АҢДАТПА

8D07112 – «Наноматериалдар және нанотехнологиялар» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған

«Фуллереннің доғалық разрядтағы плазмохимиялық синтезі және оны қоспалардан тазарту»

тақырыбындағы диссертациялық жұмысы

Аймашева Жадыра Кенжебаевна

Жұмыстың жалпы сипаттамасы.

Диссертациялық жұмыста доғалық разрядтағы плазмохимиялық синтез әдісі арқылы фуллерендер алу бойынша жүргізілген зерттеулердің эксперименттік нәтижелері ұсынылған. Зерттеу барысында синтездің оңтайлы технологиялық параметрлері айқындалып, алынған фуллерендерді қоспалардан тазарту әдістері мен олардың тиімділігі бағаланды. Сонымен қатар фуллерендердің құрылымдық күйін бақылау нәтижелері келтіріліп, синтезделген фуллерендердің пиротехникалық композиттердің параметрлері мен эксплуатациялық сипаттамаларына, сондай-ақ майлау материалдарының трибологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді.

Зерттеудің өзектілігі.

Нанотехнологиялардың қарқынды дамуына байланысты наноматериалдар, әсіресе көміртекті наноқұрылымды материалдар, әртүрлі практикалық қолданбалар үшін және өнеркәсіптің көптеген салаларына енгізу мақсатында жоғары сұранысқа ие болып отыр. Бұл материалдар медицинада, электроникада, энергетикада, мұнай-газ саласында, құрылыста, аэроғарыш өнеркәсібінде, машина жасауда және басқа да салаларда маңызды рөл атқарады. Көміртекті наноқұрылымдар бірегей физика-химиялық қасиеттер кешені — жоғары механикалық беріктікке, дамыған беткі ауданына, электрөткізгіштікке және химиялық тұрақтылыққа ие бола отырып, перспективалы материалдар қатарына жатады. Бұл қасиеттер олардың қазіргі заманғы ғылымды қажетсінетін технологияларда кеңінен қолданылуын айқындайды.

Медицина саласында көміртекті наноматериалдар дәрілік заттарды бағытты жеткізу жүйелерін, жоғары сезімтал биосенсорлық платформаларды және тіндік инженерияға арналған биосәйкес қаңқаларды әзірлеуде пайдаланылады. Олардың құрылымдық ерекшеліктері диагностиканың дәлдігін арттыруға және терапевтік ықпалдардың тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Электроникада көміртекті нанотүтікшелер мен графен миниатюрлі және энергия тиімді электрондық компоненттерді жасау үшін негіз ретінде қолданылады. Осы материалдар негізінде нанотранзисторлар, сенсорлар және икемді электроника элементтері әзірленіп, жоғары өнімді әрі ықшам құрылғыларды дамытуға ықпал етеді.

Энергетика саласында мұндай материалдар жоғары тиімділікті күн элементтерін, аккумуляторларды және суперконденсаторларды жобалауда қолданылады. Жоғары электрөткізгіштік пен үлкен меншікті беткі аудан көміртекті наноқұрылымдардың энергияны жинақтау және түрлендіру үдерістерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Құрылыс технологияларында көміртекті наноматериалдар композиттердің беріктігін, деформацияға төзімділігін және жылуөткізгіштігін арттыру мақсатында олардың құрамына енгізіледі. Бұл жақсартылған эксплуатациялық сипаттамалары бар жаңа буын құрылыс материалдарын жасауға мүмкіндік береді.

Көміртекті наноқұрылымды материалдардың кең спектрі ішінде фуллерендер ерекше орын алады. Соңғы жылдардағы ғылыми зерттеулер мен жарияланымдарды талдау фуллерендерді алу технологияларын оңтайландыруға, олардың физика-химиялық қасиеттерін зерделеуге және жаңа қолданбалар салаларын анықтауға зерттеушілердің қызығушылығы әлі де жоғары екенін көрсетеді. Бұл фуллерендерге деген тұрақты ғылыми қызығушылықтың сақталатынын айғақтайды. Аталған міндеттер нанотехнология мен наноматериалтанудың негізгі қағидаттарын түсінуге бағытталған іргелі зерттеулер үшін де, фуллерендердің әлеуетін жаңа материалдар мен технологияларды жасау үшін тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін қолданбалы бағыттар үшін де маңызды болып табылады. Осы аспектілердің дамуы наноматериалдар мен нанотехнологиялар саласының одан әрі ілгерілеуіне, инновациялық мүмкіндіктердің кеңеюіне және өмір сапасының артуына ықпал етеді.

Қазіргі уақытта фуллерендерді синтездеудің лазерлік абляция, газ фазасынан синтез, графиттің электродуғалық булануы, электронды-сәулелі буландыру және иондық-сәулелік бүрку секілді көптеген әдістері бар. Алайда фуллерендерді синтездеу барысында өнімнің сапалық және сандық шығымының төмендігі, сондай-ақ фуллерендерді қоспалардан тазарту қажеттілігі сияқты бірқатар мәселелер туындайды.

Фуллерендер алудың ең таралған әрі тиімді әдістерінің бірі — жоғары температуралы доғалық разрядтарды қолданатын плазмохимиялық синтез. Бұл әдіс жоғары энергия деңгейінің әсерінен көміртекті материалдардың ыдырауын және фуллерендік құрылымдардың түзілуін қамтамасыз ете отырып, фуллерендердің тиімді түзілуіне мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл әдістің маңызды артықшылығы — фуллерендерді макроскопиялық мөлшерде өндіру мүмкіндігі және басқа әдістермен салыстырғанда экономикалық тиімділігі.

Осылайша, жоғары температуралы доғалық разрядтағы плазмохимиялық синтез әдісінің тиімділігін арттыруға және алынған фуллерендердің практикалық қолдану салаларын кеңейтуге бағытталған зерттеулер наноматериалдар мен нанотехнологиялар саласы үшін өзекті және маңызды бағыт болып табылады.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты — доғалық разрядтың оңтайлы параметрлері негізінде плазмохимиялық синтез әдісі арқылы фуллерендер алу, оларды қоспалардан тазарту, сондай-ақ фуллерендердің пиротехникалық композиттердің параметрлері мен сипаттамаларына және трибологиялық мақсаттағы майлағыш құрамдардың қасиеттеріне әсерін зерттеу.

Осы мақсатқа қол жеткізу үшін келесі міндеттер қойылды:

– фуллерендерді плазмохимиялық синтездеуге арналған доғалық разряд әдісін және фуллерендік күйені өндірістік көлемде алу үшін қажетті термоөңдеу үдерісін пысықтап, оңтайландыру; доғалық синтез нәтижесінде алынған фуллерендік күйені қоспалардан тазарту әдістерін әзірлеу және олардың тиімділігін бағалау;

– фуллерендердің калий нитраты / алюминий / ағаш көмірінен тұратын пиротехникалық композиттерге енгізілуі арқылы жану уақытына, жалын жарықтығына және энергия бөліну сипаттамаларына әсерін зерттеу; фуллерендердің жылуөткізгіштік қасиеттері есебінен пиротехникалық жүйелердің жану кинетикасына ықпал ету механизмін анықтау;

– фуллерендердің майлағыш композициялардың трибологиялық қасиеттеріне әсерін эксперименттік түрде зерттеу; подшипниктік түйісу беттерінің микрорельефінің эволюциясын, беттердің бүліну деңгейін және тозуды төмендетудегі фуллерендердің тиімділігін бағалау.

Зерттеу объектілері – плазмохимиялық доғалық синтез әдісі арқылы алынған фуллерендер және олардың негізінде жасалған композициялық материалдар.

Зерттеу нысаны – фуллерендік күйені өндірістік көлемде алу үшін доғалық синтез үдерісінің технологиялық шарттары, сондай-ақ фуллерендермен модификацияланған пиротехникалық композиттердің және майлағыш құрамдардың параметрлері мен сипаттамалары.

Зерттеу әдістері.

Диссертациялық жұмыстың мақсатына қол жеткізу үшін әртүрлі зерттеу әдістері қолданылды. Атап айтқанда, морфологиялық ерекшеліктерді талдау үшін Quanta 3D 200i (FEI), Hitachi TM4000 Plus сканирлеуші электрондық микроскоптары және DM 6000M (Leica) оптикалық микроскопы пайдаланылды. Құрылымдық сипаттаманы анықтау үшін комбинациялық жарық шашырату (раман) спектроскопиясы қолданылды (Ntegra Spectra СЗМ, NT-MDT).

Жылуөткізгіштікті өлшеу үшін температуралық режимді басқару жүйесі бар (Lake Shore Model 336 Temperature Controller) стационарлық жылулық ағын әдісіне негізделген қондырғы пайдаланылды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы

Плазмохимиялық синтез үшін доғалық разряд параметрлерінің және көміртекті стерженьге алдын ала жүргізілген термиялық өңдеудің көміртекті наноқұрылымдардың түзілуіне әсері кешенді түрде зерттелді. Термодинамикалық тұрғыдан тұрақты және сфералық түрде тұйықталған

фуллерендік құрылымдарды алу үшін плазмохимиялық синтездің оңтайлы технологиялық параметрлері анықталды.

Фуллеренқұрамды күйенің (ФК) KNO_3/Al/ағаш көмірінен тұратын гетерогенді жүйенің пиролитикалық параметрлері мен сипаттамаларына әсері зерттелді. Алғаш рет ФК концентрациясын өзгерту арқылы стационарлық диффузиялық жану ұзақтығы және жалынның интегралдық жарықтық шығымы сияқты негізгі пиролитикалық параметрлерді тиімді басқару мүмкіндігі көрсетілді.

Фуллеренқұрамды күйенің және Al_2O_3 нанобөлшектерінің индустриялық майлау материалдарының (ИММ) трибологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Алғаш рет ФК мен Al_2O_3 қоспасын бірге енгізу кезінде бөлшек беттерінде наноқұрылымды трибопленканың адсорбцияланатыны анықталды. Нәтижесінде контакт аймағындағы бұзылу көлемінің азаюы және бөлшектердің үйкелісі кезінде беттің микрорельефінің біртектілігін сақтау уақытының ұлғаюы байқалды.

Қорғауға шығарылатын тұжырымдар:

1. Плазмохимиялық синтез әдісімен доғалық разрядтың оңтайлы параметрлерін (жұмыс газы – He, P = 300 Торр, U = 30 В, I = 300 А) және графиттік стерженьнің алдын ала термиялық өңделуін қолдану термодинамикалық тұрғыдан тұрақты, сфералық түрде тұйықталған фуллерендік құрылымдарды алуға мүмкіндік береді. Химиялық тазарту нәтижесінде құрамында C60 және C70 қоспасы бар, өнім шығымы 18 %-ға дейін жететін, C70 фракциясының үлесі арттырылған фуллерендік күйе алынады.
2. Фуллеренқұрамды күйені 5–15 масс. % концентрацияда KNO_3/Al/ағаш көмірінен тұратын гетерогенді пиротехникалық жүйеге енгізу стационарлық диффузиялық жану ұзақтығын 2,2 есеге (5-тен 11 секундқа дейін) арттырады және жалынның интегралдық жарықтық шығымын 33 %-ға жоғарылатады. Бұл фуллерен молекулаларының жоғары жылуаккумуляциялау қабілетіне, калий нитратының термиялық ыдырау кинетикасына каталитикалық әсеріне және фуллерендердің бақыланатын тотығуы кезінде CO_2-тың қосымша бөлінуіне байланысты.
3. Фуллеренқұрамды күйені (1 г массасы) және Al_2O_3 нанобөлшектерін (1 г массасы, өлшемдері 32–190 нм) индустриялық майлау материалдарына бірлесіп енгізу сырғу подшипниктерінің үйкеліс беттерінде адсорбцияланған наноқұрылымды трибопленканың түзілуіне алып келеді. Соның нәтижесінде контакттық бұзылу аймағы шамамен 20 %-ға азаяды және 980 Н осьтік жүктеме мен 750 айн/мин айналу жиілігі кезінде 200 000 циклдан кейін беттің микрорельефінің біртектілігі сақталады.

Зерттеудің ғылыми-тәжірибелік маңызы

Жұмыста алынған нәтижелер фуллерен физикасын, олардың алу технологиясын және практикалық қолдану салаларын дамыту үшін маңызды болып табылады. Плазмохимиялық синтездің оңтайлы технологиялық параметрлері, өнімнің жоғары шығымымен бірге, осындай технологияны

өнеркәсіптік өндірісте енгізуге жаңа перспективалар ашады. Фуллеренқұрамды күйемен модификацияланған пиротехникалық композиттер мен индустриялық майлау материалдарының параметрлері мен сипаттамаларын жақсартудың анықталған заңдылықтары фуллерендердің практикалық қолдану аясын айтарлықтай кеңейтеді.

Зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі қазіргі заманғы аппараттық құралдар мен зерттеу әдістерін қолданумен қамтамасыз етілген. Сонымен қатар, нәтижелердің сенімділігін қазақстандық ҚР ҒЖМБ ҒЖБССҚК ұсынған журналдар мен жоғары импакт-факторлы шетелдік журналдарда жарияланымдардың болуы, сондай-ақ жақын және алыс шетелдердегі халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында келтірілуі растайды.

Автордың жеке үлесі

Диссертациялық жұмыста зерттелген барлық үлгілерді автор жеке өзі алды. Анодтау әдістемесін әзірлеу және параметрлерін таңдау автор тәуелсіз жүргізілді. Синтезделген үлгілердің морфологиясы мен фазалық құрамын зерттеу, элементтік талдау және комбинациялық шашырау спектроскопиясы Қазақстан Республикасының Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың Ашық типтегі Ұлттық нанотехнологиялық зертханасының зерттеу тобымен бірлесіп жүзеге асырылды.

Диссертациялық жұмыста келтірілген зерттеу нәтижелері, атап айтқанда: электродоғалық синтезге арналған эксперименттік қондырғыны құруға қатысу, плазмохимиялық доғалық разряд негізіндегі графиттік стерженьдердің автоматты десорбциясымен фуллерендерді синтездеу әдісін әзірлеу, фуллерендік күйені дуғалық синтез арқылы алу эксперименттері, синтездің оңтайлы режимдерін пысықтау, фуллерендік фазаны фуллеренқұрамды күйеден экстракциялау, фуллерендерді хроматографиялық бөлудегі тәжірибелер, алынған үлгілердің қасиеттерін зерттеу және алынған деректерді талдау — автордың жеке үлесі болып табылады.

Фуллерендердің майлағыш композициялардың трибологиялық қасиеттеріне әсерін анықтау тәжірибелері Қазақстан Республикасы Қ.И. Сәтпаев атындағы ҚазҰТЗУ Металлургия және збаюлау институтының арнайы лабораториялық қондырғысында, лаборатория меңгерушісі PhD Бахытұлы Наурызбектің қолдауымен жүргізілді. Зерттеу міндеттерін қою және алынған эксперименттік нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Жарияланымдар.

Диссертациялық жұмыстың материалдары бойынша 12 баспа жұмысы жарияланған: оның ішінде 3 мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және білім министрлігінің ҒЖБССҚК тізіміндегі журналдарда PhD дәрежесін алу үшін диссертацияның негізгі нәтижелерін жариялау мақсатында, 1 мақала шетелдік импакт-факторлы журналда, Scopus халықаралық ақпараттық ресурсына кіретін, және 8 жұмыс Халықаралық ғылыми конференция материалдарында.

Зерттеулердің апробациясы.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында алынған нәтижелер келесі халықаралық конференцияларда баяндалып, талқыланды: студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы «GYLYM JANE BILIM – 2022» (2022 ж., Астана, Қазақстан); халықаралық ғылыми конференция «Interdisciplinary Science Studies» (2023 ж., Дублин, Ирландия); XXVII халықаралық конференция «EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES & RESEARCH» (2022 ж., Германия).

Thomson Reuters и Scopus халықаралық ғылыми дерекқорлар базасына енгізілген журналдарда жарияланған мақалалар:

1.Aimasheva Zh., Coruh A., Ismailov D., Partizan G., Ibraimov M.K., Khaniyev B. Synthesis of Fullerenes by Electric Arc Discharge and their Applications in Pyrotechnic and Lubricants // ES Materials and Manufacturing. – 2025. – V. 28. – P. 1444. **[Q1, 91%]**

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті (ҚР ҒЖМБ ҒЖБССҚК) ұсынған басылымдарда жарияланған мақалалар:

1. Аймашева Ж., Исмаилов Д.В., Оман З., Орынбай Б. Фуллереннің доғалық разрядтағы синтезі және оны қоспалардан тазарту // **ҚР ҰҒА баяндамалары**. – 2023. – №1. – Т.345. – С.96-10.

2. Аймашева Ж.К., Исмаилов Д.В., Ксенофонтов Д.А., Муратов М.М., Воробьева К.А. Применение наномикроматериалов в военном деле // **Научные труды ВИИРЭиС**. – 2024. – №4. – Т. 58. – С. 111-117.

3. **Аймашева Ж.К**., Исмаилов Д.В., Грищенко В.Ф., Stefano B., Партизан Г., Коштыбаев Т.Б. Микро және нано микро материалдардың пиротехникада қолданылуы // **ҚБТУ хабаршысы**. – 2024. – №2. – Т.69. – Б.229-237.

Халықаралық конференциялардың тезистер жинақтарында жарияланған мақалалар:

1. Аймашева Ж.К. Синтез фуллеренов методом дугового разряда // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – 2022. – С.346.

2. Аймашева Ж.К. Фуллереннің доғалық разрядтағы плазмохимиялық синтезі және оны қоспалардан тазарту // «GYLYM JANE BILIM - 2022» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары. – 2022. – Б.459-463.

3. Aimasheva Zh., Ismailov D.V. Synthesis of fullerenes by the electric arc discharge method // Proceedings of the scholarly abstract “European Academic Science and Research”. – 2022. - P.12.

4. Аймашева Ж. Көміртекті наноматериалдардың синтезі және оны қоспалардан тазарту // Жаһандық ғылым және инновация 2023: Орталық Азия, «Техникалық физика» сериясы. – 2023. – №1. – Т.19. – С.46-51.

5. Aimasheva Zh.K., Ismailov D.V. Synthesis of fullerenes by the electric arc discharge method // International Scientific Conference “Interdisciplinary Science Studies”. – 2023. – P. 5-7.

6. Аймашева Ж.К. Микро- наномикроматериалы в пиротехнике // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – 2023. – С.59.

7. Аймашева Ж.К. Доғалық разрядта синтезделген фуллерен күйесін мойынтіректерде қолдану // «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары. – 2024. – С.343-345.

8. Аймашева Ж.К., Исмаилов Д.В. Синтез нано- микроматериалов и их применение // Международный научно-исследовательский форум в честь 90-летия КазНУ им. аль-Фараби. – 2024. – С.81-83.

Диссертация тақырыбының ғылыми жоспарлармен байланысы

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылыми комитетінің гранттық қаржыландыруы (ГҚ) аясында орындалған (№ AP19678266).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы

Диссертациялық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады: шартты белгілер мен қысқартулар тізімі, кіріспе, 3 бөлімнен тұратын негізгі бөлік, қорытынды және әдебиеттер тізімі. Жұмыс 99 беттен тұрады, құрамында 57 сурет, 8 кесте және 139 библиографиялық сілтеме бар.