

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ЗАҲИРИДДИН МУҲАММАД БОБУР НОМИДАГИ
АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

Физика кафедраси

Қўлёзма ҳуқуқида

Жўраева (Нажмитдинова) Наргиза

ҚУЁШ ФОТОБАТАРЕЯЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИЛИШИ

5140200- физика таълим йўналиши бўйича бакалавр академик
даражасини олиш учун ёзилган

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Илмий раҳбар: техника фанлари
доктори, проф. Р.Алиев

Андижон – 2015 йил

МУНДАРИЖА

КИРИШ	3
I. ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИГА АЙЛАНТИРИШНИНГ ФИЗИК ХОССАЛАРИ.....	5
1.1. Қуёш нурланишининг хусусиятлари.....	5
1.2. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш самарадорлиги	8
1.3. Қуёш элементининг фойдали иш коэффициенти.....	35
1.4. Юқори самарали қуёш элементлари.....	41
II. ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР ТАЙЁРЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИ	51
2.1. Фотоэлектрик батарея тушунчаси.....	51
2.2. Қуёш элементларини саралаш усуллари.....	53
2.3. Қуёш элементларини герметизация қилиш технологияси.....	54
2.4. Фотоэлектрик қурилмалар ва уларни тайёрлаш технологияси.....	57
ХУЛОСА.....	61
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.....	62

К И Р И Ш

Энергияга бўлган талабнинг муттасил ошиши муқобил энергия манбаларига эҳтиёжни кучайтирмоқда. Шу боис сўнгги йилларда муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш сезиларли даражада ўсди. Мазкур соҳа шу даражада жадал ривожланиб бораверса, яқин йилларда тикланадиган энергия манбалари умумий энергия бозорининг асосий қисмини эгаллаши мумкин.

Муқобил энергия манбалари орасида қуёш энергияси алоҳида ўрин тутди. Мутахассисларнинг таъкидлашича, ер курраси ҳар куни қуёшдан 174 петаваттга тенг миқдорда энергия қабул қилиб олади. Қуёшнинг бундай саховатидан оқилона фойдаланиш долзарб вазифалардандир.

Йилнинг 300 куни қуёшли бўлган мамлакатимиз – қуёш нуридан энергия олиш технологияларини қўллаш учун жуда қулай. Ўзбекистоннинг ялпи қуёш энергиясининг йиллик салоҳияти 50 миллиард 973 миллион тонна нефть эквивалентига тенгдир.

Қуёш энергияси экологик софлиги ва қулайлиги нуқтаи назаридан истиқболлидир. Қуёш қурилмалари, айниқса, марказлашган электр ва иссиқлик тизимларидан узоқда жойлашган ҳудудларни электр энергияси ва иссиқлик билан таъминлашда қулайдир.

Чўл ҳудудларида сувни чучуклаштириш, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуриштириш, иссиқхоналар ва яшаш жойларини иситиш, биноларни иссиқ сув билан таъминлаш, шамоллатиш ва совитиш, иссиқликка чидамли материаллар олиш учун юқори ҳароратли қуёш печлари қуриш қуёш энергиясидан амалда фойдаланишнинг энг истиқболли йўналишларидир.

Қуёш элементлари (ҚЭ), батареялари ва фотоэлектрик қурилмалар ҳақидаги бугунги тушунчалар тарихан 40 йиллар олдин пайдо бўлиб, сўнгги 10-15 йил давомида улар энергия манбаи сифатида халқ хўжалигига ва оддий кишилар турмушига кириб келди. Бу қурилмаларнинг ишлаш моҳияти ярим ўтказгичли материалларда қуёш нурланишининг ютилиши ва унинг

натижасида ҳосил бўлган заряд жуфтликларининг ярим ўтказгичда ҳосил қилинган потенциал тўсиқларда ажратилиши ва ташқи электр занжирига узатилиш жараёнларига асосланган.

Дастлабки даврдаги фундаментал тадқиқотлар натижасида қуёш нурланиши спектрининг тўлиқ ютилишини таъминлаш материал хусусиятига боғлиқлиги аниқланди. Материал ҳажмида ютилган нурланишнинг заряд жуфтликлари ҳосил қилиши ва уларни ажратиш жараёни ярим ўтказгичли материал ичида ҳосил қилинган потенциал тўсиқ ($p-n$ ўтиш) ва материал хусусиятларига боғлиқлиги аниқланди. Бу эса қуёш элементлари параметрларини оптималлаш имкониятини яратди.

Амалий тадқиқотлар эса оптимал параметрга эга бўлган ҚЭ конструкцияларини лойиҳалаш, тайёрлаш, улар хусусиятларини ўрганиш, ҚЭ, батареялари ва фотоэлектрик қурилмалар технологиясини ишлаб чиқиш ва улар асосида ҳар хил конструкцияли, турли шароитда ишлайдиган, ҳар хил қувватли истеъмолчиларга мўлжалланган электр манбалари тизимини ишлаб чиқаришни амалга оширишга бағишланди.

Ҳозирги замон ҚЭ қайси шароитда ишлатилишига (қоинотда, Ер шароитида, тўғридан-тўғри тушаётган қуёш нурланишига, зичлаштирилган қуёш нурланишига, экстремал ҳол учун ва бошқалар) қараб турли хил ярим ўтказгичли материалдан ишлаб чиқарилади. Ҳозирги даврда ишлаб чиқарилаётган ва инсон эҳтиёжи учун электр манбаъи сифатида қўлланилаётган ҚЭ аксарияти кремний материалдан тайёрланмоқда. Бунга асосий сабаб, ҳозирги замон халқ хўжалиги эҳтиёжи учун кўп қўлланиладиган микроэлектрон асбобларнинг асоси кремнийлигидир. Иккинчидан, кремний элементар ярим ўтказгич бўлиб, унинг Ер таркибида 30%га яқинини ташкил қилиши, ҳамда технологиясининг ривожланганлигидадир.

Юқорида айтилганлардан келиб чиққан ҳолда биз битирув малакавий ишида, кремний асосидаги ҚЭ ва батареяларининг ҳозирги замон технологиясига асосий аҳамиятни қаратдик.

I. ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИГА АЙЛАНТИРИШНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

1.1. Қуёш нурланишининг хусусиятлари

Қуёшнинг нурланиши

Қуёшни гигант термоядро реакторига қиёслаш мумкин. У мутлақ қора каттик жисмга ўхшаб 6000°C ҳароратда энергиясини нурлантиради. Бу нурланишнинг манбаи термоядро реакциясидир. Ҳар сонияда тақрибан $6 \cdot 10^{11}$ кг водород Қуёш қаърида гелийга айланади. Натижада массалар дефекти $4 \cdot 10^3$ кг тенг бўлиб, унинг ҳисобига $E=mc^2$ тенгламага асосан ажралиб чиқаётган энергия $4 \cdot 10^{20}$ Жоульга тенгдир. Ажралиб чиқаётган энергия асосан электромагнит тўлқинлар кўринишида бўлиб нурланишнинг асосий қисми $0,2-3$ мкм ораликдадир. Қуёшнинг тўлиқ массаси ҳозирги кунда тақрибан $2 \cdot 10^{30}$ кг бўлиб, у узлуксиз 10 млрд. йил давомида туриши мумкин.

Ер Қуёш атрофида эллиптик орбитада ҳаракатланади. Қуёшнинг диаметри тақрибан $1,39 \cdot 10^9$ метрга тенг. Бир астрономик бирликка тенг масофадаги ($1 \text{ а.б.} = 1,496 \cdot 10^{11}$ м, тақрибан 150 млн.км) қуёш нурларига перпендикуляр жойлашган бирлик юзадаги энергетик ёритилганлик, Қуёш доимийлиги (қ.д.) дейилади. Қ.д. катталиги 1353 Вт/м^2 га тенг. Йил давомида Ер-Қуёш орасидаги масофа ўзгариши қ.д.ни $\pm 0,34$ гача ўзгаришига олиб келиши мумкин.

Қиёслаш учун қуйидаги жадвалда Қуёш тизимидаги планеталар орбиталарида қуёш нурланиши оқимининг зичлиги ва қ.д. келтирилган.

Планеталар	Планета–Ер орасидаги ўртача масофа	Ер суткаларида йил давомийлиги	Қуёш доимий-Лиги	Қуёш нурланиши оқимининг зичлиги мВт/см ²
Меркурий	$57,91 \cdot 10^6$ км	88	6,67	903
Венера	$108,21 \cdot 10^6$ км	225	1,91	258,6
Ер	$149,6 \cdot 10^6$ км	365	1,00	135,3
Марс	$227,94 \cdot 10^6$ км	687	0,4367	58,28
Юпитер	$778,3 \cdot 10^6$ км	4333	0,037	5,0
Сатурн	$1427 \cdot 10^6$ км	10760	0,011	1,49

Ер альбедоси

Ер сирти альбедоси деб, унинг сиртидан ўраб турувчи атроф муҳитга қайтган нурланиш оқимини, унга тушаётган оқим нисбатига айтилади. Сиртидан диффуз қайтиш учун ҳисобланган Ер альбедосининг ўртача қиймати 0,34 га тенг.

Ер атмосфера массаси 1 га тенг деб олинса, қайтган нурнинг спектри Ер сиртидаги Қуёш нурланиши спектрига айнан ўхшаш деб ҳисобланади.

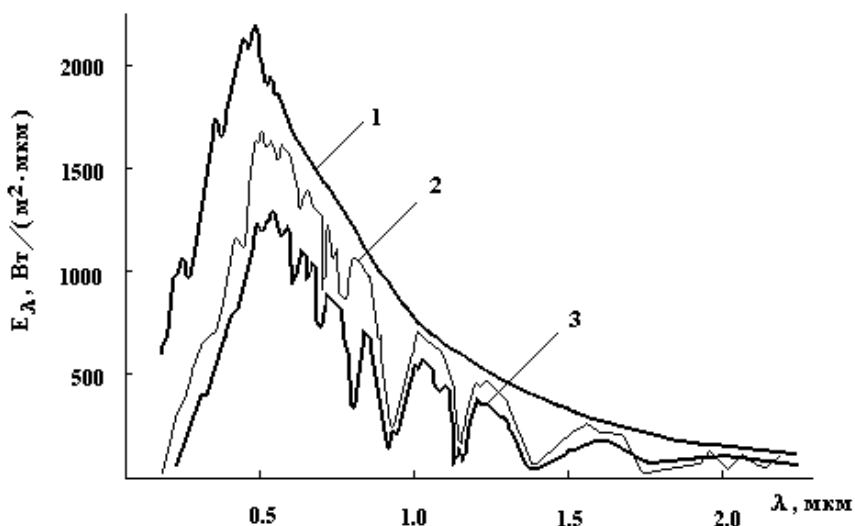
Ер атмосфераси ўзининг оптик хусусиятларига асосан селектив ёруғлик фильтри бўлиб, коинотдан келаётган қуёш нурланишини ўзгартиради. Агар нурланиш оқими атмосферадан ўтиб Ер сиртига тик тушса, у ҳолда нурланиш босиб ўтган оптик масофа бир атмосфера массасига тенг деб ҳисобланади ва $AM\ 1$ билан белгиланади. Қия тушаётган нурларнинг оптик масофаси узунлигини уларнинг $AM\ 1$ оптик масофа катталигига қиёслаб аниқлаш мумкин. Агар нурланиш оқими атмосфера таъсирида ўзгармаса, унинг оптик атмосфера массаси нольга тенг бўлиб, у атмосфера массаси 0 деб белгиланади.

Тўғридан тўғри тушаётган қуёш нурланиши оқимининг Денгиз сатҳида қоқ туш пайтида очик ҳавода Ер сиртидаги энергетик ёритилганлиги ≈ 100 мВт/см² тенг деб ҳисобланади.

Инсоляция деб, маълум географик ҳудудда Ер сиртига тушаётган Қуёш нурланишининг миқдорига айтилади. Инсоляция, Ер-Қуёш тизимида масофанинг мавсумий тебранишларига, географик кенгликка, ҳудуднинг муҳитига ва атмосфера массасига боғлиқдир. Инсоляцияни одатда қуёш нурланишининг кунлик, ойлик ва йиллик ўртача миқдори билан кўрсатилади.

Қуёш нурланишининг таркиби

Қуёш нурланишининг спектрал таркиби 0,1 мкмдан 30 метр тўлқин узунлигигача бўлган ораликдаги тебранишлардан иборат. Қуёш нурланиши энергиясининг асосий қисми 0,2- 3 мкм ораликда жамланган (расм 1.1). Шу ораликдаги нурланишни куйидаги қисмларга ажратиш ва номлаш қабул қилинган. Булар жумласига спектрнинг ультрабинафша қисми (УБ) 0,1-0,38 мкм ораликда, спектрнинг кўринадиган қисми 0,38-0,78 мкм ораликда, спектрнинг инфрақизил қисми (ИК) 0,78 мкм ва



Расм 1.1. Қуёш нурланиши энергиясининг спектрал тақсимланиши. 1 – атмосферадан ташқаридагиси 1360 Вт/м^2 , 2 – Ер сиртидаги тўла тушаётгани 1000 Вт/м^2 , 3 - Ердаги тўғридан – тўғри тушаётгани $834,6 \text{ Вт/м}^2$.

ундан ортик тўлқин узунлигига эга бўлган қисм ташкил қилади. Кўринувчи нурланишни бинафша, кўк, яшил, сариқ, қизил нурларга ажратилади. ИҚ нурланишни яқин ва узок ИҚ нурларга ажратилади.

УБ нурланиш, коинотда юқори интенсивликка эга бўлишига карамасдан, Ер атмосферасининг юқори қисмида мавжуд бўлган озонга ютилиб, Ер сиртига фақат тўлқин узунлиги 0,3 мкмга тенг бўлган озрок қисмигина етиб келади.

1.2. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш самарадорлиги

Яримўтказгичли кристалларнинг оптик ва электрик хусусиятлари

Қуёш элементлари (ҚЭ) асосан ярим ўтказгичли (ЯЎ) материаллар асосида тайерланади. Шунинг учун ҚЭ оптик ва фотоэлектрик хусусиятларини билиш, ЯЎ материаллар тузилишини, уларнинг металллар ва диэлектрик материаллардан фарқини ва ЯЎ материаллар учун бевосита асосий бўлган хусусиятларни ўрганишни тақозо этади.

Қаттиқ жисмлар ҳосил бўлишини ЯЎ материаллар мисолида электрон назарияси нуқтаи назаридан кўриб ўтамиз. Қаттиқ жисм ҳосил бўлиши жараёнида, атомларнинг бир-бирига нисбатан яқинлашиши шу даражагача борадики, натижада ташқи қобикдаги электронларнинг умумлашиши ҳосил бўлади. Атомдаги алоҳида электронларнинг якка айрим орбиталари ўрнига умумлашган коллектив орбиталар ҳосил бўлади, ва атомдаги қобикчалар соҳаларга бирлашади ҳамда улар умуман кристаллга тегишли бўлиб қолади. Электронлар ҳаракатининг характери мутлақ ўзгаради, маълум атомда ва маълум энергетик сатҳда жойлашган электронлар энергиясини ўзгартирмасдан шу энергетик сатҳдаги бошқа қўшни атомга ўтиш имкониятига эга бўлади ва, бинобарин электронларни кристаллда эркин силжиши кузатилади.

Кристаллнинг изоляция ҳолатидаги барча атомларнинг ички қобиклари электронлар билан тўла бўлади. Фақат энг юқоридаги айрим сатҳлардан иборат валент электронлари жойлашган соҳадагина, сатҳлар тўлалигича эгалланмаган бўлади. Кристаллнинг электр ўтказувчанлиги, оптик ва бошқа хусусиятлари асосан валент соҳасининг тўлдирилиш даражасига ва ундан юқоридаги соҳагача бўлган энергетик масофа билан аниқланади ва унга ўтказувчанлик соҳаси дейилади. Иссиқлик ва оптик кузғатилиш ҳисобига ўтказувчанлик соҳасига валент соҳасидан электронлар ўтиши ва электр токини ўтказишда иштирок қилиши мумкин. Валент соҳасида ҳосил бўлган бўш ўринларга электронларнинг кўчиши, унга карама-қарши бўлган мусбат зарядларнинг ҳаракатини ҳосил қилади ва бу зарядларга коваклар дейилади.

Диэлектриклар деб, валент соҳаси тўлдирилган ва бу соҳадан кейинги, ўтказувчанлик соҳагача бўлган энергетик масофа нисбатан катта бўлган моддаларга айтилади.

Металлар эса бошқача тузилишга эгадир. Уларда валент соҳаси қисман тўлдирилган бўлади, ёки у кейинги соҳа-ўтказувчан соҳаси билан киришишган бўлади.

Агар модданинг валент соҳаси тўлалигича эгалланмаган бўлсаю, аммо ўтказувчанлик соҳасигача бўлган энергетик масофа нисбатан кичик (2 эВ дан камроқ) бўлса, бундай моддалар ЯЎ дейилади. ЯЎ хусусиятлари хусусан электр ўтказувчанлиги ташқи муҳитга, айниқса ҳароратга боғлиқ бўлади. Ҳарорат (Т)нинг ортиши электронлар миқдорининг валент ва ўтказувчанлик соҳа орасида жойлашган ман қилинган соҳадан (E_g) ўтиб ўтказувчанлик соҳасига ўтишда ток ташувчиларнинг экспоненциал равишда кўпайишига ва электр ўтказувчанликнинг (σ)

$$\sigma = A \exp(-E_g / 2kT) \quad (1.1.)$$

тенгламага асосан ўзгаришига олиб келади. Бу ерда k – Больцман доимийси, A – моддани характерловчи ўзгармас катталиқ.

Металларнинг электр ўтказувчанлиги эркин электронлар концентрацияси ўзгармас бўлганлиги туфайли электронлар ҳаракатчанлигининг ҳароратга боғлиқлиги билан аниқланади ва ҳароратнинг ортиши билан аста-секин камаяди.

Юқоридаги тенгламани логарифмлаб қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз.

$$\ln \sigma = \ln A - E_g / 2kT \quad (1.2)$$

Бу тенгламани ярим логарифмик координаталарда график равишда кўрсатиш мумкин. Ҳосил бўлган тўғри чизик ва унинг ϕ бурчак тангенси $Y\dot{U}$ материалларнинг асосий параметри бўлган, ман қилинган соҳа кенглиги $E_g = 2kT\phi$ ни аниқлайди. Таъкидлаш лозимки, қия тўғри чизик, яъни электр ўтказувчанлик логарифмининг $1/T$ га боғлиқ равишда ўзгариши фақат тоза, киришмалардан холи, хусусий ўтказувчанликка эга бўлган материаллар учунгина шундай кўринишга эга.

Киришмали ярим ўтказгичларда $\ln \sigma$ нинг $1/T$ дан боғланиши мураккаб бўлиб, у иккита қия тўғри чизикдан иборат бўлиши мумкин ва бир-бири билан горизонтал қисм орқали туташган бўлади. Паст ҳароратли шароитда ўлчаш натижасида олинган $\ln \sigma = \ln A - E_g / 2kT$ тенгламадан ҳосил қилинган қия тўғри чизик тангенси ёрдамида киришмаларнинг ман қилинган соҳада жойлашган энергетик сатҳлари ҳолатини аниқлаш мумкин. Юқори ҳароратли шароитда олинган ҳолларда эса $Y\dot{U}$ материалнинг ман қилинган соҳаси катталигини, яъни E_g ни аниқлаш мумкин.

ҚЭ тайерлашда Қуёш нурланишининг $Y\dot{U}$ материал билан ўзаро таъсири, фотонлар энергиясини материалдаги электронларда ютилиши ва чиқиши жараёнлари муҳим аҳамиятга эгадир.

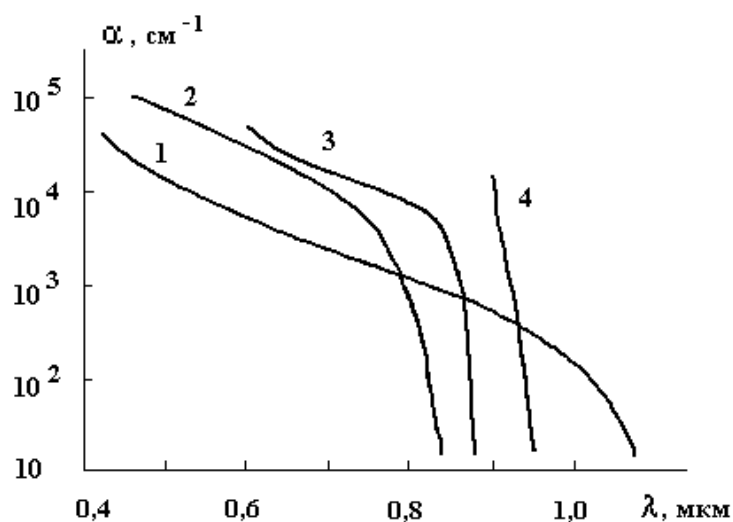
Квант механикасида элементар заррачалар, шу жумладан электронлар ҳам тўлқин хоссаларига ҳам эга деб қаралади. Шунинг учун элементар заррачалар ҳаракатини ўрганишда энергия (E) ва импульс (P) билан бир қаторда, уларнинг тўлқин узунликлари λ , такрорланувчанлиги ν ва

тўлқин вектори $K=P/h$, (h - Планк доимийси) ҳам ишлатилади. Бу ерда $E=hv$ ва $P=h/\lambda$ га тенг.

Кристаллнинг соҳали тузилмасини $E - K$ диаграммалар билан тасвирлаш мумкин. Бу ерда энергия электрон-вольтларда (эВ) тўлқин вектори K – кристалли панжара доимийлиги қисмларида кўрсатилади. Шу билан бирга K ўқида кўрсаткичлар ёрдамида кристалл панжаранинг йўналиши кўрсатилади. $E - K$ диаграммаси воситасида соҳалараро ўтишларнинг ЯЎ материалдаги характери ва жумладан ўтишнинг «тўғри» ёки «тўғримас»лигини аниқлаш мумкин.

Оптик ютилишни ўлчанишидан аниқланган E_g нинг катталиги, кўпинча ЯЎ материалдаги эркин заряд ташувчиларнинг концентрациясига, ҳароратга ва киришмалар энергетик сатҳларининг ман қилинган соҳада мавжудлигига боғлиқ бўлади. Агар ўтказувчанлик соҳаси тубидаги ва валент соҳаси устидаги ҳолатлар заряд ташувчилар билан тўлдирилган бўлса, у ҳолда киришмали ЯЎ материаллар учун E_g соф хусусий материалга тегишли қийматидан каттароқ бўлиши мумкин. Агар киришмалар ҳосил қилган соҳа энг яқин рухсат этилган соҳа чегараси билан бирлашиб кетса (масалан, кўп миқдордаги киришмалар киритилганда кузатиладиган ҳолат), у ҳолда E_g камаяди. E_g нинг бундай камайиши асосий ютилиш чегарасига таъсир қилади.

ЯЎ материалда ютилиш коэффиценти α одатда тўлқин энергиясининг $1/\alpha$ масофада e маротаба камайиши орқали аниқланади ва у $N=N_0 \exp(-\alpha\ell)$ дан топилади. Бу ерда N – ЯЎ материалда ℓ чуқурликка кирган фотонлар оқимининг зичлиги, N_0 – материал сиртини кесиб ўтувчи фотонлар оқимининг зичлиги.



Расм 1.2. Яримўтказгичли айрим материаллар учун ютилиш кўрсаткичининг энергиядан ўзгариши. 1- Si, 2-CdTe, 3-GaAs, 4-InP.

Материалнинг ютилиш коэффициенти α ютилиш кўрсаткичи K билан $\alpha=4\pi K/\lambda$ муносабат орқали боғланган. Шундай қилиб, маълум ва аниқ қалинликка эга бўлган ЯЎ материал намуналаридан ўтаётган оптик нурланиш интенсивлигини ўзгартириб K ва λ нинг шу модда учун қийматларини топиш мумкин.

Қуёш элементлари тайёрланадиган айрим ЯЎ материаллар учун 2.2-расмда α нинг энергиядан ўзгариши келтирилган. Расмдан кўринадикки, ютилиш кўрсаткичи α нинг спектрал характеристикаси келтирилган ЯЎ материалларда бир-биридан катта фарқ қилади ва бу фарқ асосан уларнинг соҳали тузилмаси ва оптик ўтишлар характериға боғлиқдир. GaAs, InP, CdTe ЯЎ материалларда тўғридан-тўғри соҳа-соҳа характердаги оптик ўтишлар мавжуд бўлиб, нурланиш спектрида E_g дан ортиқ энергияли фотонлар пайдо бўлиши билан α тезда $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$ даражасига кўтарилади.

Кремний materialiда эса ютилиш жараёни 1,1 эВ дан бошлаб тўғри бўлмаган энергетик ўтишлар орқали бўлади ва бунинг учун ҳам ёруғлик кванти, ҳамда панжара тебранишлари кванти-фононлар иштироки талаб қилинади. Шунинг учун, ютилиш кўрсаткичи α аста-секин ортиб боради.

Фақат фотонлар энергияси 2,5 эВ га етгандан кейингина соҳа-соҳали ўтишлар тўғридан-тўғри ўтишларга айланади ва ютилиш кескин орта бошлайди. Ютилиш коэффициенти нинг спектрал характеристикаси шуни кўрсатадики, кремний материалидан фойдаланиб Қуёш спектрининг жуда катта қисмини электр токига айлантириш мумкин. Масалан, атмосферадан ташқаридаги қуёш нурланиши учун (АМ О) бу 74% ни ташкил қилади. Ҳолбуки, агар материал сифатида GaAs ЯЎ олинса фақат 63 % қуёш нурланишини электр энергиясига айлантириш мумкин. Аммо, «тўғримас» оптик ўтишларнинг асосий ютилиш чегарасида λ нинг қиймати катта бўлмаганлиги сабабли, бутун келтирилган қуёш спектри ютилиши учун кремнийли ҚЭ нинг қалинлиги 250 мкм дан кам бўлмаслиги керак. Ҳолбуки худди шундай шароит учун GaAs материалининг қалинлиги 2-5 мкм бўлиши кифоядир. Шунинг учун, спектрал характеристиканинг бу хусусиятларини юқори самарали ва юпқа қатламли ҚЭ ишлаб чиқишда аҳамияти катта эканлигини доимо ҳисобга олиш зарур.

Агар ЯЎ сиртга тушаётган фотонлар энергияси кам бўлиб, ютилиш натижасида электронларни валент соҳасидан ўтказувчанлик соҳасига чиқара олмаса, нурланиш таъсирида электрон кристалл ичида рухсат этилмаган соҳаларга ўтиши мумкин. Бундай ҳолат учун ютилишнинг спектрал характеристикасининг асосий ютилиш чегарасидан кейинги узун тўлқинли қисмида сезилиши мумкин. Бундай ютилиш эркин заряд ташувчилар ютилиши дейилади ва бу жараён шундай заряд ташувчилар концентрациясига боғлиқ бўлади. Эркин заряд ташувчилар енгил ионизация бўла оладиган киришмалар концентрациясига боғлиқ бўлгани учун, ютилиш ҳам унга тўғридан –тўғри боғлиқ булади. ЯЎ материалларда бундай узун тўлқинли ютилиш хусусиятларини ўрганиш натижасида ютилишнинг бир неча тури мавжудлиги аниқланган. Жумладан, фазовий панжара тебранишларида ютилиш, киришмаларда ютилиш, экситонларда ютилиш. Экситон – боғланган электрон-ковак жуфтлиги бўлиб заряд ташувчилар

концентрациясини ўзгартирмайди. Чунки кристалл ичида алоҳида электрон ёки ковак харакатлари эмас, балки боғланган ҳолат харакатидир.

Ютилиш спектрлари кристалл тузилиши хусусида керакли ва ҳар томонлама фойдали маълумотлар беради, жумладан, легирланиш даражаси, киришмаларнинг активланиш энергиясини ва уларнинг ман қилинган соҳада жойлашган энергетик сатҳларини аниқлашга имкон беради. Масалан, ютилиш спектрлари асосида кремнийда кислороднинг бор йўқлигини аниқлаш мумкин (9 мкм). Спектрнинг узун тўлқинли соҳасида аксланиш коэффиценти R , бундай киришмалар ортиши билан кескин ўсиши кузатилади.

Ярим ўтказгичли қуёш элементларида оптик нурланишни электр энергиясига айлантириш

Фотоэлектрик эффектга асосланган ЯЎ материалларда $p-n$ ўтишли тузилмалардан иборат ҚЭ да, уларга тушаётган Қуёш нури бевосита электр энергиясига айлантиради. Шунинг учун, ҚЭ фотоқабуллагич ва фотоқаршиликлардан фарқли равишда, ташқи кучланиш манбаига муҳтож эмас. Бу эффект юз йилдан ортиқ вақт давомида селен ва мис оксидининг фотоэлектрик хусусиятлари сифатида ўрганиб келинган, аммо уларнинг фойдали иш коэффиценти (Ф.И.К.) 0,5 % ошмаган.

Бу муаммонинг нисбатан фаол ечилиши ЯЎ материаллар электрон тузилишининг соҳа назарияси яратилганидан кейин, материалларни киришмалардан тозалаш ва киришмаларни назоратли равишда киритиш технологияси, ҳамда $p-n$ ўтишнинг назарияси яратилиши билан боғлиқдир.

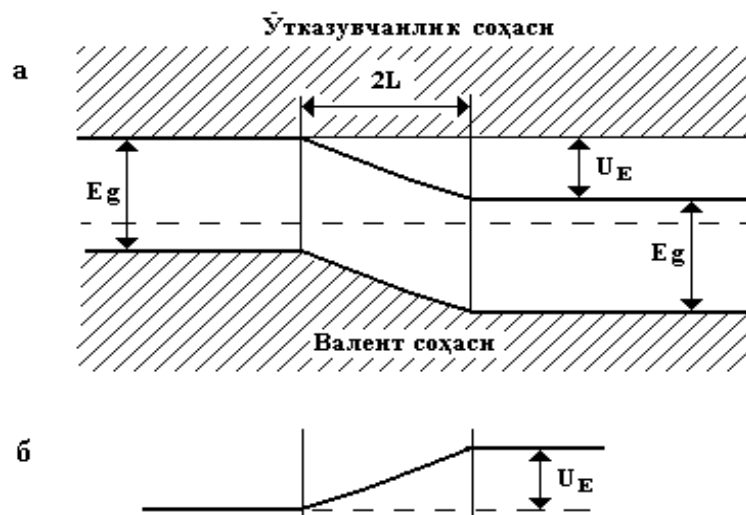
Сўнгги 35 йил давомида энергия манбаи сифатида юқори самарали Si, GaAs, InP, CdTe ва уларнинг қаттиқ қотишмалари асосида Ф.И.К. 20-24 % бўлган ҚЭ яратилди. Каскадли ҚЭ ларда эса Ф.И.К. 30 % гача етказилди.

Қуёш элементлари конструкциялари

Кенг тарқалган кремний асосидаги ҚЭ лари конструкцияси p - ва n -материалнинг бир-бирига туташтиришдан ҳосил қилинади. ЯЎ материал ичидаги p - ва n -тип орасидаги ўтиш соҳаси (чегара ҳудуди) электрон-ковак ёки p - n ўтиш дейилади. Термодинамик мувозанатда электрон ва коваклар мувозанат ҳолатини белгиловчи Ферми сатҳи материалда бир хил ҳолда бўлиши керак. Бу шарт p - n ўтиш ҳудудида иккиланган зарядли қатлам ҳосил қилади ва уни ҳажмий заряд қатлами дейилиб, унга таалуқли электростатик потенциал пайдо бўлади.

P - n тузилма сиртига тушган оптик нурланиш, сиртдан материал ичига қараб p - n ўтиш йўналишига перпендикуляр равишда концентрацияси камайиб боровчи электрон-ковак жуфтликлар ҳосил қилади. Агар сирт юзасидан p - n ўтишгача бўлган масофа нурнинг кириш чуқурлигидан ($1/\alpha$ дан) кичик бўлса, электрон-ковак жуфтликлар p - n ўтишдан ичкарида ҳам ҳосил бўлади. Агар p - n ўтиш жуфтлик ҳосил бўлган жойдан диффузион узунликка тенг масофа ёки ундан камроқ масофада бўлса, зарядлар диффузия жараёни натижасида p - n ўтишга етиб келиб, электр майдони таъсирида ажратилиши мумкин. Электронлар p - n ўтишнинг электрон бор бўлган қисмига (n -қисмига), коваклар p -қисмига ўтади. Ташқи p - ва n -соҳаларни бирлаштирувчи электродларда (контактларда) потенциаллар айирмаси ҳосил бўлиб, натижада уланган юкланма қаршилиги орқали электр токи оқа бошлайди.

P - n ўтишга диффузияланган асосий бўлмаган заряд ташувчилар, потенциал тўсиқ бўлганлиги сабабли, иккига ажратилади. Ортиқча ҳосил бўлган (тўсиқ ёрдамида ажратилган) ва тўпланган, n -соҳадаги электронлар ва p -соҳадаги коваклар p - n ўтишдаги мавжуд ҳажмий зарядни компенсация қилади, яъни мавжуд бўлган электр майдонига қарама-қарши электр майдонини ҳосил қилади.



Расм 1.3. Ёритилмаган p - n ўтишли ярим ўтказгичда энергетик соҳалар структураси (а), электростатик потенциал тақсимоти (б). $2l$ – ҳажмий заряд соҳасининг кенглини, U_E – p - ва n - соҳалар чегарасидаги мувозанат хол учун электростатик потенциал, E_g – ман қилинган соҳа кенглиги, штрихланган чизик – мувозанат ҳоли учун Ферми сатҳи.

Ёритилиш туфайли ташқи электродларда потенциаллар айирмаси ҳосил бўлиши билан бирга ёритилмаган p - n ўтишдаги мавжуд потенциал тўсиқнинг ўзгариши рўй беради. Ҳосил бўлган фото-ЭЮК бор бўлган потенциал тўсиқ қийматини камайтиради. Бу эса ўз навбатида қарама-қарши оқимларнинг пайдо бўлишини таъминлайди, яъни электрон қисмдан электронлар оқимини, p -қисмдан коваклар оқимини ҳосил қилади. Бу оқимлар p - n ўтишга қўйилган электр кучланиши таъсири натижасида туғри йуналишдаги ток билан деярли тенг бўлади. Ёритилиш жараёни бошланган вақтдан бошлаб ортиқча (мувозанатдагига нисбатан) зарядларнинг тўпланиши (электронларнинг n -соҳада ва ковакларнинг p -соҳада) потенциал тусиқ баландлигини камайтиради, ёки бошқача қилиб айтганда электростатик потенциални пасайтиради (1.3-Расмга қаранг). Бу эса ўз навбатида ташқи юкланмадан оқаётган ток кучини оширади ва қарама-қарши оқимлар ҳосил қилувчи электронлар ва коваклар оқимини p - n ўтиш орқали ўтишини таъминлайди.

Ёруғлик туфайли ҳосил бўлган ортикча жуфтликлар сони $p-n$ ўтиш ёки ташқи юкланма орқали кетаётган жуфтликлар сонига тенг бўлганда стационар мувозанат ҳосил бўлади. Одатда бу ҳол ёритилиш жараёнининг мингдан бир сонияси давомида рўй беради.

ҚЭ қисқа туташув токи $I_{кз}$ ни, тушаётган оптик нурланиш зичлиги ва спектрал таркибига боғлиқ ҳолда ўрганиш, элемент тузилмаси ичида бўлаётган ҳар бир нурланиш квантининг электр энергиясига айланиш жараёни самарадорлиги ҳақида тасаввур ҳосил қилиш имкониятини беради. Маълум ёруғлик оқими зичлиги тушаётган ҚЭ учун қуйидаги тенгламани келтириш мумкин.

$$I_{кзю}(\lambda) = I_{кзт}(\lambda)/[1-r(\lambda)] \quad (1.3)$$

бу ерда $I_{кзт}(\lambda)$ ва $I_{кзю}(\lambda)$ – мос равишда берилган интенсивликдаги ютилган ва тушаётган нурланиш учун ҚЭ қисқа туташув токининг қийматлари, $r(\lambda)$ -бирламчи қайтиш коэффициентини. Келтирилган уччала катталиклар ҳам бир хил тўлқин узунлиги бўлган ҳол учун тўғридир.

ҚЭ ни таҳлил қилиш ва сифатини баҳолаш учун унинг $I_{кз}$ токининг спектрал характеристикасини ютилган ҳар бир квант нур учун ҳисоблаш ўта муҳимдир. Бу катталиқни Қуёш элементининг эффектив квант чиқиши дейилади ва $Q_{эфф}$ билан белгиланади. Агар N_0 – ЯЎ материал сиртининг бирлик юзасига тушаётган квантлар сони бўлса, у ҳолда

$$Q_{эфф} = I_{кз}/ N_0 \quad (1.4)$$

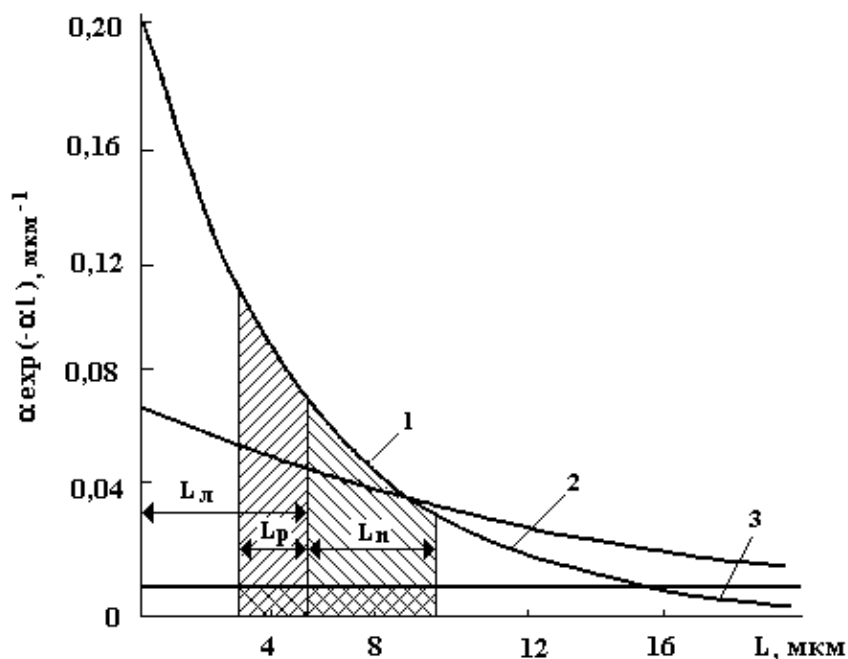
бўлади, бу ерда $I_{кз}$ элек/сонияда ўлчанади, ва $Q_{эфф}$ элек/квант (фотон)ларда олиниши керак.

ҚЭ эффектив квант чиқиши икки параметрга боғлиқ бўлиб, у

$$Q_{эфф} = \beta\gamma \quad (1.5)$$

β -ички фотоэффектнинг квант чиқишидир. Бу катталиқ ҳар бир ютилган квант учун фотоионизация жараёнида ЯЎ ичида ҳосил бўладиган электрон-ковак жуфтликларни кўрсатади. γ – p - n ўтиш потенциал тўсиқнинг ток ташувчиларни йиғиш (жамлаш) коэффициентидир. Бошқачасига айтганда ток ташувчиларнинг ажратиш коэффициенти ҳам дейилади. Бу коэффицент оптик нурланиш ёрдамида ҳосил бўлган умумий жуфтликлардан қанча қисми қисқа туташув токида иштирок этишини кўрсатади. Ташқи ўлчаш асбоби уланган ҳол учун, $\beta=1$ бўлса, ҳар бир квант битта жуфтлик ҳосил қила олишини кўрсатади.

Ҳар хил тўлқин узунликка эга бўлган оптик нурланиш, материалда ҳар хил чуқурликка қира олади (квантларнинг чуқурликка кириш қобилияти уларнинг энергиясига боғлиқдир). ЯЎ материалларда ютилган квантлар ҳисобига ҳосил бўлган

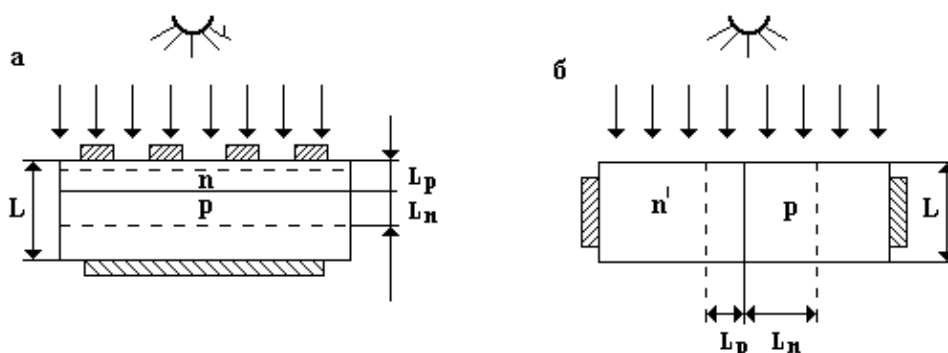


Расм 1.4. Ҳар хил тўлқин узунликка эга бўлган нурланишнинг кремний асосидаги p - n ўтишга перпендикуляр тушган ҳол учун ҳосил бўлган электрон-ковак жуфтликларининг тақсимланиши. 1- $\lambda=0,619$ мкм, $\alpha=2000$ см^{-1} ; 2- $\lambda=0,81$ мкм, $\alpha=700$ см^{-1} ; 3- $\lambda=0,92$ мкм, $\alpha=90$ см^{-1} .

электрон-ковак жуфтликлар материалда фазовий тақсимот ҳосил қилади (4-расмга қаранг).

Ҳосил бўлган жуфтликларнинг кейинги тақдири ЯЎ материалларнинг диффузион йўли узунлигига боғлиқдир. Агар бу параметр катталиги етарлича бўлса, у ҳолда нурланиш туфайли ҳосил бўлган ортиқча асосий бўлмаган заряд ташувчилар фақат диффузия жараёни туфайли $p-n$ ўтишга келиб унинг электр майдони орқали ажратилиши мумкин. Оптик нурланишни айлантририлиши жараёнида муҳим ролни электронларнинг диффузия йўли узунлиги (L_n) ва $p-n$ ўтиш чуқурлиги (ℓ) ўйнайди, чунки ҳосил бўлаётган ва ажратилиши керак бўлган жуфтликлар уларга боғлиқдир.

Оптик нурланишнинг ЯЎ материалга тушиш йўналишига қараб $p-n$ ўтиш конструкциясининг икки хили мавжуд ва уларни қуйидаги 1.5-расмда келтирилган ҳоли учун кўриб ўтамиз.



Расм 1.5. Ярим ўтказгичли кристаллда $p-n$ ўтишларнинг жойлашиши схемаларига қараб (а) перпендикуляр ва (б) параллел $p-n$ ўтиш текислиги учун оптик нурланишнинг тушиши. L_n, L_p – p - ва n – соҳаларда асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион узунликлари; ℓ - ярим ўтказгичда нурланишнинг кириш чегараси; штрихланган соҳалар – p - ва n -соҳалардаги металл контактларнинг кўриниши.

1-ҳол. Оптик нурланиш йўналишига $p-n$ ўтиш перпендикуляр жойлашган ҳол. Оптик нурланиш, қалинлиги ℓ га тенг бўлган ЯЎ материалнинг бутунлай охиригача киради.

2-ҳол. Оптик нурланиш йўналишига $p-n$ ўтиш параллел жойлашган ҳол. Нурланиш, кенглиги d га тенг бўлган тузилмага тушади.

Перпендикуляр ва параллел жойлашган $p-n$ ўтишлар учун йиғиш (жамлаш) коэффициенти қуйидаги муносабатлар билан аниқланади.

$$\gamma = (L_n + L_p) / \ell \quad (1.6)$$

ва

$$\gamma = (L_n + L_p) / d \quad (1.7)$$

бу ерда, L_n , L_p – мос равишда электронлар ва ковакларнинг диффузия йўли узунлиги.

Биринчи қарашда $p-n$ ўтишнинг параллел жойлашиши афзалроқ кўринади. Чунки ҳосил бўлган заряд жуфтликларини тўлалигича йиғиш ва ажратиш учун ЯЎ материал қалинлигига ва $p-n$ ўтишга нисбатан уларнинг тақсимланиши муҳимдир. ЯЎ ичида жуфтликларнинг материал чуқурлигига нисбатан бир текис ҳосил бўлиши уларнинг $p-n$ ўтиш томон диффузия ҳодисаси орқали ажратилиш жараёни учун ўта муҳимдир. Шунинг учун, кўп $p-n$ ўтишларга эга бўлган ҚЭ ларда, уларнинг $p-n$ ўтишлари тушаётган оптик нурланишга параллел жойлаштирилади. Оптик нурланишнинг узун тўлқинли қисмида, бу конструкция заряд ташувчиларни йиғишнинг юқори самарадорлигига эга бўлади, ҳамда бир бирлик юзадан катта миқдордаги фото-ЭЮК олишга имкон яратади.

Такидлаш лозимки, нисбатан кичкина ўлчамли параллел жойлашган $p-n$ ўтишларга эга бўлган микро ҚЭ ларида рекомбинация ҳодисасининг перпендикуляр жойлашган $p-n$ ўтишларга нисбатан катталиги назарий ва амалий жиҳатдан аниқланди. Шунинг учун, бу турдаги ҚЭ нинг қуёш нурланишига қаратилган юзасида қисқа тўлқинли нурларнинг спектрал эффективлигини ошириш учун, қўшимча киришмалар киритилган тескари типдаги ўтказувчанликка эга бўлган қўшимча юпқа қатлам ҳосил қилиш

мақсадга мувофиқдир. Яъни, яна қисман перпендикуляр конструкция элементига қайтиш мақсадга мувофиқдир.

Параллел жойлашган p - n ўтишли ҚЭ ларида ҳосил бўлган электрон-ковак жуфтликлар концентрацияси (M) материал юзасидан ичкарасига қараб ўзгаради. Перпендикуляр жойлашган p - n ўтишли ҚЭ конструкцияси учун эса n -турдаги материал учун ҳам p -турдаги учун ҳам ҳосил бўлаётган жуфтликларнинг аксарияти p - n ўтишга яқин жойда ҳосил бўлади. Ҳосил бўладиган электрон-ковак жуфтликлар бирлик чуқурликда қуйидаги тенглама орқали аниқланади.

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha \ell) \quad (8)$$

бу ерда, N_0 -бир бирлик юзага тушаётган квантлар сони. Жуфтликлар сони, ичкарига қараб камайиб боради. Уларнинг сонини ЯЎ материалда ютилиши мумкин бўлган соҳада α (E) ни аниқлаш мумкин. Кремний учун натижаси, бир неча қийматга эга бўлган тўлқин узунликларидаги ҳисоблашлар n - ва p -турдаги материаллардаги заряд ташувчиларнинг диффузион узунликлари соҳаларини, p - n ўтиш перпендикуляр бўлган ҳол учун заряд ташувчилар жамлаш жараёнини баҳолаш имконини беради.

Қуёш элементларининг планар конструкцияси (оптик нурланиш тузилма юзасига перпендикуляр тушган ҳол) ҚЭ технологиясида ва уларни амалий ишлатишдаги асосий конструкциядир. Бундай ҚЭ ҳар хил ЯЎ материаллар асосида ишлаб чиқилди. Юқорида келтирилган таҳлиллар асосида юқори самарали оптималлашган конструкциялар ишлаб чиқилди. Аммо ҳар қандай материал учун ҳам уларга қўйиладиган, юқорида келтирилган, асосий талаблар сақлаб қолиниши кераклиги аниқланди. γ ва $I_{кз}$ ни ошириш учун p - n ўтишнинг иккала томонида ҳам албатта диффузион узунликни ошириш мақсадга мувофиқдир. Буни амалга ошириш учун керакли материал танлаш ва p - n ўтишни технологик тайёрлаш жараёнида диффузион узунликни камаймаслигига ҳаракат қилиш керак. Агар унинг

камайиши аниқ бўлса уни ҳисобга олиш зарурдир. Агар L_d ни фронтал сиртда ошириш имконияти бўлмаса, у ҳолда фронтал сирт қалинлигини $L_p \gg \ell$ га амал қилган ҳолда олиш керак. Шу асосда база параметрларини танлаш зарурдир.

Қуёш элементлари вольт-ампер характеристикаси

Қуёш элементларининг асосий характеристикаси ҳисобланган, вольт-ампер характеристика (ВАХ) ва спектрал сезгирлик ЯЎ материалларнинг оптик ва электрофизик хусусиятларига боғлиқдир.

ҚЭ ВАХ $p-n$ ўтишли ЯЎ диоднинг ВАХ идан янги I_ϕ ҳаднинг пайдо бўлиши билан фарқ қилади. I_ϕ – оптик нурланиш таъсирида қуёш элементида генерация бўлган токдир. Агар I_d – диод орқали оқаётган ток ва I – ташқи юкланма орқали оқаётган ток бўлса, у ҳолда,

$$I_\phi = I_d + I \quad (1.9)$$

ва

$$I_d = I_0(\exp(qU/kT) - 1) \quad (1.10)$$

Бу ерда, I_0 – $p-n$ ўтишнинг тескари йўналишдаги тўйиниш токи, q – электрон заряди, T – мутлақ ҳарорат, k – Больцман доимийлиги, U – кучланиш.

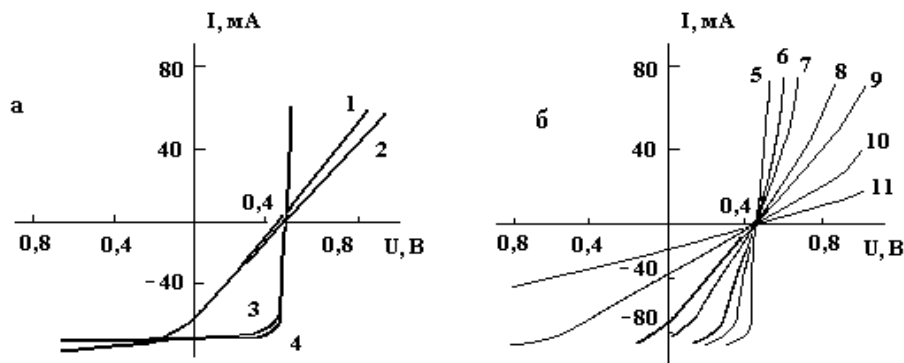
Қаршилиги чексиз бўлган очик занжир ҳоли учун, яъни $I=0$ да, юқоридаги тенгламадан

$$U_{xx} = \ln(I_\phi/I_0 + 1) kT/q \quad (1.11)$$

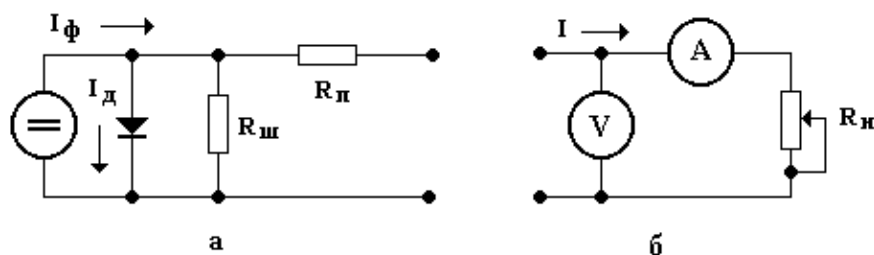
келиб чиқади. 6-расмда R_{II} ва R_{III} нинг турли хил қийматларида ҚЭ ВАХ нинг кўринишлари (а) ва R_{II} нинг $R_{III} = \infty$ даги қийматлари (б) келтирилган.

Амалда Қуёш элементларида кетма-кетлик қаршилигини ташкил қилувчилар бу контактларни ташкил қилувчи қатламлар қаршилиги, алоҳида

p - ва n -соҳалар қаршилиги, металл-ярим ўтказгич орасидаги ўтиш соҳалари қаршилиги, шунт қаршилиги ва ҳоказолардир.



Расм 16. ҚЭ ВАХ нинг кўринишлари (а) ва R_n нинг $R_{ш} = \infty$ даги қийматлари (б); 1- $R_{ш} = 100 \text{ Ом}$; 4- $R_n = 0, R_{ш} = \infty$; 5- 11 - $R_n = 0$; 1; 2; 3,5; 5; 10; ва 20 Ом $R_n = 5 \text{ Ом}, R_{ш} = 100 \text{ Ом}$; 2 - $R_n = 5 \text{ Ом}, R_{ш} = \infty$; 3- $R_n = 0$,



Расм 1.7 . Қуёш элементининг эквивалент (а) ва ўлчаиш (б) схемалари

Бу қаршиликларни ва p - n ўтишдаги рекомбинацион йўқотишларни ҳисобга олиб ВАХ ни мураккаброқ кўринишда ифода этиш мумкин, яъни

$$\ln(I + I_\phi)/I_0 - \{(U - IR)/I_0 R_{ш} + 1\} = q (U - I_m)/AkT \quad (1.12)$$

Киритилган коэффициент A , амалдаги асбобнинг идеал асбобга нисбатан яқинлик даражасини кўрсатади. Бу тенгламани амалиётга яқин қилиб қуйидагича ёзиш мумкин.

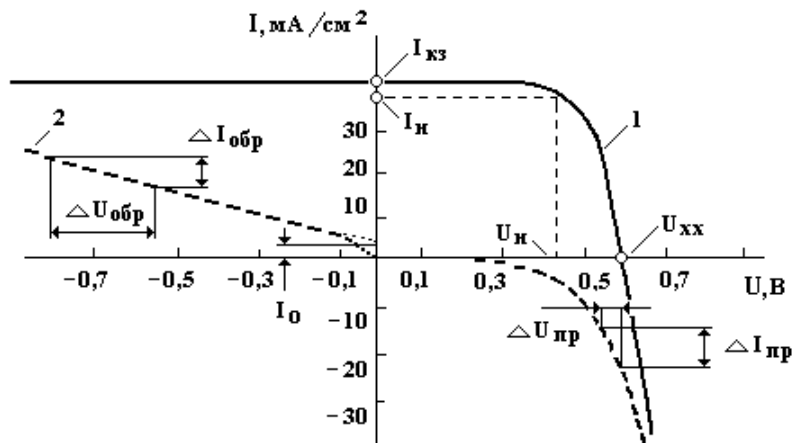
$$I = I_\phi - I_0 \{ \exp q(U + IR) / AkT - 1 \} - (U + IR)/R_{ш} \quad (1.13)$$

Бу тенглама асосида олинган айрим ҳисоб-китоб натижалари 6-расмда ва қуёш элементининг эквивалент ҳамда ўлчаш схемаси 1.7- расмда берилган.

Қуёш элементининг бирлик юзасидан олинаётган қувват P ни қуйидаги тенгламадан баҳолаш мумкин.

$$P = (I_n U_n) = \xi I_{kz} U_{xx} \quad (1.14)$$

бу ерда, ξ – вольт-ампер характеристиканинг тўлдириш коэффициенти, яъни ВАХ шаклининг тўғри тўртбурчакка қай даражада яқинлигини кўрсатади. Тўлдириш коэффициенти ҳозирги замон ҚЭ ларида (кремний ва галлий арсениди асосидаги элементларда) 0,8 ва ундан каттадир. Кетма-кетлик ва шунт қаршилиги таъсирини 1.6- расмдан ВАХ га таъсирини кўриб ўтайлик. Расмдан кўринадикки шунт қаршилиги $R_{ш}$ ни чексизликдан 100 Ом гача камайиши ВАХ шаклига ва ҚЭ нинг чиқиш қуввати P_v га деярли таъсири этмайди. Холбуки, $R_{ш}$ нинг 1 Ом дан 5 Ом гача ўзгариши, ВАХ шаклини кескин ёмонлашишига ва чиқиш қуввати P_v нисбатан камайишига олиб келади.



Расм 1.8. Атмосферадан ташқари ҳолдаги Қуёш нурланиши учун ўлчанган ҳозирги замон кремний асосидаги ҚЭ нинг типик вольт-ампер характеристикаси. 1 – ёруғлик таъсиридаги; 2 – қоронғиликдаги ҳолатлар.

ҚЭ ВАХ нинг ёруғлик ва қоронғиликдаги хусусиятларини аниқроқ таҳлил қилиш мумкин. Одатда кучланиш даражасига қараб $p-n$ ўтишдан

ўтаётган тескари тўйиниш токининг ўтиш механизми ўзгаради. Бу ток одатда иккита токнинг йиғиндисидан иборат, яъни

$$I = I_{o1} [\exp(qU/AkT) - 1] + I_{o2} [\exp(qU/AkT) - 1] - I_{\phi} \quad (1.15)$$

Бу ерда, I_{o1} – юпка p - n ўтиш орқали диффузион механизм воситасида оқаётган ток, I_{o2} -, эса $A = 2$ га тенг бўлганда хол учун p - n ўтиш соҳасида рекомбинация ҳодисаси учун тескари тўйиниш токи. Қуёш элементларининг қоронғилик ва ёруғликда ўлчанган ВАХ асосида уларнинг айрим параметрларини аниқлаш мумкин. Булар жумласига I_o , R_{π} , $R_{ш}$, A параметрлар киради. Қуйидаги келтирилган 8- расмда АМ 0 шароитида ва қоронғиликда олинган ҚЭ нинг типик ВАХ лари келтирилган. Биринчи квадрантдаги ёруғлик шароитида олинган ВАХ ва унинг тўртинчи квадрантдаги давоми тўғри чизиқлидир. Бу тўғри чизиқнинг токлар ўқиға қиялиги ҚЭ нинг кетма-кетлик қаршилигини белгилайди:

$$R_{\pi} = \Delta U_{\pi\pi} / \Delta i_{\pi\pi} \quad (1.16),$$

бу ерда, $\Delta U_{\pi\pi} / \Delta i_{\pi\pi}$ қийматининг U_{xx} га яқин соҳасидаги ўзгариши олинади. Келтирилган характеристиканинг биринчи квадрантдаги қисми ва унинг иккинчи квадрантдаги давоми тўғри чизиқдир. Унинг кучланишлар ўқиға оғмаси ҚЭ даги шунт қаршилиги $R_{ш}$ ни қийматини белгилайди, яъни

$$R_{ш} = \Delta U'_{\pi\pi} / \Delta I'_{\pi\pi} \quad (1.17)$$

бу ерда $\Delta U'_{\pi\pi}$ ва $\Delta I'_{\pi\pi}$ лар қийматлари қисқа туташув токи $I_{кз}$ га яқин соҳадаги ўзгариши олинади.

Ёруғликда олинган ВАХ нинг қисқа туташув токи $I_{кз}$ атрофидаги тўғри чизиқ қиялигини ўзгартирилиши қийин бўлганлиги учун, шунт қаршилиги

$R_{ш}$ қоронғиликда олинган ВАХ нинг қиялигидан аниқланади (иккинчи квадрант штрих чизик), яъни

$$R_{ш} = \Delta U_{обр} / \Delta I_{обр} \quad (1.18)$$

Қоронғиликда олинган характеристика ёрдамида тескари тўйиниш токи I_0 ни аниқлаш мумкин. Қуёш элементлари $p-n$ ўтиши иш режимда тўғри йўналишда уланган бўлади, яъни оптик нурланиши таъсири натижасида мувозанатда бўлмаган заряд ташувчиларнинг $p-n$ ўтишга иккала томондан ҳосил бўлиши, бу $p-n$ ўтишнинг тўғри йўналишда уланганлигини кўрсатади. Шунинг учун, тескари тўйиниш токи I_0 ва идеалланиш коэффициенти A нинг тўғри йўналишдаги қоронғиликда ёки ёруғликда ўлчанган ВАХ дан топиш мақсадга мувофиқдир. Қоронғиликда олинган ВАХ га таалуқли диод тенгламасини бошқача кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\ln(I_d + I_0) = \ln I_0 + qU/AkT \quad (1.19)$$

бу тенглама ҳисоб-китоб учун токнинг қиймати катта бўлган $I_d \gg I_0$ шароитда ишлатилиши ва тескари тўйиниш токи рекомбинацион механизм асосида $p-n$ ўтиш орқали ўтадиган ҳоли учун ишлатилиши мумкин. ҚЭ нинг тўғри йўналишда ўлчанган ВАХ (катта ток ва кучланишлар учун) асосида $\ln I_0 = f(U)$ функциясини чизиш мумкин. Бу тенглама қиялигининг тангенси q/AkT га тенг бўлади. Унинг ордината ўқида кесган кесмаси $\ln I_0$ нинг қийматини беради.

ҚЭ реал ишлашига яқин шароитда I_0 ва A нинг қийматини аниқлашнинг яна бир усули мавжуд. Бунинг учун ёруғлик оқими зичлигининг ҳеч бўлмаганда икки хил қийматида имитатор ёрдамида ҚЭ нинг ВАХ ўлчанади. Кетма-кетлик қаршилиги $R_{п}$ учун кучланишлар пасайиши ва $p-n$ ўтиш соҳасида рекомбинация бўлиши жараёни учун юқоридаги тенгламани келтирамиз, яъни

$$I = I_0[\exp\{q(U-IR_p)/AkT\} - 1] - I_\phi \quad (1.20)$$

Салт юриш режимида $I = 0$, $U = U_{xx}$ бўлгани учун, $R_p = 0$ ва u ҳолда $I_\phi = I_{kз}$ деб олиш мумкин. U ҳолда

$$\ln(I_{kз} + I_0) = \ln I_0 = qU_{xx}/AkT \quad (1.21)$$

Бу тенгламани қўллаш учун эталонли ҚЭ ёрдамида ҳар бир янги оптик нурланиш оқими зичлигига тўғри келадиган $I_{kз} = f(E)$ тенгламанинг чизиқли қийматлари топилади ва ундан $I_{kз}$ ва U_{xx} аниқланади. Тангенс бурчагидан q/AkT нинг қиймати топилади ва унинг ордината ўқи билан кесишадиган кесмасидан $\ln I_0$ нинг қиймати аниқланади.

*Қуёш элементларини ташкил қилувчи тузилмаларнинг
хусусиятларини ўрганиш*

Юқорида келтирилган қонуниятлар шуни кўрсатадики, ҳар бир жараённинг самарадорлиги ЯЎ материалнинг оптик ва электрофизик хусусиятларига (тузилма сиртидан ёруғликнинг қайтишига, фотоионизация ҳодисасининг квант чиқишига, асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион йўлининг узунлиги L_n га, асосий ютилиш чегарасининг спектрал ҳолатига ва ҳоказоларга), p - n ўтишнинг характеристикасига (электр тоқининг ўтказиш механизмига, потенциал тўсикнинг катталигига, хажмий заряд соҳасининг кенглигига), геометрик факторга (база материалнинг диффузион йўли узунлиги ва база қалинлиги орасидаги муносабатга, яъни L_n ва ℓ га), ҳамда n - ва p -соҳалардаги ЯЎ материалнинг легирланиш даражасига боғлиқдир. Бундан ташқари кетма-кетлик қаршилиги R_p нинг ВАХ шаклига ва қувват P га таъсирини аниқлаш зарурдир. Ўз навбатида кетма-кетлик қаршилигининг қиймати уни ташкил қилувчи қисмлар қаршиликлари ва контакт қатламларининг геометрик жойлашуви билан ҳам аниқланади. Бир-бирига қарама-қарши бўлган талабларни компромисс техник ечимларга

келтириш натижасида тушаётган ёруғлик нурланишига перпендикуляр жойлашган *p-n* ўтишли ҚЭ конструкцияси танлаб олинган. Ҳозирги замонда айрим қўшимчалар киритилган ҳолда (тортувчи электр майдони киритилиши, орқа томондаги контактга изотип тўсиқлар олиш, бутун қопламали контактни тўрсимон контактга алмаштириш, сиртки юзани текстуралаш, орқа томонга акслантирувчи қопламалар ясаш) юқоридаги конструкция сақлаб қолинган.

Қуёш элементини самарадорлигини ошириш мақсадида унинг фронтал ёруғликни қабул қилувчи томонига радиацион-ҳимоя қопламаси, ҳароратни бошқарувчи ва юзани тиниқлаштирувчи қопламалар ҳосил қилинади. Қуёш элементининг ишлаши жараёнида бу қопламалар материал ичига кирувчи нурланиш миқдорини кўпайтиради, ортиқча иссиқликни нурлантириш ҳисобига камайтиради. Бундан ташқари қопламалар Ерда ноқулай иқлим шароитларида ва коинотда уларни радиациядан ҳимоя қилади.

Қуёш элементи фронтал, оптик нурланишга қаратилган юзасини, одатда фосфор атомлари киритилган кремнийнинг юпқа қатламидан тайёрланади ва уни 10^{20} см⁻³ гача ва ундан ҳам кўпроқ даражагача легирлашади.

Элементнинг базасига эса бор киришмаси 10^{15} - 10^{16} см⁻³ даражагача киритилади. ҚЭ нинг оптик нурланишга қаратилган фронтал сиртини 5-7 % гача эгаллаган ҳар хил топологияли тўрсимон контакт билан қопланади. Элементнинг орқа сиртининг юзаси эса бутунлай қоплама ёки тўрсимон қоплама билан қопланади.

P-n ўтишдан электр майдони воситасида ажратилаётган асосий бўлмаган заряд ташувчилар ташқи занжирга ўтиши керак. Яў материал фронтал сиртида (*n*-тур қопламада) зарядлар қоплама бўйлаб ҳаракатланса, қуёш элементи базасида (*p*-типдаги материалда) уларнинг ҳаракати перпендикуляр йўналишда бўлади. Ўта легирланган фронтал қатламда асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион йўли узунлиги 0,2-0,6 мкм ни ташкил этади. Элемент базасида эса бу катталик 100-250 мкм гача боради ва уларнинг қийматлари зарядлар концентрацияси ва ҚЭ тайёрлаш

жараёнида бажариладиган технологик операцияларнинг режимига боғлиқ бўлади.

Айтиш жоизки, қуёш элементларини тайёрлаш жараёнида бажариладиган технологик операциялар давомида ЯЎ материалда керак бўлмаган, назорат қилиб бўлмайдиган киришмалар ва рекомбинация марказлари пайдо бўлиши натижасида унинг дастлабки параметрлари ўзгаради. Шунинг учун, ЯЎ материал параметрларини қуёш элементлари тайёрлаш жараёни охирида турли хил воситалар билан қайтадан ўлчаш мақсадга мувофиқдир.

Легирланган фронтал қатламда диффузион узунлик қийматининг нисбатан камлиги p - n ўтишни саёзроқ қилишни талаб қилади (ҳозирги замон ҚЭ ларида фронтал қатлам қалинлигини 0,3-0,5 мкм қилиб олинади). Аммо, ҚЭ га тушаётган Қуёш нурланишининг асосий қисмидан фойдаланиш учун, яъни $h\nu > E_g$ бажарилиши учун, қуёш элементи базаси қалинлигини 200 мкм дан кам бўлмаслиги талаб қилинади. Бундай қалинликдаги кремний пластиналари нисбатан механик ишлов беришга яроқли бўлиши билан бирга, уларда нурланишнинг 93-95 % гача қисми ютилиши мумкин. База соҳасининг қаршилиги унча катта қийматда бўлмайди, чунки ток қалин базага перпендикуляр равишда ўтади.

Тайёрланадиган омик контактнинг биринчи қатлами алюминийдан қилинади. Алюминий p -материалда киришма бўлгани учун, у кремнийга яхши омик контакт беради ва кейин унинг устига Ti, Pd, Ag ёки Ni ва керакли припой қотишмаси қопланади.

Қуёш элементининг фронтал n -қатламининг қаршилиги нисбатан катта бўлиб 50-100 Ом/м² гача бориши мумкин. Бундай қаршилиқни енгил учун юқорида кўрсатилган материаллардан бирин кетин қатламлар ўтказилади. Бу технологик жараёнлар ўтказилишида фронтал юпқа қатламни электрик тешилишини олдини олиниши талаб қилинади.

Илмий тадқиқотлар шуни кўрсатадики, агар фронтал юпқа қатламга контакт материали дастлаб бутун сиртга қоплама сифатида олиниб, кейин

маълум шаклли расмни фотолитографик жараён воситаси билан химик емириш орқали бажарилса, фронтал юзада кўплаб микро тешилган худудлар пайдо бўлар экан. Бу эса ўз навбатида, шунт қаршилигини камайтириб тескари тўйиниш токи I_0 ни ошириб юборар экан. Шунинг учун фронтал контактлар топологиясини ниқоб орқали ёки фотолитографик жараёни контакт олинишидан олдин ўтказилиши талаб қилинади.

Юзаси $2 \times 2 \text{ см}^2$ бўлган ҚЭ фронтал сиртининг қатлам қаршилиги 50 дан 100 Ом/ м^2 гача бўлса, унга бир дона кенглиги 0,5-1 мм ли коллектор (йиғувчи) йўлкаси ва 6 тадан 12 гача ундан чиқувчи кенглиги 0,05-0,1 мм бўлган йулкачалар ўтказилади. Натижада кетма-кетлик қаршилиги $R_{\text{п}}$ ни 0,15-0,2 Ом гача камайтириш мумкин бўлади. Аммо, саёз p - n ўтишлар тайёрланганда (мисол, $\ell=0,15$ -0,4 мкм) фронтал қатлам қаршилиги 500 Ом/ м^2 гача ортиши мумкин, у ҳолда 4 см^2 юзали куёш элементида йўлкачалар сонини 60 гача кўпайтирилади. Йўлкачалар кенглигини 15-20 мкм қилиниб, электрохимик қайта ўстиришлар воситасида контакт қалинлиги 3-5 мкм гача етказилади. Агар ҳисоб китоб аниқ бўлиб, технологик жараёнлар мукамал бажарилса, куёш элементининг ВАХ кескин яхшиланади.

Куёш элементларини тайёрлаш учун керак бўладиган оптимал параметрли ярим ўтказгичли материаллар

Куёш элементлари яратишнинг дастлабки даврларида Куёш нурланишининг спектри максимумига қиёслаб, оптимал материал сифатида ман қилинган соҳасининг кенглиги 2 эВ бўлган ЯЎ материал олинган. Кейинчалик эса, шу нарса аниқландики, фотоактив квантлар сонини ошириш ва қисқа туташув токиннинг ўсиши учун ман қилинган соҳа кенглиги E_g нинг қиймати 2 эВ дан кичик бўлиши керак экан. Аммо бу ҳолат учун генерация қилинаётган фото-ЭЮК нинг қиймати нисбатан камайиши аниқ, чунки p - n ўтишдаги потенциал тўсиқ қиймати пасаяди.

Кейинчалик варизон (ман қилинган соҳа қийматини ўзгартириш имконияти мавжуд бўлган материаллар) ЯЎ материалларни ҚЭ тайёрлашда

ишлатилиши имконияти пайдо бўлганида, уларни тадбиқ қилишнинг 2 тури таклиф қилинди.

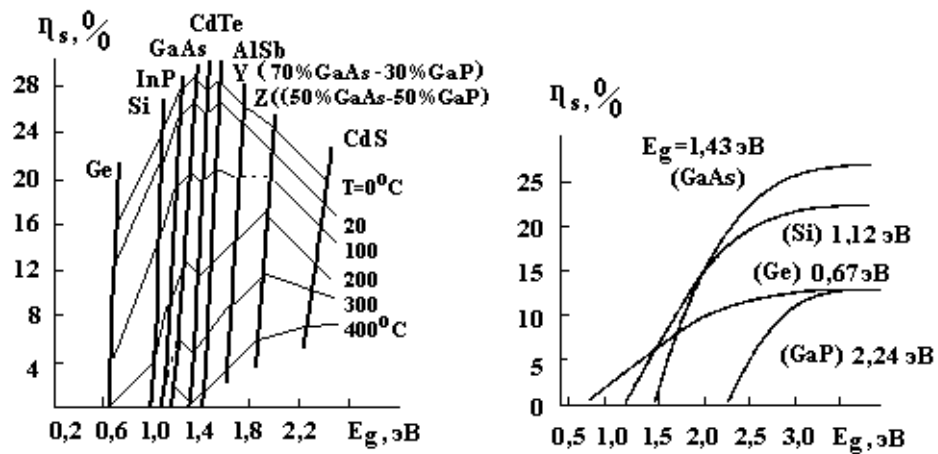
1. Бевосита гетероўтишларни қўллаш.

2. Ман қилинган соҳаси қиймати база материали ман қилинган соҳаси қийматидан катта бўлган ЯЎ қатламни кенг соҳали дарча сифатида қўллаш.

База сифатида қўлланилиши керак бўлган материалнинг ҚЭ хусусиятларига таъсири туғрисида икки хил қарама-қарши нуқтаи назар мавжуд. ҚЭ Ф.И.К. нинг база материали ман қилинган соҳаси кенглигига жиддий боғлиқлигини асослаш учун элемент ВАХ ни таҳлил қилиш ва унга тушаётган оптик нурланиш спектри таъсирини ўрганиш зарур.

1956 йил Ж.Лоферский томонидан Ер шароитидаги Қуёш нурланиши спектри учун юқорида талаб қилинган назарий ҳисоб - китоб бажарилди. Ҳар хил оптималлашган материалдан тайёрланган ҚЭ учун оптик ва фотоэлектрик йўқотишларнинг қиймати баҳоланди. Бундай намуналарнинг натижалари қуйидаги 9-расмда кўрсатилган.

Расмдан шу нарса кўринадикки, кремний материали асосидаги қуёш элементлари фойдали иш коэффициентида каттароқ Ф.И.К. олиш имконияти, ман қилинган соҳаси 1,1-1,6 эВ интервалида бўлган ЯЎ материалларида мавжуд. Максимал фотоэлектрик самарадорлик олиш (максимал Ф.И.К.) учун ҚЭ ВАХ га тегишли бўлган A ва I_0 параметрлар ёрдамида аниқланадиган тесқари тўйиниш токининг $p-n$ ўтиш орқали ўтиш механизмини аниқлаш ўта муҳимдир. ЯЎ материалнинг қуёш нурланиши фотоактив ютилишининг спектрал соҳасини кенгайтиришга нисбатан, $p-n$ ўтишнинг юқорида қайд этилган параметрларини мукамаллаштириш самарадорликни оширишга имкони кўпроқдир. Гомоген ЯЎ материал асосидаги $p-n$ ўтишли қуёш элементларда $p-n$ ўтиш одатда ёруғлик таъсирида унинг иккала томонида ҳосил бўлган ортиқча асосий бўлмаган заряд ташувчиларни ажратади ва йиғади.

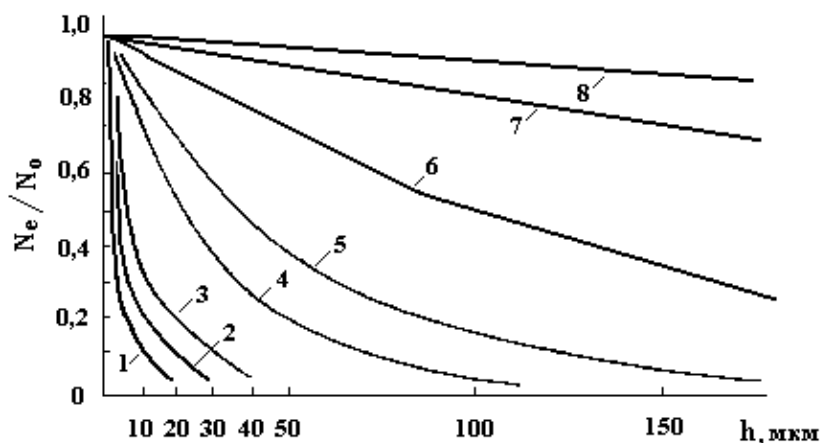


Расм 1.9. Ҳар хил материал асосидаги қуёш элементлари фойдали ши коэффициентининг ярим ўтказгичли кристалл ман қилинган соҳа кенглигига боғланиши.

Қуёш элементининг эффектив квант чиқиши $Q_{эфф}$ ва йиғиш коэффициенти γ амалда бир хил катталиқдир, шунинг учун бу икки катталиқни бир хил белгида ёзамиз ва уни йиғиш коэффициенти Q деб атаймиз. Бу физик катталиқ, $p-n$ ўтиш орқали ўтган ва ажратилган ортиқча заряд ташувчиларнинг оптик нурланиш воситасида ҳосил қилинган электрон-ковак жуфтликлар сонига, нисбатидир. Q худди $p-n$ ўтиш орқали ўтаётган тоқлардек, p - ва n -соҳалар йиғиш коэффициентларининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$Q = Q_n + Q_p = I_{кз}/(1-r)qN_e,$$

бу ерда $I_{кз}$ p - ва n -соҳалардаги электрон ва коваклар тоқларининг йиғиндисидир. Яъни материал ичига кирган қуёш нурланиши фотонлари тақсимооти N_e , материал учун белгиланган $\alpha(\lambda)$ орқали ҳисобланади. Шундай ҳисоб-китоблар натижаси, кремний материали учун қуйидаги 10 - расмда келтирилган.



Расм.1.10 Нурланишнинг хар хил тўлқин узунликлари учун кремнийдаги ℓ чуқурликкача етиб борган фотонларнинг нисбий қиймати.

1 – 0,5 мкм; 2 – 0,7 мкм; 3 – 0,8 мкм; 4 – 0,9 мкм; 5 – 0,95; 6 – 1,0 мкм; 7 – 0,05 мкм; 8 – 1,1 мкм.

Қуёш элементлар тайёрланадиган материалнинг турли чуқурликдаги қатламларидан заряд ташувчиларнинг йиғилишини нисбий баҳолаш учун, кремнийга тушаётган оптик нурланишнинг тўлқин узунликларига қараб нисбатан кириш қобилияти ($1/\alpha$) ҳақидаги маълумотлар қуйидаги жадвалда келтирилган ($\alpha = 4\pi k$).

λ	0,45	0,5	0,56	0,6	0,65	0,7	0,75
$1/\alpha$	0,4	0,89	1,61	2,12	3,06	4,33	6,14
λ	0,80	0,85	0,90	0,95	1,05	1,10	
$1/\alpha$	8,90	14,0	24	63	2000	4000	

$P-n$ ўтиш орқали оқаетган диффузион ток (қиска туташув токининг ташкил этувчиси), киришмаларнинг p -тип материалдан қилинган базадаги тақсимоти бир текис ва тортувчи электр майдони мавжуд бўлмаган ҳолати учун

$$I_{кз} = q \alpha L_{п} N_o(-\alpha \ell_{п}/(1 + \alpha \ell_{п})) \quad (1.22)$$

Агар база n -тип ўтказувчанликка эга бўлса, тенгламадаги $L_{п}$, L_p га алмашади. Бу тенглама ёрдамида ҚЭ базасидаги диффузион узунликларнинг оддий ва ҳақиқатга яқин қийматини аниқлаш усулини топиш мумкин. Қисқа туташув токи $I_{кз}$ ва йиғиш коэффициенти Q нинг узун тўлқинли қисми ўзгаришининг (~ 1 мкм атрофидаги) легирланган қатламдаги ютилишини ҳисобга олмаслик мумкин, ва натижада $I_{кз}$ ва Q нинг қиймати элемент базасидаги уларнинг қийматлари билан аниқланади. Шунинг учун, йиғиш коэффициентининг спектрал боғланишини қуйидагича ифодалаш мумкин.

$$Q(\lambda) = \alpha L_{п} \exp(-\alpha \ell_{п}/(1 + \alpha \ell_{п})) \quad (1.23)$$

Ҳозирги замон ҚЭ учун $\ell_{п} \approx 0,15-0,5$ мкм ва $\lambda=1$ мкм да $A=80 \text{ см}^{-1}$ бўлгани учун, $\exp(-\alpha \ell_{п})$ нинг қиймати 1 га яқин бўлади. Натижада юқоридаги тенглама янада соддалашиб $L_{п} = Q(\lambda)/\alpha[1 - Q(\lambda)]$ кўринишни олади. ҚЭ нинг қисқа туташув токини ва аксланиш коэффициенти r нинг $\lambda = 1$ мкм даги ва N_e ни қийматини (юқоридаги расмдан) билган ҳолда Q нинг $\lambda = 1$ мкм бўлгандаги қийматини ёки $L_{п}$ ни топиш мумкин. Агар ҳисоб-китоб 3 та бири-бирига яқин қийматдаги тўлқин узунликлари учун олиб борилса (Масалан, $\lambda = 0,95$ мкм, 1,0 мкм, 1,05 мкм ларда) ва $L_{п}$ нинг учта қийматидан ўртачаси олинса аниқлаш ҳақиқатга яқинроқ бўлади. Агар ҚЭ нинг базасида ёки фронтал қатламида элемент самарадорлигини ошириш учун тортувчи электр майдонлар ҳосил қилинган бўлса, $L_{п}$ нинг қиймати қатлам қалинлиги бўйича ўзгарувчан характерга эга бўлади ва уни аниқлаш қийинроқ бўлади.

Сўнгги вақтларда диффузион узунликни ҳисоблашнинг ва тажрибавий ўлчашнинг оддий усуллари ишлаб чиқилмоқда. Фронтал қатламда асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг қийматини ҳисоблаш усулларида бири (ℓ/L ни ўлчашдир) таққослаш усулидир, яъни агар аввалроқ ℓ аниқланган бўлса, Q нинг қисқа тўлқинли қисми учун тажрибавий аниқланган ва ҳисоб-китоб

килинган қийматлари таққосланади. $P-n$ ўтиш чуқурлигини аниқ баҳолаш усуллари мавжуд бўлиб, улар қаторига анодлаш, шар ва қийшиқ шлиф ёрдамида аниқлаш усуллари киради. Йиғиш коэффиценти Q нинг маълум қисмини алоҳида таҳлил қилиш асосида (спектрнинг қисқа тўлқин узунлигидаги қисмида), агар диффузия коэффиценти D аниқланган бўлса, S/D нинг қийматини топиш мумкин. Кейин рекомбинация доимийси S ни аниқлаб, ℓ ни фронтал қатлам қалинлиги ўрнига қуйиб L_p ни ҳисоблаб топиш мумкин. Яна бир усул бу спектрал сезгирликнинг максимал қийматидан $p-n$ ўтиш чуқурлигини ва L_n ни топишдир.

1.3. Қуёш элементининг фойдали иш коэффиценти

Қуёш элементининг фойдали иш коэффиценти тушунчаси

Қуёш элементи фойдали иш коэффиценти деб, қуёш элементи ишлаб чиқарган энергиясининг, элемент юзига тушаётган нурланиш энергиясининг нисбатига айтилади.

Қуёш элементи ва қуёш батареясининг фойдали иш коэффицентини (Ф.И.К.) аниқлаш учун тушаётган оптик нурланиш энергиясининг миқдорини ва элемент ёки батарея ишлаб чиқарган электр энергиясининг миқдорини билиш зарур. Ф.И.К.ни аниқлаш учун қуйида келтирилган масалаларни ечиш керак бўлади.

1. Қуёш нурланиши атмосфера ҳолатига ва унинг вақт давомида тез ўзгаришига олиб келганлиги учун, унинг спектрал таркибини ва қувватини аниқ ўлчаш.
2. Биринчи пунктни ҳисобга олган ҳолда Қуёш характеристикасини қайтара оладиган имитаторлар (қуёшдан тарқалаётган оптик нурларига ўхшаш нурлар пайдо қила оладиган курилмалар) тайёрлаш.

3. Имитаторларда таққослаш учун ишлатиладиган ҚЭ, параметрлари вақт давомида стабил ўзгармайдиган, керакли спектрал сезгирликка ва диапазонга эга бўлиши керак.
4. Қуёш элементлари ва батареяларининг электрик параметрларини ўлчаш давомида ўлчов асбобларининг кетма-кетлик қаршилигининг таъсирини ҳисобга олиш зарур.

Хулоса қилиб айтганда, қуёш элементлари ва батареяларининг Ф.И.К.ни аниқлаш бу мураккаб комплекс масала бўлиб, уни алоҳида ўрганиш лозим бўлади.

Қуёш элементларининг асосий ўлчанадиган параметри бу оптик нурланиш тушиш давомида юкланма уланганида ўлчанадиган вольт-ампер характеристикасидир. Бу характеристикани ўлчаш натижасида керакли бўлган қуйида келтирилган параметрлар топилади;

1. ҚЭ ишлаб чиқараётган қувват $P = U_{opt} I_{opt}$ ни ҳисоблаб топиш,
2. Салт юриш кучланишининг ўлчанган (U_{xx}) қийматига асосан, ЯЎ материал ман қилинган соҳасининг тузилмада ишлатиш самарадорлигини аниқлаш мумкин,
3. Элементнинг қисқа туташув токи ва тўлдириш коэффициенти ($I_{кз}$ ва ξ) асосида тузилмадаги оптик ва фотоэлектрик йуқотишлар аниқлаш,
4. Қуёш элементи Ф.И.К.ни $\eta = I_{кз} U_{xx} 100\% / E_{пад} S$ ни аниқлаш мумкин (S -ҚЭ юзаси, $см^2$ ларда олинади).

Қуёш элементи фойдали иш коэффициенти аниқланиш даражаси элементга тушаётган оптик нурланишнинг энергиясини аниқ ўлчашга боғлиқ. Элементга тушаётган нурланиш энергиясини аниқлаш усулларида бири олдиндан даражаланган эталон ҚЭ параметрларини ўлчашдир.

Эталон учун мулжалланган ҚЭ ни градуировка қилиш учун қисқа туташув токи $I_{кз}$ нинг абсолют қийматини топиш керак. Бунинг учун мутлақ спектрал сезгирликни стандарт атмосферадан ташқари учун ёки Ер шароити учун нурланиш спектрига қайта ҳисоблаш керак. Қуёш элементи, батареяси

параметрини ўлчашни лаборатория шароитида, Ер ва коинот шароитларида ўлчаш усуллари мавжуд.

Қуёш нурланиши имитаторлари

Идеал ҳолатда қуёш нурланиши имитаторлари (ҚНИ) – бу қуёш нурланишининг ҳамма хусусиятларига жуда яқин хусусиятли нурланишлар ҳосил қила олиши лозим бўлган асбоб бўлиб, бундай хусусиятларга нурларнинг параллеллиги, вақт орасидаги стабиллиги, ёритилганликнинг бир текислиги, нурланиш оқимининг зичлиги, спектрал таркиби киради. Бундай асбоблар жуда қиммат ва мураккаб тузилишга эгадир, улардаги оптик нурланишнинг ва оқимнинг параметрлари қуёшниқидан фарқ қилади. Айрим ҳолларда ҚНИ махсус ҳолда лойиҳаланади ва тайёрланади.

Энг содда, параметрлари нисбатан стабил ишлаб чиқариш шароити учун мослашган, ҚНИ асосан вольфрамли чўғланиш лампалар асосида тайёрланади. Кўзгули ёки нисбатан хира акслантиргичлар билан таъминланиб, улар қуёш батареялари (ҚБ) юзаларини ҳисобга олган ҳолда ёритилганликни бошқариш имкониятига эга бўлади. Вольфрамли чўғланувчи лампалар нурланишининг нисбатан ИҚ нурланиши кўпроқ бўлгани учун, ўлчаш жараёнида ҚЭ ва батареяларини исишига олиб келади. Шунинг учун, кўпинча лампа ва ҚЭ лари орасига ИҚ нурланишни қисман қирқадиган филтрлар қуйилади. Бу филтрлар асосан шаффоф пластинага (мисол учун шишага) ўтказилган ИТО (индий ва қалай оксиди аралашмаси) қатламларидан тайёрланган.

Чўғланувчи лампа оптик нурланишининг ИҚ қисмини камайтиришнинг бошқа усули бу иссиқликни ютувчи филтрларни ишлатишдир. Бу филтрлар қалинлиги 20-40 мм ли сув қуйилган шаффоф идишлардир. Оддатда ўлчаш жараёнида бу сувли филтрни ўзини совутиш учун радиатор қурилмаси ёки бевосита оқувчи сув ишлатилади.

Нисбатан катта ўлчамли қуёш батареяларининг кўп сонли гуруҳлари параметрларини ўлчаш учун ҚНИ лар импульсли ксенон лампалар асосида

тайёрланади. Бу қурилмалар оптик қисмларсиз ишлайди. Бир текис ёритилганликка эришиш учун лампалар ҚБ ларидан кераклича узокда жойлаштирилиши мумкин. Оптик спектрни стандарт спектрга яқинлаштириш учун интерференцион ёки баъзан сувли филтрлар ишлатилади. Импульсли ксенон лампалар асосидаги ҚНИ лардан фойдаланилганда улар исимайди, ва ҳарорати уй ҳароратига яқинлигича қолади.

Махсус тажрибалар ва синовлар учун турли давлатларда қуёш батареяларини ўлчаш ҳарорати турличадир, мисол АҚШ ва Европада стандарт сифатида 28° С қабул қилинган.

Ҳар хил атмосфера массасида ўлчаш учун ҚНИ ясаш қийин масала. Ер шароитида Қуёш нурланишининг спектрал таркиби вақтга қараб ўзгаради. Мисол учун (МУ) АМ 1,5 стандарти учун спектрал диапазон 0,4-1,1 мкм оралигидадир.

Эталон қуёш элементлари ва уларни градуировка қилиш усуллари

Қуёш нурланиши имитаторларининг нурланиш энергиясининг спектрал тақсимланиши стандарт қуёш нурланишидан албатта фарқ қилади. ҚЭ сезгирлиги селектив (танловчи) бўлгани учун ҚНИ интенсивлигини носелектив нурланиш қабуллагичлари (радиометрлар) билан сошлаш мақсадга мувофиқ эмасдир. Шунинг учун, сезгирликни ва бошқа параметрларни ўлчашда махсус эталонли қуёш элементлари қўлланилади. Эталонли ёки стандарт ҚЭ – бу селектив сезгирликка эга бўлган амалдаги радиометрлардир.

Эталон ҚЭ ларининг қисқа туташув токини аниқлаб градуировка қилишда стандарт ёритилганликдан фойдаланиш талаб қилинади. Бунинг учун эталон элемент ёрдамида ҚНИ созланади – яъни унинг нурланиши оқими башқарилган ҳолда ўзгартирилиб, қисқа туташув токини стандарт ҳолдаги $I_{кз}$ га тенг бўлгунча давом эттирилади.

Таъкидлаш лозимки, ҚНИ иш соҳасининг энергетик ёритилганлиги аслида аниқ стандарт шароитдаги оптик нурланишнинг энергетик ёритилганлигини такрорламайди. Бунга асосий сабаб, нурланишни баҳолаш конкрет конструкцияли селектив сезгирликка эга бўлган, қуёш элементга таъсир орқали амалга оширилади.

Эталон ҚЭ ларини қўллаш, нурланиш манбаи сифатида энергиянинг тақсимланиш спектри ихтиёрий бўлган ҳолда ҳам, спектрларини коррекциялаш мумкин бўлган ҚНИ ёрдамида аниқлиги қониқарли даражада бўлган ўлчовлар олиб боришга имкон яратади. Бундай шароитда ҚЭ нинг фотоэлектрик характеристикасининг ўлчаш хатолиги эталонли ва ўлчанаётган элементларнинг спектрал сезгирлигининг фарқи даражаси билан аниқланади. Шунинг учун, эталон ҚЭ га қўйиладиган асосий талаблар қўйидагича – уларнинг оптик хусусиятлари ва спектрал характеристикалари ўлчаниши лозим бўлган элементнинг шундай характеристикасига мос бўлиши керак.

Эталон ҚЭ лойиҳалаш ва тайёрлаш – бу уларнинг конструкциясини, метрологик характеристикаларининг стабиллигини ўрганишни, гардуировка қилиш усулини ва уларни параметрларини ўлчаш жихозларини яратишни ва қўллашни тақозо қилади.

Эталон ҚЭ ларини ишлатилиш шароитига қараб турлича конструкцияли бўлиши мумкин. Уларга қўйиладиган асосий талаб – параметрларининг юқори даражада стабиллигининг сақланишидир. Ўз навбатида бу талаб элементнинг ҳароратни стабил қилган ҳолда аниқ ўлчашни тақозо этади. Эталонли қуёш элементнинг оддий конструкцияси бу махсус ўйилган металл пластинага ўрнатилган ва ҳимоя сифатида фронтал сиртига ойна ўрнатилган вариантыдир. Ҳароратни ўзгармас қилиб ушлаб туриш учун у иссиқликдан ҳимоя қилинган тагликка ўрнатилади.

Эталон сифатида ишлатиладиган ҚЭ, серия қилиб чиқарилаётган элементлардан танланади, ёки махсус тайёрланади. Танлаш жараёнида асосий эътиборни қуёш элементи тузилмасининг ён сирти томонларининг

сифатига, шунт ва кетма-кетлик қаршиликларининг катталигига қаратилади. Бу мақсадда ишлатилиши кўзда тутилган ҚЭ ларининг юзаси бир жинсли, спектрал сезгирлиги стабил, қисқа туташув токининг ҳарорат бўйича коэффиценти минимал бўлиши керак. Ер шароитида ишлатилиши кўзда тутилган эталонли ҚЭ лари учун спектрал сезгирликнинг тушаётган оптик нурланиш тушиш бурчагига ва қисқа туташув токи $I_{кз}$ нинг тушаётган нурланиш оқими зичлигига чизиқли муносабатда бўлиш боғлиқлиги амалда текширилади.

Эталон ҚЭ ни абсолют градуировка қилиш машаққатли иш бўлиб, бу жараён узок вақтни ва кўп харажатни талаб қилади. Эталонли ҚЭ лари қисқа туташув режимида ишлатилади. Уларнинг градуировка қилиш жараёни Қуёш нурланишининг спектрал таркиби ва зичлиги нормировка қилинган шароитда қисқа туташув токини аниқлашдан иборат бўлади.

Грудуировка қилишнинг икки принципиал фарқ қилувчи тури мавжуд.

1. Бевосита қуёш нурланишидан фойдаланиш усули.
2. Лаборатория шароитида ўлчов воситаларини ва олдиндан ўлчанган давлат эталонини қўллаш усули.

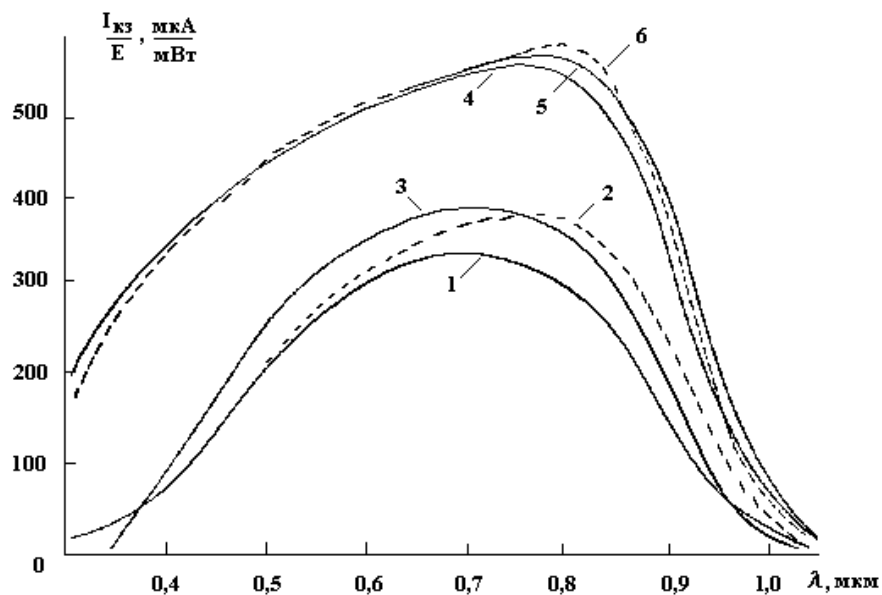
Ер шароитида бевосита Қуёш нурланишидан фойдаланиш усули одатда кўпроқ ишлатилади. Бунинг учун асосан денгиз сатҳидан бир неча минг метр баландликдаги тоғ худудларидан фойдаланилади ва кейин олинган натижалар АМ 0 шароити учун экстрополяция қилинади.

Градуировка қилиш жараёнида эталон ҚЭ ларининг қисқа туташув токи қийматини аста-секин ҳар хил атмосфера массалари учун ўзгартирилиб ўлчанади, яъни Қуёшнинг ҳар хил баландликдаги нурланиши учун ўлчанади. Ўлчаш жараёни стационар шароитда ўтказилади, шунинг учун атмосфера массасининг нисбатан ҳар хил қийматлари учун $I_{кз}$ нинг ўзгаришини аниқлаш кифоя. АМ 0 шароит учун тўғри келадиган қийматни топиш жараёни $\ln I_{кз}$ ни атмосфера массаси нольга тенг бўлган ҳол учун (АМ 0) чизиқли экстрополяция қилиш билан топилади. Ўлчаш жараёнини куннинг биринчи ярмида олиб бориш мақсадга мувофиқдир.

1.4. Юқори самарали қуёш элементлари

Юқори самарали кремний асосидаги ҚЭ ларининг янги конструкциялари

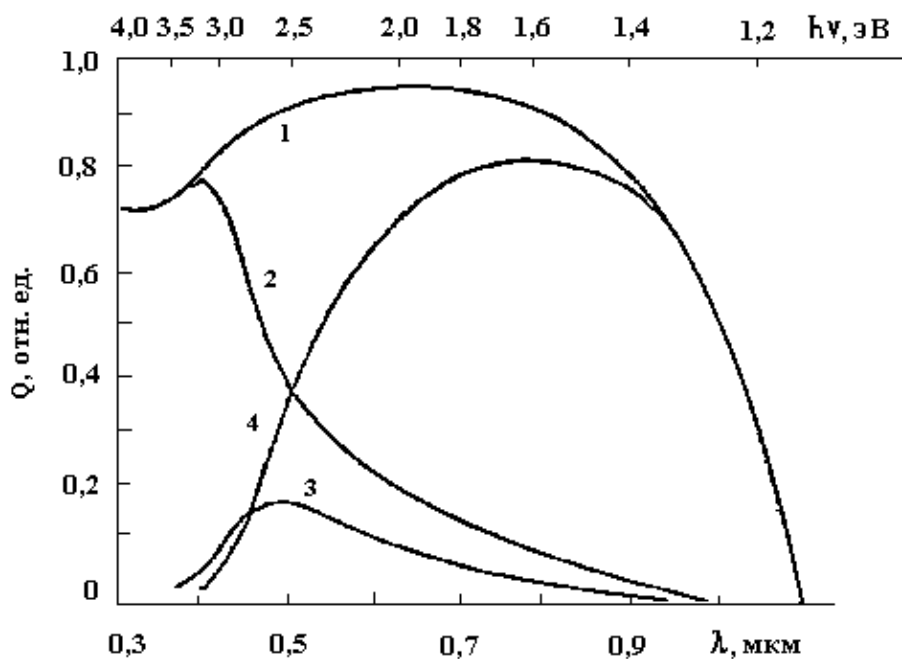
Кремний асосидаги $p-n$ ўтишли гомоген ЯЎ материаллари асосида яратилаётган ҚЭ ларининг самарадорлигини ошириш асосан потенциал тўсиқнинг чуқурлигини (қалинлигини) камайтириш орқали эришилмоқда. Бу параметр олдин кремний учун 7-10 мкм ни ташкил қилар эди, ҳозир эса бу 0,1 – 0,015 мкм гача камайтирилди. $P-n$ ўтиш чуқурлигини камайтириш ва уни юзага чиқариш мақсади умуман айтганда тушунарли ҳол, зеро қуёш нурланишининг катта қисми жуда юпқа қатламда ютилади. Аммо бу юпқа юза қисмида заряд йўқотишлар ҳам сирт рекомбинацияси натижасида жуда катта қийматларга эга бўлади.



Расм. 1.11. Кремний асосидаги ҚЭ ларининг абсолют спектрал сезгирлиги. 1-3 легирланган қатлам қалинлиги $\ell \geq 1,2$ мкм бўлган шаффофлантирилмаган қатламли элемент; 4-6 $\ell \leq 0,3$ мкм, (легирланган қатлам қалинлиги) шаффофлантирилган элемент.

Бу йўналишдаги мантиқий чегара бўлиб ҚЭ ларининг сирт-тўсиқли тизимларнинг ҳар хил турлари ҳисобланади. Улар умуман легирланган қатламсиз бўлиб, ҳажмий заряд ҳосил қилган майдон деярли фронтал юзагагина таъсир қилади. Шундай ҚЭ ларини бир-бирига таққослаш мақсадида уларнинг спектрал характеристикалари 11-расмда келтирилган.

Кремний асосидаги қуёш элементларининг самарадорлигини ҳисоблаш усули билан аниқланган спектрал характеристикаси 12-расмда кўрсатилган. Бу расмга асосан умумий йиғиш коэффициентининг спектрал ўзгариши ҚЭ ни ташкил қилувчи айрим қисмлар спектрал улушларининг спектрал ўзгаришлари билан аниқланади.



Расм 12. Кремний асосидаги қуёш элементларида умумий йиғиш коэффициентининг спектрал ўзгариши (1), фронтал қатламнинг йиғиш коэффициентидagi ҳиссаси (2), ҳажмий заряд қисмининг ҳиссаси (3), база қисмининг ҳиссаси (4).

P-n ўтиш чуқурлиги $\sim 0,2$ мкм бўлган кремний асосидаги ҚЭ ишлаб чиқарилиши натижасида, қисқа тўлқинли оптик нурланиш таъсирида ҳосил бўладиган заряд ташувчиларнинг фазовий ажратиш муаммосини кўп жихатдан ҳал бўлди. Ҳақиқатдан, шу турдаги қуёш элементларида ҳаттоки $\lambda = 0,4$ мкм да ҳам йиғиш коэффициенти қийматини $\xi = 0,9$ гача етказиш имкониятини пайдо бўлди. Ҳолбуки $\ell > 0,4$ мкм ли ҚЭ ларида шу спектр соҳасида йиғиш коэффициенти атиги 0,5 атрофида бўлиши аниқланган эди. Шунинг учун, бундай турдаги ҚЭ бинафша-кўк спектр соҳасида ўта юқори сезгирликка эга бўлганлиги сабабли «бинафша» қуёш элементлари деган номни олди. Бундай ҚЭ қисқа туташув токи $I_{кз}$ зичлиги 40-42 мА/см² га етказилди. Қисқа тўлқинли қисмдаги қисман йўқотишларни ҚЭ нинг конструкциясини мукаммаллаштириш ҳисобига эмас, балки элементнинг оптик параметрларини, яъни металл контактнинг қайтариш коэффициентини ва у эгаллаган юзани камайтириш ҳисобига эришиш мумкин.

Элементнинг легирланган фронтал қатлами қалинлигини камайтириш фақат фотосезгирликнигина ошириб қолмай, шу билан бирга ҚЭ нинг диод характеристикасини ҳам яхшилар экан. Ҳисоблашлар ва тажрибалар шуни кўрсатадики, легирланган қатлам параметрлари нисбатан тескари тўйиниш токи I_0 га, ва натижада, фото-ЭЮК га ҳам таъсир қилади. Тескари тўйиниш токи I_0 ни камайтириш жараёнида фронтал қатлам қалинлигини камайтириш билан бирга киришмалар концентрациясини бирмунча пасайтириш ($\sim 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³ га қадар) лозим ва қатлам қаршилигининг нисбатан ортишини тўрсимон омик контакт топологиясини оптималлаштириш ҳисобига компенсация қилиш мумкин.

Кремний пластиналари юзисига ишлов беришнинг янги – юзадан нур қайтаришни камайтирувчи ва шу туфайли Ф.И.К.ни оширувчи усули яратилди. Бундай ҚЭ ларининг фронтал сиртида пирамидасимон, текстурали рельеф ҳосил қилинади, ва пирамида ён томонидан қайтган нур, кейинги пирамида ён томонига тушиб, кристалл юзига қайтарилади.

Шунинг учун, антирефлексион қатлам олинмаган юзада ҳам ҳосил қилинган пирамидасимон рельеф ҳисобига оптик йўқотишларни 10 % гача камайтиради. Қушимча сифатида шуни айтиш мумкинки, текстураланган сирт оптик нурланишнинг ютилиш чуқурлигини камайтиради. Натижада эффектив ютилиш коэффициенти α нинг ўсиши, йиғиш коэффициентининг ва ток зичлигининг ошишига олиб келади.

Анъанавий текис, планар конструкциядан ташқари кейинги пайтларда *p-n* ўтишининг конструкцияси мураккаб бўлган ҚЭ, жумладан *p-n* ўтишлари ёритилаётган сиртга перпендикуляр бўлган элементлар ишлаб чиқилди. Улар ягона умумий тагликда тайёрланган ёки алоҳида контактлар билан бирлаштирилган микро ҚЭ лардан тузилган бўлиб, *p-n* ўтишларининг перпендикуляр жойлашиши ҚЭ ларига қўшимча имкониятлар яратиши мумкин. Бундай ҚЭ лари кетма-кет уланганда бир неча ВГсм гача кучланганлик олиш мумкин ва ҳамда улар юқори ёритилганлик шароитида эффектив ишлаши мумкин.

Конструкциянинг яна бир тури бу рельеф юзали ҚЭ. Бу ерда рельеф, худди текстуралаш жараёни каби, селектив емириш ҳисобига пайдо қилинади. Натижада юқоридаги фронтал юзадаги n^+ -қатлам рельеф профилини такрорлайди. Рельефнинг геометрик ўлчамларини ҳар хил қилиш мумкин. Нурланишни қабул қилувчи сиртнинг оптик ютилиш коэффициенти текстураланган юза ютилиш коэффициентига яқин қилиш мумкин.

Юқорида келтирилган қуёш элементларининг сифатларидан яна бири – перпендикуляр жойлашган *p-n* ўтишларнинг бир-бири билан яқин жойлашиши натижасида бутун ҳажмда юқори даражали фотосезгирликка эришиш имконияти мавжудлигидир. Агар база қалинлиги асосий бўлмаган заряд ташувчилари диффузион йўли узунлигидан жуда кам бўлса, яъни $w \ll L$ бўлса, базада нурлантириш туфайли ҳосил бўлган ҳамма заряд жуфтликлари ажратилиши мумкин. Рельеф тузилмали ҚЭ намуналари атмосферадан ташқари шароитда 15 % дан ортиқ эффективликка эга эканлиги аниқланган.

Қуёш элементларининг оптик ва фотоэлектрик характеристикаларини яхшилашнинг яна бир имконияти – бу базада махсус усулларни қўллаб зарядларни тортувчи электр майдони ҳосил қилиш усулидир.

Кремний асосидаги ҚЭ нинг сезгирлигини спектрнинг қисқа тўлқинли қисмида кескин ошириш имкониятларидан бири, фронтал сиртда махсус юзани пассивация қилувчи қатламлар билан ёпишдир.

Бундай қатламлар одатда кремний оксиди ва кремний нитриди асосида олинади. Бундай қатламларда киритилган юзидаги электр зарядлари мавжуд бўлади. Бу зарядлар кремнийнинг юзадаги юпқа легирланган қатлами билан ҳосил қилинади. Бинобарин, айрим ҚЭ тузилмаларидаги тортувчи электр майдонлари каби, легирланган қатлам билан икки қатламли np^+ ёки pp^+ - тузилма ҳосил қилади. Бу сиртда ҳосил бўлган тузилма эффектив сирт рекомбинация тезлигини камайтиради ва ортиқча зарядлар йиғилишини яхшилади. Бу асосан юза яқинида ютилувчи қисқа тўлқинли оптик нурланиш ҳисобига бўлади.

Келтирилган эффектни қуйидаги мисолда намоиш қилиш мумкин. Юзани пассивация қилувчи қатлам олингандан сўнг, одатда йиғиш коэффиценти ва салт юриши кучланишининг қиймати ортади.

Агар оддий ҚЭ нинг база қатлами (p -тип кремний мисолида) нотекис легирланган бўлса ва $p-n$ ўтиш атрофида киришмалар концентрацияси унинг ичидагига қараганда кам бўлса, у ҳолда базада ҳам электростатик майдон ҳосил бўлади ва ортиқча ҳосил бўлган заряд жуфтликларини йиғишда ёрдам беради. Бу ҳодиса, биринчидан, тескари тўйиниш токининг ошиши ҳисобига ва потенциал тўсиқ қийматининг камайиши ҳисобига U_{xx} ни камайтиради, иккинчидан, киришмалар концентрацияси база қатлами ичида нисбатан оширилганлиги учун асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион йўли узунлиги (L_d) ва яшаш вақти (τ) камаяди.

Юқори самарали ҚЭ яратиш жараёнида хусусий ўтказувчанликка эга бўлган кремнийни ҳам ишлатиш мумкин. Бунинг учун унинг иккала томонига n - ва p -тип қатламлар ҳосил қилувчи киришмалар диффузия қилиш

керак ва маълум масофада p - n ўтиш ҳосил қилиш ва бошқа томонида эса, маълум градиентга эга бўлган изотип потенциал тўсиқ пайдо қилиниши керак.

n^+ pp^+ ёки p^+ nn^+ - тузилмали ҚЭ лари олишда, узоқ масофага таъсир этувчи тортувчи электр майдони ҳосил қилишга қараганда, орқа томондан p^+ p ёки n^+ n изотип тўсиқ олиш технологияси осонроқдир ва амалий жихатдан изотип ўтишни ҳосил қилиш базада йиғиш коэффициентини ошириш учун қулайроқдир. Қўшимча киришмалар киритиб орқа томонда олинган изотип тўсиқ, орқа контактдан асосий бўлмаган заряд ташувчиларни қайтаради. Шу туфайли уларда L_d нинг эффектив қиймати ошади. Бундан ташқари база-металл контакт тузилмаси чегарасидаги сирт рекомбинацияси коэффициентини кескин камади. ҚЭ нинг тесқари тўйиниш токи I_0 ҳам бирмунча камади. Орқа томондаги изотип ўтишли ҚЭ ларининг устунлик томони, база қатламида асосий бўлмаган заряд ташувчиларининг диффузион йўли узунлиги, унинг қалинлиги билан тенг ёки ундан каттарок бўлган шароитда сезиларли бўлади. Бу тенглик бажарилиши учун ЯЎ материал нисбатан тозароқ ёки юпқароқ бўлиши ва $L \sim d$ бажарилиши керак.

p - i - n ва p^+ - i - n^+ тузилмали элементлар узун тўлқинли диапазонда ниҳоятда катта сезгирликка эга. Бу ҚЭ ВАХ нинг шакли ниҳоятда тўғри туртбурчакка яқиндир. Чунки уларда оптик нурланиш билан ёритилиш шароитида элемент базасидаги кучланишнинг омик пасайиши нольга интилади, яъни оптик нурланиш таъсирида солиштирма қаршилиги юқори бўлган базада мувозанатда бўлмаган заряд ташувчилар мувозанатда бўлган заряд ташувчиларга қараганда кўпроқ ҳосил бўлади. Асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион йўли узунлиги солиштирма қаршилиги юқори бўлган материалларда нисбатан каттароқ қийматга эга бўлади. Бу эса Ер атрофидаги радиацион камарларда уларнинг ишлаш муддатини бошқа ҚЭ ларига қараганда бирмунча узайишига олиб келади.

Легирланган юпқа фронтал қатламда асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион йўли узунлиги L_d ва яшаш даври τ

қийматларининг нисбатан кичиклиги шу қатлам қалинлигини 0,15-0,5 мкм диапазонда олишни тақозо этади. Шу қалинликдаги қатламда Қуёш оптик нурланишининг инфрақизил спектридаги ютилиши (яъни, 1,1 – 2,5 мкм диапазонда) одатда 1-3 % дан ошмайди. Шундай қилиб, *p-n* ўтиш чуқурлигини камайтириш ҳозирги замон ҚЭ учун характерли бўлиб, бу усул асосий ютилиш чегарасидан ташқарида Қуёш спектрига шаффоф бўлган элементлар олиш имкониятини кремний материали асосида яратиш мумкинлигини кўрсатади.

Қолган яна иккита тўсиқ – орқа томондаги юзани бутунлай қопловчи контактда қуёш нурланишининг тўла ютилиши ва ундан нисбатан тўлалигича қайтарилиш ҳодисаси – орқа контактни тўрсимон шаклли қилиш ва шу томонда ҳам бўлган акслантирувчи оксид қатламлар ҳосил қилиш орқали ечилиши мумкин.

ИҚ соҳада шаффоф ва орқа контакти тўрсимон шаклдаги қуёш элементлари кремний, галлий арсениди ва юпқа қатламли $CuS - CdS$ гетероўтишли тузилмаларда яратилди. Ҳисобларга қараганда геостационар орбиталар шароитида бундай ҚЭ ларини ишлатиш натижасида ҳарорат нисбатан 10-15 °С пастроқ бўлганлиги учун электр қуввати 5-7 % ошар экан. Фотоактив бўлмаган узун тўлқинли ИҚ нурланишни ҚЭ тузилмасидан нафақат ўтказиб юбориш, балки тўлалигича қайтариш ҳам мумкин. Бунинг учун, қуёш элементининг орқа томонида ИҚ нурланишни қайтарувчи кўзгусимон контакт олиш керак. Бундай контактни олиш учун Ag, Al, Si қопламаларни вакуумда учириш ёки электрохимиявий усулда олиш имконияти мавжуд.

Қуёш элементи самарадорлигини оширишга имкон берадиган яна бир усул – бу икки томонлама сезгир ҚЭ тузилмасини ишлатишдир. Бу тузилма, икки хил, юқорида қайд қилинган, ИҚ спектр соҳасида шаффофликни пайдо қилиш ва элемент орқа томонида олинган изотип ўтиш билан муштарак ҳолда бирлаштирилган $n^+ pp^+$ ёки $p^+ nn^+$ тизимли ҚЭ лари ҳосил қилишдан иборатдир.

Нисбатан катта солиштирма қаршиликка эга бўлган кремний асосидаги икки томонлама сезгир ҚЭ базаси қалинлигини камайтириш ёки диффузион йўли узунлиги катта бўлган материаллар ишлатиш натижасида, элемент тузилмаси фронтал томондан тушаётган оптик нурланишни қандай эффективликда электр энергиясига айлантира олса, орқа томондан тушаётган нурланишни ҳам шундай эффективликда айлантира олиши аниқланган. Элемент орқа томонидан тузилмага изотип ўтишларни киритиш икки томонлама сезгир ҚЭ тузилмасида орқа томондаги сирт рекомбинация коэффицентини кескин камайтириб ($LFd > 1$), йиғиш коэффицентини, орқа томондан нурланиш тушган ҳол учун, фронтал томондан нурланиш тушиш катталигига қадар кўтарди.

Икки томонлама сезгир ҚЭ тузилмаси самарадорлигини ошириш учун унинг базасини, оддий элемент базасига нисбатан солиштирма қаршилиги юқори бўлиши керак. Масалан, оддий ҚЭ тузилмаси учун база одатда $\rho = 0,5-1,0$ Ом см бўлган кремнийдан тайёрланса, икки томонлама сезгир элементлар учун базаси $\rho = 7,5-10$ Ом см ва ундан ҳам юқори бўлиши керак.

Юпқа қатламли кремнийли ҚЭ ва уларни тайёрлашни автоматизация қилиш усуллари

ҚЭ ларини Ер шароитида амалий татбиқ қилиш учун максимал Ф.И.К. олиш билан бирга, уларни ишлаб чиқариш рентабеллигини ошириш ва таннархини камайтириш лозим. Бу жараён қуйидаги факторларга боғлиқдир.

1. Материал сарф-харажатларини камайтириш.
2. Қуёш элементларини тайёрлаш учун нисбатан арзонроқ материаллар ишлатиш.
3. Қуёш элементлари тайёрлаш жараёнини ва айрим технологик операцияларни механизациялаш ва автоматлаштириш.
4. Тайёрлашга оид технологик жараёнларини нисбатан соддалаштириш ва оптимал технологик маршрут ишлаб чиқаришга интилиш.

Қуёш элементлари тайёрлаш технологиясининг фаол ривожланиши, бир жинсли технологик жараёнларни қўллаш ва элементлар нархини нисбатан камайтириш учун юпқарок ва арзонроқ қатламлар олиш, ҳамда элемент олиш технологиясида иложи борича кўпроқ полимер материаллар ва хом ашёлар ишлатиш тавсия этилади.

Кейинги пайтларда ҚЭ ларининг нархини нисбатан арзонлаштириш бевосита кремнийни олиш жараёнини ислоҳ қилиш билан боғланмоқда. Мисол учун, тоза ЯЎ хусусиятларига эга бўлган кремнийни олиш учун диоксид кремнийдан қайта тиклаш усули ишлаб чиқилди. Кремний ленталарини узлуксиз ўстириш усули яратилди. Натижада нисбатан қиммат ва оғир технологик жараёнларга эга бўлган кесиш, шлифовка қилиш, пластиналарни механик ва кимёвий усуллар билан сайқаллашдан воз кечилди. Акслантиришни камайтирувчи юпқа қатламлар олишнинг янги, юқори самарали, нисбатан арзон, кимёвий пуркаш усули яратилди ва ҳоказо.

Қуёш элементларини технологик тайёрлаш жараёнини арзонлаштириш йўлида айрим соддалаштиришларга қарамасдан, уни тайёрлаш ҳалигача айрим оғир операциялардан холи эмас. Технологик жараёнининг нисбатан енгиллаштириш нуқтаи назаридан Қуёш элементларини тайёрлашнинг янги моделлари яратилмоқда. Булар жумласига МОП (металл-оксид қатлами- ЯЎ) ёки МДП (металл-диэлектрик-ЯЎ) тузилмалар киради. Бундай тузилмаларнинг тайёрлаш жараёни, бошқа ЯЎ қурилмаларда ишлатилаётганлиги сабабли (диод, транзисторлар, микросхемалар ва ҳоказолар) уларнинг технологик жараёнлари нисбатан ривожланганлиги ҳисобига, автоматлаштириш нисбатан осонроқдир. Бундай тузилмалар асосидаги қуёш элементлари юқорида келтирилган традицион тузилмалардан характеристикалари билан фарқ қилади. Мисол учун, кремний асосидаги анъанавий *p-n* ўтишли элементларга қараганда бу тузилмалар УБ нурланиш оралиғида бир мунча юқорироқ спектрал сезгирликка эга.

Кремний асосидаги ҚЭ параметрларини яхшилаш имконияти мавжуд. Бундай параметрлар ва вазифалар қаторига қуйидагилар киради:

1. Кремнийга нисбатан ман қилинган соҳаси кенг бўлган ЯЎ материаллар ишлатиш ва уларнинг самарадорлиги ва хусусиятларини кремний асосидаги *p-n* ўтишли элементлар хусусиятларига яқинлаштириш.
2. Нисбатан қиммат бўлган металллар Ag, Cr, Au, Pd асосидаги контакт қатламлари ўрнига арзон алюминий асосидаги контакт технологиясини яратиш.
3. Шоттки тўсиқ асосидаги қуёш элементларида тўсиқ чегарасида қалинлиги 10-20 °А бўлган кремний оксиди (SiO_x) қатламини ўтказиб тесқари тўйиниш токи I_0 нинг камайиши ҳисобига салт юриш кучланиши U_{xx} қийматини кескин ошириш ва элемент олиш жараёнини соддалаштириш.

II. ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР ТАЙЁРЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

2.1. Фотоэлектрик батарея тушунчаси

Фотоэлектрик батареялар ёки қуёш батареялари (ҚБ) мураккаб қурилмалар бўлиб, улар маълум тартибда уланган ҚЭ дан ва бу элементлар жойлаштирилган элтувчи асослардан иборатдир. Булар таркибига ажратувчи диодлар ҳам киритилган бўлиши мумкин. ҚБ конструкцияси силкиниш ва уринишларга чидамли ва ишлашга осон бўлиши керак. ҚБ тайёрлашнинг технологиясини яратиш учун ҚЭ ларининг потенциал имкониятларидан тўла фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун ҚБ тайёрлаш технологияси батарея қуввати йўқотишларни максимал камайтириш имконини бериши зарур. ҚБ ларида қувватнинг йўқотилиши икки хил бўлади, булар оптик ва электрик йўқотишлардир.

- 1) Электрик йўқотишлар. Электрик йўқотишлар асосан ҚЭ параметрларини аниқ ўлчашга ва уларни параметрларига қараб аниқ саралашга боғлиқдир. Параметрларга қараб саралаш электрик юкланманинг оптимал нуқталарига яқин қилиб олиб борилиши керак.
- 2) Оптик йўқотишлар. Оптик йўқотишлар бу тушаётган қуёш нурунинг ҚЭ ларига ҳаммаси етиб бормаслигидадир. Жумладан, бу йўқотиш ҚБ сини герметизация қилишдаги (герметик материалнинг бир жинсли бўлмаганлиги ва технологик жараён натижасида пайдо бўладиган нуқсонлар) ва фронтал юзага тушаётган нуруни ўтказувчи қоплама (ойна ёки пластик модда) даги йўқотишлардан иборат.

Қуёш батареялари тайёрлашдаги асосий технологик жараёнлар қуйидагилардан иборатдир:

- ҚЭ ларини тегишли параметрлар бўйича саралаш,
- элементларни берилган кучланиш ва ток кучи олиш учун коммутация қилиш,

- ҚБ ларини корпусларини тайёрлаш,
- коммутация қилинган элементларни батареяга жойлаш ва уни герметизация қилиш,
- ҚБ ларини параметрлар бўйича ўлчаш ва саралаш.

ҚЭ ларини коммутация қилиш. Керакли кучланиш ва ток кучи олиш учун ҚЭ лари параллел, кетма-кет ёки комплекс равишда коммутация қилинади. Умуман айтганда ҚБ сининг электрик қуввати батареядаги ҚЭ лари қувватларининг йиғиндисига тенг бўлиши керак. Агар бундай бўлмаса, демак йўқотишларни камайтириш усулини топиш зарур. ҚБ сининг токи батареядаги параллел уланган элементлар токининг йиғиндиси билан аниқланади, кучланиши эса кетма-кет уланган элементлар кучланишларнинг йиғиндиси билан белгиланади. Қуйида ҳисоблаш формулалари келтирилган.

$$U_{кб} = N_{кк} U_{кэ}, (2.1)$$

$$I_{кб} = N_{пар} I_{кэ}, (2.2)$$

$$P_{кб} = N_{\Sigma} P_{кэ}, (2.3)$$

$$P_{кб} = U_{кб} I_{кб}, (2.4)$$

$$P_{кэ} = U_{кэ} I_{кэ}, (2.5)$$

$$N_{\Sigma} = N_{кк} N_{пар} (2.6)$$

Бу ерда $U_{кб}$ ва $U_{кэ}$ мос равишда ҚБ ва ҚЭ кучланишлари, $N_{кк}$ ва $N_{пар}$ мос равишда кетма-кет ва параллел уланган элементлар сони, $P_{кб}$ ва $P_{кэ}$ мос равишда ҚБ ва ҚЭ қувватлари.

Мисол: Қуйидаги параметрларга эга бўлган ҚЭ берилган, юкланмада кучланишлар пасайиши $U_{юкл} = 0,4$ В да максимал ток кучи $I = 0,5$ А. Шу ҚЭ ларидан 100 кетма-кет ва 300 таси параллел уланган. Тайёрланган ҚБ сининг параметрлари қандай? $I_{кб} = 100 \times 0,5 = 50$ А, $U_{кб} = 300 \times 0,4 = 120$ В ва $P_{кб} = 50 \times 120 = 6000$ Вт.

2.2. Қуёш элементларини саралаш усуллари

Қуёш элементларини саралаш учун унинг параметрлари ўлчаш зарур. Параметрларни ўлчашнинг икки хил усули мавжуд.

- 1) Табиий қуёш нурлари остида «эталон» ҚЭ лари воситасида ўлчаш. Ўлчаш муддатида эталон ва ўлчанаётган ҚЭ бир текисликда туриши керак, яъни тушаётган нурларнинг энергияси бир хил бўлиши зарур.
- 2) Қуёш нурлари «имитаторларидан» фойдаланиш. Яъни сунъий қуёш сифатидаги қурилмалардан фойдаланиб ҚЭ параметрларини ўлчаш. Ишлаб чиқариш шароитида сон-саноксиз ҚЭ лари бўлгани учун иккинчи усулдан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Имитатор билан ишлаганда албатта вақти-вақти билан эталон ҚЭ ларини калибровка (қайта паспортда кўрсатилган параметрларини назорат қилиб туриш) қилиб туриш зарур.

Қуёш элементларини саралаш учун қуйида келтирилган параметрлар ўлчанади:

- қисқа туташув токи $I_{кт}$,
- салт юриш кучланиши $U_{сю}$,
- электрик юкланма мавжудлигидаги оптимал кучланиш $U_{опт}$,
- юкланмадаги оптимал ток $I_{опт}$.

Шу ўлчанган ва аниқланган қуёш элементлари асосида қуйида келтирилган параметрлар ҳисобланади:

- вольт-ампер характеристиканинг тўлдириш коэффициенти ξ ,
- фойдали иш коэффициенти η .

Бу коэффициентлар қуйидаги формулалардан ҳисобланади,

$$\xi = I_{опт} U_{опт} / I_{кт} U_{сю}, \quad (2.7)$$

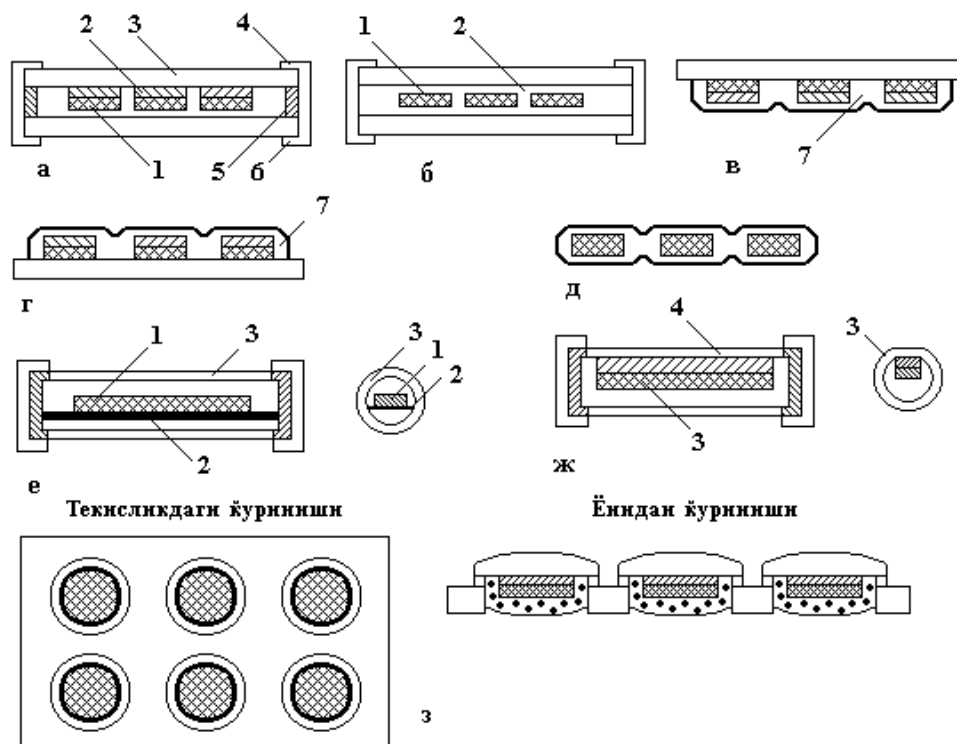
$$\eta = 100 \xi I_{кт} U_{сю} / E_R S, \quad (2.8)$$

бу ерда E_k –ҚЭ юзасига тушаётган қуёш энергияси миқдори, мВт/см^2 ёки Вт/м^2 бирликларда ўлчанади. Одатда, элементларнинг келтирилган параметрлари ҳар хил бўлгани учун, ўлчашни осонлаштириш мақсадида $U_{\text{опт}}$ аввалдан аниқ танлаб олинади. Одатда саралаш $U_{\text{опт}}$ қ 0,4 В олинади ва элемент шу кучланишга тўғри келадиган ток бўйича сараланади. Ўлчаш жараёни Халқаро стандартга мос келадиган атмосфера массаси ва шунга мос тушаётган ёруғлик миқдори қуввати имитатордан танлаб қўйилади. Одатда ўлчаш АМ 1 стандарти шароитида олиб борилади, $E_k = 1000 \text{ Вт/м}^2$ ва $T = 25$ °С. Қуёш батареялари параметрлари ҳам шу усулда ўлчанади. Агар ҚБ ўлчами катта бўлса, яъни имитаторга жойлашмаса у бевосита ташқарида тушаётган қуёш нурларидан фойдаланиб ўлчаш мумкин.

2.3. Қуёш элементларини герметизация қилиш технологияси

Қуёш элементлари ва батареяларини Ер шароитида амалда қўллаш учун уларни ўраб турган муҳит таъсиридан етарлича ҳимоя қилиш зарур бўлади. Герметизация қилиш технологиясини яратиш жараёнида батареяларнинг амалда ишлаш учун содда конструкциясини тайёрлаш, вазни енгил, механик мустаҳкам, жойидан маълум масофага кўчиришга қулайлиги ва элементларнинг бирлик юзадан қувватини имкон қадар кўпроқ бўлишини таъминлаш зарур. Ҳозирги замон ҚБ ларининг икки хил конструкцияси мавжуд,

- а) шаффоф трубка шаклдаги конструкция,
- б) текис шаклдаги тури.



- Расм 2.1. Қуёш элементлари ва батареяларини герметизация қилиш усуллари. 1- қуёш элементи, 2-каучук, 3-ҳимоя қопламаси, 4-5 –6- конструкция ҳимоя қопламалари, 7-герметик модда.
- а - ташқи ҳимоя қопламасига ҚЭ елимланган конструкция;
- б - ҚЭ икки томондан каучук билан тўлдирилган ҳол
- в – а ва б дан фарқли орқа томон қалин герметик ёки пластикка алмаштирилган ҳол;
- г – в нинг тўнкарилган ҳоли;
- д – икки томонлама ҳимояланган конструкция (икки томонлама сезгир ҚЭ асосида тайёрланади);
- е - ҚЭ тагликка маҳкамланган ва инерт газ билан тўлдирилган шиша ичига киритилган;
- ж - ҚЭ шаффоф елим воситасида ҳимоя қопламасига маҳкамланган, у га тескарибўлган ҳол;
- з – думалоқ шаклли ҚЭ шаффоф каучук воситасида лампа- фараларга маҳкамланган ҳол.

Ер шароитида ишлатилаётган ҚБ лари асосан юпқа текис шаклдадир, шунинг учун шу конструкцияни тайёрлашни кўриб ўтамиз. Герметизация қилишда қуёш элементларнинг ташқарисида жойлашган шаффоф материал (нур тушаётган томонга қўйиладиган ва элементни механик тажовулардан химоя қиладиган) ва бевосита элементни фронтал ва орқа томондан ўраб турадиган герметик полимер материал ишлатилади. ҚБ лари ишлаб чиқадиган етакчи хорижий фирмалар асосан герметик материал сифатида поливинилбутерал (ПВБ) ва поливинилацетат (ПВА) қатламли қопламаларидан фойдаланишади. 2.1-расмда ҚБ ларининг ҳар хил материаллар билан герметизация қилинган ҳоллар учун айрим конструкциялари намуналари келтирилган.

Шаффоф материал сифатида нур ўтказиш коэффициенти 95 % дан ортиқ бўлган ойна турлари ва айрим бошқа шаффоф материаллар олинади.

Поливинилбутерал қопламаси воситасида герметизация қилиш усулини кўриб ўтамиз. Бу усулни қўллаганда асосий босқичлар қуйидагилардан иборат;

- қуёш элементларини саралаш,
- элементларни коммутация қилиш,
- керакли материалларни маълум тартибда жойлаштириш,
- вакуумда термик ишлов бериш (полимеризациялаш ҳам шуни ичига киради),
- батарея параметрини ўлчаш (саралаш).

Вакуумда термик ишлов бериш учун вакуум термик дастгоҳи қўлланилади ва батареянинг максимал геометрик ўлчови шу дастгоҳ камерасининг сифими ва ўлчовлари билан аниқланади. Одатда полимеризация жараёни 140-200 °С ва ҳавоси 10^{-1} торр гача сўриб олинган камерада амалга оширилади. Агар батареяни полимеризация қилиш учун махсус ҳар томонлама босим берадиган резинали қоп бўлмаса, бир томонлама босим берадиган механик восита ишлатилади.

ПВБ-қоплама бўлмаган тақдирда герметизация қилишнинг бошқа усули мавжуд. Бу СКТН маркали синтетик каучук ёрдамида герметизация қилишдир. ПВБ-қопламадан фарқли жойи шундаки, СКТН бу суюқ смоладир. Шунинг учун, даставвал уни таркиби тайёрлаб олинади. Технология этаплари қуйидагича;

- герметик таркибини тайёрлаш (СКТН Қ маълум %) ли катализатор,
- герметикка вакуумда ишлов бериш (ҳаводан тозалаш),
- ҚЭ ларини саралаш, коммутация қилиш,
- элемент ва бошқа керакли материалларни маълум тартибда жойлаштириш,
- полимеризация қилиш,
- батарея параметрларини ўлчаш.

Полимеризация жараёни уй ҳароратида олиб борилади.

2.4.Фотоэлектрик қурилмалар ва уларни тайёрлаш технологияси

Фотоэлектрик қурилмаларнинг ишлаш шароити ва қувватига қараб шартли равишда уларни икки гуруҳларга бўлиш мумкин:

1. Кўчирма, кўтарма (йиғма) қуёш батареялари ва фотоэлектрик қурилмалар. Бундай қурилмалар асосан марказлашган анъанавий электр тармоқларидан узоқда жойлашган кам қувватли истеъмолчиларни автоном электр қуввати билан таъминлашга хизмат қилади.
2. Фотоэлектрик станциялар (ФЭС). Бу қурилмалар ишлаб чиқариш, хўжалик ишлари ва турмушда қўлланиладиган электр истеъмолчиларини автоном равишда электр қуввати билан таъминлайди.

Биринчи гуруҳ учун истеъмолчилар асосан бу кўтарма радио-телеаппаратура, кўтарма музлатгичлар, кам қувватли ёритгичлар ва бошқа турмуш анжомлари бўлиши мумкин. Иккинчи ҳолда эса асосан

марказлашган электр тармоқларидан узоқда жойлашган қишлоқ хўжалик объектлари, медицина тармоқлари, алоҳида фермер хўжаликларида сув чиқариш, суғориш, ёритиш ва бошқа хўжалик ишларида қўлланилиши мумкин. ҚБ ва ФЭС ларини ишлаб чиқаришда ва уларни ишлатишда айрим қуйида келтирилган шароитларни ҳисобга олиш керак. Жумладан ишлатиш шароити (географик тузилиш нуқтаи назаридан тоғлик, текислик ва ҳоказо), ёруғлик тушишининг интенсивлиги (кунлик, ҳафталик, ойлик, йиллик), намлик ва ҳаводаги чанг миқдори, йиллик ҳароратнинг максимал ва минимал қийматлари, ҳудуднинг географик кенглиги, маҳаллий ҳудуднинг морфологияси ва бошқалар эътиборга олинади.

Фотоэлектрик қурилманинг таркиби ишлаш шароитига ва истеъмолчининг талабига қараб ҳар хил бўлиши мумкин. Умуман максимал қувват олиш учун унинг фотоэлектрик блок, аккумулятор, истеъмолчи билан аккумуляторни бошқариш тизими (контроллер), ўзгармас токни ўзгарувчан 220 В кучланиш ва 50 Гц частотали токка айлантиргич (инвертор), фотоэлектрик қурилмани қуёшнинг юришига қараб ҳолатини кузатувчи бошқариш блоки ва ҳоказолардан иборат бўлган бутловчи қурилмалар киради.

*Қуёш батареялари ва фотоэлектрик қурилмаларнинг қувватини
ҳисоблаш намуналари*

ҚБ ва ФЭҚ лар қувватини ҳисоблаш учун қуйидагиларни ҳисобга олиш зарур:

1. Фотоэлектрик қурилма қувватини ҳисоблаш учун аввалига уни ишлатилиши кўзда тутилган муҳит билан танишиш ва шу муҳит хусусиятларини (ўртача ҳарорат, ёруғлик нурларининг ўртача қуввати, ёруғлик тушиш муддати, йил давомидаги ёруғ кунлар ва ҳоказо) ўрганиш зарур.

2. Электр энергияси истеъмолчиларининг характерини (ўзгармас ва ўзгарувчан ток истеъмолчилари хусусиятлари), истеъмолчиларнинг электрик

параметрлари (ток кучи, кучланиши, ўзгарувчан ток частотаси), керакли умумий электр қувватини ҳисоблаш ва ҳар бир истеъмолчига бир кунда ўртача ишлатиш вақтини аниқлаш зарур.

3. Ортиқча ишлаб чиқилган электр энергиясини ҳисоблаш ва энергияни йиғиш усулини танлаш.

4. Йиғувчи аккумулятор электр сифимини ҳисоблаш.

5. Фотоэлектрик қурилма йиғиш учун керак бўладиган стандарт ва ностандарт асбоб ускуналарни аниқлаш.

6. Инверторлар параметрларини, қувватини ва фойдали иш коэффициентини аниқлаш.

7. Контроллерларнинг параметрларини ва қувватини аниқлаш.

8. Фотоэлектрик қурилма конструкциясини танлаш, параметрларини режалаш, тайёрлаш технологиясини аниқлаш.

9. Фотоэлектрик қурилмани тайёрлаш.

10. Фотоэлектрик қурилма қисмларини синаш. Қурилмани бутунича синаш.

11. Фотоэлектрик қурилмани синаш натижаларини ҳисобга олган ҳолда уни параметрларини оптимал ҳолга келтириш.

12. Қурилмани тажрибавий синаш, ҳисоб ва режавий натижалар билан таққослаш.

13. Фотоэлектрик қурилмага кетган харажатларни қоплаш муддатини ва самарадорлигини аниқлаш.

Мисол сифатида Ўзбекистон Республикасининг чўл шароитида жойлашган, энергия марказларидан узоқда бўлган фермер хўжаликни фотоэлектрик қурилма билан таъминлашни кўриб ўтамиз. Фермер хўжаликнинг асосий касби чорвадорлик ва деҳқончилик бўлсин.

1. Бу ҳудуд учун (Масалан, Қашқадарё ҳудуди) қуёшли кунлар 300 кун, тушаётган ёруғликнинг ўртача қуввати 750 Вт/м^2 , ўртача ёруғлик тушиш муддати кунига 8 соат бўлсин.

2. Электр энергиясининг истеъмолчилари, 6 кишидан иборат оила. Ёритиш учун 4 ёруғлик манбаи ҳар бири ЛДС-40 лампа, ёритиш муддати бир кунда 4 соат. Рўзғор буюмлари: телевизор қуввати 60 Вт бир кунда ишлаш муддати 3 соат, суғориш насоси қуввати 20 Вт бир кунда ишлаш муддати 2 соат, чой қайнатгич бир кунда ишлаш муддати 2 соат, қуввати 20 Вт, кўтарма кам қувватли 40 Вт ли слесарь-токарь қуввати 40 Вт, дастгоҳи ўртача ишлаш муддати 0,5 соат.

3. Келтирилган истеъмолчиларининг умумий бир кунлик истеъмол қилган электр қуввати $0,64 + 0,18 + 0,04 + 0,04 + 0,02 = 0,92$ кВт соатни ташкил этади. Бир йилда эса $360 \times 0,92 = 336$ кВт соат.

4. Энергияни йиғиш учун кислотали аккумуляторни танлаб оламиз, унинг кучланиши 12 В бўлсин. У ҳолда бир кунда 0,92 кВт электр қувватини йиғиш учун, агар инверторнинг ф.и.к. 0,92 бўлса, ф.и.к. 10 % ли ҚЭ ларидан бир кунда 85 А х 12 В қ 1000 Вт йиғиш мумкин. Агар ёруғликнинг ўртача тушиш вақти 8 соат бўлса ҳар соатига 125 Вт энергия жамланиши ёки 20 % захирали қилиб фотоэлектрик қурилма режалаштирилса қуввати 150 Вт бўлган қурилма тайёрланиши керак.

5. Аккумуляторнинг электр сиғимини ҳисоблаш учун разрядланиш чегарасини 75 % олсак, унинг электр сиғими 300 А соат бўлади.

6. Икки хил инвертор керак бўлади. А) ЛДС-40 ёритгичлар учун частотаси 20 кГц ли, қуввати 150 Вт ли инвертор. Б) Частотаси 50 Гц ли, қуввати 100 Вт ли инвертор.

7. Бошқарувчи контроллернинг қуввати 150 Вт

8. Фотоэлектрик қурилманинг қуввати 150 Вт ва уни стационар ёки кўтарма конструкцияли қилиш мақсадга мувофиқдир.

ХУЛОСА

Юқоридагилардан келиб чиқиб, қуйидаги хулосага келдик:

1. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришнинг физик хоссалари қуйидагича таҳлил асосида ўрганиб чиқилди, жумладан:

- Қуёш нурланишининг хусусиятлари;
- Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш самарадорлиги;
- Қуёш элементининг фойдали иш коэффициенти;
- Юқори самарали қуёш элементлари.

2. Фотоэлектрик батареялар ва қурилмалар тайёрлаш технологияси тузилиши ва ишлаш принципи ўрганиб чиқилди.

3. Фотоэлектрик батареялар ёки қуёш батареялар ҳақида маълумот берилди.

4. Қуёш элементларини саралашнинг бир неча усуллари кўриб чиқилди.

5. Қуёш элементларини герметизация қилиш технологияси ўрганиб чиқилди ва таҳлил қилинди.

6. Фотоэлектрик қурилмалар ва уларни тайёрлаш технологияси бўйича кўникма ва малака хосил қилинди.

7. Қуёш батареялари ва фотоэлектрик қурилмаларнинг қувватини ҳисоблаш намуналари келтирилди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Фаренбрух А., Бьюб Р., Солнечные элементы: теория и эксперимент, М., Энергоатомиздат, 1987 г.
2. Колтун М.М., Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии, М., Наука, 1979 г.
3. Колтун М.М., Оптика и метрология солнечных элементов, М., Наука, 1985.
4. Колтун М.М., Солнечные элементы, М., Наука, 1987 г.
5. Раушенбах Г., Справочник по проектированию солнечных батарей, М., Энергоатомиздат, 1983 г.
6. В.М.Андреев, В.А.Гриликес, В.Д.Румянцев, Фотоэлектрические преобразование концентрированного солнечного излучения, Наука, Ленинград, 1989 г.
7. Т.Мосс, Г.Баррел, Б.Эллис, Полупроводниковая оптоэлектроника, М., Мир, 1976 г.
8. С.Зи, Физика полупроводниковых приборов, книга 2, М., Мир, 1984г.
9. А.Милнс, Д.Фойхт, Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник, М., Мир, 1975 г.
10. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики, под редакцией Т.Коутса, Дж.Микина, М., Мир, 1988 г.
11. Медведев С.А., Введение в технологию полупроводниковых материалов, М., Мир, 1970 г.
12. Курносоев А.И., Юдин В.В., Технология производства полупроводниковых приборов, М., 1974 г.
13. Глазов В.М., Земсков В.С., Физико-химические основы легирования полупроводников, М., Наука, 1967 г.