Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев атындагы Физика институту жана Россиянын тунгуч президенти Б. Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Орус Славян университети

Д.01.21.633 диссертациялык кеңеши

Кол жазма укугунда
УДК: 621.762

Ласанху Керим Арсаевич

Кремнийдин эң майда калдыктарынын негизиндеги керамикалык-композициялык материалдардын физикалык-химиялык касиеттери

01.04.07 – конденсирленген абалдын физикасы

Физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациянын авторефераты

Бишкек - 2021

Иш Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев атындагы Физика институтунун «Күкүмдүү материалдар» лабораториясында аткарылган.

Илимий жетекчиси (кеңешчи): Касмамытов Нурбек Кыдырмышевич, физика-математика илимдеринин доктору, профессор, Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев атындагы Физика институту, директордун илимий иштер боюнча орун басары;

Расмий оппоненттери: Ташполотов Ысламедин, физика – математика илимдеринин доктору, ОшМУ профессору, г. Ош шаары, Ленина көч. 331;
Утемисов Касымкул, физика-математика илимдеринин кандидаты, Ж. Баласагын атындагы Кыргыз Улуттук университетинин доценти, физика кафедрасы, физика жана электроника факультети;

Жетектөөчү (оппонирлөөчү) уюм: Сарсен Аманжолов атындагы Чыгыш Казакстан мамлекеттик университети, Казакстан Республикасы, Усть-Каменогорск ш., 30-Гвардиялык дивизия көч., 34, почта индекси 070020, e-mail: kense@vkgu.kz

Диссертацияны коргоо 2021-жылдын «___» ________да саат ___до Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын академик Ж. Жеенбаев атындагы Физика институтуна жана Б. Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Орус Славян университетине караштуу физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн диссертацияларды коргоо боюнча Д.01.21.633 диссертациялык кеңешинин отурумунда төмөнкү даректе: Бишкек ш., 720071, Чүй пр., 265-а, КР УИА Физика институту, тел.: (0312) 39-18-67 болуп өтөт. Диссертацияны коргоону zoom-webinarда онлайн көрсөтүүнүн идентификациялык коду: http://vc.vac.kg/b/d_0-pj7-m6b-mev.

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Борбордук илимий китепканасынан, Бишкек ш., 720071, Чүй проспектиси 265-а, башкы корпус жана Кыргыз-Орус Славян университетинин китепканасынан, Киев көч., 44, таанышууга болот.

Автореферат таркатылды 2021-жылдын «_____» ________.

Диссертациялык кеңештин
окумуштуу катчысы
ф.-м.и.д., профессор Н. К. Касмамытов

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Азыркы учурда нитрид-кремний материалдар өнөр жайдын ар кыл тармактарында кеңири колдонууну таап жатышат. Ушуга байланыштуу кремнийдин нитриди менен карбонитридинин негизиндеги керамикалык материалдардын физикалык-химиялык касиеттерин изилдөө актуалдуу болуп саналат. Азыркы мезгилде физикалык-механикалык, физикалык-химиялык жана термикалык касиеттердин бүтүндөй бир комплексин иликтөөнү талап кылуучу керамикалык материалдардын жаңы өндүрүштөрү түзүлүп жатат. Ошол нитрид-кремний материалдар эң келечектүү керамикалык-композициялык материалдар (ККМ) болуп саналат. Ф.-м.и.д., профессор Н. К. Касмамытовдун, ф.-м.и.д., профессор В. П. Макаровдун эмгектеринде кремний өндүрүшүнүн эң майда калдыгынын негизиндеги ККМдын технологиясы, түзүмү, термомеханикалык касиеттери кеңири сыпатталган, бирок нитрид-кремний материалдардын физикалык-химиялык касиеттери менен реакциялык синтезинин кинетикасы жетишерлик терең изилденген эмес.

Адабий булактарда кремнийдин жарым өткөргүчтүк өндүрүшүнүн майда дисперстүү калдыктарынын негизинде синтезделген ККМдын химиялык туруктуулугуна арналган изилдөө жөнүндө кандайдыр бир маалыматтар жок. Мурдагылардын илимий эмгектеринде азот чөйрөсүндөгү нитрид-кремний материалдардын реакциялык синтезин теориялык жана моделдик-математикалык изилдөөлөр дагы жок. Иштин **актуалдуулугу** алынган илимий натыйжаларды практикада колдонуу, ошондой эле карбонитриддик, оксинитриддик жана нитриддик керамикалардын негизинде жаңы керамикалык-композициялык материалдарды түзүү багытындагы физикалык материалтаанууну өнүктүрүүгө түрткү болуу мүмкүнчүлүгү менен түздөн-түз байланышкан.

Диссертациянын темасынын ири илимий долбоорлор жана илимий-изилдөө иштери менен байланышы. Илимий диссертациялык иш КР УИАнын Президиуму бекиткен илимий-изилдөө иштеринин алкагында мамлекеттик бюджеттин негизинде, КР УИАнын академик Ж. Жеенбаев атындагы Физика институтунун «Күкүмдүү материалдар» лабораториясынын пландарына ылайык аткарылган.

Изилдөөнүн объектиси – жарым өткөргүчтүк кремний өнөр жайынын, жеке алсак, Орловка ш.т.п. «Астра» Кыргыз химия-металлургия заводунун калдыктарынан реакциялык синтез усулу менен алынган керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдар.

Изилдөөнүн предмети – агрессивдүү чөйрөнүн керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдарга таасир этүүсүндө болуп өтүүчү физикалык-химиялык касиеттер менен процесстер жана бир өлчөмдүү

математикалык моделди иштеп чыгуу жолу менен азот чөйрөсүндөгү кремнийдин реакциялык синтезинин кинетикасын изилдөө.

Изилдөөнүн максаты жана милдеттери. Диссертациялык иштин максаты кремнийдин нитридинин негизиндеги реакциялык-синтезделген ККМдын ар кыл агрессивдүү чөйрөлөрдөгү физикалык-химиялык касиеттерин изилдөө жана бир өлчөмдүү математикалык моделди куруу аркылуу реакциялык синтездин оптималдуу шарттарын аныктоо болуп саналат.

Коюлган **максатка** төмөнкү **милдеттерди** чечүү менен жетишилди:

1. Катуунун ар кыл таптык шарттамдарында азоттун жана метандын чөйрөсүндөгү кремнийдин жарым өткөргүчтүк өндүрүшүнүн ультрадисперстүү калдыктарынын негизиндеги ККМдын ар кыл тажрыйбалык үлгүлөрүн реакциялык синтез усулу менен алуу.
2. Тажрыйбалык синтезделген ККМдын ар кыл концентрацияланган кычкылдар менен жегичтердеги физикалык-химиялык туруктуулугун изилдөө.
3. Гиббс-Розебомдун тең капталдуу концентрациялык үч бурчтугу усулу менен ККМдын алынган тажрыйбалык үлгүлөрүнүн фазалык курамын эсептөө.
4. Нитрид-кремний үлгүлөрдүн реакциялык синтезинин кинетикасын изилдөө жана бир өлчөмдүү математикалык моделдин жардамы менен реакциялык синтезде аларды алуунун оптималдуу шартын аныктоо.
5. Синтезделген керамикалык-композициялык материалдардын Кыргыз Республикасынын Өнөр жайынын ар кыл тармактарында колдонулуусун аныктоо.

Алынган натыйжалардын илимий жаңылыгы:

1. Кремнийдин полидисперстүү калдыгынан биринчи жолу метандын чөйрөсүндө Si-SiC-C фазасы бар композициялык-керамикалык материал алынган.
2. Жарым өткөргүчтүк өнөр жайдын калдыктарынан азоттун чөйрөсүндөгү реакциялык синтез жолу менен алынган ККМдын физикалык-химиялык туруктуулук параметрлери аныкталган.
3. Гиббс-Розебомдун усулунун жардамы менен алынган азоттун чөйрөсүндө реакциялык синтезделген керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдардын фазалык жана химиялык курамы эсептелген.
4. Азоттун чөйрөсүндөгү кремнийдин ультрадисперстүү күкүмүнүн реакциялык катуусунун бир өлчөмдүү математикалык модели иштелип чыккан.

Натыйжалардын ишеничтүүлүгү изилдөөнүн заманбап текшерилген усулдарын, жеке алсак, рентгендик-түзүмдүк жана рентгендик-фазалык анализдерди, микрорентгендик-спектралдык анализи бар электрондук

микроскопияны, дифференциялдуу теңдемелердин аппроксимациясын жана аларды чечүүнүн итерациялык усулун, ошондой эле эксперименттин мурда белгилүү жана алынган маалыматтары менен башка авторлордун эсептөөлөрүнүн натыйжалары менен тастыктоочу канааттандырарлык корреляциясын колдонуу менен камсыздалган. Физикалык чоңдуктарды өлчөөлөрдө каталыктын ар кыл – шаймандык, статистикалык, кокус, кыйыр, ошондой эле Гиббс-Розебомдун концентрациялык үч бурчтугу усулу менен агрессивдүү чөйрөлөрдөгү химиялык туруктуулукту жана химиялык курамды аныктоодо усулдук жана субъективдүү пайда болуучу булактары, бир өлчөмдүү математикалык моделдин жардамы менен ККМдын реакциялык синтезинин кинетикасын жана эсептелишин аныктоо эске алынган.

Алынган натыйжалардын практикалык маанилүүлүгү.

1. Кыргызстандын «Астра» КХМЗ жарым өткөргүчтүк өнөр жайынын өндүрүштүк калдыктарынын негизинде графит булаларын кошуу менен метандын чөйрөсүндө керамикалык-композициялык материалдардын синтези биринчи жолу жүргүзүлгөн.

2. Нитрид-кремнийдин, кремнийдин оксинитридинин жана кремнийдин карбонитридинин негизинде ар кыл ККМды синтездөө жолу менен керамикалык материалдарды алууда өнөр жайлык жарым өткөргүчтүк калдыктар келечектүү.

3. Реакциялык-синтезделген ККМдар агрессивдүү чөйрөлөргө карата жогору физикалык-химиялык туруктуулукка ээ болушат.

Изилдөөнүн натыйжаларынын негизинде керамикалык-композициялык материалды ойлоп табууга автордук күбөлүк алынган, ал Кыргызпатентте катталган «Кремнийлик өндүрүштүн калдыктарынан керамикалык-композициялык материалды алуунун ыгы» (19) **KG** (11) **1766** (13) **C1** (46) **28.08.2015**

Диссертациянын коргоого коюлуучу негизги жоболору:

1. Кремнийдин жарым өткөргүчтүк ультрадисперстүү калдыктарынын негизинде графит булаларын кошуу менен метандын чөйрөсүндө композициялык материалдарды алуунун ыгы.

2. Агрессивдүү чөйрөлөрдүн: концентрацияланган кычкылдар менен жегичтердин таасири астында реакциялык синтезделген ККМдын физикалык-химиялык туруктуулугун изилдөөнүн натыйжалары.

3. Кремнийдин карбонитридинин, оксинитридинин жана нитридинин негизинде реакциялык синтезделген ККМдын химиялык курамынын натыйжалары, Гиббс-Розебомдун эсептөө усулу менен алынган.

4. Азоттун чөйрөсүндөгү кремнийдин микродисперстүү эң майда күкүмдөрүнүн (кремний өндүрүшүнүн калдыктарынын) реакциялык синтезинин математикалык бир өлчөмдүү модели.

Изденүүчүнүн жекече салымы. Диссертациялык иштеги натыйжалар автордун жалпы жана өз алдынча изилдөөлөрүнүн жыйынтыгы болуп саналат. Автордун жекече салымы төмөнкүдө турат: алынган эксперименттик маалыматтардын анализин иштетүү, интерпретациялоо, алуу жана жалпылоо. Диссертациялык иш автордун аягына чыккан ишинин натыйжасы болуп саналат. Технологиялык иштеп чыгуунун ар кыл этаптарында изилдөө жумуштарынын айрым түрлөрүн автор лабораториядагы кесиптештери менен чогуу аткарган, бирок мында эксперименттик изилдөөлөрдү жүргүзүүдөгү жана жалпы эле тыянактардагы автордун жекече салымы негизги болуп саналат.

Автор иштин максатын аныктоодогу жана алынган натыйжаларды талкуулоодогу жардамы үчүн илимий жетекчиси, ф.-м.и.д., профессор Нурбек Кыдырмышевич Касмамытовго жана илимий кеңешчиси, ф.-м.и.д., т.и.д., профессор Владимир Петрович Макаровго жана башка лабораториянын кызматкерлерине тереӊ ыраазычылык билдирет.

Изилдөөнүн натыйжаларынын апробациясы. Диссертациялык иштин негизги жоболору менен натыйжалары төмөнкү эл аралык илимий-практикалык конференцияларда талкууланган:

1. VIII International conference «Advanced technologies, equipment and analytical systems for material sciences and nonmaterial's», Almaty, Republic of Kazakhstan, June 9 and 10, 2011 г.;
2. Международная научная конференция «Рахматулинские-Ормонбековские чтения», г. Бишкек, 27-29 июня, 2013 г.;
3. Международная научно-практическая конференция «Новая наука: теоретический и практический взгляд», г.Нижний Новгород, 14 апреля 2016г.;
4. XI Иссык-Кульская международная школа-конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, г. Бишкек-Барскоон, 2015 г.;
5. Расширенный научный семинар Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б. Н. Ельцина, Естественно-технического факультета, кафедры физики и микроэлектроники, 2018 г.;
6. Стажировка молодых ученых государств участников СНГ г. Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Московская область, г. Дубна, 18 Март-17 апрель 2012 г.;
7. Стажировка молодых ученых государств участников СНГ г. Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Московская область, г. Дубна, 15 март- 14 апрель 2019 г.;
8. Стажировка молодых ученых государств участников СНГ г. Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Московская область, г. Дубна, Октябрь 2019г.;

9. 71-я международная научая, конференция «Eurasian scientific association», Россия, г. Москва, 28-29 января 2021 г.

Диссертациянын натыйжаларынын публикацияларда толук чагылдырылышы. Ушул диссертациянын материалдары 30 публикацияларда: илимий журналдар менен жыйнактарда, эл аралык жана республикалык конференцияларда, илимий мектептерде, КР УИАнын Физика институтунун 2009-2021-жж. үчүн отчётторунда жана 1 автордук патентте өз чагылуусун тапкан.

Диссертациянын түзүмү жана көлөмү. Диссертациялык иш киришүүдөн, беш баптан, 141 барак тексттен, 28 сүрөттөн, 15 жадыбалдан жана 161 колдонулган булактардан турат.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Киришүүдө проблема жана теманын актуалдуулугу, изилдөөнүн объектиси менен предметин тандоо ачылат, изилдөөнүн максаты менен милдеттери, алынган натыйжалардын илимий жана практикалык маанилүүлүгү, диссертациялык иштин коргоого коюлуучу негизги жоболору аныкталат. Изилдөөнүн автор тарабынан алынган негизги натыйжалары, анын илимий-изилдөөчүлүк диссертациялык ишке жекече салымы кыскача сыпатталат.

Биринчи бапта диссертациянын темасы боюнча кыскача адабияттык сереп келтирилген. Негизги түшүнүктөр жана өнөр жай менен илимдин ар кыл тармактарында классикалык керамикалык нитрид-кремний материалдарды колдонуу, классикалык керамикалык материалдардын түрлөрү, ар кыл нитрид-кремний керамикалык-композициялык материалдарды (ККМ) даярдоо үчүн баштапкы чийкизат түрүндө колдонулуучу ар кыл калдыктар пайда болуучу гелиоэнергетика үчүн монокремнийди иштетүүнүн технологиялык стадиялары берилген. ККМдын реакциялык синтези жана түзүмү менен касиеттеринин калыптануусу боюнча мурда алынган эксперименттик маалыматтарга анализ жасалган. Кремнийдин ультрадисперстүү күкүмдөрүнүн жана алардын негизинде алынган керамикалык-композициялык материалдардын адамдын организмине жана жаратылышка таасири жөнүндө эсептөөлөрдүн натыйжалары келтирилген. Реакциялык синтез жана кремнийдин күкүмдүү калдыктары чөлкөмүндөгү пайыздык жол берилүүчү концентрация (ПЖК) жөнүндө маалымат берилген. Биринчи баптын аягында корутунду жасалган.

Экинчи бапта изилдөөнүн *объектиси* менен *предмети* сыпатталган. ККМды алуунун технологиясы, түзүмү жана коррозиялык касиеттери жана изилдөөнүн усулдары, жеке алсак, рентгендик-түзүмдүк жана рентгендик-фазалык анализ, растрдык электрондук микроскопияны колдонуу менен локалдык микрорентгендик-спектралдык анализ, универсалдуу табы төмөн орнотмодо жылуулукту талап кылууну аныктоо, ошондой эле изилдөөнүн

башка усулдары да майда-чүйдөсүнө чейин сыпатталган да, экинчи бап боюнча тиешелүү корутунду жасалган.

Үчүнчү бапта кремнийдин карбонитридинин, оксинитридинин жана нитридинин негизинде тажрыйбалык реакциялык-катыган ККМдын, ошондой эле графит буласы менен бекемделген ККМдын түзүмдөрүнүн калыптануусунун микротүзүмдүк өзгөчөлүктөрү сыпатталган.

«Joel» япон фирмасынын жогору чечилиштеги жөндөмдүүлүккө ээ микрорентгендик-спектралдык анализатору кошо орнотулган растрдык электрондук микроскоп бар Россия илимдер академиясынын Металлдардын артыкча пластикалуулугу проблемалары институтунун электрондук микроскопия лабораториясында жүргүзүлгөн микрорентгендик-спектралдык изилдөөлөрдүн натыйжалары талдоого алынган.

Графит буласы (ГБ) менен кошумча бекемделген нитрид-кремний матрицасы бар ККМ-№4түн реакциялык-катыган үлгүлөрүнүн микротүзүмүн изилдөөгө өзгөчө көӊ үл бөлүнгөн. ГБ менен бекемделген ККМ изилденбегенин жана адабий булактарда аларды алуунун технологиясы, ушул керамикалык-композициялык материалдардын курамы, түзүмү жана касиеттери жөнүндө кандайдыр бир маалыматтар жоктугун белгилөө керек. Ф.-м.и.д. Н. К. Касмамытовдун жана ф.-м.и.д. В. П. Макаровдун эмгектеринен реакциялык-катыган ККМ жогору кызматтык касиеттердин кеӊ ири спектрине ээ болушары, бирок бир кемчиликке ээ экендиги, бул өтө морттук, үч чекиттүү кайрылышка салыштырмалуу төмөн бекемдик, белгилүү. Нитрид-кремнийдин негизги кызматтык касиеттерин начарлатпай, ККМдын ушул касиеттерин жакшыртуу, б.а. морттукту азайтуу жана кайрылышка бекемдикти көбөйтүү үчүн, иште нитрид-кремний матрицага графит буласын кошумча киргизүү жолу менен ККМ-№4түн курамын өзгөртүү аракети жасалган. ГБ кремнийдин нитриди өӊ дүү эле төмөн салыштырмалуу салмагы, бирок жогору ысыкка туруктуулугу, коррозиялык туруктуулугу, кеӊ ейүүнүн төмөн таптык коэффициенти жана кычкылдар менен жегичтерге карата химиялык инерттүүлүгү менен мүнөздөлөрүн белгилөө маанилүү. ГБ менен бекемделген ККМды комплекстүү изилдөөлөрдүн негизинде корутунду жасалган.

Төртүнчү бапта ар кыл ККМ тажрыйбалык үлгүлөрдү ар кыл агрессивдүү чөйрөлөрдүн концентрациялаган кычкылдарга жана жегичтерге химиялык туруктуулугуна таасир кылуусу боюнча изилдөөлөрдүн натыйжалары келтирилген, ошондой эле Гиббс-Розебомдун концентрациялык үч бурчтук усулун колдонуу менен реакциялык-катыган ККМдын фазалык химиялык курамын эсептөөлөр берилген.

Рентгендик-фазалык анализ ККМ-1дин негизги кристаллдык матрицасы, кремнийдин нитриди менен карбонитридинин нанотүзүмдөлгөн жип сымал кристаллдарынан турарын көрсөткөн. Изилдөөлөрдө ГБсы бар тажрыйбалык

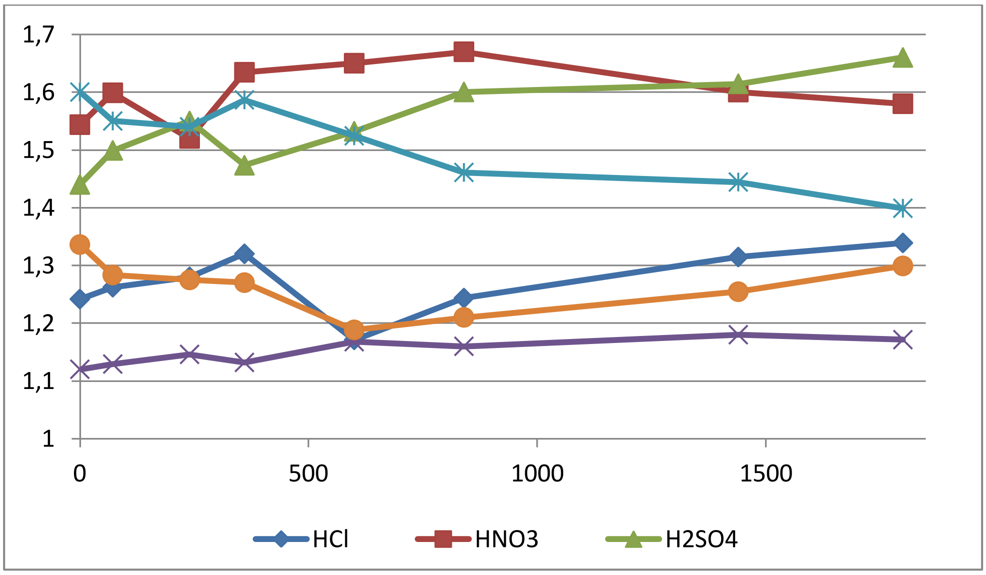
ККМга ар кыл күчтүү таасир кылуучу концентрацияланган кычкылдар менен жегичтер түрүндөгү агрессивдүү реагенттер менен узак таасир кылганда (1-сүрөт. 1800 саат бою кармаганда), ККМ-№4түн тажрыйбалык үлгүлөрү аларда эрибей турганы аныкталган.

Химиялык реагенттер ККМдын түзүмүндө бар аралашма оксиддик фазаларга белгилүү бир түрдө таасир кылышарын белгилөө керек. Жалпысынан, жүргүзүлгөн изилдөөлөр физикалык-химиялык изилдөөлөрдү жалпы схема, кычкылдар (1) жана жегичтер (2) менен болуп өтүүчү химиялык реакциялар түрүндө жалпылоого жол беришет.

$$\mathbf{Me_xO_y+H_x(A_1)_y = Me_x(A_1)_y + H_2O} \qquad (1)$$

$$\mathbf{Me_xO_y+NaOH = Na_x[Me_x(OH)_y] + H_2O} \qquad (2)$$

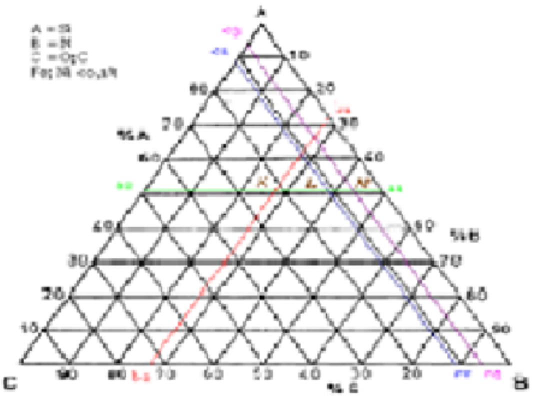
мында, $\mathbf{Me_x}$- композициялык материалдагы аралашма металл; $\mathbf{(A_1)_y}$- кычкылдын аниону; $\mathbf{H_x}$- кычкылдын катиону.



1-сүрөт – ГБ ККМдын концентрацияланган кычкылдар менен жегичтердеги химиялык туруктуулугу

(1) жана (2) жалпыланган физикалык-химиялык формулалар агрессивдүү чөйрөлөр менен өз ара аракеттешүүдө ККМдын массасынын өзгөрүүсүн мүнөздөөгө жол беришет. Графит буласын киргизүү ККМдын микротүзүмүн калыптандырууга оң таасир кылат. ККМдын синтези процессинде кремнийдин нитриди менен карбонитридинин ар кыл конфигурациядагы нано- жана ультра-жип сымал кристаллдары калыптанышат, бул жалпысынан ККМ №4түн жана башка ККМдын физикалык-химиялык касиеттеринин жакшыруусуна алып келет.

Гиббс-Розебомдун усулу реакциялык синтез процессинде ыктымалдуу фазалардын калыптануусун априори талдоого жол берди. ККМдын синтезин эсептөөлөр T=1220-1320°C болгондо реакциялык синтез процессинде азоттун газ түрүндөгү чөйрөсүндө турган кремнийдин жана кремнийдин карбидинин



2-сүрөт – Т=1200°Сде катыган тажрыйбалык ККМнын орточо маанилери үчүн эсептик фазалык диаграмма

катуу кристалл микробөлүкчөлөрүнөн турган керамикалык аралашма үчүн жүргүзүлдү.

2-сүрөттө ККМдын фазалык курамдарынын калыптанышын эсептөөгө жол берүүчү фазалык тең салмактын эсептик диаграммасы (ФТД) берилген. Реакциялык-катыган ККМдын А, В жана С компоненттери үчүн фазалык курамын эсептөөнү жүзөгө ашыруу үчүн 2-сүрөткө ылайык Si, N, C жана O атомдору алынган, мында С компоненти үчүн көмүртектин атомдору да – С, кычкылтектин атомдору да – О колдонулган. Гиббс-Розебомдун концентрациялык үч бурчтугун талдоо ККМдын реакциялык синтези процессинде кийинкилердин түзүмүндө эки компоненттүү да (мисалы, SiO_2, SiC, Si_3N_4), $Si_2(C_xN_y)_4$, Si_2N_2O түрүндөгү үч компоненттүү да кошундулер калыптана аларын көрсөттү. Төмөндө изилденип жаткан К чекитине карата ККМдын реакциялык синтези процессинде калыптануучу белгисиз кошундулардын концентрацияларын аныктоо боюнча эсептөөлөр келтирилген. Математикалык формулалардын жардамы менен (1-4) ККМдын синтези процессинде калыптануучу үч компоненттүү кошундулардын концентрациялык сандык курамы аныкталган.

(1-4) формулалар боюнча эсептелген маанилер удаалаш (5) формуласына коюлган:

— — (1)

— — (2)

— — (3)

— — (4)

Андан ары белгисиз кошундуга кирген (масс. %) Si, N, C жана O ар бир атому үчүн сандык (массанын %) камтылыш аныкталган.

$$\omega\%(X) = \frac{Ar(X)*n}{Mr}*100\% \qquad (5)$$

Белгисиз үч компоненттүү кошундуга киришкен Si, N, C жана O тиешелүү атомдору үчүн массалык үлүштүн сандык камтылышынын пропорциялуу көз карандылыгын түзүп, (6) катышы боюнча ККМдын синтези процессинде калыптануучу мүмкүн болгон үч компоненттүү фазалар аныкталган.

$$a:b:c = N(A):N(B):N(C) \qquad (6)$$

Эсептөөлөр T=1220°C болгондо ККМдын реакциялык синтези процессинде төмөнкү фазалардан турган көп компоненттүү курам калыптанарын көрсөтүштү: ККМдын матрицасы негизинен Si_2N_2O тибиндеги оксинитриддик кошундулардан жана бир катар эки компоненттүү Si_3N_4 жана SiO_2; жана SiC фазалардан турат, анан да кийинкиси 0,1% аз санда байкалат, муну менен катар аралашма катары алюминийдин оксиди бар. Гиббс-Розебомдун усулу боюнча эсептик маалыматтар ККМдын рентгендик-түзүмдүк жана рентгендик-фазалык анализи түз эксперименттик усулдары менен бир жактуу тастыкталганын белгилөө маанилүү, мында да Si_2N_2O; Si_3N_4 жана SiO_2 фазаларынын аралашмасынан; жана SiC (0,1%) турары аныкталган.

Калыптануучу фазалар боюнча ушуга окшош натыйжалар ККМ жана ГБ менен бекемделген 1200-1320°C таптарда реакциялык-катыган ККМ үчүн да алынган, мында үч компоненттүү оксинитриддик жана эки компоненттүү нитрид-кремний фазалар боюнча аз-маз айырмалар жана үч компоненттүү нестехиометриялык карбонитриддик фазанын $Si_3(C_xN_y)_4$ сандык камтылышы боюнча аз-маз айырмалар байкалган. Графит буласы менен бекемделген ККМдын тажрыйбалык үлгүлөрүн микрорентгендик-спектралдык жана рентгендик-фазалык изилдөөлөр кремнийдин үч компоненттүү карбонитридинин $Si_2(C_xN_y)_4$ кремнийдин нитридинин Si_3N_4 жана кремнийдин монокарбидинин SiC фазаларынын көбөйүүсү түрүндө аз-маз пайда болуусун айкындаганын белгилөө маанилүү. ККМдын түзүмүнүн калыптануусунда графит буласынын иш жүзүндө байкаларлык катышуусу 1300°C табында башталат.

Ошентип, Гиббс-Розебомдун усулу менен баштапкы заттардын берилген параметрлери, алардын дисперстүүлүгү, реакциялык синтездин шарттары жана шарттамдары боюнча эсептөөлөр жүргүзүлүп, алар талап кылынган физикалык-химиялык касиеттери бар ККМдын изделүүчү фазалык курамдарын априори аныктоого жол беришкен. Эсептик маалыматтар түз микротүзүмдүк изилдөөлөр менен жакшы ыкташышат. Азоттун чөйрөсүндө кремнийдин эң майда күкүмүнөн реакциялык синтез жолу менен алынган ККМдын тажрыйбалык үлгүлөрүнүн кристаллдык матрицасы негизинен кремнийдин нитридинен жана оксинитридинен, ошондой эле кремнийдин карбонитриди түрүндөгү аз-маз санынан турушат. Ушуну менен катар ККМдын микротүзүмүндө татаал оксиддик кошулмалар түрүндөгү аралашмалардын, алюминийдин оксиддеринин жана кремнийдин монокарбидинин издери бар. Кремнийдин азоттун чөйрөсүндө катуу процессиндеги табы жогору физикалык-химиялык реакцияда калыптануучу ККМдын негизги матрицалык фазасы кремнийдин нитриди болуп саналат.

Бешинчи бапта моделдик изилдөөлөр жолу менен кремнийдин нитридинин реакциялык синтези процессин теориялык изилдөөлөр

сыпатталган. Дифференциялык теңдемелер тутуму түрүндө иштелип чыккан бир өлчөмдүү стационардык эмес физикалык-математикалык модель таза азоттун атмосферасында цилиндрлик формадагы кремний үлгүнүн жогору тапта катуусу процессинде болуп өтүүчү физикалык-химиялык реакциянын (7) кинетикасын сыпаттайт. Азоттун атмосферасында берилген өлчөмдөрдө цилиндр түрүндө пресстелген күкүмдүү кремнийдин реакциялык катуусунун баштапкы жана чектик шарттары келтирилген. Эсептөөлөрдө үлгүнүн ысуусу, табы, басымы, формасы жана өлчөмү эксперименттик маалыматтары жана башка эксперименттик параметрлер колдонулган.

$$3Si + 2N_2 = Si_3N_4 + Q \tag{7}$$

Физикалык-математикалык бир өлчөмдүү модель өзүнө үч формуланын жыйындысын камтыйт: жылуулук өткөргүчтүктүн дифференциялык теңдемесин (8); кремнийдин тешиктүү цилиндрлик үлгүсүндөгү газдын үзгүлтүксүздүгүнүн дифференциялык теңдемесин (9); жана кремнийди азоттоонун кристаллдык-химиялык реакциясынын натыйжасында кремнийдин цилиндрлик үлгүсүндөгү азоттун концентрациясынын радиалдуу өзгөрүүсүн көрсөтүүчү дифференциялык теңдемени (10):

$$\rho c_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_{eff} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q \cdot \dot{n}, \tag{8}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rD_{eff} \frac{\partial n}{\partial r} \right) + \dot{n}, \tag{9}$$

$$\frac{dn_{Si}}{dt} = -k_r n_{Si} \tag{10}$$

Анда диффузияланууучу азот менен ультрадисперстүү кристаллдык кремнийдин реакциялык синтезинин кинетикасын сандык эсептөөлөрдү жүргүзүү үчүн төмөнкү, баштапкы жана чектик шарттар берилген:

$$t = 0: \quad T(r) = T_0 = 900\ ^{\circ}C,\ n_0(r) = \frac{p_0}{kT_0} \sim 10^{14}\ м^{-3},\ p_0 \sim 10^{-5}\ Па,\ n_{Si0} = \frac{1-П\ \rho_{Si}}{\mu_{Si}} N_A;$$

$$r = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0,\ \frac{\partial n}{\partial r} = 0; \qquad r = R: \quad T(R) = T_R(t),\ n(R) = n_R(t).$$

Бул жерде t – убакыт, r – радиалдык координата, T – температура, n, n_{Si} – азот менен кремнийдин молекулаларынын концентрациясы, ρ_{eff}, c_{eff}, λ_{eff}, D_{eff} – майнаптуу тыгыздык, салыштырмалуу жылуулук талап кылуу, жылуулук өткөргүчтүк, азоттун тешиктүү кремнийге диффузиясынын коэффициенти, $\dot{n}$ – кристалллдык-химиялык реакциянын эсебинен азоттун молекулаларынын концентрациясынын азаюу ылдамдыгы, Q жана k_r – жылуулук жана реакциянын ылдамдыгынын константасы, $П$ – буюмдун тешиктүүлүгү, ρ_{Si}, μ_{Si} – кремнийдин тыгыздыгы жана молярдык массасы, k – Больцмандын туруктуусу, N_A – Авогадро туруктуусу.

Реакциянын ылдамдыгынын константасынын коэффициенти (11) формула боюнча аныкталды:

$$k_r = C \cdot p e^{-E_A/kT}, \qquad (11)$$

мында $p = nkT$ – азоттун парциалдык басымы, E_A – активация кубаты, С – эксперименттин негизинде аныкталуучу күкүмдүн параметрлеринен көз каранды болгон туруктуу.

Катуу фазанын жылуулук өткөргүчтүгү менен тыгыздыгы (12) жана (13) формулалар боюнча эсептелди:

$$\lambda_s = x_{Si}\,\lambda_{Si} + x_{Si3N4}\,\lambda_{Si3N4}, \qquad (12)$$

$$\rho_s = \; x_{Si} / \rho_{Si} + x_{Si3N4} / \rho_{Si3N4} \;^{-1}, \qquad (13)$$

мында катуу фазадагы кремнийдин жана кремнийдин нитридинин массалык үлүштөрү (14), (15) (5) формуладан кайра түзүлгөн)) формула боюнча эсептелди:

$$x_{Si} = \frac{n_{Si}\,M_{Si}}{n_{Si}\,M_{Si} + n_{Si3N4}\,M_{Si3N4}}, \qquad (14)$$

$$x_{Si3N4} = \frac{n_{Si3N4}\,M_{Si3N4}}{n_{Si}\,M_{Si} + n_{Si3N4}\,M_{Si3N4}}. \qquad (15)$$

Тешиктүү кремний буюмдун жылуулук өткөргүчтүгүнүн, тыгыздыгынын жана салыштырмалуу жылуулук талап кылуусунун майнаптуу маанилери (16) - (18) формулалар боюнча эсептелди:

$$\lambda_{eff} = \lambda_g\,П^{1/3} + \lambda_s\; 1 - П^{2/3}\;, \qquad (16)$$

$$\rho_{eff} = \rho_g\,П + \rho_s\; 1 - П\;, \qquad (17)$$

$$c_{eff} = \bar{x}_{Si}\,c_{Si} + \bar{x}_{Si3N4}\,c_{Si3N4} + \bar{x}_g\,c_{p,g}. \qquad (18)$$

Кремнийдин шликердик буюмдарынын тешиктүүлүгү $П = 30 \pm 1$ % эсебин түздү. Буюмдагы кремнийдин, кремнийдин нитридинин жана азоттун массалык үлүштөрү төмөнкү катыштарда (19)-(21) эсептелди:

$$\bar{x}_{Si} = \frac{n_{Si}\,M_{Si}}{n_{Si}\,M_{Si} + n_{Si3N4}\,M_{Si3N4} + n_g\,M_g}; \qquad (19)$$

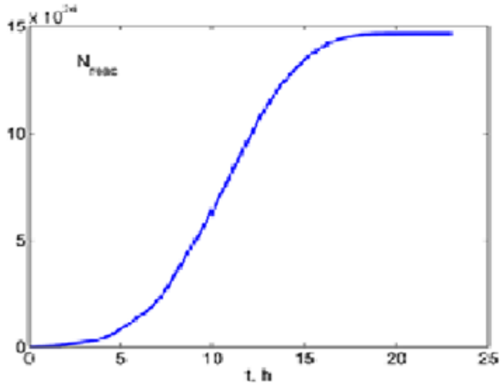
$$\bar{x}_{Si3N4} = \frac{n_{Si3N4}\,M_{Si3N4}}{n_{Si}\,M_{Si} + n_{Si3N4}\,M_{Si3N4} + n_g\,M_g}; \qquad (20)$$

$$\bar{x}_g = \frac{n_g\,M_g}{n_{Si}\,M_{Si} + n_{Si3N4}\,M_{Si3N4} + n_g\,M_g}. \qquad (21)$$

Диффузиянын жана кремнийдин күкүмүн түз азоттоонун кристаллдык-химиялык реакциясынын кубатын эсептөөлөрдө төмөнкү маанилерге ылайык кабыл алдык:

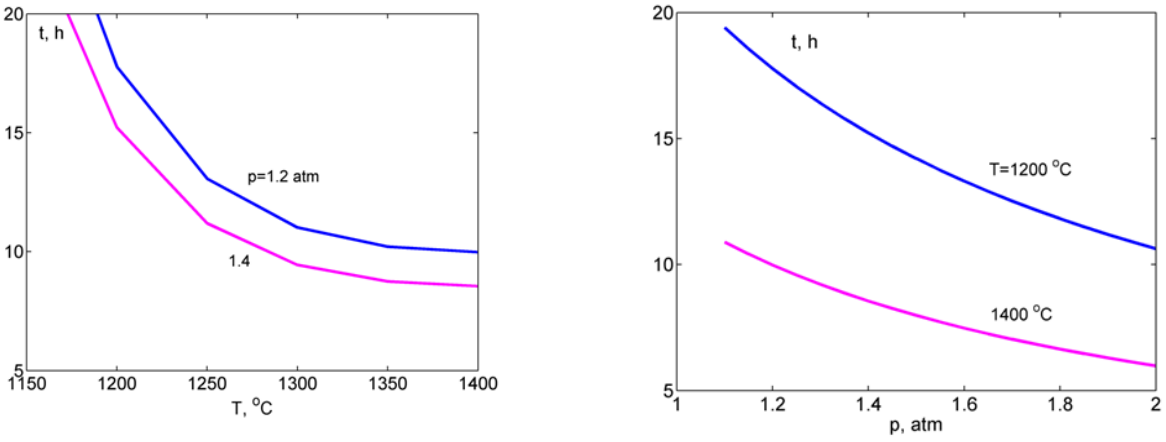
$D_{eff} = 10^{-5}$ м^2/с; $E_A = 141{,}3$ кДж/моль.

Теӊ демелерди сандык чыгаруу (8,9) аларды жалпыланган түрдө өзгөртүп түзүү жолу менен чогуу текшерүүчү көлөм усулу менен жүзөгө ашырылды — –— — , φ-үзгүлтүксүз функция. Чектик шарттарга кирүүчү биринчи туундулар, тактыктын экинчи катардагы түрдүүлүгү менен аппроксимациялашат. Үч чекиттүү алгебралык теӊ демелердин алынган тутуму айдоо усулу менен итеративдүү чечилет. Итерациялык процесстин өтүмдүүлүгүн тездетүү үчүн ылдыйкы релаксация колдонулат. Азоттогу кремнийдин нитридинин реакциялык катуу параметрлери үчүн маалыматтар өзүмдүк эксперименттердин техникалык регламентинен алынат. Буюмдун радиусу $R = 2$ см. Cнын туруктуу концентрациясынын маанисин баалоо үчүн (10) формулада Cнын үч ар кыл маанилеринде буюмда азоттун атомдору менен реакцияга кирүүчү кремнийдин атомдорунун салыштырмалуу санынын өсүүсү сандык эксперименттери жүргүзүлдү. 3-сүрөттө C= 10^{-3} $с^{-1}$·$Па^{-1}$ коэффициентинин бир маанисинде сандык эсептөөнүн ийри сызыгы берилди, ал эксперимент менен көбүрөөк жакшы ыкташат, анткени Cнын концентрациясынын маанисин бардык андан аркы математикалык эсептөөлөрдө колдондук.



3-сүрөт – C=10^{-3} $с^{-1}$ $Па^{-1}$ болгондо кремнийдин атомдору менен реакцияга кирүүчү азоттун молекулаларынын санынын эволюциясы

Туруктуу тап менен басымдагы реакциялык катуу, физикалык-математикалык бир өлчөмдүү моделдин жардамы менен мештеги азоттун туруктуу (убакыт боюнча) табында жана басымында буюмдун реакциялык катуусун эсептөө жүргүзүлдү. 4-сүрөттө буюмду азоттоонун убакытынын таптан жана басымдан көз карандылыгы көрсөтүлдү.



а б

4-сүрөт – Кремний буюмду азоттоо убактысынын туруктуу маанилерде өткөрүлгөн мештеги таптан (а) жана азоттун басымынан (б) көз карандылыгы

Катуу табын көбөйтүү менен азоттоо убактысы өзүнүн асимптотикалык маанисине умтулары, б.а. таптан көз каранды болбой калары көрүнүп турат (мисалы, Р=1,2 жана 1,4 атм. басымдар үчүн бул маанилерге төмөнкү убактылык маанилер 10 с. жана 8 с. туура келишет).

Бул төмөнкү түрдө түшүндүрүлөт, берилген эсептөөлөрдө диффузиянын коэффициенти туруктуу, таптан көз карандысыз деп эсептелет. Ошондуктан азоттоонун ылдамдыгы азоттун молекулаларын буюмдун ичине диффузиялык көчүрүүнүн ылдамдыгы менен чектелет, ал эми кийинкиси таптын көбөйүүсү менен өзгөрбөйт (анткени басым туруктуу). Көз карандылык $t(p)$ жогору таптарда ушул тенденцияны жоготот да, азоттун атомдорун шликердик буюмдун кремнийинин атомдорунун ичине диффузиялык көчүрүүнүн ылдамдыгы гана үстөмдүк кылат. Бул нитрид-кремний фазанын үстүрт пайда болуусу менен шартталган, анда кремнийдин атомдорун баштапкы азоттоо болуп өтөт да, газ түрүндөгү азоттун үлгүнүн түпкүрүнө реакциялык синтезине агып өтүү процессин андан ары демилгелөө 1,25-1,4 атм. тең деш басымда оор болуп калат.

Газ түрүндөгү азоттун тажрыйбалык үлгүнүн ичине, б.а. кристаллдык-химиялык реакция чөлкөмүнө агып өтүү жана нитрид-кремний фазанын пайда болуу мыйзам ченемдүүлүгүн, ошондой эле тажрыйбалык үлгүнү азоттоо процессинин болуп өтүүсүнө таасир кылуучу төмөнкү факторлорду, алар шихтанын тажрыйбалык үлгүсүнүн тыгыздыгы, реакциялык синтез камерасындагы газ түрүндөгу азоттун басымы, үлгүнүн диаметри, ошондой эле нитрид-кремний тажрыйбалык буюмду шликердик калыптоодогу баштапкы күкүмдүн дисперстүүлүгү, эске алуу керек.

КОРУТУНДУ

Диссертациялык иштин негизги натыйжаларын төмөнкү түрдө аныктоого болот.

1. Жогору эмес таптарда жогору таптуу фазалары бар кремнийдин нитриди менен карбонитридинин нано- жана ультратүзүмдүү кристаллдары бар керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдарды алуу технологиясы иштелип чыкты. Нитрид-кремний материалдарды алууда бир нече факторлорду – кремнийдин жарым өткөргүчтүк ультрадисперстүү калдыгынын (күкүмүнүн) баштапкы чийкизатынын химиялык курамын жана **чийкизат – технологиялык операциялар – даяр буюм (материал)** бүткүл технологиялык операциялар процессиндеги кошо жүрүүчү кошулмаларды эске алуу талап кылынат. Керамикалык материалдарды алуунун иштелип чыккан усулу экономикалык жактан да, ресурс жактан да пайдалуу, ал эми алынган материалдар наркы жактан да – дээрлик 3 эсе арзан, физикалык-химиялык,

физикалык-механикалык жана эксплуатациялык касиеттери жактан да белгилүү классикалык материалдардан кем калышпай, атаандаштыкка жөндөмдүү.

2. Локалдык микрорентгендик-спектралдык анализ усулу менен керамикалык-композициялык материалдардын түзүмдүк матрицасындагы негизги фазаны жана аралашма элементтерди кайра бөлүштүрүү рентгендик-түзүмдүк анализдин эксперименттик маалыматтары менен түзөтүлөрү аныкталды. Микрорентгендик-түзүмдүк анализ нано- жана ультратүзүмдү калыптандыруу үчүн 1250 Сден жогору тап талап кылынарын, реакциялык синтез процессинде берилген таптарда нитрид-кремний буюмдун бардык түзүмдүк деңгээлдеринде аралашма элементтерди тең өлчөмсүз кайра бөлүштүрүү жүрөрүн көрсөттү. Тажрыйбалык үлгүлөргө графит буласын (3-5-10%) пайыздык катыштарда кошумчалоодо негизги түзүмдүк матрицага оң таасир кылат, ал өз кезегинде жалпы эле керамикалык-композициялык материалдын физикалык-химиялык, физикалык-механикалык, эксплуатациялык касиеттерине оң таасир этет.

3. Нитрид-кремний үлгүлөрдү концентрацияланган кычкылдар менен жегичтерде химиялык туруктуулукка эксперименттик изилдөөдө алынган тажрыйбалык буюмдар агрессивдүү чөйрө менен 1800 саат үзгүлтүксүз байланышка теңдеш химиялык туруктуулуктун жогору көрсөткүчүнө ээ болушары байкалды. Реакциялык синтезде баштапкы чийкизатка жана технологиялык шарттамга жараша кремнийдин нитридинен, карбонитридинен, кремнийдин карбидинен жана оксинитридинен турган ар кыл химиялык курамы бар нитрид-кремний материалдарды алууга болот.

4. Гиббс-Розебомдун усулу менен реакциялык-катыган керамикалык-композициялык материалдардын химиялык курамы аныкталды жана төмөнкү мыйзам ченемдүүлүктөр айкындалды: биринчиден, $X_A=a_1a_2$ курамы буюмдун бүткүл көлөмү боюнча кирүүчү фазалардын катышы канчалык өзгөрүлгөнүнө карабастан, кремнийдин азотторунун концентрациясы бардык фазаларда суммасында бирдей болот, экинчиден, изилденип жаткан ККМдын фазалык курамы менен түзүмүнүн пайда болуусу реакциялык синтез менен жалпы эле технологиялык процесстин тышкы параметрлеринен жана шарттарынан көз каранды болот.

5. Азоттун чөйрөсүндө кремнийдин күкүмдөрүнүн реакциялык катуусунун математикалык бир өлчөмдүү стационардык эмес моделин компьютердик ишке ашыруу төмөнкүнү айкындоого жол берди: азоттоонун максималдуу майнаптуулугу өзүнүн мезгилдик минимуму аркылуу (12 саат) болуп өтөт, бул буюмдун бүткүл көлөмү боюнча диффузияга жана азоттоо процесстеринин агып өтүү ылдамдыгына туура келет, бул азоттун атомдорунун кремний менен толук реакциялык өз ара аракеттешүүсүнө ылайык келет, кремний үлгүнүн бүткүл бети боюнча таптын бөлүнүшү бир тектүү жана аны

азоттоо азотту кристаллдык кремнийге диффузиялык массалык көчүрүү менен чектелет. Башында кремний үлгүлөрдү азоттоо үлгүнүн чет-жакасында (бетинде) жүзөгө ашат да, азоттоо максималдуу, ал эми үлгүнүн борборунда азоттоо минималдуу, мындан качуу үчүн газ түрүндөгү азотту мештеги реакциялык синтез чөлкөмүнө берүү жөнгө салынат. Майнаптуу реакциялык синтез да аныкталган, кремнийдин нитридин кремнийдин карбонитридинин жогору таптуу фазалары менен нано- жана ультратүзүмдөө, ~1250°Сден жогору таптык шарттамда болуп өтөт.

ЖАРЫЯЛАНГАН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. **Ласанху К. А.** Исследование низкотемпературной теплоёмкости керамокомпозиционного материала на основе шламовых отходов кремния [Текст] / Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху, Т. Ш. Джунушалиева - Известия КГТУ. – 2009. - №17. - С.75-79.
2. **Ласанху, К. А.** Теплоемкость реакционно-спеченных нано- и ультраструктурированных нитридокремниевых материалов [Текст] / Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху - Научный журнал ФИЗИКА №1 Бишкек, 2010г. С. 100-104. ИФТПиМ НАН КР
3. **Ласанху, К. А.** Структура и физико-химические свойства нано- и ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - VIII Международная конференция «Перспективы технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов», Казахстан. г. Алмата, пр. Аль-Фараби 71, КазНУ им Аль-Фараби, 9-10 июня. 2011 г. С. 249-254.
4. **Ласанху, К. А.** Химическая устойчивость нано- и ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов в концентрированных кислотах и щелочах [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Известие НАН КР, Серия физико-технических, математических, горно-геологических наук, «Илим» №2, Бишкек, 2011 г., с. 132-135.
5. **Ласанху, К. А.** Воздействие концентрированных кислот, щелочей на керамокомпозиционные материалы [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Научный журнал Физика №3, г.Бишкек, 2011г. С.3-6.
6. **Ласанху, К. А.** О синтезе, структуре и физико-химических свойствах карбонитридных материалов полученных из шламовых отходов кремния [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Международный научный журнал «Вестник Кыргызско-Российского Славянского университет», Том12, №10, 2012 г., г.Бишкек, С 93-95.
7. **Ласанху, К. А.** Влияние фазового состава на физико-химическую устойчивость нано- и ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов [Тезис] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Открытая школа –

конференция стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурированные материалы», г.Уфа, Республика Башкортостан, Россия, тезис докладов УМЗНМ 8-12октября 2012г. С 1.

8. **Ласанху, К. А.** Физико-химические свойства и нано- и ультраструктурированных карбонитридных материалов. [Текст] / К. А. Ласанху - III Всероссийская молодежная конференция с элементами научной школы. «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» ИМЕН РАН, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва. 29 мая-1июня, 2012г., С. 369-370.
9. **Lasankhu, K.A.** Physical and chemical stability of ceramocompositions materials on the basis of waste of semiconductor production [Текст] / K. A. Lasankhu, N. K. Kasmamytov - Научный журнал Физика №3,г.Бишкек, 2013г., С.28-35.
10. **Ласанху, К. А.** Нитридокремниевые материалы. Рентгеноструктурный анализ [Текст] / К. А. Ласанху // Научный журнал ФИЗИКА №1 ИФТПиП НАН КР, г.Бишкек 2013 г. С. 82-85.
11. **Ласанху, К. А.** Нано и ультраструктурированный керамокомпозиционный материал [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов, Н. Ж. Кайрыев - Научный и информационный журнал «Материаловедение», труды международной науной конференции «Рахматулинские-Ормонбековские чтения», №2 (3) г.Бишкек,27-29 июнь, 2013г., С. 207-211.
12. **Ласанху, К. А.** Физико-химическая устойчивость керамокомпозиционных материалов на основе отходов полупроводникового производства [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Научный журнал ФИЗИКА №3–ИФТПиМ НАН КР, Бишкек 2013 г. С. 28-35.
13. **Ласанху, К. А.** Технология получения, структура и свойства большеобъемных наноструктурированных нитридокремниевых материалов [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Научный журнал ФИЗИКА №1–Бишкек 2013 г. С. 45-49.
14. **Ласанху, К. А.** Воздействие концентрированных кислот и щелочей на пористые керамокомпозиционные материалы [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Тематический сборник статей «Кыргызская керамика на основе местного сырья», КРСУ им.Б.Ельцина, г.Бишкек, 2014г. С. 84-90.
15. **Ласанху, К. А.** Теплоемкость реакционно-спеченных нано- и ультраструктурированных нитридокремниевых материалов [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Тематический сборник научных статей «Кыргызская керамика на основе местного сырья», КРСУ им.Б.Ельцина, г.Бишкек, 2014, С. 78-84.
16. **Ласанху, К. А.** Технология получения, структура и физико-химические свойства кермокомпозиционных материалов [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов, Н. В. Гудимов, В. П. Макаров - Тематический сборник статей

«Кыргызская керамика на основе местного сырья», КРСУ им.Б.Ельцина, г.Бишкек, 2014г. С. 90-99.

17. **Ласанху, К. А.** Локальный микрорентгеноспектральный анализ микроструктуры спеченных керамокомпозиционных материалов на основе нитрида кремния [Текст] / Н. К. Касмамытов, М. Ф. Имаев, К. А. Ласанху, Н. Ю. Пархимович - Научный и информационный журнал «Материаловедение» №1(15), г.Бишкек, 2015г., С. 24-36.
18. **Ласанху, К. А.** Микроструктура и состав формирующихся фаз при реакционном спекании композиционной керамики армированной графитовым волокном [Текст] / Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху, М. Имаев, Н. Ю. Пархимович - Журнал Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета им.Б.Ельцина, Том 15, №9, 2015 г., С. 67-72
19. **Ласанху, К. А.** Микроструктура и химическая устойчивость в агрессивных средах композиционной нитридокремниевой керамики армированной графитовым волокном [Текст] / [К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов, М. Ф. Имаев и др.] - Сборник трудов XI Иссык-Кульская международная школа конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, г.Бишкек, 2015г., С. 159-170.
20. **Ласанху, К. А.** Моделирование процесса реакционноо спекание порошка кремния в среде азота [Текст] / К. А. Ласанху, Н. Ж. Кайрыев, Л. О. Сатаев, Н. К. Касмамытов - Научный журнал Физика НАН КР выпуск №2, г.Бишкек, 2015 г., С. 31-36.
21. **Ласанху, К.А.** Модельные исследования азотирование порошков кремния методом реакционного спекания [Текст] / Н. Ж. Кайрыев, Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху - Сборник трудов XI Иссык-Кульская международная школа конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, г.Бишкек, 2015г., С. 135-140.
22. **Ласанху, К.А.** Расчетные характеристики нагрева и процесса реакционного спекания кремния в среде азота методом численного анализа [Текст] / Н. Ж. Кайрыев, Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху - Сборник трудов XI Иссык-Кульская международная школа конференция по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015, г.Бишкек, 2015г., С. 140-150.
23. Пат. 1766 Кыргызская Республика, (51)B22F 3/23(2015.01), B22F 8/00 (2015.01). Способ получение керамического композиционного материала из отходов кремниевого производства [Текст] / В. П. Макаров, Н. К. Касмамытов, К. А. Ласанху - Кыргызпатент; г.Бишкек - № 201440066.1; заявл. 18.06.2014; опубл. 28.08.2015, Бюл. №8.-7 с.
24. **Ласанху, К. А.** Устойчивость бескислородных керамических материалов в кислотах [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Новая наука: Теоретический и практический взгляд, Международное научное

периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции, г.Уфа, Российская Федерация РИЦ АМИ, 14 апрель 2016г., С. 60-64.
25. **Ласанху, К. А.** Устойчивость бескислородных керамических материалов в щелочах [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Научно-издательский центр Аэтерна, инновационные технологии научного развития. Сборник статей Международной научно-практической конференции, часть 3, г. Уфа, НИЦ АЭТЕРНА, 15 июня 2016г., С. 9-13.
26. **Ласанху, К. А.** Влияние графитового волокна на фазовый состав. Рентгеноструктурный анализ [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - НИЦ «Империя», «Интеграция наук» Международный научно-практический журнал, выпуск №7(11), Москва 2017г., С. 59-63.
27. **Ласанху, К. А.** Физико-химические свойства композиционных материалов легированных графитовым волокном [Текст] / К. А. Ласанху, Н. К. Касмамытов - Журнал «Современные научные исследования и разработки», Учредители: Научный центр «Олимп», Астрахань, выпуск №5(13), 2017г., С. 197-202.
28. **Ласанху, К. А.** Нитридокремниевые фазы в керамических материалах [Текст] / К. А. Ласанху - Научный журнал Физика №1, г.Бишкек 2018г., С. 110-115.
29. **Ласанху, К. А.** Высокотемпературная фаза β-SI_3N_4 и графитовые наполнители [Текст] / К. А. Ласанху - Журнал «Евразийское Научное Объдинение», Сборник «Наука и современность» 71-я Международная научная конференция ЕНО, Россия, г.Москва, 28-29 январь, 2021г., с. 43-45.
30. **Ласанху, К. А.** Формирование фаз трехкомпонентной системы Si-N-C реакционно-спеченного при 1320°C [Текст] / К. А. Ласанху - Журнал «Евразийское научное Объединение», Сборник «Наука и современность» 71-я Международная научная конференция ЕНО, Россия, г. Москва, 28-29 январь, 2021г., с. 45-47.

Ласанху Керим Арсаевичтин «Кремнийдин эң майда калдыктарынын негизиндеги керамикалык-композициялык материалдардын физикалык-химиялык касиеттери» деген темадагы 01.04.07 – конденсирленген абалдын физикасы адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Түйүндүү сөздөр: композициялык керамика, фазалык курам, физикалык-химиялык касиеттер, кычкылдар менен жегичтердин таасири, Гиббс-Розебомдун усулу, математикалык моделдөө, бир өлчөмдүү стационардык эмес модель.

Изилдөөнүн объектиси: азоттун чөйрөсүндө жарым өткөргүчтүк кремний өнөр жайынын калдыктарынан реакциялык синтез усулу менен алынган керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдар.

Изилдөөнүн предмети – агрессивдүү чөйрөнүн керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдарга таасири астында болуп өтүүчү физикалык-химиялык касиеттер менен процесстер жана бир өлчөмдүү математикалык моделди иштеп чыгуу жолу менен азоттун чөйрөсүндө кремнийдин реакциялык синтезинин кинетикасын изилдөө.

Иштин максаты: реакциялык-катыган керамикалык-композициялык нитрид-кремний материалдардын ар кыл агрессивдүү чөйрөлөрдөгү фазалык курамын, физикалык-химиялык касиеттерин изилдөө. Физикалык-математикалык моделди иштеп чыгуу жана ККМдын реакциялык синтезинин кинетикасын изилдөө.

Изилдөөнүн усулдары жана аппаратурасы: СГВ 2.4.2/15 вакуумдук электр меши, микрорентгендик-спектралдык анализ, рентгендик-түзүмдүк анализ, физикалык-химиялык анализ, растрдык электрондук микроскоп, математикалык моделдөө, Гиббс-Розебомдун усулу.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңычылдыгы: Биринчи жолу метандын чөйрөсүндө кремнийдин полидисперстүү калдыгынан Si-SiC-C фазасы бар композициялык керамикалык материал алынды. Нитрид-кремний материалдардын химиялык туруктуулук параметрлери аныкталды жана Гиббс-Розебомдун усулу менен фазалык жана химиялык курамы эсептелди. Азоттун чөйрөсүндө кремнийдин ультрадисперстүү күкүмүнүн реакциялык катуусунун бир өлчөмдүү математикалык модели иштелип чыкты.

Колдонуу чөйрөсү: Контакттар, диэлектриктер үчүн ысыкка чыдамдуу жана электрдик тетиктер катары элдик айыл чарбасынын кеңири спектринде, радиотехникада жана ар кыл химия өнөр жайында. Физика, химия жана математика предметтеринде, стационардык эмес тутумдардын моделдерин моделдөө, эсептөөчү эксперимент үчүн математикалык моделди куруу, көп компоненттүү фазалык тутумдарды куруу, ар кыл конструкциялык материалдардын химиялык туруктуулугу жана анын коррозиялык туруктуулугу ж.б.у.с. багыттар боюнча атайын окуу дисциплиналарын окутууда.

РЕЗЮМЕ

диссертации Ласанху Керим Арсаевича на тему: «Физико-химические свойства керамокомпозиционных материалов на основе шламовых отходов кремния» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Ключевые слова: композиционная керамика, фазовый состав, физико-химические свойства, воздействие кислот и щелочей, метод Гиббса-Розебома, математическое моделирование, одномерная нестационарная модель.

Объект исследования: керамокомпозиционные нитридокремниевые материалы, полученные методом реакционного синтеза из отходов полупроводниковой кремниевой промышленности в среде азота.

Предмет исследования – физико-химические свойства и процессы, протекающие при воздействии агрессивной среды на керамокомпозиционные нитридокремниевые материалы и изучение кинетики реакционного синтеза кремния в среде азота путем разработки одномерной математической модели.

Цель работы: изучение фазового состава, физико-химических свойств реакционно-спеченных керамокомпозиционных нитридокремниевых материалов в различных агрессивных средах. Разработка физико-математической модели и изучение кинетики реакционного синтеза ККМ.

Методы исследование и аппаратура: Вакуумная электропечь СГВ 2.4.2/15, микрорентгеноспектральный анализ, рентгеноструктурный анализ, физико-химический анализ, растровый электронный микроскоп, математическое моделирование, метод Гиббса-Розебома.

Полученные результаты и их новизна: Впервые получен из полидисперсного отхода кремния композиционный керамический материал с фазой Si-SiC-C в среде метана. Определены параметры химической стойкости и рассчитан с помощью метода Гиббса-Розебома фазовый и химический состав нитридокремниевых материалов. Разработана одномерная математическая модель реакционного спекания ультрадисперсного порошка кремния в среде азота.

Область применение: В широком спектре народного сельского хозяйства, в качестве жаропрочных и электрических деталей для контактов, диэлектриков, в радиотехнике и в различной химической промышленности. В предметах физики, химии и математики в процессе преподавании специальных учебных дисциплин, по направлению моделирование моделей нестационарных систем, построению математической модели для вычислительного эксперимента, построение многокомпонентных фазовых систем, химическая устойчивость различных конструкционных материалов и ее коррозионная стойкость и т.п.

ABSTRACT

of the dissertation written by Lasankhu Kerim Arsaevich on the topic: "Physico-Chemical Properties of Silicon Sludge Waste-Based Ceramic Composite Materials " for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences in specialty 01.04.07 - Condensed Matter Physics

Key words: composite ceramics, phase composition, physic-chemical properties, acid and alkaline attack, Gibbs- Roseboom method, mathematical simulation, one-dimensional non-stationary model.

Object of the Research: ceramic composite silicon nitride materials generated by the reaction synthesis method from wastes of semiconductor silicon industry in the nitrogen atmosphere.

Subject of the Research – physico-chemical properties and processes occurring under the aggressive environment influence on ceramic-composite silicon nitride materials and the study of silicon reaction synthesis kinetics in the nitrogen environment by developing a one-dimensional mathematical model.

Goal of the research work: study of phase composition, physic-chemical properties of reaction-sintered ceramic-composite silicon nitride materials in various aggressive media. Development of the physical and mathematical model and study of the critical micelle concentration reaction synthesis kinetics.

Research methods and apparatus: Vacuum electric furnace SGV 2.4.2 / 15, X-ray microanalysis, X-ray structural analysis, physic-chemical analysis, scanning electron microscope, mathematical simulation, Gibbs-Roseboom method.

Obtained results and heir novelty: For the first time, the composite ceramic material with a Si-SiC-C phase in the methane environment has been obtained from polydisperse silicon waste. The chemical resistance parameters have been determined and the phase and chemical composition of silicon nitride materials has been calculated using the Gibbs-Roseboom method. The one-dimensional mathematical model of reaction sintering of ultrafine silicon powder in nitrogen atmosphere has been developed.

Scope of application: In a wide range of national agriculture, as heat-resistant and electrical parts for contacts, dielectrics, in radio engineering and in various chemical industries. In physics, chemistry and mathematics in the course of teaching special academic disciplines, in the direction of non-stationary system model simulation, mathematical model building for computational experiment, multicomponent phase system building, chemical stability of various structural materials and its corrosion resistance, etc.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

1. **ГВ** - Графитовое волокно.
2. **ККМ** - Керамокомпозиционный материал, синтезированный в среде азота
3. **КМ** - Композиционный материал, синтезированный в среде метана
4. **КХМЗ** - Кыргызский химико-металлургический завод «Астра»
5. **МА** - Микрорентгеноспектральный анализ
6. **МСК** - Монокристаллический слиток кремния
7. **НАН КР** - Национальная академия наук Кыргызкой Республики.
8. **ПАВ** - Поверхностно активные вещества.
9. **Пластификатор** - Термопластичные вещества (парафин, воск, жиры, смолы типа фенолформальдегидные).
10. **ПУОК** - Полупроводниковые ультрадисперсные отходы кремния
11. **Р** - Давление , вакуум (мм.рт.ст., Па),
12. **РСНК** - Реакционно-связанный нитрид кремния.
13. **РЭМ** - Растровый электронный микроскоп
14. **Ср** - Теплоемкость Дж/г*К.
15. **Т** - Температура К.
16. **ТКЛР** - Температурный коэффициент линейного расширения.
17. **УУНТ** - Установка универсальная низкотемпературная.
18. **ΔG** - Энергия Гиббса.
19. **ΔН** - Энтальпия.
20. **ΔS** - Энтропия.
21. **BSE** - Детектор отраженных электронов (backscattered electrons)
22. **Q** - Теплота (Дж.).
23. **SE** - Детектор вторичных электронов (secondary electrons)
24. **λ**- Теплопроводность.
25. ρ_k- Плотность.
26. **σ** – Электропроводность.