АҢДАТПА

докторанттың диссертациялық жұмысына
«8D07112 – Наноматериалдар және нанотехнологиялар» PhD білім беру бағдарламасы бойынша

СУЛТАНГАЗИНА МАРЖАН НУРЛАНҚЫЗЫ

КӨМІРТЕКТІ МАТРИЦАДА ИММОБИЛИЗАЦИЯЛАНҒАН ФЕРРОМАГНИТТІК НАНОБӨЛШЕКТЕРДІҢ СҰЙЫҚ ФАЗАДАҒЫ ПЛАЗМАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ СИНТЕЗІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс сұйық ортадағы плазмохимиялық әдіс арқылы көміртек матрицасына иммобилизацияланған ферромагнитті нанобөлшектерді алу бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулерге арналған.

Зерттеудің өзектілігі. Нанотехнологиялардың дамуы функционалды нанобөлшектердің синтез әдістерін жетілдіруге елеулі ықпал етті. Солардың ішінде ерекше назарға ие бағыттардың бірі – өздерінің магниттік, физика-химиялық және құрылымдық қасиеттерімен ерекшеленетін ферромагнитті нанобөлшектердің синтезі. Мұндай нанобөлшектер биомедициналық технологияларда, фотокатализде, ақпарат сақтау жүйелерінде, энергетикада және заманауи электрондық құрылғыларда кеңінен қолданылады.

Темір, никель және кобальт (Fe, Ni, Co) сияқты өтпелі металдарға негізделген ферромагнитті нанобөлшектер көлемдік аналогтарына немесе олардың оксидті формаларына қарағанда жоғары магниттік сипаттамаларға ие. Алайда олардың синтезі бірқатар технологиялық қиындықтармен байланысты: беткі тотығу, коррозия және агломерацияға бейімділік. Металл күйін сақтау және агломерацияны болдырмау үшін нанобөлшектерді қорғаныш қабықшасына иммобилизациялау әдістері қолданылады.

Нанобөлшектерді қорғаныш қабықшаларына иммобилизациялау осы мәселені шешудің келешегі зор ғылыми бағыты болып табылады. Углеродтық құрылымдар жоғары термиялық және химиялық тұрақтылықпен, механикалық беріктікпен және реттелген көміртекті қабықшаларды түзу қабілетімен ерекшеленеді. Иммобилизацияның қолданыстағы тәсілдері алдын ала синтезделген бөлшектерге жабын жағу (мысалы, CVD әдісі) немесе қабықшаның синтез үдерісінің өзінде қалыптасуын, соның ішінде лазерлік абляция әдісін, қамтиды. Алайда аталған тәсілдердің екеуі де өндірістік масштабқа жеткізудегі қиындықтарымен және процестің айтарлықтай технологиялық күрделілігімен шектеледі.

Сұйық ортада жүзеге асырылатын плазмохимиялық әдістің ерекшелігі — металдық нанобөлшектерді углеродтық матрицада иммобилизацияланған күйде бірсатылы, жылдам және экологиялық қауіпсіз синтездеу мүмкіндігі. Наноқұрылымдардың түзілуіне қажетті компоненттер көзі ретінде электродтардың материалы да, сұйық орта да қызмет атқарады. Бұл өтпелі

металдар (Fe, Ni, Co) электродтарын және көміртекқұрамды сұйықтықтармен бірге графит электродтарын қолдана отырып металло-көміртектік наноқұрылымдарды алуға мүмкіндік береді.

Сұйық фазадағы плазмохимиялық синтез функционалдық наноматериалдарды алудың ғылыми тұрғыдан негізделген инновациялық тәсілі болып табылады. Доғалық электрлік разряд арқылы плазма генерациясы процестің жоғары энергия тиімділігін қамтамасыз етеді және тұрақты көміртектік қабықшалардың түзілуіне қолайлы экстремалды реакциялық жағдайларды қалыптастырады. Әдіс жоғары селективтілігімен, иммобилизация дәрежесінің жоғары болуымен ерекшеленеді және құрамын басқаруға болатын наноқұрылымдарды мақсатты түрде синтездеуге мүмкіндік береді.

Аталған әдістің маңызды ғылыми артықшылықтарының бірі — Fe–Co және Co–Ni тәрізді күрделі магниттік фазаларды қамтитын көміртектік қабықшаларды синтездеу мүмкіндігі. Бұл алынатын нанобөлшектердің функционалдық қасиеттерін кеңейтуге және оларды магниттік, каталитикалық әрі биомедициналық қолданбалар үшін перспективалы етуге негіз қалайды.

Сұйық ортадағы плазмохимиялық синтездің жиынтық артықшылықтары оның жоғары ғылыми және практикалық маңыздылығын айқындайды. Осы әдіс арқылы нанобөлшектерді иммобилизациялау жөніндегі эксперименттік зерттеулер көпфункционалды материалдар синтезінің жаңа бағыттарын дамытуға ғана емес, сонымен қатар плазманың сұйық фазамен өзара әрекеттесуінің фундаменталды заңдылықтарын тереңірек түсіндіруге мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, ағынды суларды тазарту және жоғары тазалықтағы сутекті алу сияқты жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеуге алғышарт жасайды..

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: сұйық диэлектрлік ортада жүзеге асырылатын плазмохимиялық синтез әдісі арқылы көміртек матрицасында иммобилизацияланған темір мен никельдің ферромагниттік нанобөлшектерін эксперименттік тұрғыда синтездеу және олардың морфологиялық, құрылымдық және магниттік қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу объектісі: әртүрлі сұйықтықтар мен электрод түрлерін қолдана отырып, сұйық ортада плазмохимиялық синтез әдісімен алынған және көміртек матрицасына иммобилизацияланған ферромагниттік нанобөлшектер.

Зерттеу пәні: плазмохимиялық синтез әдісі арқылы сұйық ортада, атап айтқанда дистилденген су мен көміртекқұрамды сұйықтықтарда (спирт, толуол) жүзеге асырылатын, көміртек матрицасына иммобилизацияланған ферромагниттік нанобөлшектердің синтезі.

Көзделген мақсатқа қол жеткізу үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Сұйық ортада электродуғалық разряд әдісімен көміртек қабықшасына иммобилизацияланған ферромагниттік нанобөлшектерді синтездеудің оңтайлы шарттарын айқындау.

2. Дистилденген су, спирт және толуол орталарында синтезделетін нанобөлшектердің көміртек қабықшасының морфологиясы мен құрылымын зерттеу.

3. Таза және көміртек қабықшасына иммобилизацияланған ферромагниттік нанобөлшектердің магниттік қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу әдістері.

Жұмыстың мақсатына қол жеткізу және қойылған міндеттерді орындау үшін иммобилизацияланған нанобөлшектерді зерттеудің келесі әдістері қолданылды: өлшемдері мен құрылымын зерттеу әдістері, атап айтқанда аналитикалық құрал-жабдықтарды пайдалану – сканирлеуші электрондық микроскоп (Quanta 3D200i SEM FEI), оптикалық микроскоп (DM 6000M, Leica), өтімді электрондық микроскоп (TEM, JEOL JEM-1400 Plus); сондай-ақ құрылымдық сипаттамалау әдістері – комбинациялық жарық шашырау спектрометрі (Solver Spectrum, NT-MDT, лазер толқын ұзындығы 473 нм).

Жұмыстың ғылыми жаңалығы

1. 1. Деиондандырылған суда жүргізілген доғалы плазмохимиялық синтез нәтижесінде алынған металл–оксид–көміртек иммобилизацияланған нанокомпозиттерінің түзілу заңдылықтары алғаш рет анықталды. Никель мен темір әртүрлі дәрежеде металдық фазаны сақтай отырып, тұрақты сферикалық бөлшектер түзетіні, сондай-ақ көміртекті матрицаның графиттену деңгейінің разряд параметрлеріне және металдың табиғатына тікелей байланысты екені көрсетілді.

2. Никель мен темір бөлшектерінің көміртекқұрамды сұйық ортада (спирт, толуол) синтезделуі кезіндегі құрылымдық ерекшеліктері айқындалды. Толуолды сұйық орта ретінде қолдану тұрақты Ni–C және Fe–C нанокомпозиттерінің түзілуіне ықпал ететіні алғаш рет дәлелденді.

3. Ni–C және Fe–C нанокомпозиттерінің қыздыру кезіндегі магниттік сипаттамаларындағы айырмашылықтар анықталды, сондай-ақ көміртекті матрицаға иммобилизацияланған ферромагниттік бөлшектер үшін Кюри температурасының эксперименттік мәні алғаш рет алынып, когезия энергиясына негізделген теориялық модельдермен салыстырылды.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

1. Деиондандырылған суда плазмохимиялық доғалық әдіспен алынған никель мен темір негізіндегі металл–оксид–көміртек иммобилизацияланған нанокомпозиттерінің түзілуі 250–300 нм (Ni) және 29–115 нм (Fe) өлшемдегі сферикалық бөлшектердің қалыптасуымен сипатталады. Никель құрамында 56,8 ат.% мөлшеріндегі таза Ni үлесімен FCC-металдық фазаның басымдығын сақтаса, темір негізіндегі құрылымдар никельге қарағанда едәуір жоғары массалық шығым (0,08 г/мин қарсы 0,027 г/мин) көрсетеді. Сонымен қатар I_D/I_G қатынасының 0,33–0,45 (Ni) және 0,34–0,47 (Fe) дейін төмендеуі көміртекті матрицаның графиттену дәрежесінің артуын және синтезделген композиттерде құрылымның жоғары реттілігін дәлелдейді.

2. Спирт және толуол тәрізді көміртекқұрамды сұйық орталарда жүргізілген плазмохимиялық синтез никель мен темірдің иммобилизацияланған нанобөлшектерінің қалыптасуына алып келеді. Спиртте никель шамамен 0,28 мкм өлшемді бөлшектер түзеді және отжигтен кейін FCC және HCP фазаларының қатар болуын көрсетеді, ал темір шамамен 0,06 мкм өлшемдегі сферикалық нанобөлшектер түзеді, олардың құрамында

Fe_3O_4 оксидтік фазалары анықталған. Толуолда никель шамамен 0,11 мкм бөлшектер түрінде синтезделіп, уақытша Ni_3C карбидінің түзілуін және көміртекті матрицаның жоғары графиттену дәрежесін көрсетеді. Темір 10–20 нм ядролар түзіп, олардың айналасында көміртекпен ішінара инкапсуляция байқалады, ал фазалық құрамында төмен тотығу дәрежесіндегі FeO және металдық α-Fe басым болады.

3. Ni–C нанобөлшектері 196 °C дейін қыздырғанда қанығу магниттенуінің меншікті мәнін іс жүзінде өзгертпейді, ал Fe–C композиттері үшін температураның көтерілуі бұл параметрдің айтарлықтай төмендеуіне алып келеді. Тіркелген Кюри температуралары — 112 нм өлшемді Ni бөлшектері үшін 353 °C және 67 нм өлшемді Fe бөлшектері үшін 771 °C — теориялық есептеулермен толық сәйкес келеді.н көрсетеді, ал темір 10–20 нм шамасындағы көміртекпен жартылай қапталған өзектерді, негізінен төмен тотығу дәрежесіндегі FeO және металлдық α-Fe фазаларын түзеді.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы

Осы диссертациялық жұмыс аясында алынған нәтижелер іргелі әрі қолданбалы құндылыққа ие болып, плазма физикасы, материалтану, нанотехнология, химия және электроника салаларындағы халықаралық ғылыми қауымдастық үшін маңыздылығымен ерекшеленеді. Көміртек матрицасына иммобилизацияланған ферромагниттік нанобөлшектерді синтездеудің бірсатылы, технологиялық тұрғыдан жеңілдетілген және экономикалық жағынан тиімді әдісін әзірлеу және оны тәжірибелік тұрғыда негіздеу міндетті морфологиясы мен қасиеттері бар функционалдық наноматериалдарды алудың өзіндік құнын едәуір төмендетуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы алынған өтпелі металдар (Fe, Ni, Co) негізіндегі нанобөлшектерді бірқатар жоғары технологиялық бағыттарда қолдану мүмкіндігімен айқындалады. Олардың ішінде каталитикалық үдерістер ерекше орын алады, себебі мұндай нанобөлшектер қымбат асыл металдар негізіндегі катализаторларға балама ретінде қарастырылуы мүмкін. Сонымен қатар биомедициналық технологияларда — инвазивті емес биовизуализацияда, фотодинамикалық терапияда, дәрілік заттар мен генетикалық материалды нысаналы жеткізуде — қолдану әлеуеті жоғары болып табылады.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы сұйық ортада жүзеге асырылатын плазмохимиялық синтез жағдайларында ферромагниттік нанобөлшектердің өсу және қалыптасу механизмдерін зерттеумен, сондай-ақ электр доғасының параметрлері мен плазма қасиеттерінің синтезделетін наноматериалдардың морфологиясына және физика-химиялық сипаттамаларына ықпалын айқындаумен байланысты. Аталған үдерістерді талдау плазманың сұйық ортамен өзара әрекеттесуін терең түсінуге мүмкіндік береді және бөлшектерді иммобилизациялайтын көміртек наноқұрылымдарының түзілу заңдылықтары жөніндегі ғылыми түсініктерді кеңейтеді.

Мұндай зерттеулерді ұлттық деңгейде жүргізудің қажеттілігі алынған нәтижелердің кең ауқымды қолданылу мүмкіндігімен айқындалады, соның

ішінде Қазақстан үшін басым бағыттар – энергетика, электроника, нанотехнологиялар және плазмалық технологиялар салаларында. Ұсынылған тәсіл арқылы алынатын көміртек наноматериалдары ерекше маңызға ие, өйткені олар наномасштабтағы магниттік құбылыстарды, нанобөлшектер мен көміртек матрицасының өзара әрекеттесу үдерістерін, сондай-ақ иммобилизацияның магниттік және электрондық қасиеттерге әсерін зерттеуге арналған модельдік жүйелер ретінде қолданылуы мүмкін.

Алынған нәтижелердің дұрыстығы мен негізділігі диссертациялық жұмысты орындау барысында алынған эксперименттік деректермен расталады. Сонымен қатар нәтижелердің сенімділігі жоғары импакт-факторлы шетелдік ғылыми журналдарда, сондай-ақ жақын және алыс шетелдердің халықаралық ғылыми конференцияларының материалдарында жариялануымен дәлелденеді.

Автордың жеке үлесі

Алынған нанобөлшектердің синтезі мен олардың қасиеттерін зерттеу жұмыстары автордың тікелей өзімен орындалды. Зерттеу міндеттерін тұжырымдау және алынған эксперименттік нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесе жүргізілді.

Жарияланымдар

Диссертациялық жұмыс материалы бойынша Scopus және Web of Knowledge деректер базаларына кіретін журналдарда 5 мақала және ұлттық әрі халықаралық ғылыми конференцияларда 7 тезис жарияланды.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы

Нәтижелер келесі халықаралық конференцияларда баяндалды және талқыланды: «XVI Халықаралық конференция “Сутекті материалтану және көміртектік наноматериалдар химиясы” ICHMS’2019 (Киев, 2019)»,«18th series of Advanced Energy Materials conference (6-8 April,2022, Imperial College London)»,«Ресей нанотехнологиялық қоғамының X жыл сайынғы конференциясы (2019)», «Ресей нанотехнологиялық қоғамының XI жыл сайынғы конференциясы (2020)»,IV Халықаралық конференция «Инновациялық энергетика үшін функционалдық материалдар — ФМIE-2023» (Киев, Украина), Студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы «Фараби әлемі», Алматы, Қазақстан, 2022 жылғы 6–8 сәуір, Студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы «Фараби әлемі», Алматы, Қазақстан, 2019 жылғы 6–9 сәуір, «Сәтбаев оқулары: Инновациялық технологиялар – ҚР экономикасының кен-металлургия және мұнай-газ секторларындағы іргелі және қолданбалы міндеттерді табысты шешудің кілті», халықаралық конференция, Алматы, Қазақстан, 2019 жылғы сәуір, Студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы «Фараби әлемі», Алматы, Қазақстан, 2024 жылғы 6–9 сәуір.

Диссертация тақырыбының ғылыми-зерттеу жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс AP09260730 нөмірлі «Плазмохимиялық әдіспен алынған композициялық нанобөлшектер негізінде сутегіні генерациялау» атты ғылыми-зерттеу жобасының жоспарына сәйкес орындалды.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы

Диссертациялық жұмыс шартты белгілер мен қысқартулар тізімін, кіріспені, үш бөлімнен тұратын негізгі мазмұнды, қорытындыны және әдебиеттер тізімін қамтиды. Жұмыс 106 бет көлемінде ұсынылған, 51 сурет, 8 кесте және 180 библиографиялық дереккөзді қамтиды.