

КЕМЕЛБЕКОВА АЙНАГУЛЬ ЕРЖАНҚЫЗЫНЫҢ
6D071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған
**«Оптоэлектроникада қолдану үшін иерархиялық кеуекті кремнийдің
бетіндегі мырыш оксидінің жұқа қабаттарының өзін-өзі
ұйымдастыруының әсерін зерттеу»**, диссертациялық жұмысының
АҢДАТПАСЫ

Диссертациялық жұмыстың мақсаты өтелмеген зарядпен жарық шығаратын ZnO бөлшектерін синтездеу арқылы p-*nc*-Si/ZnO құрылымдарының қалыптасуындағы беттік құрылымның өзгеруін зерттеу болып табылады.

Зерттеу міндеттері

Алға қойылған мақсаттарға жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- Дамыған беткі морфологиясы бар үлгілерді синтездеу әдістерін әзірлеу;
- Әртүрлі масштабтағы құрылымдардың пайда болу механизмдерін анықтау;
- Заттың түзілуінде өтелмеген заряды бар бөлшектерді зерттеу;
- Алынған үлгілердің люминесценттік қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу нысандары

- Электронды өткізгіштігі бар иерархиялық кеуекті кремнийдің бетінде түзілген әртүрлі деңгейдегі мырыш оксидінің құрылымдары;
- Кемтіктік өткізгіштігі бар иерархиялық кеуекті кремнийдің бетінде түзілген әртүрлі деңгейдегі мырыш оксидінің құрылымдары.

Нысандарды жаңғырту әдістері

Диссертацияда алынған құрылымдар бірқатар озық зерттеу және талдау әдістерін біріктіру арқылы сипатталды:

- Кеуекті кремнийді қалыптастыру үшін электрохимиялық анодтық жеміру әдісі қолданылды;
- Мырыш оксидінің түйіршік құрылымдарын қалыптастыру үшін центрифугалау әдісі қолданылды;
- Мырыш оксидінің негізгі қабаттарын қалыптастыру үшін золь-гель әдісі қолданылды, негізгі қабаттарды алу үшін спрей-пиролиз әдісі қолданылды;

Нысандарды зерттеу әдістері

- Алынған үлгілердің беткі құрылымы СЭМ, JSM-6490LA аналитикалық сканерлеу (растрлық) электронды микроскопының көмегімен зерттелді;
- Жарық шығаратын қасиеттер 200-ден 800 нм-ге дейінгі спектрлік диапазондағы фотолюминесценция әдісімен зерттелді, Agilent Cary Eclipse спектрофотометрімен өлшенді.
- Заттың парамагниттік қасиеттері JES-FA200 құралын қолдана отырып, электронды парамагниттік резонанстық спектроскопия әдісімен зерттелді.

- Материалдардың меншікті бетінің ауданын анықтау газ-адсорбаттың (аргон немесе азот) жылу десорбциясы процесіне негізделген БЭТ әдісімен жүзеге асырылды.
- Беттердің рельефін анықтау үшін атомдық күштік микроскопия әдісі, JSPM-5200 құрылғысы қолданылды.
- Моно-және поликристалды үлгілердің құрылымын және фазалық құрамын зерттеу үшін ДРОН-6 «Буревестник» рентгендік дифрактометрі қолданылды.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білім болып табылатын басқа тұжырымдар)

- Электрохимиялық жеміру процесінде беткі қабатты алып тастау және анодтау тогының тығыздығын төмендету кезінде кремнийдің кеуекті құрылымын қалыптастыру және центрифугалау және спрей-пиролиз әдістерімен мырыш оксидінің 25 қабатын қолдану макро және мезо кеуекті, сондай-ақ әртүрлі мөлшердегі заттардың кластерлерін қамтитын иерархиялық бет құрылымын қалыптастыруға мүмкіндік берді.
- ЭПР сигналын қанықтыру процесінде микротолқынды қуаттың қадамдық өзгеруі пайдалы сигналды тиімді бөлуге мүмкіндік берді, ал спектрдің құрамдас бөліктерге ыдырауы кезінде интегралды түрде ұсынылуы әртүрлі табиғаты бар парамагниттік орталықтарды анықтауға мүмкіндік берді.
- Электронды өткізгіштігі бар иерархиялық кеуекті кремнийдің бетіне 25 қабат мырыш оксидін қолдану нанокристалдар түзу үшін гетероструктураны қалыптастыруға мүмкіндік берді, оның фотолюминесценция қарқындылығы жоғарылайды.
- Сигналды қанықтыру процесінде ЭПР спектрлерін жазу шарттарының өзгеруі F - орталықтарының түзілу механизмі арқылы иерархиялық кремний кеуектерінің шекараларында әртүрлі деңгейдегі ZnO құрылымдарының қалыптасуын анықтауға мүмкіндік берді.

Ғылыми-зерттеу және жұмыс жүргізу қажеттілігінің негіздемесі

Бұл ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу қажеттілігінің негіздемесі оптоэлектроника үшін жаңа материалдар мен құрылымдарды құрудағы зерттеулердің өзектілігі болып табылады.

Әртүрлі сипаттағы матрицаларға ендірілген наноматериалдарға негізделген композиттер жаңа буынның функционалды құрылғылары үшін перспективалы болып табылады. Олар бейорганикалық, органикалық және гибриді құрылымдарды қамтитын қосылыстардың кең ауқымынан тұруы мүмкін.

Мерзімді реттелген құрылымдарды қалыптастыру арқылы қатты денелердің бетіндегі төмен өлшемді жүйелердің өзін-өзі ұйымдастыруының әсері үлкен қызығушылық тудырады. Себебі процесс материяның пайда болу табиғатын түсінудің жаңа тәсілдерін ұсынатын кванттық құбылыстармен анықталады.

Кеуекті кремний (por-Si) тартымды материал болып табылады, өйткені оның ішкі көлемін әртүрлі бөлшектерді синтездеу үшін нанореактор ретінде пайдалануға болады. Кеуектердің кеңістіктік бөлінуі нанобөлшектердің агрегациясының әсерін азайтады. Арналардың пішіні мен өлшемін бақылау арқылы берілген геометриялық өлшемдері мен пішіндері бар әртүрлі материалдарды зерттеуге болады. Бетінің морфологиясын өзгерту арқылы: өлшемдері, тері тесігі шығыстарының орналасуының біркелкілігі және бетінің кедір-бұдырлығы, оның бетіндегі зат синтезі кезінде эмбриондардың пайда болу процесін басқаруға болады. Бұл жағдайда беттік адсорбциялық орталықтардың құрамы, олардың энергетикалық сипаттамалары және ылғалдылық қасиеттері маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, por-si кремний микроэлектроникасымен айқын үйлесімділігі арқасында перспективалы материал болып табылады.

Кремний субстраттарына біріктірілген мырыш оксиді бөлшектеріне негізделген құрылымдар әртүрлі жартылай өткізгіш құрылымдардың құрамдас бөліктері ретінде перспективалы. Үлгі бетінде және кеуектерінде ZnO нанокластерлерінің түзілуі газ датчиктерінде қолдануға болатын маңызды процесс болып табылады, өйткені олардың сезімталдығы бетінің ұлғаюымен жоғарылайды.

Бетінде көп сатылы иерархиясы бар құрылымдардың қалыптасуы кванттық деңгейдегі әсерлермен байланысты. Бұл жағдайда нано және микроқұрылымдарда әртүрлі қасиеттері бар белсенді бөлшектер болады. Біртіндеп өзгертін магнит өрісінің қозған және негізгі энергетикалық күйлер арасындағы тербеліс процесіне әсері бөлшектердің қасиеттерін анықтауға мүмкіндік берді. Атомдық күш микроскопиясы және электронды парамагниттік резонанс спектроскопиясы әдістерімен зерттеу әртүрлі масштабтағы түзілімдерді анықтауға және олардың энергетикалық қасиеттерін анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

Осы диссертацияда кеуекті кремний мен мырыш оксидінің иерархиялық құрылымын синтездеу әдістерін зерттеу барысында әзірленген.

Кремнийдің бетінде электрохимиялық анодты жеміру әдісімен кеуектердің иерархиялық құрылымы түзілгені көрсетілген. Мырыш оксидінің қабаттарын қолдану бетінде нанокристалдар түзеді. Бұл түзілімдердің үлгі бетіне таралуы және олардың мөлшері бірдей. Құрылымдардың пайда болу механизмі анықталды, мұнда пленкаларды қолдану 400⁰С ыстық субстратқа әсер етеді.

Қолданылатын қабаттар санының артуымен ЭПР сигналы күшейеді, оның бірнеше себептері анықталды және оттегінің бос орындары негізгі үлес қосады. ЭПР сигналының қанықтылығын зерттеу 25 қабатты үлгіде үлгі көлемінде біркелкі бөлінген бірдей парамагнитті орталардың сипаттамалары бар екенін көрсетті. Қабаттар санының өсуімен парамагнитті орталардың локализациясы реттелген болады.

ZnO қабаттарының көбеюімен фотолюминесценция интенсивтілігі өседі. ZnO 25 қабатының пайда болуымен экситонның жарқырауы максималды болады, бұл пленка қалыңдығының жоғарылауымен байланысты. Сонымен қатар, заряды бар оттегі бос орындарынан фотолюминесценция сигналы да күшейеді.

Осылайша, кеуекті кремний бетіне ZnO жабынының 25 қабатын жағу жарық шығаратын қасиеттерді күшейтеді және энергияға төзімді нанокұрылымдарды құрайды.

Диссертацияда қойылған міндеттер толық көлемде шешілді, синтезделген құрылымдардың құрылымдық, фотолюминесценттік және ЭПР қасиеттері зерттелді. Синтездің технологиялық параметрлері анықталды.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу

– Алғаш рет иерархиялық кеуекті кремний өндіріліп, онда мырыш оксиді бөлшектері пайда болған кезде иерархияның үш деңгейі бар фракталдық құрылымдар синтезделді.

– Алғаш рет құрылымдардың кристалдану процесі парамагниттік орталықтың релаксация уақытына негізделген ЭПР сигналын қанықтыру әдісімен анықталды.

– Алғаш рет төмен қарқынды өсіп келе жатқан ЭПР сигналын анықтау үшін сигналды қанықтырудың циклдік әдісі қолданылды.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы Қазақстан Республикасының Үкіметі жанындағы Ұлттық ғылыми кеңестің "Баламалы энергетика және технологиялар: жаңартылатын энергия көздері, ядролық және сутегі энергетикасы, энергияның басқа да көздері" басымдығы бойынша "Энергетика және машина жасау" мамандандырылған ғылыми бағытына сәйкес келеді.

Осы диссертацияда келтірілген зерттеулер ҚР гранттық қаржыландыру жобасы шеңберінде орындалды: AP09260940 "Икемді субстратта күн батареяларын жасау үшін жұқа пленкалардың құрылымын оңтайландыру" (2021-2023жж).

Автордың жеке үлесі

Автордың жеке үлесі диссертациялық жұмыста баяндалған эксперименттік зерттеулерді, соның ішінде эксперименттік зерттеу әдістемелерін, зерттеулер жүргізуді, жарияланымдар мен ғылыми баяндамалар түрінде нәтижелерді талдауды және ресімдеуді орындау болып табылады.

Жұмысты апробациялау

Диссертациялық жұмыстың материалдары келесі конференциялар мен симпозиумдарда баяндалды:

Халықаралық деңгейдегі:

1. The 4th International Conference on Materials: Advanced and Emerging Materials (Barcelona, Spain) (2022).

2. IX-X международная научно – практическая конференция «Наука настоящего и будущего» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова) (2021), (2022)

3. II международный научный форум «Ядерная наука и технологии» (Алматы) (2019).

Республикалық деңгейдегі:

1. IV International Scientific Forum “Nuclear science and technologies” (Almaty, 2022)

Жарияланымдар

Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 16 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде Scopus/Web of Science ДБ кіретін халықаралық рецензияланатын ғылыми журналдарда 3 мақала жарияланды:

1. Abdullin, K. A., **Kemel'bekova, A. E.**, Lisitsyn, V. M., Mukhamedshina, D. M., Nemkaeva, R. R., & Tulegenova, A. T. Aerosol Synthesis of Highly Dispersed $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ Phosphor with Intense Photoluminescence //Physics of the Solid State. – 2019. – Т. 61. – С. 1840-1845. Percentile 27, Cites score 1.6

2. Murzalinov, D., Dmitriyeva, E., Lebedev, I., Bondar, E. A., Fedosimova, A. I., & **Kemelbekova, A.** The Effect of pH Solution in the Sol–Gel Process on the Structure and Properties of Thin SnO₂ Films //Processes. – 2022. – Т. 10. – №. 6. – С. 1116. (Processes - Scopus процентиль в категории Chemical Engineering 55%, WoS квартиль Q2, IF=3.352) (SCOPUS) <https://doi.org/10.3390/pr10061116>

3. Murzalinov, D., **Kemelbekova, A.**, Sereдавина, T., Spivak, Y., Serikkanov, A., Shongalova, A., [Zhantuarov S.](#), Moshnikov V., Mukhamedshina, D.. Self-Organization Effects of Thin ZnO Layers on the Surface of Porous Silicon by Formation of Energetically Stable Nanostructures //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 2. – С. 838. Q2, Percentile 63, IF=3.7, <https://doi.org/10.3390/ma16020838>

ҚР Ғылым және жоғарғы білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда 4 мақала:

1. **Кемелбекова А.Е.**, Мухамедшина Д.М. Синтез высокодисперсных форм оксида цинка легированных редкоземельными элементами (обзор), Комплексное Использование Минерального Сырья. №4.2019, Алматы, стр. 12-18, ISSN 2224-5243

2. **Кемелбекова А.Е.**, Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Мошников В.А.// Обзор современных методов получения тонких пленок ZnO:Eu /Вестник КазНУТУ №6.2019, Алматы, стр. 824-829, ISSN 1680-9211 (химико-металлургические науки)

3. **A. Kemelbekova**, E. A. Dmitrieva, I. A. Lebedev, E. A. Grushevskaya, D. O. Murzalinov, A. I. Fedosimova, Zh., A. T. Temiraliyev The effect of deposition technique on formation of transparent conductive coatings of SnO₂ // Physical Sciences and Technology (KazNU). – 2022. – Vol. 9. No (KOKCHBO)

<https://doi.org/10.26577/phst.2022.v9.i1.05>

4. **А.Е.Кемелбекова**, А.Қ.Шонғалова, С.Қ. Шегебай, М. Карибаев, Ж.Сайлау, А.С. Серикканов / Проведение скрининговых расчетов кристаллической структуры ZnO и изучение применения в перовскитных солнечных элементах, «Вестник НАН РК», № 2, 2022 г. Стр. 122-133

Халықаралық ғылыми-практикалық конференциялардың 9 еңбегі:

1. Мухамедшина Д.М., **Кемелбекова А.Е.** Получение пленок оксида цинка легированных оксидом европия методом золь-геля, РДРЗ-19, V- всероссийская конференция с международным участием, «V-российский день редких земель», 2019 г, стр.78.
2. **Кемелбекова А.Е.** ZnO:Eu құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу, Ғылымының өзекті мәселелері-Халықаралық практикалық конференция материалдары, 22 қараша, 2018ж, <https://doi.org/10.31643/2018.061>
3. **Кемелбекова А.Е.**, Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Мошников В. А., Синтез и исследование антиотражающих пленок ZnO:Eu для увеличения КПД солнечных фотоэлементов. Печатное II международный научный форум «Ядерная наука и технологии», 24-27 июня 2019 г. Алматы: РГП ИЯФ. стр. 126
4. **Кемелбекова А.Е.**, Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Синтез, строение и люминисцентные свойства комплекса оксида цинка легированные РЗМ, «Нанопизика и Наноматериалы», Сборник научных трудов международного симпозиума, 27-28 ноября, 2019. Санкт-Петербург. стр. 116-121.
5. **Кемелбекова А.Е.**, Обзор синтеза наностержней ZnO, выращенных химическим путем на пористой кремниевой подложке, IX Научно – практическая конференция с международным участием «Наука настоящего и будущего», (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова). ННБ IX, Санкт-Петербург, 13 – 15 мая 2021, стр.80-83
6. **А.Е.Кемелбекова**, Д.М.Мухамедшина, Д.О.Мурзалинов, Н.В. Идрисов Эффекты самоорганизации тонких слоев zno на поверхности пористого кремния //X международная научно- практическая конференция «Наука настоящего и будущего» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова). – 2022 https://nbn.etu.ru/assets/files/rezultaty/mag/2022/nbn-x_2022_tom-1.pdf
7. Murzalinov D, **Kemelbekova A** Formation of light-emitting particles with different parameters by coating ZnO on a silicon surface with several porosity levels / The 4th International Conference on Materials: Advanced and Emerging Materials (Barcelona,Spain).–P.33
https://icm2022.sciforum.net/events_files/642/customs/fba04cb7bfb982480fdb838031250a49.pdf
8. М.А. Бегунов, Е.А. Дмитриева, **А.Е. Кемелбекова**, Д.О. Мурзалинов Дефектообразование светоизлучающих частиц при формировании иерархической пористой поверхности ZnO/SiO₂/Si структур / XI международная научно- практическая конференция «Наука настоящего и будущего» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова). – 2023

9. Т.А. Середавина, Д.О. Мурзалинов, Р.М. Жапаков, **А.Е. Кемелбекова**, Е.А. Дмитриева, С.Р. Жантуаров Формирование сверхтонких светоизлучающих структур ZnO путем захвата вещества на границах пор иерархического кремния / XIII Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», 3-5 июля, Москва. – 2023.