ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

АБДУРАХМАНОВ БОРИС МАЛИКОВИЧ

КРЕМНИЙ ТИКЛАШНИНГ ЭЛЕКТР ЁЙЛИ ЖАРАЁНИНИ МОДЕРНИЗАЦИЯ ҚИЛИШ ВА УНИНГ АСОСИДА ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ЯРАТИШ

01.04.04 – Физик электроника

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

УДК: 669.046.5; 621.315

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Абдурахманов Борис Маликович
Кремний тиклашнинг электр ёйли жараёнини модернизация қилиш ва унинг асосида электрон қурилмалар яратиш ……..……. 3

Абдурахманов Борис Маликович
Модернизация электродугового процесса восстановления кремния и создание электронных устройств на его основе..... 23

Abdurakhmanov Boris Malikovich
Modernization of the electric arc process of silicon reduction and creation of electronic devices based on it ……..……..…….. 43

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works ……..……..……..…….. 47

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

АБДУРАХМАНОВ БОРИС МАЛИКОВИЧ

КРЕМНИЙ ТИКЛАШНИНГ ЭЛЕКТР ЁЙЛИ ЖАРАЁНИНИ МОДЕРНИЗАЦИЯ ҚИЛИШ ВА УНИНГ АСОСИДА ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ЯРАТИШ

01.04.04 – Физик электроника

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2.PhD/T1501 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.iplt.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	**Курбанов Миртемир Шадиевич** техника фанлари доктори, катта илмий ходим
Расмий оппонентлар:	**Умирзаков Болтахужа Ерматович** Физика-математика фанлари доктори, профессор
	Ташатов Алланазар Каршиевич Физика-математика фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	**Ўзбекистон Миллий университети қошидаги яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий - тадқиқот институти**

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 рақамли Илмий кенгашнинг **2021** йил «30» 04 соат 14⁰⁰даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (1 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (+99871) 262-31-69.

Диссертация автореферати 2021 йил «19»04 куни тарқатилди.

(2021 йил «19» 04 даги 1 рақамли реестр баённомаси)

Х.Б.Ашуров
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

И.Д. Ядгаров
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

Б.Е. Умирзаков
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Кремний (Si) электроника ва қуёш энергетикаси учун асосий материал ҳамда кимё саноати, қора ва рангли металлургия учун хомашё ҳисобланади. XXI аср бошларида трихлоросилан ($SiHCl_3$)дан кремний олиш учун қайта ишлаш технологиялари сифатида фойдаланиш натижасида қуёш энергетикаси маҳсулотларининг нархлари 10 баробардан зиёдга пасайтирилди ва кўп бўғинли кремний ишлаб чиқаришнинг бошқа жараёнларини такомиллаштириш вазифалари ҳам кун тартибидаги асосий масалага айланди. Айнан шунинг учун жаҳонда ушбу бўғин доирасида экологик жиҳатдан энг ноқулай ва энергия кўп талаб қилувчи техник кремний эритиш жараёнини модернизация қилишга қизиқиш кескин ошди.

Бугунги кунда жаҳонда ҳар йили 2,2 миллион тоннадан зиёд техник кремний ишлаб чиқарилади, аммо қуёш энергетикасини ривожлантириш режаларини ўз ичига олган юқоридаги тармоқларни ривожланиши учун нафақат ишлаб чиқаришни эришилган даражада ушлаб туриш, балки уни сезиларли даражада оширишни талаб этади. Ўзбекистон Республикасида техник кремний ва ферроқотишмалар соҳаси ва уларни эритиш технологияларини ривожлантиришга катта эътибор берилмоқда. Навоий шаҳрида техник кремний, Ангрен ва Бекобод шаҳарларида ферросилицийни ишлаб чиқариш йўлга қўйилди ва бу эса импорт қилинадиган материалларнинг ўрнини тўлдиришга имконият яратди.

Ўзбекистон Республикасининг 2017-2021 йилларда ривожлантириш стратегиясига асосан "иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш ва иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш"[1] вазифалари белгилаб берилган. Шу нуқтаи назардан, мавжуд технологияни такомиллаштириш, шунингдек, унинг камчиликларини бартараф этиш ва шу билан бирга жараённинг бошқарувчанлигини ва маҳсулот сифатини ошириш, унинг энергия сарфи ва таннархини пасайтиришга қаратилган Si эритишнинг янги усул ва услубларини ишлаб чиқиш долзарб масаладир. Техник кремний эритиш жараёни рентабеллигини унинг ликвидлигини ошириш орқали, масалан, унга қайта металлургик ишлов бериш орқали мултикремний олиш ва ундан қуёш энергиясида фойдаланиш ниҳоятда долзарб масала бўлиб қолмоқда. Ушбу йўналиш соҳаларидан бири-термоэлектрик материал сифатида монокристаль бўлмаган Si дан фойдаланишдир. Шунинг учун, монокристаль бўлмаган Si нинг термоэлектрик хусусиятларини ўрганиш ва улар асосида иссиқлик энергияси ўзгартиргичларини яратиш билан боғлиқ вазифалар долзарбдир. Мамлакатимиз илмини ривожлантириш учун катта аҳамиятга эга бўлган бу тадқиқотлар ва ишланмаларнинг йўналишлари ҳамда уларнинг амалий қўлланилиши 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида[1] акс эттирилган.

[1] 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 – сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг: III. «Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши» ва II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Техник кремний технологияси Россия, АҚШ, Италия ва Францияда бир ва уч фазали очиқ электр ёйли печларда қўллаш доирасида ишлаб чикилган. «Элкем» (Норвегия) и «Русал» (РФ) компаниялари ва Россиянинг Иркутск давлат техника университети ва Хитойнинг Канминг фан ва технологиялари университетларида ёпиқ печларда эритиш жараёнини такомиллаштириш ва шунга мос равишда ускуналарни модернизация қилиш бўйича ишлар олиб борилди. Vangskasen J. (Норвегия), W. Lin (Китай), Xakalashe B. (ЮАР), Ёлкин К.С., Толстогузов Н.В. (Россия) ва бошқалар томонидан SiO_2 ни тиклаш механизми ўрганилган ҳамда электр ёйли печларда ички бўш электродлардан фойдаланиш бўйича эритишнинг янги усуллари ишлаб чиқилган.

Ўзбекистонда кварц ва хар хил углеродли тикловчилардан иборат маҳаллий хомашё асосида биринчи марта 1998 йил Кр 2 и Кр1 маркали техник кремний Абдурахманов К.П., Костецкий М.О. ва бошқалар томонидан олинган, кейинчалик эса Ашуров М.Х. ва бошқалар томонидан техник кремнийнинг Кр1 ва Кр0 маркалари олинган бўлиб, бу эса Навоий ва Ангрен шаҳарларидаги заводларни қуришда асос сифатида хизмат қилган. 2011-2014 йилларда Курбанов М.Ш. ва бошқалар томонидан маҳаллий хомашё асосида Кр0 ва Кр00 маркали техник кремний олинган ва импорт қилинувчи қаттиқ углеродли тикловчиларни 80% гача маҳаллий табиий газга алмаштириш таклиф қилинган.

Hannesson P., Немчинова Н.В., Черняховский Л.В. ва бошқалар томонидан кремний икки оксиди ва углеродли тикловчиларни биргаликда бўлаклаш бўйича тадқиқотлар олиб борилди, бу эса брикетлардан фойдаланган ҳолда янги истиқболли эритиш технологиясини яратишга имкон берди ва SiO_2 ни углерод билан шихтада ўзаро реакциясини заррача ўлчамига боғлиқлигини ўрганишга туртки берди. Стребков Д.С., Непомняших А.И., Грибов Б.Г., Немчинова Н.В., Абдюханов И.М. ва бошқалар томонидан қуёш элементларини

тайёрлаш учун техник кремнийни тозалаш ва қайта эритиш орқали ишлаб чиқаришни соддалаштириш ва арзонлаштириш хамда Si тозалигини ошириш усули ишлаб чиқилди. А.А. Снарский, А.В. Дмитриев, И.П. Звягин, В.В. Каминский, Ж. Дебур, С. Стив, Ш. Фолькер, Е. Муллер, К. Забреки, Т.П. Хоган., Н.А. Матчанов, А.М. Касымахунова, Т.С. Камилов, Г. Абдурахмановлар томонидан турли материалларнинг, шу жумладан, силицидларнинг бир қатор асосий термоэлектрик хусусиятлари ўрганилган. Таъкидлаш лозимки, иссиқлик ўтказувчанлиги юкори бўлганлиги туфайли кремний термоэлектрик материал ҳисобланмаган, лекин охирга вақтларда дунёда ғовакли кремний ва кремний нанонайчаларига ўхшаган Si турларини термоэлектрик хусусиятлари ўрганила бошланди.

Ўзбекистонлик олимлар академик М.С. Саидов, Б.М. Абдурахманов, Л.О. Олимов, А.Ю. Лейдерман ва А.С. Саидов монокристалл бўлмаган кремний намуналарини қиздирганда субзонли фотонларнинг ютилиши натижасида заряд ташувчиларнинг чуқур энергия сатҳларида генерацияси содир бўлиши ҳисобига ҳосил бўладиган киришмали тепловольтаик эффектни топишди ва тадқиқ қилишди. Бу натижалар электрон кристал-фононли стекло (ЭК-ФС) тузилмасига мос келадиган, Si кукуни заррачаси ва унинг сиртидаги наноразмерли SiO_2 пленка, грануллanган кремнийнинг янги модификациясини яратишга олиб келди. Янги кремний модификацияси асосида Ашуров Х.Б., Адилов М.М., Ашуров М.Х. ва бошқалар томонидан бир қанча янги турдаги иссиқлик энергияси ўзгартиргичлари яратилди.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация тадқиқоти Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг ФА-И4-Ф18 «Қуёш энергияси учун ноанъанавий тикловчилардан фойдаланиб юқори тозаликдаги техник кремний олиш технологияси» (2011-2012), Ф3-ФА-Ф158 «Кичик ўлчамли нотекис киритмали органик ва ноорганик грануллanган ярим ўтказгичлар асосидаги системаларда энергия ўзгартириш жараёнлари» (2012-2016), ОТ-Ф3-11 «Қуёш энергетикаси ва электроника материаллари қарашида турли ўлчамли кремний ва унинг оксиди структураларида ташиш ва релаксация жараёнлари» (2017-2020) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: техник кремний эритиш жараёнини модернизация қилиш ва унинг бошқарувчанлигини ошириш, ҳамда ушбу материални бевосита ёки уни бир марта металлургик қайта ишлаш орқали олинган мултикремнийни электрон техника ва қуёш энергетикаси маҳсулотларида қўллаш йўлларини топиш.

Тадқиқотнинг вазифалари:

- шихта компонентларининг ионлашиши билан боғлиқ эритишни электр ёйи токининг миқдорини бошқариш орқали углеродли тикловчи компонентлариниг электр ёйи ёниш зонасига етказиб бериш трактида диссоциациясини таъминлаш;
- кремнийли компонентлар зарраларининг ўлчовини ҳисобга олган ҳолда брикетлаш ва шихтани паста ҳолатида печга етказиб бериш;

- техник кремнийни қайта эритиш орқали олинган мултикремнийдан тайёрланган қуёш элементларининг хусусиятларини ўрганиш ва майда киришмалар киритишнинг авзаллигини кўрсатиш ҳамда қуёш элкментлари учун таглик материал сифатида ишлатиш мумкинлигини асослаш.

- техник кремний ва мултикремний гранулалари асосида иссиқлик энергиясини ўзгартиргичларини янги турларини ишлаб чиқиш ва ўрганиш;

- накал лампалар ва иситгичлар учун сарфланадиган электродлар ва ҳимоя воситаларини яратиш учун техник кремний ва мултикремнийдан фойдаланиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида доимий ва ўзгарувчан токли печларда техник кремний эритишда шихтани электр ёйли разряд билан ионлашиш жараёни, хомашёларни брикетлаш ва паста ҳолатидаги шихтадан техник кремний эритиш усуллари ва техникавий услублари, монокристал, поликристал, техник ва мультикремнийни майдалаш орқали олинган грануллганган кремний ва ундан тайёрланган иссиқлик энергияси ўзгартиргичлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети электр ёйидаги токнинг ўзгариш қонуниятлари, техник кремнийнинг киришмали таркиби, мультикремнийнинг электрофизик хусусиятлари, мультикремнийдан тайёрланган қуёш элементи параметрлари, грануллганган кремнийнинг электрофизик хусусиятлари ва унга асосланган иссиқлик энергияси ўзгартиргичлари ҳамда кремний зарраларининг киришмали таркиби ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида замонавий масс-спектрометрия ва электрон микроскопли таҳлил қилиш усулларидан фойдаланилган. Кремнийли материалларнинг солиштирма қаршилигини ўлчашда тўрт зондли усул, солиштирма термоэлектр юритувчи кучни аниқлашда дифференциал усул ва иссиқлик ўтказувчанликни аниқлашда солиштириш усуллардан фойдаланилган. 300-1300 К температура оралиғида шихтанинг қаршилиги ўлчаш махсус ишлаб чиқилган методика ёрдамида ўтказилган. Қуёш элементлари катталикларини ўлчашда махсус тайёрланган ва метрологик текшрувдан ўтган приборлардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- печнинг ёниш қисмига етказиб бериш трактида дастлаб қисман атом даражасида углерод ва водородга диссоциация қилишни, сўнгра электр ёйида ионлашишни назарда тутувчи метандан иборат газсимон углеродли тикловчини реакция қобилиятини ошириш усули ишлаб чиқилган;

- техник кремний эритиш жараёнини электр ёйидаги ток қийматини ўлчаш натижалари бўйича бошқариш ва метанни намлаш орқали ўз-ўзидан ва мунтазам равишда ток кўтарилишини ўчириш усуллари таклиф қилинган;

- таркибий қисмларининг янчилиши назарда тутилган ва уларнинг зичлиги ҳисобга олинган шихтани брикетлашнинг янги усулларини тажрибавий ва саноат синовлари ижобий натижаларига асосан электр ёйли печнинг ёниш қисмига паста ҳолатида узатиб беришнинг принципиал янги технологияси ишлаб чиқилган;

- техник кремнийни тўғридан-тўғри металлургик қайта ишлаш натижасида субстрат материал сифатида олинадиган мултикремнийдан фойдаланган ҳолда

юқори фойдали иш коэффициентли ва радиацияга чидамли плёнкали қуёш элементларини ясаш имконияти кўрсатилган;

- тажрибаларни режалаштириш услубидан фойдаланган ҳолда, кейинчалик қуёш элементининг таянчи сифатида фойдаланиладиган, плёнкали қуёш элементлари самарадорлигининг математик регрессия моделлари ва мультикремнийдан тайёрланган субстратлар юзасида плёнкаларнинг ўсиш тезлиги тузилган;

- ташқи босим, ҳарорат ва нурланишнинг юқори даражаларида ишлашга мўлжалланган, шу жумладан ишчи қисмини жамланган қуёш нурлари билан иситадиган, иссиқлик энергияси ўзгартиргичларининг янги турлари ишлаб чиқилган;

- фотоэлектрик водород ишлаб чиқариш тизимларида сарфланадиган электродлар учун техник кремний ва мултикремнийдан материал сифатида фойдаланиш имконияти кўрсатилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари доимий ва ўзгарувчан токли печларда техник кремнийни эритиш учун техник қурилмалар ва янги усуллар яратилганлиги, шу жумладан шихтани паста ҳолатида ишлатиш ва техник кремнийни мультикремнийга металлургик қайта ишлашдан иборат. Қуёш элементлари ва иссиқлик энергияси ўзгартиргичларини тайёрлаш ва уларнинг катталикларини ўрганиш, ҳамда ушбу материаллар асосида бошқа электрон техника маҳсулотлари ишлаб чиқилган ва ўлчаш усуллари яратилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги тадқиқот учун замонавий стандартланган, синовдан ўтган ва метрологик сертификатланган ўлчов асбоблари ва жиҳозлардан фойдаланилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундаки, газсимон углеродли тикловчини намлаш орқали электр ёйининг ёниш зонасидаги ионларнинг таркибини ўзгартириб, унинг ўз-ўзидан пайдо бўладиган пулсациясини ўчириш орқали жараённи назорат қилишга асосланган техник кремний эритишнинг янги технологияларини асослашдан иборат. Шихтани брикетлашда ва шихтадан паста ҳолатида фойдаланишда масса зичлигини ҳисобга олиш айниқса муҳимдир. Техник кремний ликвидлигини ошириш бўйича натижаларнинг илмий аҳамияти уларнинг тажрибалар натижаларига асосланганлиги бўлиб, ундан олинган мултикремний асосида юқори рентабелликка эга қуёш элементини яратиш ва иссиқлик энергияси ўзгартиргичини самарадорлигини оширишдан иборатдир.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, олинган илмий ва техник ечимлар техник кремний ишлаб чиқаришда ва унинг рентабеллигини оширишда ва атроф-муҳитни ифлосланишини камайтиришда, ҳамда самарали, ноқулай иш шароитида ишлайдиган, лекин арзон хомашёлардан тайёрланадиган қуёш ва иссиқлик энергияси ўзгартиргичлари ва бошқа электрон қурилмаларни яратиш учун қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Кремний тиклашнинг электр ёйли жараёнини модернизация қилиш ва унинг асосида электрон қурилмалар яратиш бўйича олиб борилган тадқиқотлар доирасида олинган илмий натижалар асосида:

техник кремний олиш усули ва уни амалга ошириш қурилмаси учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (IAP05986, 22.04.2015 й) олинган. Натижада печга шихтани паста кўринишида янги механизм орқали бериш ва электр ёйли печларнинг конструкциясини модернизация қилиш орқали электр ёйининг ток қиймати бўйича эритиш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш имконини берган;

техник кремний ёки ферросилиций эритиш учун брикетланган шихтанинг кремнезем қисмида микрокремнеземнинг оптимал миқдорини аниқлаш усули учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (IAP 05998, 21.07.2017 й.) олинган. Натижада техник кремнийни эритиш жараёнида шихта компоненталари заррачалари ўлчамининг тахминан бир хиллигини танлаш ҳисобига электр энергиясини тежашга, ферросилицийни эритиш жараёнида эса шихтага қўшиладиган микрокремнизёмни 40% гача ошириш имконини берган;

термоэлектрик материал ва уни тайёрлаш усули учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (IAP 056615, 04,05.2018 й.) олинган. Натижада кремний заррачаси ва уни қоплаб турган SiO_2 пленкада чуқур энергетик сатҳларни ҳосил қилиш орқали заряд ташувчиларни тунеллашиб ўтиши ҳисобига электр ўтказувчанликни ошириш имконини берган;

сувни электролизлаш учун фотоэлектрик қурилмасига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти (IAP № 00876, 11.04.2012 й.) олинган. Натижада водород олишда нафақат сувни электролиз қилиш йўли билан, балки электролитлар ва катод моддалари орасидаги кукунлар аралашмасидан, техник кремний, мультикремний ва кремний ишлаб чиқариш чиқиндиларидан кимёвий реакция натижасида ишлаб чиқариладиган, шунингдек концентирланган қуёш нурланишининг фотоактив қисмидан фойдаланиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг натижалари 4 та халқаро ва республика анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 22 та илмий иш чоп этилган, жумладан, 8 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан докторлик диссертациясининг асосий натижаларини чоп этиш учун тавсия қилинган журналларда чоп этилган ва ихтиро учун 4 та патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати, 24 та расм ва 9 та жадвалдан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация иши мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти, предмети ва усуллари аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги кўрсатилган, олинган натижаларнинг ишончлилигига асосланган, унинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, натижаларнинг қўлланилиши ҳақида маълумотлар диссертация ишининг апробацияси, ҳамда ҳажми ва тузилиши келтирилган.

Диссертациянинг **«Техник кремнийни електр ёйи билан еритиш ва шу асосда мултикремний ишлаб чиқариш»** деб номланган биринчи бобида мавзу бўйича батафсил адабиётлар шарҳи қилинган.

Техник кремнийнинг електр ёйи технологиясини такомиллаштириш, уни металлургик усулда мултикремнийга айлантириш ва қуёш елементлари ва бошқа електрон қурилмаларни ишлаб чиқаришда мултикремнийдан фойдаланиш технологиясини такомиллаштириш бўйича обзор ва оригинал илмий мақолалар ва патент маълумотларини таҳлил қилиш натижалари келтирилган. Техник кремний технологиясини модернизация қилиш ва ушбу материалнинг ликвидлигини ошириш учун янги усулларни ишлаб чиқиш керак деган хулосага келинди.

- углеродли воостанавител таркибий қисмларининг електр ёйи ёниш зонасига етказиб бериш йўлидаги диссоциациясини таъминлаш ва иккала електрон ва зарядловчи қисмларнинг ионлаштирилиши туфайли електр ёйидаги оқим қийматига мувофиқ техник кремнийни еритиш жараёнини бошқариш; - зарядни кремний ўз ичига олган компонентнинг заррача ҳажмини ҳисобга олган ҳолда брикетлаш ва уни паста ҳолатида електр ёй печига бериш:

- техник кремнийни қайта еритиб, уни кичик аралашмалар билан допинг қилишнинг мақсадга мувофиқлигини асос қилиб олган ва уни фақат қуёшли қуёш нурланишининг ўзгартиргичи учун материал сифатида ишлатган ҳолда олинадиган мултикремнидан олинадиган қуёш елементларининг хусусиятларини ўрганиш;

- техник кремний ва мултикремний гранулалари асосида иссиқлик енергиясини ўзгартиргичларини янги турларини ишлаб чиқиш ва ўрганиш;

- сарфланадиган електродлар, накал лампалар ва иситгичлар учун ҳимоя воситаларини яратиш учун техник кремний ва мультикремнийдан фойдаланиш.

Диссертациянинг **«Техник кремнийни еритиш ва металлургик қайта ишлашнинг експериментал технологик базаси ва унинг асосида приборлар ишлаб чиқариш. Тадқиқот учун объектлар, усуллар ва қурилмалар»** деб номланган иккинчи бобида қуйидагилар келтирилган:

техник кремнийни эритиш учун ўзгарувчан ва доимий токда ишлайдиган печларни описанияси ва ишлаш принципи тасвирланган. Техник кремний ва епитаксиал тузилмаларни ишлаб чиқариш натижасида чиқадиган чиқиндилар билан кремнийни ва унинг аралашмаларини 10^{-2} Торр вакуумда қайта еритиб, мултикремний ишлаб чиқариш учун мўлжалланган қурилма қисқача тавсифланган.

Мултисиликонга асосланган ҳар хил турдаги қуёш елементларини ишлаб чиқариш технологияси тавсифланган бўлиб, у нафақат мултикремнийнинг електрофизик параметрлари ва уларнинг енергия самарадорлиги билан боғлиқлигини ўрганиш учун, водород генераторларида, шунингдек грануллланган кремний ва иссиқлик энергияси ўзгартиргичларини ишлаб чиқаришда ишлатиладиган хом ашёнинг електрофизик хусусиятларини ўлчаш усуллари ва мосламаларида қўлланилган, бу методикалар изланувчининг иштрокида ишлаб чиқилган.

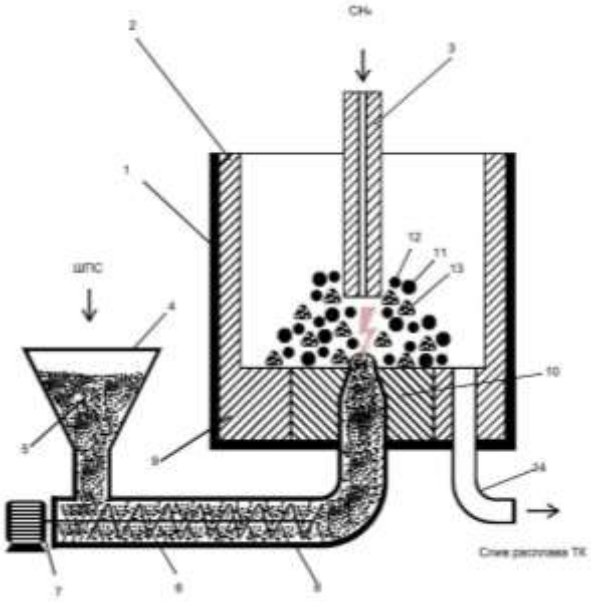
Диссертациянинг **«Техник кремнийни еритиш технологиясини модернизация қилиш»** деб номланган учинчи бобида техник кремнийни електр ёйида оқаётган оқимга қараб еритиш жараёнини кузатиш усулини ишлаб чиқишнинг физик асослари, шунингдек брикетлаш технологиясини оптималлаштириш бўйича, техник кремнийни паста ҳолатида еритишнинг янги усули тасвирланган.

Углеродли қайтарувчини бир вақтнинг ўзида қаттиқ ва газ ҳолатида ишлатганинг имконияти мақсадга мувофиқлиги ва самараси тажрибада исботланди.

Катализаторни газсимон шаклида узатиш усули ишлаб чиқилган бўлиб, унинг юзаси електр ёйининг ўзидан чиқаётган нурланишидан иситилади. Бу углерод ва водород атомларини кейинчалик ионлаш учун шароитларни яхшилайди, бу еса реактивликнинг асосий характеристикасини кескин оширади.

Метаннинг електр ёниш зонасига тўғридан-тўғри етказиб берилиши SiO_2 қайтарилиш реакцияларининг боришини айнан шу соҳада консентрациялашга имкон беради ва шунинг учун еритиш жараёнини електр ёйида оқаётган оқим катталиги билан бошқаришни ва унинг тўлқинларини тезда тўхтатишни, шунингдек моддаларнинг реактивлигини тартибга солиш орқали газ фистулаларини разряд оралиғида, метанни намлаш ва уни таъминотини ўзгартириш имконини беради. Брикетлаш учун янги усул (Патент РУз № IAP 05998) таклиф етилди, унинг таркибий қисмларини бир хил заррача ҳажмида олдиндан майдалашни ва ишлаб чиқаришда бундай имконият бўлмаган тақдирда ва микросиликондан фойдаланиш зарурлигини ҳисобга олсак, уни брикетларга қўшилишини брикетга кетадиган асосий компонентнинг масса зичлигига тескари пропорционал ҳисоблашни таклиф қиламиз. Аралашмани паста ҳолатида фойдаланиш таклиф қилинган ва уни електр ёйли печга беришнинг янги усули ишлаб чиқилган.

1-расмда газли метан ва аралашмани қарама-қарши йўналишда тўғридан-тўғри електр ёйи ёниш жойига қарама-қарши йўналишда етказиб бериш ва бир вақтнинг ўзида кремний ўз ичига олган компонент ва УВ ни анъанавий қисмдан бир қисмли фракциёнда ва брикет шаклида тортиш учун ишлатилиши мумкин бўлган ушбу янги технологиянинг експериментал синовдан ўтган версияси келтирилган.



1-расм. РУз № IAP 05986 сонли патентига биноан ЭП схемаси, шихтани паста ҳолатида узатиш 5 ва углеродли қайтарувчини CH_4 шаклида ичи бўш графит електрод 3 орқали (стрелка билан кўрсатилган), шыхта 11 ва востанавитель 12 бир марталик фракцияда брикет шаклида у 13 қарақмақарши томондан берилади.

1-жадвалда тажрибада олинган техник кремнийнинг кришмали таркиби кўрсатилган, углеродли востанавительни етказиб бериш кусўк кўринишида (~30%) ва паста ҳолатида (~65%) ни ташкил этади.

1-жадвал

Янги технология асосида олинган техник кремнийнинг таркиби

Si	Al	Fe	Ca	Остальное	В том числе	Mg	Ba	P	V	B
98,97	0,34	0,33	0,32	0,03		0,0085	0,0055	0,007	0,0050	следы

Диссертациянинг **«ТЕХНИК КРЕМНИЙ ВА БИР МАРТА МЕТАЛЛУРГИК ҚАЙТА ИШЛАБ ОЛИНГАН МУЛЬТИКРЕМНИЙ ЭЛЕКТРОН АСБОБЛАР ЯРАТИШ УЧУН МАТЕРИАЛ СИФАТИДА»** деб номланган тўртинчи бобида

ТК ни бир марта тўғридан-тўғри қайта ишлаб тайёрланган мультикремнийни қуёш элементлари технологиясида, фақат автолегирлашни бостириш билан газ фазада ўстирилган плёнкали ўзгартиргичлар учун таглик материали сифатида фойдаланиш мақсадга мувофиқлиги кўрсатилган. Бундай қуёш элементларининг АМ 1,5 ва P=850 Вт/м^2 да ФИК ~12-14 %, бу юқори радиацияга чидамли, электрон сифатидаги Si дан қилинган тагликлардаги плёнкали ўзгартиргичларнинг кўрсаткичларига мос келади.

Бу ҳолатда, кейинчалик қуёш элементларининг n-ёки p-тип базаси сифатида ишлатиладиган, афтолегирлашни бостириш билан ўстирилган қатлам, мультикремний таглигидан фақат донлар чегерасини ва уларнинг ориентациясини яъни унинг жинсини ёки эгизак тузилишини мерос қилиб олади, плёнканинг электрофизик тавсифлари эса фақат газ фазада махсус

легирлаб аниқданади. Шунингдек бу бобда, концентрланган қуёш нурланишига дучор бўлган қуёш элементлари ФИК нинг ўта чизиқли ўсиши эффектининг намоён бўлиши тўғрисида, водород пассивациясидан фойдаланиш эффективлиги ва ўрнатилган торувчи электр майдонлари тўғрисида ҳам маълумотлар берилган. Водороднинг пассивацияси натижасида мультикремнийли барча турдаги қуёш элементларининг ФИК ни ошиши кўрсатилган.

Дон чегараларида рекомбинация марказларининг водород пассивацияси туфайли бу юзага келади. Шуни таъкидлаш керакки, водород пассивацияси эффективлигининг кўрсаткичи водород ионлари билан ишланган қуёш элементларининг спектрал тавсифида йўқолиши ҳисобланади, қуёш элементларининг водород билан ишланмаган ~1,0 -1,1 мкм тўлқин узунлиги соҳасида, яъни Si ҚЭ даги спектрал сезгирлик чегарасида жойлашган фототок қутбининг ўзгарган соҳаси ва данолар чегараси билан таъминланган, энергетик сатҳларни ўз ичига олган заряд ташувчилар генерацияси билан боғланган. Водород пассивацияси поликремний қуёш элементларининг эффективлиги монокристалл қуёш элементларининг эффективлигидан юқори бўлиши мумкин бўлган чегераларда, рекомбинация марказларини қайта қуриш натижасида ўртача интенсивликдаги (5-10 марта) консентрланган қуёш радиациясининг таъсиридан келиб чиқадиган, қисқа туташув токининг ўта чизиқли ўсиш соҳасини йўқ бўлишига олиб келади.

Қуёш элементларининг асосий соҳасини бажаришда мултикремнийни қўллаш, биринчидан, техник кремний ва мультикремнийни чуқурроқ тозалашни талаб қилади, бу жуда заҳматли ва иқтисодий жиҳатдан фойдасиз, иккинчидан эса, бундай элементларнинг ФИК барибир электрон сифатли кремний асосга эга ўзгартиргичларникидан камлиги кўрсатилди. Мультикремнийли тагликда плёнка асосли қуёш элементларининг ФИК ни прогнозли ҳисоблаш уларни серияли ишлаб чиқариш шароитида регрессия модели (1) ёрдамида амалга ошириш таклиф этилган.

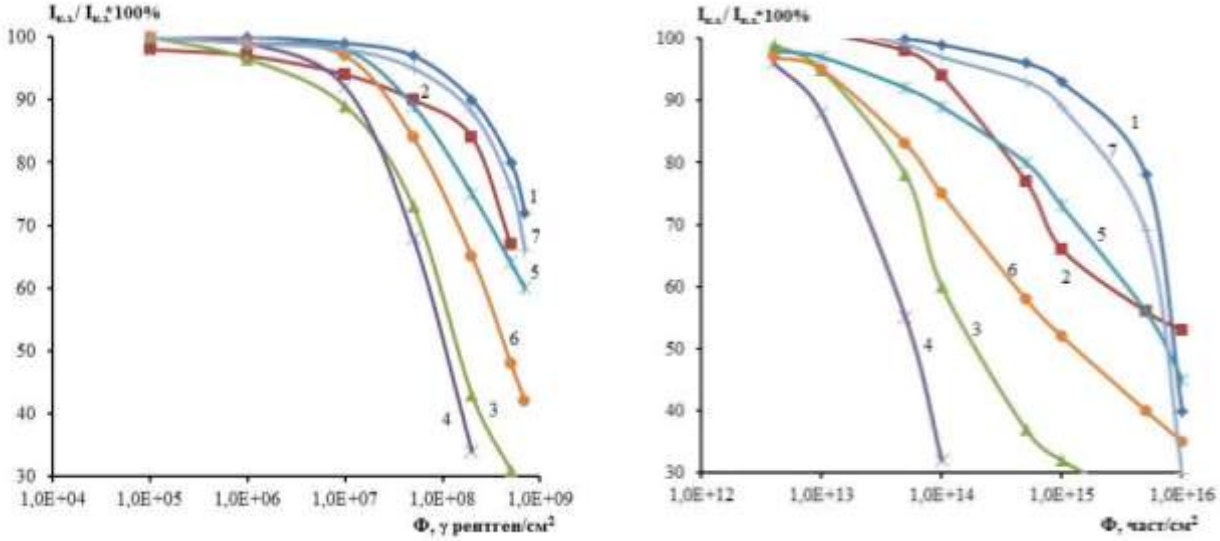
$$К/\ К_0 = 0{,}79 + 0{,}00026\,(X_3)^2 - 0{,}03\,X_1X_2X_3 - 0{,}0003\,(X_1)^3 \qquad (1)$$

Модел (1) мустақил ўзгарувчиларни варияциясида ФИК нинг ўзгаришини тавсифлайди: X_1 -мультикремнийга асосланган плёнканинг солиштирма қаршилиги, яъни қиймати 1 дан 10 ом см гача ўзгариши керак бўлган қуёш элементининг базаси; X_2 – тагликнинг солиштирма қаршилиги, яъни 0,001 дан 0,01 ом.см гача ўзгариши мумкин бўлган хусусий мультикремний; X_3 -плёнка асосининг қалинлиги 20-50 мкм атрофида. Чиқиш параметри сифатида $К/К_0$ нисбати қабул қилинган, бу ерда К – акслантириш қопламаси қилинишидан олдин ва W_0= 0,1 Вт /см^2 ли вольфрам лампа билан ёритилганда, 300 К да, яъни ишлаб чиқаришда қуёш элементларнинг ишчи қисмларини текширишнинг стандарт синов шароитида мультикремний тагликли плёнка тузилишлари асосида тайёрланган ҚЭ нинг ФИК, $К_0$ –белгиланган ўлчов шароитида минимал рухсат этилган қиймат.

2-расмда қуёш элементларининг радиацияга чидамлилиги тасвирланган. Кўриниб турибдики, электрон тозаликдаги кичик донали поликремнийдан (1-

эгри чизиқ) ясалган СЭ лар рентген нурланишига (2а-расм) ҳам, тезкор электронлар билан нурланишига (2б-расм) ҳам энг юқори чидамлиликка эга, бироқ уларнинг ФИК минимал ва ~5-8% ни ташкил қилади. Электрон тозаликдаги намонокристалл тагликларда хлоросилан жараёнида тайёрланган КОЭС (7-эгри чизиқ) асосида ҚЭ ларининг юқори ва радиацияга чидамлилиги, бу эса мультикремний асосли қуёш элементларида, иккиламчи қуйма полисиликон бўладими (3- эгри чизиқ) ёки Чехралский бўйича Кр00 маркали техник кремний қўшилган металлургия чиқиндиларини қайта эритиш натижасида олинган кремнийдан (4-эгри чизиқ), аксинча, энг паст. Кўп миқдордаги аралашмалар (Sb, P, As) билан аралаштирилган, ҳар бирининг эрувчанлик чегарасига қадар, хлоросилан жараёнида катта блокли ($d_{дон}$= 500 – 1000 мм) тагликларга ётқизилган, d=50-60 мкм плёнкали п-п$^{+}$ типидаги СЭ ларнинг чидамлилиги, ҚЭ технологиясида кенг қўлланиладиган КСД-1 маркали кремнийидан (5- эгри чизиқ) ташкил топган ҚЭ га нисбатан юқори (2- эгри чизиқ) чиқади, лекин фақат р-п ўтиш борни имплантацияси натижасида ҳосил бўлган ва ушбу ҚЭ ларнинг чидамлилигидан кам ёки таққосласа бўладиган бўлса, агар р-п ўтиш борнинг термал диффузияси билан ҳосил қилинган бўлса (6- эгри чизиқ).

а б



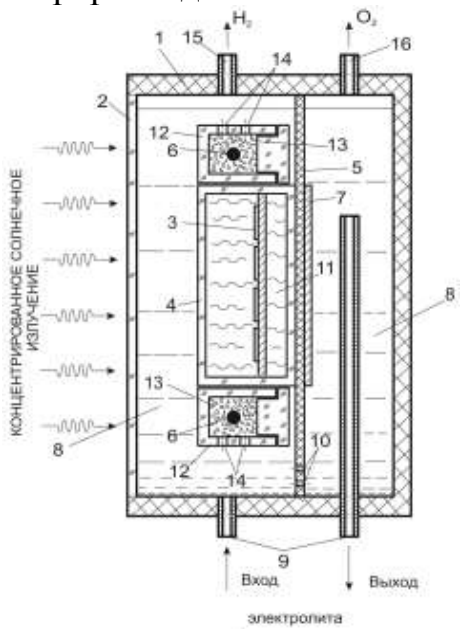
2-расм. АМ 1,5 (Р= 850 Вт/м^2, Т=300К) ўлчанган, турли хил технологик келиб чиқадиган кремнийдан тайёрланган ҚЭ нинг қисқа туташув токининг қийматига J=300 рентген/сек зичликли, Е=1,3 Мэв эга бўлган рентген нурланишининг таъсири (а) ва J=10^{11}см$^{-2}$сек$^{-1}$ зичликли, Е=1-3,5 Мэв эга бўлган тез электронлар билан нурланишнинг таъсири (б): 1–электрон тозаликдаги кичик донли ПК қилинган базали; 2–мультикремнийдан кучли легирланган тагликка ётқизилган плёнка асосидаги база, р-п ўтиш эса ион имплантация билан бажарилган; 3–ВЛПК технологияси бўйича олинган мультикремний асосидаги база; 4–шихтада Кр 00 ТК қўшимчалари бўлган, Чохральский усули бўйича чўзилган мультикремний асосидаги база; 5–КСД 1 маркали Si асосидаги база; 6 – 2 чига ўхшаган базали, лекин диффизион р-п ўтишли. 7- плёнкали ҚЭ электрон тозаликдаги таглик асосида.

Этарли даражада юқори самарадорликни олиш имкониятидан келиб чиқиб, мультикремнийдан тагликларга ётқизилган, плёнка асосли қуёш элементлари учун ярим маҳсулот тузилмаларини олиш, бизнинг фикримизча, бошиданоқ электрон тозаликдаги хом кремнийни олиш жараёнида ўзларининг иқтисодий самарадорлигини кўрсатадиган қайта ишланган хлорсилан технологияларидан фойдаланишга эътибор қаратиш зарур, биз томондан ишлаб чиқилган эпитаксиал ишлаб чиқаришда буғ-газ аралашмаларинидан иккинчи марта фойдаланиш усуллари, бу хом Si (1 кг учун ~9 АҚШ долларгача) ва шунга ўхшашларнинг нархларини бир неча марта пасайишига олиб келди.

ЭҲМ дан қуёш элементларининг плёнкали базасини ўстириш жараёнини бошқариш учун сиз табиий ўзгарувчилар шаклида бўлган, тажрибани режалаштириш усули орқали биз томонидан қурилган, амалда синовдан ўтган, ўсиш тезлигининг (2) математик моделидан фойдаланишингиз мумкин:

$$\mathbf{V= 0,\ 5550582 + 0{,}4924768\ 10^{-3}X_1\ (X_2)^2 + 0{,}8611089\ 10^{-7}\ X_2\ (X_3)^2} \qquad \mathbf{(2)}$$

бу ерда X_1–60-120 л/мин диапазонидаги буғ-газ аралашмасининг (БГА) (H_2 + $SiCl_4$) сарфи, БГА нинг чизиқли тезлигини ёпиш диапазони 26,5–54 см/сек диапазонида, X_2–1,37-2,28 об.% диапазондаги, водороддаги, $SiCl_4$ концентрацияси, X_3 – 1500- 1600 К диапазондаги тагликнинг ҳарорати. Таклиф этилаётган модел (2) Эфроимсон алгоритмини амалга оширади ва 0,9 дан 1,4 мкм/мин оралиғида қатламларнинг ўсиш тезлигини тахмин қилишга имкон беради, умумий зичлиги 10-10^2 $см^2$ дан юқори бўлмаган, ўсиш нуқсонларининг устунлиги номограммаси бўйича, бу базада заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги ва яшаш даврининг юқори қийматларини кафолатлайди, бу дегани плёнкали қуёш элементларининг юқори ФИК такрорланади.



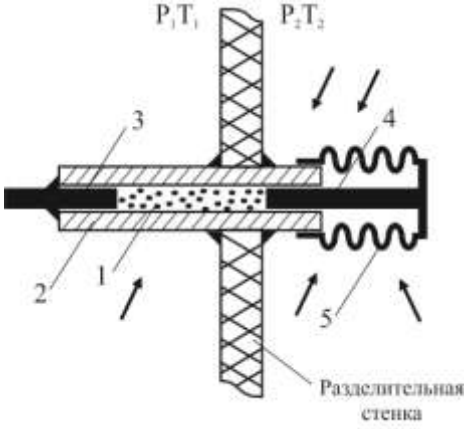
3-расм. № IAP № 00 876 патентидаги ишлаб чиқилган водород генераторининг ишчи электрокимёвий катагининг кесими.
1 – корпус; 2, 4 – шаффоф девор; 3 – ҚБ; 5 – пардевор; 6 – водород электроди, бу ТК 13 билан тўлдирилган, металл сетка кўринишидаги, нурланиш учун шаффоф бўлган касета 12 да жойлашган; 7 – кислород электроди; 8 – электролит; 11 – синдириш кўрсаткичи электролит 8 га нисбатан катта бўлган иссиқлик ўтказувчи, диэлектрик суюқлик; 10, 14 – электролит ва водородни ўтказувчи тешик; 9, 15, 16 – қисқа труба.

Консентрланган қуёш нурланиши билан ёритилган Si катоди ва кремнийнинг электролит билан кимёвий реакцияси туфайли ажраладиган, сувнинг электролизи сиртдаги фотолиз билан бирлаштириладиган, фотоэлектрик водород генераторларида (ФВГ) сарфланадиган электродлар

(катод) яратиш учун техник кремний ва мультикремнийдан фойдаланиш имконияти кўрсатилган. 3-расмда ишлаб чиқилган водород генераторининг ишчи электрокимёвий катагининг кесими кўрсатилган.

Радиация интенсивлиги ~75 марта ва қуёш батареяси тўғридан-тўғри карилманинг ичида жойлашган бўлса, 2 ва 4-ойналардан ўтаётганда нурланишнинг барча енгил йўқотишларини ҳисобга олган, шунингдек електролитлар 8 ва инерт суюқлик 11 қалинлиги, Қуёш элементларининг ўлчами 5,5х5,5 мм^2 енг ёмон ҳолатда кучланишнинг кўрсаткичи U=2,5 В ва токники I=55 мА. Ушбу турдаги конверторлар учун ҳозирда $I_{кз}$ ~75 мА. ячейкадаги ёруғлик йўқотишларини минималлаштириш турли хил оптик зичликдаги муҳитлардан ўтаётганда нурланишнинг ёркинлигини ошириш орқали амалга ошириилди, шунингдек суюқликга 11 бўёқ қўшш, унинг рангини максимал спектрал сезгирликка яқин тўлқин узунлигига ўзгартиради (L=0,85 мкм). Си. Ишлайдиган батареядда параллел равишда 100 та элемент уланган.

Грануланган кремнийни қўллаган ҳолда иссиқлик энергиясини ўзгартиргичи(ИЭЎ)нинг янги турлари ишлаб чиқилган (4.6-расм), шу жумладан концентрацияланган қуёш нурланишининг нофаол қисми ва конструкцияда қўлланилган юқори температура, босим ва нурланиш даражаси шароитида ишлай оладиган модулларда температура ва босимнинг $I_{кз}$ га ва иссиқлик энергиясини ўзгартиргичи қувватига боғлиқлиги аниқланди.



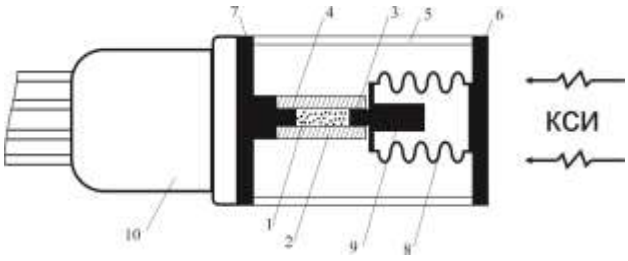
4-расм. Иссиқлик изоляцияси қилинган девор билан бўлинган иккита жисм чегарасида $T_2>T_1$ ва $P_2>P_1$ ишлайдиган грануланган кремний асосида ишлайдиган янги турдаги ИЭЎ. 1-ГК дан қилинган ишчи жисм, 2-корпус, 3-ҳаракатланмайдиган электрод, 4-ҳаракатланувчи электрод 5- сильфон билан боғланган, юқори босим P_2 остида ва 1 ишчи жисмга сиқиш кучланишини узатувчи муҳитга жойлаштирилган. Ўқлар билан иссиқликнинг ИЭЎ га нотекис бориши кўрсатилган.

4-расмдаги ИЭЎ икки муҳит чегарасида $T_2>T_1$ ва $P_2>P_1$ бўлган турли температураларда ва босимларда ишлайди.

5-расмда келтирилган янги турдаги модул ИЭЎ нинг ишчи жисмини диаметри 500 мм бўлган параболик концентратор орқали ҳосил қилинган концентирланган нурланиш ёрдамида қиздириш шартида ишлайди. Бу қабул қилувчи юза 6 ни 500К дан кам бўлмаган температурагача ва “иссиқ” ҳаракатланувчи электрод 3 ни ~475 К гача қиздиришни таъминлайди. Кремний кукуни заррачасининг ўлчами 10-30 мкм бўлган ГК дан тайёрланган ИЭЎнинг ишчи жисмига қўзғалувчи, иссиқ электрод учидан босим ва температура берилади.

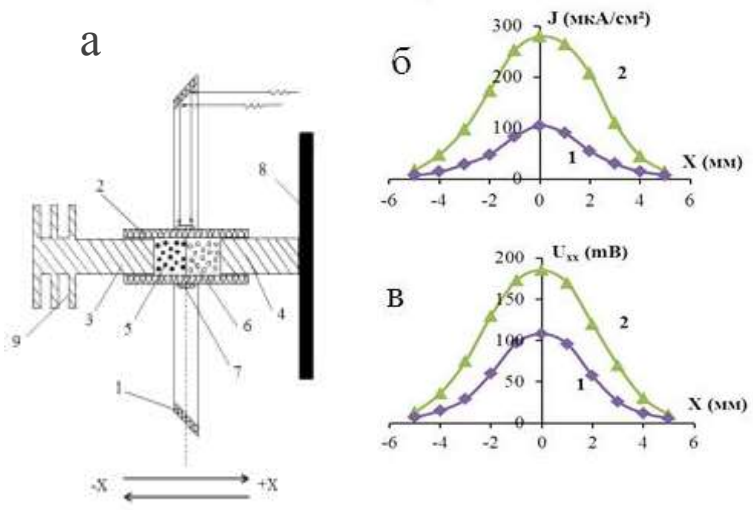
Ушбу ишчи жисм ГКдан тайёрланган ўлчами Ø6 мм ва узунлиги 12 мм бўлган ИЭЎнинг ток зичлиги $J_{кз}$ 20мА/см^2, кучланиш эса $U_{хх}$~80 мВ бўлади.

Шуни таъкидлаш муҳим аҳамиятга эгаки, ГКдан тайёрланган ўзгартиргич ишчи жисми параметрларининг нурланишга чидамлилиги тажрибалар ўтказилиб дозаси 10^9 рад. гача бўлган Co^{60} гамма квантлари орқали нурлантирилиб экспериментал тасдиқланган.



5-расм. Концентрланган қуёш нурлари(ККН) билан иситиладиган қуёш модулининг янги тури.
1-ГКдан тайёрланган ишчи жисм, 2-ИЭЎнинг керамик корпуси, 3-қўзғалувчи "иссиқ" электрод думи билан, 4,9-қўзғалмас "совуқ" электрод, 5-диэлектрик корпус, 6-қабул қилувчи юза, ККН билан қиздирилади(стрелка билан кўрсатилган), 7-мис пластинка, 8- H_2O буғлари билан сильфон, 10-иссиқлик трубаси.

Шунингдек, 6-расмда келтирилган, янги қуёш модулининг макети ҳам яратилган.Модул кесик конусли концентратор 1 дан келадиган кноцентрланган қуёш нурланишида ишлайди, ўзгартиргич корпусининг ташқи сиртига ўрнатилган тор ўлчамдаги ~1мм сирти қорайтирилган металл ҳалқа орқали қабул қилувчи 7 га йўналтирилади. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, қабул қилувчи 7 нинг ва концентратор 1 нинг диаметрлари ~1/100 муносабатда бўлганда, ГКдан тайёрланган ишчи жисм n ва p соҳа чегарасида 5,6 соҳаларда қабул қилувчи 7 ни Қуёш атмосферасидан ташқарида ККН ёритганда, концентратор 1 ни етарли даражада аниқ бажарилмасада



6-расм. (а) – қуёш модули кесими. 1- конусли концентратор, 2 - 3 ва 4 электродлардан иборат ИЭЎ корпуси ва бир-бирига тегиб турувчи 5, 6 n ва p соҳаларга киритилган грануланган кремнийли ишчи жисм, 7-приёмник КСИ в виде кольца,7-ҳалқа шаклидаги ККН қабул қилгичи, 8-экран, 9 -радиатор; (б) - $J_{кз}$ ток зичлигининг ўзгариши; (в) - ўзгартиргични 1-500К ва 2-700К температурада (-X) - (+X) йўналишларда кўчиргандаги ва уни мос равишда ККН билан ёритганда P_0=700 Вт/м^2 и P_0=850 Вт/м^2 қабул қилгич 7 да ўлчангандаги кучланиши U_{xx}.

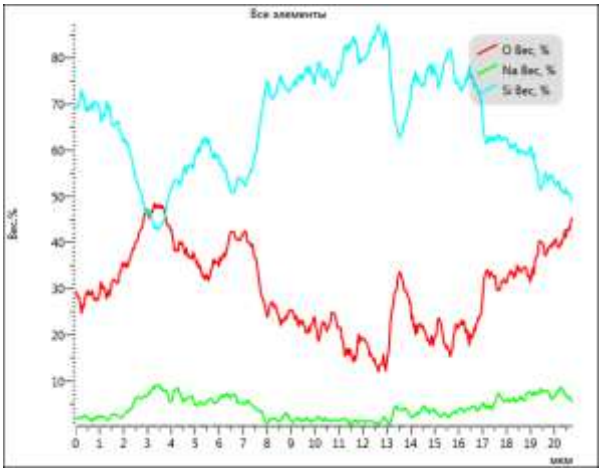
1000 К даражагача ва қайтариш коэффициентини ~0,8 гача таъминлаш мумкин. 6(б) ва 6(в) расмларда модул макетида олинган қисқа туташув ток зичлиги ($J_{кз}$) ва эркин юриш кучланиши (U_{xx})нинг кесик конус концентратори 1 ўртача баландлигига нисбатан n ва p соҳалар орасидаги чегараси қисмининг 5 ва 6 ўнг

(+X) ва чапга (–X) силжишидаги ўзгариши келтирилган. 6(б,в) расмдаги (1) эгри чизиқ P_0=700 Вт/м^2, (2) эгри чизиқ эса P_0=850 Вт/м^2 ва ҳаво температураси 300К бўлганда олинган. Концентратор 1 баландлиги вариацияси 2 дан 15мм гача, шунингдек ишчи жисм узунлиги бўйича температура градиентини ҳосил қилиш фақат кесик конусли концентратор нурланиши билан нотекис ёритиш ҳисобига эмас балки, қиздирилувчи экран 8 нинг иссиқлик ўтказувчанлиги ва электрод 3 даги радиатор 9 нинг ривожланган юзасидан нурланиш орқали иссиқлик йўқотиш ҳисобига бўлади, узунлиги ва диаметри атиги 12 мм ва 15 мм бўлган ишчи жисмли намунада $I_{кз}$ нинг қийматини 700К да кучланиш $U_{хх}$=200 мВ бўлганда ~6,6 мА гача ошириш мумкинлигини кўрсатдик.

ИЭЎ томонидан ишлаб чиқилган энергиянинг унинг зичлиги 0.69 Si кукунидан ва монокристалл кермнийдан тайёрланган ишчи жисмга кетадиган массасига нисбати ер шароитида ~30 мВт/г ни ташкил этади, кутилаётгани эса, яъни атмосфрерадан ташқари Қуёш билан ёритилганда 48 мВт/г дан кам бўлмаслиги мумкин. Модуль шунингдек, изотипик Si, яъни р ёки n типидаги кремний кукунидан тайёрланган ИЭЎ билан жиҳозланиши мумкин. Ушбу вариантда локал иситишни металл контакт билан грануллланган кремнийнинг тегиб турувчи соҳасига қўллаш керак. Тажрибада пўлат контакт билан узунлиги 6мм ва диаметри 1,7 мм бўлган ИЭЎнинг кенглиги ~0,5-1 мм бўлган соҳасида 60мВ кучланишда қисқа тутушув токи зичлиги 200 мА/см^2 олинди.

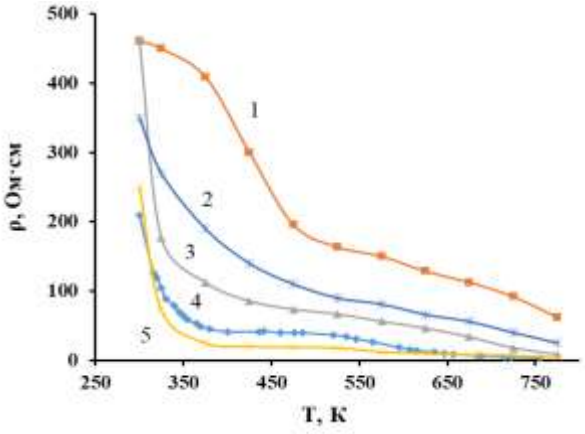
Грануллланган кремнийдан тайёрланган ўзгартиргичларнинг эффективлигини ошириш масаласидаги асосий вазифа SiO_2 наноўлчамли қатламининг ўтказувчанлигини ошириш ҳисобланади, яъни юқорида айтиб ўтилган кремний диоксидининг наноўлчамли плёнкаси орқали заряд ташувчининг тунеллашув эҳтимолини ошириш, унда уни ҳал қилиш учун биз кукун заррачалари сиртида SiO_2 плёнкаси устидан, тунеллашувчи заряд ташувчилар учун ўзига хос «плацдармов» вазифасини бажарувчи ўтказувчан оролчаларни ҳосил қилишни таклиф қилдик. Биз томондан биринчи марта таклиф қилинган яна бир усул – бу ўтказувчанлик зонасининг пастки қисмига туташган кремний диоксидининг тақиқланган зонасида энергетик сатҳни яратиш, бу орқали Гамов эмас, балки заряд ташувчиларни резонансли тунеллашувини ташкил этиш таклиф этилди.

Грануллланган кремнийнинг ўтказувчанлигини бундай ошириш учун экспериментал равишда бир қатор усулларни ишлаб чиқдик, яъни радиация таъсирида (дозаси 10^7-10^9 рад бўлган Co^{60} гамма-квантлари билан нурлантирилганда), бу ҳали ҳозирча сезиларли натижа бермади ва кремний нанозаррачасини пассивланган кислород қўшиш йўли билан, бу ўтказувчанликнинг (~20%) ошишига олиб келди. Яна монокристал бўлмаган Si ни ишқорли ва ўтиш металли хом ашёси билан зарра чегарасида легирлаш ва кейинчалик уни айниқса зарра чегараси бўйлаб майдалаш орқали ўтказувчанлигини 10 марта ошириш имконини берди.



7-расм. Натрий иони имплантацияси билан олдиндан легирланган хом ашёни майдалаш орқали олинган кремний гранулалари ҳажми бўйича аралашманинг тақсимоти.

7-расмда ўлчами ~18 мкм бўлган кремний грануласининг ҳажми бўйича O ва Si нинг ва хом ашёга ионли имплантация билан киритилган натрийнинг тақсимоти келтирилган. Кўриниб турибдики, гранула сиртида кремний концентрацияси камаймоқда, кислород концентрацияси эса аксинча ошмоқда. Гранула марказида Na миқдори минимал, аммо кутилганидек унинг сиртига томон силжиши билан ортиб боради гранула чегарасида максимумга эришади. Грануланган кремний (ГК)нинг ўтказувчанлигини оширишнинг янги усулининг самарадорлиги 8-расмда тасдиғини топади, бу ерда уни солиштирма қаршилигининг тепмпературага боғланиши келтирилган, электрон тоза Si кукунидан тайёрланган (1-эгри чизиқ, эталон), техник кремний (30%) кукуни ва заррача ўлчами 10-30 мкм бўлган n-типдаги поликремний аралашмаси (2-эгри чизиқ),олдиндан Na иони имплантацияси билан легирланган n-типдаги поликремний пластинкасидан тайёрланган ГК (3-эгри чизиқ), p-типдаги мультикремний пластинкасидан тайёрланган, майдалашдан олдин никель (4-эгри чизиқ) ва темир (5-эгри чизиқ) билан легирланган ГК.



8-расм. ГК намунасининг солиштирма қаршилигининг тепмературага боғланиши: 1-электрон тоза Si кукунидан тайёрланган ГК; 2-ТК(30%) ва ПК кукунлари аралашмасидан тайёрланган ГК; 3-Ni билан легирланган ПК дан тайёрланган ГК; 4-майдалашдан олдин Ni билан легирланган GR; 5-мультикремний, эритилган шихтага қўшилган ТК дан тайёрланган ГК.

Дастлабки ноликремнийга Na киритилганда ҳосил бўлган ГКнинг ўтказувчанлиги қиздириш температура диапазони 300-650 К да эталонникига

қараганда 2 марта катта эканлиги кўриниб турибди. Буни температура ≥430^{o}C да Si да, дастлаб заррача чегарасида жойлашган барча ишқорий металларни тортаётган ва айниқса дон тортиш натижасида пайдо бўлган ГК заррачалари чегарасида SiO_4 комплексларининг парчаланиши кетганда яхшироқ кўринади (7-расм). Натижада дон чегарасида ўтказувчанликнинг ошиши SiO2нинг наноўлчамли қатлами орқали заряд ташувчиларнинг резонанс тунеллашуви ҳосил бўлишининг эҳтимоллиги ошади, бу эса ўтказувчанликнинг сезиларли ошишига олиб келади. Хом ашёга Ni аралашмаси киритилганда (4-эгри чизиқ) ўтказувчанликнинг ортиши сезиларли содир бўлмайди, 1,5 марта, бу Na аралашмасини поликремнийга ион имплантацияси билан киритганга нисбатан кейинчалик диффузия билан сиртни «ишқалаш» орқали Ni аралашмасини киритиш билан дон чегарасини легирлашнинг юқори даражаси билан тушунтирилади. Эҳтимол Si да Ni нинг паст эрувчанлиги ҳам роль ўйнаши мумкин. Аксинча, хом ашёни темир аралашмаси билан лагирланганда, ТК қўшилган шихтадан тайёрланган мультикремний олишда, ҳосил бўлган ГК нисбатан юқори ўтказувчанликка эга бўлади (5-эгри чизиқ). Худди шундай, юзасини «ишқалаш» дан кейин диффузия орқали киритилган темир аралашмаси билан олдиндан легирланган поликремнийни майдалаш орқали олинган намуна етарлича юқори ўтказувчанликка эга бўлади. Шуни таъкидлаш керакки, шу билан бирга барча намуналарда ЎзР ФА ИПЛТ интитутида, ҳамда Белоруссия Фанлар Миллий Академиясининг материалшунослик бўйича илмий-ишлаб чиқариш марказида, ИЭЎ намунасининг икки хил корпусланган ва корпуссиз вариантлари учун ўлчанган юқори Зеебек коэффициенти кузатилди (350-375 К да ~ 490 -520мкВ/К).

ХУЛОСА

1. Ўзгарувчан ва доимий токли электрёйли печларда техник кремнийни эритиш жараёнини тадқиқ қилиш асосида қаттиқ углеродли қайтаргичнинг бир қисмини (50-80%) газ кўринишидаги метан билан алмаштириш электрёй ёниш қисмида CH_4ни тўғридан-тўғри беришда никель катализаторини ~800K гача контакт йўли билан қиздиришда водород ва углерод диссосациясини таъминлаш, ҳамда электрёйдан ўтувчи ток қиймати бўйича ва метанга сув буғлари аралаштириш билан спонтан ва даврий равишда уни оператив тўхтатиш жараёнини назорат қилиш мақсадга мувофиқлиги кўрсатилган.

2. Брикетланган хар хил турдаги шихтадан техник кремийни эритиш хусусиятларини ўрганиш асосида унинг таркибига кирувчи заррачанинг бир хил ўлчам катталигига қадар майдалаш мақсадга мувофиқлиги аниқланди, ҳамда бундай имконият ишлаб чиқаришда мавжуд эмаслиги ва микрокремниземанинг наноўлчамли чангларини утилизация қилиш зарурлиги учун заррачанинг катталиги бўйича энг кичигини қўшишни ҳисоблашнинг янги усули таклиф этилди, масалан брикетдаги микрокремнезема, брикетлашга кетадиган асосан кремнийни ўз ичига олган компонентнинг ҳажмий зичлигига тескари пропорционалдир.

3. Шихтани паста шаклидаги ҳолатида қўллаш биринчи бор таклиф қилинди ва уни электрёй печига узатишнинг янги усули ишлаб чиқилди,

шунингдек газсимон углеродли қайтаргични ва шихтани электрёй ёниш қисмига қарама-қарши йўналишда тўғридан-тўғри пастасимон ҳолатида жўнатиш ва бир вақтнинг ўзида шихтани анаънавий бўлак-бўлак фракция кўринишида ва электродка биркет кўринишида устма-уст ташлаш билан хулоса қилинувчи ушбу янги технология варианти экспериментал синовдан ўтказилди.

4. Техник кремнийдан тўғридан-тўғри металлургия меъёрларида тайёрланган мультикремнийни плёнкали қуёш элементларида учун нафақат таглик сифатида қуёш элементлари технологиясида қўллаш мақсадга мувофиқлиги кўрсатилди, база соҳаси автолегирлаш беришни таъминлаш билан газ фазасидан таклиф этилган. Экспериментни режалаштириш усулини қўллаш орқали айланиб турган технологияда қўллашни ва бундай қуёш элементларининг ФИКни назарда тутувчи хлоридлаш жараёнида плёнкали базасини ўстириш тезлигининг математик регрессион модели яратилди.

5. Водороднинг фотоэлекрик генераторида сарфланадиган электродларни ҳосил қилиш учун техник кремний ва мультикремнийни қўллаш мумкинлиги биринчи маротаба кўрсатилди, бунда концентрланган қуёш нурлари билан ёритилган ва электролитлар оқими билан совутилган қуёш батарейкасидан сувнинг электролизи, сиртдаги фотолиз билан бирлаштирилади, шунингдек, Si электродидан кноцентрланган қуёш нурланиши билан ёритилганда ва кремний билан электролитни кимёвий реакцияси ҳисобига водород ажралади.

6..Техник кремний ва мультикремнийни заррача ўлчами 1-30 мкм бўлган кукун ҳолатигача майдалаш орқали тайёрланган грануллланган кремний асосида юқори температура, босим ва радиация даражасида ишловчи янги типдаги иссиқлик энергиясин ўзгартиргичи ишлаб чиқилди, шу жумладан концентрланган қуёш нурланишининг фотоактив бўлмаган ташкил этувчили модулида ўзгартиргичнинг ишчи жисмини қиздириш ва унда босим ҳосил қилиш учун қўллаш мумкин.

7. Грануллланган кремний ўтказувчанлигини оширишнинг янги усули таклиф этилди, бу грануллланган кремний заррачасини ўраб олувчи наноўлчамли SiO_2 қатлами орқали заряд ташувчининг резонансли тунеллашуви тузилишига асосланган ва техник, поли ва мультикремний кўринишидаги хом ашёни ишқорий ва ўтиш металлари билан легирлаш ва кейинчалик уни айниқса зарра чегараси бўйича майдалаш, Зеебек коэффициенти қийматининг 10 карра ошиши ва монокристалл кремнийга нисбатан солиштирганда иссиқлик ўтказувчанликнинг сезиларли камайишида ўтказувчанликни 10 мартадан кам бўлмаган миқдорда ошириш имконини берди.

8. Техник кремнийни бир маротаба қайта эритиш натижасида олинадиган мультикремнийдан иситгичлар ва ишга туширувчи токдан чўғланма лампа толасини ҳимояловчи қурилма тайёрлашда материал сифатида фойдаланиш асосланди ва кўрсатилди.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM.65.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

АБДУРАХМАНОВ БОРИС МАЛИКОВИЧ

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ЕГО ОСНОВЕ

01.04.04 – Физическая электроника

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в ей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № .2.PhD/T1501.

Диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу www.iplt.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyonet.uz.

Научный руководитель:	**Курбанов Миртемир Шадиевич** доктор технических наук, старший научный сотрудник
Официальные оппоненты:	**Умирзаков Болтахужа Ерматович** доктор физико-математических наук, профессор
	Ташатов Алланазар Каршиевич доктор физико-математических наук, профессор
Ведущая организация:	**Институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана**

Защита диссертации состоится «30» 04 **2021 г. в** 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий по адресу: 100125, г.Ташкент, ул.Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за № 1), по адресу: 100125, г.Ташкент, ул.Дурмон йули, 33. Тел.: (+99871) 262-31-69.

Автореферат диссертации разослан «19» 04 2021 года.

(реестр протокола рассылки 1 от «19» 04 2021 года).

Х.Б. Ашуров
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

И.Д. Ядгаров
Учёный секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

Б.Е. Умирзаков
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Кремний является базовым материалом электроники и солнечной энергетики, а также сырьем для химической промышленности и черной и цветной металлургии. В результате использования оборотных технологий получения кремния – сырца электронной чистоты из трихлорсилана ($SiHCl_3$) в начале XXI века были более чем в 10 раз снижены цены на изделия солнечной энергетики и на повестку дня вышли задачи оптимизации и других операций в многозвенной цепи производства кремния. Именно поэтому в мире резко возрос интерес к модернизации процесса выплавки технического кремния, оказавшегося наиболее экологически неблагополучным и энергоемким в указанной цепи.

В настоящее время мировой объем производства технического кремния составляет более 2,2 млн.т в год, однако, развитие указанных выше отраслей, в том числе, планы развития солнечной энергетики потребуют не только поддержания производства на достигнутом уровне, но и значительного его увеличения. В Республике Узбекистан большое внимание уделяется развитию науки и технологии выплавки технического кремния и ферросплавов. Так организовано производство технического кремния в г. Навои и ферросилиция в гг.Ангрен и Бекабад чем обеспечено замещение поставок этих материалов по импорту.

Согласно стратегическому развитию РУз на 2017-2021 г.г. определены задачи “снижения расхода энергии и ресурсов в экономике, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики”[1]. В этой связи модернизация существующей технологии, а также разработка новых методов и приемов выплавки ТК, направленных на устранение ее недостатков и одновременно повышающих управляемость процесса и качество продукта, и снижающих его энергоемкость и себестоимость, являются актуальными. Особо остро стоит вопрос повышения рентабельности процесса выплавки технического кремния за счет увеличения его ликвидности, например, после его металлургического передела в мультикремний с последующим его использованием в солнечной энергетике. Одно из ответвлений этого направления это использование не монокристаллических модификаций Si в качестве термоэлектрического материала. В этой связи актуальны задачи, связанные с изучением термоэлектрических свойств различных модификаций кремния, и создания на их основе преобразователей тепловой энергии. Направления этих фундаментальных исследований и разработок, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и их практического применения, отражены в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы[1].

Данное диссертационное исследование, соответствует задачам, поставленным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О

[1] Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года и № УП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также Постановлений №ПП-3698 «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 7 мая 2018 года и №ПП-3855 «О дополнительных мерах по повышению эффективности коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности» от 14 июля 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан: III. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино – и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения» и VII. «Химическая технология и нанотехнология».

Степень изученности проблемы. Технология технического кремния и е разрабатывались, в России, США, Италии, Франции применительно к однофазным и трехфазным открытым электродуговым печам. В компаниях «Элкем» (Норвегия) и «Русал» (РФ), а также в Иркутском государственном техническом университете, в Канмингском университете науки и технологии (КНР) активно велись исследования по совершенствованию технологии выплавки и, соответственно, модернизации оборудования, в частности, по ведению плавок в закрытых печах. Vangskasen J. (Норвегия), W. Lin (Китай), Xakalashe B. (ЮАР), Ёлкиным К.С., Толстогузовым Н.В. (Россия) и др. были исследованы механизмы восстановления SiO_2 и разработаны новые методы выплавки, в том числе в электродуговых печах с полыми электродами.

В РУз на базе местного сырья в виде жильного кварца и различных углеродистых восстановителей технический кремний (ТК) марки Кр 2 и Кр1 был получен впервые в 1998 г. Абдурахмановым К.П., Костецким М.О. и др*., затем Ашуровым М.Х. и др*., был получен ТК марки Кр1и Кр0, что было положено в основу обоснования на строительство заводов в г.Навои и г. Ангрене. В 2011-2014 г.г. Курбановым М.Ш. и др*. на базе отечественного сырья был получен ТК марок Кр0 и Кр00 и предложено заменять до 80% твердого импортного углеродистого восстановителя местным природным газом. Hannesson P., Немчинова Н.В., Черняховский Л.В. и др. провели исследования по совместному окускованию кремнезема и углеродистого восстановителя, что позволило создать новую, перспективную технологию выплавки с использованием брикетов и дало импульс для исследований роли размера частиц шихты в реакциях взаимодействия SiO_2 с углеродом. Стребковым Д.С., Непомнящих А.И., Грибовым Б.Г., Немчиновой Н.В., Абдюхановым И.М. и др. разрабатывались пути повышения чистоты технического кремния рафинированием и переплавом и, тем самым, упрощения получения и удешевления Si -сырья для изготовления солнечных элементов.

Ряд важных исследований термоэлектрических свойств различных материалов, включая силициды, был проведен: А.А. Снарским, А.В. Дмитриевым, И.П. Звягиным, В.В. Каминским, Ж. Дебуром, С. Стиве, Ш. Фолькером, Е. Муллер, К. Забреки, Т.П. Хоганом,. Н.А. Матчановым, А.М. Касымахуновой, Т.С. Камиловым, Г. Абдурахмановым. Отметим, что кремний не считался термоэлектрическим материалом из-за его высокой теплопроводности, но в последнее время в мире началось изучение термоэлектрических свойств таких модификаций Si , как пористый кремний и кремниевые нанотрубки.

Ученые Узбекистана М. С. Саидов, Л. О. Олимов, А. Ю. Лейдерман, А. С. Саидов и др*. обнаружили и исследовали примесный тепловольтаический эффект возникающий при нагреве не монокристаллических образцов Si, что обусловлено генерацией носителей заряда при поглощении субзонных фотонов с участием глубоких энергетических уровней. Эти результаты привели к созданию новой модификации кремния - гранулированного, в котором фактически реализуется система электронный кристалл – фононное стекло (ЭК-ФС), роль которых играют, соответственно, частица порошка Si и наноразмерная пленка SiO_2 на ее поверхности, На базе этой, новой модификации кремния Ашуровым Х.Б., Адиловым М.М., Ашуровым М.Х. и др*. создан ряд принципиально новых видов преобразователей тепловой энергии.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Диссертационная работа выполнена в рамках следующих проектов Института Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз: ФА-И4-Ф18 «Технология получения технического кремния повышенной чистоты для солнечной энергетики с использованием нетрадиционных восстановителей» (2011-2012), Ф3-ФА-Ф158 «Процессы преобразования энергии в системах на основе органических и неорганических гранулированных полупроводников с примесными неоднородностями малого размера» (2012–2016 гг.), ОТ – Ф3–11. «Исследование процессов переноса и релаксации в структурах кремния и его оксида различной размерности с точки зрения материалов для альтернативной энергетики и наноэлектроники» (2017–2020 гг.).

Целью исследования является модернизация процесса выплавки технического кремния и повышение его управляемости, а также нахождение путей применения этого материала напрямую или в виде мультикремния, полученного после одного металлургического передела, в изделиях электронной техники и солнечной энергетики.

З**адачи исследования состоят** в разработке новых методов:

-обеспечения диссоциации компонентов углеродистого восстановителя на тракте подачи в зону горения электрической дуги с контролем процесса выплавки по величине тока в электрической дуге, обусловленного ионизацией компонентов шихты;

*Все отмеченные работы в Республике Узбекистан проводились с участием соискателя.

- брикетирования шихты с учетом размера частиц кремний содержащего компонента и ее подачи в печь в пастообразном состоянии.

а также в:

-исследовании свойств солнечных элементов из мультикремния и обосновании его применения исключительно в качестве подложечного материала для пленочных преобразователей;

-разработке и исследовании свойств новых типов преобразователей тепловой энергии на основе гранул из технического кремния и мультикремния;

-применении технического кремния и мультикремния для создания, расходуемых электродов и защитных устройств нити ламп накаливания и нагревателей;

Объектом исследования являются процесс выплавки технического кремния в печах постоянного и переменного тока, приемы и методы брикетирования исходного сырья, выплавка технического кремния из шихты в пастообразном состоянии, мультикремний, гранулированный кремний и выполненные из них преобразователи тепловой энергии.

Предметом исследования являются закономерности изменения тока в электрической дуге, примесный состав технического кремния, электрофизические характеристики мультикремния, параметры солнечнқх элементов из мультикремния, электрофизические характеристики гранулированного кремния и преобразователей тепловой энергии на его основе, а также примесный состав частиц-гранул кремния.

Методы исследования. Технологические эксперименты по выплавке технического кремния вели на специально созанных электродуговых печах переменного и постоянного тока, а мультикремний получали методом прямого литья в графитовые изложницы и вытягиванием по Чохральскому Сопротивление шихты в диапазоне температур 300-1300 К определено по специально разработанной методике. В работе применены методы масс-спектрометрии и электронной микроскопии. При измерении электрических характеристик кремниевых материалов использовался 4-х зондовый метод, определении величину удельной термоэдс использовался дифференциальный метод, а теплопроводности - сравнительный. Изготовление и измерение параметров солнечных элементов проводилось на специально созданном оборудовании. Получение материалов и изготовление макетов прибооров вели на лабораторном и промышленном оборудовании.

Научная новизна исследования:

-разработан способ повышения реакционной способности углеродистого восстановителя в виде метана, предусматривающий сначала его частичную диссоциацию на атомарный углерод и водород непосредственно на тракте подачи в горн печи с последующей ионизацией в электрической дуге;

-предложен прием контроля процесса выплавки технического кремния по результатам измерений величины тока в электрической дуге и метод гашения его спонтанных и регулярных бросков увлажнением метана.

-на основе положительных результатов опытов и промышленных испытаний новых методов брикетирования шихты, предусматривающих

диспергирование ее компонентов и учет их насыпной плотности, разработана принципиально новая технология подачи шихты в горн электродуговой печи в пастообразном состоянии;

-показана возможность изготовления пленочных солнечных элементов с высоким КПД и радиационной стойкостью с использованием в качестве подложечного материала мультикремния, полученного одним, прямым металлургическим переделом технического кремния;

-с использованием метода планирования эксперимента построены математические регрессионные модели КПД пленочных солнечных элементов и скорости наращивания пленок на поверхности подложек из мультикремния, используемых в дальнейшем в качестве базовой области солнечного элемента;

-разработаны новые типы ПТЭ, в том числе с нагревом рабочего тела концентрированным солнечным излучением, предназначенные для работы при высоких уровнях внешнего давления, температуры и радиации;

-показана возможность использования ТК и мультикремния в качестве материала для расходуемых электродов в системах фотоэлектричесого получения водорода.

Практические результаты исследования заключаются в создании технических средств, установок и новых методик выплавки технического кремния в печах постоянного и переменного тока, в том числе, из шихты в пастообразном состоянии и его металлургического передела в мультикремний. Созданы методы и средства по изготовлению и измерению параметров солнечных элементов и преобразователей тепловой энергии, а также других изделий электронной техники на основе этих материалов.

Достоверность результатов исследований подтверждается применением для исследования современных стандартных, апробированных методик и приемов и метрологически аттестованных приборов и оборудования.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов состоит в теоретическом обосновании новых технологий выплавки ТК, базирующихся на контроле хода процесса по измерениям тока в электрической дуге и гашения его спонтанных пульсаций изменением состава ионов в зоне горения электрической дуги путем увлажнения газообразного углеродистого восстановителя. Особо значимым является учет насыпной плотности при брикетировании шихты и использование шихты в пастообразном состоянии. Научная значимость результатов в части повышения ликвидности технического кремния заключается в экспериментально доказанной возможности создавать на базе, полученного из него мультикремния, солнечных элементов с высоким КПД и показе путей увеличения эффективности преобразователей тепловой энергии.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что полученные научно-технические решения могут быть применены в производстве технического кремния и способны поднять его рентабельность и экологические показатели, а также использованы для создания преобразователей солнечного и теплового излучения и других электронных

приборов, работоспособных, в том числе, в экстремальных условиях эксплуатации, но изготавливаемых из доступного и дешевого сырья

Внедрение результатов исследования.

На основе полученных результатов исследования модернизации процесса восстановления кремния и создания на ее основе электронных устройств:

на способ получения технического кремния и устройство для его осуществления получен патент Агентства интелектуальной собственности Республики Узбекистан (IAP05986, 2015). В результате новый способ позволил подачи шихты в печь в новом агрегатном, а именно, в пастообразном, состоянии и определил путы модернизации конструкции электродуговых печей с контролем и управлением хода плавки по величине тока в электрической дуге;

на способ определения оптимального количества микрокремнезема в кремнеземной части брикетируемой шихты для выплавки технического кремния или ферросилиция получен патент Агентства интелектуальной собственности Республики Узбекистан (IAP 05998, 2017г.). В результате новый способ позволил экономить электроэнергию при выплавке ТК за счет подбора примерно равных по размеру частиц компонентов шихты, а при выплавке ферросилиция увеличить количество вводимого в шихту микрокремнезема до 40%, что в два раза выше, лучших показателей в данной отрасли;

на термоэлектрический материал и способ его изготовления получен патент Агентства интелектуальной собственности Республики Узбекистан (IAP 056615, 2018г.). В результате новый способ позволил определить основные пути повышения проводимости гранулированного кремния, как системы (ЭК-ФС) за счет организации резонансного тунелирования носителей заряда путем создания специальных энергетические уровней, как в самой частице кремния, так и в покрывающей ее наноразмерной пленке SiO_2;

на фотоэлектрическое устройство для электролиза воды получен патент Агентства интелектуальной собственности Республики Узбекистан (IAP 00 876, 2012 г.). В результате реализована идея получения водорода не только электролизом воды, но и в результате химической реакции между электролитом и материалом катода, который предложено выполнять расходуемым, из смеси порошков и боя ТК, мультикремния и отходов кремниевого производства, а также использовать фотоактивную часть концентрированного солнечного излучения не только для создания разности потенциалов между рабочими электродами, но и для фотолиза на поверхности катода.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 международных и республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. Результаты, полученные по теме диссертации, изложены в 22 научных трудах, в том числе в 8 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистана для публикации основных научных результатов диссертационных работ и защищены 4 патентами на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включая 24 рисунка и 9 таблиц. Текст диссертации изложен на 120 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы ее цель и задачи, определены объект, предмет и методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их научная и практическая значимость, приведена информация о внедрении результатов, апробации работы и структуре диссертации.

В I главе «**Электродуговая выплавка технического кремния и получение мультикремния на его основе»** представлен обзор литературы по теме. Приведены результаты анализа обзорных и оригинальных научных работ и патентной информации по совершенствованию электродуговой технологии технического кремния, технологии его металлургического передела в мультикремний и использованию мультикремния в производстве солнечных элементов и других электронных устройств. Сделан вывод, что для модернизации технологии технического кремния и повышения ликвидности этого материала необходимо разработать новые методы:

-обеспечения диссоциации компонентов углеродистого восстановителя на тракте подачи в зону горения электрической дуги и контроля хода процесса выплавки технического кремния по величине тока в электрической дуге, обусловленного, как электронами, так и ионизацией компонентов шихты ;

- брикетирования шихты с учетом размера частиц кремнийсодержащего компонента и ее подачи в электродуговую печь в пастообразном состоянии.

а также в части:

-исследований свойств солнечных элементов из мультикремния, полученного переплавом технического кремния, обосновании целесообразности его легирования мелкими примесями и применения исключительно в качестве подложечного материала для пленочных преобразователей солнечного излучения;

-разработки и исследовании свойств новых типов преобразователей тепловой энергии на основе гранул из технического кремния и мультикремния;

-применения технического кремния и мультикремния для создания, расходуемых электродов, защитных устройств нити ламп накаливания и нагревателей.

В II главе «**Экспериментальная технологическая база выплавки и металлургического передела технического кремния и изготовления приборов на его основе. Объекты, методы и установки для проведения исследований**» описаны устройство и принцип действия, использованных в работе технологических установок для выплавки технического кремния с печами переменного и постоянного тока. Кратко описана установка по получению мультикремния переплавом в вакууме 10^{-2} торр технического кремния и его смесей с отходами производства кремния – сырца и эпитаксиальных структур. Описана технология изготовления на основе

мультикремния различных типов солнечных элементов, использованных затем не только для исследований взаимосвязи электрофизических параметров мультикремния с их энергетической эффективностью, но и в генераторах водорода, а также методы и установки для измерения электрофизических характеристик сырья, идущего на изготовление гранулированного кремния и преобразователей тепловой энергии на его основе, включая оригинальные методики, разработанные с участием соискателя.

В III главе «**Модернизация технологии выплавки технического кремния»** описаны физические основы для разработки метода контроля хода процесса выплавки технического кремния по величине тока, протекающего в электрической дуге, а также новые подходы к оптимизации технологии брикетирования шихты и новый способ выплавки технического кремния основанный на использовании шихты в пастообразном состоянии.

Экспериментально доказана возможность, целесообразность и определены оптимальные соотношения прии использовании углеродистого восстановителя одновременно в твердом и газообразном состояниях. Разработан прием диссоциации газообразной части восстановителя в виде метана на тракте подачи с использованием катализатора, поверхность которого нагревается тепловым излучением самой электрической дуги. Это улучшает условия последующей ионизации атомов углерода и водорода, что резко увеличивает главную характеристику восстановителя реакционную способность.

Подача метана непосредственно в зону горения электрической дуги позволяет сосредоточить именно в этой области протекание реакций восстановления SiO_2 и, следовательно, лучше контролировать процесс выплавки по величине тока, протекающего в электрической дуге и оперативно купировать его броски, а также газовые свищи регулированием реакционной способности веществ, находящихся в разрядном промежутке, путем изменения подачи метана и его увлажнением. Предложен новый способ (Патент РУз№ IAP 05998), брикетирования шихты, предполагающий предварительное измельчение ее компонентов до одинакового размера частиц, а при отсутствии такой возможности на производстве и необходимости утилизации микрокремнезема, предлагающий вести расчет его добавки в брикеты обратно пропорционально насыпной плотности основного компонента идущего на брикетирование. Предложено использование шихты в пастообразном состоянии и разработан новый способ ее подачи в электродуговую печь.

На рис.1 проиллюстрирован экспериментально опробованный вариант этой новой технологии, заключающийся в подаче газообразного метана и шихты в пастообразном состоянии во встречных направлениях непосредственно в область горения электрической дуги и позволяющий одновременно применять традиционную подачу кремнийсодержащего компонента и УВ в кусковой фракции и в виде брикетов наброской к электродам.

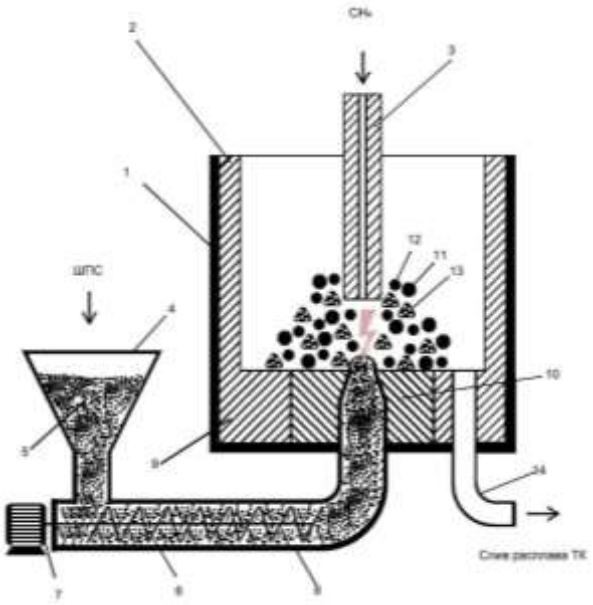


Рис. 1.Схема варианта ЭП по Патенту РУз № IAP 05986 с подачей шихты в пастообразном состоянии 5 и части углеродистого восстановителя в виде CH_4 через полый графитовый электрод 3 (показано стрелкой) во встречных направлениях в сочетании с подачей шихты 11 и восстановителя 12 в кусковой фракции и в виде брикетов. 13.

В таблице 1 приведен примесный состав технического кремния, полученного на экспериментальной ЭП с комбинированной подачей шихты в кусковой фракции (~30%) и в пастообразном состоянии в сочетании с подачей углеродистого восстановителя в кусковой фракции (~65%) и в виде метана.

Таблица 1.

Состав технического кремния, полученного по новой технологии

Si	Al	Fe	Ca	Остальное	В том числе	Mg	Ba	P	V	B
98,97	0,34	0,33	0,32	0,03		0,0085	0,0055	0,007	0,0050	следы

В IV главе «**Технический кремний и полученный одним металлургическим переделом мульти кремний, как материалы для создания электронных приборов»** показано, что изготовленный одним прямым металлургическим переделом ТК мультикремний целесообразно использовать в технологии солнечных элементов исключительно в качестве подложечного материала для пленочных преобразователей, базовая область которых наращивается из газовой фазы с обеспечением подавления автолегирования. КПД таких солнечных элементов ~12-14 % при АМ 1,5 и P=850 Вт/м^2, что сопоставимо с показателями пленочных преобразователей на подложках из Si электронного качества при сопоставимой высокой радиационной стойкости.

В этом случае, при обеспечении подавления автолегирования наращиваемый слой, который в дальнейшем используется как n или p -типная база солнечного элемента, наследует от подложки из мультикремния только границы зерен и их ориентацию, то есть, ее поли или двойниковую структуру, а

электрофизические характеристики пленки определяются исключительно специальным легированием из газовой фазы, то есть в главе приведена также информация о проявлении эффекта сверлинейного роста КПД солнечных элементов при их засветке концентрированным солнечным излучением и об эффективности применения водородной пассивации, и встроенных тянущих электрических полей. Показано, что в результате водородной пассивации КПД солнечных элементов из мультикремния всех типов возрастает.

Происходит это за счет пассивации водородом рекомбинационных центров на границах зерен. Важно отметить, что индикатором эффективности водородной пассивации является исчезновение на спектральной характеристике, солнечных элементов, обработанных ионами водорода, участка со сменой полярности фототока, находящегося у, не обработанных водородом, солнечных элементов в области длин волн ~1,0 -1,1 мкм, то есть у края спектральной чувствительности Si СЭ и связан с генерацией носителей заряда с участием энергетических уровней, обусловленных границами зерен. Водородная пассивация приводит к исчезновению участка сверхлинейного роста тока короткого замыкания, возникающего при засветке концентрированным солнечным излучением средней интенсивности (5-10 крат) за счет эффекта реструкции рекомбинационных центров, в пределах которого эффективность солнечных элементов из поликремния может быть выше чем у монокристаллических СЭ.

Показано, что применение мульти кремния в варианте выполнения из него базовой области солнечных элементов, во первых, требует более глубокой очистки технического кремния и мультикремния, что трудоемко и экономически не выгодно, а во вторых, такие элементы все равно уступают по КПД преобразователям с базой из кремния электронного качества. Прогнозирующий расчет КПД солнечных элементов с пленочной базой на подложке из мультикремния в условиях их серийного производства предложено вести с помощью регрессионной модели (1)

$$К/К_0 = 0{,}79 + 0{,}00026\,(X_3)^2 - 0{,}03\,X_1X_2X_3 - 0{,}0003\,(X_1)^3 \qquad (1)$$

Модель(1) описывает изменения КПД при варьировании независимых переменных: X_1- удельное сопротивление наращенной на мультикремний пленки, то есть базы СЭ, величину которого предполагается варьировать в пределах от 1 до 10 ом.см.; X_2 – удельное сопротивление подложки, то есть собственно мультикремния, которое можно варьировать в пределах от 0,001 до 0,01 ом.см; X_3- толщина пленочной базы в пределах 20-50 мкм. В качестве выходного параметра взято соотношение $К/К_0$, где К–КПД СЭ, изготавливаемых на основе пленочных структур с подложкой из мультикремния при 300К до нанесения просветляющего покрытия и при засветке вольфрамовой лампой с W_0= 0,1 Вт/см^2, то есть в стандартных условиях испытаний заготовок для солнечных элементов на производстве, а $К_0$– минимально допустимое его значение в указанных условиях измерений.

Рис.2 иллюстрирует устойчивость солнечных элементов к радиации. Видно, что наибольшей стойкостью, как к рентгеновскому излучению (рис.2а),

так и облучению быстрыми электронами (рис.2б) обладают СЭ из мелкозернистого поликремния электронной чистоты (кривая 1), однако их КПД минимален и составляет ~5-8%. Высока и радиационная стойкость СЭ на основе КОЭС (кривая 7), изготовленных в хлорсилановом процессе намонокристаллических подложках электронной чистоты, а вот таковая у СЭ с базой из мультикремния, будь то вторичный литой поликремний (кривая 3) или из полученного переплавом отходов металлургии кремния с добавлением технического кремния марки Кр00 по Чохральскому (кривая 4), наоборот, самая низкая. Стойкость СЭ типа п-$п^+$ с пленочной базой с d= 50-60 мкм, осажденной в хлорсилановом процессе на крупноблочные ($d_{зерна}$= 500 -1000 мкм) подложки из сильнолегированного группой примесей (Sb,P,As) до предела растворимости каждой, мультикремния оказывается выше (кривая 2) чем у СЭ с базой из кремния марки КСД -1 (кривая 5), широко используемого в технологии СЭ, но только в случае если р-п переход создается ионной имплантацией бора и уступает или сопоставим со стойкостью этих СЭ, если р-п переход создан термической диффузией бора (кривая 6).

Исходя из возможности получения достаточно высокого КПД получение структур-заготовок для солнечных элементов с пленочной базой, осажденной на подложки из мультикремния, по нашему мнению, необходимо

а б

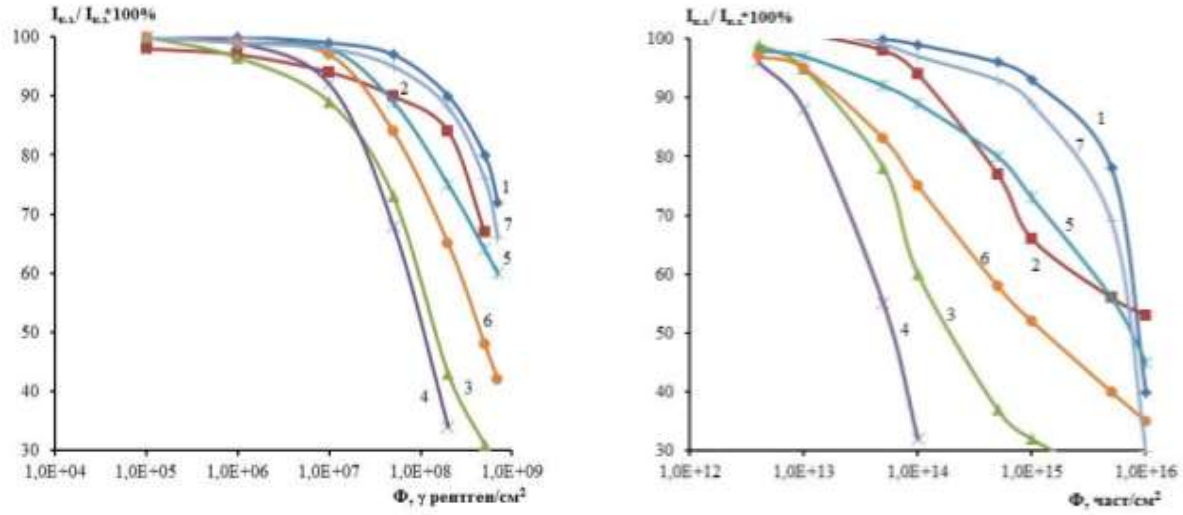


Рис. 2. Влияние рентгеновского излучения с Е=1,3 Мэв с плотностью J=300 рентген/сек (а) и облучения быстрыми электронами с Е=1-3,5 Мэв с плотностью J=10^{11}см$^{-2}$сек$^{-1}$(б) на величину тока короткого замыкания СЭ, при АМ 1,5 (Р= 850 Вт/м^2, Т=300К), изготовленных из кремния разного технологического происхождения: 1 – с базой из мелкозернистого ПК электронной чистоты; 2-база на основе пленки, осажденной на сильнолегированные подложки из мультикремния, а р-п переход выполнен ионной имплантацией; 3- база на основе мультикремния, полученного по технологии ВЛПК; 4-база из мультикремния вытянутого по Чохральскому с наличием в шихте добавок ТК Кр 00; 5-на основе Si марки КСД -1; 6-с базой аналогичной 2, но с диффузионным р-п переходом; 7- пленочный СЭ, подложка Si электронной чистоты.

с самого начала ориентировать на использование оборотных хлорсилановых технологий, показавших свою экономическую эффективность в процессах получения кремния сырца электронной чистоты, что привело к многократному

снижению цен на Si-сырец (до ~9 $ США за 1 кГ) и на близкие к ним, разработанные нами приемы вторичного использования отходящих парогазовых смесей эпитаксиального производства.

Для управления процессом наращивания пленочной базы солнечных элементов от ЭВМ можно использовать, проверенную на практике, построенную нами методом планирования эксперимента, математическую модель скорости роста (2) имеющую вид в натуральных переменных:

$$\mathbf{V= 0,\ 5550582 + 0{,}4924768\ 10^{-3}X_1\ (X_2)^2 + 0{,}8611089\ 10^{-7}\ X_2\ (X_3)^2 \quad (2)}$$

где X_1 –расход парогазовой смеси (ПГС) (H_2 + $SiCl_4$) в диапазоне 60-120 л/мин, перекрывающий диапазон линейных скоростей ПГС в диапазоне 26,5 - 54 см/сек, X_2-концентрация $SiCl_4$ в водороде в диапазоне - 1,37-2,28 об.%, а X_3 - температура подложек в диапазоне 1500- 1600 К. Предлагаемая модель(2) реализует алгоритм Эфроимсона и позволяет прогнозировать скорость роста слоев в диапазоне от 0,9 до 1,4 мкм/мин. при обеспечении, согласно номограмме преимущественного возникновения ростовых дефектов с суммарной плотностью не выше $10\text{-}10^2$ $см^2$, что гарантирует высокие значения подвижности и времени жизни носителей заряда в базе, а значит и воспроизводимо высокий КПД пленочных солнечных элементов.

Показана возможность применения технического кремния и мультикремния для создания расходуемых электродов (катода) в фотоэлектрических генераторах водорода (ФГВ), в которых электролиз воды сочетается с фотолизом на поверхности, освещаемого концентрированным солнечным излучением Si катода и выделением водорода за счет химической реакции кремния с электролитом, На Рис.3. приведен разрез рабочей электрохимической ячейки разработанного водородного генератора.

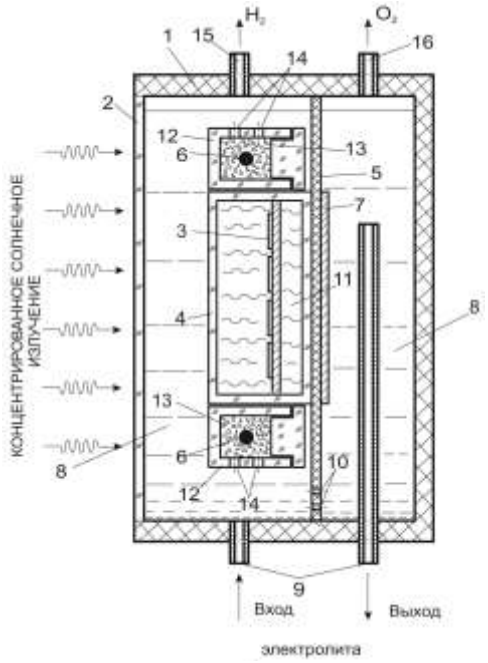


Рис. 3. Разрез рабочей ячейки водородного генератора по Патенту № IAP № 00 876.
1-корпус; 2, 4-прозрачные стенки; 3-СБ; 5-перегородка; 6-водородный электрод, в прозрачной для излучения кассете 12, в виде металлической сетки заполненной порошком из ТК 13; 7-кислородный электрод; 8-электролит; 11 теплопроводная, диэлектрическая жидкость с коэффициентом преломления больше чем у электролита 8; 10, 14-отверстия для пропуска электролита и водорода; 9, 15 и 16-патрубки.

При облучении КСИ ~75 крат и нахождении солнечной батареи конструктивно непосредственно внутри ячейки, с учетом всех световых потерь

излучения при прохождении им окон 2 и 4 на рис. 3, а также толщи электролита 8 и инертной жидкости 11, рабочий ток единичного, выбранного для использования в конструкции ФГВ преобразователя площадью 5,5х5,5 мм^2, составляет в худшем случае I= 55 мА при напряжении U= 2,5 В. Максимальное значение тока $I_{кз}$ у преобразователей этого типа в этих условиях составляло ~75мА. Минимизация световых потерь в ячейке частично компенсируется реализацией, эффекта роста яркости излучения при прохождении сред с разной оптической плотностью, а также добавкой в жидкость 11 красителей, меняющих ее цвет на более близкий по длине волны к максимуму спектральной чувствительности (L=0,85 мкм) Si. Рабочая батарея собрана из 100 параллельно включенных преобразователей.

С использованием гранулированного кремния разработаны новые типы преобразователей тепловой энергии (ПТЭ), (рис.4-6), включая нефотоактивную составляющую концентрированного солнечного излучения и модулей, работоспособных в условиях высоких температур, давления и уровня радиации, в конструкции которых использовано, обнаруженное нами, влияние температуры и давления на $I_{кз}$ и мощность преобразователя тепловой энергии.

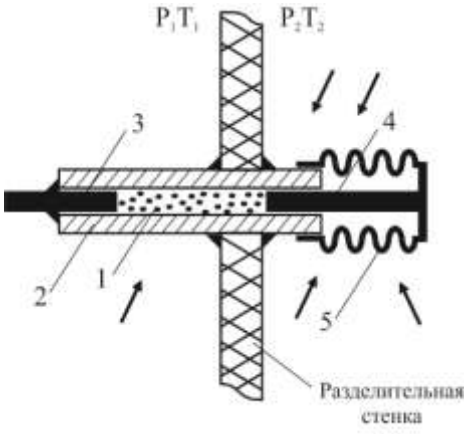


Рис. 4. Новый тип* ПТЭ с рабочим телом из гранулированного кремния, работающий на границе двух сред с $T_2>T_1$ и $P_2>P_1$. разделенных теплоизолирующей стенкой. 1- рабочее тело из ГК, 2- корпус, 3-неподвижный электрод; 4- подвижный электрод соединенный с сильфоном 5, размещенным в среде с более высоким давлением P_2 и передающий усилие сжатия рабочему телу 1. Стрелками показан не равномерный подвод тепла к ПТЭ.

ПТЭ на рис.4 работает на разности температур и давлений на границе двух сред с $T_2>T_1$ и $P_2>P_1$.

А новый тип модуля изображенный на рис.5 работает в условиях нагрева рабочего тела ПТЭ концентрированным излучением от параболлического концентратора диаметром 500 мм. Это обеспечивает нагрев приемной площадки 6 до температур не ниже 500К и «горячего», подвижного электрода 3 до ~475 К., а также разогрев паров воды, в полости сильфона 8, которые давят на подвижный электрод 3. Давление и температура от оконечности подвижного, «горячего» электрода передается рабочему телу ПТЭ выполненному из ГК с размером частиц порошка кремния 10-30 мкм.

Плотность тока $J_{кз}$ у этого ПТЭ с размером рабочего тела из ГК Ø6 мм и длиной 12 мм составила при этом 20мА/см^2, а напряжение U_{xx}~80 мВ. Важно отметить радиационную стойкость параметров рабочего тела преобразователя

из гранулированного кремния экспериментально подтвержденную нами в экспериментах с ее облучением гамма квантами Со ^{60} до доз 10^9 рад.

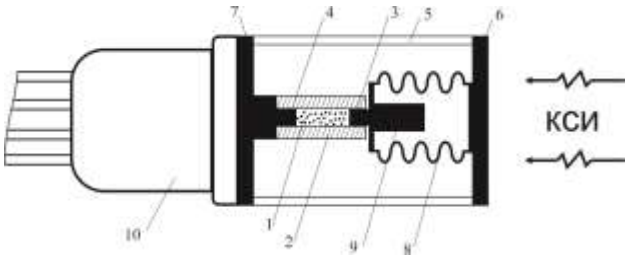


Рис. 5. Новый тип* солнечного модуля с разогревом концентрированным солнечным излучением (КСИ). 1- рабочие тело из гранулированного кремния, 2- керамический корпус ПТЭ, 3- подвижный «горячий» электрод с хвостовиком 9, 4- неподвижный «холодный» электрод, 5- диэлектрический корпус, 6- приемная площадка, нагреваемая КСИ (показано стрелками), 7- медная пластинка, 8- сильфон с парами H_2O, 10- тепловая труба.

Создан также макет нового солнечный модуля, представленный на рис.6. Модуль работает на концентрированном солнечном излучении, идущем от усеченного конического концентратора 1 направляется на приемник 7, выполненный в виде узкого ~1мм, металлического кольца с зачерненной поверхностью, установленного на внешней поверхности корпуса преобразователя 2. Расчет показывает, что при соотношении диаметров приемника 7 и концентратора 1 ~1/100, температуру рабочего тела в области стыка n и p областей 5, 6, выполненных из гранулированного кремния, при засветке приемника 7 КСИ от заатмосферного Солнца можно обеспечить на уровне 1000 К, даже при недостаточно точном выполнении концентратора 1 и коэффициенте отражения ~0,8. На рис 6.(б) и 6.(в) показаны, снятые на макете модуля изменения плотности тока короткого замыкания ($I_{кз}$) и напряжения холостого хода (U_{xx}) при смещении границы раздела между n и p областями 5 и 6 вправо (+X) или влево (-X) относительно середины высоты усеченного конического концентратора 1. Кривые (1) на рис.6 (б,в) сняты в при P_0=700 Вт/м^2, а кривые (2) при P_0=850 Вт/м^2 и температуре воздуха 300 К.

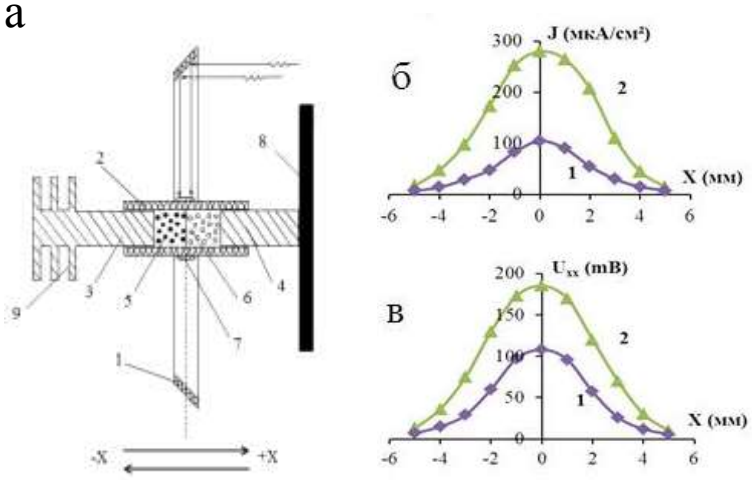


Рис. 6. (а) – новый тип* солнечного модуля в разрезе. 1- конический концентратор, 2- корпус ПТЭ с электродами 3 и 4 и рабочим телом, приведенных в соприкосновение n и p областей 5, 6 из ГК, 7- приёмник КСИ в виде кольца, 8-экран, 9 -радиатор; (б)- изменение плотности тока $I_{кз}$; (в)- напряжения U_{xx} при перемещении преобразователя в направлениях (-X) - (+X) при температурах 1- 500K и 2-700K измеренных на приемнике 7 при его засветке КСИ при P_0=700 Вт/м^2 и P_0=850 Вт/ м^2, соответственно.

Вариация высоты концентратора 1 от 2 до 15 мм, а также создание градиентов температуры по длине рабочего тела, не только за счет неравномерности засветки излучением от усеченного конического концентратора, но и за счет теплопередачи от разогреваемого экрана 8 и отвода тепла излучением через развитую поверхность радиатора 9 на электроде 3, показали возможность повышения значение $I_{кз}$ при температуре 700 К до ~6,6 мА при $U_{хх}$=200 мВ на образце с рабочим телом длиной всего 12 мм и диаметром 1,7 мм.

Соотношение вырабатываемой ПТЭ энергии к массе затраченного на изготовление его рабочего тела порошка Si с плотностью 0,69 от плотности монокристаллического кремния в наземных условиях составляет ~30 мВт/г, а ожидаемое, то есть при освещении заатмосферным Солнцем, может составить не менее 48 мВт/г. Модуль может быть оснащен также ПТЭ из изотипного Si, то есть кремниевого порошка р или п типа. В этом варианте локальному нагреву надо подвергать область соприкосновения гранулированного кремния с металлом контакта. В эксперименте со стальным контактом получено, что при нагреве этой области шириной ~0,5-1 мм у ПТЭ длиной 6 мм и диаметром 1,7 мм плотность тока короткого замыкания составляет 200 мА/см^2 при напряжении 60 мВ.

Так как главной задачей в проблеме повышения эффективности преобразователей из гранулированного кремния является увеличение проводимости наноразмерного слоя SiO_2, то есть увеличение вероятности туннелирования носителей заряда через упомянутую выше наноразмерную пленку двуокиси кремния, то для ее решения нами предложено создавать на поверхности частиц порошка поверх пленки SiO_2 островки из проводящих пленок, например, SnO_2, которые играют роль своеобразных «плацдармов» для туннелирующих носителей заряда. Другой, также впервые предложенный нами путь - это создание в запрещенной зоне двуокиси кремния энергетических уровней, примыкающих к дну зоны проводимости, через которые предлагается организовать не Гамовское, а резонансное туннелироваение носителей заряда.

Нами экспериментально отработан ряд приемов для такого повышения проводимости гранулированного кремния, а именно, путем радиационного воздействия, (облучение гамма – квантами Co^{60} с дозами 10^7-10^9 рад), что не дало пока заметных результатов и путем добавления пассивированных кислородом наночастиц кремния, что привело к (~20%) ее увеличению. Опробовано также легирование границ зерен исходного немонокристаллического Si- сырья щелочными и переходными металлами и последующего его размола преимущественно по границам зерен, позволившее увеличить проводимость более чем в 10 раз.

*На все отмеченные новые технические решения поданы заявки на получение Патентов РУз:
№ IAP 20200118. Приоритет 05.03.2020; № IAP 20200189, Приоритет 01.05.2020; № IAP 20200286. Приоритет 26.06.2020.

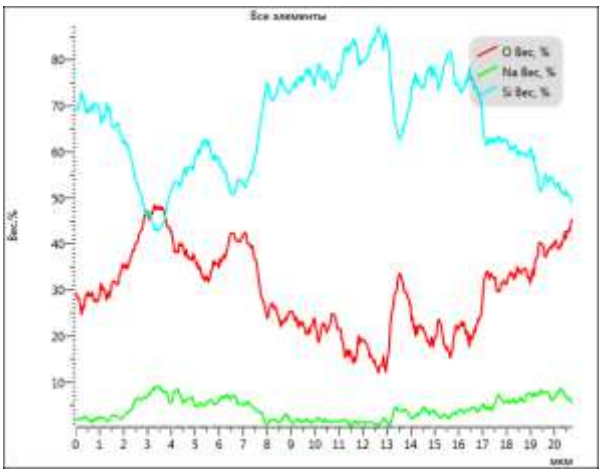


Рис. 7. Распределение примесей по объему кремниевой гранулы, полученной размолом сырья предварительно легированного ионной имплантацией натрия.

На рис.7 приведено распределение O и Si по объему кремниевой гранулы размером ~18 мкм и введенного в сырье методом ионной имплантации, натрия. Видно, что концентрация кремния убывает к поверхности гранулы, а концентрация кислорода, наоборот, растет. Содержание Na минимально в центре гранулы, но, как и ожидалось, повышается по мере продвижения к ее поверхности, достигая максимума на границах гранулы. Работоспособность нового, способа повышения проводимости гранулированного кремния (ГК) подтверждается рис. 8, где сопоставлены температурные зависимости его удельного сопротивления при изготовлении из порошка Si электронной чистоты (кривая 1, эталон), из смеси порошков технического кремния (30%) и поликремния п –типа с размером зерен 10-30 мкм (кривая 2), гранулированный кремний из п-типных пластин поликремния предварительно легированных ионной имплантацией Na (кривая 3), гранулированного кремния из р-типных пластин мультикремния, легированных перед размолом никелем (кривая 4) и железом (кривая 5).

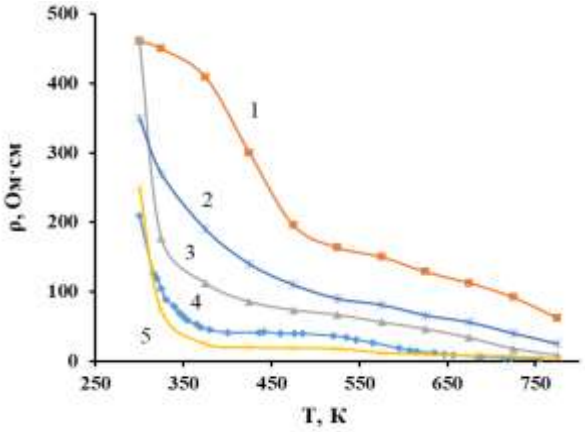


Рис. 8. Зависимость удельного сопротивления образцов ГК от температуры: 1-ГК из порошка Si электронной чистоты, 2-ГК из смеси порошков ТК(30%) и ПК; 3-ГК из ПК легированным Ni; 4- исходный ПК перед размолом был легирован Na, 5 –ГК из мультикремния, выплавленного из шихты с добавлением ТК.

Видно, что при введении Na в исходный поликремний, проводимость, полученного из него гранулированного кремния, в 2 раза выше чем у эталона (кривая 1) в диапазоне температур нагрева 300-650 К. Еще лучше это видно при температуре ≥430^{o}C, когда в Si идет распад комплексов SiO_4, первоначально

находившихся на границах зерен, к которым тяготеют все щелочные металлы, а вследствие размола оказавшихся преимущественно, на границах частиц грануллированного кремния (рис.7) Произошедшее повышение проводимости границ зерен, очевидно, повышает вероятность возникновения резонансного туннелирования носителей заряда через наноразмерный слой SiO_2, что и приводит к наблюдаемому росту проводимости. В случае введения в сырье примеси Ni (кривая 4) увеличение проводимости происходит менее заметно, в ~1,5 раза, что объясняется более высокой степенью легирования границ зерен примесью Na вводимой в поликремний ионной имплантацией тем, чем при введении примеси никеля «натиром» поверхности с последующей диффузией. Возможно свою роль играет и невысокая растворимость Ni в Si. Напротив, в случае легирования исходного сырья примесью железа, при получении мультикремния из шихты с добавлением технического кремния, полученный гранулированный кремний обладает наиболее высокой проводимостью (кривая 5). Аналогично, достаточно высокой проводимостью обладают образцы, полученные размолом поликремния, предварительно легированных примесью железа, вводимой диффузией после «натира» поверхности. Важно отметить, что при этом у всех образцов наблюдается высокий коэффициент Зеебека, (~490 -520мкВ/К. при 350-375 К), измеренный, как в ИИПи ЛТ АН РУз, так и в Научно-производственном центре Национальной Академии наук Республики Беларусь по материаловедению, на двух видах образцов преобразователей тепловой энергии, выполненных в корпусированном и в безкорусном вариантах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показана целесообразность при замене твердого углеродистого восстановителя газообразным в виде метана обеспечивать его диссоциацию на водород и углерод путем контакта с нагретым до ~800 K никелевым катализатором непосредственно на тракте подачи CH_4 в область горения электрической дуги и вести контроль процесса по величине тока, протекающего в электрической дуге с оперативным купированием его спонтанных и регулярных бросков добавкой в метан паров воды.

2. При выплавке технического кремния из брикетированной шихты установлена целесообразность размола входящих в нее компонентов до одинакового размера частиц, а при отсутствии такой возможности на производстве и необходимости утилизации наноразмерной пыли микрокремнезема предложен новый способ расчета добавки наименьшего по крупности частиц, например, микрокремнезема в брикеты обратно пропорционально насыпной плотности основного кремнийсодержащего компонента, идущего на брикетирование.

3. Впервые предложено использование шихты в пастообразном состоянии и разработан новый способ ее подачи в электордуговую печь, а также экспериментально опробован вариант этой новой технологии, заключающийся в подаче газообразного углеродистого восстановителя и шихты в

пастообразном состоянии во встречных направлениях непосредственно в область горения электрической дуги.

4. Показана целесообразность использования в технологии солнечных элементов мультикремния, изготовленного одним прямым металлургическим переделом технического кремния исключительно в качестве подложечного материала для пленочных солнечных элементов, базовую область которых предложено наращивать из газовой фазы с обеспечением подавления автолегирования. С использованием метода планирования эксперимента построены математические регрессионные модели скорости наращивания пленочной базы в хлоридном процессе и КПД таких солнечных элементов.

5. Впервые показана возможность применения технического кремния и мультикремния для создания расходуемых электродов в фотоэлектрических генераторах водорода, в которых электролиз воды сочетается с фотолизом на поверхности, также освещаемого концентрированным солнечным излучением Si электрода и выделением водорода за счет химической реакции кремния с электролитом.

6. На основе гранулированного кремния, изготовленного размолом технического кремния и мультикремния до порошка с размером частиц 1-30 мкм разработаны новые типы преобразователей тепловой энергии, работоспособные при высоких температурах, давлениях и уровне радиации встраиваемые, в том числе, в модули в которых нефотоактивная составляющая концентрированного солнечного излучения используется для нагрева рабочего тела преобразователей и для создания давления на него.

7. Предложен новый способ повышения проводимости гранулированного кремния, основанный на организации резонансного туннелирования носителей заряда сквозь наноразмерный слой SiO_2, покрывающий частицы гранулированного кремния и экспериментально отработан прием легирования исходного сырья в виде пластин из технического, поли и мультикремния щелочными и переходными металлами и последующего их размола преимущественно по границам зерен, позволивший увеличить проводимость более чем в 10 раз при десятикратном повышении величины коэффициента Зеебека и значительном снижении теплопроводности по сравнению с монокристаллическим кремнием.

8. Обоснована и показана возможность использования мультикремния, полученного одним переплавом технического кремния в качестве материала для изготовления нагревателей и устройств защиты нити ламп накаливания от пусковых токов.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LAZER TECHNOLOGIES

ABDURAKHMANOV BORIS MALIKOVICH

MODERNIZATION OF THE ELECTRIC ARC PROCESS OF SILICON REDUCTION AND CREATION OF ELECTRONIC DEVICES BASED ON IT

01.04.04 –Physical electronics

ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES

TASHKENT – 2021

The subject of PhD dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2020.2.PhD/T1501.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-Plasma and Laser technologies.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been posted on the website of the Scientific Council (www.iplt.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (http://www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	**Kurbanov Mirtemir Shodievich** Doctor of technical sciences, senior researcher
Official opponents:	**Umirzakov Baltakhuja Ermatovich** doctor of physical and mathematical sciences, professor
	Tashatov Allanazar Karshievich doctor of physical and mathematical sciences, professor
Leading organization:	**Institute of semiconductor physics and microelectronics under the national university of Uzbekistan**

The defense will take place on «30» 04 **2021 at** 14^{00} at the meeting of the Scientific Council number DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 at the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent city, 33, Durmon yuli str., Phone: (+99871) 262-42-54, e-mail: info@iplt.uz.).

The doctoral dissertation is cab be looked through in the Information-resource centre of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered № 1) (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent city, 33, Durmon yuli str., Phone: (99871) 262-32-54.)

The abstract of dissertation is sent out on «19» 04 2021.

(Mailing report № 1 on «19» 04 2021).

H.B.Ashurov
Deputy of chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences, senior researcher

I.D.Yadgarov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences, senior researcher

B.E. Umirzakov
Chairman of scientific Seminar under scientific council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The importance and necessity of the topic of dissertation:

Silicon is a basic material for electronics and solar energy, as well as a raw material for the chemical industry and ferrous and non-ferrous metallurgy. As a result of the use of recycled technologies for obtaining silicon - raw electronic purity from trichlorosilane (SiHCl3) at the beginning of the 21st century, prices for solar energy products were reduced by more than 10 times, and optimization and other operations in the multi-link chain of silicon production were on the agenda. That is why the world has sharply increased interest in the modernization of the process of smelting technical silicon, which turned out to be the most environmentally unfavorable and energy-intensive in this chain.

The aim of the study is to modernize the process of smelting technical silicon and increase its controllability, as well as find ways to use this material directly or in the form of multisilicon obtained after one metallurgical processing in electronic products and solar energy.

The research objectives are to develop new methods:

ensuring the dissociation of the components of the carbonaceous reductant on the supply path to the electric arc combustion zone with the control of the smelting process by the value of the current in the electric arc, due to the ionization of the charge components;

briquetting the charge taking into account the particle size of the silicon-containing component and feeding it into the furnace in a pasty state. and also in:

investigation of the properties of solar cells made of multisilicon and substantiation of its use exclusively as a substrate material for film converters;

development and research of properties of new types of heat energy converters based on granules of technical silicon and multisilicon;

application of technical silicon and multisilicon to create consumable electrodes and protective devices for filament of incandescent lamps and heaters;

Scientific novelty of the research:

a method for increasing the reactivity of a carbonaceous reductant in the form of methane has been developed, which first provides for its partial dissociation into atomic carbon and hydrogen directly on the feed path to the hearth of the furnace, followed by ionization in an electric arc;

a method for controlling the process of smelting technical silicon based on the results of measuring the current in an electric arc and a method for extinguishing its spontaneous and regular surges by moistening methane has been proposed.

based on the positive results of experiments and industrial tests of new methods for briquetting the charge, providing for the dispersion of its components and taking into account their bulk density, a fundamentally new technology has been developed for feeding the charge into the hearth of an electric arc furnace in a pasty state;

the possibility of manufacturing film solar cells with high efficiency and radiation resistance using multisilicon as a substrate material, obtained by one direct metallurgical processing of technical silicon, has been shown;

using the method of planning the experiment, mathematical regression models of the efficiency of film solar cells and the rate of growth of films on the surface of substrates made of multisilicon, which are subsequently used as the base region of the solar cell, were constructed;

new types of PTE have been developed, including those with heating of the working fluid by concentrated solar radiation, designed to work at high levels of external pressure, temperature and radiation;

the possibility of using TC and multisilicon as a material for consumable electrodes in systems for photoelectric hydrogen production has been shown

Structure and volume of dissertation.

The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, list of references, 24 pictures and 9 tables. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, part I)

1. Патент РУз IAP №05986, Способ получения технического кремния и устройство для его осуществления / Абдурахманов Б.М., Курбанов М.Ш., Ашуров Х.Б. // Расмий ахборотнома №10 от 31.10.2019, с.71-74,

2. Патент РУз IAP №05998, Способ определения оптимального количества микрокремнезема в кремнеземной части брикетируемой шихты для выплавки технического кремния или ферросилиция / Абдурахманов Б.М., Курбанов М.Щ., Ашуров Х.Б. // Расмий ахборотнома №10, от 27.09.2019, с.1-5

3. Патент РУз IAP№ 00876. Фотоэлектрическое устройство для электролиза воды / Ашуров Х.Б., Абдурахманов Б.М., Кутлимуродов Б.Р. и др.// Расмий ахборотнома №10, от 07.01.2014, с.10

4. Патент РУз IAP №05615 Термоэлектрический материал и способ его изготовления / Абдурахманов Б.М., Адилов М.М, Ашуров М.Х., Ашуров и др. // Расмий ахборотнома №10, от 29.06.2018, с.8

5. B.M.Abdurakhmanov, M.M., Adilov, Kh. B. Ashurov, M.Sh. Kurbanov/ Convtrters of the Thermal Component of Concentrated Solar Radiation Based on Granular Silicon // Applied Solar Energy, 2020, № 4, pp.365-373. (10.00.00; №1).

6. B.M.Abdurakhmanov, Z.N. Aladina, A.I. Anarbaev, and et.al., Photovoltaic fuel generator hydrogen // Applied Solar Energy, 2006, №3, pp.11-13. (10.00.00; №1).

7. Б.М.Абдурахманов, М.Х.Ашуров, А.Л.Кадыров, М.Ш.Курбанов Сырье и эффективные технологии производства технического кремния // Доклады академии наук РУз, 2020, №2, с.83-86. (10.00.00; №7).

8. Б.М.Абдурахманов, М.Ш.Курбанов, А.К.Вечер. Физические основы повышения рентабельности производства технического кремния и кремниевых сплавов // Узбекский физический журнал 2020. V. 22, №3, с.188-198. (10.00.00; №5).

9. Б.М.Абдурахманов, М.М.Адилов, Х.Б.Ашуров, М.Ш.Курбанов Гранулированный кремний как перспективный материал для создания преобразователей тепловой энергии // Узбекский физический журнал 2019, V.10, №5, с.303-309. (10.00.00, №5).

10. Б.М.Абдурахманов, А.Л.Кадыров Опыт получения вторичного литого поликристаллического кремния и полупроводниковых приборов на его основе // Узбекский физический журнал, 2019, V.21, №6 с.391-396. (10.00.00, №5).

11. Б.М., Абдурахманов, К.П.Абдурахманов, Б.В.Гугушвили, М.С.Саидов, и др. Опытное производство технического кремния и возможности расширения разработок солнечных элементов в Узбекистане // Гелиотехника, 2003, № 2, с.79-86. (10.00.00, №1).

12. Б.М.Абдурахманов, М.С.Саидов, М.Х.Ашуров Долгосрочные вопросы кремниевого фотоэлектричества // Гелиотехника, 2000, №1, с.3-9. (10.00.00, №1).

II бўлим (II часть, part II)

13. Абдурахманов Б.М., Курбанов М.Ш., Ашуров М.Х. Некоторые свойства сырья из различных месторождений Центральной Азии и новые технологии производства технического кремния // Ученые записки ГОУ Худжандский Государственный университет им. Б.Гафурова, сер. Естественные и экономические науки, 2020, №2(53), с.24-28

14. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров Х.Б. Пути создания радиационностойких преобразователей солнечного излучения на основе кремния // Ученые записки ГОУ Худжандский Государственный университет им. Б.Гафурова, 2020, №3(54) с.59-66.

15 Abdurakhmanov B.M., Olimov L.O., Omonboev F.L. Some Features of the Transport of Charge Carriers in the Grain Boundaries of Polycrystalline Silicon // International Journal of Advanced Research Science (IJARPS). Volume 1, Issue 6, October 2014, PP 12-17.

16. Дастлабки патент РУз № 695 Осветительное устройство Приоритет 17.03.93 Абдурахманов Б.М., Махмудов Ф.Х.

17. Дастлабки патент РУз №4937 Устройство для определения нагрузочных вольт-амперных характеристик солнечных элементов и батарей. Приоритет 06.06.1997. Абдурахманов Б.М., Кононенко В.Д., Хайруллин И.И., Ходжаев Р.А.

18. Дастлабки патент РУз №3864 Способ формирования электрического контакта на кремниевой заготовке. Приоритет 19.12.95. Абдурахманов Б.М., Шопен В.И.

19. Abdurakhmanov B.M., Aliev R., Bilyalov R.R. Reserch, development and optimization of solar photoelectric modules for space and ground purposes // Bulletin of SCST of the Republic of Uzbekistan. 1998, №1, pp. 55-65.

20. Абдурахманов Б.М., Ашуров Х.Б., Ашуров М.Х., Курбанов М.Ш., Адилов М.М. Радиационная стойкость преобразователей солнечной энергии, выполненных из различных модификаций кремния // Фотоэнергетикада ноноструктурали ярим ўтказгич материаллар. Халқаро илмий анжумани.9-10 октябр Тошкент 2020, с.236-239.

21. Курбанов М.Ш., Абдурахманов Б.М., Нуралиев У.М., Тулаганов С.А. Выплавка технического кремния и ферроцилиция с использованием газообразного углеродистого восстановителя // VI Международная конф. «Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛАПЛАЗ -2020», 11-14 февраля 2020 года, МИФИ, Москва, с.234-235.

22. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров Х.Б., Курбанов М.Ш. Новые виды преобразователей тепловой энергии на основе гранулированного кремния. // Межд. Научно-рецензироемая онлине конф. «Тенденции развития современной физики полупроводников: Проблемы достижения и перспективы» 28 мая 2020 года Ташкент. С.88-93.

Автореферат «Til va adabiyot ta’limi» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (__.__.2021 йил).

Босишга рухсат этилди: __.__.2021 йил.
Бичими 60x84 $^{1}/_{16}$, «Times New Roman» гарнитурада рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 2,9. Адади: 100. Буюртма: № _____.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.