

Дауренбеков Дулат Хайретеновичтің бD060400 – Физика мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынған "Синтезделген жартылай өткізгіш нанобөлшектердегі люминесценция және күн сәулесінің түрлену механизмдері" тақырыбындағы диссертациялық жұмысының

АННОТАЦИЯСЫ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Қазіргі кезеңде жаңартылмалы жаңа энергия көздерін табу және олардың тиімділігін арттыру заманауи физика мен техниканың ең өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Күн сәулесінің энергиясын электрлік энергияға түрлендіру дәстүрлі түрде фотоэлектрлік түрлендіргіштер (ФЭТ) арқылы жүзеге асырылады. Жарық энергиясын электрлік энергияға айналдырудың максимал ПӘК-і поликристалл кремний үшін 12-18% құрайды, әрине бұл дәстүрлі энергия көздерімен салыстырғанда әлдеқайда аз. Бұл факт ФЭТ-тің тиімділігін арттыру бағытында ғалымдардың жаңа техникалық шешімдер іздеуіне түрткі болып отыр. Осындай шешімдердің бірі люминесценттік күн сәулесін түрлендіргіштерін (ЛКСТ) қолдану болып табылады. Жалпы жағдайда ЛКСТ спектрдің оптикалық және ультракүлгін диапазонында сәулелерді жұту жолағы кең люминесценттік заттар енгізілген мөлдір материалдан жасалған пластина болып табылады. Жартылай өткізгіш күн фотоэлементі күн сәулесінің тұтас спектрлік диапазонында максимал ПӘК-пен жұмыс істемейді. ЛКСТ негізгі қызметі күн сәулесінің қысқа толқынды бөлігін ұзынтолқынды сәулеге люминесценттік түрлендіру болып табылады. Бұл жағдайда ЛКСТ жақын ультракүлгін және көк сәулелерді жартылай өткізгіш фотоэлектрлік түрлендіргіштердің көпшілігі жақсы жұтатын спектрдің қызыл диапазонына түрлендіруге мүмкіндік береді.

Кванттық нүкте, кванттық шұңқыр және т.б. сияқты жартылай өткізгіш наноқұрылымдар көлемді материалдармен салыстырғанда, кванттық өлшемдік құбылыстармен байланысты өзгешелеу физикалық қасиеттерге ие екендігі белгілі. Коллоидты кванттық нүктелер деп аталатын, органикалық молекулалармен тұрақтандырылған кванттық нүктелердің практикалық қолданылу мүмкіндігі өте үлкен.

Кванттық нүктелердің люминесценциясы, сәулені жұтуы сияқты физика-химиялық қасиеттері нанокристалдардың өлшемдеріне, пішіміне және синтездеу шарттарына тәуелді. Коллоидтық кванттық нүктелер лазерлер, жарық диодтары, оптоэлектрондық түрлендіргіштер, жалпы маркерлер, соның ішінде биологиялық нысандар үшін маркерлер жасауда қажетті. Синтездеу әдістерінің сан алуандығы арқасында кең спектрлік диапазонда жарық шығаратын кванттық нүктелерді алуға болады. Қолданылатын реактивтердің түріне қарай КН-лер әр түрлі еріткіштерде ерітіліп әр түрлі матрицаларға енгізілуі мүмкін. Сондықтан қойылған мәселеге байланысты әр түрлі КН-лер синтезделеді.

Энергия өндіру саласында экологиялық таза энергияны тұтыну өте маңызды. Қазіргі кезде үшінші деңгейдегі Күн элементтері кеңінен

қолданылууда. Мұндай Күн элементтерінің құрылымына наноөлшемді материалдар тікелей енгізіледі. Күн элементтерінің құрылымына енгізілген кванттық нүктелер, нанотүтікшелер Күн элементтерінің қолданыс сипаттамаларын жақсартады. Полимер-фуллерен негізіндегі жасалған Күн элементінің ПӘК-і ~ 10%-ға дейін артады, алайда фуллерендер тұрақты емес, тез деградацияға ұшырайды. Сондай-ақ негізі нанокұрылымды TiO_2 немесе ZnO қабаты болатын, ал беті сенсбилдеуші бояғыш болатын Гретцель ұяшығы тектес Күн элементін жасау да өзекті мәселе болып табылады. Алайда бояулар оптикалық қасиеттері және фототұрақтылығы бойынша кванттық нүктелермен салыстырғанда нашарлау. Мұндай элементтерде Күн энергиясын түрлендіру тиімділігі 12% құрайды. Күн элементтерін жасаудың перспективалы бағыттарының біріне сай коллоидты синтездеу әдісімен алынған жартылай өткізгіш күн элементтерін жасауда жартылай өткізгіш кванттық нүктелерді қолдану көзделген. Мұндай элементтердің ПӘК-інің максимал мәні 6-6,2% құрайды. Айта кету керек, Күн элементін құрастыру кезеңінде сұйық фазалық технологияға КН-ді тікелей енгізу ыңғайлы болады.

Күн сәулесінің энергиясын электрлік энергияға айналдыру дәстүрлі түрде поликристалдық, монокристалдық, аморфтық және гидрогенизделген кремний негізіндегі жартылай өткізгіш фотоэлектрлік түрлендіргіш (ФЭТ) көмегімен іске асырылады. Жартылай өткізгіш элементтер Күн сәулесінің барлық спектрлік диапазонында максимал ПӘК бере алмайды. Күн сәулесінің «Жұмыстық» спектрлік диапазоны ФЭТ үшін жартылай өткізгіштің рұқсат етілмеген аймағының енімен (E_g) анықталады. Бұл диапазон жартылай өткізгіштің фотоэффектісінің қызыл шекарасынан (іргелі жұту) басталады. Сонымен, ФЭТ Күн энергиясының электр энергиясына айналдыру үшін жұтатын энергиялық интервалы Жерге түсетін Күн радиациясының 30% құрайды. Күн сәулесінің қалған бөлігі ФЭТ материалын зиянды қыздыруға жұмсалады. Қызудан қорғау мақсатында ФЭТ беті арнайы шашыратқыш қабықшамен көмкеріледі. Ашық атмосфералық жағдайда мұндай ФЭТ-тің ПӘК-і 10-12% құрайды.

Күн элементтерінің ПӘК-ін арттыру үшін Күн сәулесінің спектрінің қалған бөлігін қызыл және инфрақызыл жарыққа айналдырып ФЭТ ішінде қосымша электрон-кемтіктік жұптар түзіліп, олар электр энергиясына түрленеді. Осыған байланысты Күн сәулесінің спектрін қызыл сәулеге түрлендіру немесе спектрдің ультракүлгін және оптикалық диапазонын тікелей қолдануға бағытталған әр түрлі технологиялар жасалуда. Мысалы, ФЭТ бетіне жағылған жұқа қабықша түріндегі люминесценттік түрлендіргіш (ЛТ), Күн сәулесі спектрінің ультракүлгін және оптикалық бөліктерін тиімді жұтып может с большей эффективностью поглощать ультрафиолетовую и видимую часть солнечного спектра и испускать излучение в қызғыш-қызыл диапазондағы сәулеге айналдырады. Қызғыш-қызыл диапазондағы сәуле ФЭТ-ке түсіп қосымша электрон-кемтіктік жұптар тудырады. Мұндай матрицаларда арнайы енгізілген қоспалар, сирекжерлік иондар, кванттық нүктелер ($CdSe$, PbS , $CdTe$ және т.б.) сәуле шығарады. Негізгі матрица

ретінде органикалық полимерлер, кеуек оксидтер және т.б. қосылыстар қолданылады.

Соңғы жылдары ФЭТ-тің бетіне жұқа қабықша түрінде жағылатын кремнийдің люминесценциялы нанобөлшектерін немесе кванттық нүктелерін қолданып кремнийлік фотоэлектрлік ұяшықтардың ПӘК-ін арттыру өзекті мәселе болып отыр. Мысалы, өлшемі 2,85 нм кремний нанобөлшектерін УК немесе оптикалық диапазондағы сәулемен қоздырғанда қызыл жарық шығарады. Мұндай элементтерден алынған кернеу кәдімгі поликристалдық кремнийден жасалған Күн элементтерімен салыстырғанда едәуір жоғары.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты және ғылыми нәтижелері

Өндірістік Күн элементтерінің ПӘК-ін арттыру үшін люминесценциялық жабында қолданылатын CdSe, CdTe, ZnSe, CdSe-Cu, CdSe/ZnS и SiO₂-Eu,Tb жартылай өткізгіш кванттық нүктелерінің өзіндік және қоспалық люминесценциясының табиғатын зерттеу.

Диссертацияның мақсатына сай мынадай ғылыми нәтижелер алғаш рет алынды:

1. 170 - 270 °С температура аралығында синтезделген нанобөлшектердің өсу кинетикасын in-situ әдісімен өлшеу негізінде CdSe және CdTe кванттық нүктелері үшін люминесценциялық жолақтың ығысуы ККН-нің сызықтық өлшемдеріне тәуелді екендігі айқындалды.

2. Eu³⁺ және Tb³⁺ иондарымен белсендірілген ЛМКК бөлшектерде қоспалық сәуле жолағының қозу спектрі матрицаның өзіндік сәулесін қоздыру жолағымен сәйкес келетіндігі көрсетілді. Эксперименттік зерттеулер негізінде ЛМКК бөлшектердің өзіндік сәулесінің энергиясы Eu³⁺ және Tb³⁺ қоспаларына тиімді берілетіндігі болжанды.

3. CdSe-Cu қоспаланған КН-де табылған максимумы 780 нм болатын сәуле жолағы КН-нің бетінде орналасқан мыс қоспасының жанындағы экситон сәулесімен байланыстырылады.

4. Эксперименттік нәтижелерді талдау негізінде «CdSe/ZnS + полимер» жүйесінің фототүрлендіргіш ұяшықтардың люминесценциялық жабыны ретінде қолдану үшін оптимал технологиялық параметрлері анықталды.

5. «CdSe/ZnS + полимер» және «CdTe+полимер» тектес жұқа қабықшаларды фототүрлендіргіш ұяшықтардың люминесценциялық жабыны ретінде қолдану олардың ПӘК-ін алғашқы үлгілермен салыстырғанда 5-6% арттырды.

Зерттеудің объектісі ретінде CdSe, CdTe, SiO₂-Eu³⁺,Tb³⁺, CdSe-Cu, CdSe/ZnS жартылайөткізгіштерінің кванттық нүктелері қарастырылды.

Зерттеу пәні – ерітіндідегі және полимерге енгізілген коллоидты кванттық нүктелердің шығару және қозу спектрлерінің табиғаты ультракүлгін және оптикалық сәулемен қоздырып зерттеу. CdSe және CdTe кванттық нүктелерінің люминесценция жолағының орынының КН-нің өлшемдеріне тәуелділігін зерттеу үшін нанобөлшектердің өсу кинетикасын in-situ әдісімен зерттеу. CdSe кванттық нүктесіне мысты қоспа ретінде енгізу. Электрондық қозу энергиясын ЛМКК бөлшектерден сирекжерлік металл қоспаларына беру механизмін зерттеу. Фототүрлендіргіш ұяшықтардың

люминесценциялық жабыны ретінде қолдану үшін оптимал технологиялық параметрлерді тағайындау. CdSe/ZnS және CdTe кванттық нүктелері негізіндегі люминесценциялық қабықшаны Күн элементтерінің ПӘК-ін арттыру мақсатында люминесценциялық жабын ретінде қолдану.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы

– in-situ әдісімен люминесценцияның ұзынтолқынды ығысуының CdSe және CdTe кванттық нүктелерінің өлшемдеріне тәуелділігі тағайындалды;

– ЛМКК бөлшектердің өзіндік шығару сәулесінің энергиясы Eu^{3+} және Tb^{3+} қоспалық иондарына тиімді беріледі;

– қоспаланған CdSe-Cu кванттық нүктесінің максимумы 780 нм болатын шығару сәулесі КН бетінде орналасқан мыс қоспасының жанындағы экситонның шығару сәулесімен байланысты;

– фотоэлектрлік ұяшықтардың люминесценттік жабуы ретінде қолдануға арналған «CdSe/ZnS + полимер» жүйесі үшін оптимал технологиялық параметрлер тағайындалды;

– ұсынылған «CdSe/ZnS+полимер» және «CdTe+полимер» люминесценттік жабындары фотоэлектрлік ұяшықтардың ПӘК-ін 5-6% арттырады.

Зерттеудің міндеттері: Диссертациялық жұмыстың негізгі мәселелері мыналар:

1. CdSe және CdTe кванттық нүктелерінің өсу кинетикасын, шығару және қозу спектрлерінің табиғатын және люминесценция спектрінің орынының кванттық нүктелердің өлшемдеріне тәуелділігін зерттеу.

2. Eu^{3+} және Tb^{3+} қоспалық иондарымен активтендірілген ЛМКК бөлшектердің өзіндік шығару, қозу спектрлерін және матрицаның өзіндік электрондық қозу энергиясының қоспаларға берілу процесін зерттеу.

3. Мыспен қоспаланған CdSe кванттық нүктесінің шығару және қозу спектрлерін зерттеу.

4. CdSe/ZnS жүйесіндегі люминесценция кванттық шығуын қабықшаның өсу параметрлеріне тәуелді зерттеу.

5. Люминесценциялық жабындардың өндірістік фотоэлектрлік ұяшықтардың ПӘК-іне әсерін зерттеу.

Қорғауға шығарылатын нәтижелер

1. Ұзын толқынды люминесценция жолақтарын алу үшін кванттық нүктелердің өлшемдерінің оптимал ұлғаюын көрсететін нанобөлшектердің өсу кинетикасы.

2. CdSe-Cu кванттық нүктесінде максимумы 780 нм болатын люминесценция жолағы КН бетінде орналасқан мыс қоспасының жанындағы экситон сәулесімен байланыстырылады.

3. Фотоэлектрлік ұяшықтардың люминесценциялық жабыны қызметін атқаратын полимерлік матрицаға енгізілетін CdSe/ZnS кванттық нүктесінің оптимал параметрлері.

4. CdSe/ZnS және CdTe кванттық нүктелерінің негізіндегі люминесценттік қабықшаны жабын ретінде қолдану фотоэлектрлік ұяшықтың ПӘК-ін жабынсыз ұяшықпен салыстырғанда 4-6%-ға арттырады.

Алынған нәтижелердің тәжірибелік маңыздылығы

Диссертациялық зерттеулер 055 «Ғылыми және/немесе ғылыми-техникалық қызметтер» бюджеттік бағдарламасы бойынша ҚР БҒМ гранттық қаржыландыру жобалары бағытындағы ғылыми-зерттеу жұмыстарына сай 2012-2014 жылдары орындалған «Кремний негізіндегі фототүрлендіргіштердің ПӘК-ін арттыратын жаңа люминесценттік материалдарды дайындау технологиясын жасау» (мемлекеттік тіркеу 0112РК02285) ғылыми жобасының аясында орындалды.

Жоғары энергиялы диапазондағы Күн сәулесін қызғылт-қызыл диапазондағы сәулеге трансформациялау қабілетінің арқасында кванттық нүктелер негізіндегі люминесценттік жабындар фотоэлектрлік ұяшықтардың ПӘК-ін арттыруға арналған жабын қабаты ретінде қолданыла алады. Жасалған люминесценттік жабындар отандық өнеркәсіпте шығарылатын фотоэлектрлік элементтерде апробациядан сәтті өтті.

Ізденушінің қосқан жеке үлесі

Докторант жартылай өткізгіш нанобөлшектерді синтездеу және эксперименттік зерттеу ғылыми жұмыстарына жоғары жауапкершілікпен және құлшыныспен тікелей қатысты. Зерттеулер нәтижелері және олардың интерпретациясы ғылыми кеңесшілермен бірге талқыланды. Диссертациялық жұмысты орындау барысында докторант зерттеудің спектроскопиялық әдістерін, кванттық нүктелерді синтездеу технологияларын меңгерді және Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ-дің «Энергетика және функционалды материалдар» ҒЗИ-да, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университетінде және Башқұртостан мемлекеттік университетінде заманауи зерттеушілік қондырғылар мен аспаптарда жұмыс істеу дағдыларын меңгерді.

Диссертация нәтижелерінің апробациядан өтуі

Диссертациялық жұмыс аясындағы зерттеулер нәтижелері келесі конференцияларда баяндалып талқыланды:

- 17th International conference on luminescence and optical spectroscopy of condensed matter. Poland, Wroclaw. – 2014.

- The 4th International conference on the physics of optical materials and devices ICOM 2015. – Montenegro, Budva. – 2015.

- II Всероссийской научной молодежной конференции «Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники» Россия, Уфа. – 2014.

- 9 Международная конференция «Эффективное использование ресурсов и охрана окружающей среды – ключевые вопросы развития горно-металлургического комплекса» и 12 Международная научная конференция «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов». – Усть-Каменогорск. – 23 Мая 2015.

- 13 Международная научная конференция «Физика твердого тела». – Астана. – 2016.

Жарияланған нәтижелер

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша 11 еңбек жарыққа шықты, соның ішінде – шетелдік жоғары импакт-факторлы журналда 1, ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынылған периодтық басылымдарда 5 мақала, алыс шетелдегі халықаралық конференциялардың материалдарында (ТМД емес) 2 тезис, халықаралық конференциялардың материалдарында (ТМД) 3 мақала.

Диссертацияның құрылымы және көлемі.

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан және пайдаланған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация көлемі 110 бет, соның ішінде – 79 сурет, 15 кесте, 162 атаудан құралған қолданылған әдебиеттер тізімін құрайды.