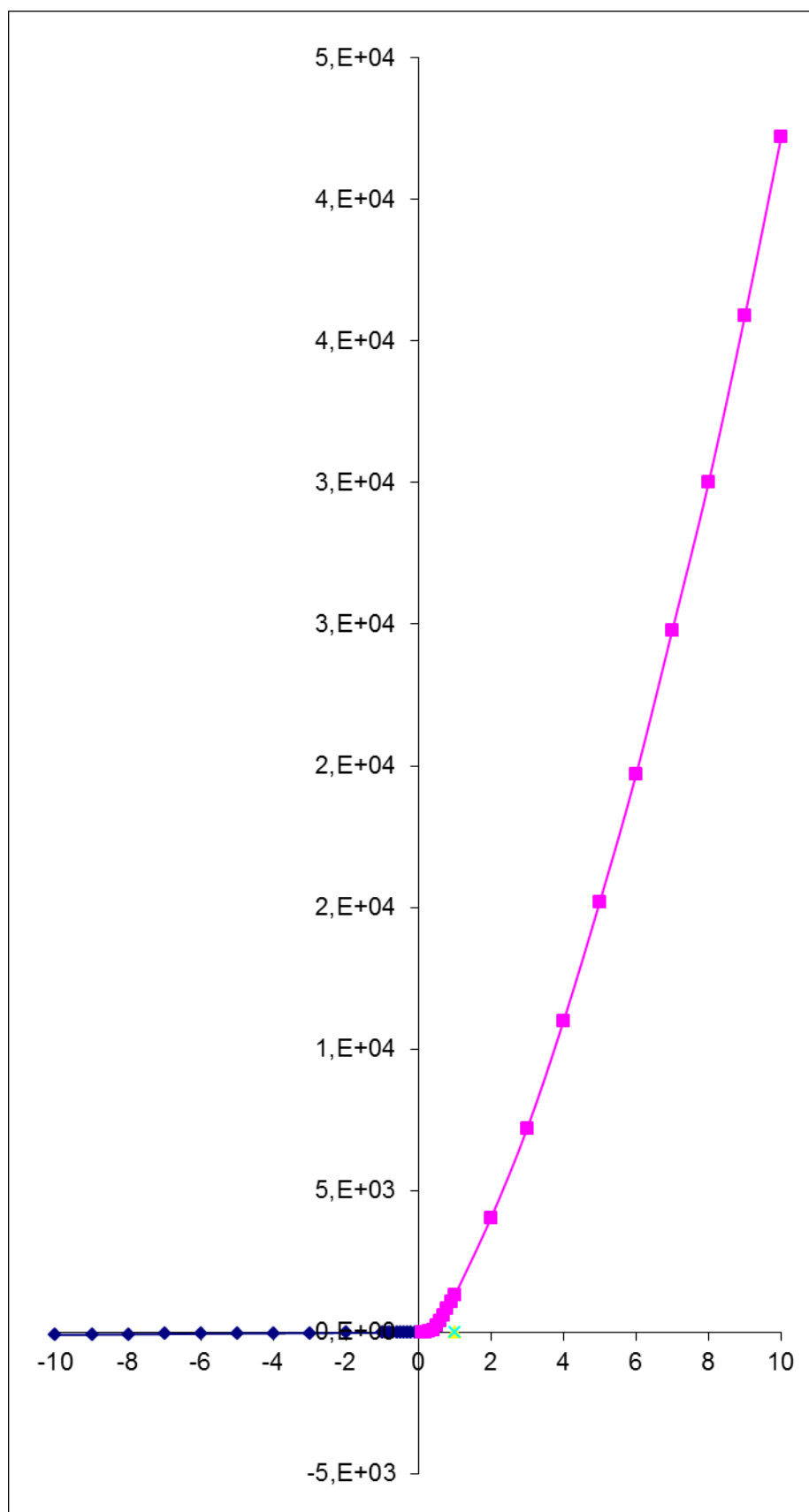


Rasm 34. Kremniyli quyosh elementining frontal kontakt

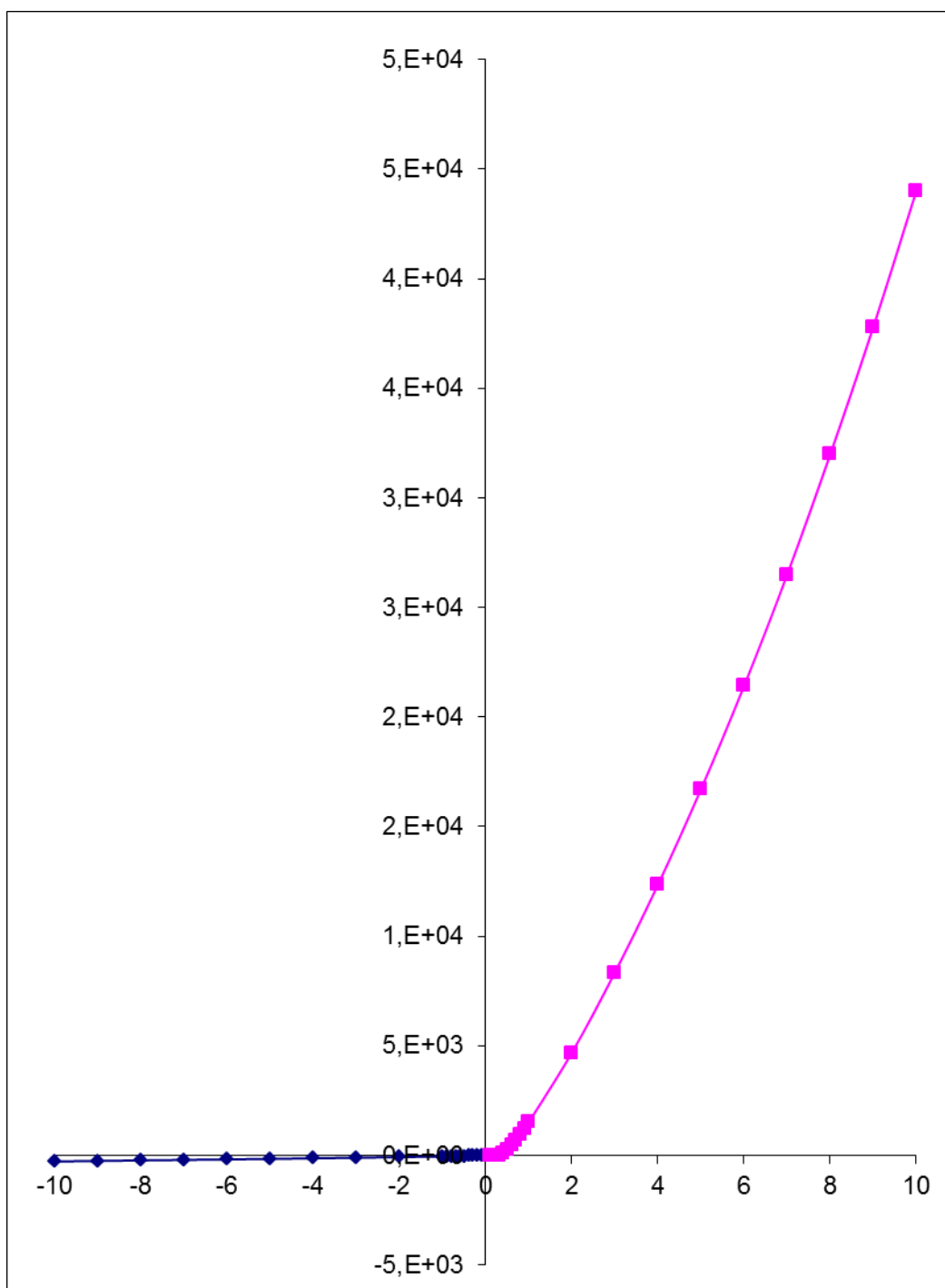
ko'rinishiga oid misol. 1- yuzadagi to'rsimon kontakt (ko'p qatlamli kontakt + aralashma), 2 - shaffoflantiruvchi qatlam, 3 - legirlangan p-tipdagi yupqa qatlam (0,2 mkm), 4-0,5 mkm qalinlikdagi xajmiy zaryad qatlami, 5 - 200 mkm qalinlikdagi baza qatlami, 6- 0,5mkm qalinlikdagi p+ - qatlam, 7 - orqa tomondagi kontakt qatlami, 8 - tok jamlovchi shina, 9 - to'rsimon tok jamlovchi shina.

Yupqa diffuzion qatlamlar olinganda, odatda yuzada mikroskopik kattalikdagi teshilgan uchastkalar hosil bo'lishi mumkin. Bunday hollarda R_{sh} qarshiligi kamayishi va I_0 ning qiymati ortishi mumkin. Buning oldini olish maqsadida kontakt olinadigan yuzaga metall maskalar yoki polimer materialdan qilingan va kontakt rasmi tushirilgan fotorezist maskalar yordamida yoki akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar ustiga kontakt olinadi. Kontaktning geometrik shakli kontakt olinadigan yuza kattaligiga, diffuzion qatlamning qalinligiga va QE larining qaysi sharoitda ishlashiga qarab tanlab olinadi. Odatda yuzaga tushayotgan nurni yulini to'smaslik uchun yuzani to'sish koefitsientining kattaligi 10% dan oshirmaslikka harakat qilinishi kerak. Konstentrlashtirilgan (zichlashtirilgan) quyosh nurlari bilan ishlaydigan QE larda esa yuzani. to'sish koefitsienti quyosh nurini zichlashtirish koefitsientiga bog'lik bo'lib, ayrim hollarda u 50 % oshiqroq bo'lishi ham mumkin.

p-n o'tishning volt-amper tasnifi



3.4. rasm KDB-1 namunasiga Se atomlarining hosil qilgan p-n o'tish volt-amper tasnifi (qorong'u holatda).



3.5. rasm KDB-1 namunasiga Se atomlarining hosil qilgan p-n o'tish volt-amper tasnifi (yorug'lik ta'sirida).

Se atomlarining kremniydagi va uning chuqurlik bo'yicha taqsimotini yarim o'tkazgichlarda elektron va kovaklarning statistikasi orqali aniqlash mumkin.

Statistika- bu fizikaning bir bo'limi bo'lib, elektron va kovaklarni muvozanat bo'lgan va muvozanat bo'lmagan tizimlardagi sochilishini urganadi.

Tizimning muvozanat holati – fakat atrof-muxit harorati bilan aniqlanuvchi holat. Bunda boshqa tashki ta'sirlar (yorug'lik, elektr va magnit maydon) mavjud emas.

Tizimning nomuvozanat holati – tizim yoki ob'ektga elektr maydon, magnit maydon, bosim, yorug'lik kabi tashki ta'sirlar ta'sir etgan holat.

Termodinamik muvozanat holatida kristall namunasi uchun berilgan haroratda elektron va kovaklarning energiya bo'yicha ma'lum bir taksimoti, shuningdek ular konstantrastiyasining qiymati – zaryad tashuvchilarning muvozanat konstantrastiyasi mavjud. Muvozanat holatidagi zaryad tashuvchilarning taksimoti va ularning konstantrastiyasini aniqlovchi termodinamik potentsial Fermi sathi deyiladi.

Metallarda Fermi sathi – bu $T=0K$ da elektronlar bilan tulg'an eng yuqori energetik sath. Metallarda Fermi sathi energisi harorat va tashki ta'sirlarga juda siyrak bo'lg'an. Metallardan farqli ularok, yarimo'tkazgichlarda harorat, kirishma atomlari konstantrastiyasi va boshqa tashki ta'sir natijasida Fermi sathi energiyasi sezilarli darajada o'zgaradi. Shuning uchun yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi muvozanatli zaryad tashuvchilarning konstantrastiyasi o'zgarganda tizimning ichki energiyasi o'zgarishini kursatadi.

Fermi-Dirak statistikasi – statistik fizikaning kvant statistikasi bo'lib, fermionlar tizimlariga (Paulining takiklash prinsipiga buy sunuvchi, yarim-butun spinli zarrachalarga kullaniladi, ya'ni biror-bir zarracha bita va fakat bita kvant holatni olishi mumkin) kullaniladi va termodinamik muvozanat holatida bo'lg'an fermionlarni tizimning energetik sathlari bo'yicha statik taksimotini aniqlaydi; 1926 yilda bir vaktning o'zida italiyalik fizik [Enriko Fermi](#) va angliyalik fizik [Pol Dirak](#) tomonidan taklif kilingan. Pol Dirak uning kvant-mexaniq ma'nosini aniqlagan: bu statistika fermion kandy extimollik bilan berilgan energetik sathni egallashini kursatadi.

Yarimo'tkazgichlarda elektronlar statistikasining bosh vazifasi, yarimo'tkazgich materiali fundamental parametrlari (takiklangan soha kenligi, xususiy o'tkazgichlar uchun elektron (kovak) effektiv massasi), shuningdek

berilgan haroratda kirishma atomlarining asosiy parametrlari (donor(akseptor) sathlarining ionlanish energiyasi va ularning konstantriyasi) ga boʻlik holda Fermi sathi oʻzgarishining konun-koidasini oʻrnatishdan iborat.

Yarimoʻtkazgichlarga tashki taʼsir (yorugʻlik, elektr va magnit maydon) kursatganda, tizim nomuvozanat holatga oʻtadi. Tashki taʼsir natijasida hosil boʻluvchi (yoki yukoluvchi) zaryad tashuvchilar nomuvozanat zaryad tashuvchilar deyiladi. Bunda yarimoʻtkazgich Fermi kvazisathi bilan aniqlanuvchi nomuvonat holatda boʻladi.

Fermi-dirak taksimotiga binoan berilgan haroratda istalgan energetik sathning eletronlar bilan tulish extimolligi $f(E)$ va Fermi sathining kiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$f(E) = \frac{1}{1 + g \exp\left\{\frac{E - E_F}{kT}\right\}} \quad (1)$$

bunda: E_F – Fermi sathi

E- koʻrib chiqilayotgan sath

g- spin faktori, donor energetik sathlar uchun $g=2$, akseptor energetik sathlar uchun $g=1/2$ boʻlgandagi kiymat.

(1) Ifodadan kurinib turibdiki

$E - E_F \gg kT$ boʻlganda $f \rightarrow 0$

$E - E_F \ll kT$, boʻlganda $f \rightarrow 1$

$E = E_F$, boʻlganda $f = 1/2$

Taʼsir etuvchi massalar konuni.

$$\begin{aligned} n_n p_p &= (n_i)^2 \\ p_p n_n &= (n_i)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

(1) Ga binoan oʻtkazuvchanlik sohasidagi elektronlar konstantriyasi:

$$n = N_c f = \frac{N_c}{1 + \exp\left(\frac{E_c - E_F}{kT}\right)} \quad (3)$$

Valent sohada kovaklar konstentrastiyasi

$$p = N_v(1 - f) = \frac{N_v}{1 + \exp\left(\frac{E_F - E_v}{kT}\right)} \quad (4)$$

Bunda N_c va N_v elektronlarning o'tkazuvchanlik sohasida va kovaklarning valent sohadagi holat zichligi.

E_s - o'tkazuvchanlik sohasi tubini kursatuvchi energetik sath va E_v –valent sohaning eng yuqori kiymatiga mos bo'lgan energetik sath.

Yuqori haroratlar sohasida, barcha kirishma atomlari inlashganda, quyidagi shart bajariladi:

$$n = N_d^+ \text{ i } p = N_a^- \quad (5)$$

Mos holda Fermi sathi quyidagicha aniqlanadi:

$$F_n = kT \ln \frac{N_c}{n} \quad (6)$$

$$F_p = kT \ln \frac{N_v}{p} \quad (7)$$

Past haroratlar sohasida, kirishma energetik sath butunoay ionlanmaganda:

$$E_F = -\frac{Ed}{2} - kT \ln \left[\frac{N_d h^3}{2(2\pi m_n^* kT)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

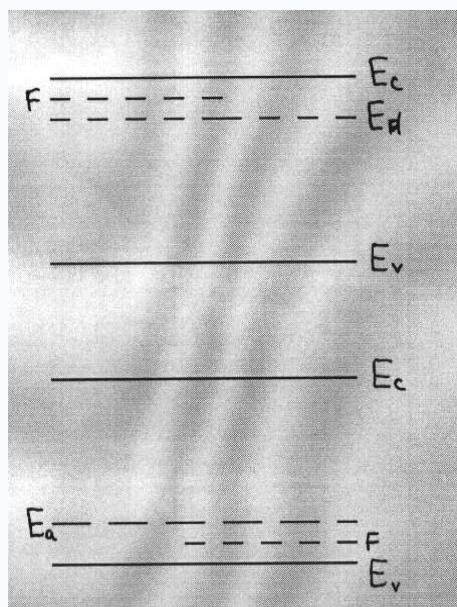
Va unga mos holda:

$$n = (2N_d)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{(2\pi m_n^* kT)^{\frac{3}{2}}}{h^2} \right] e^{-\frac{Ed}{2kT}} \quad (9)$$

Bunda Ed - kirishma (donor) sathining ionlaninsh energiyasi

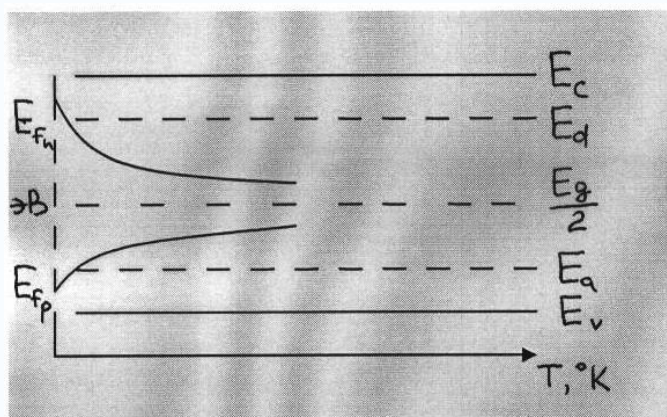
$T=0$ bo'lganda bunday yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi o'tkazuvchanlik sohasi va donor sath orasida yoki akseptor sath va valent soha orasida yotadi, ya'ni

$$F = \frac{E_c - E_d}{2} \quad \text{ili} \quad F = \frac{E_a - E_v}{2} \quad (10)$$



Harorat oshishi bilan Fermi sathi o'tkazuvchanlik sohasi bilan tomon aralashib ketadi (2-rasm), yanada yuqori haroratlarda esa u $E_F = \frac{E_g}{2}$ sohada bo'ladi, ya'ni material xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi, bunda

$$n_i > Nd, Na$$



Xususiy yarimo'tkazgichda

$$n = p \quad (n)$$

shart bajariladi

(2) ga binoan

$$\frac{N_c}{1 + \exp\left(\frac{E_c - E_F}{kT}\right)} = \frac{N_v}{1 + \exp\left(\frac{E_F - E_v}{kT}\right)} \quad (11)$$

Unday holda, Fermi sathining holati:

$$E_F = -\frac{E_c - E_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_c}{N_v} = -\frac{E_g}{2} + 2kT \ln \frac{N_c}{N_v} \quad (12)$$

Kurinishda bo'ladi

(10) ga binoan, xususiy yarimo'tkazgichda xususiy zaorad tashuvchilarning konstantrasiyasi

$$n_i = n = p = (N_c N_v)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (13)$$

Agar material n turda bo'lsa unda kremniydagi Se atomlarining konstantrasiyasi quyidagicha ifodalash mumkin.

$$N_{Te} = N_B + n + f_1(x) + f_2(x)$$

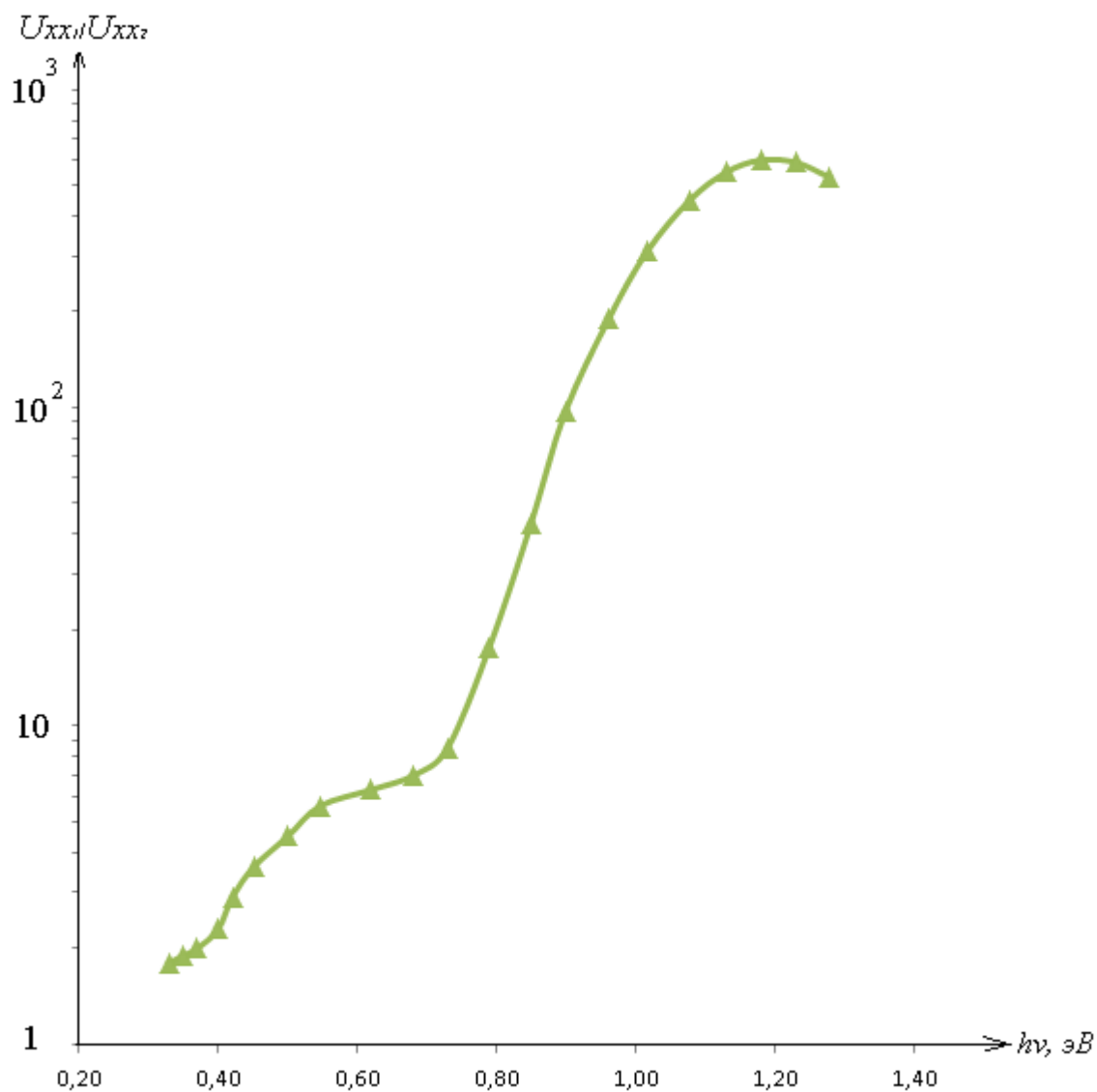
NB- boshlanich namunadagi bor atomlarining konstantrasiyasi;

$f_1(x)$ va $f_2(x)$ - lar Se hosil qilgan 1 va 2 sathdagi Se atomlarining bo'lish ehtimolligi.

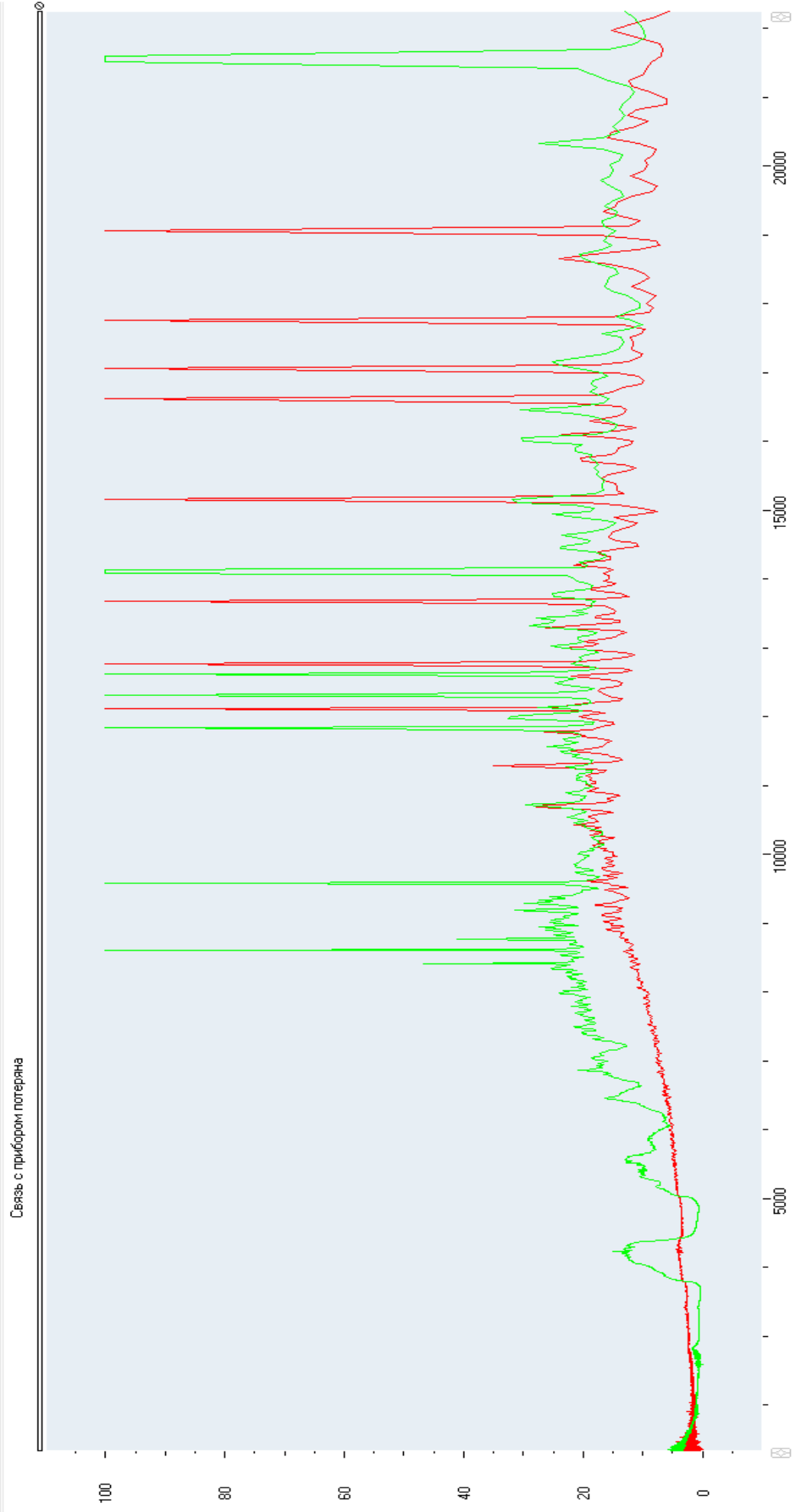
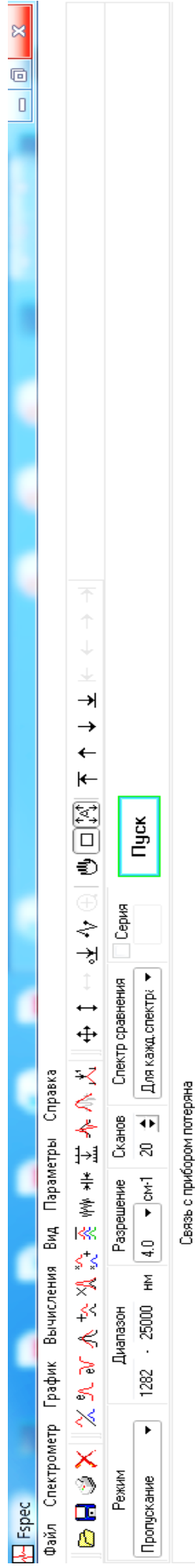
Masalan u quyidgicha hisoblanadi, buning uchun xona haroratida shu materialning Fermi sathini aniqlash kerak.

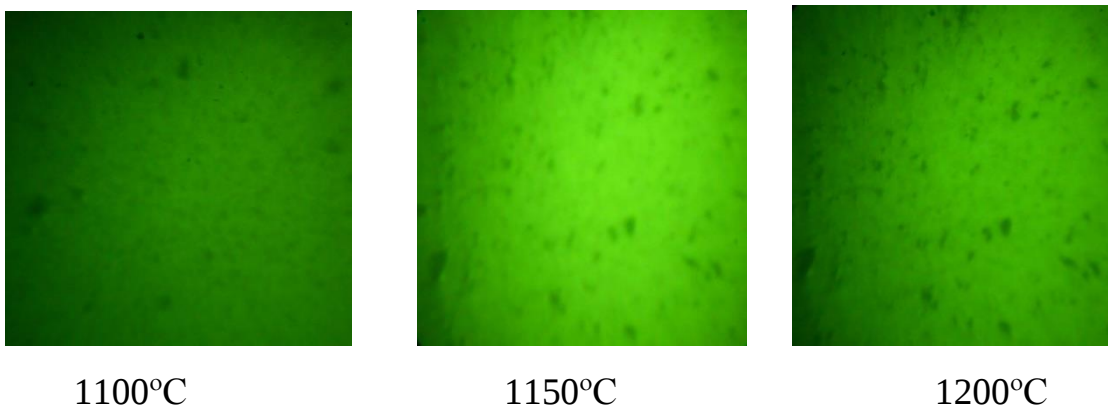
Fotoelementning foydali ish koeffitsientini hisoblash

Namuna	I	II	III	IV	V	Sanoat fotoelementi
$\frac{I_{K,3,1}}{I_{K,3,2}}$	68%	27%	44%	41%	21%	4,7%
$\frac{U_{xx1}}{U_{xx2}}$	46%	49%	54%	70%	76%	42%

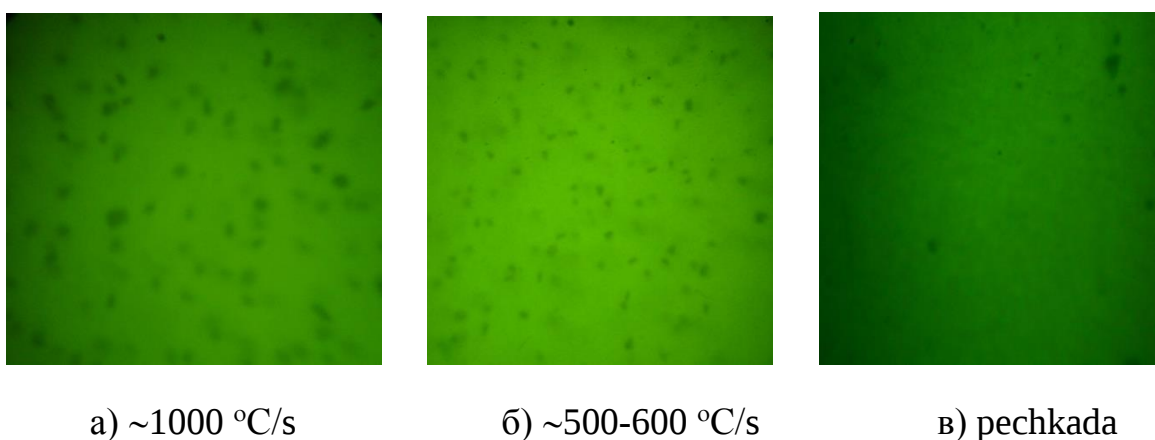


3.6. rasm. Yangi fotoelementlardagi U_{sk1} ga nisbatan spektral bog'liqlik.
 ($U_{sk2} h\nu = 0,3 \text{ эВ}$, $U_{xx1} h\nu > 0,3 \text{ эВ}$ hol uchun).





2.9 rasm Maksimal diffuziya haroratiga nisbatan selen elektroaktiv atomlarining holatining o'zgarish dinamikasi



2.10. - rasm. Turli xil tezlikda sovutilganda namunalardagi selen elektroaktiv atomlarining holati

Selen bilan legirlangan kremniy yarim o'tkazgich materiallarini qo'llanish sohalari

Infraqizil nurlardan dastlab xarbiy qurilmalarda va qo'riqlash tizimlarda keng qo'llanilgan. Infraqizil qabul qilgichlarning ishlab chiqarish texnologiyasi rivojlangani sari infraqizil qabul qilgichlarning tan narxi pasayishiga olib keldi. Bu esa ularni ma'ishiy qurilmalarda keng qo'llanilishiga olib keldi. Infraqizil nur yordamida turli xil qurilmalarni masofadan turib boshqarish insonlar uchun qulayliklarni yaratdi. Ayniqsa nogiron insonlar uchun bunday boshqarish usulining afzalligi beqiyosdir.

Hozirgi kunda energiya tejamkorligiga e'tibor berilmoqda hamda energiya tejamkor qurilmalar va asboblarni yaratish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Shunday joylar borki yoritilganlik faqatgina inson mavjud bo'lgan kerak bo'ladi. Shu sababli inson mavjud bo'lgan yoritish tizimini ishlashini ta'minlovchi datchiklar yaratishni talab etiladi.

Fotoelement "XXI asr nefti" deb ataluvchi kremniydan tayyorlanadi. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, 1 kg kremniydan tayyorlangan, FIK 15 % bo'lgan Fotoelement 30 yil davomida 300 MVtch elektr energiya ishlab chiqadi.

Xuddi shunday miqdordagi elektr energiyani olish uchun 75 t neftni sarflash lozim (issiqlik elektr stansiyalarining FIK 33 % qa neftning issiqlik ajratish xususiyati 43,7 MDj/kg ligini hisobga olgan holda). Shu tariqa, 1 kg kremniy 75 t neftga ekvivalent (teng) ekan.

1. Dastlab na'munalar (KDB 0,1; 0,5; 1) 3 donadan mos ravishda 1200 °S da 2 soat S, Se va Te kirishmalari bilan past haroratli diffuziya texnologiyasi bilan legirlandi.

2. Si <B,S>, Si <B,Se>, Si <B,Te> na'munalarini qalinligi shlifovka (jilvirlash) usulida bosqichma-bosqich olinib, tajriba yo'li bilan p-n chuqurligi va unga mos ravishda har qalinlikka mos keladigan qisqa tutashuv toki I_{kz} – mA larda va salt kuchlanishi U_{xx} – mV larda qiymatlari aniqlandi.

3. Dastlab na'munalar KDB 0,1 bo'lgan Si <B,S>, Si <B,Se>, Si <B,Te> na'munalar (1200 °S da 2 soat) past haroratli diffuziya texnologiyasi yordamida 1200 °S da 10 min Cu bilan legirlandi.

4. Dastlabki natijalar Si <B,Cu,S>, Si <B,Cu,Se> va Si <B,Cu,Te> (KDB 0,1 1200 °S da 2 soat + 1200 °S da 10 min)

U_{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)						I_{kz} , mA
KDB – 0,1	1	2	3	4	5	
Si <B,Cu,Se>	250	290	198	240	170	0,3
Si <B,Cu,Te>	163	166	165	164	154	

U_{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)					I_{kz} , mkA		
KDB – 0,1	1	2	3	4	1	2	3
Si <B,Cu,S>	40	22	36	31			
1-SH-ka	20	56	27	26			
2-SH-ka	27	20	34	39			
Teskari	79	66	70	87			
Si	107	174					

<B,Cu,Se>	178	183	190	176			
SH-ka	105	94	76				
Teskari							
Si	125	138	144	143			
<B,Cu,Te>	163	145	174	162	160	190	108
SH-ka	19	20	21		9	6.3	6.7
Teskari							

5. 2 soat 200 °S qizdirishdan so'ng

U _{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong'i da	1	2
Si	208	203	184	201	5,6	0,7	
<B,Cu,Se>	35	36	34				
Teskari							
Si	156	168	155	143	182		
<B,Cu,Te>	15	16	16,2		0,6	35	
Teskari							

6. Ikkinchi marta 2 soat 200 °S qizdirishdan so'ng

U _{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong'i da	1	2
Si	188	219	199		2	0,6	0,3
<B,Cu,Se>	55	78	79	71	0,2	10	7,4
Teskari							
Si	140	135	132		2	10	8
<B,Cu,Te>	7	6,9	7,3		1	3,5	2,5
Teskari							

7. IKS da o'Ichandi.

8. 2 soat 400 °S qizdirishdan so'ng

U _{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong'i da	1	2
Si	400	700	500	630	400	38	0.06
<B,Cu,Se> Teskari	71	75	64		0.6	3.5	4.8
Si	11.2	13	6.1	14	0.11	1.5	1.4
<B,Cu,Te> Teskari	0.65	0.6	0.55		0.7	0.53	0.27

9. 2 – marta 2 soat 400 °S qizdirishdan so'ng

U _{xx} , mV (manba yorug'ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong'i da	1	2
Si	200	188	196	234	1 – 1,9	0,21	0,87
<B,Cu,Se>	33	35	36		0,8		
Teskari YUza	70					50	
Si	63	43	52		3	6	1,3
<B,Cu,Te>	0,15	0,16	0,36	0,11	0,54	0,39	0,03
Teskari YUza	64					88	

10.

2 soat 600 °C da qizdirishdan so'ng

U _{xx} , mV (manba yorug‘ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong‘i da	1	2
Si	400				14	110	196
<B,Cu,Se>	253	230	217		50		
Teskari YUza	30					16	
Si	203	222	228		1.3	60	103
<B,Cu,Te>	3.5	3.7	5	4	1.3	9	10
Teskari YUza	192					100	

11.

– marta 2 soat 600 °C da qizdirilgandan so’ng

U _{xx} , mV (manba yorug‘ligida kontaktsiz)						I _{kz} , mkA	
KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong‘i da	1	2
Si	392	395	388	397	7.2	54	56
<B,Cu,Se>	163	159			0.4	82	44
Teskari YUza	50					11	
Si	163	161	149		0.7	140	192
<B,Cu,Te>	13	12.2			0.2	11	10
Teskari YUza	210					10	

12.

soat 800 °C da qizdirilgandan so’ng

U _{xx} , mV (manba yorug‘ligida kontaktsiz)	I _{kz} , mkA
--	-----------------------

KDB – 0,1	1	2	3	4	qorong'i da	1	2
Si	116	131	148	164	1.1	204	
<B,Cu,Se> Teskari	50	106	109		0.8	174	148
Si	124	170	114	117	30	50	54
<B,Cu,Te> Teskari	194	300	400		0.8	2.5	0.65

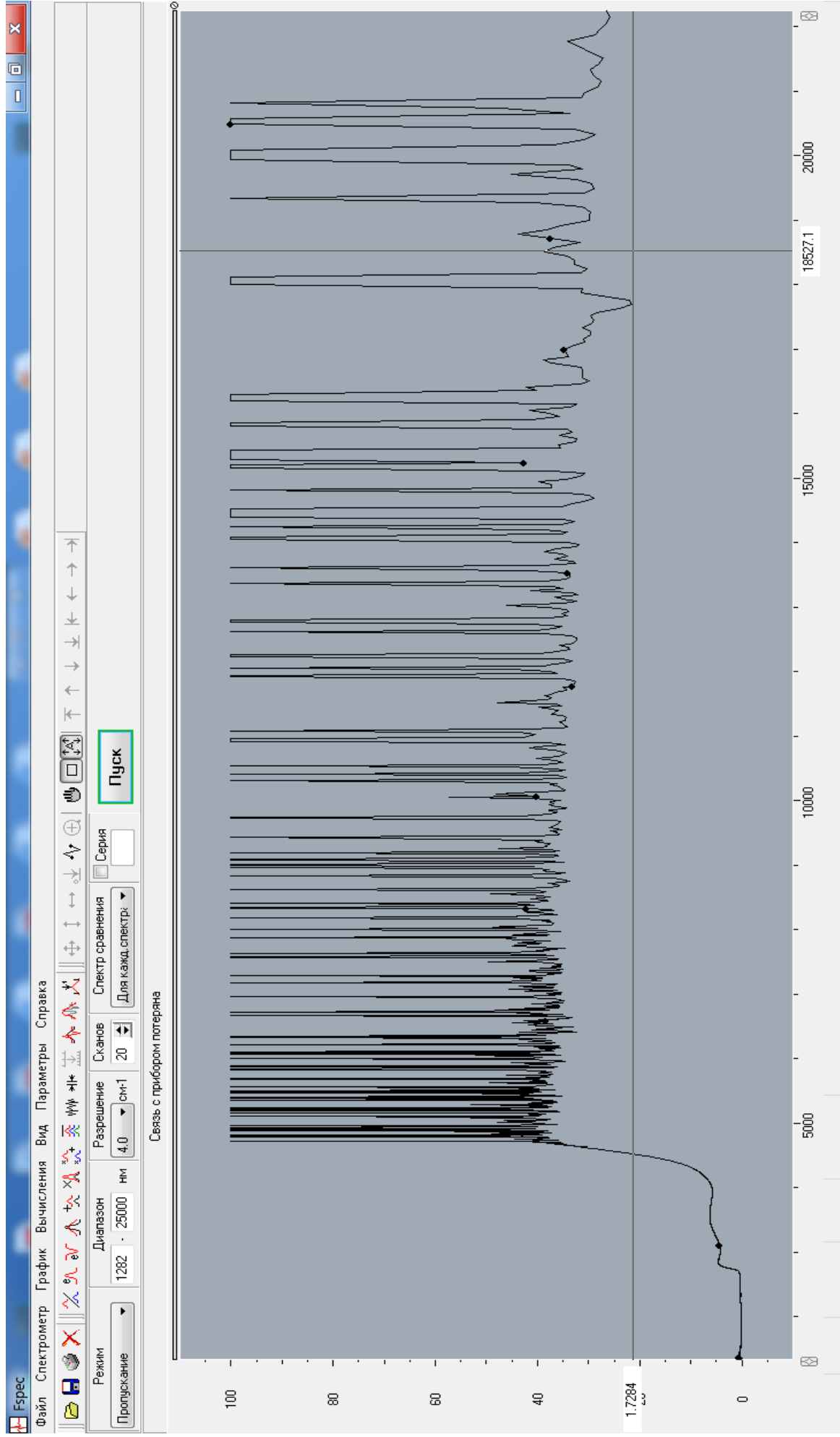
KDB-0,1 Selen Si<Se>	
To'gri, mV	Teskari, mV
0.5	94
107	95
	105
	76
	94
Shlifovkadan keyin I - ?	
178	60
183	19
190	23
176	
174	

Shlifovkadan keyin –II	
To'gri, mV	Teskari, mV
165	
154	
148	
146	
200	
I = 78 mkA	
I = 220 mkA	143
I = 216 mkA	
I = 238 mkA	144
I = 125 mkA	150

KDB-0,1 Sera Si<S>	
To'gri, mV	Teskari, mV
110	I = 3,9 mkA
362	51
31	51
Shlifovkadan keyin	

Shlifovkadan keyin –III	
To'gri, mV	Teskari, mV
205	
186	
192	
186	

193	
187	
185	
193	
I = 1,8 mkA	



XULOSA

Bugungi kunga kelib, insoniyat va har bir davlat oldidagi turgan dolzarb muammolardan biri bu, albatta energiyaga bo'lgan ehtiyoj bo'lib bu haqda dunyo mamlakatlari o'zlarining energetik kelajagi haqida bosh qotirmoqdalar. Masalaning yechimi sifatida XXI asrda muqobil energiya manbalari, xususan ekologik toza va tekin energiya manbai hisoblangan Quyosh energiyasidan oqilona foydalanish masalasi kun tartibida turibdi. Albatta bunday katta loyihalar faqat birgina davlat yoki mamlakat hududida amalga oshishi mumkin emas.

Shuningdek Quyosh energiyasidan bevosita va bilvosita ishlatishning optimal yechimlarini taklif qilish har bir olim, mutaxassis va muhandisning oldida turgan vazifalardan biridir. Dissertatsiyada taklif qilingan kremniy asosidagi nanokristallar ishtirokidagi tubdan yangi fotoelementlar ana shu yo'ldagi yana bir qadamdir.

Xulosa qilib shuni aytishimiz mumkunki yangi texnologiya bo'yicha yaratilgan fotoelementlarda bu nurlarning kattagina qismini elektr energiyasiga aylantirish yo'llari o'rganildi. Kremniy tarkibida hosil qilingan S, Se va Te atomlari klasterlarini konsentratstiyasi, holati va shakllanishiga haroratning, diffuziya vaqtining, sovutish tezligining, dastlabki material tipi va konstantratstiyasining hamda qo'shimcha past haroratli ishlov berishning ta'siri o'rganildi. Diffuziya harorati, sovutish tezligi, past haroratli ishlov berish vaqtini o'zgarishi bilan unga kiritilgan kirishma atomlari klasterlari zichligi, o'lchami va taqsimotini boshqarish mumkinligi ko'rsatildi.

Bu yo'l bilan olingan fotoelementlarimizning foydali ish koeffisienti 50 % gacha yetishiga va kelajakda kremniy asosidagi klaster hosil qilingan materiallardan yangi avlod fotoelementlari tayyorlansa bundanda yuqori natijalarga erishish mumkinligi oydinlashadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Teshaboyev A.T., Zaynabiddinov C.Z., Ermatov Sh, Qattiq jism fizikasi. Darslik. –T.: Moliya, 2001. – 164 b.
2. Akramov H., Zaynabiddinov C., Teshaboyev A. Yarim o'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar. O'quv qo'llanma. -T.: O'zbekiston, 1994. – 134 b.
3. Баходирхонов М.К., Илиев Х.М., Холматов А.А., Ярим утказгичлар физикаси асослари дарслик. -Т.: ТошДТУ, 2014. - 186 б.
4. Тешабоев А. Т., Зайнаббидинов С.З., Исмоилов К.А., Эрматов Ш.А., Абдуазимов В.А. Нанозарралар физикаси, кимёси ва технологиялари. Ўқув қўлланма. Т.: Камалак прес, 2014. - 368 б.
5. Teshaboyev A., Zaynobidinov S., Musayev E.A., Yarim o'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblar texnologiyasi.O'quv qo'llanma - T.: Talqin - Qaldirg'och, 2006. - 336 b.
6. Нормуродов М.Т., Умирзоқов Б.Е., Пармонқулов И.П. Электрон техника материаллари ва қурилмалари технологияси. Дарслик. - Т.: Меҳнат, 2004. – 362 б.
7. Пармонқулов И.П., Умирзоқов Б.Е., Шаҳобиддинов З.Н., Рисбаев А.С., Электрон асбоблар ва қурилмалар ишлаб чиқариш технологияси. Ўқув қўлланма. - Т.: ТДТУ, 2002. – 136 б.
8. Parmonqulov I.P, Umirzoqov B.Ye., Elektron texnika mahsulotlarini yig'ish texnologiyasi. O'quv qo'llanma. –T.: Voris-nashriyot, 2006. - 272b.
9. Илиев Х.М. Ярим ўтказгичли асбоблар ва интеграл схемалар технологияси. Маърузалар тўплами. -Т.: ТДТУ, 1999. – 90 б.
10. Баходирхонов М.С., Иброхимов Н., Зикриллаев Н.Ф., Илиев Х.М. Ярим ўтказгичли асбоблар ва интеграл схемалар технологияси курсига оид атамалар. -Т.: ТДТУ, 1999. -30 б.
11. Мамадалимов А.Т., Турсунов М.Н., Ярим ўтказгичли қуёш элементлари физикаси ва технологияси. Ўқув қўлланма. -Т.: ЎЗМУ, 2003.-104 б.

12. Бахадирханов М.К., Кобылин Г.О., Тачилин С.А. Физика и технология солнечных элементов. Учебное пособие 1 и 2 часть. –Т.: NISIM, 2007.-149с.
13. Илиев Х.М., Ковешников С.В., Усенкон Ю. Альтернативные источники энергии. Учебное пособие. -Т.: Саёхат, 2007.-146б.
14. Пул-мл.Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Учебное пособие. –М.: Техносфера, 2010.-336с
15. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Фчулло-Руеда Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. Учебное пособие. –М.: Техносфера, 2007.-368с
16. Bahodirxonov M.K., Qurbonova O'. H, Isayev F.M., Muradagayeva M.V., Nanoelektronikaning fizik tushunchalari bo'yicha izohli lug'at. –Т.: Meriyus, 2010.-136b.
17. Zikirillayev N.F., Begimqulova K.Q., Noananaviy qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan izohli lug'at. -Т.: Meriyus, 2010.-145b.
18. Bahodirxonov M.K., Iliyev X.M., Isayev F.M., Karimov R.A., Elektronika fanidan asosiy tushunchalar izohli lug'at. –Т.: Meriyus, 2008.-134b.

Internet saytlari:

1. <http://avnsite.narod.ru/physic/pp/index.htm>
2. <http://elanina.narod.ru/lanina/index.files/student/tehnology/text/gaas.htm>
3. <http://www.ad.ugatu.ac.ru/knbase/conten.htm>
4. <http://solbaat.narod.ru/index.htm>
5. <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/>
6. <http://www.intersolar.ru>
7. <http://www.courier.com.ru/energy>
8. <http://solarenergy.iatp.org.ua/index.htm>
9. http://esco-escosys.narod.ru/2003_5/index.htm