

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

BERDAQ NOMIDAGI QORAQALPOQ
DAVLAT UNIVERSITETI

Qo'l yozma huquqida
UDK 53.523.7.621.3.032.

Kenjayev Zoir Toxir o'g'li

Quyosh elementlarining elektrofizik xususiyatlarini o'rganish

5A140204-Kondensatsiyalangan muhitlar fizikasi va materialshunoslik
(turlar bo'yicha)

Magistr akademik darajasini olish uchun yozilgan dissertatsiya

DAK da himoya qilishga ruxsat

Magistratura bo'limi boshlig'i

_____ dots. Gulimov A.

Kafedra boshlig'i _____ f-m.f.d Ismailov Q.

Ilmiy rahbar _____ f-m.f.d Ismailov Q.

Nukus-2014

MUNDARIJA

Kirish	3
I BOB. Quyosh elementlarining ishlash prinsipi nazariy asoslari.....	10
1.1 Quyosh energiyasidan foydalanish.....	10
1.2 Elektron- kovakli (p-n) o`lishning paydo bo`lishi.....	14
1.3 Optik nurlanishni elektr energiyaga aylantirish.....	18
1.4 Quyosh elementlarining foydali ish koeffitsienti.....	24
1.5 QE tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallar xususiyatlari.....	31
I bob bo`yicha xulosa.....	33
II BOB. Quyosh elementlari VAX ni aniqlash metodikasi.....	35
2.1 Yubqa qatlamli kremniy asosidagi quyosh elementlarni tayyorlash avtomatizatsiya qilish usullari.....	35
2.2 Quyosh elementlarining nuqsonlilikini aniqlash uchun priborni buzmaganda diagnostika metodidan foydalanish.....	36
2.3 Volt-Amperlik diferensiallash metodining yarim o'tkazgichlarning fizik xarakteristikasini o'lchash uchun qo'llanilishi.....	39
2.4 Quyosh elementlari volt-amper xarakteristikasini o`rganish.....	45
II bob bo`yicha xulosa.....	50
III BOB. Si asosidagi quyosh elementi elektrofizik xususiyatlariga ta`sir etuvchi faktorlarni o`rganish.....	51
3.1 Kremniyli QE asosiy parametrlarini aniqlash.....	51
3.3 Quyosh elementi foydali ish koeffitsientini aniqlovchi faktorlar.....	56
3.2 Si asosidagi QE parametrlariga radiatsiya va temperateraning ta`siri	59
3.3 Yubqa plenkali a-Si:H asosidagi quyosh elementi xarakteristikalar	62
3.4 O`zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari	68
3.5 Qoraqalpog'iston sharoitida quyosh energetikasini rivojlantirish.....	73
III bob bo`yicha xulosa.....	78
Xulosa	81
Foydalanilgan adabiyotlar ro`yxati.....	83
Qo`shimcha.....	86

“Har kimga ilmiy va texnikaviy ijod erkinligi, madaniyat yutuqlaridan foydalanish huquqi kafolatlanadi. Davlat jamiyatning madaniy, ilmiy va texnikaviy rivojlanishiga g`amxo`rlik qiladi.”

(Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси, 42-модда)

K I R I S H

«Kadrlar tayrlash bo'yicha Milliy dastur to'g'risida» gi qonun haqida Prezident I. A. Karimov O'zbekiston Respublikasi Oliy Majlisining to'qqizinchi sessiyasida bu qonun «...Mustaqilligimizning, bugungi va ertangi xayotimizning kafolati xisoblanadi», -degan edi.

Kadrlar tayyorlash bo'yicha Milliy dastur har bir shaxs hamda davlat va jamiyat manfaatlari iqtisodiy xolat va uning raqobatbardoshligi bilan bog'liq bo'lgan bir qator muammolarni echishga, hal etishga yo'naltirilgan .

Hozirda ilmiy va ilmiy–pedagogik kadrlar tayyorlashga katta e'tibor berilmoqda. Yarimo'tkazgichlar jahon fani va texnikasida salmoqli o'rinni egallaydi. Ular asosida ishlab chiqarilayotgan asboblarturlari tez sur'atda ko'payib, ularning turli sohalarga tatbiqi kengayib bormoqda. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda yarimo'tkazgichlarning ahamiyati juda kattadir.

Mavzuning dolzarbligi. Hozirgi vaqtda ilim va texnikaning rivojlangan bir paytida odamzot oldinda katta to'rt muammo turibdi. Birinchisi bu oziq-ovqat, ikkinchisi suv, uchunchisi ekologiya va to'rtinchisi bu energetika muammosi hisoblanadi. Bugungi kunda energiyaning qazilma turlari, neft, ko'mir va tabiiy gaz birlamchi energiya resurslarining kamayib borayotganligi tufayli barcha davlatlar qatori Uzbekstonda ham qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishga katta e'tiborga qaratilmoqda. Shuning uchun hozirgi vazifa energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishda noan'anaviy energiya manbalaridan samarali foydalanib, aholi turmush darajasini oshirishdan

iboratdir. XX-asrning 70-yillaridan boshlab planetamizning global energetik zahirolari qaytadan hisoblab chiqila boshlandi. Olingan natijalar yoqilg'i zahiralarining uzoq muddatga yetmasligini ko'rsatdi. Ushbu yillarda o'tkazilgan IX-xalqaro energetika konfrensiyasining ma'lumotlariga tayansak:hozirda ishlatish mumkin bo'lgan yoqilg'i zahiralarining 88%ni toshko'mir tashkil qiladi. Ko'mirning potensial zahirasi 1,2 10¹⁷kVtni, neftniki 2,14 10¹⁶ kVt soat, gazniki 1,23 10⁶ kVt soatni tashkil qiladi.

Quyosh energiyasidan foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Hozirda unumli foydalanilayotgan fotoelementlar, jumladan, quyosh batareyalari va kichik energetikaga mansub boshqa yarimo'tkazgich asboblarni takomillashtirishdan tashqari, yarimo'tkazgichlarga asoslangan katta energetika ancha qudratli quyosh elektr stansiyalarni yaratish asosiy maqsadlardan hisoblanadi. Zero quyosh energiyasida foydalanish insoniyat va tabiat uchun mutloq zararsiz ekologik toza hisoblanadi. Chunki ekologik toza energiya manbalarida foydalanish davr talabi.

Shu o'rinda aytib o'tish joiz **1997-yil 25-aprel 412-I-sonli «Energiyadan oqilona foydalanish to'g'risida»gi qonuni qabul qilindi va unda shunday deyilda«Energiyadan oqilona foydalanish to'g'risidagi qonun xujjatlarini buzgan shaxslar belgilangan tartibda javobgar bo'ladilar»[1].**

Elektr uzatish tarmoqlaridan uzoq bo'lgan xududlarda mukobil energiya manbalariga bulgan extiyoj juda katta bo'lgani uchun shamol va quyosh energiyasidan foydalanish, mazkur energetika soxasini ravnaq toptirish zarur. Shu orqali juda katta iqtisodiy va ekologik yutuqlarga erishiladi.

Shu maqsadlarni ko'zlab, **2013 yil 1 martda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 4512- sonli "Muqobil energiya manbalarini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmoni qabul kilindi.** Ushbu farmonga muvofiq Toshkentda xalqaro quyosh inistituti, Navoida 50 MVt quvvatli fotoelektrik paneller ishlab chiqarish, Samarqandda 100MVt quvvatli quyosh fotoelektrik stantsiyasini ishgatushirish[2] kabi vazifalar belgilangan.

Ushbu farmonning qabul qilinishi, mazmunan va mohiyatan nafaqat iqtisodiy, ham siyosiy va ham tarixiy ahamiyatga egaligini alohida takidlash lozim.

Hozirgi kunda quyosh batareyalari yordamida ishlab chiqarilayotgan elektroenergiya narhi birlamchi elektr energiyadan ko'p marta qimmat tushmoqda. Shuning uchun olimlar va quyosh batareyalarini ishlab chiqaruvchi injinerlar oldida quyosh batareyalarini takomillashtirish va elektroenergiyaning tannarxini pasaytirish muammosi turibdi. Bunga, quyosh batareyalarida ishlayotgan yarimo'tkazgich materiallarining qimmatligi sabab bo'lmoqda.

Quyosh elementlarini (QE) arzonlashtirish yo'llaridan biri texnologiyani soddalashtirishdan ibortdir. Xususan qimmat tushadigan yuqori temperaturali diffuziya operatsiyasidan voz kechishdir. Bunda yana zaryad tashuvchilarning yashash vaqtlarini kamayishidan ham qutilamiz. Bunda zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi kamayadi.

Nihoyat elementlarni tan narxini kamaytirishning yana bir yo'llaridan biri quyosh elementining yangi ish prinsiplaridan foydalanish bo'lishi mumkin. Yoki qimmat baho yarimo'tkazgich materilini tanlash maqsadida quyosh energiyasining konsentratorlaridan foydalanish mumkin.

Quyosh elementlari uchun ishlatilayotgan asosiy yarimo'tkazgich material-kremniy hisoblanadi. Biroq toza kremniy materialini olish qiyin va qimmatga tushadi. Asosiy muammolardan biri quyosh elementi foydali ish koeffitsienti(FIK) ning pastligi. Shuning uchun kremniy asosidagi quyosh elementlari elektrofizik xususiyatlarini o'rganish va yaxshilash asosiy masal hisoblanadi.

**Tadqiqot Ob`ekt va pridmet.** Tadqiqot ob`ekti yarim o'tkazgich kremniy (Si) asosidagi p-n o'tishli QE. Uning volt amper xarakteristiakasi (VAX) va asosiy parametrlariga ta'sir etuvchi faktorlar hamda tok tashilish jarayonlari.

Maqsad va vazifalar. Asosiy maqsad Si asosidagi QE elektrofizik xususiyatlarini o'rganish va to'liq xulosalarga ega bo'lish hamda yaxshilash bo'yicha o'z taklif va muloxazalarimizni bildirish. Bunda Si materialining optik va elektrlik xususiyatlari, quyosh energiyasining elektr energiyasiga aylantirilish jarayoni,

tok tashilish jarayoni va unga nuxsonlarning ta'siri, volt–amperlik xarakteristikasi(VAX), asosiy parametrlariga ta'sir etuvchi faktorlarni o'rganish va aniq tahliliy xulosalar chiqarishni vazifa qilib qo'ydik. Bir qatorda Respublikamiz sharoitida quyosh energetikasini rivojlantirishdagi muammo va yechimlarni o'rganish.

Asosiy quyosh elementlaridan turuvchi asboblarning elektrofizik xususiyatlarini va fotoelektrik xususiyatlarini o'lchab ularning oblastidagi va quyi sathlaridagi kiritilgan xususiy emas atomlarni, dislokatsiyalarni, vacant orinlarni aniqlab ishlash vaqtini, chidamliligini aniqlashimizga bo'ladi. Demak, biz o'rganayotgan quyosh elementining shu aytib o'tilgan fizik xarakteristikalarini o'rganib uning berilgan muhit uchun qulay bo'lgan fizik xarakteristikalarini to'g'irlashimizga bo'ladi.

Asosiy masalalar va farazlar. Asosiy masalalar va savollar:

- Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda qaysi materialdan foydalangan maqul?
- QE ning FIK ga ta'sir etuvchi faktorlar va FIK ni oshirish uchun nima qilish lozim?
- QE parametrlariga ta'sir qanday yaxshilash mumkin?
- Asosiy muammo QE narxini kamaytirish uchun nima qilish lozim?
- Respublika sharoitida quyosh energetikasi imkoniyatlari qanday va rivojlantirish uchun nima qilish lozim.

Farazlar:

- Adabiyotlarni tahlil qilish va eksperimental natijalarni o'rganish kerak. Bunda birlamshi materiallar hisoblangan Si, Ge, CdTe, ThS, AsGa va b materiallar imkoniyatlarini solishtirish kerak.
- FIK ning taqiqlangan zonaga bog'liqligini aniqlash, FIKga defektlarning va boshqa sirtqi faktorlarning ta'sirini o'rganish orqali aniq xulosalar chiqarish mumkin.

- QE ning elektrofizik xususiyatlariga ta'sir etuvchi faktorlarni o'rganish orqali, QE asosiy parametrlari o'zgarish qonuniyatlarini aniqlash va yaxshilash yo'llarini ishlab chiqish mumkin.
- Qimmat va texnologik qiyin kremniy o'rniga boshqa material masalan yubqa plenkali a-Si:H asosidagi QE dan foydalanish mumkin.
- Respublikada quyosh energetikasini rivojlantirishdagi asosiy muamolarni aniqlash, o'zimizning asosli taklif va xulosalarimizni ilgari surish.

Mavzu bo'yich qisqacha adabiyotlar tahlili.

Bu ishda asosiy adabiyotlar [4-11] dan keng foydalanildi.

Bu adabiyotlardagi eksperiment natijalari tahlil qilinib natijalar bilan solishtirildi. Shuningdek bir qator konferensiya materiallaridan va ishonchli internet saytlaridan foydalanildi. Dissertatsiya natijalari ilmiy jurnallardagi 2 maqola va konferensiyalardagi 6 tezis materiallarida o'z tasqig'ini topgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy jihatdan yangilik darajasi. Ishda kremniyli QE elektrofizik xususiyatlari to'liq tahlil qilingan. a-Si:H asosidagi QE imkoniyatlari o'rganilgan. Respublikada quyosh energetikasini rivojlantirish imkoniyatlari tahlil qilinib, takliflar kiritilgan.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati va tadbiqu. Bu ishdagi keltirilgan natijalar va xulosalar oldiga tashlangan yana bir qadamdir. Bu ishdagi ma'lumotlar, jumladan formulalar grafiklar, taklif va xulosalar, tahlil natijalaridan endigi ilmiy izlanishlar olib borishda foydalanish va dars jarayonida qo'shicha materiallar sifatida o'qitish mumkin.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi. Barcha eksperiment va tahliliy xulosalar asosida quyidagilarni aytishimiz mumkin:

1. Qisqa tutashish toki Iqt yorug'lik intensivligiga to'g'ri proporsional. Shu vaqtda Uxx nurlanish intensivligiga logorifmik bog'liq o'zgaradi.
2. Temperatura ortishi bilan kremniyadagi diffuziya uzunligi o'sadi, diffuziya koeffitsienti qanchalidir ortadi yoxud o'zgarmaydi, asosiy emas zaryad tashuvchilarning yashash vaqti ham o'sadi. Diffuziya uzunligining ortishi asosiy

emas tashuvchilarning Iqt qisqa tutashish tokining ortishiga olib keladi. Ammo bu effect kichkina va 0,03-0,07%/K ni tashkil etadi.

3. Temperaturaning ortishi bilan: kremniyli QE uchun Uxx kamayadi ya'ni 0,4-0,45 %/gradus bunda 25 gradusdan dan boshlab. Temperaturaning oshishi turlantirish effektivligini ham pasaytiradi va forma faktori ff ham pasayadi. Kremniy asosidagi gomogen o'tishli QE uchun FIK temperaturaning -150dan -100C gacha oralig'ida maksimal qiymatga yetadi, temperature 25C ga yaqinlaganda $\Delta\eta / \Delta T \approx -0,05 \text{ \%}/\text{C}$ tezlik bilan o'zgaradi.

4. Hozirda qimmat kremniy o'rniga amorf gidridlangan (a-Si:H) kremniy asosidagi va ularning boshqa elementlar bilan (M: ms-Si:H + a-Si:H) birikmasi asosidagi yubqa plenkali QE lari yaratish samaralidir.

5. O'zbekiston xududida quyoshli kunlar ko'p va kuyosh energiyasidan foydalanish borasida tabiiy qulay shart-sharoit va imkoniyatlarga ega. Bu imkoniyat qayta tiklanuvchi manbalar orqali iqtisodiy tarmoqlarini, xududlarimizni, axolini uzluksiz energiya bilan ta'minlash va barqaror rivojlanishga xizmat qiladi. Shu orqali juda katta iqtisodiy va ekologik yutuklarga erishish mumkin.

6. Quyosh energetikasini bu hududda rivojlantirish uchun, birinchi navbatda hamkorlik aloqalarini yo'lga qo'yish va ilmiy sa'viyani oshirish zarur hamda birgalikda samarali loyihalar yaratish zarur.

7. Qoraqalpog'istonda quyosh energetikasini rivojlantirish imkoniyatlari yuqori darajada. Shunga asosan Qoraqalpoq davlat universitetida «Quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi» kafedrasini ochish va magistrLAR tayyorlash va ilmiy saviyani oshirish maqsadga muvofiq.

Tadqiqot uslubi va uslublari. Bu ishda: umum ilmiy induksiya-deduksiya, analiz-sintez, eksperiment va nazariy tahlil metodlari, maxsus ilmiy Volt-Amperlik diferensiallash va diagnostika metodlaridan foydalanildi.

Dissertatsiya tarkibining qisqacha tavsifi.

Dissertatsiya barcha qoidalarga tayangan holda yozilgan. Asosiy qism 3 bob va 14 paragrafdan iborat bo`lib barcha tahliliy natija va xulosalar ochib berilgan. Jumladan:

I Bob: Si asosidagi quyosh elementlarining ishlash prinsipi. Bu bo`lim nazariy tahlilga asoslangan bo`lib, quyosh energiyasidan foydalanish, p-n o`tishning yuzaga kelish va potensial to`siq, quyosh elementlarining konstruksiyalari, asosiy tok tashilish jarayonlari, nurlarning optik yutilishi va akslanish jarayonlari formulalar va grafiklar yordamida nazariy tahlil qilingan.

II. Bob. Si asosidagi quyosh elementlari VAX ni aniqlash metodikasi. Bu bob metodikaga bag`ishlangan bo`lib, yubqa qatlamli kremniy asosidagi quyosh elementlarni tayyorlash avtomatizatsiya qilishning bir qator usullari, Volt-Amperlik diferensiallash metodining yarim o`tkazgichlarning fizik xarakteristikasini o`lchash uchun qo`llanilishi, qorong`ilik va yorug`likda o`lchangan VAX asosida I_0 , R_{kk} , R_{sh} , A parametrlarni aniqlash kabi masalalar formulalar va grafiklar asosida tushuntirilgan.

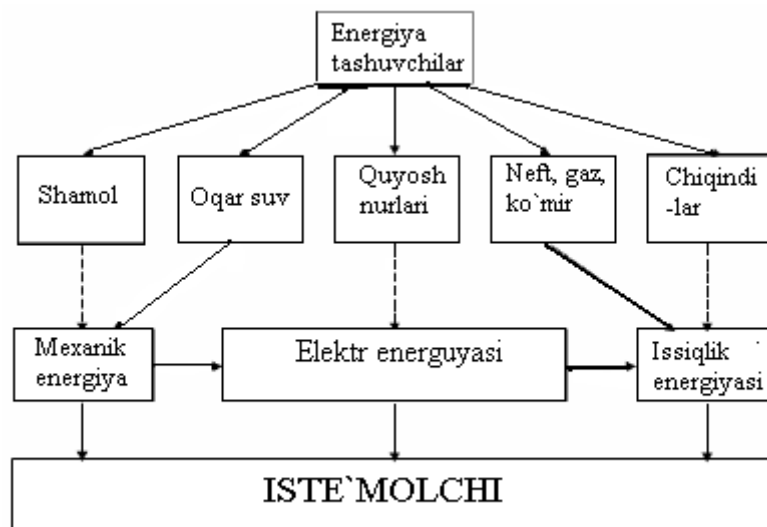
**III. Bob. Si asosidagi quyosh elementi VAX ga ta`sir etuvchi faktorlar.** Bu bob natijalarga asoslangan bo`lib, shu vaqtgacha yozgan maqola va tezislrimizga asoslangan. Bunda kremniy asosidagi QE asosiy parametrlarini ifodalovchi formulalar keltirilgan va Si uchun son qiymatlarini aniqlangan; FIK ni aniqlovchi faktorlar; temperatura va radiatsia o`zgarishining  $I_{qt}$ ,  $U_{xx}$ , forma faktori, FIK ga ta`sirlari eksperimentlar natishalari tahlil qilish asosida grfiklar va formulalar bilan tushuntirib berilgan; Yubqa plenkali a-Si:H asosidagi quyosh elementlarining imkoniyatlari, optik va elektrofizik xususiyatlari tahliliy o`rganilib, kremniy asosidagi QE xususiyatlari bilan taqqoslangan.

O`zbekiston respublikasi sharoitida va aynan Qoraqalpog`iston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanishning potensial, ekologik, iqlimiy imkoniyatlari, shart-sharoitlarini o`rgangan holda quyosh energetikasini rivojlantirish muammo va yechimlar ko`rsatib o`tilgan va ayrim tafsiyalar berilgan. Qo`shimha: Akademik litsey va kollejlarda “Quyosh energiyasidan foydalanish” fanini qo`shomcha fan sifatida o`qitish masalasi kiritilgan.

I BOB. Quyosh elementlarining ishlash prinsipi nazariy asoslari.

1.1 Quyosh energiyasidan foydalanish

Hozirgi kunda kelajagi bor va uzoq muddatga yetuvchi muqobil energiya manbalarining asosan 5 ta turi sanab oʻtiladi, bular quyosh energetikasi, shamol energiyasi, suv energiyasi, Yer tubidagi issiqlik energiyasi, biomassa energiyalaridir.



1.1-rasm.

Birinchi fotoelektrik effektni 1839-yilda fransus fizigi A. Bekkerel ochgan. Biroq 1883-yilgacha etiborsiz qoldirildi, toki Karl Frist birinchi quyosh elementini tuzmagunga qadar. U yarimoʻtkazgich selen ustiga juda yubqa oltin qatlamini yotqizdi ammo uning effektivligi 1% dan oshmadi. Keyinchalik rus fizigi Stoletov tashqi fotoelektrik effektga asoslangan birinchi quyosh elementini yaratti. Albert Eynshteyn 1905-yilda fotoelektrik effekt maʼnosini tushuntirib bergani uchun, 1921-yilda fizika boʻyicha Nobel mukofotini oldi. Ressel Ol 1946-yilda zamonaviy yarimoʻtkazgichli QE uchun patent oldi.

Birlik vaqt ichida Quyosh kosmik fazoga $4 \cdot 10^{23}$ kVt miqdorida enyergiya tarqatadi. Quyoshning umri bir-necha milliard yillarga teng va shuning uchun uni abadiy enyergiya manbai hisoblanadi. Quyosh bilan bogʻliq turli amaliy jarayonlarni oʻrganish uchun Quyosh doimiysi S_0 deb ataladigan fundamental kattalikdan foydalaniladi. Quyosh doimiysi deb yyer

atmosfyerasidan tashqarida birlik yuzaga tik tushadigan enyergiya miqdoriga aytiladi va uning o'rtacha qiymati $S_0=1366 \text{ Vt/m}^2$ ga teng. Quyosh nurlanishi (radiatsiyasi) E_0 to'g'ridan-to'g'ri va sochilgan qismlardan tashkil topadi. Birlik yuzaga tushadigan Quyosh radiatsiyasi qiymati ko'p omillarga bog'liq: joy geografik kengligi, ob-havo, yil mavsumi, sirtning Quyoshga nisbatan burchagi va hokazo. Quyosh radiatsiyasi elektromagnit nurlanishi bo'lib, asosan $0,28...3,0 \text{ mkm}$ to'lqin oralig'ida jamlangan. Quyosh spektri quyidagi to'lqin oraliqlariga bo'linadi:

- Ultrabinafsha to'lqinlar, $0,28...0,38 \text{ mkm}$ oralig'idagi to'lqinlardan iborat, ko'zga ko'rinmaydi va spektrning taxminan 2 % tashkil qiladi;
- $0,38 \dots 0,78 \text{ mkm}$ oralig'idagi yorug'lik to'lqinlari, spektrning taxminan 49 % tashkil qiladi;
- Infraqizil to'lqinlar, $0,78...3,0 \text{ mkm}$ oralig'idagi to'lqinlardan iborat va qolgan 49% spektrning asosiy qismini tashkil qiladi.

Quyosh spektrning qolgan qismi Yer issiqlik muvozanati uchun muhim ahamiyat kasb etmaydi. Quyosh spektrining ma'lum qismlari turli jarayonlarga turlicha ta'sir ko'rsatadi (fizik, fiziologik, bioligik va h.).

Yer atmosferasiga yetib keladigan enyergiyani hisoblash uchun Quyosh doimysi Soni radiusi R ($R=6371000\text{m}$ - Yer radiusi) bo'lgan aylana yuzasiga ko'paytirish hamda bu energiyaning Yer atmosferasida yutilishi, qaytishi va sochilishi natijasida faqatgina 47 foizi Yer sirtiga etib kelishini hisobga olish kyerak. Natijda, Yer sirtiga vaqt biriligi ichida tushadigan enyergiya W_0 (quvvat) uchun quydagi ifodaga ega bo'lamiz :

$$W_0 = 0,47 * S_0 \pi R^2 \approx 8,18 * 10^{16} \text{ kVt}$$

Hisoblangan W_0 ni qiymatini turli manbaalarda keltirilgan qiymatlar bilan biroz farqini, ularda 0.47 koeffitsient va S_0 uchun bizdan farqliroq qiymatlar ishlatilganligibilan izohlash mumkin.

Respublikamiz hududiga kelib tushadigan Quyosh enyergiyasi miqdorini ham raqamlarda ko'rsatish mumkin. Respublikamiz yer sirtiga tushadigan

energiyani W_u umumiy energiya W_0 ga nisbati Respublikamiz hududi yer maydonining A_u Yer yarim shari yuzasiga A_0 nisbati kabi bo'ladir. Respublikamiz uchun $A = 4,474 \cdot 10^{12} m^2$ ni tashkil qiladi. Demak,

$$W_u = W_0 \cdot \frac{A_u}{A_0} = W_0 \cdot A_u / (2\pi R^2) = 0,0176 \cdot W_0 \approx 1,44 \cdot 10^{15} kVt$$

Bu energiya butun Respublikamiz elektr stansiyalari ishlab chiqaradigan quvvatdan taxminan 120 mln. marta ko'pdir.

Quyosh elementlari – bu elektron asbob, quyosh nurlanishini to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish vazifasini bajaradi. Bir podlojkaga aniq ketma-ketlikda joylashtirilgan bir qancha fototurlantirgichlardan iborat namuna **Quyosh moduli** (QM) deb ataladi.

Bir podlojkada birlashtirilgan elementlar miqdori, qatlam kristall strukturasi va qalinligi, ximik tarkibi va b. bo'yicha, yorug'likni intensiv yig'ishi bo'yicha QE larini klassifikatsiyalash mumkin. Yorug'lik yutuvchi materialning kristallik xususiyatiga bo'yicha **QE monokristall, multikristall, polikristall, mikrokristall, nanokristall** bo'lib ajratiladi. Ular o'lchamlari bo'yicha tipalarga ajratiladi, ya'ni **1-100mm** da multikristall, **1-1000mkm** polikristall, **1mkm** dan kichik mikrokristall, **1nm** da kichik nanokristall QE dep ataladi.

Yorug'lik yutuvchi material qalinligiga bog'liq QE yubqa plenkali va qalin plenkali bo'lib ajratiladi. Yubqa plenkali QE qalinligi bir nechta mkm bo'ladir, qalin plenkali **10-100 mkm** bo'ladir.

Quyosh elementlari, batareyalari va fotoelektrik qurilmalar xaqidagi bugungi tushunchalar tarixan 50 yillar oldin paydo bo'lib, so'nggi 25 yil davomida ular energiya manba'i sifatida xalk xo'jaligiga va oddiy kishilar turmushiga kirib keldi. Quyosh batareyasi fotoelementlar to'plamidan iborat bo'lib, yorug'lik energiyasini elektroenergiyaga aylantirish vositasi hisoblanadi. Bu qurilmalarning ishlash mohiyati yarimo'tkazgichli materiallarda quyosh nurlanishining yutilishi va uning natijasida hosil bo'lgan zaryad juftliklarining yarim o'tkazgichda hosil qilingan potensial to'siqlarda ajratilishi va tashqi elektr zanjiriga uzatilish jarayonlariga asoslangan.

Uning elektrik parametrlari me'yorlashtirilgan yoritish sharoitlarida o'lchanadi (Toshkent kengligida bahorgi issiq kunning choshgohiga taxminan mos keladi). Fotoelementlar va quyosh batareyasi, eng katta chiqish quvvati, ishchi va maksimal kuchlanishlar, toklar, yorug'lik energiyasini elektr energiyaga aylantirishning foydali ish koeffitsienti ishlab chiqarish texnologiyasi bilan tavsiflanadi.

Quyosh energiyasidan foydalanish yorug'likni fotoelementlar- quyosh batareyalari yordamida elektr energiyasiga aylantirish orqali amalga oshiriladi. Bu borada Yaponiya, Germaniya, AQSH mamlakatlari etakchilik qilmoqda. Quyosh kollektorlari-quyosh pechlaridan foydalanib issiqlik energiyasini xosil qilish - quyosh pechlarining yuzasi 21 mln metr kvadrat bilan o'lchanadi. Bu borada Yaponiya, Isroil, Gretsiya mamlakatlari etakchi o'rinlarda turadilar. Bugungi kunda quyosh fotoelektr stansiyalari va suvni quyosh energiyasi orqali isitish kollektorlari Surxondaryo, Jizzax, Buxoro, Navoiy, Toshkent, Andijon viloyatlarida va Qoraqalpog'iston Respublikasida muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda.

Dastlabki davrdagi fundamental tadqiqotlar natijasida quyosh nurlanishi spektrining to'liq yutilishini ta'minlash material xususiyatiga bog'likligi aniqlandi[11]. Material hajmida yutilgan nurlanishning zaryad juftliklari hosil qilishi va ularni ajratish jarayoni yarim o'tkazgichli material ichida hosil qilingan potensial to'siq ($n - p$ o'tish) va material xususiyatlariga bog'likligi aniqlandi. Bu esa quyosh elementlari parametrlarini optimallashtirish imkoniyatini yaratdi. Amaliy tadqiqotlar esa optimal parametrga ega bo'lgan QE konstruksiyalarini loyihalash, tayyorlash, ular xususiyatlarini o'rganish, QE, batareyalari va fotoelektrik qurilmalar texnologiyasini ishlab chiqish va ular asosida har xil konstruksiyali, turli sharoitda ishlaydigan, har xil quvvatli iste'molchilarga mo'jallangan elektr manba'lari tizimini ishlab chiqarishni amalga oshirishga bag'ishlandi. Hozirgi zamon QE qaysi sharoitda ishlatilishiga (koinotda, Yer sharoitida, to'g'ridan – to'g'ritushayotgan quyosh nurlanishiga, zichlashtirilgan quyosh nurlanishiga, ekstremal hol uchun va boshqalar) qarab

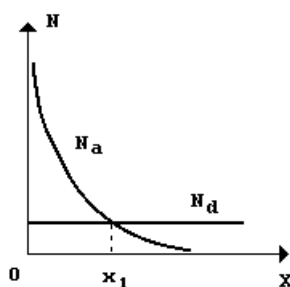
turli xil yarim o'tkazgichli materialdan ishlab chiqariladi. hozirgi davrda ishlab chiqarilayotgan va inson ehtiyoji uchun elektr manba'i sifatida qo'llanilayotgan QE aksariyati kremniy materialidan tayyorlanmoqda. Bunga asosiy sabab, hozirgi zamon xalq xo'jaligi ehtiyoji uchun ko'p qo'llaniladigan mikroelektron asboblarning asosi kremniyligidir. Ikkinchidan, kremniy elementar yarim o'tkazgich bo'lib, uning Yer tarkibida 30 %ga yaqinini tashkil qilishi, hamda texnologiyasining rivojlanganligidadir.

Hozirgi vaqitta quyash energiyasiga asoslanib ishlaydigan yarim o'tkazgichli kremniyli birikmalarning kelip chiqishi bilan shu birikmalar asosida ishlaydigan yarim o'tkazgichli asboblarga qo'yiladigan talablar ortib bormoqda. Har bir quyosh elementlariningelektrofizik xususyatlarini o'rganish va ular asosidada yangi asboblarniyaratish asosiy masalalarning biri hisoblanadi. Quyash elementlari bu quyash energiyasi asosida ish bajaradigan va uni turlantiradigan yarim o'tkazgichli materiallar hisoblanadi. Quyosh nuri asosida ishlaydigan yarim o'tkazgichli asboblarning kelib chiqishi, bueng arzon, foydalanish imkoniyati katta diodlik strukturalarni keltirib chiqardi. Quyash elementlari bir yarim o'tkazgichli elementdan, atomlari yarim o'tkazgichli birikmalardan yoki ko'p elementlardan tuzilgan geterostrukturalardanda iborat bo'lishi mumkin. Shu tuzilishiga bog'liqlardagi fizik xarakteristikalarda har hil bo'ladi.

Quyosh elementlarini tuzuvchi kristallarning xarakteristikasiga yorug'likning kuchi, to'lqin uzunligining ko'rinadigan turi, nurlanish kuchi yotadi. Yorug'lik kristallarining Omlik kontaktlari yubqa plyonka texnologiyasi asosida ishlanadi. Quyosh elementlarining geterostrukturalardan tuzilishi bilan kosmos sharoitida alinadigan foydali ishkoeffisienti ortib bormoqda. Quyosh elementlari asosida foydalanadigan yarim o'tkazgichli geterostrukturalarning asosiy o'stirilish usuli bu gidridlik epitaksiya metodi bolib, shunday usul bilan o'stirilgan strukturalar kosmosta o'zining katta foydalanish imkoniyatiga ega.

1.2 Elektron- kovakli (p-n) o'tishning paydo bo'lishi

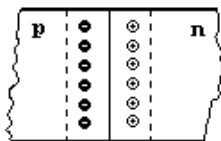
p-n o'tish paydo bo'lishining fizik rasmini qarab chiqamiz. Mayli elektronlik tipdagi yarim o'kazgichli kristal berilgan bo'lsin. Bu kristalda N_d konsentratsiyaga ega bo'lgan donorli kirishma hajm bo'yicha bir xil taqsimlangan. Kristalning bir tipi orqali N_a konsentratsiyaga ega bo'lgan akseptor kirishmalari kiritilgan bo'lsin va $N_a \gg N_d$ bo'lsin (rasm 1.1).



1.2- rasm. p – n o'tishning paydo bo'lishi.

Shunday diffuziyadan keyin yarim o'tkazgich hajmi ikki har turli tipga ega bo'lgan sohalar paydo bo'ladi. Xaturqatinda, $0 < x < x_1$ sohada kovakchalarning konsentratsiyasi $p=N_a-N_d$, lekin elektronlarning konsentratsiyasi N_d . $N_a \gg N_d$ bo'lganlikdan, asosiy tok tashuvchilar kovakchalar bo'ladi. $x > x_1$ sohada kovakchalarning konsentratsiyasi kichik, $N_a \ll N_d$, lekin elektronlarning konsentratsiyasi $n = N_d$. Demak, bu yerda asosiy tok tashuvchilar elektronlar bo'ladi. Boshqacha aytganda $x=x_1$ tekislikning atrofida p va n sohalaridan tuzilgan o'tish paydo bo'ladi, ya'ni p-n o'tish yuz beradi. $X=x_1$ tekislikning ikki tarafidada elektronlar va kovakchalar konsentratsiyasi bir biridan bir muncha darajada farq qiladi. O'tish paydo bo'lganda elektronlar katta konsentratsiyaga ega bo'lgan sohadan kichik konsentratsiyaga ega bo'lgan sohaga diffuziya orqali o'tadi. Shu bilan birga, chegaradagi n- sohada erkin elektronlar soni ionizatsiyalangan donorlar sonidan kichik bo'ladi. Bu elektr neytralilik shartti buzadi va kompensatsiyalanmagan musbat zaryadning paydo bo'lishiga olib keladi. O'z navbatida, p sohadagi kovakchalar $x=x_1$ tekislikdan n- sohaga diffuziyalanadi. Bu p- sohada ionizatsiyalangan akseptorlarning kompensatsiyalanmagan manfiy zaryadning paydo bo'lishiga olib keladi.

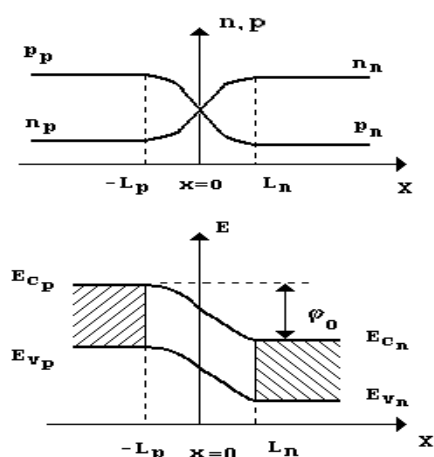
Shunday qilib, p va n sohalar chegarasida ionizatsiyalangan kirishmalar bilan shartlangan qo'sh elektr qatlam paydo bo'ladi (rasm 2.2).



1.3-rasm. p-n o'tishning paydo bo'lishi.

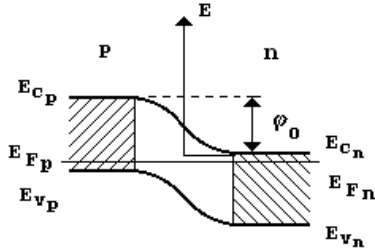
Bu qatlam bilan paydo bo'lgan elektr maydon qo'zg'almali tok tashuvchilarning diffuziyasina to'sqinlik yasaydi. Biroq, bu maydon diffuziyalik tokga gapamagapsi bo'lgan asosiy emas tok tashuvchilarning dreflili tokni paydo etadi. Tashqi kucklanish yo'q bo'lganda, muvozanatli holatda p-n o'tish orqali natijali tok nolga dan bo'ladi. Bu elektr maydon kuchlar va tok tashuvchilarning diffuziyasini aniqlaydigan kuchlar yarim o'tkazgichning hohlagan ko'ndalang kesimida bir biriga danlecetyginin ko'rsetadi. Tok tashuvchilarning diffuziya jarayoni to'tagandanso'ng, p-n o'tish termodinamikalik muvozanatli holiga keladi. 1.3 rasmdan muvozanatlik holatlari p va n sohalaridagi erkin elektronlar va kovakchalar konsentratsiyalari va p-n o'tishning energetik zonalik diagrammasi 1.3 rasmda ko'rsatilgan.

Shu rasmda p-n chegarada paydo bo'lgan φ_0 balandlikka ega bo'lgan potensial to'siq ko'rsatilgan. Potensial to'siq kattaligini qaraymiz.



1.4-rasm. Muvozanatli holatdagi p va n sohalaridagi erkin elektronlar va kovakchalar konsentratsiyalari va p-n o'tishning energetik zona diagrammasi.

Termodinamik muvozanatli holatda hohlagan sistemaning Fermi sathi doimiy qiymat bo`ladi. Bu ko`rsatadi, agar o`tish muvozanatli holatda bo`lsa, musbatda p va n sohalaridagi Fermi sathlar bir xil balandlikda bo`ladi (rasm 1.3, a).



1.5-Rasm. Muvozanatdagi p-n o`tishning energetik zona diagrammasi.

N sohadagi elektronlar konsentratsiyasi bo`ladi

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{Fn}}{kT}\right) \quad (1.1)$$

n sohadagi o`tkazgichlik zonaning tubiga mos keladigan energiyani nollik qiymatlarda deb ga`il edamiz, ya`ni $E_c = 0$. Musbatda

$$n = N_c \exp\left(\frac{E_{Fn}}{kT}\right) \quad (1.2)$$

bu yerdan n sohadagi Fermi sathi energiyaga mos keluvchi ifodani topamiz. Bu ifoda temperaturani, n tipdagi yarim o`tkazgichning o`tkazgichlik zonadagi hollarning effektiv zichligin va erkin elektronlar konsentratsiyani bog`laydi.

$$E_{Fn} = -kT \ln \frac{N_c}{n}$$

yoki

$$kT \ln \frac{n}{N_c} = E_{Fn} \quad (1.3)$$

Kovakchalarning p sohadagi konsentratsiyasi quyidagicha bo`ladi

$$p = N_v \exp\left(\frac{-E_g + E_{Fp}}{kT}\right) \quad (1.4)$$

bu ifodadan p sohadagi Fermi sath energiya uchun topamiz

$$E_{Fp} = E_g - kT \ln \frac{N_v}{p} \quad (1.5)$$

o'tkazgichlik zonaning tubiga nollik energiya mos kelgan bo'lganlikdan, p va n sohalarining chegarasida paydo bo'layotgan potensial to'siqning balandligini topamiz

$$\varphi_0 = -E_g + E_{Fp} + E_{Fn}$$

(1.2) va (1.4) ifodalarni qo'llab, φ_0 kattalikni topamiz

$$\varphi_0 = -kT \ln \frac{N_c N_v}{np} \quad (1.6)$$

bu ifodadan p-n o'tishning potensial to'siqning balandligi materiallikinning o'tkazgichlik tipi va erkin tok tashuvchilarning konsentratsiyalar bilan aniqlanadi.

1.3 Yarim o'tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlarini o'rganish

Quyosh elementlari (QE) asosan yarim o'tkazgichli (Yo`) materiallar asosida tayyorlanadi. Shuning uchun QE optik va fotoelektrik xususiyatlarini bilish, Yo` materiallar tuzilishini, ularning metallar va dielektrik materiallardan farkini va Yo` materiallar uchun bevosita asosiy bo'lgan xususiyatlarni o'rganishni taqozo etadi. Kristallning elektr o'tkazuvchanligi, optik va boshqa xususiyatlari asosan valent sohasining to'ldirilish darajasiga va undan yuqoridagi sohagacha bo'lgan energetik masofa bilan aniqlanadi va unga otkazuvchanlik soxasi deyiladi.

Issiqlik va optik uzatilish hisobiga o'tkazuvchanlik sohasiga valent sohasidan elektronlar o'tishi va elektr tokini o'tkazishda ishtirok qilishi mumkin. Valent sohasida hosil bo'lgan bo'sh o'rinlarga elektronlarning ko'chishi, unga qarama-qarshi bo'lgan musbat zaryadlarning harakatini hosil qiladi va bu zaryadlarga teshiklar deyiladi.

Agar moddaning valent sohasi to'laligicha egallanmagan bo'lsayu, ammo o'tkazuvchanlik sohasigacha bo'lgan energetik masofa nisbatan kichik (2 eV dan kamroq) bo'lsa bunday moddalar Yo` deyiladi. Yo`xususiyatlari xususan elektr o'tkazuvchanligi tashqi muhitga, ayniqsa haroratga boqlik bo'ladi. Harorat (T)ning ortishi elektronlar miqdorining valent va o'tkazuvchanlik soha

orasida joylashgan man qilingan sohadan (E_g) o'tib o'tkazuvchanlik sohasiga o'tishda tok tashuvchilarning eksponensial ravishda ko'payishiga va elektr o'tkazuvchanlikning (σ)

$$\sigma = A_0 \exp(-E_g / 2kT) \quad (1.7)$$

tenglamaga asosan o'zgarishiga olib keladi. Bu yerda k - Bolsman doimiysi, A_0 - moddani xarakterlovchi y'zgarmas kattalik.

Metallarning elektr o'tkazuvchanligi erkin elektronlar konsentrasiyasi o'zgarmas bo'lganligi tufayli elektronlar harakatchanligining haroratga bog'liqligi bilan aniqlanadi va haroratning ortiyui bilan asta-sekin kamayadi.

Yuqoridagi tenglamani logarifmlab quyidagi ifodani hosil qilamiz.

$$\ln \sigma = \ln A_0 - E_g / 2kT \quad (1.8)$$

Bu tenglamani yarim logarifmik koordinatalarda grafik ravishda korsatish mumkin. Hosil bo'lgan to'g'ri chiziq va uning φ burchak tangensi Yo'materiallarning asosiy parametri bolgan, man qilingan soha kengligi $E_g = 2kTg\varphi$ ni aniqlaydi. Ta'kidlash lozimki, qiya to'g'ri chiziq, ya'ni elektr o'tkazuvchanlik logarifmining $1/T$ ga bog'liq ravishda o'zgarishi faqat toza, kirishmalardan xoli, xususiyy o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materiallar uchungina shunday ko'rinishga ega.

Kirishmali yarim o'tkazgichlarda $\ln \sigma$ ning $1/T$ ga boglanishi murakkab olib, u ikkita qiya to'g'ri chiziqdan iborat bolishi mumkin va bir-biri bilan gorizontal qism orqali tutashgan boladi. Past haroaratli sharoitda o'lchash natijasida olingan $\ln \sigma = \ln A_0 - E_g / 2kT$ tenglamadan hosil qilingan qiya to'g'ri chiziq tangensi yordamida kirishmalarning man qilingan sohada joylashgan energetik sathlari holatini aniqlash mumkin. Yuqori haroratli sharoitda olingan hollarda esa Yo'materialning man qilingan sohasi kattaligini, ya'ni E_g nianiqlash mumkin. QE tayorlashda quyosh nurlanishining Yo'material bilan ozaro ta'siri, fotonlar

energiyasini materialdagi elektronlarda yutilishi va chiqishi jarayonlari muhim ahamiyatga egadir.

Kvant mexanikasida elementar zarrachalar, shu jumladan elektronlar ham to'liq xossalarga ham ega deb qaraladi. Shuning uchun elementar zarrachalar harakatini o'rganishda energiya (E) va impuls (P) bilan bir qatorda, ularning to'liq uzunliklari L takrorlanuvchanligi v va to'liq vektori $k=P/h$, (h - Plank doimiysi) ham ishlatiladi. Bu yerda $E=h\nu$ va $P=h/\lambda$ ga teng.

Kristallar sohali tuzilmasini $E - K$ diagrammalar bilan tasvirlash mumkin. Bu yerda energiya elektron-voltlarda (eV) To'liq vektori K - kristalli panjara doimiyligi qismlarida ko'rsatiladi. Shu bilan birga quyida ko'rsatkichlar yordamida kristall panjara yo'nalishi ko'rsatiladi. $E - K$ diagrammasi vositasida sohalararo o'tishlarning Yo' materialdagi xarakteri va jumladan o'tishning "to'g'ri" yoki "to'g'rimas"ligini aniqlash mumkin.

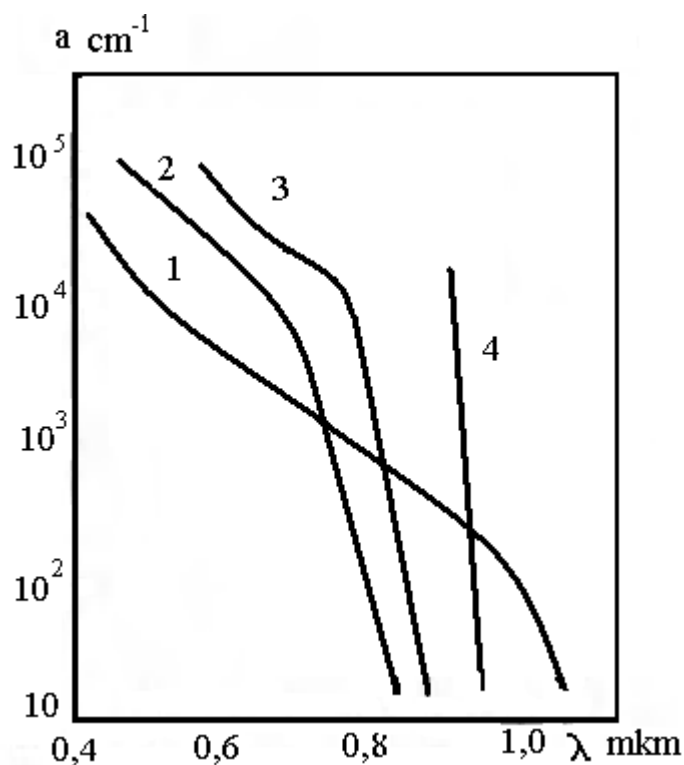
Optik yutilishni o'lchanishidan aniqlangan E_g ning kattaligi, kopincha Yo' materialdagi erkin zaryad tashuvchilarning konsentrasiyasiga, haroratga va kirishmalar energetik sathlarining man qilingan sohada mavjudligiga bog'dik boladi. Agar otkazuvchanlik sohasi tubidagi va valent sohasi ustidagi holatlar zaryad tashuvchilar bilan toldirilgan bolsa, u holda kirishmali Yo' materiallar uchun E_g sof xususiy materialga tegishli qiymatidan kattaroq bolishi mumkin. Agar kirishmalar hosil qilgan soha eng yaqin ruxsat etilgan soha chegarasi bilan birlashib ketsa (masalan, kopmiqdordagi kirishmalar kiritilganda kuzatiladigan holat), u holda E_g kamayadi. E_g ning bunday kamayishi asosiy yutilish chegarasiga ta'sir qiladi.

Yo' materialda yutilish koeffisienti α odatda to'liq energiyasining $1/\alpha$ masofada e marotabakamayishi orqali aniqlanadi va u

$$N_l = N_0 \exp(-\alpha l) \quad (1.9)$$

dan topiladi. Bu yerda N_l – Yo' materialda l chuqurlikka kirgan fotonlar oqimining zichligi, N_0 —material sirtini kesib o'tuvchi fotonlar oqimining zichligi.

Materialning yutilish ko'effisienti α yutilish korsatkichi k bilan $\alpha=4\pi k/\lambda$ munosabat orqali bog'langan.



1.6-rasm. Yarim o'tkazgichli ayrim materiallar uchun yutilish ko'rsatkichining energiyadan o'zgarishi. 1- Si, 2-CdTe, 3-GaAs, 4-InP.

Shunday qilib, ma'lum va aniq qalinlikka ega bolgan Yo` material namunalaridan o'tayotgan optik nurlanish intensivligini o'zgartirib  $k$  va  $\alpha$  ning shu modda uchun qiymatlarini topish mumkin. Quyosh elementlari tayyorlanadigan ayrim Yo` materiallar uchun 2-rasmida α ning energiyadan o'zgarishi keltirilgan.

Rasmdan ko'rinadiki, yutilish ko'rsatkichi α ning spektral xarakteristikasi keltirilgan Yo` materiallarda bir-biridan katta farq qiladi va bu farq asosan ularning sohali tuzilmasi va optik o'tishlar xarakteriga bog'liqdir. GaAs, InP, CdTe Yo` materiallarda to'g'rydan-to'g'ri soha-soha xarakterdagi optik o'tishlar mavjud bo'lib, nurlanish spektrida E_g dan ortiq energiyali fotonlar paydo bo'lishi bilan α tezda $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$ darajasiga ko'tariladi[5,11].

Kremniy materialida esa yutilish jarayoni 1,1 eV dan boshlab to'g'ri bo'lmagan energetik o'tishlar orqali bo'ladi va buning uchun ham yorug'lik kvanti, hamda panjara tebraninshari kvanti-fononlar ishgiroki talab qilinadi.

SHuning uchun, yutilish ko'rsatkichi α asta-sekin ortib boradi. Faqat fotonlar energiyasi 2,5 eV ga etgandan keyingina soha-sohali o'tishpar to'g'ridan-to'g'ri o'tinsharga aylanadi va yutilish keskin orta boshlaydi.

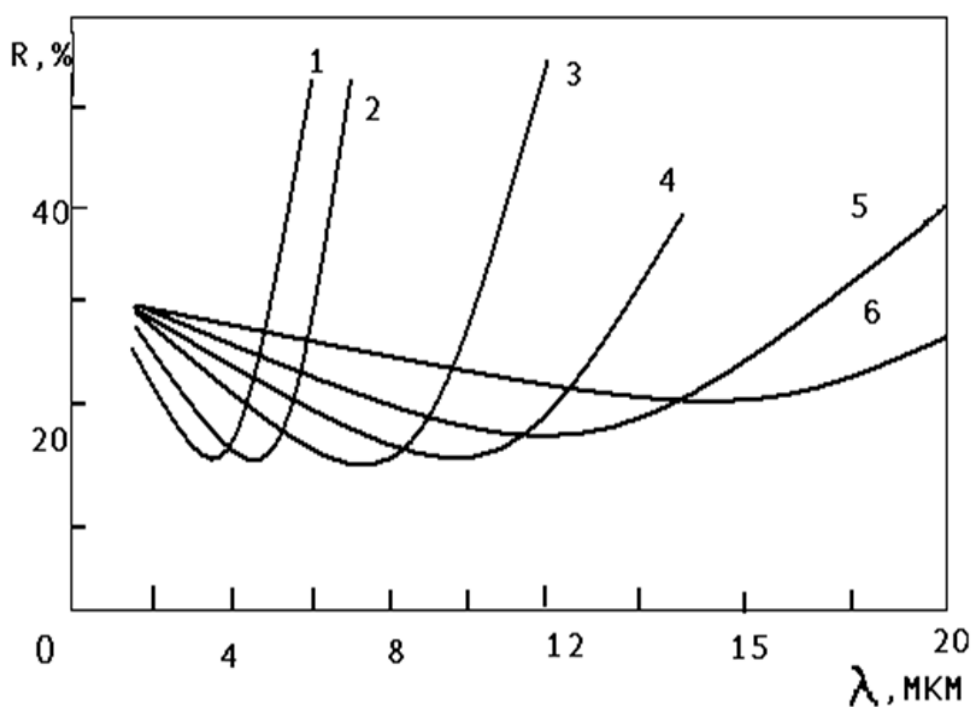
Yutilish koefitsientnning spektral xarakteristikam (1-rasm) shuni ko'rsatadiki, kremniy materialidan foydalanib Quyosh spektrining juda katta qismini elektr tokiga aylantirish mumkin ($\lambda \leq 1,1$ mkm bo'lgan nurlanishlarni). Masalan, atmosferadan tashqaridagi quyosh nurlanishi uchun (AM O) bu 74% ni tashkil qiladi. Holbuki, agar material sifatida GaAs ($\lambda \leq 0,9$ mkm) YO' olinsa faqat 63 % quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish mumkin. Ammo, «to'g'rimas» optik o'tishlarning asosiy yutilish chegarasida X ning qiymati katta bo'lmaganligi sababli, butun keltirilgan quyosh spektri yutilishi uchun kremniyli QE ning qalinligi 250 mkm dan kam bo'lmasligi kerak. Holbuki xuddi shunday sharoit uchun GaAs materialining qalinligi 2-5 mkm bo'lishi kifoyadir[4,5,11]. Shuning uchun, spektral xarakgeristikaning bu xususiyatlarini yuqori samarali va yupqa qatlamli QE ishlab chiqishda ahamiyati katta ekanligini doimo hisobga olish zarur.

Agar YO' sirtga tushayotgan fotonlar energiyasi kam bo'lib, yutilish natijasida elektronlarni valent sohasidan o'tkazuvchanlik sohasiga chiqara olmasa, nurlanish ta'sirida elektron kristall ichida ruxsat etilmagan sohalarga o'tishimumkin. Bunday holat uchun yutilishning spektral xarakteristikasining asosiy yutilish chegarasidan keyingi uzun to'lqinli qismida sezilishi mumkin. Bunday yutilish erkin zaryad tashuvchilar yutilishi deyiladi va bu jarayon shunday zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga bog'lik bo'ladi. Erkin zaryad tashuvchilar yengil ionizatsiya bo'la oladigan kirishmalar konsentratsiyasiga bog'liq bo'lgani uchun, yutilish ham unga to'g'ridan -to'g'ri bog'liq bo'ladi. YO' materiallarda bunday uzuntolqinli yutilish xususiyatlarini o'rganish natijasida yutilishning bir necha turi mavjudligi aniqlangan. Jumladan, fazoviy panjara tebranishlarida yutilish, kirishmalarda yutilish, eksitonlarda yutilish. Eksiton – bog'langan elektron-teshik juftligi bo'lib zaryad tashuvchilar

konsentrasiyasini o'zgartirmaydi. chunki kristall ichida alohida elektron yoki teshik xarakatlari emas, balki bog'langan holat harakatidir.

Yutilish spektrlari kristall tuzilishi xususida kerakli va har tomonlama foydali ma'lumotlar beradi, jumladan, legirlanish darajasi, kirishmaparning aktivlanish energiyasini va ularning man qilingan sohada joylashgan energetik sathlarini aniqlashga imkon beradi. Masalan, yutilish spektrlari asosida kremniyda kislorodning bor yuqligini aniqlash mumkin (9 mkm). Spektrning uzun tolqinli sohasida akslanish koeffisienti R, bunday kirishmalar ortishi bilan keskin o'sishi kuzatiladi.

Quyidagi chizmada, erkin zaryad tashuvchilar (elektronli) konsentratsi $7,4 \cdot 10^{18}$ dan $1,67 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ gacha oraliqda surma, mishyak va fosfor legirlangan kremniyning akslanish koeffitsientining spektrga bog'liqligi keltirilgan. Bundan kremniy yuzasidan akslanish spektr egrilaridagi minimum holati va erkin zaryad tasghuvchilar konsentratsiyasidan akslanish minimumning λ ga bog'liqligini ko'rish mumkin.



1.7-rasm. Fosfor bilan legirlangan kremniyning akslanish koeffitsientining spectral bog'liqligi. Bunda erkin zaryad tashuvchilar (electron)

konsentratsiyasi: 1- $1.67 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$; 2- $1.02 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$; 3- $4.38 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$; 4- $2.05 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$; 5- $1.27 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$; 6- $7.4 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Erkin zaryad tashuvchilarning yorug'likni yutishi λ ning o'sishi bilan o'sadi, k ning ortishi esa akslanish koefitsienting ortishiga olib keladi. Shunday qilib, legirlangan YO' ning akslanish koefitsientining spectral bog'liqligi minimumda o'tishi kerak[5].

1.4 Optik nurlanishni elektr energiyaga aylantirish

Fotoelektrik effektga asoslangan Yo' materiallarda n-p o'tishli tuzilmalardan iborat QE da, ularga tushayotgan quyosh nuri bevosita elektr energiyasiga aylantiradi. Shuning uchun, QE fotoqabullagich afotoqarshiliklardan farqli ravishda, tashqi kuchlanish manbaiga muhtoj emas. Bu effekt yuz yildan ortiq vaqt davomida selen va mis oksidining fotoelektrik xususiyatlari sifatida o'rganib kelingan, ammo ularning foydali ish koefitsienti (F.I.K.) 0,5 % oshmagan.

Bu muammoning nisbatan faol yechilishi Yo' materiallar elektron tuzilishining soha nazariyasi yaratilganidan keyin, materiallarni kirishmalardan tozalash va kirishmalarni nazoratli ravishda kiritish texnologiyasi, hamda n-p o'tishning nazariyasi yaratilishi bilan bog'liqdir.

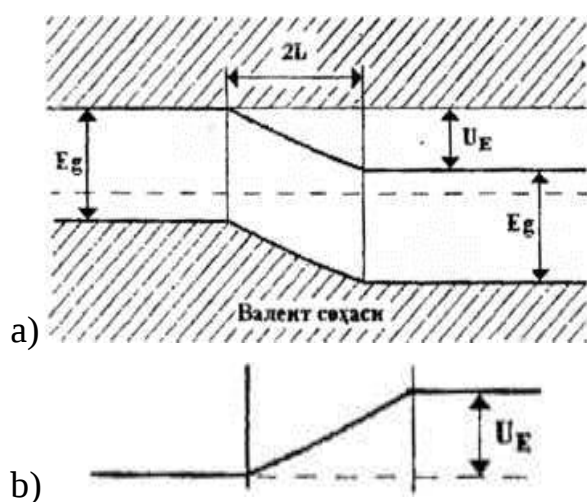
So'nggi 45 yil davomida energiya manbai sifatida yuqori samarali Si, GaAs, InP, CdTe va ularning qattiq qotishmalari asosida F.I.K. 20-24 % bo'lgan QE yaratildi. Kaskadli QE larda esa F.U.K. 30% gacha yetkazildi. Keng tarqalgan kremniy asosidagi QE lari konstruksiyasi p- va n-materialning bir-biriga tutashtirishdan hosil qilinadi. YO' material ichidagi p- 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 taaluqli elektrostatik potensial paydo bo'ladi.

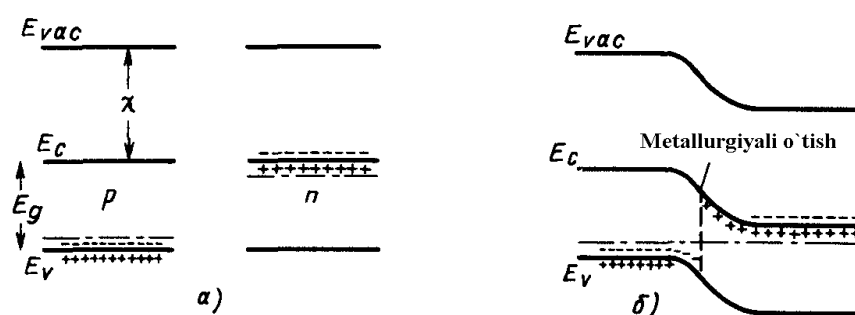
P-n tuzilma sirtiga tushgan optik nurlanish, sirtdan material ichiga qarab p-n o'tish yo'nalishiga perpendikulyar ravishda konsentratsiyasi kamayib boruvchi elektron-teshik juftliklar hosil qiladi. Agar sirt yuzasidan p-n o'tishgacha bo'lgan masofa nurning kirish chuqurligidan (l/α dan) kichik bo'lsa, elektron-teshik juftliklar p-n o'tishdan ichkarida ham hosil bo'ladi. Agar p-n o'tish juftlik hosil bo'dgan joydan diffuzion uzunlikka teng masofa yoki undan kamroq masofada bo'dsa, zaryadpar diffuziya jarayoni natijasida p-n o'tishga etib kelib, elektr maydoni ta'sirida ajratilish mumkin. Elektronlar p-n o'tishning elektron bor bo'lgan qismiga (n-qismiga), teshiklar p-qismiga o'tadi. Tashqi p- va n-sohalarni birlashtiruvchi elektrodalarda (kontaktlarda) potenciallar ayirmasi hosil bo'lib, natijada ulangan yuklanma qarshiligi orqali elektr toki oqa boshlaydi.

P-n o'tishga diffuziyalangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar, potensial to'siq bo'lganligi sababli, ikkiga ajratiladi. Ortiqcha hosil bo'lgan (to'sik, yordamida ajratilgan) va to'plangan, n-sohadagi elektronlar va p-sohadagi teshiklar p-n o'gishdagi mavjud hajmiy zaryadni kompensatsiya qiladi, ya'ni mavjud bo'lgan elektr maydoniga qarama-qarshi elektr maydonini hosil qiladi. Yoritilish tufayli tashqi elektrodalarda potenciallar ayirmasi hosil bo'lishi bilan birga yoritilmagan p-n o'tishdagi mavjud potensial to'siqning o'zgarishi ro'y beradi. Hosil bo'ltan foto-EYUK bor bo'lgan potensial 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 p-n o'tishga qo'yilgan elektr kuchlanish ta'siri natijasida to'g'ri yo'nalishdagi tok bilan deyarli teng bo'ladi. Yoritilish jarayoni boshlangan vaqtdan boshlab ortiqcha (muvozanatdagiga nisbatan) zaryadlarning to'planishi (elektronlarning n-sohada va teshiklarning p-sohada) potensial tusiq balandligini kamaytiradi, yoki boshqacha qilib aytganda elektrostatik potensialni pasaytiradi (4-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 keqayotgan juftliklar soniga teng bo'lganda statsionarmuvozanat hosil bo'ladi. Odatda bu hol yoritilish jarayonining mingdan bir soniyasi davomida ro'y beradi.



1.8-rasm. Yoritilmagan p-n o'tishli yarim o'tkazgichda energetik sohalar strukturasi (a), elektrostatik potentsial taqsimoti (b). $2l$ - hajmiy zaryad sohasining kenglini, U_E - p- va n- sohalar chegarasidagi muvozanat hol uchun elektrostatik potentsial, E_g — man qilingan soha kengligi, shtrixlangan chiziq — muvozanat holi uchun Fermi sathi.



1.9- rasm. P-n tuzilmadan oldingi (a) va keyingi (b), p- va n- tip o'tkazuvchanlikli YO`larning energetik zona diagrammalari[4].

QE qisqa tutashuv toki I_{qt} 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 xosil qilish imkoniyatini beradi. Ma'lum yorug'lik oqimi zichligi tushayotgan QE uchun quyidagi tenglamani keltirish mumkin.

$$I_{q\gamma}(\lambda) = I_{qt}(\lambda)/[1-r(\lambda)] \quad (1.10)$$

bu yerda $I_{q\gamma}(\lambda)$ va $I_{qt}(\lambda)$ — mos ravishda berilgan intensivlikdagi yutilgan va tushayotgan nurlanish uchun QE qisqa tutashuv tokining qiymatlari, $r(\lambda)$ - birlamchi qaytish koeffitsienta. Keltirilgan uchchala kattaliklar ham bir xil to'liq uzunligi bo'lgan hol uchun to'g'ridir.

QE ni tahlil qilish va sifatini baholash uchun uning I_{qt} , 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 - YO' material sirtining birlik yuzasiga tushayotgan kvanglar soni bo'lsa, u holda

$$Q_{eff} = I_{qt}/N_0 \quad (1.11)$$

bo'ladi, bu yerda I_{qt} - 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

$$Q_{eff} = \beta\gamma \quad (1.12)$$

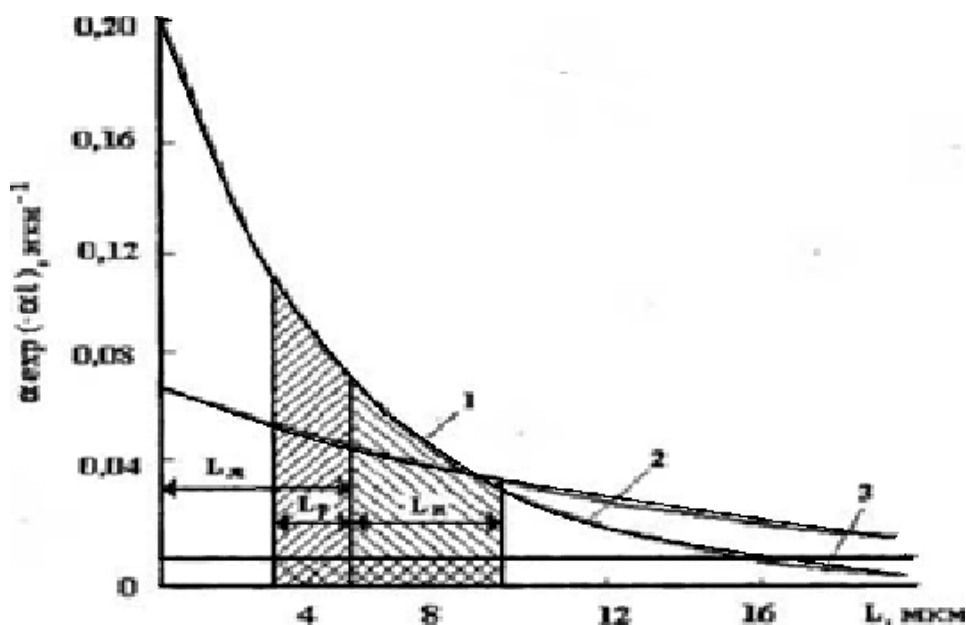
β -ichki fotoeffektning kvant chiqishidir. Bu kattalik har bir yutilgan kvant uchun fotoionizatsiya jarayonida YO' ichida hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklarni ko'rsatadi.

γ -p-n o'tish potensial to'siqning tok tashuvchilarni yig'ish (jamlash) koeffitsientidir. Boshqachasiga aytganda tok tashuvchilarning ajratish koeffitsienta 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.

Ichki fotoeffektning kvant chiqishini quyidagi formula orqali hisoblashimiz mumkin,

$$\beta = I_{qt}/(1-r)qN_0\gamma \quad (1.13)$$

Har xil to'liqin uzunlikka ega bo'lgan optik nurlanish, materialda har xil chuqurlikka kira oladi (kvantlarning chuqurlikka kirish qobiliyati ularning energiyasiga bog'likdir) va YO' materiallarda yutilgan kvantlar hisobiga hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar materialda fazoviy taqsimot hosil qiladi (1.10-rasmga qarang).



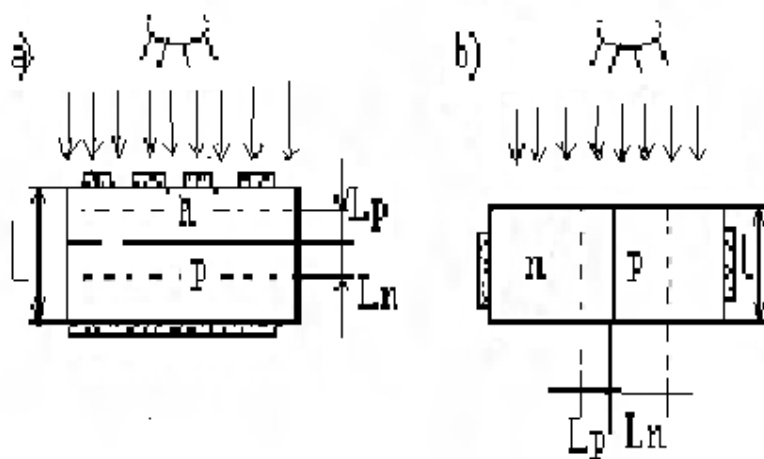
1.10-rasm. Har xil to'liqin uzunlikka ega bo'lgan nurlanishning kremniy asosidagi p-n o'tishga perpendikulyar tushgan hol uchun hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklarining taqsimlanishi. 1- $\lambda = 0,619$ mkm, $\alpha = 2000 \text{ cm}^{-1}$; 2- $\lambda = 0,81$ mkm, $\alpha = 700 \text{ cm}^{-1}$; 3- $\lambda = 0,92$ mkm, $\alpha = 90 \text{ cm}^{-1}$.

Hosil bo'lgan juftliklarning keyingi taqdiri YO' materiallarning diffuzion yo'li uzunligiga bog'likdir. Agar bu parametr kattaligi etarlicha bo'lsa, u holda nurlanish tufayli hosil bo'lgan ortnqcha 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_n) va p-n o'tish chuqurligi (l) o'ynaydi, chunki hosil bo'layotgan va ajratilishi kerak bo'lgan juftliklar ularga bog'liqdir[4,5,11].

Optik nurlanishning YO' materialga tushish yo'nalishiga qarab p-n o'tish konstruksiyasining ikki xili mavjud va ularni quyidagi 1.11 rasmda keltirilgan holi uchun ko'rib o'tamiz.

1-hol. Optik nurlanish yoʻnalishiga p-n oʻtish perpendikulyar joylashgan hol. Optik nurlanish, qalinligi l ga teng boʻlgan YOʻ materialning butunlay oxirigacha kiradi.

2-hol. Optik nurlanish yoʻnalishiga p-n oʻtish parallel joylashgan hol. Nurlanish, kengligi d ga teng boʻlgan tuzilmaga tushadi.



1.11-rasm. Yarim oʻtkazgichli kristallda p-n oʻtishlarning joylashish sxemlariga qarab (a) perpendikulyar va (b) parallel p-n oʻtish tekisligi uchun optik nurlanishning tushishi. L_n L_p - p- va n - sohalarda asosiy boʻlmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari; l - yarim oʻtkazgichda nurlanishning kirish chegarasi; shtrixlangan sohalar - p- va n- sohalardagi metall kontaktlarning koʻrinishi.

Perpendikulyar va parallel joylashgan p-n oʻtishlar uchun yigʻish (jamlash) koefitsienta quyidagi munoeabatlar bilan aniqlanadi.

$$\gamma = (L_n + L_p)/l \text{ (8) va } \gamma = (L_n + L_p)/d \text{ (1.14)}$$

bu yerda, L_n , L_p - mos ravishda elektronlar va teshiklarning diffuziya yoʻli uzunligi.

Birinchii qarashda p-n oʻtishning parallel joylashishi afzalroq koʻrinadi. Chunki hosil boʻdgan zaryad juftliklarini toʻlaligicha yigʻish va ajratish uchun YAOʻ material qalinligiga p-n oʻtishga nisbatan ularning taqsimlanishi muhimdir. YAOʻ ichida juftliklarning material chuqurdigiga nisbatan bir tekis hosil boʻlishi ularning p-n oʻtish tomop diffuziya hodisasi orqali ajratilish

jarayoni uchun o'ta muhimdir. SHuning uchun, ko'p p-n o'tishlarga ega bo'lgan QE larida, ularning p-n o'tishlari tushayotgan optik nurlanishga parallel joylashtiriladi. Optik nurlanishning uzun to'liqlik 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 holisining perpendikulyar joylashgan n-p o'tishlarga nisbatan kattaligi nazariy va amaliy jihatdan aniqlandi. SHuning uchun, bu turdagi QE ning quyosh nurlanishiga qaratilgan yuzasida qisqa to'liqlik nurlarning spektral effektivligini oshirish uchun, qo'shimcha kirishmalar kiritilgan teskari tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qo'shimcha yupqa qatlam hosil qilish maqsadga muvofiqdir. YAni, yana qisman perpendikulyar konstruktsiya elementiga qaytish maqsadga muvofiqdir.

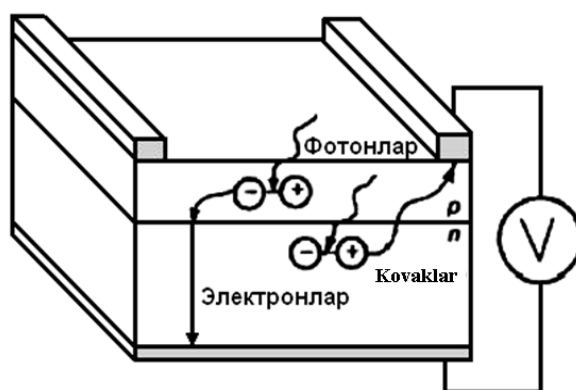
Parallel joylashgan p-n o'tishli QE larida hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar konsentratsiyasi (M) material yuzasidan ichkarisiga qarab o'zgaradi. Perpendikulyar joylashgan p-n o'tishli QE konstruktsiyasi uchun esa n-turdagi material uchun ham p- turdagi uchun ham hosil bo'layotgan juftliklarning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

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha l) \quad (1.15)$$

bu yerda, N_0 -bir birlik yuzaga tushayotgan kvantlar soni. Juftliklar soni, ichkariga qarab kamayib boradi. Ularning sonini YAO' materialda yutilishi mumkin bo'lgan sohada $\alpha(E)$ ni aniqlash mumkin.

Kremniy uchun 1.10-rasmda ko'rsatilgan bir necha qiymatga ega bo'lgan to'liqlik 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 konstruksiyasi (optik nurlanish tuzilma yuzasiga perpendikulyar tushgan hol) QE texnologiyasida va ularni amaliy ishlatishdagi asosiy konstruksiyadir. Bunday QE har xil YAO‘ materiallar asosida ishlab chiqildi .Yuqorida keltirilgan tahlillar asosida yuqori samarali optimallashtirilgan konstruksiyalar ishlab chiqildi. L_{mm} har qanday material uchun ham ularga qo‘yiladigan, yuqorida keltirilgan, asosiy talablar saqlab qolinishi kerakligi aniqlandi. γ va I_{qt} 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 $L_p \gg l$ ga amal qilgan holda olish kerak[4,5,11]. SHu asosda baza parametrlarini tanlash zarurdir.



1.12-rasm. Sodda quyosh elementining konstruksiyasi

1.5 Quyosh elementlarini tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallarning xususiyatlari

Yuqori samarali quyosh elementlari tayyorlash, yarim o‘tkazgichli materiallarning xususiyatlariga bo‘liqlidir. Haqiqatdan, QE ideal effektivligi (harorat $T=300\text{ }^{\circ}\text{K}$ uchun) man qilingan soha kengligining o‘zgarishiga nisbatan olinganda Yer sharoiti uchun (AM I) maksimal F.I.K man qilingan soha kengligi $E_g \sim 1,4\text{ eV}$ ga teng bo‘lgan Yo‘ ga to‘g‘ri keladi. Bu tenglikni taqriban qanoatlantiradigan materiallar jumlasiga Si, InP, GaAs, CdTe, AlSb, hamda

A3V5 A2V6 yarim o'tkazgichlar asosidagi qattiq eritmalar kiradi. QE ishining samaradorligi valent sohasining yuqori sathlari vao'tkazuvchan sohaning quyi sathlari orasida bo'ladigan har xil jarayonlar bilan bog'likdir. Agar Yo` material bir jinsli bo'lsa, ya'ni bir nuqtasidan keyingisiga uning kimyoviy tarkibi o'zgarmas bo'lsa, u holda elektronlarning energiyasi valent sohasining yuqorisida va o'tkazuvchan sohaning pastida koordinatlardan mustaqil bo'ladi. "To'g'ri" o'tish sohasiga ega bo'lgan Yo`larda yutilish ko'rgatkichi katta qiymatlarga ega bo'ladi. Chunki tashqaridan energiya olgan elektronning olgan energiyasi $h\nu > E_g$ man qilingan sohadan o'tib o'tkazuvchanlik sohasiga kirib o'z harakat holatini davom ettirishiga yetadi.

"To'g'ri bo'lmagan" o'tish sohasiga ega bo'lgan Yo`larda esa yutilish ko'rsatkichi va uning energiyadan o'sish sur'ati kamroq bo'ladi. Chunki elektronning valent zonasidan otkazuvchanlik sohasiga kvant tasiri ostida otishi qiyinlashadi. Buning sababi elektron oz harakat yonalishini va holatini keskin o'zgartiradi. Va shu jarayon faqat ma'lum holatlarda bo'lishi mumkin, xususan foton o'z yo'lida Yo` material ichida shunday valent elektroni bilan uchrashishi tufayli, $h\nu$ energiyaning yutilish jarayonida kristall panjara atomlari issiqlikdan tebranishlari ta'siri natijasidahK impulsini oladi. QE laridan boshqa fotootgazgichlarda (fotoqabul qiluvchi tuzilmalarda, fotoqarshiliklarda) material tanlash asosan qoyilayotgan talablarga bog'lik, ya'ni umuman nurlanish spektrining qaysi qismida ishlatilishi bilan bog'lik bo'ladi.

Quyosh elementlarini saralash usullari

Quyosh elementlarini saralash uchun uning parametrlari o'lchash zarur parametrlarni o'lchashning ikki xil usuli mavjud.

1. Tabiiy quyosh nurlari ostida "etalon" QE lari vositasida o'lchash. O'lchash muddatida etalon va olchanayotgan QE bir tekislikda turishi kerak, ya'ni tushayotgan nurlarning energiyasi bir xil bo'lishi zarur.

2. Quyosh nurlari "imitatorlaridan" foydalanish. Ya'ni sun'iy quyosh sifatidagi qurilmalardan foydalanib QE parametrlari nio'lchash. Ishlab chiqarish sharoitida son- sanoqsiz QE lari bo'lgani uchun ikkinchi usupdan foydalanish

maqsadga muvofiqdir. Imitator bilan ishlaganda albatta vaqti-vaqti bilan etalon QE larini kalibrovka (qayta pasportda ko'rsatilgan parametrlarini nazorat qilib turish) qilib turish zarur.

Quyosh elementlarini saralash uchun quyida keltirilgan parametrlar o'lchanadi:

- qisqa tutashuv toki I_{qt} ,
- salt yurish kuchlanishi U_{xx} ,
- elektrik yuklanma mavjudligidagi optimal kuchlanish U_{opt} ,
- yuklanmadagi optimal tok I_{opt} .

Shu o'lchangan va aniqlangan quyosh elementlari asosida quyida keltirilgan parametrlar hisoblanadi:

- volt-amper xarakteristikaning to'ldirish koeffitsienti ξ ,
- foydali ish koeffitsienti η .

Bu koeffitsientlar quyidagi formulalardan hisoblanadi,

$$\xi = I_{opt}U_{opt}/I_{qt}U_{xx} \quad (1.16)$$

$$\eta = 100\xi I_{qt}U_{xx}/E_q S, \quad (1.17)$$

bu yerda E_q –QE yuzasigatushayotgan quyosh energiyasi miqdori. mVt/cm^2 yoki Vt/m^2 birliklarda o'lchanadi. Odatda, elementlarning keltirilgan parametrlari har xil bo'lgani uchun, o'lchashni osonlashtirish maqsadida U_{opt} avvaldan aniq tanlab olinadi. Odatda saralash $U_{opt} = 0,4 V$ olinadi va element shu kuchlanishga to'g'ri keladigan tok bo'yicha saralanadi.

I bob bo'yicha xulosa

1. p-n o'tishning potensial to'siqning balandligi materialning o'tkazgichlik tipi va erkin tok tashuvchilarning konsentratsiyalar bilan aniqlanadi (1.6 - formula).
2. Yutilish koeffitsientning spektral xarakteristikasi (1.6-rasm) shuni ko'rsatadiki, kremniy materialidan foydalanib Quyosh spektrining juda katta qismini elektr tokiga aylantirish mumkin ($\lambda \leq 1,1 \text{ mkm}$ bo'lgan nurlanishlarni). butun keltirilgan quyosh spektri yutilishi

uchun kremniyli QEning qalinligi 250 mkm dan kam bo'lmashligi kerak bu esa sezilarli sarfga olib keladi.

3. Spektrning uzun to'liqlik sohasida akslanish ko'effitsienti R , kirishmalar ortishi bilan keskin o'sishi kuzatiladi. Erkin zaryad tashuvchilarning yorug'likni yutishi λ ning o'sishi bilan o'sadi, k ning ortishi esa akslanish ko'effitsientning ortishiga olib keladi. Shunday qilib, legirlangan YO' ning akslanish ko'effitsientining spectral bog'liqligi minimumda o'tishi kerak (1.7-rasm).
4. Optik nurlanishni aylantirilishi jarayonida muhim rolni elektronlarning diffuziya yo'li uzunligi (L_n) va p-n o'tish chuqurligi (l) o'ynaydi, chunki hosil bo'layotgan va ajratilishi kerak bo'lgan juftliklar ularga bog'liqdir (1.10-rasm).
5. γ va Iqt 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 $L_p \gg l$ ga amal qilgan holda olish kerak.
6. QE ideal effektivligi (harorat $T=300$ °K uchun) man qilingan soha kengligining o'zgarishiga nisbatan olinganda Yer sharoiti uchun (AM I) maksimal F.I.K man qilingan soha kengligi $E_g \sim 1,4$ eV ga teng bo'lgan YO' ga to'g'ri keladi.

II BOB. Quyosh elementlari VAX ni aniqlash metodikasi.

2.1 Yupqa qatlamli kremniyli QE va ularni tayyorlashni avtomatizasiya qilish usullari

QE larini Yer sharoitida amaliy tatbiq qilish uchun maksimal F.I.K. olish bilan birga, ularni ishlab chiqarish rentabelligini oshirish va tannarxini kamaytirish lozim. Bu jarayon quyidagi faktorlarga bog`likdir[11].

1. Material sarf-xarajatlarini kamaytirish.
2. Quyosh elementlarini tayyorlash uchun nisbatan arzonroq materiallar ishlatish.
3. Quyosh elementlari tayyorlash jarayonini va ayrim texnologik operatsiyalarni mexanizasiyalash va avtomatlashtirish.
4. Tayyorlashga oid texnologii jarayonlarini nisbatan soddalashtirish va optimal texnologii marshrut ishlab chiqarishga intilish.

Quyosh elementlari tayyorlash texnologiyasining faol rivojlanishi, bir jinsli texnologik jarayonlarni qo`llash va elementlar narxini nisbatan kamaytirish uchun yupqarok va arzonroq qatlamlar olish, hamda element olish texnologiyasida iloji boricha ko`proq polimer materiallar va xom ash'yolar ishlatish tavsiya etiladi.

Keyingi paytlarda QE larining narxini nisbatan arzonlashtirish bevosita kremniyni olish jarayonini isloh qilish bilan bog`lanmokda. Misol uchun, toza Yo` xususiyatlariga ega bo`lgan kremniyni olish uchun oksidli kremniydan qayta tiklash usuli ishlab chiqildi. Kremniy lentalarini uzluksiz o`stirish usuli yaratildi. Natijada nisbatan qimmat va og`ir texnologik jarayonlarga ega bolgan kesish, shlifovna qilish, plastinalarni mexanik va kimyoviy usullar bilan sayqallashdan voz kechildi. Aislantirishni kamaytiruvchi yupqa qatlamlar olishning yangi, yuqori samarali, nisbatan arzon, nimyoviy purnash usuli yaratildi va hokazo.

Texnologik jarayonining nisbatan yengillashtirish nuqtai nazaridan quyosh elementlarini tayyorlashning yangi modellari yaratilmoqda. Bular jumlasiga MOY (metall-oqsid qatlami- Yo`) yoki YOY (metall-dieleitrik-Yo`) tuzilmalar

kiradi. Bunday tuzilmalarning tayyorlash jarayoni, boshqa Yo` qurilmalarda ishlatilayotganligi sababli (diod, tranzistorlar, mikroshemalar va hokazolar) ularning texnologii jarayonlari nisbatan rivojlanganligi hisobiga, avtomatlashtirish nisbatan osonroqdir. Bunday tuzilmalar asosidagi quyosh elementlari yuqorida ieltirilgan tradision tuzilmalardan xarakteristinalari bilan farq qiladi. Misol uchun, kremniy asosidagi an'anaviy n-p otishli elementlarga qaraganda bu tuzilmalar UB nurlanish oraliqida bir muncha yuqoriroq spektral sezgirlikka ega.

Kremniy asosidagi QE parametrlarini yaxshilash imkoniyati mavjud bunday parametrlar vazifalar qatoriga quyidagilar kiradi[5,11]:

1. Kremniyga nisbatan man qilingan sohasi keng bo`lgan Yo` materiallar ishlatish va ularning samaradorligi va xususiyatlarini kremniy asosidagi p-n otishli elementlar xususiyatlariga yaqinlashtirish.
2. Nisbatan qimmat bo`lgan metallar Ag, Cr, Au, Pd asosidagi – kontakt qatlamlari o`rniga arzon alyuminiy asosidagi kontakt texnologiyasini yaratish.
3. Shottki to`siq asosidagi quyosh elementlarida tosiqchegasida qalinligi 10-20 °A bolgan kremniy oksidi (SiOx) qatlamini otkazib teskari to`yinish toki Io ning kamayishi hisobiga salt yurish kuchlanishi Uxx qiymatini keskin oshirish va element olish jarayonini soddalashtirish.

2.2. Quyosh elementlarining defektiligini aniqlash uchun priborni buzmaganda diagnostika metodidan foydalanish.

Mikroplazmalarning bir jinsli lavinlik tasirin aniqlash uchun diodning o`rtacha temperaturasidan, temperaturaning yuqorilashi ham shunday bir jinsli emas oblast o`lchamlarini xarakterlovchi mikroplazma diametri **dm** o`xshash mikroplazma xarakteristikasini aniqlovchi sonli qiymatlarga ega bo`lishi kerek. Biz mikroplazmaning ikki parametrlarini qarashtiramiz:

- 1) mikroplazmaning proboyliqkuchlanishi (**Um**);

2) Uning qarshiligi (***Rs***).

Qo`shilgan holatda mikroplazmaning volt-amperlik xarakteristikasi chiziqli bo`ladi, yani mikroplazma orqali o`tuvchi tok quyidagicha aniqlanadi:

$$I = (U - U_m) / R_s = U / R \quad (2.1)$$

Bu tokning qiymati mikroplazmaliq xakteriograf yordamida o`lchash orqali aniqlanadi. Bul holatda mikroplazmaning proboylikuchlanishi ***Um*** ni o`lchanadi. ***Um*** kuchlanishning qiymatini ham ΔI qiymatini bilib qarshilikni aniqlash mumkin:

$$R_s = \Delta U / \Delta I \quad (2.2)$$

Bu ***Rs*** qiymati quyidagicha ko`rsatilishi mumkin :

$$R_s = R_o + R_c + R_t \quad (17)$$

bunda ***Ro***-yoqari omik baza tarafidagi kuchlanishing qarshiligi, ***Rc***-fazoviy zaryad oblasti qarshiligi, ***Rt***-mikroplazmaning qarshiligining termik tuzuvchisi.

Shottki diodlari uchun p-n o`tishi uchun ***Ro*** quyidagicha ko`rstilishi mumkin:

$$R_o = \sqrt{2} \rho / \pi d_M \quad (2.3)$$

Bunda ρ -bazaning solishtirmali qarshiligi.

Mikroplazma kanalining o`rtacha temperaturadan yuqoriroq temperaturasi ΔT ni aniqlash uchun mikroplazma qarshiligining termik tashkil etuvchisini bilish kerek. Bu holda quyidagicha topiladi:

$$\Delta T = R_t \Delta I / \beta U_M \quad (2.4)$$

O`z navbatida

$$R_t = (\beta U_M / 2\pi) (d_M) \left\{ (1 - L_M^2 / d_M^2) + (d_M / L_M) \ln(L_M / d_M) + (1 + L_M^2 / d_M^2) L_M / d_M \right\} \quad (2.5)$$

formula orqali aniqlanadi, bunda L_m -mikroplazma uzunligi, uni ω_y -ortish oblastining uzunligiga teng deb olishga bo`ladi,  $\beta$ -yarimo`tkazgichning issiqlik o`tkazuvchanlik koeffisienti. Shunday yaqinlashiving xatoligi 10-15% dan oshmaydi ekan.

Mikroplazma diametrini hisoblash uchun nazariy ham eksperimental natijalarni solishtirib **Rt** ning **dm** ga bog'liqligini bilish kerak. Bunda **Rt** (2.5)-formula yordamida aniqlanadi. Lavinlik tokning mikroplazma orqali o'tishi tez harakatlanuvchi zaryad tashuvchilarning bor bo'lganligi sababli ko'payish oblastidagi elektr maydanining local qiymati pasayishiga olib keladi.

Fazoviy zaryadning despressirolovchi harakati **Rs** qarshiligining tuzuvchisi turida ko'rinadi. **Rs** quyidagicha aniqlanadi:

$$R_c = \sum_{i=n,p} \eta (2 / \pi \varepsilon \nu_{si}) (\omega / d_M)^2 \quad (2.6)$$

bunda ν_{si} -tok tashuvchilarning toyinishining dreyflik tezligi; ω -fazoviy zaryad oblastining eni; ε -yarim o'tkazgichning dielektrik singdiruvchanligi, η -ko'payish oblastining eni bilan quyidagicha bog'langan:

$$\eta = (1 - d_M / \omega)^2 \quad (2.6)$$

Bul hisablashda mikroplazmaning bir o'lchamli modeli qaralgan, yani (formula faqat yasama mikroplazmalar uchun yoki $d \gg w$ (w -mikroplazma uzunligi) bo'lgan hol uchun o'rinli.

Real mikroplazmalarda, yani $dm < w$ sharti orinlanganda, mikroplazma kanalinda elektr maydanining uch o'lchamli bo'listirilivini hisobga olish kerak, **Rs** ni bu holatda quyidagichako'rsatishga boladi:

$$R_c = (1 / \pi d_M^2 \varepsilon \nu_s) \int_{w_y}^w dx \int_{w_y}^x [1 - x] \sqrt{d_M^2 - x^2} dx \quad (2.7)$$

Integrallagandan so'ng

$$R_c = R_{co} f(z, \gamma) \quad (2.8)$$

Bunda **Rso-dm >> W** bo'lganda fazoviy zaryad oblastining qarshiligi, $f(z, \gamma)$ funksiyasi mikroplazma diametri bilan uning uzunligi orasidagi munosabatga bog'liq **Rs** qiymatining **Rso** ga salishtirganda ozayishini aniqlaydi.

2.3 Volt-amperlik differensiallash metodini yarim o'tkazgichlarning fizik xarakteristikasini o'lchash uchun qo'llanilishi

Biz bunda elektrlik xarakteristikani differensiallash metodining yangi ilimiy informatsiya olishga imkoniyat beradiganligi haqida qisqacha to'xtab o'tamiz.

Yarim o'tkazgichlarning zonaliq strukturaning xarakteristikalari Om qonunining buzilishiga va volt-amperlik xarakteristikada chiziqli emasliklarning paydo bo'lishiga olib keladi. Shuchiziqli emasliklarni o'rganish yarim o'tkazgichning zonaliq strukturasi ham tok tashuvchilarning qizdirish protsessi haqida kerakli informatsiyalar olishga imkoniyat beradi. Biroq solishtirmali yuqori maydonlarda volt-amperlik xarakteristikaning ko'rsatilgan chiziqli emas oblastlari ayirilib turadi.

Shunga o'xshash izlanishlarda asosan har xil modulyasiyalik metodlar qo'llaniladi. Bul metodlarning barcha volt-amperlik xarakteristikani differensiallashga olib keladi .

Ilimiy izlanish yurgizganda o'lchanadigan xarakteristikalar murakkab chiziqli emas boladi, yana bunda bir vaqitning o'zida bir necha mexanizmlar birgalikda qatnashadi. Shuning uchun natijaolishning bir etapi-bu qandayda bo'lmasin bir mexanizmning qatnashishi bo'libo'tgan uchastka xarakteristikasini olish hisoblanadi. Bunday analiz juda ko'p mehnat talabetadi. Odatda u har xil chiziqli emas masshtablarda grafiklar tuzishga olib keladi (yarim logarifmlik, ikkilik logarifmlik ham boshqalar).

Yarim o'tkazgichlarni o'rganganda qisqa-qisqa eksponensial uchastkalarining parametrlarini o'lchashgato'g'ra keledi. Buni $(I'/I)(U)$; $(I''/I)(U)$ ham $I(U)$ xarakteristikalarining modulyatsiyalik differensiallash metodi yordamida oson amalga oshirishga bo'ladi (Bul xarakteristikalar o'z navbatida eksponenta ko'rsatkichiga proporsional bo'ladi). Bu izlanishlar modulyasiyalik metodlar yordamida amalga oshiriladi. Bular eksperimentning natijalarining analizini ancha soddalashtiradi va ancha aniqiroq qiladi.

Tunelli spektraskopiya va elektro qaytish o'xshagan yarim o'tkazgich fizikasining har xil eksperimental bo'limlarining bir-biri bilan bog'lanishi

shunda, ulardagi o'rganilayotgan xarakteristikalar chiziqli emas, yana umumiy chiziqli emasliklardan tashqari katta emes lokalli egilishlarga ham xarakteristikalarida uzilishlarga ega. Bu lokalning chiziqli emasliklar fizik tabiyatga ega. Tunellik spektroskopiyada ular taqiqlangan zonada ruxsat etilgan sathlarning bor bo'lishi bilan ham shu sathlarning qatnashishida qo'shimcha tok tashuvchi kanallarning payda bo'lishi bilan bog'langan.

Oje ham rentgen spektraskopiyada bu chiziqli emasliklar harakatga keltiruvchi elektronlarning energiyasi sarfining bo'lishi bilan bog'liq ham emittirlangan ham qaytganelektronlarning energetik taqsimlanishida ko'rinadi.

Barcha ko'rsatilgan holatlarda xarakteristikalarda bir jinsli emasliklarning bor bo'lishi modulyasiyalik metodlar yordamida aniqlanadi. Bu o'lchanayotgan xarakteristikalarining yuqori tartibli xosilalarini aniqlashga olip keladi.

Shunday qilib, modulyatsiyalik differensiallash metodlari taqiqlangan zonadagi sathlarni o'rganishga imkon beradi. Shuningdek xarakterli chiqinlarni ham ular bo'yicha sirtqi qatlamdagi qo'shimchalarning bor ekanligini ham yarimo'tkazgishlarning zonaliq strukturalarining afzalliklarini aniqlashga mumkinchilik beradi. So'ngi yillardagi izlanishlarning ko'rsatishicha katta geometrik o'lchamlardagi Shottki tosig'inining volt-amperlik xarakteristikasining teskari shoxasini asosan mikroplazmalar dep ataluvchi kichik probay oblastlari aniqlaydi. Olar kristall reshetkadagi deffektler bilan bog'liq boladi.

Mikroplazmalar odatda Shottki tosqininig katta toklarning o'tib ketishiga sababchi boladi, umuman Shottki tosig'inig probay kuchlanishidan anchakichik kuchlanishlarda ayrim-ayrim mikroplazmalar payda bolishi mumkin. Shottki tosig'inig probay kuchlanishiga yaqinlagan sayin yuqorida aytip otilgan mikroplazmalar arqali belgili bir qiymatdagi tok otadi. Bu tok Shottki tosiqida qo'shimchalarning diffuziyasi bolip o'tadigan ham mos asbobni elektrlik xarakteristikalarining o'zgarishiga olip keladigan temperaturagacha lokalliq qizishini payda etadi. Shottki tosiqiningsifatini xarakterlash uchin birinchi mikroplazmani paydo etuvchi kuchlanish qiymatini, shuningdek

mikroplazmaning boshqada parametrlarini aniqlash kerek. So`ngi vaqtlari mikroplazmaliq jarayinlarni alohida maqsadda qo`llanishlarni boshlashmoqda: nonosekundli impulsli yorug`likmanbaisifatida, gamma nurlarning detektorio`rnidava b. Shulargabog`liq mikroplazma sifatini, parametrlarini aniqlashalohidaqiziqivshilik tug`dirmoqda.

Aytip o`tilgen masalalarni bajarishuchun mikroplazmaliq xarakterioqraf dep ataluvchi mikroplazmaliq xususiyatlerdi aniqlaydigan maxsus qurilma yaratildi.

Mikroplazmaliq xarakterioqraf asosiga toklarning pulsatsiyalanishini ham sekirishlarinipaydoetadigan mikroplazma xususiyatleri qoyilgan, shuning natijesinde volt-amperlik xarakteristikaning tikligi o`lchanadi. Volt-amperlik xarakteristikadag`i korpusqa o`rnatilgan yarim o`tkizgichlarda, yani tayyor yarimotkizgishli asbaplarda kuzatish mumkin.

Doimiykuchlanishge kishi amplitudaga yarg`i tish tarizli kuchlanishni qo`shib elektron ossilloqraf ekranida Shottki tosiqining oblastinikuzatish mumkin. Bu shi oblastti kattalashtirilganmasshtabta ko`rishge imkoniyat beradi ham shuing bilan birgelikte mikroplazmaning "sekirish" ham uzilishlarini xarakterlaydigan volt-amperlik xarakteristikasining mikrostrukturalarini aniqlashga imkoniyat beradi. Doimiykuchlanishqiymatini o`zgartirib ossilloqraf ekraninda Shottki tosiqining volt-amperlik xarakteristikasining teskari shoxasinikattalashtirilgan masshtabta bolak-bolak korishga bo`ladi. Mikroplazma payda bolivi bilan kelip chiqadigan tokning sekirishlari 10-100 mkA qiymatinda boladi, mikroplazma arqali kiritilgen qo`shimsha qarshilikni xarakterlaydigan volt-amperlik xarakteristikaning o`sishi 10 kOm qiymatida boladi.

Qurilmaning soddalashtirilishiga olip keladigan asosiy faktorlar quyidagilardan iborat:

1. Mikroplazmaning volt-amperlik xarakteristikasi ossilloqraf ekraninda graduirlangan koordinataliqo`qlarida chiziladi, bu volt-amperlik xarakteristikaning berilgan uchastkasining qiymatinikuzatishgaimkoniyat beradi.

2. Boshlang'ich utechka tokining volt-amperlik xarakteristikaga ta'sir etishini kompensasiyalavmumkinshiligin beradi, shuningdekoldin, pastkuchlanishlarda payda bolgan mikroplazma arqali otivshi tokni kompensatsiyalashga imkoniyatberadi. Bular Shottki tosqinining basqa mikroplazmalarining tasirin hisobga olmaganda hohlagan (faqat birinchi emas) mikroplazmaning volt-amperlik xarakteristikasini korishgaimkoniyat beradi.

3. Mikroplazmani volt-amperlik xarakteristikasining parametrlarin (mikroplazmani probokuchlanishining qiymatin, mikroplazmaning tokini sekirishqiymatin, mikroplazma qarshiligini) izlanishning qulay yo'llari ko'rilgan. Shuningdek parametrlarni aniqlashni bir boqlagi doimiy tokda olib boriladi, bu oqlchashlarning aniqligini orttiradi.

Mikroplazmaliq xakteriograf mikroplazmalarning yakka xarakteristikalarin (differensial qarshiligini- R_s , ish ishlash rejimindegi mikroplazma arqali o'tadigan tokni - ΔI) aniqlashga imkoniyatberadi. i-shi mikroplazmani differensial qarshiligi volt-amperlik xarakteristikani chiziqli uchastkasini egilishi bo'yicha aniqlanadi. Agarda R_{s1} , R_{s2} , R_{si} volt-amperlik xarakteristikani ketma-ket uchastkalarining qarshiliqlari bo'lsa, unda mosmikroplazmalardi qarsiliqlari quyidagicha boladi:

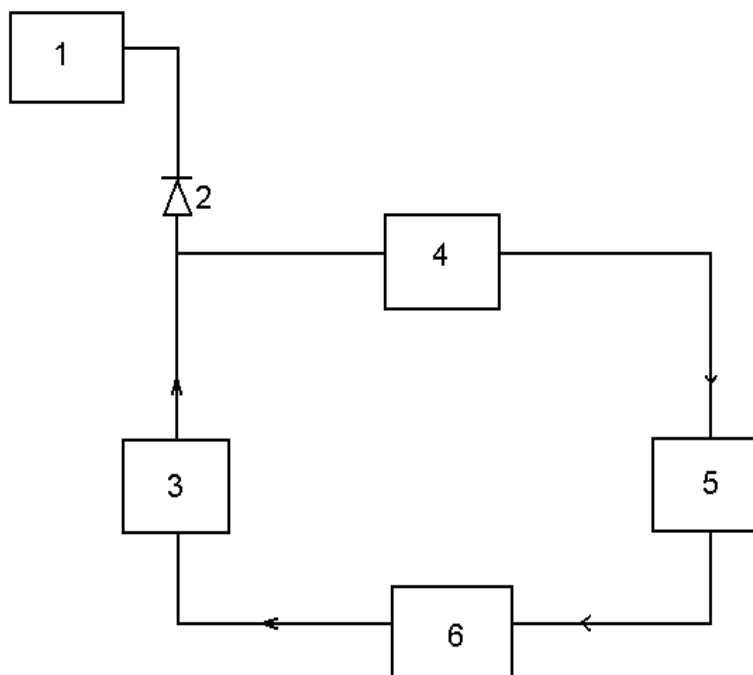
$$R_{MII} = R_{si} / (R_{si} - R_{si}) \quad (2.9)$$

Ish ishlash rejimida mikroplazma orqali o'tuvchi tokni volt-amperlik xarakteristikaning mos uchastkasin ish ishlashkuchlanishiga (U_j)cha ekstrapolyatsiyalashyo'li bilan aniqlashga bo'ladi:

$$I_{MII} = (U_{\mathcal{K}} - U_{MII}) / R_{MII} \quad (2.10)$$

Xakteriografiting blok-sxemasi 2.1-rasmda ko'rsatilgan. Uquyidagicha ishlaydi: doimiykuchlanishmanbai 1-dan 2-gakuchlanish beriledi. Shuningdek diodga yarg'i tish tarizli tok generatori 3-dan chastotasi **fqayt** bo'lgan yarg'i tish tarizli tok impulsleri beriladi, u ossillografting chiqish to'chkasi bilan sinxronlangan boladi. Dioddagi kuchlanishchiqish qarsiliqi yuqari bolgan va az sig'imga ega bo'lgan keng polosali kuchaytkich 4 yadamida kuchaytiladi.

Shuni bu signal $f_{qayt} > 20$ chastotada amplitudali chastotali xarakteristikasin kuchaytadigan kuchaytkich 5-ga boradi.



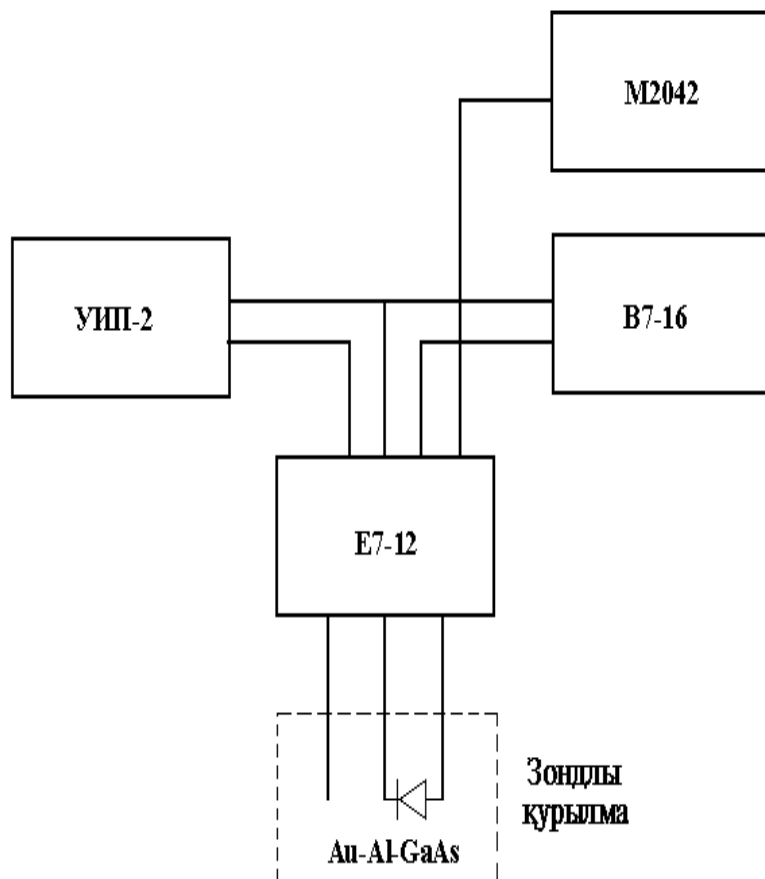
2.1-rasim. Mikroplazmalik xakteriografning blok - sxemasi.

1 – doimiy kuchlanish manbai; 2 - diod; 3 – yargʻi tish tarizli tok generatori; 4 - kuchaytkich; 5 - amplitudali - chastotali xarakteristikani kuchaytkich; 6 - ossillograf

Shuvaqitta ossillograf 6 ekranda Rsi volt-amperlik xarakteristikaning uchastkalari tasvirlanadi: vaqit (absissa) orqali oʻtadigan tokga mos keladi, al koordinata namunadagikuchlanishgamos keladi. Amplitudali chastotali xarakteristikaning $f_{qayd} > 20$ chastotadakoʻtarilishi volt-amperlik xarakteristikaga taʼsir etmaydi, biroq yuqori chastotali kuchlanishtuzuvchilari bor yerlarda, yani mikroplazmalarning qoʻshilish orinlarida volt-amperlik xarakteristikada yoyilishlarning paydo boʻlishiga olib keladi

Yuqorida aytib oʻtilgan xakteroigraf faqatgina mikroplazma xarakteristikalarin oʻlchap qoʻymasdan mikroplazmalarding bor ekenligini va diodlarning volt-amperlik xarakteristikasinioperativ tekshirib boradi, mikroplazmalarning xarakteristikalari orasidagi korrelyatsiyani hisobga olib,

namunalarning sifati, ishonchliliginiva proboy uchastkasida ishlovchi, masalan, lavinli-proletli diodlarning uzoq ishlashini oldinda aytib bera oladi.



2.2-rasm.Volt-faradalik xarakteristikani o`lchovchi kompleks sxemasi.

Yuqorida aytip o`tilgan xarakteroigraf faqatgina mikroplazma xarakteristikalarin o`lchap qo`ymasdan mikroplazmalarning bor ekenliginiva diodlarning volt-amperlik xarakteristikasinioperativ tekshirib boradi, mikroplazmalarning xarakteristikalari orasidagi korrelyatsiyani hisobga olib, namunalarning sifati, ishonchliliginiva proboy uchastkasida ishlovchi, masalan, lavinli-proletli diodlarning uzoq ishlashini oldinda aytib bera oladi.

Strukturaning xarakteristikalarini aniqlashuchunyana bir pribor volt-faradlikxarakteristikani o`lchovchi asbobdan foydalaniladi. Volt-faradlik xarakteristikalarini aniqlashuchun 2.2-rasmda ko`rsatilgan **blok sxemadan** asosan universal tok manbai UIP-2 dan, undan chiqayotgan kuchlanishni o`lchovchi pribor V7-16 dan,tok kuchini o`lchovchi pribor M2O42

mikroampervoltmetridan, strukturaning sig`imini o`lchovchi pribor Ye7-12 dan ham o`rganilayotgan struktura joylashtiriladigan zondli qurilmadan iborat. Dastlabo`rganilayotgan struktura zondliqurilmaga o`rnatiladi va universal tok manbaidan strukturaga kuchlanish beriladi ham zanjirdagi tok kuchi **mikroampervoltmetr** orqali o`lchanadi. Berilayotgan kuchlanishgabog`liq strukturaning sig`imining o`zgarishi Ye17-12 orqali aniqlanadi.

Shu priborlarning ko`rsatishlari bo`yicha tok kuchining kuchlanishga bog`liqligini, sig`ining kvadratining teskari qiymatining kuchlanishgabog`liqligini, sig`imning teskari qiymatining tok kuchiga bog`liqligini grafiklar orqali ko`rsatiladi.

2.4. Quyosh elementlari volt-amper xarakteristikasini R_{kk} va R_{sh} ga bog`liq eksperimental aniqlash

Quyosh elementlarining asosiy xarakteristikasi hisoblangan, volt-amper xarakteristika (VAX) va spektral sezgirlik Yo` materiallarning optik va elektrofizik xususiyatlariga bog`likdir.

QE VAX p-n o`tishli Yo` diodning VAX idan yansh **If** hadning paydo bo`lishi bilan farq qiladi. **If** - optik nurlanish ta'sirida quyosh elementida generasiya bo`lgan tokdir. Agar **Id** – diod orqali oqayotgan tok va **I** - tashqi yuklanma orqali oqayotgan tok bo`lsa, u holda,

$$I_f = I_d + I \quad (2.11) \text{ bu yerda, } I_d = I_0(\exp(qU/kT) - 1) \quad (2.12)$$

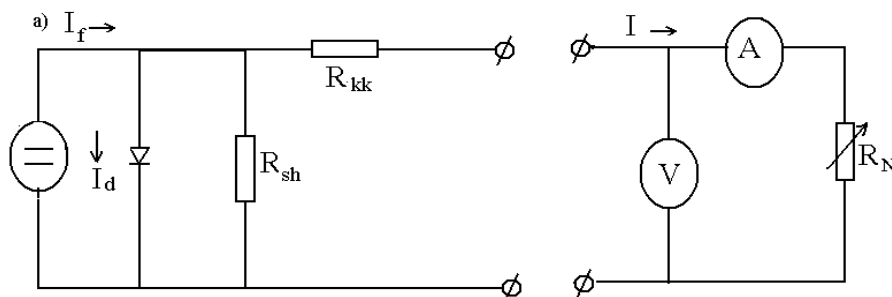
Bu yerda, **I₀** - p-n o`tishning teskari yo`nalishdagi to`yinish toki, **q** - elektron zaryadi. **T** –absolyut temperatura, **k** - Boltsman doimiysi, **U** - kuchlanish.

Qarshiligi cheksiz bo`lgan ochiq zanjir holi uchun, ya'ni $I=0$ da, yuqoridagi tenglamadan

$$U_{xx} = \ln(I_f/I_0+1)kT/q \quad (2.13)$$

kelib chiqadi.

Amalda quyosh elementlarida ketma-ketlik qarshiligini tashkil qiluvchilar bu kontaktlarni tashkil qiluvchi qatlamlar qarshiligi, alohida n- va p-sohalar qarshiligi, metal yarim o'tkazgich orasidagi o'tish sohalar qarshiligi, shunt qarshiligi va hokazolardir[4,5,11].



2.3-rasim. Quyosh elementining ekvivalent (a) va o'lchash (b) sxemalari

Bu qarshiliklarni va n-p o'tishdagi rekombinatsion getero o'tishlarni hisobga olib VAX ni murakkabroq ko'rinishda ifoda etash mumkin, ya'ni

$$\ln\left(\frac{I + I_f}{I_0} - \frac{U - IR_{kk}}{I_0 R_{sh}} + 1\right) = \frac{q}{AKT}(U - IR_{kk}) \quad (2.14)$$

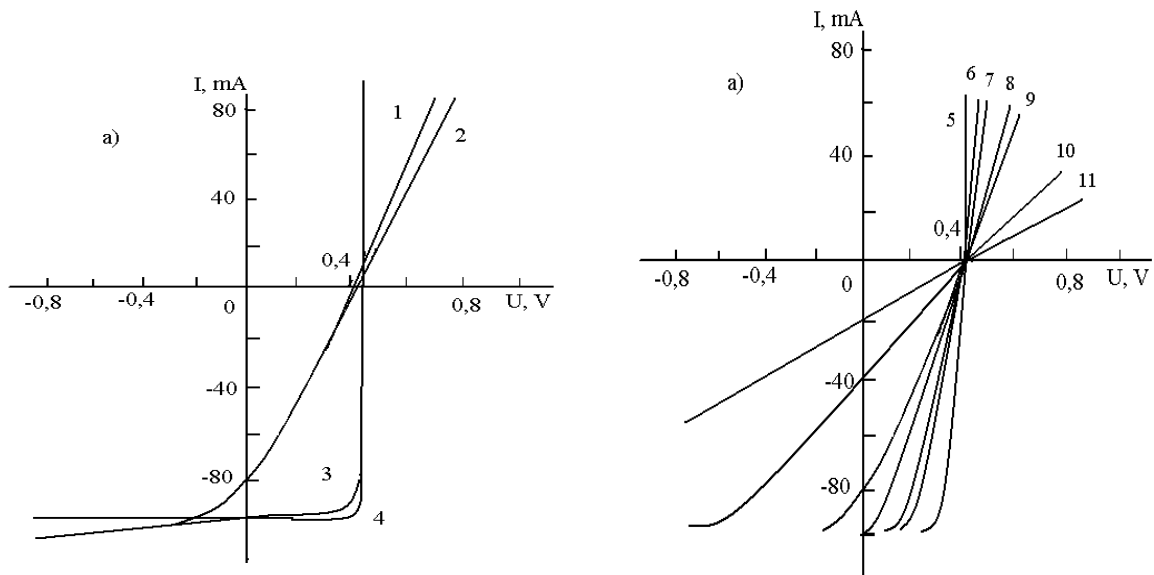
Kiritilgan koeffisient A, amaldagi asbobning ideal asbobga nisbatan yaqinlik darajasini ko'rsatadi. Bu tenglamani amaliyotga yaqin qilib quyidagicha yozish mumkin.

$$I = I_f - I_0 \left(\exp \frac{q(U + IR_{kk})}{AKT} - 1 \right) - \frac{U + IR_{kk}}{R_{sh}} \quad (2.15)$$

Bu tenglama asosida olingan ayrim hisob - kitob natijalari 2.4-rasmda berilgan. Quyosh elementining birlik yuzasidan olinayotgan quvvat P ni quyidagi tenglamadan baholash mumkin.

$$P = (I_{kk} U_{sh})_{\max} = \xi I_{qt} U_{xx},$$

bu yerda, ξ - volt-amper xarakterisgikaning to'ldirish koeffisienti, ya'ni VAX shaklining tg'ri to'rtburchakka qay darajada yaqinligini ko'rsatadi: $\xi \approx 0,8-0,9$ bo'lganda yuqori chiqish quvvatiga ega bo'ladi. To'ldirish koeffitsienti hozirgi zamon kremniy asosidagi QE larida 0,8 va undan kattadir. Ketma-ketlik va shunt qarshiligi ta'sirini 2.4- rasmdan VAX ga ta'sirini ko'rib o'taylik.



2.4-rasm. QE VAXning ko`rinishlari: har-xil R_{kk} va R_{sh} (a) va R_{kk} ning $R_{sh} = \infty$ dagi qiymatlari (b) ($I_f = 0,1A$; $I_0 = 10^{-9} A$; $q/kT = 40V^{-1}$). Bunda 1- $R_{kk} = 50\Omega$, $R_{sh} = 100\Omega$; 2- $R_{kk} = 50\Omega$, $R_{sh} = \infty$; 3- $R_{kk} = 0\Omega$, $R_{sh} = 100$; 4- $R_{kk} = 0\Omega$, $R_{sh} = \infty$; 5- 11 – $R_{kk} = 0$; 1; 2; 3,5; 5; 10; va 20Ω .

Rasmdan ko`rinadiki shunt qarshiligini cheksizlikdan 100  $\Omega$  gama kamayishi VAX shakliga va QE ning chiqish quvvati  $P$  ga deyarli ta'siri etmaydi. Holbuki, ketma-ket qarshilikning 1  $\Omega$  dan 5  $\Omega$  gacha o`zgarishi, VAX shaklini keskin yomonlashishiga va chiqish quvvati P nisbatan kamayishiga olib keladi.

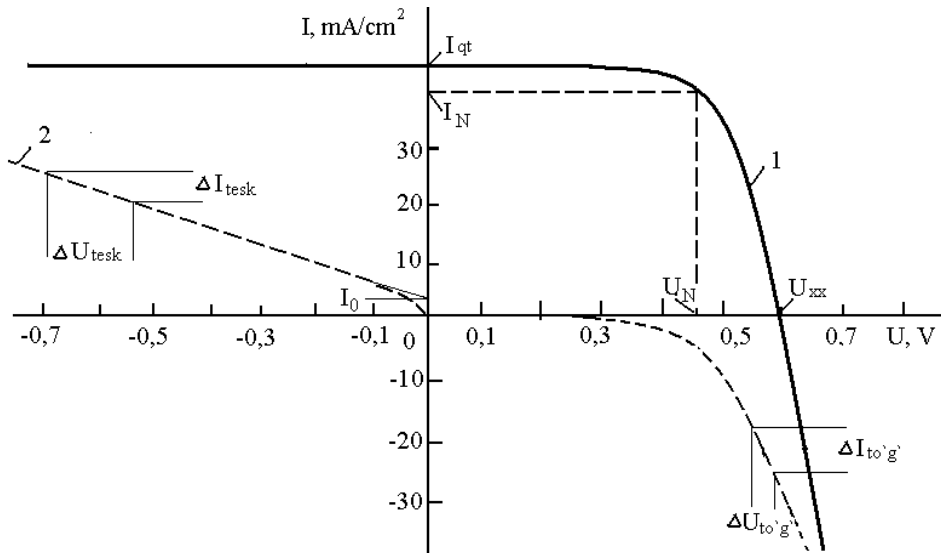
QE VAX ning yorug`lik va qorong`ilikdagi xususiyatlarini aniqroq tahlil qilish mumkin. Odatda kuchlanish darajasiga qarab p-n o`tishdan o`tayotgan teskari to`yinish tokining o`tish mexanizmi o`zgaradi. Bu tok odatda ikkita tokning yig`indisidan iborat, yani

$$I = I_{01} \left[\exp\left(\frac{q}{AKT} U\right) - 1 \right] + I_{02} \left[\exp\left(\frac{q}{AKT} U\right) - 1 \right] - I_f \quad (2.16)$$

Bu yerda, I_{01} –yubqa p-n o`tish orqali diffuzion mexanizm vositasida oqayotgan teskari to`yinish toki, I_{02} - esa, $A = 2$ ga teng bo`lganda hol uchun p-n o`tish sohasida rekombinasiya hodisasi uchun teskari to`yinish toki.

Quyosh elementlarining qorong`ilik va yorug`likda o`lchangan VAX asosida ularning ayrim parametrlarini aniqlash mumkin. Bular jumlasiga I_0 , R_{kk} ,

R_{sh} , A parametrlar kiradi. Quyidagi keltirilgan 2.5- rasmda AM 0 sharoitida va qorong`ilikda olingan QE ning tipik VAX lari keltirilgan. Birinchi kvadrantdagi yorug`lik sharoitida olingan VAX va uning to`rtinchi kvadrantdagi davomi to`g`ri chiziqlidir.



2.5-rasm. Atmosferadan tashqari holdagi quyosh nurlanishi uchun o`lchangan hozirgi zamon kremniy asosidagi QE ning tipik volt-ampere xarakteristikasi. 1- yorug`lik ta'siridagi; 2 – qorong`ulikdagi holatlar.

Bu to`g`ri chiziqning toklar o`qiga qiyaligi QE ning ketma-ketlik qarshiligini belgilaydi:

$$R_{kk} = \Delta U_{to`g`} / \Delta I_{to`g`} \quad (2.17)$$

bu yerda, $\Delta U_{to`g`} / \Delta I_{to`g'}$  qiymatining  $U_{xx}$  ga yaqin sohasidagi o`zgarishi olinadi. Keltirilgan xarakteristikaning birinchi kvadrantdagi qismi va uning ikkinchi kvadrantdagi davomi to`g`ri chiziqlidir. Uning kuchlanishlar o`qiga og`masi QE dagi shunt qarshiligi R_{sh} ni qiymatini belgilaydi, ya'ni

$$R_{sh} = \Delta U'_{to`g`} / \Delta I'_{to`g`} \quad (2.18)$$

bu yerda $\Delta U'_{to`g`} / \Delta I'_{to`g'}$  lar qiymatlari qisqa tutashuv toki  $I_{qt}$  ga yaqin sohadagi o`zgarishi olinadi. Yorug`likda olingan VAX ning qisqa tutashuv toki  $I_{qt}$  atrofida to`g`ri chiziq qiyaligini o`zgartirilishi qiyin bo`lganligi uchun, shunt qarshiligi  $R_{sh}$  qorong`ilikda olingan VAX ning qiyaligidan aniqlanadi (ikkinchi kvadrant shtrix chiziq), ya'ni

$$R_{sh} = \Delta U_{tesk} / \Delta I_{tesk} \quad (2.19)$$

Qorong'ulikda olingan xarakteristika yordamida teskari to'yinish toki I_0 ni aniqlash mumkin. Quyosh elementlari p-n o'tishi ish rejimida to'g'ri yo'nalishda ulangan bo'ladi, ya'ni optik nurlanishi ta'siri natijasida muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilarning p-n o'tishga ikkala tomondan hosil bo'lishi, bu p-n o'tishning to'g'ri yo'nalishda ulanganligini ko'rsatadi. Shuning uchun, teskari to'yinish toki I_0 va ideallanish koefitsienti A ning to'g'ri yo'nalishdagi qorong'ilikda yoki yorug'likda o'lgan VAX dan topish maqsadga muvofiqdir. Qorong'ilikda olingan VAX ga taaluqli diod tenglamasini boshqacha ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin.

$$\ln(I_d + I_0) = \ln I_0 + qU/AkT \quad (2.20)$$

bu tenglama hisob-kitob uchun tokning qiymati katta bo'lgan $I_d \gg I_0$ sharoitda ishlatilishi va teskari to'yinish toki rekombinatsion mexanizm asosida p-n o'tish orqali o'tadigan holi uchun ishlatilishi mumkin. QE ning to'g'ri yo'nalishda o'lgan VAX (katta tok va kuchlanishlar uchun) asosida $\ln I_0 = f(U)$ funksiyasini chizish mumkin. Bu tenglama qiyaligining tangensi q/AkT ga teng bo'ladi. Uning ordinata oqida kesgan kesmasi $\ln I_0$ ning qiymatini beradi.

QE real ishlashiga yaqin sharoitda I_0 va A ning qiymatini aniqlashning yana bir usuli mavjud. Buning uchun yorug'lik oqimi zichligining hech bo'lmaganda ikki xil qiymatida imitator yordamida QE ning VAX o'lganadi. Ketma-ketlik qarshiligi R_{kk} uchun kuchlanishlar pasayishi va n-p o'tish sohasida rekombinasiya bo'lishi jarayoni uchun quyidagi tenglamani keltiramiz, ya'ni

$$I = I_0 [\exp\{q(U - IR_{kk})/AkT\} - 1] - I_f \quad (2.21)$$

Salt yurish rejimida $I = 0$, $U = U_{xx}$ bo'lgani uchun. $R_{kk} = 0$ va u holda $I_f = I_{qt}$ deb olish mumkin. U holda

$$\ln(I_{qt} + I_0) = \ln I_0 + qU_{xx}/AkT \quad (2.22)$$

Bu tenglamani qo'llash uchun etalonli QE yordamida har bir yangi optik nurlanish oqimi zichligiga to'g'ri keladigan $I_{qt} = f(E)$ tenglamaning chiziqli qiymatlari topiladi va undan I_{qt} va U_{xx} aniqlanadi. Tangens burchagidan

q/AkT ning qiymati topiladi va uning ordinata o`qi bilan kesishadigan kesmasidan $\ln I_0$ ning qiymati aniqlanadi[11].

Shunday qilib, ish rejimidagi QE lari uchun yorug` VAX dan A va I_0 parametrlarining mos qiymatlarini aniqlash mumkin.

QE effektiv ishlashi uchun quyidagi talablar qo`yiladi:

- nurlanishning to`liq yutilishi uchun optik yutilish koeffitsienti yuqori qilib olinishi kerak. Sirtqi qatlam hisobiga akslanishni kamaytirish kerak.
- yoritish vaqtidagi generatsiyalangan electron va kovaklar kontakt elektrodlarda ikkala tomobdan ham effektiv yig`ilishi kerak. p-n o`tish sezilarli barier balandlikka ega bo`lishi kerak
- ish jarayonidaquvvat yo`qolishini kamaytirish uchun ketma-ket ulangan QE umumiy qarshiligini past bo`lishini taminlash zarur.
- aktiv sohaning mahkamlash shuntlash effektini yo`qotish uchun, QE tarkibiga kiruvchi qubqa plenkalilar katta yuzalarda qalinligi bo`yisha bir jinsli bo`lishi kerak.

II bob bo`yicha xulosa:

1. Quyosh elementlari tayyorlash texnologiyasining faol rivojlanishi, bir jinsli texnologik jarayonlarni qo`llash va elementlar narxini nisbatan kamaytirish uchun yupqarok va arzonroq qatlamlar olish, hamda element olish texnologiyasida iloji boricha ko`proq polimer materiallar va xom ash'yolar ishlatish tavsiya etiladi.
2. Rasmdan [2.4] dan ko`rinadiki shunt qarshiligini cheksizlikdan 100 Om gama kamayishi VAX shakliga va QE ning chiqish quvvati  $P$  ga deyarli ta'siri etmaydi. Holbuki, ketma-ket qarshilikning 1 Om dan 5 Om gacha o`zgarishi, VAX shaklini keskin yomonlashishiga va chiqish quvvati P nisbatan kamayishiga olib keladi.
3. Quyosh elementlarining qorong`ilik va yorug`likda o`lchangan VAX asosida ularning ayrim parametrlarini aniqlash mumkin. Bular jumlasiga I_0 , R_{kk} , R_{sh} , A parametrlar kiradi (2.5-rasm).

III BOB. Si asosidagi quyosh elementi elektrofizik xususiyatlariga ta'sir etuvchi faktorlarni o'rganish.

3.1 Kremniyli QE asosiy parametrlarini aniqlash.

Quyosh elementining strukturasi yarimo'tkazgichli p-n o'tish asosida yuqori darajada takomillashgan. To'g'ri oqishdagi p-n o'tishning qorong'u toki uch asosiy (perenos) tashish mexanizmlar orqali aniqlanadi:

- 1) Asosiy zaryad tashuvchilarning p-n o'tish orqali diffuziyasi natijasidagi injeksiya (diffuziya) toki;
- 2) Fazoviy zaryadoblastida chuqur sathlarda electron va kovaklar rekambinatsiyasi hosil qiladiga rekambinatsiya toki;
- 3) fazoviy zaryad oblastida chuqurlikdagi tunellanish.

p-n o'tishli quyosh batareyalaridagi qorong'u tok I_D qiymati diffuziya (I_d), rekombinatsiya (I_r) va tunellik I_t toklar summasidan iborat.

$$J_D = J_d + J_r + J_t \quad (3.1)$$

p-n orqali o'tadigan to'liq diffuziya toki J_n va J_p yig'indisidan iborat. P-n o'tishdagi potensilalar farqi $V = \varphi_n + \varphi_p$ bilan ifodalanadi va

$$J_d = J_p + J_n = J_{01} \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

Bunda to'yinish toki

$$J_{01} \propto T^3 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right). \quad (3.3)$$

Shokli-Rid-Xoll statistikasidan foydalanib rekombinatsiya toki uchun quyidagini yozishimiz,

$$J_r = J_{02} \left[\exp(eV/kT) - 1 \right], \quad (3.4) \quad J_{02} \propto T^{3/2} \exp(E_g/2kT). \quad (3.5)$$

$I_d - n_i^2 e^{eU/kT}, I_r - n_i e^{eU/kT}$ bo'lganlik diffuzion tok rekombinatsion tokga qaraganda temperturaga ko'proq bog'liq. P-n tiqidagi kremniyli QB uchun injeksiya toki $10^{-8} - 10^{-12} A/cm^2$ diapazonda joylashadi. Rekombinatsion tok

qiymati fazoviy zaryad hajmi oblastida rekombinatsiya markazi zichligiga bog`liq. Qorong`u tokda rekombinatsiya tokning bo`lishi kichik va o`rta to`g`ri o`zgarishda (смещение) bilinadi, yuqori to`g`ri o`zgarishda kamayadi. Yuqori sifatli yarimo`tkazgichlardan tayyorlangan QB uchun  $I_r$  va  $I_d$  ni hisobga olmaslik mumkin. Quyosh energiyasini elektr energiyaga turlantirish jarayoni 4 bosqishni bosib o`tishi kerak: 1) yorug`likning yutilishi; 2) electron-kovak juftliklar generatsiyasi; 3) p-n-o`tishda zaryad tashuvchilarning bo`linishi; 4) elektrodlarda zaryad tashuvchilarni yig`ish.

QE spectral sezgirligi optik nurlanish tolqin uzunligi diapazonini aniqlaydi, bunda berilgan fotoelementdan amaliyotda foydalanishimiz mumkin. Qisqa tutashish toki (I_{qt}) – qisqa tutashish vaqtida QE ning chiqishi orqali o`tdigan maksimal tok kuchiga aytiladi ( $R=0$ ), mA milliamperda o`lchanadi.

$$I = I_s (\exp(eU / kT) - 1) - I_f \quad (3.6)$$

Bunda fototok quyidagicha aniqlanadi

$$I_f = j_f S = e\gamma\beta SI_i / h\nu \quad (3.7)$$

Bunda, j – fototok zichligi, S - p-n o`tish yuzasi,  $\gamma$  – p-n o`tishda rekombinotsiyalanmaydigan zaryad tashuvchilar ulushi, β – kvant chiqish, I_i – nurlanish intensivligi.

I_{qt} ning QE sirt yuzasiga nisbati bilan zichligi aniqlaniladi.

$$J = \frac{I_{qt}}{S_{akt}} \quad (3.8)$$

Biroq S_{akt} aniqlanishi qiyinligiga ko`ra umumiy yuzadan foydalaniladi qalin S_{um} dan foydalaniladi.

Agar $U=0$ bo`lsa, $I_{qt} = - I_f$.

Shunday qilib I_{qt} QE fotogeneratsiya tokiga teng.

Salt yurish kuchlanishi (U_{xx}) – yorug`lik bilan nurlantirganda QE klemmlarida hosil bo`ladigan maksimal kuchlanishga aytiladi ($R=\infty$), V va mV bilan o`lchanadi. Agar  $I=0$  bo`lsa,

$$U_{xx} = \frac{kT}{e} \ln \left[\left(\frac{I_f}{I_s} + 1 \right) \right] \quad (3.9)$$

Buda kelib chiqadi, U_{xx} ortishi I_f/I_s nisbatinish oshishiga bog'liq (I_s – to'yinish toki). Bunga podlojkani legirlanish darajasini oshirib yoki asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqtini oshirib olingan natijada to'yinish tokini kamaytirib erishish mumkin. Bunung natijasida QE barcha asosiy parametrlari I_{qt} , U_{xx} , forma faktori, FIK yaxshilashadi. P-n o'tishli kremniyli quyosh batareyasi uchun U_{xx} – 0,5 dan 0,7 V gacha diapazonda bo'ladi va QE konstruksiyasi, legirlanish darajasiga bog'liq[6].

Agar (3.4) ga (3.2) ni qo'ysak,

$$U_{xx} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{e\beta\gamma SI_i}{h\nu I_s} \right) \quad (3.10)$$

Yoritishning yuqori darajasida, $I_f/I_s \gg 1$,

$$U_{xx} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{e\beta\gamma SI_i}{h\nu I_s} \right) \quad (3.11)$$

Yoritishning qast darajasida, $I_f/I_s \ll 1$, Teylor qatoridan foydalanamiz

$$U_{xx} = kT \left(\frac{e\beta\gamma SI_i}{h\nu I_s} \right) \quad (3.12)$$

Demak yoritish past bo'lganda salt yurish kuchlanishi nurlanish intensivligiga to'g'ri proporsional.

QE ishlab chiqaruvchi chiqish quvvatining maksimal qiymati $P_m = I_m U_m$ orqali ifodalanadi. Chiqish quvvatinig maksimum shartini $dP/dU=0$ bo'lganda topish mumkin. Bundan kelib chiqadi

$$U_m \approx U_{xx} - \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{eU_m}{kT} \right), \quad (3.13)$$

$$I_m = \frac{eI_s U_m}{kT} \exp(qU_m / kT) \approx I_f \left(1 - \frac{kT}{eU_m} \right). \quad (3.14)$$

$I_m = (0,85-0,95)I_{qt}$, $U_m = (0,75-0,9)U_{xx}$ dipazonda I_m va U_m ning qiymatlari joylashadi. Maksimal quvvat quyidagicha ifodalanadi,

$$P_m = I_m U_m \approx I_f \left[U_{xx} - \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \left(\frac{eU_m}{kT} \right) \right) - \frac{kT}{e} \right] = I_f (E_m / e), \quad (3.15)$$

Bu yerda,

$$E_m \equiv e \left[U_{xx} - \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \left(\frac{eU_m}{kT} \right) \right) - \frac{kT}{e} \right]. \quad (3.16)$$

E_m – maksimal energiya, u I_s ga bogʻliq, u esa material parametrlariga (τ , D , legirlanish darajasi) bogʻliq.

QE sifatini aniqlovchi muhim parametr forma koefitsienti yoki BAX toʻldirish koefitsienti ξ :

$$\xi = \frac{U_m I_m}{U_{xx} I_{qt}}. \quad (3.17)$$

$$P_m = \xi U_{xx} I_{qt}.$$

Forma koefitsienti kremniyli QB uchun 0,75.....0,85 diapazonda boʻladi[6].

QE da berilgan energiyada fotonlar chuqurlikga yutilishiga bogʻliq elektron-kovak juftlari p- sohada va n- sohada generatsiya boʻlish mumkin. P- sohada – kovaklar, n-sohada – elektronlar yigʻiladi va zaryad tashuvchilar p-n oʻtish yonida elektr maydon paydo qiladi. Biroq rekombinatsiya natijasida asosiy boʻlmagan zaryad tashuvchilar qismi tok yoʻqotishi mumkin. Fotogenerirlangan zaryad tashuvchilar yigʻish jarayoni effektivligini baholash uchun Q zaryad tashuvchilarni yigʻish koefitsienti kiritilgan.

$$Q = \frac{j_f}{q\Phi_0} \quad (3.18)$$

Bu yerda, Φ_0 – element sirtiga tushuvch fotonlar oqim zichligi.

Q ning qiymati yutilish koefitsientiga, nurlanish toʻlqin uzunligiga va bogʻliq[6]. YOʻ uchun Q ning ideal spectral bogʻliqligi E_g bilan quyidagicha: $h\nu$

$< E_g$ holda 0 ga teng va $h\nu \geq E_g$ holda 1 ga teng. Real spektral xarakteristika maksimal egri ko'rinishga ega. Kremniy uchun $\lambda = 0,8-0,9$ mkm oraliqda Q maksimal qiymatga erishar ekan. Katta to'liq uzunliklarda yutilish ko'effitsienti kamayib boradi $\alpha \rightarrow 0$ va shunga mos $Q \sim \alpha$ bo'lgani uchun nolga yaqinlashadi. Xususi yutilish chegarasida spektral sezgirlik va Q mos ravishda nolga aylanadi. Kremniy uchun xususi yutilish chegarasi $\lambda = 1,1$ mkm ga teng ekanligi malum bo'ldi.

Oxirgi, QE turlantirish effektivligi (FIK) maksimal chiquvchi quvvatning tushuvchi nurlanish quvvatiga nisbati orqali ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{nur}} = \frac{U_m I_m}{P_{nur}} = \frac{\xi U_{xx} I_{qt}}{P_{nur}}. \quad (3.19)$$

Kremniy asosidagi QE ning quyidagi tiplariga ajratish mumkin : monokristall, polikristall, amorf (yubqa plyo'nkali). Bulardagi asosiy farq kremniy atomining kristalldagi tartibli tashkillashishida. Har xil QE lari turlicha FIK ga ega bo'lib, mono-(15-22%) va polikristall (12-17%) elementlarida deyarli bir xil, amorf kremniydan (8,5-12%) tayyorlangan QE lariga qaraganda yuqori. Hozirgi kunda ishlab chiqarilayogan QE lari va modullarining bozordagi ulushining 90% dan ziyodi kristall kremniy, bunda 2/3- polikristall va 1/3- monokristall kremniyga to'g'ri keladi. Qolgan qismining 5% ulushini esa yubqa plenkali a-Si:H tashkil etadi.

Kristall kremniy asosidagi QE asosan qattiq bo'lib, yutilish spektri - 0,5-1,0, ya'ni ko'zga ko'rinadigan – infraqizil nurlar oralig'ida, eng yuqori effektivlikka monokristall kremniy asosidagi QE da erishilgan. Kristall kremniy asosidagi QE eng yuqori iqtisodiy FIK (24,7%) ga ega bo'lishi uchun qimmat yuqori sifatli kremniy plastinalari ishlatilishi kerak, bunda elementlar FIK -29% nazariy chegaraga yaqinlashadi va qisqa muddat ichida enargiya sarfini qoplash mumkin. Kremniy asosidagi QE larining asosiy kamchiligi ularning qimmatligi va deyarli xarajatning 50% i kremniy podlojkaga sarflanadi. Bunday turdagi QE larini tayyorlash uchun yuqori sifatli hom-ashyo kerak bo'ladi, buning uchun

hozirgi payitda ko'p energiya isrof bo'ladi. Kremniyni qayta ishlash va kesish jarayonida umumiy isrof ham sezilarli darajada yuqoriligini hisobga olish zarur. Eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki kremniy asosidagi QE lar uchun qisqa tutashish vaqtida o'rtacha tok zichligi $200 \text{ A}/\text{m}^2$, optimal nagruzka vaqtida esa $150-200 \text{ A}/\text{m}^2$. Optimal nagruzka vaqtida kuchlanish $U_{\text{opt}} = 0,35-0,45 \text{ V}$ va salt yurish kuchlanishidan achcha kam bo'ladi $U_{\text{xx}} = 0,5-0,55 \text{ V}$. Agar standart holatda ($E = 1000 \text{ Bt}/\text{m}^2$) temperature $t_1 = 25^\circ \text{C}$ bo'lsa, $U_{\text{xx}} = 550 \text{ mV}$, $I_{\Phi} = 35 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $\xi = 0,7$, $P = 13,5 \text{ mWt}/\text{cm}^2$ va bu holatda FIK $\eta = 13,5\%$ ga yetadi[10,21].

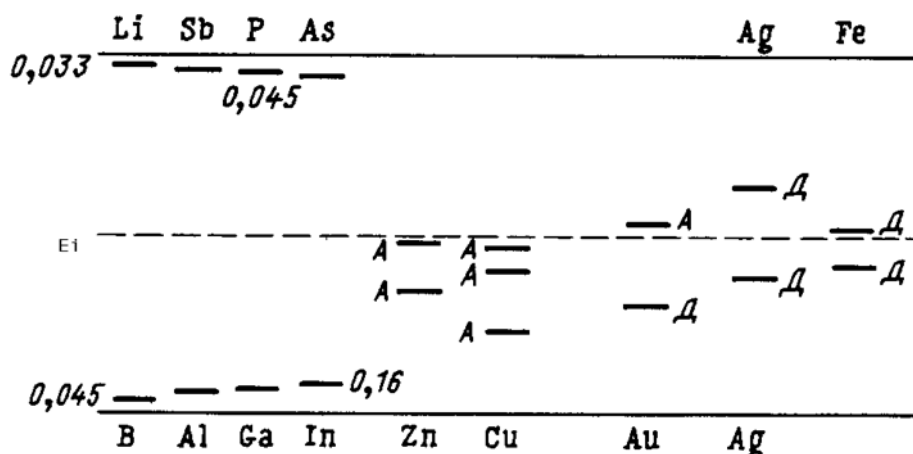
3.2 Quyosh elementi foydali ish koeffitsientini aniqlovchi faktorlar.

1) Legirlangan va defektlar zaryad tashuvchilarning yashash vaqti[4].

QE effektivligi uchun muhim hisoblangan, nuxsonlar konsentratsiyasi, aktiv sohadagi asosiy emas zaryad tashuvchilar yashash vaqti τ ga uzviy bog'liq[4].

Bunda τ ortishi bilan faqat qisqa tutashish toki I_{qt} emas, shuningdek, teskari to'yinish toki I_0 ning kamayishi hisobiga salt yurish kuchlanishi U_{xx} ham ortadi. Ikkinchi muhim kontrollovchi parametr solishtirma qarshilikdir.

Nuxsonlarni ikki guruhga ajratish mumkin: strukturaviy nuxsonlar (dislokatsiyalar, atomlar oraliq joylashish, vakansiya, ikkilangan va kichik burchakli don chegarasi) va kirishmalar (begona atomlar yoyilishi yoki o'rin egallash). Defektlar elektrik aktiv va aktiv emas bo'lishi mumkin.



3.1-rasm. Si dagi har xil kirishmalar ionizatsiya energiyasini o`lchash.

Ularning elektr aktivligining namoyon bo`lishi (donor yoki aktseptor, yoki rekombinatsiya markazi sifatida) yarim o`tkazgichlarning taqiqlangan zonasida fermikvazi sathi holti bilan aniqlanadi. Bu sathning o`tkazuvchan yoki valent zona chegarasidan bir nechta  $kT$  energiya oraliqda joylashishiga qarab donor yoki akseptor bo`ladi. Quyidagi 3.8-rasmida Si dagi har xil kirishmalar energetik sathlari ko`rsatilgan. Bu haqida Chen va Milnes bahs yuritganlar.

2) Ideal turlantirgichlar chegaravi termodinamik FIK quyidagicha aniqlanadi[6],

$$\eta_{cheg} \approx \left(1 - \frac{4}{3} \frac{T}{T_C}\right) 100\% \quad (3,20)$$

Bu yerda T -qabullagich temperaturasi, T_C -manba temperaturasi.

Quyosh nurlanish spektri qora jisim nurlanish spektriga approksiyalangan bo`lishi mumkin  $T_C = 5800K$ . bunda qabullagich temperturasi  $T=300K$  bo`lsa $\eta=93\%$ bo`ladi.

FIK kamayishidagi yanbir muammo qarshiliklardagi energiya yo`qotilishi hisoblanadi. Quyida fotoelementdagi energiya yo`qtilishlari klassifikatsiyasi,



3,2- rasm. Quyosh elementida energiya yo`qotilishi.

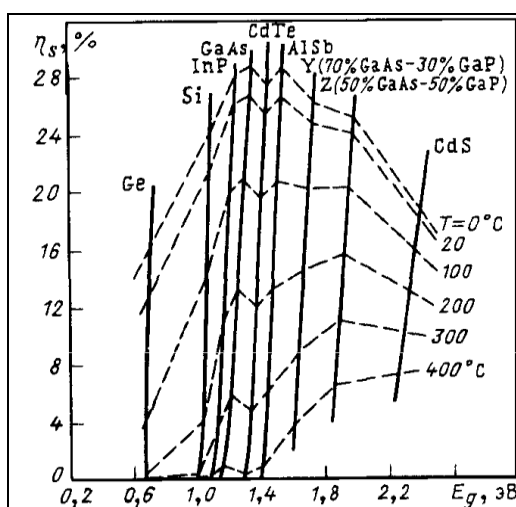
Quyida AM 1,5 sharoitda ishlaydigan (FIK=16,6%, ff=0,78) Si asosidagi QE

da nurlanishda berilayotgan energyaning yo`qotilishi taqsimlangan[5]:

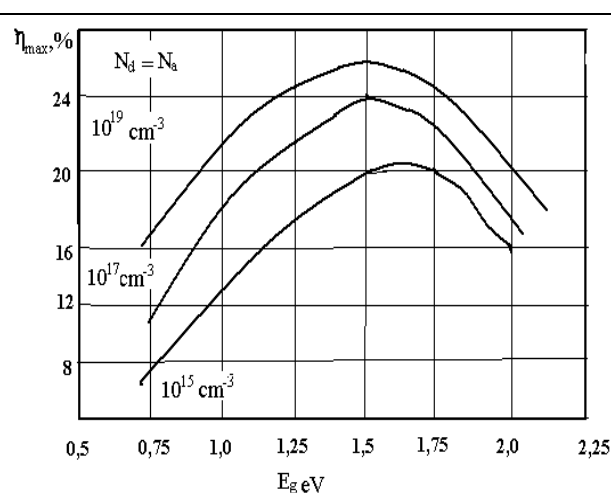
- $h\nu > E_g$ energiya bilan yutiluvchi fotonlardan hosil bo`luvchi zaryad tashuvchilarning issiq tremolizatsiyasi – 29,2%;
- element orqali o`tuvchi kichik energiyali $h\nu < E_g$ fotonlarda electron-kovak juftlari generatsiyasi kuzatilmaydi – 18,8%;
- fotogenerirlangan zaryad tashuvchilarning to`liq bo`lmagan yig`ilishi – 4.5%;
- doird parametrlari bilan aniqlanadigan p-n-o`tishda zaryad tashuvchilarning rekambinatsion yo`qotilishi-19,2%;
- ketma-ket va shunt qarshiliklarda I^2R quvvatning Omik yo`qotilishi, to`g`ri kuchlanish  $U_m$  o`zgarishida diodda quvvat yo`qotilishi – 4,7%;
- akslanishda yo`qotilish – 2,0%;
- setki kontakt yuzasi soyasida yo`qolish – 4,0%;
- aktivmas yutilish (yorug`lik yutilishi nuxsonlardagi va b) – 1,0%.

Demak, zaryad tashuvchilar issiq termolizatsiyasida enrgiya yo`qolishi eng katta.

Yuzadagi zaryad tashuvchilar rekombinatsion yo`qotilishiga mos, har xil temperaturada, AM0 sharoitda, yarimo`tkazgich taqiqlangan zona kengligi va gomoo`tishli QE nazariy FIK orasidagi munosabat shuni ko`rsatadiki, mcksimum chiqish 1,4-1,5 eV energiya atrofida joylashadi(3,3-rasm).



3.3-rasm. E_g va nazariy FIK orasidagi munosabat.



3.4-rasm. E_g va maksimal FIK orasidagi munosabat.

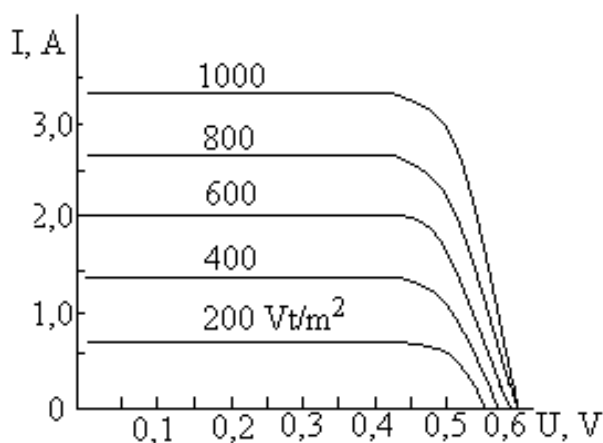
Donor va akseptor konsentratsiyalarining uch qiymati uchun yarimo`tkazgich  $E_g$  va maksimal FIK orasidagi bog`liqlik 3,4-rasmda ko`rsatilgan. Bu natija,  $T=5760\text{ K}$ ,  $E=0,1\text{ Vt/cm}^2$  sharoitda germaniy  $E_g=0,7\text{ eV}$ , kremniy  $E_g=1.1\text{ eV}$ , antimonid indi  $E_g=1,6\text{ eV}$  va gipotetik yarimo`tkazgichlar $E_g=2,0\text{ eV}$ uchun bajarilgan. Bunda elementning ichiki qarshiliklarida va akslanishda energiya yo`qotilishi hisobga olinmagan. Ko`rinadiki, kirishmalar konsentratsiyasi o`shishiga bog`liq FIK qiymatlari ortadi ekan. Bu bog`liqlik, kirishmalar konsentratsiyasi ortishi bilan p-n-o`tishning ikkala oblastida Fermi sathi taqiqlangan zona chegarasi yonalishiga ko`chadi, shu sababdan potensial barier balandligi ortishini bildiradi. Quyosh energiyasini turlantirish uchun optimal yarimo`tkazgich E_g kengligi $1,6\text{ eV}$ atrofida bo`lishi kerak (3.4-rasm).

Atmosferadgi suv bug`lari miqdori  $W$  va optik yo`l uzunligi (AM) ni ham hisobga olish lozim. Nurlarning atmosferada yutilishi yarimo`tkazgichda fotonlar miqdori vat ok zichligi kamayishiga olib keladi.

3.3 Kremniyli QE parametrlariga radiatsiya va temperateraning ta`sirini aniqlash

Kremniyli QE lari harakteristikasi chiziqli emas bo`lib hisoblanadi va ular Om qonunining oddiy formulasi bilan ifodalab bo`lmaydi. Uning o`rniga xarakteristikani ifodalash uchun, egri VAX lar oilasidan foydalanamiz.

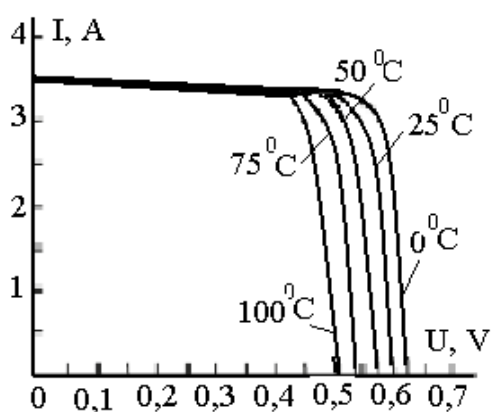
Formula (3.2) dan kelib chiqadiki qisqa tutashish toki I_{qt} yorug`lik intensivligiga to`gri proporsional (3.1 rasm).



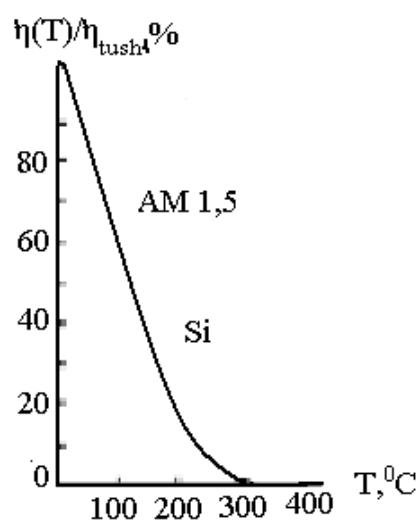
3.5- rasm. Har xil nurlanish intensivligida quyosh elementining FIK

Shu vaqtda (3.6) formulaga asosan U_{xx} nurlanish intensivligiga logorifmik bog'liq o'zgaradi[21].

Temperatura ortishi bilan kremniyadagi Si diffuziya uzunligi o'sadi, diffuziya koeffitsienti qanchalidir ortadi yoxud o'zgarmaydi, asosiy emas zaryad tashuvchilarning yashash vaqti esa, temperturaning oshirilishi bilan o'sadi. Diffuziya uzunligining ortishi asosiy emas tashuvchilarning I_{qt} qisqa tutashish tokining ortishiga olib keladi. Ammo bu effect kichkina va 0,07%/K ni tashkil etadi (3.6-rasm)



3.6-rasm. Har xil temperaturedagi quyosh elementi VAX



3.7-rasm Si asosidagi QE uchun turlantirishning normallashtirish effektivligi

If $\gg I_{01}$ ni hisobga olib,

$$I_{01} = \frac{eD_p P_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n n_{p0}}{L_n} \quad \text{va} \quad U_{xx} = \frac{kT}{e} \ln \left[\left(\frac{I_f}{I_s} + 1 \right) \right]$$

tenglamalar bilan zaryad tashuvchilar uchun harakatdagi massalar qonunidan

$$n_i^2 = np = N_C N_V \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \quad (3.21)$$

U_{xx} uchun quyidagini olamiz:

$$U_{x,x} = \frac{E_g}{e} - \frac{kT}{e} \ln \left[\left(qN_v N_c A_j / I_f \right) \left(L_n / (n_n \tau_n) + L_p / (p_p \tau_p) \right) \right] \quad (3.22)$$

Bu tenglamadan kelib chiqadi, temperaturaning ortishi bilan U_{xx} kamayadi (3.6-rasmga asosan). Ish jarayonida eng muhimi temperaturaga bog'liq. 25°C dan bir gradusga ko'p qizgan vaqtda kuchlanish 0,002V ga kamayadi, yani 0,4 %/gradus[6,21]. Rasmda 0°C va 100°C dagi VAX ning o'zgarishi keltirilgan. Ochiq havoda elementlar 60-70 $^\circ\text{C}$ gacha qizadi va bunda 0,07-0,09V yo'qatadi. Bu degani QE ning FIK kamayishining asosiy sababchisi bo'ladi, bu kuchlanish va generatsiyasining kamayishini bildiradi. Temperaturaning oshishi bilan VAX ning yuqori mayin formasi uchun forma koeffitsientining oshishiga olib keladi. Shuning uchun, temperaturaning oshishi turlantirish effektivligini pasaytiradi (3.7-rasm).

Temperatura ortishi bilan U_{xx} , ff ning kamayishi asosan n_i o'zgarishiga xabar beradi[4]. Temperaturaga ko'tarilishi bilan I_0 eksponensial ortadi, bu esa temperature oshishida U_{xx} deyarli to'g'ri chiziqli kamayishiga sabab bo'ladi. Gomogen o'tishnig bir tarafi bo'yicha joylashgan oblast uchun umumiy holda, $A=1$ bo'lganda,

$$U_{xx} = \frac{kT}{e} \ln \frac{J_{qt}}{J_0}, \quad (3.23)$$

Bunda

$$J_0 = \left(\frac{D}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{n_i^2}{N_A} = BT^3 \left(\frac{D}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{E_g}{kT} \right), \quad (3.24)$$

B paramet amaliyotda temperaturaga bog'liq emas va doimiy.

Shunga asosan, (3.17) formulani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

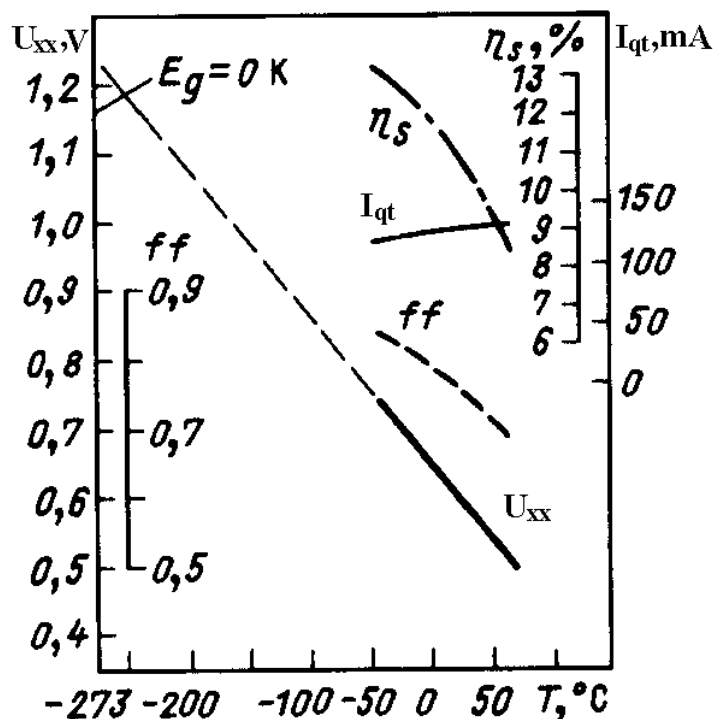
$$U_{x,x} = \frac{E_g}{e} - \frac{kT}{e} \ln \left[\left(D/\tau \right)^{1/2} T^3 B / J_{qt} \right]. \quad (3.25)$$

Tenglamaning logorifmik funksiya qismi noldan katta va temperaturaning bir oz o'zgarishida u o'zgaradi.

U_{xx} , I_{qt} , ff ning temperaturaga bog'liq o'zgarishlari 3.8-rasmda keltirilgan.

Eksperimental fotoelektrik asboblarda potensial balandligini effektiv baholash uchun ko'pincha U_{xx} ning temperaturaviy bog'liqligidan foydalaniladi.

Grafikdan ko'rinadiki ff tempertura ortishi bilan kamayadi. Kremniy asosidagi gomogen o'tishli QE uchun FIK temperaturaning -150 dan -100 C gacha oralig'ida maksimal qiymatga yetadi, temperature 25 C ga yaqinlaganda $\Delta\eta / \Delta T \approx -0,05 \text{ \%}/C$ tezlik bilan o'zgaradi[4].



3.8-rasm. $P = 140 \text{ mWt/cm}^2$ sharoitda 4 cm^2 yuzali Si asosidagi QE parametrlarining temperaturaga bog'liq o'zgarish. Chiquvchi U_{xx} i $T = 0$ C ga ekspalirovkalangan.

3.4 Amorf gidridlangan kremniy (a-Si:H) asosidagi yubqa plenkali quyosh elementlari xususiyatlarini o'rganish[22].

Amorf kremniy asosidagi yubka plenkali QE lari asosan egiluvchan xususiyatga ega bo'lib, FIK $\eta = 8,5-12\%$ oralig'ida o'zgaradi, yorug'lik yutilish spektri - $0,2-0,7$, ya'ni ultrabinafsha – ko'zga ko'rinadigan nurlar oralig'ida. Keyingi payitlari yubqa plenkali QE lari ishlab chiqarish va ularga bo'lgan

qiziqish ortmoqda, bunda asosan amorf materiallar bo'lib, a-Si:H bazasidagi QE larining qo'shimcha kaskadlarida ishlatiladigan gadroginizlangan amorf kremniy va boshqa tarkibida vodorod bo'lgan yarim o'tkazgichlar, ular tarkibida podlojka massasiga nisbatan 1% kremniy bor[6].

a-Si:H plenkasiga tegishli umumiy xususiyatlar sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin[22]:

- Nisbatan arzon, s-Si asosidagi materiallar bilan texnologik kirishuvchan.
- Amalyotda materialiga va razmeriga qarab har qanday podlojkada olish mumkin.
- Radiatsiyaga chidamli, ionlovchi nurlanish sharoitida asboblarning turg'un ishlashini taminlaydi.
- Strukturasining tartiblanganligi va tarkibida vodorod bo'lgani uchun a-Si:H ning optik xususiyatlari s-Si ga qaraganda ancha yuqori optik yutilish va sezgirlikka ega.

3.3.1 a-Si:H plenkali QE ni texnologik olish

Amorf yarim o'tkazgichlar taqiqlangan zonasida katta zichlikdagi mahalliy holatlarga ega va bu mahalliy holatlar bo'ylab elektr o'tkazuvchanlikning asosiy mexanizmi termik faollanadigan sakrama o'tkazuvchanlik bo'lib, unda qatnashuvchi zaryad tashuvchilar juda past harakatchanlikka ega: elektronlar uchun $0,01-0,1 \text{ cm}^2/Vs$, kovaklar uchun esa yana ham kichik ularning yashash vaqti ham juda kichik, shuningdek pardalar juda katta solishtirma qarshilikka ega ($10^8 - 10^{10} \text{ om} \times \text{cm}$).

Agar amorf kremniy pardasiga vodorod kiritilsa, ahvol butunlay boshqacha bo'ladi. Ma'lum bo'lishicha, vodorodning amorf kremniyda eruvchanligi yuqori, u 40-45% ga etadi. Amorf kremniyda erigangan vodorod imkoniy bog'lanishlarning bo'sh joylarini to'ldiradi, natijada vodorodlangan modda taqiqlangan zonadagi holatlar zichligi keskin pasayadi ($10^{16} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$).

Gidroginezlangan amorf kremniy a-Si:H pardalar o‘stirishda keng tarqalgan usuli biqsima razryadning yuqori chastotali plazmasida monosilanni parchalashdir[17]. Kremniy manbai sifatida toza SiH₄ monosilan yoki SiH₄ ning argon bilan 10% li aralashmasi ishlatiladi. Jarayon past bosimda P=1-100 Pa va qatlamlar o‘sinh tezligi 1.5nm/c, lekin gazsimon fazadagi SiH₄ miqdori oshgan sari oshadi. Legirlangan a-Si:H pardalar solishtirma qarshiligi ($10^7 - 10^{10} \text{ om} \times \text{cm}$), mahalliy holatlar zichligi $10^{16} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Kirishmalar kiritib, $10^{-2} \text{ Om}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ o‘tkazuvchanlikli p- va n- qatlamlar olish mumkin. Vodorod miqdori α -Si da SiH bog‘lanishlar ko‘proq bo‘lsa, bunday parda eng yaxshi fotoelektrik xarakteristikaga ega bo‘ladi. Amorf kremniy pardalariga yuqori vakuum sharoitida 20-25 keV energiyali vodorod ionlari kiritib yaxshi natijalar olish mumkin. Bunday pardalar samarali legirlanadi ($\sigma \approx 0,1 \text{ Om}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) va tashqi ta’sirlarga yuqori bardoshli. Amorf kremniy kristallga qaraganda ancha arzon va olish texnologiyasi engil va sodda. Yubqa plenkali a-Si:H tayyorlashda s-Si ni olishda ishlatiladigan shlifovka, polirovka kerakli kesishlarni foydalanmasdan ham olish mumkin. Polikristall kremniyga solishtirganda ancha past temperaturada olinadi (573K), bu elastik podlojkadagi yarim o‘tkazgichli srukturalarni yaratish imkoniyatini beradi va engil bo‘ladi, har qanday tekislikda joylashadi, yana arzon shisha podlojkadan foydalanish mumkin bu kremniy sarfini 20% gacha kamaytiradi va shaffof o‘tkazuvchan oksidlar (TSO) bilan ketgan chiqimni oz muddatda qoplash mumkin. a-Si:H yubqa plenkalarining yana bir ahamiyati tayorlash vaqtida zararli elementlarning yo‘qligi ekologik tozaligidadir[6,13,14,17].

3.3.2 a-Si:H plenkali QE ning elektrofizik va optik xususiyatlari

p-i-n tuzilmalar asosidagi QB larni turli amorf yarim o‘tkazgichning birlashmalari qo‘llanishi muhim natijalar beradi. Masalan, p- sohani hosil qilishda bor (V) bilan legirlangan a-SiC pardalaridan foydalanildi. Bu keng

zonali deraza p- qatlamda yorug'lik yutilishini juda kamaytiradi va salt yurish kuchlanishini ko'tarish imkonini beradi. Hozirda a-Si:H uchun eksperimental FIK-12% ancha past, shuni takidlash joizki texnologiyasining rivojlanishi bilan bu elementlarning nazariy FIK i 18-19% ga etadi. Tartiblangan strukturaga va tarkibida vodorod bo'lgani uchun a-Si:H ning optik yutilishi s-Si dan farq qiladi. Kristaldan farqli ravishda a-Si:H yutilish cheti keskin chegaralarga ega emas. a-Si:H uchun optik yutilish koeffitsienti α ekspopensial turda o'zgaradi va uni empirik formula yordamida aniqlash mumkin[6,15].

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_0}\right) \quad (3.26)$$

bu erda, α_0 - predekspensialniy faktor, $h\nu$ - foton energiyasi, E_0 - Urbax energiyasi.

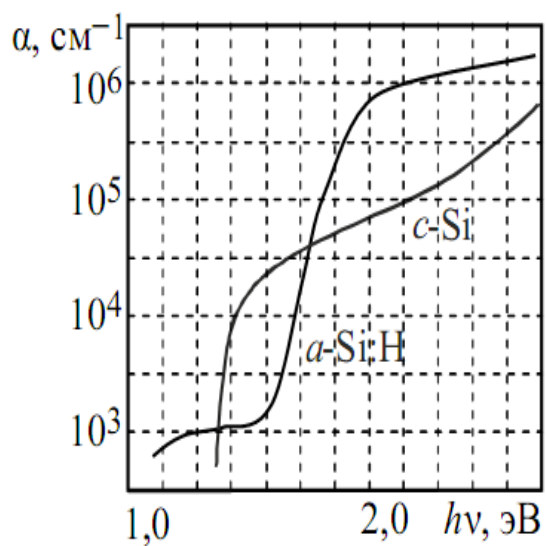
Optik yutilishi kristalliga nisbatan 20 marta yuqori. SHuning uchun qimmat turadigan 300 mkm kremniy podlojkaga nisbatan, ko'rinadigan yorug'likning yutilishi uchun qalinligi 0,5-1 mkm bo'lgan a-Si:H plenkasi etarli.

Optik taqiqlangan zona va α orasidagi munosabatni a-Si:H uchun Tauts metodi orqali aniqlash mumkin.

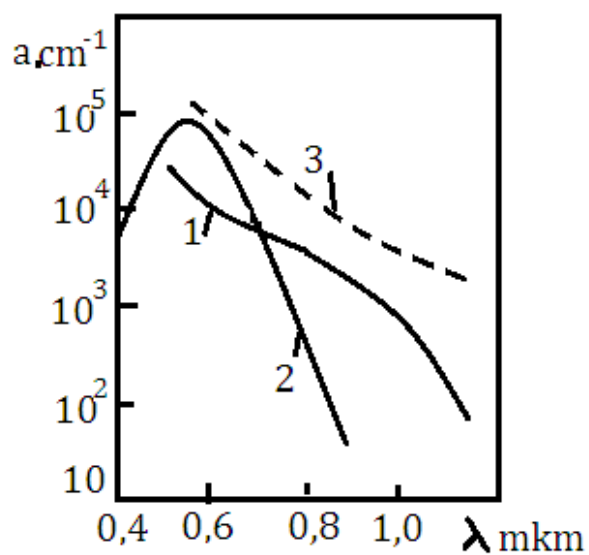
$$(\alpha h\nu)^{\frac{1}{2}} = \text{const}(h\nu - E_g) \quad (3.27)$$

O'z navbatida taqiqlangan zona kengligi a-Si:H tarkibidagi vodorod miqdoriga uzviy bog'liq bo'ladi.

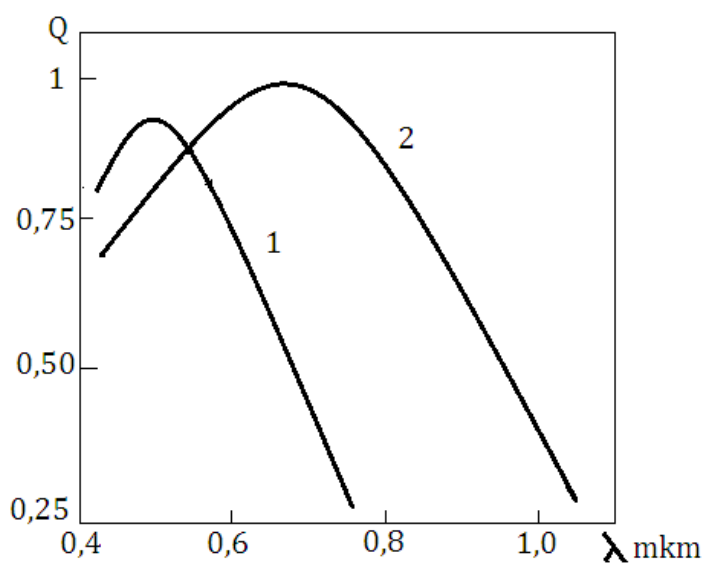
Tarkibida ~10% vodorod bo'lgan a-Si:H taqiqlangan zona kengligi 1,5 dan 1,7 eV gacha o'zgaradi a-Si ga solishtirganda. Agar ~50% gacha bo'lsa, unda 2,1eV bo'ladi. Bunday materiallarda uzilgan aloqani passivlashtirishni boshqarish va taqiqlangan zonadagi holatlar zichligini saqlash qiyin yani 1,7-1,8 eV bo'lgani ma'qul. SHuning uchun odatda Quyosh panellari tarkibida 15-20% vodorod bo'lgan plyonkalarda taqiqlangan zona kengligi taxminan 1,7 eV bo'ladi. Optik yutilishning spektr xarakteristikasi to'g'ri zonali materiallarning xarakteristikasiga yaqinligidan qalinligi 1mkm bo'lgan a-Si:H QB da Quyosh



3.9-rasm. *c-Si* va *a-Si:H* uchun oqtik yutulish koeffitsientining foton energiyasiga bogʻliq oʻzgarishi.



3.10-rasm. Kremniy optic yutilish koeffitsientining spektrga bogʻliqligi. 1-monokristall, 2-vodorod bilan legirlanmagan amorf, 3-p-tipli amorf.



3.11-rasm. Kremniyli QE yig'ish ko'effitsientining spektrga bog'liqligi. 1-p-i-n-strukturali amorf kremniy, 2-p-n-o'tishli 0,3 mkm qalinlikli monokristall kremniy.

spektr sohasida optik yutilish ko'effitsienti bo'ladi. U da yuqori effektivlikka ega bo'ladi va shuningdek bulitli osmonda ham. Monokristall kremniyga qaraganda amorf kremniyning spektral sezgirligi yuqori[5].

Hozirda a-Si:H asosidagi QE dan foydalanish keng tarqalmagan, eksperimental FIK esa 8,5-12% oralig'ida o'zgaradi, bu ancha past, shuni takidlash joizki texnologiyasining rivojlanishi bilan bu elementlarning nazariy FIK i 18-19% ga etadi. a-Si:H asosidagi QE ning sifatini yaxshilash uchun quyidagilar zarur:

- Quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish effektivligini oshirish;
- Nurlanishda ko'p vaqt ishlashi uchun QB ning asosiy parametrlari stabiligini oshirish.

Yubqa plenkali a-Si:H asosidagi QE ning effektivligini oshirishda asosiy usullardan biri, a-Si:H ning legirlanmagan va legirlangan qatlamlarda defektlar konsentratsiyasini kamaytirish va optoelektrik xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan texnologik jarayonlarni takomillashtirish hisoblanadi. Bu zaryad tashuvchilar dreyfi qiymatini katta bo'lganda, VAX forma ko'effitsientni oshiradi va shunga mos FIK ni yuqorilatadi.

Keltirilgan faktlarga asoslangan holda kristall kremniy asosidagi QElarida yuqori effektivlikga erishish mumkin (fik 24,7%) va uning elektrofizik xususiyatlari ancha yuqori va yanada orttirish mumkin, biroq, optik sezgirligi uncha yuqori emas, hamda ulardan foydalanish sezilarli sarf xarajatga olib keladi, SHuning uchun hozirgi vaziyatdan kelib chiqqan holda, qimmat kristall kremniy o'rniga fotovolt elektr energiya narxini tushurishda, olish texnologiyasi arzon, engil va sodda, ekologik toza, optik yutilish ko'rsatkichi ancha yuqori bo'lgan amorf gidroginezlangan (a-Si:H)kremniy asosidagi va ularning boshqa

elementlar bilan ($M: ms-Si:H + a-Si:H$) birikmasi asosidagi yubqa plenkali QE lari yaratish samaralidir.

3.5 O'zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish istiqbollari

Energetika sohasi har qanday mamlakat iqtisodiyoti rivojida misilsiz ahamiyatga egaligi hamda tabiiy resurslarning abadiy emasligi dunyo hamjamiyatini qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish borasida izlanishlar qilishga undamoqda[25,29-34]. SHuning uchun hozirgi vazifa energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishda noan'anaviy energiya manbalaridan samarali foydalanib, aholi turmush darajasini oshirishdan iboratdir. Buning uchun 2050 yilga borib sarflanishi mo'ljallanayotgan yoqilg'ining 40% i quyosh, shamol, oqar suv yordamida hamda biologik usulda hosil qilinadigan energiya kabi qayta tiklanuvchan issiqlik manbalaridan foydalanish hisobiga erishish mumkin. Bu masalani echish uchun oxirgi 20-30 yil ichida quyosh energetikasining o'sishi 25% dan oshdi. 2050-yilga borib quyosh energiya ta'minotining 20-25% ni tashkil etishi mumkin, asr oxirida esa quyosh energetikasi asosiy manba bo'lib umumiy energiya iste'molining 60% ulushini tashkil etishi taxmin qilinmoqda.

So'ngi yillari kvant nuqtali va $a-Si:H$, CdTe, ClGS asosidagi yubqa plenkali quyosh elementlari (QE) tayyorlanmoqda, bunday QE lari sezilarli effektivlikka ega, nisbatan arzon va ekologik tozaligi bir qator engilliklar tug'diradi. Ma'lumotlarga ko'ra fotovolt elektr energiya narxi 2020-yilga borib 5-6 evrotsent/kvt soatga etishi mumkin. Monokristall va polikristall asosidagi strukturalarni olish texnologik tarafdin qiyin va qimmatga tushadi. SHuning uchun hozirgi vaqitda fotovolt elektr energiya narxini tushurishda, olish texnologiyasi arzon, engil va sodda, ekologik toza, optik yutilish ko'rsatkichi ancha yuqori bo'lgan amorf gidroginezlangan va mikrokristall kremniy asosidagi yubqa plenkali quyosh elementlariga asosiy e'tibor qaratilmoqda.

Qolaversa, masalaning yana bir muhim jihati borki, uni hisobga olmaslikning sira ham iloji yo‘q. Ma’lumotlarga qaraganda, atrof-muhit va atmosfera ifloslanishining 60 foizdan ko‘prog‘i yoqilg‘i energetika majmuasi hissasiga to‘g‘ri keladi. Ulardan havoga ko‘tarilayotgan oltingugurt, azot, uglerod oksidlari quruqlikka "kislotali yomg‘ir" ko‘rinishida qaytib tushmoqda. Bundan ham achinarlisi, azon qatlamini emirib, ultrabinafsha nurlarining hech bir to‘siqsiz er sathigacha etib kelishiga zamin yaratmoqda. Har holda ekologik vaziyat tang hududlardagi odamlar sog‘ligining yomonligini boshqacha izohlash mushkul.

Bu borada mamlakatimizda jahonga mashhur va yutuqlari bilan mamlakatimiz faxrlanadigan bir qancha institutlar faoliyat ko‘rsatmoqda. SHulardan O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining “Fizika-Kuyosh” ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi Fizika-texnika institutini alohida e’trof etish mumkin.

Xalqaro energetika agentligi ma’lumotlariga ko‘ra, dunyoda elektr energiyasi ishlab chiqarishning o‘sish sur‘atlari o‘rtacha 3,4 foizni tashkil etayotgan bir paytda, qayta tiklanadigan energiya manbalarining eng istiqbolli tarkibiy qismi bo‘lgan quyosh energiyasi keyingi besh yil davomida har yili misli ko‘rilmagan sur‘atlarda, ya’ni 60 foizga oshmoqda. Ana shu 5 yil mobaynida quyosh energetikasi sohasiga yo‘naltirilgan yalpi investitsiyalar hajmi 520 milliard dollarni, jumladan, faqat 2012 yilning o‘zida 143 milliard dollarni tashkil etdi.

Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish borasida YAponiya, Germaniya, AQSH mamlakatlari etakchilik qilmoqda. 2020 yillarda Evropa ittifoqidagi davlatlarda iste’mol qilinadigan energiya 80% ni shamol va quyosh energiyasi xisobiga qoplash rejalashtirilgan. Buning uchun 20 yil ichida sayyoramizda 3,8 million dona shamol generatori, 90 mingta yirik va 1,7 milliard kichik quyosh elektr stansiyalari qurilishi lozim. Quyosh stansiyalari tomonidan 2012 yilda ishlab chiqarilgan jami elektr energiyasi 113 milliard kilovatt-soatni, jumladan, fotoelektr stansiyalar bo‘yicha 110 milliard kilovatt-

soatni tashkil etdi. Muqobil energiya manbalari ya'ni shamol va kuyosh energiyasidan foydalanish iktisodiy usishga, ekologik soflikka xizmat kiladi.

Hisob-kitoblar shuni ko'rsatmoqdaki, sanoatning yuqori darajada jadal rivojlanib borayotganini hisobga olgan holda, mamlakatimizning elektr energiyasiga bo'lgan talabi 2030 yilda joriy yilga nisbatan 2 barobar oshadi va 105 milliarddan ziyod kilovatt-soatni tashkil etadi.

Ayrim ma'lumotlarga qaraganda O'zbekiston neft va gaz zahiralari faqat yaqin 30 yiga yetadi ekan. Bugungi kunda, yuritimizda issiqlik energiya resurslarining 97% - neft va gaz, 2,3% - komir, 0,7 – gidroenergiya. Qayta tiklanuvchi energiya resurslarining ulush esa 1% ga ham yetmayda. Quyosh nurlarinshi sutkasiga 7-10 soat, shimolda 4800 MJ /m², janubda - 6500 MJ /m². hozirda O'zbekistonda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining potentsiali 51 mlrd t.n.e. ga yaqin, texnik potentsiali- 179 82,3 mln t.n.e. O'zbekistonda havo bir yilda 320 kundan ziyod ochiq bo'lib, Osiyo taraqqiyot banki va Jahon banki xulosalariga ko'ra, O'zbekistonda quyosh energiyasining yalpi salohiyati 51 million tonna neft ekvivalentidan ortiqdir.

O'tgan yili mamlakatimizda Janubiy Koreyaning "Neoplant" kompaniyasi bilan hamkorlikda yillik quvvati 12 ming tonnani tashkil etadigan texnik kremniy ishlab chiqaradigan zavod foydalanishga topshirildi. Bugungi kunda "Angren" maxsus industrial zonasida Koreyaning "SHindong Enerkom" kompaniyasi ishtirokida yillik quvvati 5 ming tonna bo'lgan kremniy ishlab chiqaruvchi ikkinchi zavod qurilishi nihoyasiga etkazilmoqda[3]. Kelgusida ushbu mahsulot yuqori samarali fotoelektrik quyosh panellari ishlab chiqarish uchun xomashyo manbai bo'lib xizmat qilishi mumkin.

SHu maqsadlarni ko'zlab 2013- yil 1- martda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 4512- sonli "Muqobil energiya manbalarini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoni kabul kilindi.

Ayniqsa, 2013 yil 20-23 noyabrda Toshkentda bo'lib o'tgan Osiyo Quyosh energiyasi forumining oltinchi yig'ilishi muqobil energiya texnologiyalarini rivojlanishidamuhim voqea bo'ldi. Bu nufuzli halqaro forumda O'zbekiston

Respublikasi Prezidenti I.A.Karimov soʻzlagan nutqida yurtimizda muqobil energiyadan foydalanish masalalari va uning istiqbollarini batafsil yoritib berdi. Xususan, nutqda quyidagi faktlar keltirildi:

- Oʻzbekiston bugungi kunda ME sohasida ulkan salohiyatli kadrlarga ega;
- Fizika-Quyosh ilmiy-ishlab chiqarish birlashmasi negizida Osiyo taraqqiyot banki bilan hamkorlikda Toshkentda Xalqaro Quyosh energiyasi instituti tashkil qilindi;
- Oʻzbekiston Osiyo taraqqiyot banki bilan hamkorlikda Samarqand viloyatida 100 megavatt quvvatga ega boʻlgan Quyosh fotoelektr stansiyasini qurish boʻyicha pilot loyihani amalga oshirishga kirishildi;
- Kelgusida yuqori samara beradigan, yangi texnologiyalarga asoslangan yana bir nechta yirik Quyosh elektr stansiyasini barpo etish rejalashtirilgan;
- Oʻzbekiston fotoelektrik modullar va Quyosh enyergetikasida qoʻllanadigan boshqa uskunalarni ishlab chiqarish uchun boy xom-ashyo zahiralariga ega;
- 2012 yili mamlakatimizda Janubiy Koreyaning Neoplant kompaniyasi bilan hamkorlikda yillik quvvati 12 ming tonnani tashkil etadigan texnik kremniy ishlab chiqaradigan zavod foydalanishga topshirildi. Bugungi kunda Angren maxsus industrial zonasida Koreyaning SHindong Enyerkom kompaniyasi ishtirokida yillik quvvati 5 ming tonna boʻlgan kremniy ishlab chiqaruvchi ikkinchi zavod qurilishi nihoyasiga etkazilmoqda;
- 2014 yilda Navoiyda dastlabki quvvati 50 megavatt boʻlgan fotoelektr panellari ishlab chiqaradigan, Jizzaxda esa yiliga 50 ming dona Quyosh issiqlik kollektorlari ishlab chiqaradigan korxonalar tashkil etiladi.
- Hisob-kitoblarga koʻra, bunday texnologiyalarni keng miqyosda qoʻllash yaqin yillarda yurtimiz energiya tizimiga tushayotgan energiya yukini 2 milliard kilovatt-soatga qisqartirish, lokal tarzda qariyb 2 million gigakaloriyaissiqlik energiyasi ishlab chiqarishni taʼminlash imkonini beradi. Bu esa yiliga jami 250 million dollardan ortiq qiymatdagi energiya resursini tejashni taʼminlaydi.

SHunday qilib, hulosasi qilib aytish mumkinki, yurtimizda Muqobil enyergiyadan foydalanish bo'yicha salmoqli ishlar amalga oshirilgan va kelajakda bu sohani rivojlanishi uchun zaruriy shart-sharoitlar mavjud.

Quyosh panellaridan qaelarda unumli foydalanish mumkindegan savol tug'ilishi tabiiy chunki mamlakatimiz geografik jihatdan tog'li rayonlar, cho'l zonalari va chekka qishloqlar, aholi gavjum shaxarlardan iborat. SHunga muvofiq ayrim quyidagi o'rinlarda quyosh panellaridan foydalanish samarali hisoblanadi[31]:

- CHekka xududlardagi axolisi kam sonli kishloklarni quyosh energiyasi bilan taminlash orkali ularning energiyaga, issiklik suviga, toza ichimlik suviga bulgan extiyojlarini qondirish mumkin. SHu jumladan chekka hududlardagi dam olish maskanlari, kasalxonalar, maktab va kollejlar.
- SHaxar va shaxarchalar davlat idoralari va kasalxonalaridagi ish jarayoni uchun muhim uskuna va asboblarni zahira quyosh batareyalari bilan ta'minlash maqsadga muvofiq, chunki doimiy elektr uzatish liniyalarida turli hil kutilmagan vaziyatlar bo'lishi tabiiy.
- Zamonaviy turdagi uy jixozlari kam energiya sarfi bilan ishlashi bilan ajralib turadi. Bu jixozlarni energetik ta'minotini quyosh elektrostansiyalaridan olindigan energiya bilan almashtirish mumkin.
- Telekomunikatsiya bog'lamalari (TB) xozirgi kunda kam elektr energiya iste'moliga muljallanganligini xisobga olib, energetik muammolarni kamaytirish uchun TB larini quyosh elementlari asosidagi fotoelektrik stansiyalarga ulash va kafolatlangan elektr energiya ta'minotiga erishish mumkin.
- Qishloq xo'jaligida erlarni sug'orishda nasoslarni elektr energiyasi bilan ta'minlash mumkin. Fermer xo'jaliklarini muqobil energiya bilan ta'minlash mumkin.

Elektr uzatish tarmoklaridan uzok bulgan xududlarda mukobil energiya manbalariga bulgan extiyoj juda katta bo'lgani uchun shamol va kuyosh energiyasidan foydalanish, mazkur energetika soxasini ravnaq toptirish zarur. SHu orkali juda katta iktisodiy va ekologik yutuklarga erishiladi.

3.6. Qoraqalpog'iston sharoitida quyosh energetikasini rivojlantirish: muammo va yechimlar[33,25]

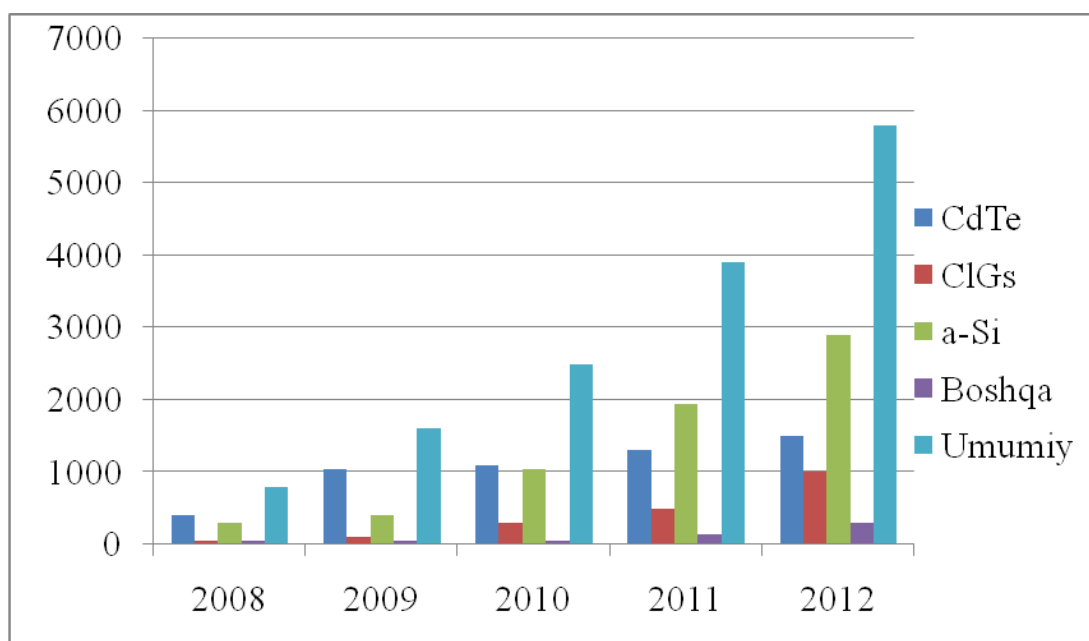
Bugungi kunda energiyaning qazilma turlari, neft, ko'mir va tabiiy gaz birlamchi energiya resurslarining kamayib borayotganligi tufayli barcha davlatlar qatori Uzbekstonda ham qayta tiklanuvchi energiya ma'nbalaridan foydalanishga katta e'tiborga qaratilmoqda. SHuning uchun hozirgi vazifa energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishda noan'anaviy energiya manbalaridan samarali foydalanib, aholi turmush darajasini oshirishdan iboratdir. SHu jumladan Kuyosh energiyasidan foydalanishga alaohida e'tibor qaratilmoqda, asr oxirida quyosh energetikasi asosiy manba bo'lib umumiy energiya iste'molining 60% ulushini tashkil etishi taxmin qilinmoqda.

Butun dunyo kuyosh elementlari asosini tashkil qiluvchi arzon hom ashyo bo'lgan kremniydan foydalaniladi va jaxon bozoridagi QElarining 90% kremniy asosida tayyorlanmoqda. Qo'llanilaytgan kuyosh elementlaridagi (KE) Si – plastinalarining qalinligi 180-300 mkm ni tashkil qilmokda. Bu esa KE ning qiymatini 40% gacha oshiradi. Muammoni echish uchun kremniy qalinligini kamaytirish maqsadga muvofiq.

Kremniy materialining qalinligini kamaytirish bilan kuyosh nurlarining yutilishi pasayadi va tayorlangan KE ning foydali ish koeffitsienti (FIK) ham kamayadi[33].

Bu muammo hozirgi kundagi asosiy muammolardan biridir. So'ngi yillari kvant nuqtali, a-Si:H , CdTe,ThS, ClGS asosidagi yubqa plenkali quyosh elementlari (QE) tayyorlanmoqda, bunday QE lari sezilarli effektivlikka ega, nisbatan arzon va ekologik tozaligi bir qator engilliklar tug'diradi.

Quyida Jaxon bo'yicha, yillar hisobida yubqa plenkali quyosh batareyalarining energiya ishlab chiqarishi hajmi mVt larda ko'rsatilgan.



Bugungi kunga kelib, 1 kilo vatt quyosh energiyasini ishlab chiqarish ekspertlarning ma'lumotlariga ko'ra, o'rtacha 11-12 sentni tashkil etmoqda[1], bu 2020-yilga borib 5-6 sentgacha tushishi mumkin.

Mamlakatimizda qayta tiklanuvchi muqobil energiya manbalarining potentsiali 173,4 mln t.n.e.ga teng bo'lib, energiyaning yillik iste'moli qiymatidan uch barobar ko'pdir. Bu energiyaning 98,8% ni quyosh energiyasi tashkil etadi. Quyosh energiyasining maydon bo'yicha taqsimlanishi bir tekis emas: eng kata potentsial (19548 mln. t.n.e.) Qoraqalpog'iston Respublikasiga, eng kam potentsial (129 mln. t.n.e.) Andijon viloyatiga to'g'ri keladi. Bu esa fotoelektrik stansiyalar uchun juda yaxshi sharoit hisoblanadi.

Qoraqalpog'iston quyosh energiyasidan foydalanish uchun katta imkoniyatlarga ega, lekin bu borada anchagina oqsashlar ko'zga ko'rinmoqda. Qoraqalpog'iston iqlimi va hududi anchagina murakkabligini e'tiborga olish zarur. Respublikaning ko'pgina qismi chol zonasidan iborat va aholining anchagina qismi qishloq joylarda istiqomat qiladi, yashash joylari xam bir-biridan olis masofalarda joylashgan, yani tarqoq, chorvachilik bilan

shugullanadigan ayrim aholi vakillari esa doim yashash joylarini o'zgartirib turadi.

Jadvalda 30 yillik aktinometrik ma'lumotlar keltirilgan[28].

Regionlar	$\sum q_{\perp},$ kVt soat/m ² .	n, soat
• Respublika shimoliy (Qorakalpog'iston Respublikasi, Xorazm viloyatiga Navoiy viloyati shimoli)	1900-2100	2900-3000
• Respublika janubiy (Kashkadaryova Surxandaryo viloyatlari)	1900-1960	2950-3050
• Farg'onavodiysi (Farg'ona, Andijonva Namangan viloyatlari)	1500-1550	2650-2700
• Zaravshon vodiysi (Samarqand, Jizzax, Buxoro viloyatlari i Navoiy viloyati janubi)	1910-1980	2930-3000
• Tashkent shaxri	1943	2852

Tabiiyki, markaziy elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan kam quvvatli energiya talab qiluvchi iste'molchilarni an'anaviy usulda doimiy elektr energiyasi bilan ta'minlash bir muncha qiyinchiliklar tug'diradi. SHuning uchun olis kishloklardagi aholi yagona yokilgi sifatida yog'ochsimon maxsulotlardan foydalanishmokka. Yoqilg'ining xar xil turlari bilan (kumir, gaz, va b.k.) markazlashtirilgan xolda etarlicha ta'minlanmagan qumli va dasht joylarda yashayotgan aholi xam atrofdagi xududlarda o'tin ishlatilmokka. Buning okibatida katta mikdorda yogochsimon usimliklar yo'k bulib ketmokka. Asosoiy muammo bu hududdagi ekologik vaziyatning tangligi hisoblanadi. Atrof muhitning ifloslanishi va havodagi zararli elementalrning ortib ketishi aholining sog'ligi yomonlashishiga olib keladi. Bu borada ekologik toza Quyosh

energiyasidan foydalanish faqul echim. SHuningdek aholi siyrak joylarda kata quvvatli elektrostansiyalar emas kam quvvatli ko'chma quyosh batareyalari va fotoelektrik stansiyalardan foydalanish ma'qul va qulay.

Qoraqalpog'istonda elektr energiyasiga, issiqlik energiyasiga, toza ichimlik suviga bo'lgan ehtiyojni etarlicha qondirish uchun shu erning o'zida quyosh energetikasini rivojlantirish va ilmiy izlanishlar olib borishimiz lozim. Bu erga quyosh nurlanishining 75-80 foizi tushadi. Bizning vazifamiz Qorakalpog'iston hududida toza yarim o'tkazgich materiallar olish texnologiyasini engillashtirish, xarajatlarni kamaytirish va shu erning o'zida quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi qurilmalarni yangicha, arzon va engil tayyorlash texnologiyasi, metod, nazariyalarini ishlab chiqishdan iborat. Hozir respublikamizning tog' oldi va cho'l hududlarida shunday qurilmalardan bir nechtasi ishlab turibdi. SHuningdek, Tabiatni muhofaza qilish Davlat ko'mitasi bilan Birlashgan Millatlar Tashkiloti Taraqqiyot Dasturining "Qoraqalpog'iston qishloq aholisi uchun toza energiya" ko'shma loyihasi bo'yicha markaziy elektr tarmog'iga ulanishi ko'zda tutilmagan, uzokda joylashgan alohida fermer xo'jaliklarining ham bunday zamonaviy qurilmalar imkoniyatlaridan foydalanmoqda.

Muammolardan biri chetdan olib kelinayotgan tayyor quyosh batareyalari bizning iqlim sharoiti uchun mos qilib ishlab chikarilmaganligida, bu esa uziga xos muammolar keltirib chiqaradi va tan narxi bir muncha yukori. SHularni nazarda tutgan xolda, Qoraqalpog'istonda elektr energiyasiga, issiqlik energiyasiga, toza ichimlik suviga bo'lgan ehtiyojni etarlicha qondirish uchun shu erning o'zida quyosh energetikasini rivojlantirish va ilmiy izlanishlar olib borish zarur. Bu borada Ustyurt chol zonasi yuqori quvvatli Quyosh elektrostansiyasi qurish uchun eng maqul joy hisoblanadi, kremniy elementini olish uchun qum xom ashyosi ham shu erning uzida etarli darajada. Bu birdaniga bo'ladigan ish emas albatta chunki yaroqli toza kremniy olish texnologiyasi qimmat, qiyin va murakkab jarayon. SHularni hisobga olgan

holda Qoraqalpoq davlat universitetida «Quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi» kafedrasini ochish va magistrlar tayyorlash maqsadga muvoyiq.

Bularni amalga oshirishda quyidagi omillar muhim ahamiyatga egadir:

1. Zamonaviy asbob uskunalar bilan ta'minlangan quyosh elementlari fizikasi laboratoriyasi.
2. Malakali qadrlar.
3. Tajriba va eksperimentlar o'tkazishga, hamda barcha sarf xarajatlar uchun iqtisodiy zahira manbai.
4. Birga hamkorlik qiladigan ilmiy Akademiya va institutlar, jumladan yurtimizdagi va sirt davlatlardagi.

To'g'ridan to'g'ri buni amalga oshirish anchagina qiyin masala, shuning uchun avval yurtimiz va sirt davlatlarda yaratilgan nazariyalar asosida ishlab chiqarilgan qurilmalarni o'rganib chiqish, tayyorlash metodlarini o'rganish, ular bilan birga ishlashish ma'lumot almashish asosida ilmiy amaliy malakani oshirish, u erga borib tajriba orttirish va birgalikda samarali loyixalar yaratish zarur[25,29,33]. Birinchi navbatda hamkorlik aloqalarini yo'lga qo'yish va ilmiy sa'viyani oshirish zarur. SHundan keyin esa Qoraqalpog'iston hududida quyosh energetikasi, quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasini rivojlantirish borasida jiddiy nazariy va amaliy ilmiy izlanishlarga kirishish mumkin. Respublikamizda davlatimizning bovosita ishtirokida va chet ellar investitsiyalarini jalb etgan holda eng zarur geliotexnik asbob-uskunalarini ishlab chiqarishga imkon beruvchi korxonalarni tashkil etish, fotoelektrik qurilmalarni esa aholiga imtiyozli kreditlar asosida sotish maqsadga muvofik.

Birinchi navbatda hamkorlik aloqalarini yo'lga qo'yish va ilmiy sa'viyani oshirish zarur. SHundan keyin esa Qoraqalpog'iston hududida quyosh energetikasi, quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasini rivojlantirish borasida jiddiy nazariy va amaliy ilmiy izlanishlarga kirishish mumkin. Bunda biz, asosan, keng tarqalgan va texnologiyasi rivojlangan yarim o'tkazgich materiallar GaP, GaAs, CdTe, asosan kremniy (Si) elementi asosidagi quyosh elementlari olishga e'tibor qaratishni maqsad qilib qo'yganmiz. Hususan

monokristall kremniy, polikristall kremniy, mikrokristall kremniy va asosan amorf gidroginezlangan kremniy (a-Si:H) elementlarini toza olish, o'stirishga va ular asosida yubqa plenkali quyosh elementlari, quyosh batareyalari, fotoelektrik qurilmalar tayyorlash va ularning effektivligini oshirishga e'tibor qaratiladi. Agar Qoraqalpog'iston Respublikasida kuyoshli kunlar soni 300, kunning quyosh chiqib turgan qismi o'rtacha 10 soat va quyosh nurlari solishtirma quvvatini Qoraqalpog'iston uchun 800 Vt/metr.kv. deb olsak, 1 metr.kv yuzaga va FIK 15% ga ega bulgan quyosh batareyasi bir yilda 360 kVt soat elektr energiya ishlab chiqaradi. Agar bir honadon bir yilda iste'mol qilayotgan elektr energiyasi o'rtacha 3600 kVt soat ekanligini hisobga olsak, shu xonadonning elektr energiyaga bo'lgan ehtiyojini to'la qondirish uchun yuzasi 10 metr.kv bo'lgan quyosh batareyasi yetarli.

Agar kremniy asosidagi **125 mm x 125 mm; 0,47 V; 4,2 A; KPD=15%** pasportli va narhi 350 rub. quyosh elementidan (201034) foydalanilsa, unda 640 dona kerak buladi va tannarhi 224 000 rub yoki 17 920 000 sum ga tushadi.

Bu xududda kuyoshli kunlar kup va kuyosh energiyasidan foydalanish borasida tabiiy kulay shart-sharoit va imkoniyatlarga ega. Bu imkoniyat kayta tiklanuvchi manbalar orkali iktisodiy tarmoklarini, xududlarimizni, axolini uzluksiz energiya bilan ta'minlash va barkaror rivojlanishga xizmat kiladi.

III bob bo'yicha xulosalar

1. P-n tiqidagi kremniyli QB uchun injeksiya toki $10^{-8} - 10^{-12} \text{ A/cm}^2$ diapazonda joylashadi. Rekombinatsion tok qiymati fazoviy zaryad hajmi oblastida rekombinatsiya markazi zichligiga bog'liq. Qorong'u tokda rekombinatsiya tokning bo'lishi kichik va o'rta to'g'ri o'zgarishda (смещение) bilinadi, yuqori to'g'ri o'zgarishda kamayadi.
2. Podlojkani legirlanish darajasini oshirib yoki asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqtini oshirish natijada to'yinish tokini kamaytirsan QE barcha asosiy parametrlari I_{qt} , U_{xx} , forma faktori, FIK yaxshilashadi.

3. P-n o'tishli kremniyli quyosh batareyasi uchun U_{xx} – 0,5 dan 0,7 V gacha diapazonda bo'ladi va QE konstruksiyasi, legirlanish darajasiga bog'liq. Forma koeffitsienti kremniyli QB uchun 0,75.....0,85 diapazonda bo'ladi Kremniy uchun $\lambda = 0,8-0,9$ mkm oraliqda Q maksimal qiymatga erishar ekan. FIK- 15-22%, nazariy-29%. Kremniy uchun xususiy yutilish chegarasi $\lambda = 1,1$ mkm ga teng ekanligi malum bo'ldi.
4. Eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki kremniy asosidagi QE lar uchun qisqa tutashish vaqtida o'rtacha tok zichligi $200A/m^2$, optimal nagruzka vaqtida esa 150- $200A/m^2$. Optimal nagruzka vaqtida kuchlanish $U_{opt} = 0,35-0,45V$ va salt yurish kuchlanishidan acha kam bo'ladi $U_{xx} = 0,5-0,55 V$.
5. Kirishmalar konsentratsiyasi o'sishiga bog'liq FIK qiymatlari ortadi ekan. Bu bog'liqlik, kirishmalar konsentratsiyasi ortishi bilan p-n-o'tishning ikkala oblastida Fermi sathi taqiqlangan zona chegarasi yonalishiga ko'chadi, shu sababdan potensial barier balandligi ortishini bildiradi. Quyosh energiyasini turlantirish uchun optimal yarimo'tkazgich Eg kengligi 1,6 eV atrofida bo'lishi kerak (3.4-rasm).
6. Atmosferadgi suv bug'lari miqdori W va optik yo'l uzunligi (AM) ni ham hisobga olish lozim. Nurlarning atmosferada yutilishi yarimo'tkazgichda fotonlar miqdori va tok zichligi kamayishiga olib keladi.
7. FIK ga yarimo'tkazgichdagi nuxsonlar konsentratsiyasi, energiya yo'qotilishi, tok tashilishi, taqiqlangan zo'na kengligi, asosiy emas zaryad tashuvchilar yashash vaqti, radiatsiya va temperature, atmosfer massasi va suv bug'lari miqdori ta'sir qiladi.
8. Qisqa tutashish toki Iqt yorug'lik intensivligiga to'g'ri proporsional. Shu vaqtda U_{xx} nurlanish intensivligiga logorifmik bog'liq o'zgaradi.
9. Temperatura ortishi bilan kremniyadagi diffuziya uzunligi o'sadi, diffuziya koeffitsienti qanchalidir ortadi yoxud o'zgarmaydi, asosiy emas zaryad tashuvchilarning yashash vaqti ham o'sadi. Diffuziya uzunligining ortishi asosiy

emas tashuvchilarning Iqt qisqa tutashish tokining ortishiga olib keladi. Ammo bu effect kichkina va 0,03-0,07%/K ni tashkil etadi.

10. Temperaturaning ortishi bilan: kremniyli QE uchun Uxx kamayadi ya'ni 0,4-0,45 %/gradus bunda 25 gradusdan dan boshlab. Temperaturaning oshishi turlantirish effektivligini ham pasaytiradi va forma faktori ff ham pasayadi. Kremniy asosidagi gomogen o'tishli QE uchun FIK temperaturaning -150dan -100C gacha oralig'ida maksimal qiymatga yetadi, temperature 25C ga yaqinlaganda $\Delta\eta / \Delta T \approx -0,05 \text{ \%}/\text{C}$ tezlik bilan o'zgaradi.

11. Hozirda qimmat kremniy o'rniga amorf gidridlangan (a-Si:H) kremniy asosidagi va ularning boshqa elementlar bilan (M: ms-Si:H + a-Si:H) birikmasi asosidagi yubqa plenkali QE lari yaratish samaralidir.

12. O'zbekiston xududida quyoshli kunlar ko'p va kuyosh energiyasidan foydalanish borasida tabiiy qulay shart-sharoit va imkoniyatlarga ega. Bu imkoniyat qayta tiklanuvchi manbalar orqali iqtisodiy tarmoqlarini, xududlarimizni, axolini uzluksiz energiya bilan ta'minlash va barqaror rivojlanishga xizmat qiladi. Shu orqali juda katta iqtisodiy va ekologik yutuklarga erishish mumkin.

13. Quyosh energetikasini bu hududda rivojlantirish uchun, birinchi navbatda hamkorlik aloqalarini yo'lga qo'yish va ilmiy sa'viyani oshirish zarur hamda birgalikda samarali loyihalar yaratish zarur.

14. Qoraqalpog'istonda quyosh energetikasini rivojlantirish imkoniyatlari yuqori darajada. Shunga asosan Qoraqalpoq davlat universitetida «Quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi» kafedrasini ochish va magistrLAR tayyorlash va ilmiy saviyani oshirish maqsadga muvofiq.

X U L O S A

Magistirlik dissertatsiya ishining nazariy qismi va olingan eksperimental natijalar va nazariy tahlillarga suyanib quyidagicha xulosa qilsak bo'ladi:

1. Qisqa tutashish toki Iqt yorug'lik intensivligiga to'g'ri proporsional. Shu vaqtda Uxx nurlanish intensivligiga logarifmik bog'liq o'zgaradi.
2. Temperatura ortishi bilan kremniyadagi diffuziya uzunligi o'sadi, diffuziya koeffitsienti qanchalidir ortadi yoxud o'zgarmaydi, asosiy emas zaryad tashuvchilarning yashash vaqti ham o'sadi. Diffuziya uzunligining ortishi asosiy emas tashuvchilarning Iqt qisqa tutashish tokining ortishiga olib keladi. Ammo bu effect kichkina va 0,03-0,07%/K ni tashkil etadi.
3. Kirishmalar konsentratsiyasi o'sishiga bog'liq FIK qiymatlari ortadi ekan. Bu bog'liqlik, kirishmalar konsentratsiyasi ortishi bilan p-n-o'tishning ikkala oblastida Fermi sathi taqiqlangan zona chegarasi yonalishiga ko'chadi, shu sababdan potensial barier balandligi ortishini bildiradi. Quyosh energiyasini turlantirish uchun optimal yarimo'tkazgich Eg kengligi 1,6 eV atrofida bo'lishi kerak (3.4-rasm).
4. Temperaturaning ortishi bilan: kremniyli QE uchun Uxx kamayadi ya'ni 0,4-0,45 %/gradus bunda 25 gradusdan dan boshlab. Temperaturaning oshishi turlantirish effektivligini ham pasaytiradi va forma faktori ff ham pasayadi. Kremniy asosidagi gomogen o'tishli QE uchun FIK temperaturaning -150dan -100C gacha oralig'ida maksimal qiymatga yetadi, temperature 25C ga yaqinlaganda $\Delta\eta / \Delta T \approx -0,05 \text{ \%}/\text{C}$ tezlik bilan o'zgaradi.
5. FIK ga yarimo'tkazgichdagi nuxsonlar konsentratsiyasi, energiya yo'qotilishi, tok tashilishi, taqiqlangan zo'na kengligi, asosiy emas zaryad tashuvchilar yashash vaqti, radiatsiya va temperature, atmosfer massasi va suv bug'lari miqdori ta'sir qiladi.
6. Hozirda qimmat kremniy o'rniga amorf gidridlangan (a-Si:H) kremniy asosidagi va ularning boshqa elementlar bilan (M: ms-Si:H + a-Si:H) birikmasi asosidagi yubqa plenkali QE lari yaratish samaralidir.

7. O`zbekiston xududida quyoshli kunlar ko`p va kuyosh energiyasidan foydalanish borasida tabiiy qulay shart-sharoit va imkoniyatlarga ega. Bu imkoniyat qayta tiklanuvchi manbalar orqali iqtisodiy tarmoqlarini, xududlarimizni, axolini uzluksiz energiya bilan ta`minlash va barqaror rivojlanishga xizmat qiladi. Shu orqali juda katta iqtisodiy va ekologik yutuklarga erishish mumkin.
8. Quyosh energetikasini bu hududda rivojlantirish uchun, birinchi navbatda hamkorlik aloqalarini yo`lga qo`yish va ilmiy sa`viyani oshirish zarur hamda birgalikda samarali loyihalar yaratish zarur.
9. Qoraqalpog`istonda quyosh energetikasini rivojlantirish imkoniyatlari yuqori darajada. Shunga asosan Qoraqalpoq davlat universitetida «Quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi» kafedrasini ochish va magistrLAR tayyorlash va ilmiy saviyani oshirish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO`YXATI

I. O`zbekiston Respublikasi qonunlari.

1. O`zbekiston Respublikasi 412-I-sonli «Energiyadan oqilona foydalanish to`g`risida»gi qonun. 1997-yil 25-apreldagi.

II. O`zbekiston Respublikasi Prezident farmonlari va qarorlari, Vazirlar Mahkamasining qarorlari.

2.O`zbekiston Respublikasi Prezidentining 4512- sonli "Muqobil energiya manbalarini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to`g`risida"gi 1-mart 2013-yildagi farmoni.

III. O`zbekiston Respublikasi Prezidenti I.A.Karimovning asarlari

3.Prezident Islom Karimovning Osiyo quyosh energiyasi forumining oltinchi yig`ilishidagi nutqi. 20-23-noyabr 2013-yildagi.

IV. Asosiy adabiyotlar

4. Farenbrux A., Byub R. Solnechnie elementi: teoriya i eksperiment. M.: Energoatomizdat, 1987. - 280 s.

5. Koltun M.M. Solnechnie elementi. –M.: «Nauka», 1987.-192 s.

6. Afanasev V.P., Terukov E.I., SHerchenkov A.A. Tonkoplennochnie solnechnie elementi na osnove kremniya. 2-e izd. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2011.

7. De Roza A. Vozobnovlyaemie istochniki energii. Fiziko-texnicheskie osnovi: Uchebn. posobie / Per. s angl. Dolgoprudniy: Izd. dom «Intellekt»; M.: Izd. dom MEI, 2010. 704 s.

8. Kashkarov A.P. Vetrogeneratori, solnechnie batarei i drugie poleznie konstruksii -M.: DMK Press, 2011.

9. T.Bayers, 20 konstruksiy s solnechnimi elementami: Per. s angl.-M.:Mir, 1988.-197s., il. ISBN 5-03-000407-6.

10. Klichev SH.I., Muxammadiev M.M., Avezov R.R., Potaenko K.D. Netraditsionnie i vozobnovlyaemie istochniki energii. –T.: Izd-vo "Fan va texnologiya", 2010, -192 s.

11. A.T.Mamadalimov, M.N.Tursunov, YArim o`tkazgichli quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi. T- 2003.

12. Andreev V.M., Grilixes V.A., Rumyansev V.D. Fotoelektricheskoe preobrazovanie konsentrirovannogo solnechnogo izlucheniya. - L.: «Nauka», 1990.
13. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. М.: Мир, 1986. 435 с.
14. Физика гидрогенизированного аморфного кремния: Вып. I / Под. ред. Дж. Джоунопулуса, Дж. Люковски. М.: Мир, 1987. 363 с.
15. Физика гидрогенизированного аморфного кремния: Вып. II / Под. ред. Дж. Джоунопулуса, Дж. Люковски. М.: Мир, 1988. 447 с.

V.Qo`shimcha adabiyotlar

16. Zi S. Fizika poluprovodnikovix priborov: T. 2. M.: Mir, 1984. 456 s.
17. A.Teshaboev, S. Zaynobidinov, E.A. Musaev YArim o`tkazgichlar va yarimo`tkazgichli asboblarni texnologiyasi. T.:«O`AJBNT» Markazi, 2005.
18. Попов А. И. Физика и технология неупорядоченных полупроводников. М.: Изд. дом МЭИ, 2008. 272 с
19. Sovremennye problemy poluprovodnikovoy fotoenergetiki: Per s angl / Pod red. T.Koutsa, Dj. Mikina. – M.: Mir, 1988.

VI. Davriy nashrlar, statistik to`plamlar va hisobotlar

20. Olxovskiy G.G. Globalnye problemy energetiki // Elektricheskie stantsii. – M.: 2005. № 1. s.4 – 10.
21. K.A.Ismaylov, E.O`teniyazov, M.B.Sharibaev, Z.T.Kenjaye//Vestnik, Q.Q.O., A.N.R.Uz. 2014, № 2, s.128-132.
22. Q.A.Ismaylov, Z.T.Kenjaev, Amorf gidridlangan kremniy asosidagi yubqa plenkali quyosh elementlarining afzalliklari.// Magistrantlarning ilimiy miynetlerining toplami. Nökis-2013.b. 72-75
23. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // ФТП. 2004. Т. 38, вып. 8. s. 937–948

24. Gulamova M.A., Potaenko K.D ., Tursunov M.N., i dr. Solnechnie elementi iz otxodov monokremniya seriynogo proizvodstva. // Geliotexnika, 1990, № 4, s.31 – 34.
25. Ismaylov Q.A., Kenjaev Z.T. Qoraqalpog‘iston Respublikasida Kuyosh energetikasini rivojlantirish: muammo va echimlari// (RIAK-6). T-2013.s.54-56.
26. Aliev R., Ikramov R.G., Ismanova O.T., Alinazarova M.A.// Geliotexnika, 2011, №1, s. 61-64.
27. Aliev R., Zaynobiddinov S., Ikramov R.G., Ismanova O.T., Nuritdinova M.A.// Geliotexnika, 2003, № 1, s. 18-22.
28. Rabbanakul Avezov Sostochnie ispolzovaniya solnechnoy energii v Uzbekistane//Mestniy nezavisimiy ekspert po proektu TA-7846- UZB. T-2011.
29. Q.A.Ismaylov, Kadishev S.K., Z.T. Kenjaev, Sostoyanie i perspektivi razvitiya Solnechnoy energetiki.//Osh. MU. jarchisi. №2. II chig‘arilish. Osh-2013.s.54-56.
30. Q.A.Ismaylov, O‘teniyazov E.O., Sharibaev M.B., Z.T. Kenjaev, Perspektivi razvitiya solnechnoy energetiki.// Fizika i ekologiya. Nukus2013.s.24-26.
31. Ismaylov Q.A., Kenjaev Z.T., A.B.Qunnazarov., Quyosh energiyasi: muammo va yechimlar. //RITA. Qarshi2014.b.71-72.
32. Ismaylov Q.A., Kenjaev Z.T.,Akademik litsey va kollejlarda “Quyosh energiyasidan foydalanish” fanini qo‘shimcha fan sifatida o‘qitish masalasi. //RITA. Qarshi2014.b.399-400.
33. Исмайлов Қ.А, Кенжаев З.Т, Аминов В.А, А.Б.Қунназаров Qoraqalpog‘iston Respublikasi sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlari. //“ XXI asr - Intellektual avlod asri”.Nukus2014.
34. Allaev K.R.Sostoyanie I perspektivi razvitiya energetiki mira i Uzbekistan. //Problema energo-I resursoberejeniya.-Toshken,2006. №3.s.26-44.

VII. Internet saytlar

35. Fizicheskie osnovi prosessov preobrazovaniya solnechnoy energii
<http://dhes.ime.mrsu.ru> - Kafedra teploenergeticheskix system
36. [www. UzDaily.uz](http://www.UzDaily.uz)
37. <http://www.asiasolarenergyforum.org/sixth-asia-solar-enenergy>.
38. [http://www. simplifiedbiz. com/allen/ru/](http://www.simplifiedbiz.com/allen/ru/)

QO`SHIMCHA

Akademik litsey va kollejlarda Quyosh energiyasidan foydalanish fanini o`qitish masalasi[32].

Bugungi kuni katta suratlar bilan ilm va texnikaning rivojlangan bir paytida hozirgi davr farzandi zamonaviy texnika va texnologiyalardan effektiv foydalanmakda. SHuning uchun akademik litsey va kollejlarda aniq va tabiiy fanlar o`qitish texnologiyasini takomillashtirishda yo`nalish va mutahassisliklardan kelib chiqqan holda zamonaviy o`quv rejasi va dasturi, darsliklar va o`quv qo`llanmalari yaratish maqsadga muvofiq. Hozirgi kunda noan'anaviy energiya manbalaridan foydalanish davlat miqyosida muhim masala hisoblanadi, bu borada prezidentimiz maxsus farmoniga asosan jadal suratda amaliy va nazariy ishlar olib borilmoqda. Bu erda asosiy masala quyosh energiyasidan foydalanishga qaratilgan. SHu sababli taklif sifatida akademik litsey va kollejlarda 3 -bosqich o`quvchilariga Isemestr davomida "Quyosh energiyasidan foydalanish" nomli qo`shimcha fan kiritish va mavzularni mukammal bayon qilish zamon talabi, chunki ekologik toza energiya olinadi, tabiiy zahiralar kamaymoqda, xalq xo`jaligining turli tarmoqlarida quyosh energiyasidan foydalanib, katta mablag`ni tejash mumkin. Bunda o`quvchilar bilimiga mos o`quv qo`llanmalar yaratish va laboratoriya xonalarini tashkil etish talab qilinadi. Buning yutuqli tomoni shundaki oliy talim muassasalariga kiruvchi o`quvchilar quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha boshlang'ich bilimlarga ega va ilmiy izlanishlarga tayyor bo'lishadi .

O`quv qo`llanma o`z ichiga mahsus boblar va mavzular, laboratoriya ishlari, testlar va mavzuga doir suratlar, grafiklar, sxemalar bilan mustaqil ishlar mavzularini o`z ichiga oladi. Qo`llanmani tuzishda ishonchli internet saytlari, konferensiyalar, ilmiy izlanish natijalari va bir qator adabiyotlardan foydalaniladi. Bu fanni o`qitishda hozirgi davr energetikasi muammolari, tabiatni muxofaza qilish, ilm-fan yutuqlari, mustaqil izlanishni tashkil qilish kabi masalalar ko'tariladi. Bu esa o`quvchilarni ona tabiatga hurmat bilan

qarashga yangi turdagi energiya manbalaridan xalq xo'jaligining turli sohalarida foydalanishda kelajak mutaxassisi bo'lib etishishida katta xizmat qiladi.

Biz akademik litsey va kollejlarga mos keladigan o'quv qo'llanmaning sodda mundarijasini tayyorladik.

MUNDARIJA

Kirish

I bob. Quyosh nurlanishining xususiyatlari. Energiya manbalari

- 1.1. Erdagi va kosmosdagi quyosh nurlanishi
- 1.2. Quyosh nurlanishining tarkibi
- 1.3. Ananaviy va noananaviy energiya manbalari.
- 1.4. Lab.1. Quyosh nurlanishining kunlik foydali vaqtini aniqlash.

II bob. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish

- 2.1. YArim o'tkazgich materiallarning optik va elektrik xususiyatlari
- 2.2. r-n tuzilmalarda fotoelektrik effekt hodisasi
- 2.3. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi qurilmalar
- 2.4. Quyosh kollektorlari va quyosh diodlari
- 2.5. Lab.2. Quyosh batareyalarining ishlash prinsipini o'rganish

III bob. Quyosh elementlari va batareyalari.

- 3.1. Quyosh elementlarining turlari va sodda konstruksiyalari
- 3.2. Quyosh elementlarining asosiy parametrlari
- 3.3. Quyosh elementlarining tayyorlanish texnologiyasi haqida
- 3.4. Regulyator, Invertor, Testor.
- 3.5. Hozirgi ilim-fan yutuqlari
- 3.6. Lab.3. Quyosh elementlarining VAX va FIK ni aniqlash.

Mavzularga doir testlar

Xulosa

Adabiyotlar

Mavzular va laboratoriya ishlarini imkoniyatlarga qarab o'zgartirish va qo'shimchalar kiritish mumkin.