



КРЕМНИЙЛИ ФОТОЭЛЕКТРИК p-n-СТРУКТУРАЛАРГА ТЕМПЕРАТУРАНИНГ ТАЪСИРИ

Ж.Зиёитдинов

Физика кафедраси доцент в.б.,

Ш.Таджибаева

2-босқич магистранти

Анджон давлат университети

Аннотация: Мақолада қуёш элементларининг фотоэлектрик параметрларига температура таъсирини ўрганиш мақсадида тажрибалар учун яратилган янги ўлчаш қурилмаси ва "PVLighthouse" дастурий тизими ёрдамида кремнийдаги заряд ташувчиларнинг асосий кинетик параметрларига температуранинг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган ва муҳокама қилинган.

Калит сўзлар: қуёш элементи, кинетик параметрлар, температура, PVLighthouse, заряд ташувчилар.

В статье представлены и обсуждаются результаты исследования влияния температуры на основные кинетические параметры носителей заряда в кремнии с помощью созданного для экспериментов нового измерительного прибора и программного комплекса «PVLighthouse» с целью изучения влияния температуры на фотоэлектрические параметры солнечных элементов.

Ключевые слова: солнечный элемент, кинетические параметры, температура, PVLighthouse, носители заряда.

Abstract: *The article presents and discusses the results of a study of the effect of temperature on the main kinetic parameters of charge carriers in silicon using a new measuring device created for experiments and the PVLighthouse software package in order to study the effect of temperature on the photoelectric parameters of solar cells.*

Keywords: *solar cell, kinetic parameters, temperature, PVLighthouse, charge carriers.*

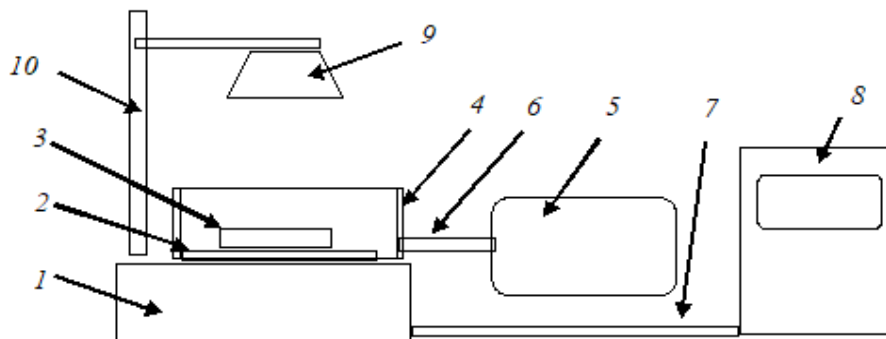
Энергия манбаларига бўлган талабнинг доимий ўсиши ва глобал экологик муаммоларнинг кескинлашиши қайта тикланувчи энергия манбаларини жадал қўллашни кенгайтиришни талаб қилмоқда. Фотоэлектрик энергия ўзгартиргичлар энг истиқболли ва экологик тоза қайта тикланувчи энергия манбалари ҳисобланади. Кремнийли қуёш элементларининг самарадорлиги бевосита ёритилганлик даражаси ва атроф муҳит температурасига боғлиқ. Ҳар бир қуёш элементидан кўпроқ энергия фотоэлектрик энергия ишлаб чиқариш учун концентраторнинг катта юзасидан қуёш элементларининг кичик юзасига қуёш нурланиши концентрацияси ёрдамида ёритилганлик даражасини ошириш талаб этилади. Бундай усул



қимматбаҳо қуёш элементлариларининг юзасини қисқартиришга имкон беради. Лекин бунда қуёш элементлари температурасининг сезиларли ошиши ва уларнинг самарадорлиги камайиши кузатилади. Шунинг учун қуёш элементларининг асосий фотоэлектрик параметрларига температура таъсирини ўрганиш долзарб муаммо ҳисобланади.

Ушбу ишда "PVLighthouse" дастурий тизими ёрдамида олинган кремнийдаги заряд ташувчиларнинг асосий кинетик параметрларига температуранинг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган ва муҳокама қилинган. Яримўтказгичли кремнийнинг бошланғич параметрларини танлаш учун самарали қуёш элементлари ишлаб чиқаришга мос параметрлар талаблари мезонларига асосланган. Легирлаш даражаси ($10^{14} \div 10^{18}$) см⁻³ оралиғида танланган ва температура (250 ÷ 350) К оралиғида ўзгартирилган.

ҚЭларининг фотоэлектрик параметрларига температура ўзгаришининг таъсирини ўрганиш мақсадида тажрибалар учун янги ўлчаш қурилмаси ишлаб чиқилди (1-расм). Қўшимча қурилма иссиқликдан изоляцияловчи ва оптик шаффоф материалдан тайёрланган корпус (4) ва иссиқ ҳаво манбаидан (5) иборат. Иссиқ ҳаво манбаи (5) сифатида "Lukey 852D+FAN" типдаги кавшарлаш тизимининг махсус қурилмаси ишлатилган. Қурилманинг корпуси ҚЭнинг нормал ёритилишини таъминлаш учун шаффоф материалдан тайёрланган. Манба томонидан ҳосил қилинган иссиқ ҳаво оқими транспортер (6) орқали (4) корпусга узатилади. Иссиқ ҳаво манбаининг қуввати 650 Вт га тенг.

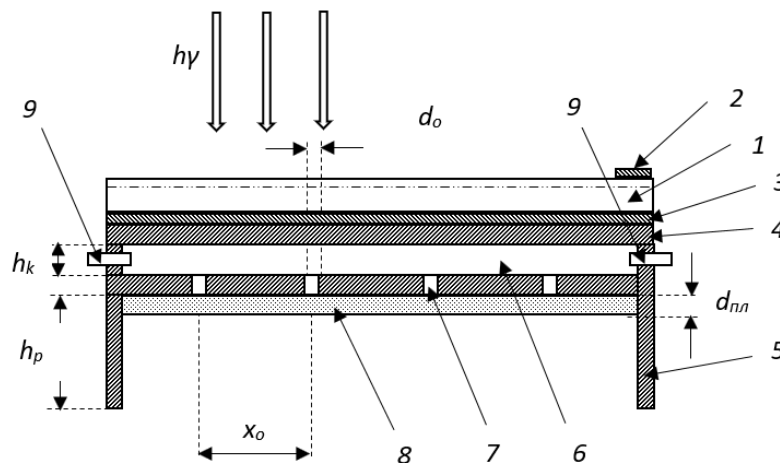


1-расм. Ўлчаш тизимининг соддалаштирилган блок схемаси: 1-асос; 2-электр ўтказувчи ва иссиқликдан изоляцияловчи элемент; 3-қуёш элементи; 4-шаффоф материалдан тайёрланган иссиқликдан изоляцияловчи корпус; 5-иссиқ ҳаво манбаи; 6-иссиқ ҳаво манбаининг транспортери; 7-улаш кабели; 8-автоматлаштирилган ўлчаш тизими (компьютер); 9-қуёш нурланишининг импульс симулятори; 10-вертикал устун.

Яримўтказгичли фотоэлектрик қурилманинг янги конструкцияси ишлаб чиқилган бўлиб, у одатдагидек фронтал контактли ва яхлит қопланган орқа контактли қуёш элементларидан тайёрланган қуёш панелидир. Қўшимча тарзда орқа томонида ғовак материалдан тайёрланган совитиш пластинасига эга. У

шундай лойиҳаланганки, орқа контакт ва совитувчи ғовак пластинка орасига чеккасида бўйлама ёки кўндаланг қовурғали металл ясси радиаторли сув идиши (контейнер) ўрнатилган. Сув идишнинг узунлиги ва кенглиги бўйича геометрик ўлчамлари қуёш панелининг ўлчамларига тенг, камеранинг баландлиги $h_k = (3 \div 5)$ мм, диаметри $a = (1 \div 10)d_{pl}$, кўплаб қўшни коваклар орасидаги масофа $\Delta l = (1 \div 2)a$, контейнернинг орқа девори $d_{nl} = (0,1 \div 1)d_m$ қалинликдаги ғовак материал билан қопланган, сув идиши кириш ва чиқиш трубаларига эга, кириш трубаси қуёш панелининг энг юқори нуқтасига ўрнатилган кенгайтирилган ҳажм (бак)га уланган. (d_m -сув идишининг орқа девори материалынинг қалинлиги). Бўйлама ёки кўндаланг қирралар бўйлаб ўрнатилган қовурғалар баландлиги h_k га тенг бўлиб, бу баландлик ғовак пластинадан ажралган сув буғини ўтказиш учун юбориладиган ҳаво оқими ўтиши учун етарлидир.

2-расмда совитиш тизими элементлари бўлган яримўтказгичли ҚЭнинг соддалаштирилган схемасининг кўндаланг кесими кўрсатилган. У орқа томонида кўплаб тирқишларга эга бўлган металл радиатор ва унинг ташқи томонига ўрнатилган ғовак материалдан тайёрланган пластинадан иборат.



2-расм. Янги совитиш тизимига эга бўлган фотоэлектрик қурилманинг кўндаланг кесими кўриниши: 1-ярымўтказгичли пластинка (р-н ўтиш чегарали- штрихли чизиқли); 2-олд контакт; 3-орқа контакт; 4-металл радиатор; 5-металл радиатор қовурғаси; 6-сув камераси; 7-капилляр коваклар; 8-ғовак пластинка; 9-кириш ва чиқиш сув қувурлари.

Кремнийли қуёш модулининг дастлабки ва 60 дақиқа бевосита қуёш нури билан нурлантирилгандан кейин ўлчанган асосий параметрларидан (1-жадвал) кўринадикки, таклиф этилган совитиш тизими билан кремнийли фотоэлектрик қурилма камида 60 дақиқа давомида тўғридан-тўғри қуёш нури билан ёритилганда унинг ишлаш температураси $43 \div 44$ °C (№. 2 ва №. 3) гача, совитиш тизими бўлмаган қурилманинг температураси эса 72 °C (№. 1) гача ортиб кетади. Бинобарин, совитиш тизимига эга бўлган қурилманинг асосий



фотоэлектрик параметрлари, айниқса, фото-кучланиши юқори қийматларга эга бўлар экан.

1-жадвал

Дастлабки ва тўғридан-тўғри қуёш нурида 60 дақиқа ёритилгандан кейин ўлчанган кремнийли қуёш модулининг асосий параметрлари

№ на- муна	ҚЭ тури ва ўлчамлари	t = 0 да ўлчанган параметрлар			t = 60 дақиқада ўлчанган параметрлар		
		T, K	J _{кз} (МА/см ²)	U _{хх} (В)	T, K	J _{кз} (МА/см ²)	U _{хх} (В)
1	УХ-115×85,5 ММ	316	64	13	344	62	9,4
2	УХ-115×85,5 ММ	316	64	13	317	64	12,6
3	УХ-115×85,5 ММ	316	64	13	316	64	12,8

Ушбу ишда "PVLighthouse" дастурий тизими ёрдамида олинган кремнийдаги заряд ташувчиларнинг асосий кинетик параметрларига температуранинг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган ва муҳокама қилинган.

Бирламчи натижалар сифатида заряд ташувчиларнинг монокристалл кремнийдаги кинетик параметрлари: концентрациялар, диффузия коэффициенти, диффузия узунлиги, ҳаракатчанлиги, асосий ва асосий бўлмаган заряд ташувчиларларнинг яшаш вақтлари ҳамда кремнийнинг электр ўтказувчанлиги, тақиқланган соҳа кенглигининг легирлаш даражаси ёки асосий заряд ташувчиларлар концентрациясига нисбатан ўзгариши каби боғлиқликлар олинган. Кўрсатилган параметрларнинг температура ва заряд ташувчилар концентрациясига боғлиқ равишда ўзгариш номограммалари тузилган. Олинган ҳисоблаш натижалари қуйидагича хулоса қилишга имкон берди: 1) *n*-типли ва *p*-типли кремний учун электронларнинг ҳаракатчанлиги ковакларникидан 2,8 ÷ 3 марта юқори; 2) *n*-типли ва *p*-типли кремний учун асосий ва асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги температура ортиши билан камаяди; 3) асосий заряд ташувчилар концентрациясининг ортиши билан улар ҳаракатчанлигининг температура ўзгаришларига сезгирлиги камаяди.

Шунингдек, кремнийнинг солиштирама ўтказувчанлиги ёки солиштирама қаршилигининг температурага боғлиқлиги ҳамда *p*-типли кремнийда тақиқланган соҳа кенглигининг температурага боғлиқ ўзгариши ҳисобланди. Натижаларга кўра, электрон ва ковак типдаги кремний тақиқланган соҳаси кенглигининг температурага боғлиқ равишда ўзгариши бир хил эканлигини кўриш мумкин.

Яримўтказгичлар физикасидан маълумки, $\ln(n_i T^{-3/2}) = const - (E_g/2kT)$ ни $1/T$ га боғлиқлиги тўғри чизиқни $tg\theta = (E_g/2kT)$ беради. Лекин амалда бу усулда олинган фаоллашиш энергиясининг қиймати тақиқланган соҳа кенглигининг ҳақиқий қийматига мос келмайди. Температура ортиши билан панжара атомларининг тебраниш амплитудаси ортиши кузатилади ва оқибатда тақиқланган соҳа кенглиги камаяди. Бундан ташқари, температура ортиши билан атомлар орасидаги масофа ҳам ўзгаради, бу ҳам тақиқланган соҳанинг



кенглигига таъсир қилади. Тақиқланган соҳа кенглигининг температурага боғлиқлиги эмпирик чизиқли қонун билан ифодаланади:

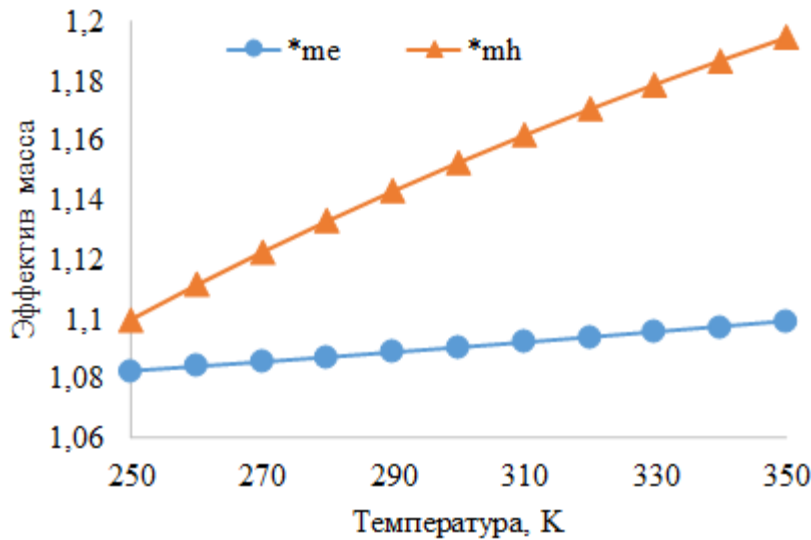
$$E_g(T) = E_{go} - \alpha T, \tag{1}$$

бу ерда, E_{go} – $T=0$ даги экстрополяцияланган тақиқланган соҳа кенглиги, α – тақиқланган соҳа кенглиги ўзгаришининг термик коэффиценти. Адабиётларда келтирилган маълумотларга кўра, кремний учун тақиқланган соҳа кенглиги ўзгаришининг термик коэффиценти $2,4 \times 10^{-4}$ эВ/К.

Агар заряд ташувчиларнинг кинетик параметрлари тўплами кўриб чиқилса, температурани заряд ташувчиларнинг эффектив массасига таъсири ўрганилмаганлигини кўриш мумкин. Заряд кўчиш моделида электронлар ва ковакларнинг ток зичлиги уларнинг эффектив массаларининг фазовий ўзгариши билан аниқланади. Бироқ, "PVLighthouse" дастурий таъминот тизимида бундай ҳисоблаш усули ҳисобга олинмаган. Шу билан бирга кремнийдаги эффектив массанинг (электронлар ва коваклар учун ҳисобланган) температурага боғлиқ ўзгаришини АндДУ қайта тикланувчи энергия манбалари лабораторияси ходимлари томонидан ишлаб чиқилган янги дастурий тизим ёрдамида ўрганиш мумкин. Олинган ҳисоб-китобларнинг дастлабки натижалари 3-расмда кўрсатилган. Бунда электронларнинг эффектив массаси эмиттер қатламга тегишли (n -типта, 10^{17} см⁻³ концентрацияда) ва ковакларнинг эффектив массаси асосий қатламга тегишли (p -типта 10^{15} см⁻³ концентрацияда). Заррачанинг эффектив массаси заррача кристалл потенциалининг даврий соҳасида ҳаракатланганда пайдо бўладиган динамик массасидир. Эффектив масса ифодасини қуйидагича келтириш мумкин:

$$m_{n,p} = \hbar^2(d^2 E / dk^2) - 1, \tag{2}$$

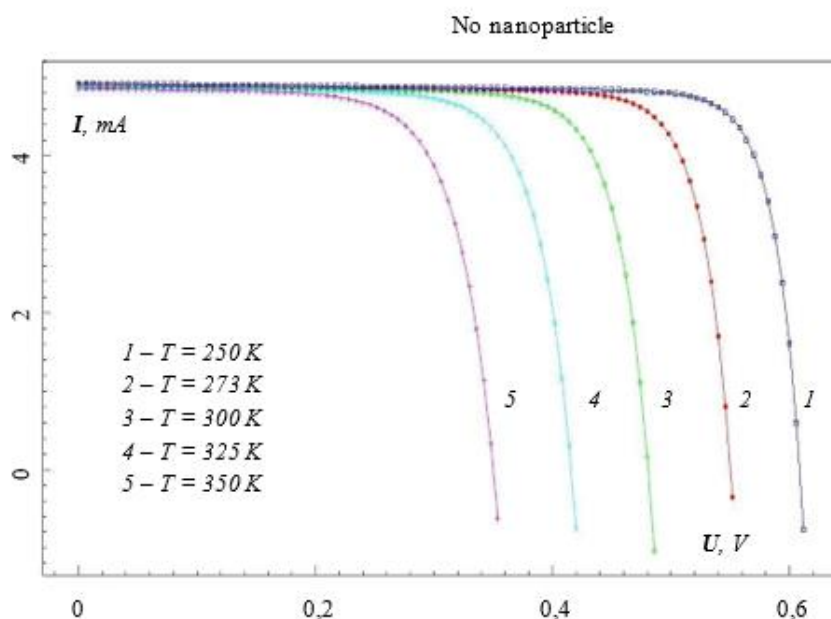
бу ерда \hbar – Планк доимийси, k – тўлқин вектори, E – электр майдон кучланганлиги.



3-расм. n -типли кремний (донор-фосфор)да эффектив массанинг (электронлар ва коваклар учун) температурага боғлиқлиги.

Шундай қилиб, биринчи марта кремний структураларининг эмиттер ва база қатламларидаги электрон ва ковакларнинг эффектив массасининг температурага боғлиқлиги аниқланди, уларнинг ўзаро муносабати яримўтказгичлар физикаси назарияси доирасида талқин қилинди.

“Sentaurus” тизими ёрдамида кремнийли *p-n*-структураларининг характеристикаларига температуранинг таъсири тадқиқ этилди. Кремнийли ҚЭларининг температура хусусиятларини ўрганишда 250÷350 K температура оралиғи кўриб чиқилди, бу ер усти ва космик қўлланишлар учун катта амалий аҳамиятга эга. 4-расмда 250÷350 K оралиғидаги турли температураларда кремнийли ҚЭларининг ВАХлари келтирилган.



4-расм. Турли температураларда кремнийли ҚЭнинг нагруккали ВАХ.

Шундай қилиб, ушбу ишда кремнийнинг электрофизик хусусиятларига ва унинг асосида олинган *p-n*-структураларнинг асосий фотоэлектрик параметрларига температура ўзгаришининг таъсирини замонавий рақамли асбоб-технологик моделлаштириш ва экспериментал таҳлил орқали кенг қамровли ўрганилди, уларнинг бир қатор янги физик хусусиятлари аниқланди, такомиллаштиришга йўналтирилган техник ечимлар таклиф этилди ва ишлаб чиқилди ҳамда қуйидаги асосий илмий хулосалар шакллантирилди:

- Турли бошланғич легирлаш даражасига ($10^{14} \div 10^{18} \text{ см}^{-3}$) эга бўлган кремнийнинг электр ўтказувчанлигининг, тақиқланган соҳа кенглигининг, заряд ташувчилар кинетик параметрларининг ва *p-n*-структураларнинг фотоэлектрик параметрларининг атроф-муҳитнинг 250÷350 K оралиқдаги температурасига боғлиқ ҳолда ўзгаришларининг комплекс номограммалари ишлаб чиқилди.



•Биринчи марта кремнийли структураларнинг эмиттер ва база қатламларидаги электрон ва коваклар эффектив массаларининг температурага боғлиқлик қонуниятлари аниқланди ҳамда яримўтказгичлар физикаси назарияси доирасида тушунтирилди.

•Замонавий кремнийли фотоэлектрик *p-n*-структуралар ВАХ ва асосий фотоэлектрик параметрларининг температурага боғлиқ равишда ўзгаришининг ўзига хос хусусиятлари аниқланди ҳамда рақамли ҳисоблаш ва ўтказилган тажрибалар натижаларининг қониқарли даражада ўзаро мувофиқлиги тасдиқланди.

•Стандартлаштирилган "*Sinton Instrument Suns-Voc*" ўлчаш тизими негизида яримўтказгичли *p-n*-ўтишли структураларнинг асосий фотоэлектрик параметрларига $0 \div 40$ °C диапазонда температура ўзгаришининг таъсирини автоматлаштирилган режимда экспериментал ўлчашга имкон берувчи янги қурилма яратилди ва жорий этилди.

•Замонавий "С#9.0" дастурий технология асосида "*PVLighthouse*" халқаро тизимида фотоэлектрик ва оптик структураларни ҳисоблаш натижаларини илмий таҳлил учун қайта ишлашга қулай "*Excel*" шаклида ифодаловчи "*STTemperature*" дастурий маҳсулоти таклиф этилди ва ишлаб чиқилди.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Р.Алиев, Ж.Зияитдинов, Н.Юлдашева, М.Носиров Стабилизация высокой эффективности кремниевых солнечных элементов внедрением наночастиц некоторых металлов. // Материалы Российско – Узбекского международного научно-методического семинара «Возобновляемые источники энергии и устойчивая окружающая среда», Воронеж, 15-22 окт., 2019 г. Андижан, С. 118-124.

2. J.J.Gulomov, J.N.Ziyoidtinov, I.M.Madaminova Modeling the temperature influence on silicon bases solar cells by Sentauros TCAD. // "Молодой учёный" ("Young Scientist"). Россия. 2020, Часть I, № 17, С. 1-4.

3. Зиётдинов Ж., Гуломов Ж., Алиев Р., Носиров М., Абдувохидов М., Мирзаалимов А., Мирзаалимов Н. "STTEMPERATURE" физик тажрибаларнинг виртуал моделлари. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги. Гувоҳнома № DGU 08848.

4. Aliev R., Nosirov M., Ziyoidtinov J., Gulomov J. Quyosh elementlarini modellashtirishda kompyuterlardan foydalanish. // "Муқобил энергия фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари" мавзусида Республика миқёсидаги илмий-амалий конференция материаллари, 22-23 аперль, 2020 й. НамМҚИ, Наманган, С. 264-266.

5. Абдувохидов М.К., Гуломов Ж.Ж., Алиев Р., Зияитдинов Ж., Муйдинова М. Цифровое моделирование температурных свойств кремниевых



солнечных элементов. // Сборник тезисов “Международной научной конференции “Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике”, 9-10 окт., 2020 й. ТГТУ, Ташкент, С. 108-110.