

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты
Материалтану, нанотехнологиялар және инженерлік физика кафедрасы

Шүйіншібай Арайлым Әсетқызы

«Кеуекті кремний қабыршығының электрлік сипаттамалары»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»
мамандығы

Алматы-2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ

СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

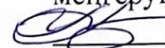
Материалтану, нанотехнологиялар және инженерлік физика кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«МНЖИФ»

кафедра

меңгерушісі Т.Ғ.К.

 У.К. Какимов

«03» сәуірі 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

«Кеуекті кремний қабыршығының электрлік сипаттамалары»

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

Орындаған

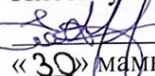


Шүйіншібай А

Пікір беруші:

PhD докторы, «Көміртекті
наноматериалдар зертханасының
меңгерушісі»

ШЖҚ РМК «Жаңа Проблемалары
Институты»

 Е.О. Досжанов
«30» мамыр 2022 ж.



Ғылыми жетекшісі:

PhD сениор лектор

Астемесова К

«30» мамыр 2022 ж.

Алматы-2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

Материалтану, нанотехнологиялар және инженерлік физика кафедрасы

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»
мамандығы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«МНЖИФ»

кафедра

менгерушісі т.ғ.к.

 У.К. Какимов

« 03 » сәуір 2022 ж.

**Дипломдық жұмыс
орындауға**

ТАПСЫРМА

Білім алушы: Шүйіншібай Арайлым

Тақырыбы: «Кеуекті кремний қабыршығының электрлік сипаттамалары»

Университет ректорының «13» сәуір 2022 ж. №112-П бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі « 23 » мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1. *Кеуекті кремний туралы жалпы сипаттама*
2. *Кеуекті кремнийдің электрлік қасиетін зерттеу*

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

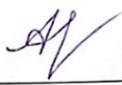
1. *Кеуекті кремний алу технологиясы*
2. *Кеуекті кремний алу жолдары*

Ұсынылған негізгі әдебиет атаулары: Zhang X.G., Collins S.D., and Smith R.L. Porous silicon formation and electropolishing of silicon by anodic polarization in HF solution. - J. Electrochem. Soc., 2019, v.136, No.5, pp.1561-1565.; Бондаренко В.П., Борисенко В.Е., Глиненко Л.Н., Райко В.А. Новые области применения пористого кремния в полупроводниковой электронике. Зарубежная электронная техника, 2021, No.9, с.55-84.; Watanabe Y., Arita Y. et. al. Formation and properties of porous silicon and its application. J. Electrochem. Soc., 2019, v. 122, No. 10, pp.1351-1355; Zheng J.P, Jiao K.L , Shen W.P, Anderson W.A, Kwok H.S. Highly sensitive photodetector using porous silicon. Appl. Phys. Lett, 2012, v.61, No.4, pp.459-461.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдер	Ескертулер
Әдеби шолу	23.01.2022 - 28.01.2022	
Тәжірибелік бөлім	02.03.2022 – 07.03.2022	
Дипломдық жұмысты алдын – ала қорғау	23.05.2022	

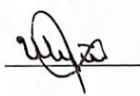
Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған **қолтаңбалары**
(жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлім атауы	Кеңесшілер, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Әдеби шолу	Астемесова К, PhD сениор лектор	03.06.2022	
Тәжірибелік жұмыстар	Б.А.Рақыметов , Физика-техникалық институттың кіші ғылыми қызметкері	03.06.2022	
Нормоконтролер	А.Б. Телешева , PhD докторы	03.06.2022	

Ғылыми жетекші

 Астемесова К

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Шүйіншібай А

Күні 6» 06 2022 ж

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс кеуекті кремний алу технологиясы мен оның электрлік сипаттамаларын зерттеу тақырыбына арналған. Дипломдық жұмыстың нәтижесінде кеуекті қабыршақта наноқұрылымдар пайда болды, және осы қабыршақтың электрлік, оптикалық, физикалық, химиялық сондай-ақ люминесценциялық және электролюминесценциялық қасиеттері зерттелді. Сонымен қатар наноқұрылымды кремний қабыршағының электрлік қасиеттерін түсіндіру үшін вольт-амперлік сипаттамалары зерттелді.

NI ELVIS макеттеу платформасында кеуекті кремнийдің электрлік қасиетін анықтау нәтижесінде р-типті сынды гистерезис құбылысы байқалатынын, яғни электрлік қасиетінің уақыт интервалына тәуелділігін анықтадық. Сонымен қатар вольт-амперлік сипаттамасын алу кезінде заряд тасымалдаушылардың барьерді бұзып, меншікті кедергісін кемітетіні белгілі болды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена теме исследования технологии получения пористого кремния и его электрических характеристик. В результате дипломной работы в пористой пленке образовались наноструктуры, и были изучены электрические, оптические, физические, химические, а также люминесцентные и электролюминесцентные свойства этой пленки. Также были исследованы вольт-амперные характеристики для объяснения электрических свойств наноструктурированной Кремниевой пленки.

В результате определения электрических свойств пористого кремния на макетной платформе NI ELVIS нами было установлено, что наблюдается явление гистерезиса типа р-типа, т. е. зависимость к временному интервалу электрических свойств. Также выяснилось, что при получении вольт-амперной характеристики носители заряда разрушают барьер и уменьшают удельное сопротивление.

ANNOTATION

The thesis is devoted to the topic of studying the technology of obtaining porous silicon and its electrical characteristics. As a result of the thesis, nanostructures were formed in the porous film, and the electrical, optical, physical, chemical, as well as luminescent and electroluminescent properties of this film were studied. Volt-Ampere characteristics were also studied to explain the electrical properties of nanostructured silicon film.

As a result of the determination of the electrical properties of porous silicon on the NI ELVIS modeling platform, we found that the phenomenon of hysteresis, i.e. dependence of time interval of electrical properties P-type criticism, is observed. It is also known that when obtaining a Volt-Ampere characteristic, the charge breaks the barrier of the carriers and reduces their own resistance.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ.....	9
1	Кеуекті кремний сипаттамалары.....	12
1.1	Кеуекті кремнийді алу технологиясы.....	12
1.2	Кеуекті кремний қабыршағының негізгі қасиеттері.....	16
2	Кеуекті кремний қабыршағының құрылымын теориялық және эксперименттік тұрғыда зерттеу.....	19
2.1	Бастапқы материалдар мен реактивтер.....	19
2.2	NI-ELVIS лабораториялық құрылғыда зерттеу.....	21
3	Зерттеу нәтижелері.....	27
	ҚОРЫТЫНДЫ.....	30
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	31

КІРІСПЕ

Кеуекті кремний-бұл микро, нано және оптоэлектрониканың перспективті материалы. Оның қасиеттері соңғы онжылдықта әлемнің 40-тан астам елінде белсенді зерттелуде, ал ғылыми жарияланымдардың көлемі жылына 500 мақалаға жетеді. Ірі халықаралық конференцияларда осы материалдың ерекше қасиеттері және оны әртүрлі мақсаттағы құрылғыларда қолдану мүмкіндіктері талқыланады

Біз бұл жұмыста тақырыптың өзектілігін көрсетіп, оның қазіргі заманауи технологияларда кеңінен қолданылатынын атап кететін боламыз. Бастамасы ретінде кеуекті кремнийдің химиялық, физикалық сонымен қатар негізгі мақсат — электрлік қасиетін айқын ашып айтамыз. Демек, зерттелмеген тұстарын лабораториялық жұмыста алынған нәтижелермен қорытындылайтын боламыз. Осы сынды ғылыми жұмыстар нәтижесімен салыстырып, ұқсастығын немесе айырмашылығын, артықшылық немесе кемшіліктерін тілге тиек етеміз.

Жұмыста NI ELVIS макеттеу платформасын қолданып, кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін, гистерезис құбылысына тәуелді немесе тәуелді еместігін анықтайтын боламыз.

Сонымен қатар бұл жұмыста материалдың сызықты, сызықты емес қасиеттерін сипаттау негізгі талқыланатын мәселелердің бірі болып табылады. Кеуекті кремнийді (КК) платаға жалғау арқылы оны қараңғылықта, платаның бетін қосымша материалмен бүркеп, жарықтың жоқ мезетінде ток мәні өзгерісін және қандай құбылыстардың болатындығын анықтаймыз.

Кремнийдің кеуектілігін алу тәсілдері көрсетіледі. Кеуектілікті алудың негізгі жолы болып HF қышқыл ерітіндісі пайдаланылады. Бұл тәсіл өзінің арзандығымен, жеңілдігімен, универсалдылығымен ерекшеленеді. Тағы бір айрықша қасиеті көздеген мақсатқа жетуге, яғни көзделген параметрлерді алуға мүмкіншілік зор. Тек бастамасы ретінде токтың мәнін енгізеді. Кеуектіліктің дәрежесіне байланысты 60 мА шамасынан бастап жоғарылатылады. Жұмыста кеуектіліктің классификациясы, оны белгілі параметрлерге байланысты жіктелуі жайында айтылады.

Кеуекті кремний көптеген уақыттар бойы қолданыста болмай, оның қасиеттеріне аса мән берілмейтін тұғын. Соған қарамастан зерттеу нәтижесінде қол жеткізілген фотолюминесценция құбылысы зерттеушілердің қызығушылығын тартты. Кейіннен бұл материал технологиялық талаптарға сай келіп, жіті зерттеуге берілді. Жұмыста Кашкаров, Зимин, Беляевский, Шик сынды біршама ғалымдардың әдебиеттері пайдаланылады.

Кеуекті кремнийдің көптеген физикалық параметрлерін анықтайтын маңызды параметр кеуектілік болып табылады. Кеуектілік — кристалдану кезінде пайда болатын және көп жағдайда тетікті ақаулы ететін құбылыс [1].

Кеуекті кремний микроэлектроника, наноэлектроника және оптоэлектроникада болашағы бар материал болып табылады [2]. Оның қасиеттері соңғы онжылдықта 40-тан астам мемлекеттерде белсенді түрде

пайдаланылуда, ал ғылыми басылымдар саны жылына 500-ден аса түседі. Тіпті қазіргі уақытта кеуекті кремнийді пайдалану замануи талаптарға сай келетіндігі зерттеушілердің қызығушылығын арттырып, оны түрлі салаларда пайдалануға негіз болды. Көбіне бұл материалды биомедицина, биосенсорика, күн батареялары бағыттары бойынша қолданыста болады. Соған байланысты көрсетілген салаларда мақалалар, диссертациялар, жобалар жазылады. Аумақты халықаралық конференцияларда бұл материалдың әрі бірегей қасиеттері талқыланса, әрі түрлі мақсаттағы құрылғыларда қолдану мүмкіндіктері айтылады.

Жалпы кремний тура зоналы шала өткізгіш болып табылмайды, яғни s-зонаның абсолют минимумы v-зонаның абсолют максимумына қатысты горизонтальді оське орналасқан [3]. Сондықтан кремнийдің электрлік қасиеттерін оның наноструктура негізінде қалыптастыру әдісімен өзгертсе болады. Наноструктуралы негізде өзгерту жазыққа бөлшектенген кремний аумақтарын бірнеше нанометр ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) минимал өлшемді мәнге ие болады. Бұл жағдайда заряд тасымалдаушылар (электрондар мен кемтіктер) кванттық өлшемді эффект салдарынан қосымша энергияға ие болады. Қарастырылып отырған эффект наноструктураның кремний монокристалымен салыстырғанда тыйым салынған зонаның енін ұлғайтуға алып келеді. Әдетте кванттық шұңқыр, кванттық жіп және нүкте түрінде наноструктураны жасау технологиясы қиындық туғызады [2]. Ал алынған нәтижелер мұндай кремнийлі структураны сәуле шығарушы шалаөткізгішті құрылғыларда іс жүзінде пайдалануға мүмкіндік бермейтінін көрсетіп тұр.

Қазіргі күні кеуекті кремний кең қолданыста. Кеуекті кремнийдің ерекше беті өте жоғары болғандықтан, оны ылғалдылық сенсорларын, газды, химиялық және биологиялық сенсорларды жасау үшін қолдануға болады. Мұндай сенсорлардың жұмыс принципі сыртқы молекулалардың бетінің электронды күйіне әсер етуіне негізделген, бұл кеуекті кремний жағдайында жоғары сезімталдыққа әкеледі. Әдетте, мұндай датчиктер бақыланатын ортада берілген молекулалар болған кезде кеуекті кремнийдің сыйымды, өткізгіш, люминесцентті қасиеттерінің өзгеруін тіркейді. Осы материалдың жанасу және беткі қасиеттеріндегі шектеулер, сондай-ақ оның негізгі сипаттамаларына байланысты тотығу ортасындағы жоғары химиялық белсенділік сыртқы әсерлерге төзімді сенсорларды құруға мүмкіндік бермейді, сонымен қатар олардың жұмыс жағдайларына байланысты мерзімді, күрделі калибрлеуді қажет етеді.

Біз өз жұмысымызда кеуекті кремнийдің электрлік, физикалық, химиялық қасиеттерін, сонымен қатар вольт-амперлік сипаттамасын көрсетіп кетеміз. Кеуектілікті алу кезіндегі және кеуектілік алу процессінен кейінгі кремнийдің вольт-амперлік сипаттамасы нәтижесіне график жасап, кесте түрінде ток мәнінің өзгерісі келтіріледі. Тәжірибелік бөлімде NI ELVIS бағдарламалық платасын және Origin 8 программасын пайдалану арқылы кеуекті кремнийдің электрлік сипаттамасын алу жайында айтылатын болады. Сондай-ақ жұмыс ортасында пайдаланылған құрылғылар жайлы біршама мәліметтер беріліп, ондағы негізгі

ұғымдар мен терминдерге анықтама беріліп кетеді. Жұмыстың мақсаты — кеуекті кремнийді электрлік қасиеттері алынған нәтижелері бойынша салыстырылып, құбылыстарының (гистерезис) және вольт-амперлік сипаттамасын (BAC) зерттеу болып табылады.

Дипломдық жұмыстың мақсаты: Тәжірибе кезінде алынған наноқұрылымды кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін зерттеу

Дипломдық жұмыстың міндеттері:

1. Кеуекті кремнийді алу технологиясын зерттеу
2. Эксперименттік методика жүргізу
3. Кеуекті кремнийдің металдармен жанасуының электрлік қасиеттерін зерттеу

1 КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ СИПАТТАМАЛАРЫ

1.1 Кеукті кремнийді алу технологиясы

Кеукті кремний-бұл бірқатар ерекше қасиеттерге байланысты үлкен қызығушылық тудыратын нанокұрылымды материал.

Кеукті кремнийді өндірудің дәстүрлі әдісі-электрохимиялық әдіс, бірақ кеукті құрылымдарды өндірудің бұл әдісі өндірістік қолдану үшін кейбір қиындықтарға ие. Осыған байланысты арзан және қарапайым химиялық өңдеу арқылы алынған кеукті құрылымдарды зерттеу өзекті болып табылады.

Химиялық элемент кремний сі жердегі таралуы бойынша оттектен кейінгі екінші. Оның жер қыртысындағы мөлшері 27,6 мас. %. Кремнийдің маңызды артықшылығы - оның көптеген сорттарында - монокристалды, поликристалды немесе аморфты-оның жартылай өткізгіш қасиеттері көрінеді. Қазіргі уақытта монокристалды кремний (C-Si) микроэлектрондық технологияның негізгі материалы болып табылады. C-Si негізінде дискретті диодтар мен транзисторлардан бастап өте күрделі интегралды схемалар мен процессорларға дейінгі әртүрлі жартылай өткізгіш құрылғылар шығарылады.

Сонымен қатар, кремнийдің жоғары фотосезімталдығы (жарықтандыру кезіндегі электр өткізгіштіктің өзгеруі) кеңінен қолданылады, бұл жарық энергиясын электр энергиясына айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл әсер кремний фотодетекторлары мен күн панельдерінде қолданылады. Алайда, кері процесс, яғни электр энергиясын көрінетін жарыққа тиімді түрлендіру кремний құрылғыларында әлі мүмкін емес. Соңғысы кремнийдің электрондық қасиеттерінің ерекшеліктеріне байланысты.

Кеукті кремнийді қалыптастырудың стандартты әдісі HF гидрофторлық қышқылына негізделген ерітіндідегі C-Si тақталарын электрохимиялық өңдеу процесіне негізделген. Кремний электродында (анодта) оң потенциалмен кремнийдің еруі мен қалпына келуінің көп сатылы реакциялары жүреді. Екінші электродом (катодты), әдетте, ретінде қызмет етеді платина пластина. C-Si бетіндегі электр тогының тығыздығын қолайлы таңдау кезінде кеукті қабат пайда болады. Әдебиеттегі бұзылу механизмінің егжей-тегжейлері туралы әлі консенсус жоқ. Бұл процестің ұсынылған модельдерін талқылауды табуға болады.

Кеукті кремний пленкасының қалыңдығы іс жүзінде сызықтық түрде маринадтау уақытына байланысты және лобтардан жүздеген микрометрге дейін өзгеруі мүмкін екендігі анықталды. Кеукті қабаттың құрылымы токтың тығыздығымен, электролиттегі HF концентрациясымен және кремний субстратының допинг сипатымен анықталады. Мысалы, электронды өткізгіштік түрі бар кремний үшін (n-Si) немесе қатты легирленген тесік кремний (p+-Si) тері тесігі диаметрі ондаған нанометр болатын кішкене бүйірлік бұтақтары бар каналдардың бетіне перпендикуляр болады. Әлсіз қосындыланған кремний (p-Si) үлгілері үшін немесе n-Si жарықтандыруы кезінде губка немесе маржан

түрінде құрылым пайда болады. Тері тесігі мен түзетілмеген жерлердің мөлшері өте аз және тек бірнеше нанометрді құрайды.

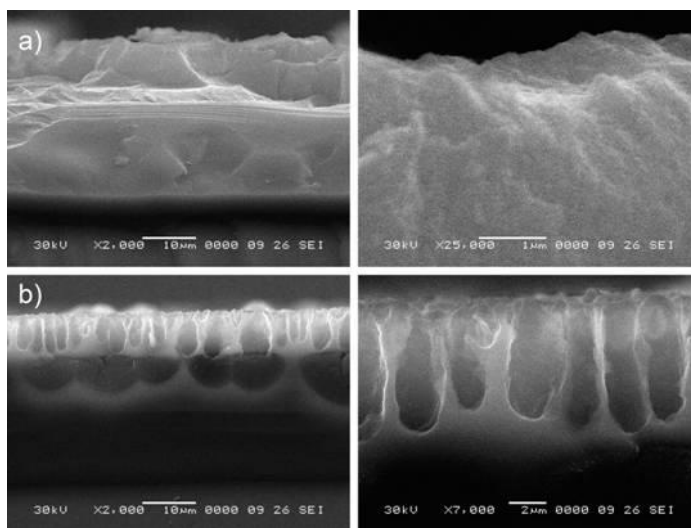
Көптеген тәжірибелер кеуекті кремнийде негізінен кремний субстратынан мұраға қалған атомдардың орналасу реті сақталатындығын анықтады. Алынғаннан кейін бірден кеуекті кремний үлгілерінің кремний қаңқасының беті әртүрлі формаларда адсорбцияланған сутекпен жабылған. Ауада экспозиция, әсіресе жарықпен бірге, материалдың айтарлықтай тотығуына әкеледі.

Электрлік тұрғыдан алғанда, кеуектілігі 50% - дан асатын материал заряд тасымалдаушыларымен толығымен таусылған және 107 Ом-ден асатын қарсылықпен сипатталады "бұл параметрдің мәні 1-10 Ом субстратында" қараңыз.жартылай өткізгіштің мұндай өзгеруінің нақты түсіндірмесі іс жүзінде диэлектрик қазіргі уақытта әдебиетте жоқ. Әр түрлі гипотезалар ұсынылады, соның ішінде электрохимиялық процесте легирленген қоспаларды селективті жуу немесе қоспалар орталықтарының иондану энергиясын арттыруда кванттық мөлшерлі әсердің көрінісі.

Жоғары кеуекті кремнийдің жылу өткізгіштігі сі монокристалына қарағанда әлдеқайда төмен. Мұны қуатты лазерлік немесе электронды сәулелер сияқты жоғары энергиялы әсерлерді қолдану тәжірибелерінде ескеру қажет. Үлгінің қатты қызуы оның қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Кеуекті кремнийдің оптикалық қасиеттері көлемді материалға қарағанда айтарлықтай ерекшеленеді. Атап айтқанда, кеуектілікке байланысты субстраттан бөлінген кеуекті қабаттың сіңіру спектрінің шеті E_g -ге қатысты үлкен $h\nu$ -ге 100-500 мэВ-қа ауысады. Ғалымдар бұл нәтижені кванттық пропорционалды әсер тұрғысынан түсіндіреді. Кеуекті кремнийдің үлгілері кванттық жіптер мен кластерлердің қимасында өте гетерогенді болғандықтан, өлшенетін сіңіру спектрі нанокұрылымдардың кремний қаңқасының құрамдас бөліктерінің мөлшері бойынша орташа болып табылады.

1 суретте кеуекті кремнийдің әртүрлі үлгілерінің бейнелері көрсетілген.

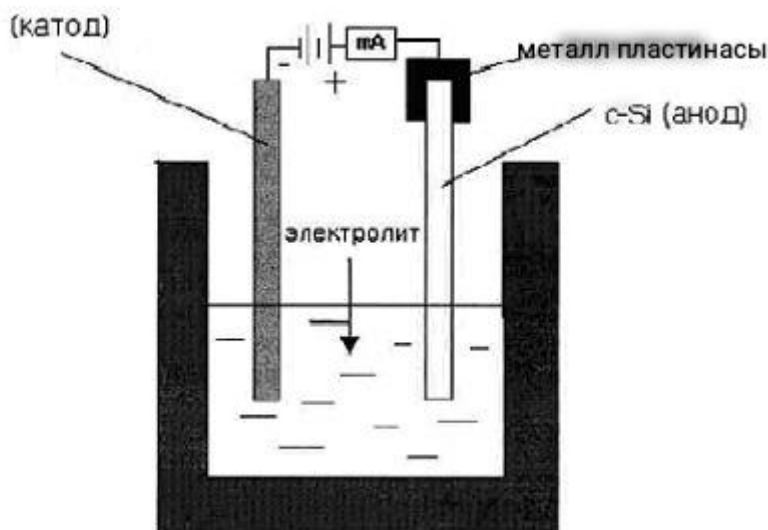


1 Сурет - Кеуекті кремнийдің әртүрлі үлгілерінің бейнелері

Қазіргі уақытта кремний пластиналарының бетінде кеуекті кремний (РС) қабаттарын өндірудің екі әдісі белгілі – сыртқы электр өрісін қолданбай химиялық бояу және сыртқы электр өрісінде кремний пластинасын анодтық электрохимиялық өңдеу. Зерттеушілердің көпшілігі екінші әдісті қолданады.

Анод ретінде электрохимиялық жасушаға орналастырылған кремний плитасы қызмет етеді. Электролиттің негізі-кремнийдің бетін жақсы ылғалдандыратын әртүрлі органикалық қоспалары бар гидроторлы қышқыл (HF) (C_2H_5OH этанолын жиі қолданады). Катод ретінде материалы гидрофтор қышқылымен әрекеттеспейтін электрод қолданылады (мысалы, платина немесе спектрлік таза графит). Электрохимиялық жасуша HF әсеріне төзімді материалдардан жасалады, мысалы, фторопластан.

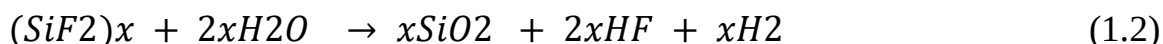
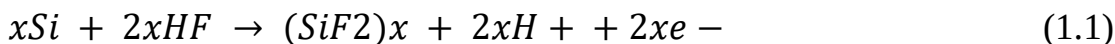
2 суретте кеуекті кремний үлгілерін алу үшін орнату схемасы көрсетілген.



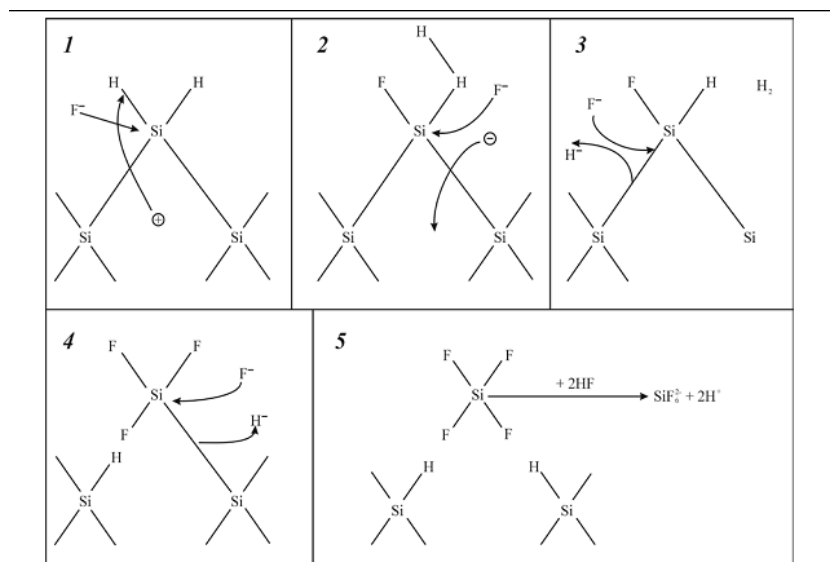
2 Сурет - Кеуекті кремний үлгілерін алу үшін орнату схемасы

Егер қабаттардың өсуі кремний субстратының бетін жарықтандыру кезінде жасалса, онда HF әсеріне төзімді материалдан жасалған оқушы терезесі электрохимиялық жасуша корпусына орнатылады

Өңдеу процесінде келесі химиялық реакциялар жүреді:



1990 жылы В. Леманн мен Ю. Гессель ұсынған кремний анодында электрохимиялық өңдеу жағдайында тері тесігінің пайда болуына әкелетін процестің сызбасы 3 суретте келтірілген.



3 Сурет - Кеукті кремнийдің қалыптасу процесінің схемасы

Жұқа диэлектрлік қабықшалар мен оларға негізделген композиттерді өндірудің ең танымал әдістері газ фазасынан химиялық және плазмохимиялық жауын-шашын, сондай-ақ реактивті ион-плазмалық бүрку болып табылады. Жауын-шашын процесінде технологиялық параметрлерді басқару: булану жылдамдығы, субстраттың температурасы, құрамы, Реактивтердің қатынасы мен концентрациясы, вакуумдық камерадағы қысым жұқа пленкалардың құрамы мен қасиеттерін де, құрылымын да кең көлемде өзгертуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тұндыру процесінде реакция орталықтары ретінде беткі гидроксил топтарын реактивтер ретінде енгізу арқылы бетті өзгертуге болады, сонымен қатар әртүрлі металдар бұл пленкалардың құрылымына да әсер етеді. Кеукті құрылымды алудың бұл әдісінің кемшілігі-әмбебаптықтың болмауы, қолданылатын технологиялық жабдықтар мен технологиялық режимдерге айтарлықтай тәуелділік, сонымен қатар тері тесігінің мөлшері мен тығыздығын басқаруда икемділіктің болмауы.

Молекулалық-сәулелік эпитекция технологиясы (МСЭ). Ол негізінен вакуумды бүрку әдісінің жетілдірілген модификациясы болып табылады. Сонымен қатар, МСЭ ультра жоғары вакуумда жүретіндіктен, оны диагностикалық әдістермен басқаруға болады, мысалы, шағылысқан электрондардың дифракциясы, спектроскопия, рентгендік фотоэлектронды спектроскопия және т. б. Күмәннің көп бөлігін жоятын бұл талдау мүмкіндіктері МСЭ-ге айтарлықтай артықшылықтар береді.

Қоршаған ортаның жоғары тазалығының нәтижесі бірқатар ерекше қасиеттер болып табылады. Олардың ішінде-жоғары тазалығы бар материалдарды газ фазасынан тұндыру әдісінде жиі қолданылатыннан төмен температурада өсіру, өсіру жылдамдығын өте дәл бақылау және арнайы қоспалар мен негізгі компоненттердің өте өткір шекараларын шығару мүмкіндігі. МСЭ өсу жылдамдығын пайдалану мүмкіндігі. Өсудің төменгі

температурасы өсу кезінде құрылғы құрылымындағы қоспалар мен қабат компоненттерінің азаюымен немесе қайта бөлінуімен бірге қоспалардың бірігуін азайтуға мүмкіндік береді. Төмен өсу қарқыны пленка қалыңдығы мен шекара құрылымын басқаруды жеңілдетеді.

Егер құлау ағынының жылдамдығы тым жоғары болса, атомдар өсуіне әкелетін қажетті жерлерге жету үшін жеткілікті уақыт алмайды. МСЭ -ғылыми зерттеулер мен өндіріс үшін өте тиімді, мұнда үлкен өткізу қабілеті қажет емес.

1.2 Кеукті кремний қабыршағының негізгі қасиеттері

Кеукті кремнийді анодты поляризация арқылы алу арнайы электрохимиялық жасушаларда жүзеге асырылады. Жасуша корпусы, әдетте, электродтар платинасынан жасалады. Ұяшықтардың дизайны өте алуан түрлі, бірақ негізінен электрлік потенциалды зерттелетін үлгіге жеткізу әдісімен оларды екі түрге бөлуге болады: механикалық ұяшықтар және сұйық контактілері бар жасушалар. Оңай іске асыруға конструкциялары ұяшықтар тиімді. Мұндай ұяшықтар жиі қолданылады. Бұл жасушалардың маңызды кемшілігі-жартылай өткізгіш үлгінің бетіндегі кернеудің біркелкі емес түсуіне байланысты кеукті қабаттардың қасиеттері беттің әртүрлі нүктелерінде әртүрлі болады. Сондықтан кремний үлгілерінің артқы жағында металл жабындарды қолдану керек, олар гидроторлы қышқыл ерітінділерінің әсеріне төзімді емес. Олай болмаған жағдайда, шағын аудандарда (мм^2 бірліктері) беті бойынша біркелкі кеукті қабаттарды алуға болады.

Сұйық байланысы бар жасушалар сипатталған кемшіліктен айырылады. Бірақ кремний үлгісін гидрофторлық қышқыл ерітінділері бар екі камера арасында герметизациялаудың күрделілігіне байланысты олар сирек қолданылады. Мұндай жасушалардың бір қолданылуы Унно-Имаи әдісінде кремнийде кеукті қабаттарды алу кезінде белгілі. Алайда, олардың схемалық кескінін қоспағанда, сұйық контактіні жүзеге асыратын жасуша конструкцияларының нақты сипаттамалары табылмады. Кеукті кремнийді қалыптастыруға және басқа химиялық және электрохимиялық процестерді жүргізуге мүмкіндік беретін кең функционалды мақсаттағы электрохимиялық жасушалардың бірнеше түрін жасады. Олар белгілі бір жағдайларда платина электродтарын никельден жасалған электродтарға ауыстыру мүмкіндігін көрсетеді. Аймаққа жарық энергиясын жеткізу әдісі бойынша мына міндеттер шешілді: химиялық реакция, реакция аймағындағы электр өрісінің беріктігін реттеу әдісі, жасушаның функционалдығын кеңейту.

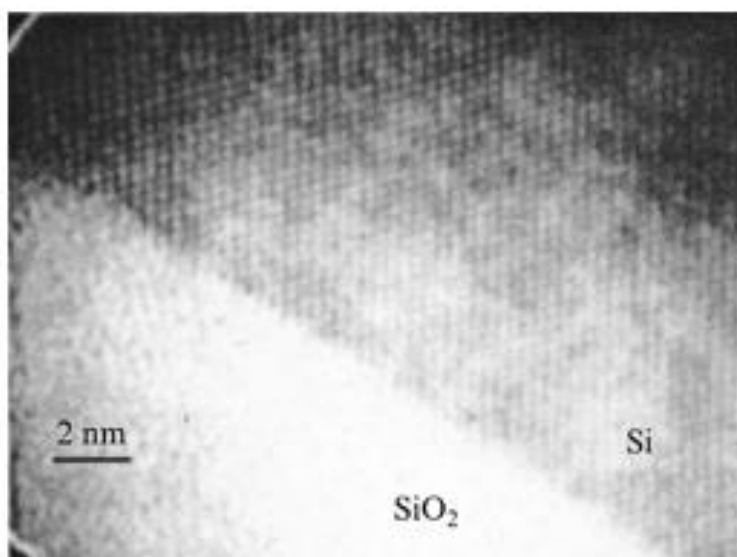
Кремний мен оның қосылыстарына негізделген нано - қабатты құрылымдардың тағы бір үлкен тобы-"кремний-изоляция" немесе кеукті құрылымы. "Кеукті" нано қабаттары бар құрылымдар немесе оны "созылған" кремний деп те атайды, яғни жергілікті құрылымды қайта құрумен қабаттар ерекше қызығушылық тудырады. Кристалды кремнийдің кеукті қабаты заряд тасымалдаушыларының қозғалғыштығын едәуір арттыратыны белгілі.

Сондықтан технологияны қолдану аясында дамыған заманауи құрылымдар жұқа кремний қабаттарын кеуекті Si қабаттармен алмастырған кезде жұмыс жылдамдығын едәуір арттыра алады. Сондықтан кристалды кремнийдің жұқа қабаттарындағы олардың электронды құрылымына әсер ету мәселелерін зерттеу өте маңызды.

Қазіргі уақытта осы типтегі құрылымдарды алудың оннан астам түрлі әдістері белсенді қолданылады. Ең танымалдары: кремний қабатын қайта кристалдандыру; кеуекті кремнийді қышқылдандыру арқылы оқшаулағыш қабатты қалыптастыру; сутегі иондарын имплантациялау; кеуекті кремнийге молекулалық-сәулелік эпитакия; кремний субстратына оттегі (азот) иондарын имплантациялау; кремний пластиналарын кейіннен кремнийдің жұқа (және қалың) оқшауланған қабатын қалыптастыра отырып біріктіру.

Құрылымдарды жасаудың көптеген басқа әдістері бар, олар кең таралмағанымен, микромеханикалық құрылғылар мен сенсорларды жасау үшін қолданылады.

4 суретте кремний-изолятор құрылымының көлденең қимасы көрсетілген.



4 Сурет - Кремний-изолятор құрылымының көлденең қимасы (суретте кремний қабаты мен жасырын диэлектрик арасындағы интерфейс көрсетілген), төменгі жағында субстрат бар

Қазіргі уақытта құрылымдардың өткізгіштік мәселелерін, құрылымдардағы фотолюминесценция ерекшеліктерін, құрылымдардағы беттік және фазалық шекараларды, құрылымдардағы шекарадағы күйлерді зерттеуге арналған көптеген жұмыстар белгілі. Жергілікті атом құрылымын қайта құру және кремний құрылымдарының кеуекті қабаттарының электронды құрылымындағы өзгерістер туралы айтатын болсақ, рентген әдістерінің қолданылуы туралы айтуға болады. Бұл өзгерістерді талдауға арналған спектроскопиялар, өйткені Si нано қабаттарының электронды спектріне әсер етеді.

Кремний құрылымының кернеуі жоғарылаған кезде өткізгіштік аймағының түбінің ығысуы көрсетілген. Бұл әдісті Si қабатының кернеулерінің аймақтық спектрді қайта құруға әсерін бағалау үшін қолдануға болады. Нәтижелерді Si зерттелген жұқа кернеулі қабаттарда заряд тасымалдаушыларының қозғалғыштығын және кванттық өлшемді эффектілерді талдау үшін қолданылады.

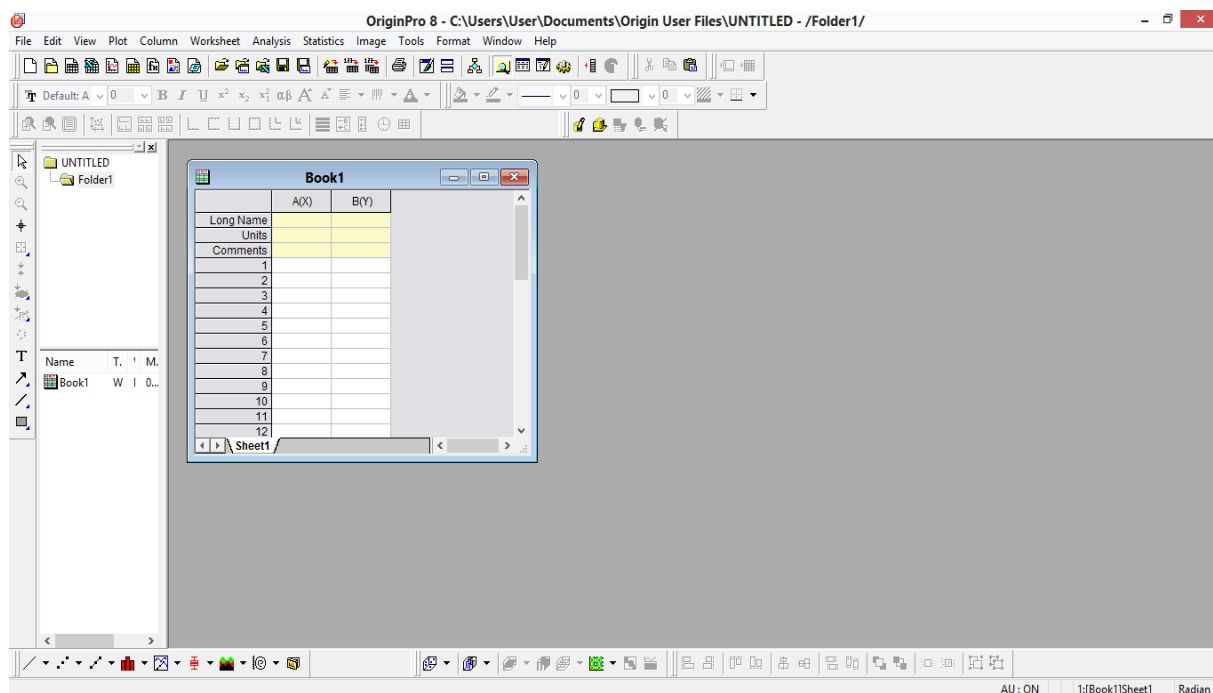
2 КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ ҚАБЫРШАҒЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ТҰРҒЫДА ЗЕРТТЕУ

2.1 Бастапқы материалдар мен реактивтер

Жұмыстың бұл эксперименттік бөлімінде кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін зерттеп оны р-типті материалдан алынған нәтижедегі қасиеттермен салыстыру негізгі мақсат болып табылады. Сонда біз тәжірибе арқылы КК электрлік қасиеттерінде болатын өзгерісті немесе құбылысты жіті бақылай аламыз.

КК электрлік қасиеттерін анықтап, зерттеу үшін біз NI ELVIS макеттеу платформасын пайдаланамыз. Сонымен қатар Сканерлеуші зондтық микроскопия (СЗМ) NTeaga Therna құрылғысын пайдалану арқылы тәжірибелік жұмыстың нәтижелерін тексеруге мүмкіндік туады.

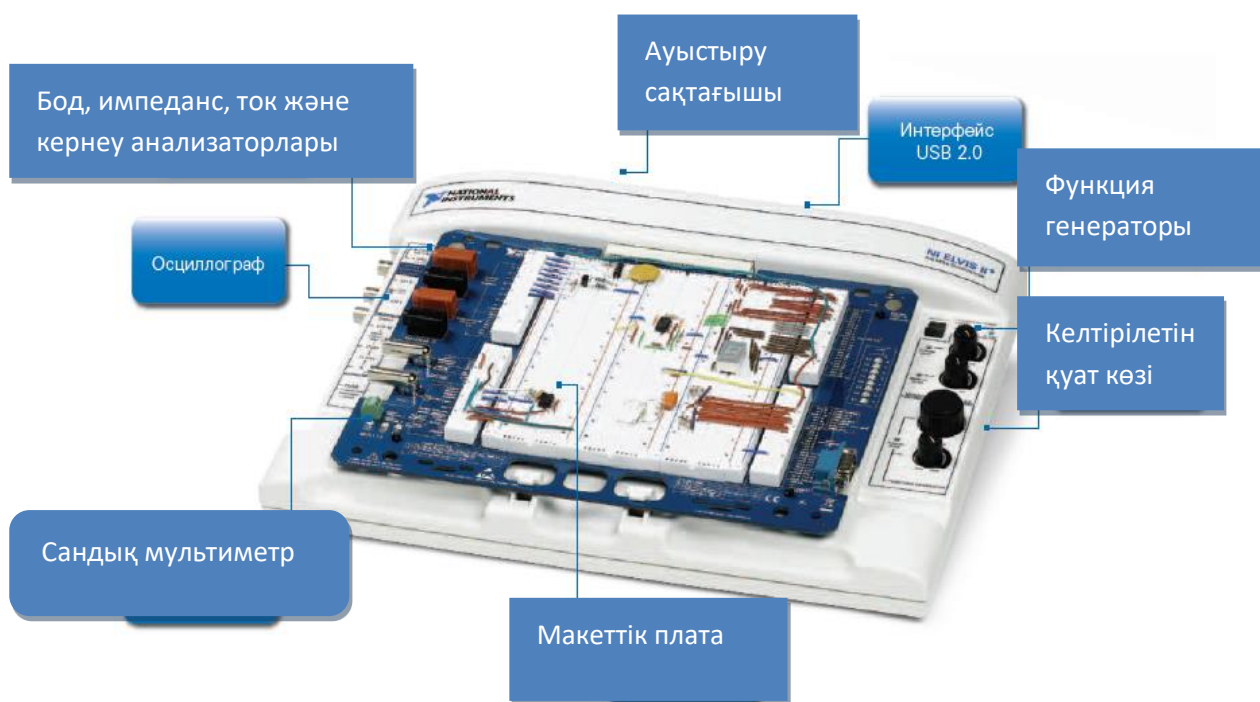
NI ELVIS макеттеу платформасы және Origin 8 бағдарламасы. Бұл құрылғыны пайдаланып КК электрлік қасиеттерін анықтауда және өзге құбылыстарды, мысалға, вольт-амперлік сипаттамасын, гистерезис құбылысына тәуелділігін немесе керісінше тәуелді еместігін анықтаймыз. Әлбетте сәйкесінше компьютерде мұның график немесе өзгеше күйін көру үшін Origin 8 бағдарламасын қолданамыз. Origin 8 бағдарламасы вольт-амперлік сипаттамасын көруге, аталмыш гистерезис құбылысын байқауға септігін тигізеді. Бұл бағдарлама тек осы жұмыс үшін ғана пайдаланылмай көптеген лабораториялық жұмыстарда өлшеу құрылғысы қызметін атқарып келеді. Негізгі қызметі де графиктер мен анализдеу болып табылатын программалар пакеті болып табылады.



5 Сурет - Origin 8 бағдарламалық пакеттер ортасы

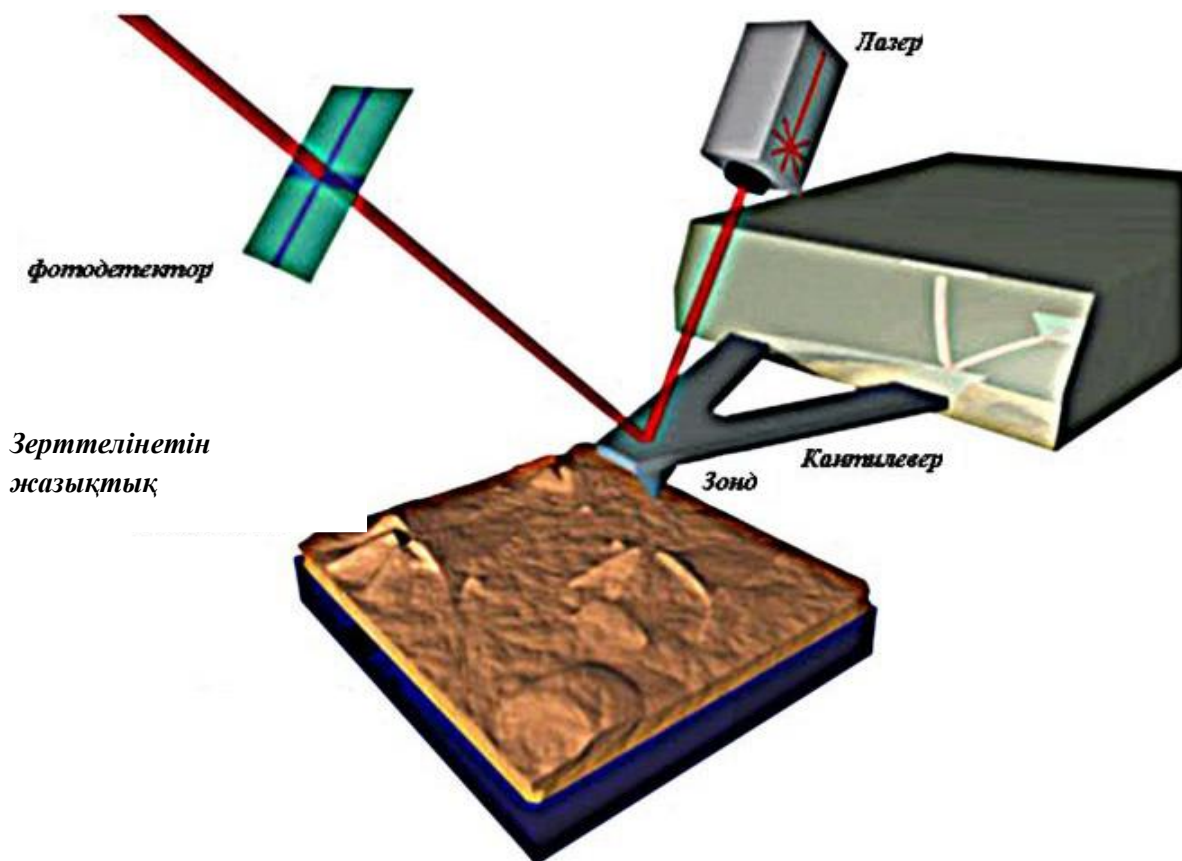
5 суретте көрсетілгендей Origin 8 бағдарламасы бұл жұмыста кеуекті кремнийдің вольт-амперлік сипаттамасын тұрғызуда пайдаланылады. Температура мәнін өзгертіп вольт-амперлік сипаттамасын алар болсақ, өткізгіштіктің температура тәуелділігінен өзгеруін осы бағдарламада анализ жасаймыз. Ал NI ELVIS макеттеу платформасы кеуекті кремнийдің микросхемалық платаға дәнекерленген құрылымын жалғап, ақпараттың компьютерге берілуін қамтамасыз етеді. Бұл платформа өзімен түрлі құрылғылар жиынтығын құрайды, түрлі электрондық нәтижелерді анықтауға мүмкіндік береді.

6 суретте NI ELVIS макеттеу платформасы көрсетілген.



6 Сурет - NI ELVIS макеттеу платформасының құрылымдық сипаты

Сканерлеуші зондық микроскопия (СЗМ). СЗМ — беттік қабаттың суретін және оның локальді сипаттамасын алу үшін арналған микроскоп кластарының бірі. Суретті құру процессі беттік қабатты зондпен сканерлеуге негізделген. Жалпы жағдайда беттік қабаттың үш өлшемді бейнесін алуға мүмкіндік береді. Нанообъектілерді бақылауда қол жеткізілген алғашқы технологиялардың бірі болып табылатын СЗМ, атомдық-күштік және туннельдік микроскоп көмегімен тек қана бақылап қоймай беттік қабат атомдарын жылжытуға болатындығын көрсетті. СЗМ ұшында үшкір шип болады. Микрозондтың ауысу кезінде шип бірде көтеріліп бірде түсіп сканерлеп, яғни суретке түсіріп отырады. Шиптің үстіне лазерден түскен сәуле келетін және кері шағылатын әйнек орналастырылған. Шип кедір-бұдырлы бетте көтеріліп түсіп сәуле кері қайтқанда ақпаратты тіркейді. Нәтижесінде беттік үлгінің көлемді рельефін (7 сурет) құруға болады.



7 Сурет- Сканерлеуші зондтық микроскоптың жұмыс істеу принципі

2.2 NI-ELVIS лабораториялық құрылғыда зерттеу

Кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін және өзгеруін көру үшін жоғарыда атап кеткендей NI ELVIS макеттеу платформасын пайдаланылады. Тек алдымен кеуекті кремнийді микросхемалық платформаға жалғап дәнекерлейді. Оны дәнекерлегіш құрылғы немесе токөткізгіш желімнің көмегімен жүзеге асырады. Қазіргі уақытта токөткізгіш желімді пайдалану тәсілі жеңіл әрі тиімді болып табылуда. Мысалға, осы жұмыста “Контактол” токөткізгіш желімін пайдаландық. 8 суретте “Контактол” токөткізгіш желімі көрсетілген. Мұның артықшылығы контактты жалғау үшін бір ғана тамшының өзі жеткілікті, ал кемшілігі жалғанған контактты 24 сағат күту тиіс. Дегенмен, контактінің дұрыс жалғануын қамтамасыз ететін бұл құрал микросхемалық платаға электрохимиялық тәсілмен алынған кеуекті кремнийдің қасиеттерін жоғалтпай және ондағы ақпаратты мүлтіксіз жеткізеді.



8 Сурет - “Контакт-Тол” токөткізгіш желімі

Микросхемалық платаға электрохимиялық жолмен өңделген кеуекті кремнийді пайдаланамыз. Ондағы электрлік қасиеттерді анықтау үшін өткізгіш сымдарды жалғап, дәнекерлейді.

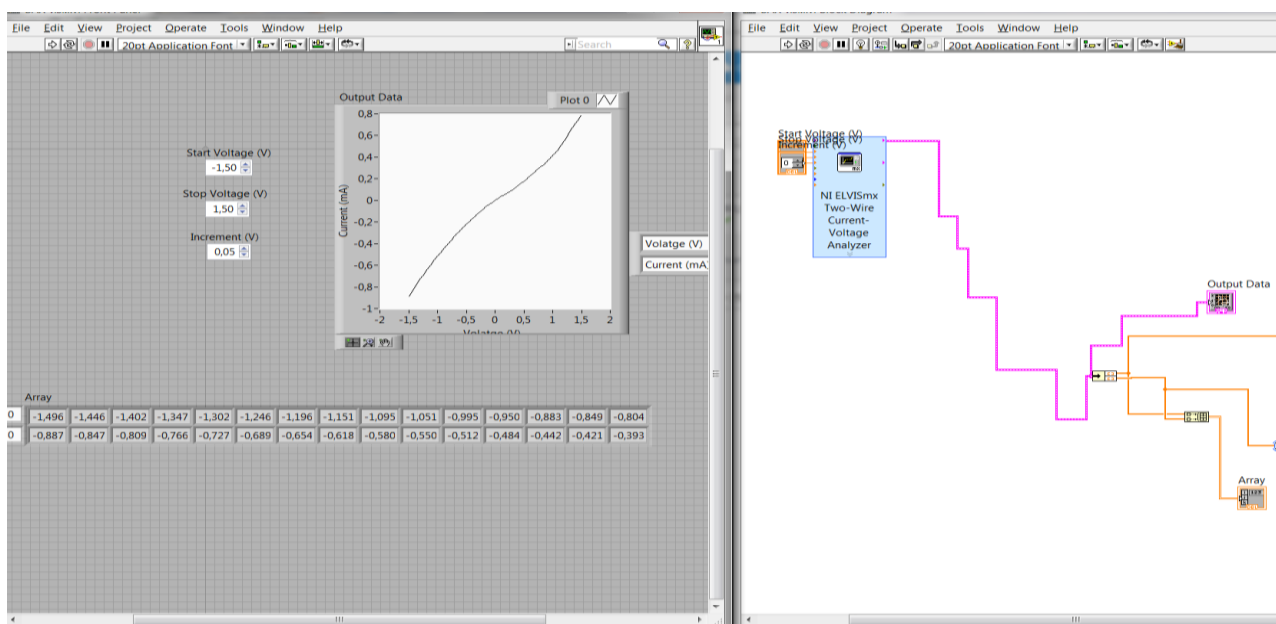
9 суретте HF қышқыл қоспалы электрохимиялық жолмен алынған кеуекті кремний көрсетілген.



9 Сурет - HF қышқыл қоспалы электрохимиялық жолмен алынған кеуекті кремний

Жоғарыда электрохимиялық жолмен алынған кеуекті кремнийдің бейнесі көрсетілген. Қызыл сызықтар орнына өткізгіш сымды жалғаймыз. Кейін кеуекті кремнийдің бетіне электрөткізгіш желімді аз ғана тамшылатып өткіземіз. Сонан соң оны 24 сағат уақыттай желімнің ажырап кетпесі үшін күтеміз. Сол уақыт өткеннен соң өлшеуіш ретінде макеттеу платформасына (NI ELVIS) жалғап токтың өзгерісін байқау мүмкіндігін аламыз. Вольт-амперлік сипаттама қисығын сурет 2.6-дан көруге болады. Вольтамперлік сипаттама симметриялық түрде бейсызық өзгереді. Дегенмен кремний материалы жартылай өткізгіш болғандықтан Ом заңына мүлдем бағынбайды, демек сызықты құбылыс бұл материал үшін тән емес. Алайда тәжірибе барысында температура артқан сайын бейсызықтық құбылысының жоғалуын байқаймыз.

10 суретте кеуекті кремнийдің макеттеу платформасына жалғанған мезеттегі вольт-амперлік сипаттамасы көрсетілген.



10 Сурет - Кеуекті кремнийдің макеттеу платформасына жалғанған мезеттегі вольт-амперлік сипаттамасы

Келесі бөлім NI ELVIS бағдарламалық платасына жалғанған кеуекті кремнийдің тағы да басқа нәтижелерін аламыз, мысалға гистерезис. Оны гистерезис құбылысына зерттеу үшін минималды кернеу мәнінен максимумға дейін тура бағытта және максимумнан минимумға дейін кері бағытта өлшеу арқылы бақылаймыз. Ал гистерезис дегеніміз — салынған немесе тіркелген әрекетке, сонымен қатар дәл сол уақыттағы күйіне тәуелді лезде жауап қайыратын жүйелер (физикалық, биологиялық) қасиеттері. Ал жүйенің күйі көбінесе уақыт интервалындағы тіркелген оқиғалар тарихына тәуелді болады. Грек тілінен аударғанда аздық немесе артта қалу мағынасын білдіреді. Гистерезиске қанығу құбылысы сипаттамалық көрініс береді.

Енді кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін тағы да бір көрінісін алу үшін температурасын жоғарылатып, кернеу мен ток нәтижесін жазып отыруымыз шарт. КК қабыршағына берген кернеу аралықтарын тұрақты қылып алдық, сондықтан ток мәнінің өзгерісін ғана бақылап отырамыз. Тәжірибені бөлме температурсынан жоғары 30⁰ C-ден бастаймыз. Бастапқы температураны бөлме температурасынан жоғары қарай, яғни 30⁰C-тан бастап жоғары асырып отырдық. Қыздыру үшін микросхемаға жалғанған кеуекті кремнийді металл қорапшаға саламыз. 11 суретте металл қорапшаға салынған кеуекті кремнийдің макеттеу платформасына жалғанған бейнесі көрсетілген.



11 Сурет - Металл қорапшаға салынған кеуекті кремнийдің макеттеу платформаға жалғануы

Металл қорапшаға салу себебіміз кеуекті кремнийді осылайша қыздыруға мүмкіндік аламыз. Басқа материалды пайдалану кеуекті кремний параметрлерін өзгертуі немесе балқып, құрылғыға зардап келтіруі мүмкін. Ал металл қызғыштық қасиетімен жұмыс талабына сай келеді. Тек температура шамасын белгіленген мөлшерден асырмауымыз тиіс, себебі қатты қызған металл плаформаны ерітіп жіберуі ықтимал. NI ELVIS II макеттеу платформасына термометрді қоса жалғаймыз, себебі температура шамасын бақылап отыруымыз керек.

Келесі кезекте оны қыздырғышпен қыздырып отыру қажет. Температураны $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ градусқа дейін көтереміз.

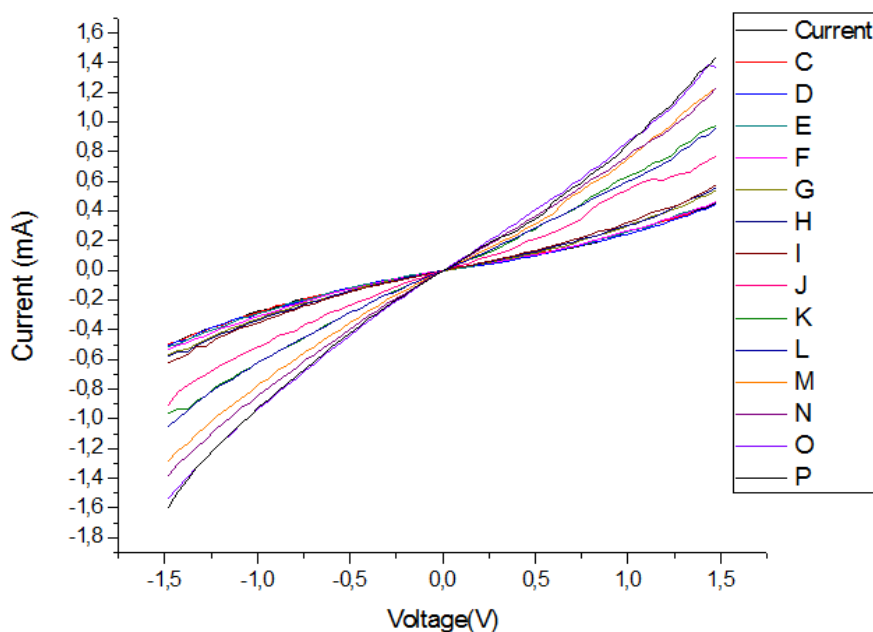
12 суретте температураны қыздыру кезіндегі ток және кернеу мәндері кестесі көрсетілген.

	A(Y)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)	J(Y)	K(Y)	L(Y)	M(Y)	N(Y)	O(Y)	P(Y)
Long Name	Current															
Units	mA															
Comments																
45	0.68353	0.1498	0.16089	0.15642	0.16062	0.16212	0.16112	0.16749	0.20147	0.31263	0.40368	0.4061	0.48915	0.51853	0.57709	0.54832
46	0.74504	0.1659	0.1758	0.17041	0.17633	0.17894	0.19972	0.20773	0.22055	0.34872	0.44153	0.44017	0.53502	0.55997	0.61067	0.5928
47	0.79175	0.1812	0.19161	0.18344	0.18914	0.19484	0.22255	0.22414	0.24138	0.39537	0.48871	0.4712	0.57685	0.60257	0.66868	0.63989
48	0.84393	0.1978	0.20907	0.19488	0.20815	0.21191	0.24044	0.24338	0.26215	0.45448	0.52446	0.50777	0.6135	0.64095	0.70496	0.68693
49	0.89566	0.21351	0.22543	0.21327	0.22039	0.22895	0.25899	0.26457	0.27754	0.4772	0.55844	0.53293	0.65252	0.67725	0.76096	0.72981
50	0.94125	0.23016	0.23769	0.22953	0.23809	0.2463	0.27202	0.28307	0.29639	0.51242	0.60594	0.56598	0.69694	0.72571	0.81046	0.78049
51	0.99277	0.2591	0.25639	0.24451	0.25503	0.26355	0.29539	0.30312	0.31762	0.53645	0.62593	0.59621	0.7397	0.76133	0.85422	0.8423
52	1.03796	0.27401	0.27317	0.25929	0.27112	0.27859	0.31859	0.31319	0.33953	0.57144	0.65624	0.61987	0.78496	0.80985	0.89823	0.8945
53	1.08885	0.29274	0.29393	0.27708	0.28789	0.29557	0.33972	0.3401	0.36353	0.59552	0.67524	0.64717	0.83498	0.83682	0.94108	0.94804
54	1.13405	0.31101	0.31041	0.29282	0.30521	0.31321	0.3626	0.35629	0.39056	0.61051	0.71982	0.67899	0.89181	0.88188	0.99788	1.01644
55	1.18588	0.32487	0.32955	0.31432	0.33599	0.33324	0.38379	0.38352	0.41134	0.61019	0.73828	0.71608	0.92779	0.91381	1.04644	1.0672
56	1.23695	0.34834	0.3484	0.33601	0.35455	0.35477	0.41023	0.41525	0.43162	0.637	0.7737	0.74879	0.98526	0.96007	1.10022	1.11895
57	1.28184	0.3657	0.36574	0.35455	0.3794	0.37287	0.43159	0.44686	0.44618	0.65311	0.83702	0.80522	1.04177	1.00566	1.16089	1.18538
58	1.33359	0.38551	0.38476	0.37345	0.40486	0.3938	0.45357	0.47986	0.48023	0.66307	0.87007	0.84332	1.09979	1.05204	1.22937	1.25195
59	1.37904	0.40712	0.40324	0.39804	0.41409	0.41407	0.48564	0.49593	0.50766	0.70719	0.91631	0.89065	1.14435	1.11997	1.29257	1.32856
60	1.43003	0.43207	0.42229	0.42031	0.43501	0.43908	0.50596	0.52743	0.54149	0.74267	0.95424	0.90828	1.19016	1.16975	1.38197	1.37637
61	1.4808	0.45628	0.44601	0.4438	0.46213	0.46882	0.54463	0.56083	0.58081	0.76421	0.9738	0.96822	1.22976	1.23689	1.37203	1.43791
62																

12 Сурет - Температураны қыздыру кезіндегі ток және кернеу мәндері кестесі

Бұл суретте бірінші бағанда кернеу мәні (жоғарыда атап кеткеніміздей барлық нәтиже үшін бірдей) және (ВУ-РҮ аралығы) қалған бағандарда ток нәтижелерін температурасын көтеру арқылы өзгергенін көреміз. Келесі суретте жоғарыдағы нәтиже бойынша Origin 8 бағдарламалық ортасында вольт-амперлік сипаттамасын аламыз.

13 суретте температура өзгерісі кезіндегі кеуекті кремнийдің вольт-амперлік сипаттамасы көрсетілген.



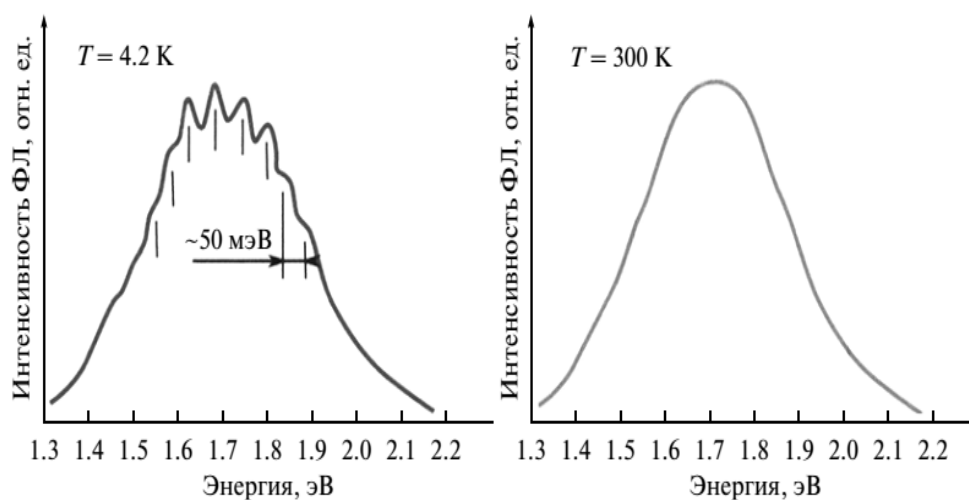
13 Сурет - Температура өзгерісі кезіндегі кеуекті кремнийдің вольт-амперлік сипаттамасы

Электрөткізгіштің өзгерісін байқау үшін температураның өткізгіштікке тәуелділік сызбасын сызамыз. Алдымен әр уақыт сайын мәні көтеріліп отырған температураны ескере отырып, кернеу мен токтың дифференциалдық қатынасы арқылы алынған кеуекті кремний қабыршағының электрөткізгіштігін аламыз. Кейіннен Origin 8 программасында графикті алу үшін екі бағанға кесте ретінде толтырып шығамыз. Яғни X бағанына температура мәндерін 30⁰ C бастап 120⁰ дейін жазып шығамыз (тәжірибедегі барлық температура), ал Y бағанына өткізгіштіктің мәнін жазып шығамыз. Жоғарыда айтқандай сәйкесінше өткізгіштіктің мәнін кернеудің (бұл жұмыста тұрақты деуге келеді) токқа қатынасы арқылы анықталады. Анықтылық үшін өткізгіштік жайлы шамалы айтып кетер болсақ, мұнда дифференциалды өткізгіштік пайдаланылады. Яғни $G = dI/dU$ формуласы арқылы анықталады. Ал жалпы өткізгіштікті 2.1 формуладан көруге болады.

	A(X)	B(Y)
Long Name		
Units		
Comments		
1	30	0,28908
2	36	0,28851
3	40	0,28003
4	50	0,30354
5	55	0,29529
6	60	0,34011
7	65	0,35983
8	70	0,3601
9	75	0,49721
10	80	0,65243
11	85	0,63237
12	90	0,82468
13	100	0,78878
14	110	0,92185
15	120	0,93878

14 Сурет - Өткізгіштік өзгерісін көру үшін температура мен өткізгіштік мәндері кесте түрінде

14 суретте бірінші бағанда температура, ал екінші бағанда өткізгіштік көрсетілген. Өткізгіштікті токтың кернеуге қатысы арқылы анықтайды. Төменнен өткізгіштіктің өзгерісін көре аламыз. Жоғарыдағы кестеге сүйене отырып алынған өткізгіштік графигі төменде 15 суретте келтірілген.

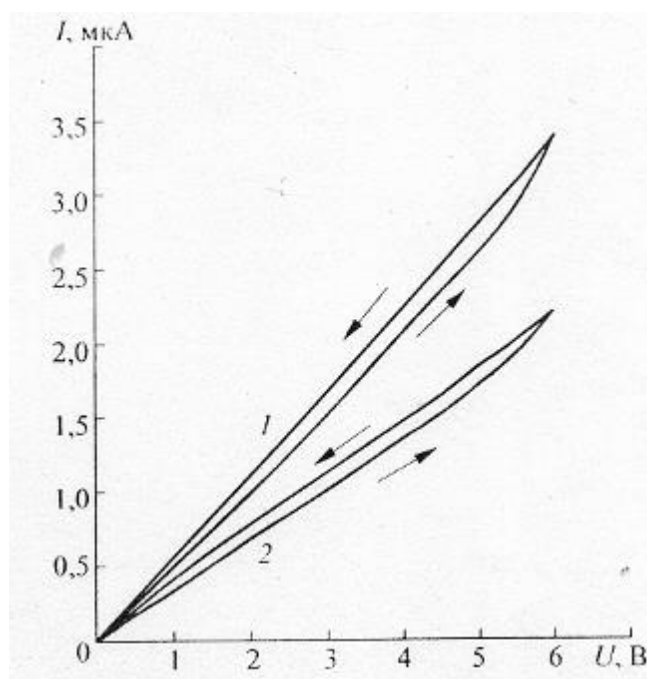


15 Сурет - Өткізгіштіктің температураға тәуелділік графигі

Яғни бұл жерде байқағанымыз температура неғұрлым артқан сайын электрөткізгіштік те арта түседі. Мақсатымыз да температура өзгерісі кезінде өткізгіштіктің мәнін көру болатын.

3 Зерттеу нәтижелері

Кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін эксперимент арқылы алынған температуралық тәуелділік және ВАС арқылы байқаймыз. Тәжірибенің мақсаты болып табылатын КК гистерезис құбылысын анықтау толық нәтижесін берді. Әдетте гистерезис құбылысы ауысу процестерін көрсетеді. Мысалға, заряд тасымалдаушылардың тура орын ауыстыруы кернеу импульсын берген кезде пайда болады. Ал ол өз кезегінде графикте гистерезис құбылысының өзгерісін көрсетеді. 16 суретте қалың қабықты кеуекті кремнийдің тура ауысуы кезіндегі кескіні бейнеленген. Сол секілді КК тәжірибеде гистерезис құбылысына тәуелді екенін анықтадық. Демек температуралық тәуелділік бойынша өткізгіштік те өзгередіні мәлім, яғни егер тұрақты кернеу мәнін беріп температураны арттырар болсақ заряд тасымалдаушылар жылдамдығы артып, кедергісі кемиді, соған сәйкес өткізгіштігі артады [23].

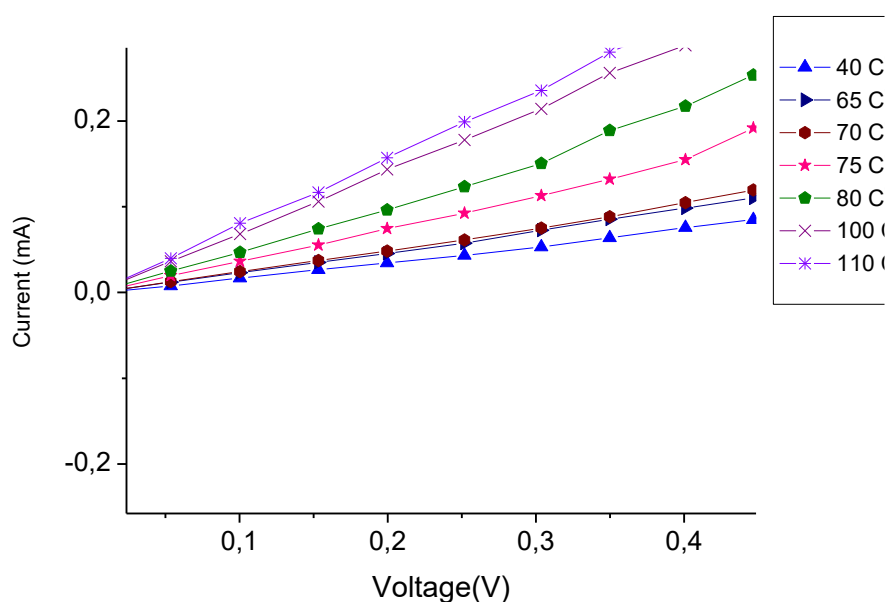


16 Сурет - Қалың қабықты КК тура ауысу кезіндегі гистерезис құбылысы: $d_{ок} = 50$ нм (1) және $d_{ок} = 80$ нм (2)

Металлдарда керісінше, металл өткізгіштердің кедергісі температура артуымен артады. Сондықтан металлдарда температураны бәсеңдеткен кезде өткізгіштік абсолют жағдайға ие болады, әдетте аса жоғары өткізгіштік деп аталады. Жартылай өткізгіштерге тән құбылысы, яғни температура жоғарылағанда, өткізгіштердің меншікті кедергісі кемиді, нақтырақ айтқанда электр кедергісі кемиді. Негізі кремний кристаллында еркін электрондар болады. Температура жоғарылағанда, еркін электрондардың саны көбейеді, сондықтан кремнийдің меншікті кедергісі кемиді. Бұл процесс өткізгіштіктің

артуына, материалды тиімді пайдалануға септігін тигізеді. Өз тәжірибемізде 16 суретте келтірілген кескінге қарасақ, температураның артуын және соған сай өткізгіштіктің артуын көреміз, меншікті кедергінің кемуі белгілі болды. Ол электроникада материалдың тиімді пайдаланылуына үлесін қосады.

Өткізгіштіктің кескінін алу үшін алдымен кеуекті кремнийдің вольт-амперлік сипаттамасын температуралық өзгертуі арқылы көруіміз тиіс. 17 суретте келтірілген кеуекті кремнийдің ВАС-н температуралық мәндер арқылы көрсетер болсақ, өткізгіштік секілді тұрақты кернеу мәнінде токтың мәні арта түседі. Ол меншіктің кедергінің төмендеуіне алып кететінін атап кеткенбіз. 17 суретте температураның арту мезетіндегі КК вольт-амперлік сипаттамасы келтірілген. 40⁰С температурада токтың мәні аз екенін және керісінше 110⁰С шамасында токтың мәні артатынын байқаймыз.



17 Сурет - Температура өзгерісі кезіндегі КК ВАС-ы

Суретте р-типті кеуекті кремнийдің меншікті кедергісі бөлме температурасында айтарлықтай айырмашылық жасамайды [2] және $1 \cdot 10^8 - 8 \cdot 10^8$ Ом·см интервалы аралығында болады. Дегенмен, температура өзгерісінде айырмашылық байқалады. 16 сурет пен 17 суретте температураны көтерген кездегі кеуекті кремнийдің ток өзгерісі келтірілгенін айта кетейік. Температураны бөлме температурасынан 130⁰С дейін көтердік. Мақсаты меншікті кедергісін азайтып, өткізгіштігін арттыру болатын. Дегенмен нәтижеге қол жеткізілді. 17 суретте заряд тасымалдаушылар қозғалысы деп көрсетуге болатын нүктелер мен белгілер белгіленген. Ток мәнінің қалай арту жүйесін көрсетіп отырады. Температураны төмендетер болсақ тура және кері токтың төмендеуіне әкеліп соқтырады. Нәтижесінде өткізгіштің деңгейін төмендетіп алу ықтималдығы мүмкін еді. Сонда да токтың мәні температураның 80⁰С және 100⁰С шамасында кішкене тұрақтанады. Себебі температураның бірден көтерілу әсерінен меншікті кедергінің төмендеу процесі

суретте баяу жүреді. температура мәні 80°C және 100°C кезде сатылы түрде көрсетілген.

Қорытындылай кетер болсақ, температураның жоғарылату шартында кренмий кристаллында заряд тасымалдаушылардың қозғалыс жылдамдығы артып, барьерді бұзуға ұмтылады. Сәйкесінше ол меншікті кедергінің төмендеп, өткізгіштіктің артуымен қамтылады және міндетті түрде ток мәнінің көтерілетіні айқын, бір ғана себебі температураның жоғарылауы болып табылады. Бұл жартылай өткізгіштердің диэлектриктер мен металлдардан айырмашылығы және ерекшелігі екені мәлім. Басты нәтиже ретінде температураны көтеріп оның меншікті кедергісінің төмендеуін, сәйкесінше өткізгіштің (G) жоғарылауын немесе артуын айтамыз. Демек, кремнийдің кеуектілігі кремнийдің жартылай өткізгіштердің қасиетінен айырмайтыны анықталды. Ал жартылай өткізгіштерде өткізгіштердің температурасы артуымен, меншікті кедергісі бәсеңдейді:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (2.1)$$

Жоғарыдағы формула жартылайөткізгіштердің өткізгіштік дәрежесін көрсетеді. Температураның суммалық, нақтырақ айтқанда барлық температураның қосындысы кезінде, сонымен қатар жоғары температура мезетінде өткізгіштіктің артуын түсіндіреді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста кеуекті кремнийдің қабыршағы электрохимиялық еріту әдісімен алынған. Нәтижесінде кеуекті қабыршақта нанокұрылымдар пайда болды, және осы қабыршақтың электрлік, оптикалық, физикалық, химиялық сондай-ақ люминесценциялық және электролюминесценциялық қасиеттері зерттелді. Сонымен қатар нанокұрылымды кремний қабыршағының электрлік қасиеттерін түсіндіру үшін вольт-амперлік сипаттамалары зерттелді.

NI ELVIS макеттеу платформасында кеуекті кремнийдің электрлік қасиетін анықтау нәтижесінде р-типті сынды гистерезис құбылысы байқалатынын, яғни тәуелділігін анықтадық. Сонымен қатар вольт-амперлік сипаттамасын алу кезінде заряд тасымалдаушылардың барьерді бұзып, меншікті кедергісін кемітетіні белгілі болды. Өз кезегінде ол өткізгіштіктің артуын көрсетеді. Өткізгіштің температураға қатынасы кремний негізінде алынған нанокұрылымды қабыршақтарда р-типтіге қарағанда өзгеше екенін көрсеттік. Және алынған нәтижелерге байланысты бұл қатынас бейсызық өзгеріске сай екенін айқындадық, яғни вольт-амперлік сипаттамасында бейсызықтық қасиетінен айрыла бастаса, өткізгіштіктің температураға тәуелділік графигінде бейсызық қасиетке ие болады.

Тәжірибе нәтижесін алу үшін, нақтырақ айтар болсақ өткізгіштіктің өзгерісін байқауға себеп болған температура бұл жұмыста негізгі параметрлердің бірі болып саналады. Өткізгіштіктің мәндері кернеудің токқа қатынасы арқылы алынды және соған орай дифференциалды өткізгіштік деп аталады. Есептеулер Origin 8 бағдарламалық ортасында жүргізілді. Алынған нәтиже арқылы р-типті кеуекті кремнийдің сипаттамаларымен салыстыру жүргізілді. Заряд тасымалдаушылардың (кеміктің) санына байланысты р-типті кеуекті кремнийге қарағанда кремний қабыршағының өткізгіштігі басым болатындығы анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Uhler A. Electrolytic shaping of germanium and silicon. -Bell Syst. Techn., 2016, v.35,, pp.333-335.
- 2 Memming R., and Schwandt G. Anodic dissolution of silicon in hydrofluoric acid solution. Surface Science, 2017, v.4, No.2, pp. 109-124.
- 3 Theunissen M.J. Etch channel formation during anodic dissolution of n-type silicon in aqueous hydrofluoric acid. J. Electrochem. Soc., 2018, v.117, No.7, pp.959-965.
- 4 Watanabe Y., Arita Y. et. al. Formation and properties of porous silicon and its application. J. Electrochem. Soc., 2019, v. 122, No. 10, pp.1351-1355.
- 5 Arita Y., Sunohara Y. Formation and properties of porous silicon films. J. Electrochem. Soc., 2017, v. 124, No.2, pp.285-295.
- 6 Unagami T., Kato K. Formation of porous silicon layers by anodization. The Transact, of the Instit. of Electr. Engineers of Japan, 2018, v.98-A, No. 10, pp.5116-5117.
- 7 Labunov V., Baranov I., Bondarenko V. Investigation of porous silicon formation during anodic treatment in aqueous HF. Thin Solid Films, 2019, v.56, No.3, pp.479-483.
- 8 Lehmann V. The physics of macropore formation in low doped n-type silicon. J. Electrochem. Soc., 2017, v.140, No.10, pp.2836-2841.
- 9 Bomchil G., Herino R. Le silicium poreux; du materian aux dispositifs électroniques. L'Echo des Recherches, 2018, No.131, pp.25-36.
- 10 Herino R., Bomchil G., Barla K., and Bertrand C. Porosity and pore size distributions of porous silicon layers. J. Electrochem. Soc., 2018, v. 134,1. No.8,
- 11 Zhang X.G., Collins S.D., and Smith R.L. Porous silicon formation and electropolishing of silicon by anodic polarization in HF solution. -J. Electrochem. Soc., 2019, v.136, No.5, pp.1561-1565.
- 12 Goudean P., Naudou A., Bomchil G., Herino R. X-ray small-angle scattering analysis of porous silicon layers. Appl. Phys., 2019, v.66, No.2, pp.625-628.
- 13 Изидинов С.О., Блохина А.П., Мартынова Т.С. Кинетика и механизм электрохимического формирования поверхностного пористого слоя на кремнии в плавиковой кислоте. Электрохимия, 2016, т.22, вып.1, с. 16-23.
- 14 Beale M.I.J., Chew N.G., Uren M.J., Cullis A.G., and Benjamin J.D. Microstructure and formation mechanism of porous silicon. Appl. Phys. Lett., 2015, v.46, No.1, pp.86-88.
- 15 Earwaker L.G., Farr J.P.G., Grzesczyk P.E., Sturland I., Keen J.M. Analysis of porous silicon. Nuclear instrum. and methods in Phys. Research., 2015, No.3, pp.317-320.
- 16 Arita Y., Kuranari K., Sunohara Y. Thermal bechaviour porous silicon. Jap. J. Appl. Phys., 2016, v.15, No.9, pp.1655-1664.

- 17 Arita Y. Formation and oxidation of porous silicon by anodic reaction. *J. Crystal Growth*, 2018, v.45, pp.383-392.
- 18 Unagami T., Seki M. Structure of porous silicon and heat-treatment effect. *J. Electrochem. Soc.*, 2018, v. 125, No.8, pp. 1339-1344.
- 19 Unagami J. Oxidation of porous silicon and properties of its oxide film. *Jap. J. Appl. Phys.*, 2017, v. 19, No.2, pp.231-241.
- 20 Gosch J. Process speeds up chip isolation. *Electronics*, 2018, v.47, Np.22, p.6-E.
- 21 Imai K., Unno H. FIPOS technology and its application to ISI's. -*IEEE Trans. Electr. Dev.*, 2017, v.ED-31, No.3, pp.297-302.
- 22 Nesbit L.A. Advances in oxidized porous silicon for SOI. *Int. Electron. Dev. Meet.*, San Francisco, Calif., Dec., 9-12, 2018, Techn. Dig., New-York, 1984, pp.800-803. ,
- 23 Joubert P., Guendouz M., Pedrono N., and Charrier J. Porous silicon micromachining to position optical fibres in silicon integrated optical circuits. *Abstr. of the Inter. Conf. «Porous semiconductors science and technology»*, Spain, 2017, 0-73, pp.131.
- 24 Патент (Япония) No.59-17530, опубликован 21.04.22.
- 25 Бондаренко В.П., Борисенко В.Е., Глиненко Л.Н., Райко В.А. Новые области применения пористого кремния в полупроводниковой электронике. *Зарубежная электронная техника*, 2021, No.9, с.55-84.
- 26 Патент (США) No.3929529, опубликован 30.12.22.
- 27 Бондаренко В.П., Борисенко В.Е., Горская Л.В. Перераспределение золота в монокремнии на границе с пористым кремнием при секундном отжиге некогерентным светом. *ЖТФ*, 1984, т.54, вып. 10, с.2021-2026.
- 28 Демидович Г.Б., Козлов С.Н., Гребенкин А.П. и др. Газочувствительный диод Шоттки на пористом кремнии. *Электронная техника (микроэлектроника)*, 1980, вып.3, сер.3, с.25.
- 29 Xie Y.H. and Bean J.C. Heteroepitaxy of $GexSi_{1-x}$ on porous Si substrates. *J. Appl. Phys.*, 2017, v.67, No.2, pp.792-795.
- 30 Lin T.L., Sadwick L., Wang K.L., Kao Y.C., et al. Growth and characterization of molecular beam epitaxial GaAs layers on porous silicon. -*Appl. Phys. Lett.*, 2017, v.51, No. 11, pp.814-816.
- 31 Zimin S.P, Preobrazhensky M.N, Zimin D.S. Investigations of single-crystal PbTe films on porous silicon substrates using acoustic microscopy. *Abstr. of the Inter. Conf. «Porous semiconductors science and technology»*, Spain, 2018, 0-75, pp.134.
- 32 Zheng J.P, Jiao K.L , Shen W.P, Anderson W.A, Kwok H.S. Highly sensitive photodetector using porous silicon. *Appl. Phys. Lett.*, 2012, v.61, No.4, pp.459-461.
- 33 Беляков Л.В, Горячев Д.Н, Сресели О.М, Ярошецкий И.Д. Светочувствительные структуры Шоттки на пористом кремнии. *ФТП*, 2017, т.27, вып.8, с.1371-1375.

- 34 Lehmann V, and Gosele U. Porous silicon formation: a quantum wire effect. Appl. Phys. Lett, 2018, v.58, No.8, pp.856-858.
- 35 Canham L.T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers. Appl. Phys. Lett, 2017, v.57, No. 10, pp. 1046-1048.
- 36 Bsiesy A, Vial J.C, Gaspard F, Herino R, Ligeon M, Muller F,
- 37 Halimaoni A, Oules C, and Bomchil G, et al. Electroluminescence in the visible range during anodic oxidation of porous silicon films. Appl. Phys. Lett, 2017, v.59, No.3, pp.304-306.- Appl. Surf. Sci, 2017, v.65/66, pp.394-407.
- 38 Richter A, Steiner P, Kozlowski F, and Lang W. Current-induced light emission from a porous silicon device. IEEE Electron Device Lett, 2011, v.EDL-12, pp.691-692.
- 39 Koshida N, Koyama H. Visible electroluminescence from porous silicon. Appl. Phys. Lett, 2012, v.60, No.3, pp.347-349.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Шүйіншібай Арайлым Әсетқызы

Тақырыбы: Кеукті кремний қабыршығының электрлік сипаттамалары

Жетекшісі: Қаламқас Астемесова

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.5

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 43

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 1

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 03.06.2022

Кафедра меңгерушісі



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

РЕЦЕНЗИЯ

дипломдық жұмысқа
(жұмыстың түрі)

Шүйіншібай Арайлым Әсетқызы
(білім алушының аты-жөні)

Материалтану және жаңа материалдар технологиясы- 5B071000
(мамандық шифры және атауы)

Тақырыбы: Кеуекті кремний қабыршағының электрлік сипаттамалары

Дипломдық жұмыс:

- а) 11 бетте графикалық бөлімнен
- б) 19 бет теориялық бөлімнен тұрады

Ескертулер

Шүйіншібай Арайлым Әсетқызының «Кеуекті кремний қабыршағының электрлік сипаттамалары» тақырыбына жазылған дипломдық жұмысы талапқа сай жазылған. Автор зерттеу проблемасының өзектілігін, зерттеу тақырыбын, зерттеу нысаны мен пәнін, мақсаты мен міндеттерін айқындай, теориялық және тәжірибелік базасын нақты белгілеген.

Дипломдық жұмыста NI ELVIS макеттеу платформасын қолданып, кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттері егжей-тегжейлі зерттелген. Дипломдық жұмыстың нәтижесінде кеуекті қабыршақта нанокұрылымдар пайда болды, және осы қабыршақтың электрлік, оптикалық, физикалық, химиялық сондай-ақ люминесценциялық және электролюминесценциялық қасиеттері зерттелді. Сонымен қатар нанокұрылымды кремний қабыршағының электрлік қасиеттерін түсіндіру үшін вольт-амперлік сипаттамалары зерттелді.

Жұмыстың барлық бөлімдері толық көлемде жоғары техникалық деңгейде орындалған.

Дипломдық жұмысқа ескертулер ретінде түсіндірме жазбада айтарлықтай ескертулер жоқ.

Жұмысты бағалау

Аталған жетістіктерін саралай келе Шүйіншібай Арайлым Әсетқызының «Кеуекті кремний қабыршағының электрлік сипаттамалары» тақырыбына жазылған дипломдық жұмысы нормативтік құжаттарға қойылған барлық талаптарға сәйкес келеді.

Дипломдық жұмыс біліктілік жұмысына қойылатын талаптарға сәйкес келеді және «95» бағасына лайық, және Шүйіншібай Арайлым Әсетқызы «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы- 5B071000» мамандығы бойынша академиялық бакалавр дәрежесін тағайындауына лайық.

Рецензент

ШЖҚ РМК «Жану Проблемалары Институты»

Көміртекті наноматериалдар зертхана меңгерушісі, PhD

(жауазымы, т.б. қолы) Е.О. Досжанов

«30» 05



Ф КазНИТУ 706-17. Ресми

БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІ

ПІКІРІ

дипломдық жұмысқа
(жұмыстың түрі)

Шүйіншібай Арайлым Әсетқызы
(білім алушының аты-жөні)

Материалтану және жаңа материалдар технологиясы- 5B071000
(мамандық шифры және атауы)

Тақырыбы: Кеуекті кремний қабыршығының электрлік сипаттамалары

Шүйіншібай А.Ә.-ның дипломдық жұмысы кеуекті кремнийдің электрлік сипаттамаларын зерттеуге арналған. Жұмыста тақырыптың өзектілігі көрсетіліп, оның қазіргі заманауи технологияларда кеңінен қолданылатынын атап кеткен. Бастамасы ретінде кеуекті кремнийдің химиялық, физикалық сонымен қатар негізгі мақсат — электрлік қасиеті айқын ашылған. Сондай-ақ вольт-амперлік сипаттамасы көрсетілген. Осы сынды ғылыми жұмыстар нәтижесімен салыстырылып, ұқсастығын немесе айырмашылығын, артықшылық немесе кемшіліктерін тілге тиек еткен. Отандық және шетелдік ғылыми-техникалық әдебиеттің үлкен көлемі пысықталған.

Жұмыста NI ELVIS макеттеу платформасын қолданып, кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттерін, гистерезис құбылысына тәуелді немесе тәуелді еместігін анықталған.

Зерттеудің жаңалығы, жұмысты орындау барысында алынған нәтижелер кеуекті кремнийдің электрлік қасиеттері туралы түсініктерді одан әрі тереңдетуге ықпал етеді. Жұмысты рәсімдеу бакалавр деңгейіндегі жұмыстарға белгіленген барлық талаптарға сәйкес келеді.

А.Ә. Шүйіншібайдың өз бетінше орындалған дипломдық жұмысы аяқталған, ғылыми маңызды еңбек болып табылады, сауатты, дәйекті жазылған және аяқталған сипатқа ие.

Дипломдық жобаның жалпы бағасына көше отырып, зерттелетін үдерістердің тереңдігін, жүргізілген зерттеулердің практикалық және ғылыми қызығушылығын, қойылған міндеттерге сәйкес келетін қорытындылардың шынайылығы мен негізділігін атап өткен жөн. Жобаның нәтижелері қисынды байланысты және қойылған міндетті шешуге бағытталған аяқталған зерттеу жұмысын ұсынады.

Нәтижесінде, жоғарыда көрсетілген кемшіліктерді және жүргізген зерттеудің жоғары деңгейін, оның тереңдігін, қойылған міндеттерді орындаудың нақтылығын және қорытындылар мен ғылыми ұсыныстардың дәйектілігін ескере отырып, А.Ә.Шүйіншібайдың 5B071000 - Материалтану және жаңа материалдар технологиясы мамандығы бойынша дайындаған дипломдық жұмысын «өте жақсы» деген бағаға бағалаймын.

Ғылыми жетекші

Ф.И.О доктор, сениор-лектор

(лауазымы, ғылыми дәрежесі)

Ақжан Машан

АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚСТАН

БІЛІМ БЕЛГІСІ

« 08 » АҚПАН

2022

Астемесова Қ.С.

2022 г.