

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө. А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Меркаримов Алихан Муратканович

Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магнитті талшықтарын
алу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө. А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«МНЖИФ» кафедрасының
меңгерушісі Т.Ғ.Қ.

У.Қ. Какимов

2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу»

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

Орындаған

Меркаримов А.М.

Пікір беруші:

Ғылыми жетекші:

PhD докторы,

PhD докторы,

«Көміртекті наноматериалдар»

«ЖФ» кафедрасының меңгерушісі

зертханасының меңгерушісі

А.Б.Лесбаев

ШЖҚ РМК «Жаңу Проблемалары

Институты

Т.О. Досжанов

«30»

мамыр 2022 ж.

«13» мамыр 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ө. А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

БЕКІТЕМІН
«МНЖИФ» кафедрасының
меңгерушісі т.ғ.к.

У.К. Какимов
«24» желтоқсан 2022 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Меркаримов Алихан Муратканович

Тақырыбы: «Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу»

Университет ректорының «24» желтоқсан 2021 ж. №489-П/Ө бұйырығымен бекітілген Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «23» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

Жұмыс электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу процесін тәжірибелік зерттеулерге арналған.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

а) электроспиннинг әдісі; қолданылу аясы;

б) электроспиннинг әдісімен ПММА магнитті талшықтарын алу;

в) алынған композициялық талшықтар мен магнитті нанобөлшектерді сканерлеуші электронды микроскопта зерттеу және талдау.

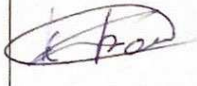
Графикалық материалдың тізбесі (міндетті сызбаларды нақты көрсете отырып)
17 сурет

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдер	Ескертулер
Әдеби шолу	26.01.22 – 06.03.22	
Тәжірибелік бөлім	14.03.22 – 25.04.22	
Дипломдық жұмысты алдын – ала қорғау	23.05.22	

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының
аяқталған жұмысқа қойған **қолтаңбалары**

(жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлім атауы	Кеңесшілер, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Әдеби шолу	А.Б.Лесбаев, PhD докторы	30/04/22	
Тәжірибелік жұмыстар	Б.Б.Қайдар, Жану проблемалар институтының ғылыми қызметкері	30/05/22	
Нормоконтроль	А.Б.Телешева, PhD докторы	3.06.2022	

Ғылыми жетекші



Лесбаев А.Б.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Меркаримов А.М.

Күні «26» сәуір 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

(жұмыс түрінің атауы)

Меркаримов Алихан Муратканович

(білім алушының Т.А.Ә.)

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»

(мамандық шифры, атауы)

Тақырыбы: «Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу»

Аяқталды:

А) графикалық бөлімі __ кестеден;

В) түсініктеме қағаз __ беттен тұрады.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС БОЙЫНША ЕСКЕРТУЛЕР

Дипломдық жұмыс тапсырма бойынша толық орындалған. Тәжірибелік жұмыста химиялық тұндыру әдісімен магнетит нанобөлшектерін Fe_3O_4 ала отырып, электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алуы мен зерттеулері қарастырылған. Бұл мақсатқа жету үшін студент ШЖҚ РМК «Жану Проблемалар Институты» ғылыми зерттеу институтында электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу үшін магнетит синтезін жүргізді. Магниттелген полимерлі наноталшықтарға жалпы шолу жұмысына, алынған материалды сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) зерттеулер негізінде, тәжірибелік жұмысына талдау жақсы жасалған.

Сонымен қатар, Меркаримов Алиханның жұмысында тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде алынған талшықтар нанометрлік өлшемдерге тән және наноталшықтардың мөлшерлері 70-160 нм екеніне куәландым.

Жұмысты бағалау

Дипломдық жұмысты қорғауға ұсынылған Меркаримов Алиханның «Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магниттік талшықтарын алу» тақырыбына орындалған дипломдық жұмысын 97% бағалап, бакалавр дәрежесін алуға лайық деп есептеймін.

Пікір беруші:

РГП «Институт Проблем Горения» ✓

Көміртекті наноматериалдар зерханасының меңгерушісі, PhD докторы

(қолы) Досжанов Ерлан Османович

(қолы)

«30» мамыр 2022 ж.

КазНИГУ 706-1



Ғылыми жетекшінің пікірі

Дипломдық жұмыс

(жұмыс түрінің атауы)

Меркаримов Алихан Муратканович

(білім алушының Т.А.Ә.)

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»

(мамандық шифры, атауы)

Тақырыбы: «Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магнитті талшықтарын алу»

Дипломдық жұмыс тапсырма бойынша толық орындалған. Тәжірибелік жұмыста химиялық тұндыру әдісімен магнетит нанобөлшектерін Fe_3O_4 , ПММА-ка қосу арқылы, электроспиннинг әдісімен полимерлі магниттік талшықтарын ала отырып зерттеу қарастырылған. Бұл мақсатқа жету үшін студент ШЖҚ РМК «Жану Проблемалары Институты» ғылыми мекемесінде химиялық тұндыру әдісімен магнетит нанобөлшектерінің Fe_3O_4 синтезін жүргізді. Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магнитті талшықтарын алу жұмысына жалпы шолу; 1) алынған материалды сканерлеуші электрондық микроскоп (СЭМ) зерттеулер негізінде; тәжірибелік жұмысына талдау жақсы жасалды.

Сонымен қатар, Меркаримов Алиханның жұмысында тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде алынған наноталшықтардағы бөлшектер нанометрлік өлшемдерге тән.

Қорғауға ұсынылған дипломдық жұмысқа байланысты Меркаримов Алихан Муратканович дайындық деңгейін дәлелдейді. Дипломдық жұмысы қойылған талаптарға сай, қойылған мақсаты орындалған, «95»-деген бағаға лайық зерттеу жұмысы деп есептеймін. Осыған байланысты Меркаримов А. М. 5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы бойынша «бакалавр» академиялық дәрежесін ашық түрде қорғағаннан кейін беруге болады және қорғауға жіберіледі.

Ғылыми жетекші

PhD докторы, «ЖФ» кафедрасының меңгерушісі

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

Лесбаев А.Б

(колы)

(Т. А. Ә.)

« » мамыр 2022 ж.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс кіріспеден және 4 тараудан, 36 беттен, 27 пайдаланылған әдебиет көздерінен тұрады.

Жұмыс мақсаты

Дипломдық жұмыстың мақсаты электроспиннинг әдісімен ПММА магниттік талшықтарын алу болды.

Дипломдық жұмыстың мақсатына сәйкес келесі міндеттер қойылды:

1 Электроспиннинг әдісімен құрылымдық және физикалық-химиялық қасиеттері бар берілген өлшемдегі магнетитті қоса отырып, ПММА магниттік талшықтарын синтездеу процесін пысықтау.

2 Электроспиннинг арқылы ПММА талшықтарының үлгілерін алу.

3 Электроспиннинг арқылы алынған ПММА магниттік наноталшықтардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.

Зерттеу объектісі

Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың наноталшықтарын алу.

Зерттеу пәні

ПММА наноталшықтарының құрылымдық қасиеттері, морфологиясы және фазалық құрамы.

Зерттеу әдістері

Теориялық талдау, практикалық зерттеу, әдебиеттерді зерттеу, бақылау.

Ғылыми жаңалық

Магнетит нанобөлшектері қосылған полимерлі наноталшықтар электромагнитті құрылғылардың өнімдерін, сондай-ақ әскери техниканың құрылғыларын жетілдіруде қолданыла алады. Алынған магниттік талшықтар, тоқыма өнеркәсібінде әртүрлі сәулеленулерден қорғайтын киім жасау үшін де, сүзгілерде қолданылатын аз мөлшерде магниттік материалдар жасау үшін де қолдануға болады.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 36 страниц, 27 использованных источников литературы, работа состоит из введения и 4 глав.

Цель работы

Целью дипломной работы было получение магнитных волокон ПММА методом электроспиннинга.

В соответствии с целью дипломной работы были поставлены следующие задачи:

1 Отработка процесса синтеза магнитных волокон ПММА методом электроспиннинга с добавлением магнетита заданного размера, со структурными и физико-химическими свойствами.

2 Получение образцов волокон ПММА посредством электроспиннинга.

3 Исследование структурных свойств магнитных нановолокон ПММА, полученных электроспиннингом.

Объект исследования

Нановолокна полиметилметакрилата, полученные методом электроспиннинга.

Предмет исследования

Структурные свойства, морфология и фазовый состав нановолокон ПММА.

Методы исследования

Теоретический анализ, практическое исследование, изучение литературы, наблюдение.

Научная новизна

Полученные полимерные нановолокна с добавками наночастиц магнетита, можно использовать при усовершенствовании изделий электромагнитных устройств, а также устройств военной техники. Получены магнитные волокна, которые можно использовать как в текстильной промышленности для создания защитной одежды от различных излучений, так и для изготовления магнитных материалов в малых размерах при использовании в фильтрах.

ABSTRACT

The graduation project 4 chapters, 36 pages, 27 used literature sources.

Purpose of the work

The purpose of the thesis was to obtain magnetic fibers of PMMA by electrospinning.

In accordance with the purpose of the thesis, the following tasks were set:

1 Development of the process of synthesis of magnetic fibers of PMMA by electrospinning with the addition of magnetite of a given size, with structural and physico-chemical properties.

2 Obtaining samples of PMMA fibers by electrospinning.

3 Investigation of the structural properties of magnetic nanofibers of PMMA obtained by electrospinning.

The object of the study

Polymethylmethacrylate nanofibers obtained by electrospinning.

Subject of research

Structural properties, morphology and phase composition of PMMA nanofibers.

Research methods

Theoretical analysis, practical research, literature study, observation.

Scientific novelty

The resulting polymer nanowires with additives of magnetite nanoparticles can be used to improve the products of electromagnetic devices, as well as devices of military equipment. Magnetic fibers have been obtained, which can be used both in the textile industry to create protective clothing against various radiation, and for the manufacture of magnetic materials in small sizes when used in filters.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
1	ӘДЕБИ ШОЛУ	11
1.1	Нанобөлшектер және оларға негізделген материалдар (анықтамалар)	11
1.2	Магнитті нанобөлшектер мен наноматериалдарды алу әдістері	13
1.2.1	Наноматериалдар синтезі	13
1.2.2	Зол-гель әдісі	13
1.2.3	Сұйық фазалық жану әдісі	17
1.2.4	Химиялық конденсация әдісі	17
1.2.5	Электроспиннинг әдісі	18
1.2.6	Схемалық диаграмма, процестің негізгі кезеңдері мен параметрлері	19
1.3	Магнетит және оның қасиеттері	24
1.4	Полиметилметакрилат(ПММА) және оның қасиеттері	26
2	ЭКСПЕРИМЕНТТІК БӨЛІМ	28
2.1	Химиялық конденсация әдісімен магнетит синтезі	28
2.2	Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магнитті талшықтарын алу	29
3	НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУЛАР	31
3.1	Электрондық микроскопиямен жұмыс (СЭМ)	31
4	ҚОРЫТЫНДЫ	33
	ТЕРМИНДЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ	34
	ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	35

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта жаһандық ғылыми қоғамдастықта "нанотехнология" терминінің бастапқы анықтамасына жеке атомдар мен молекулалар деңгейінде заттарды құруға, басқаруға және басқаруға болатын болжамды қабілет жатады. Бұл теориялық қабілетті 1959 жылы физик Ричард Фейнман ұсынған.

Наноматериалдардың, нанокұрылымдардың, сондай-ақ нанокұрылымдардың жалпыға бірдей танылған критерийіне сәйкес зерттелетін объектілердің өлшемдерінің бірі 100 нм-ден аспайтын «<100 нм» критерийі болып табылады. Мұндай критерийді академиялық ортада критерий объектінің мөлшерінің оның негізгі физикалық немесе химиялық қасиеттеріне әсер ететіндігімен түсіндіруге болады: тыйым салынған аймақтың ені, заряд тасымалдаушылардың қозғалғыштығы, магниттік реттеу түрі, электронды тығыздықтың таралуы және тағы басқа. Коммерциялық ортада критерий объектінің өлшемінің өнімнің тұтынушылық қасиеттеріне – гидрофобтыққа, электр өткізгіштікке, механикалық беріктікке әсер етеді, олар объектінің беткі энергиясымен, оның бетінің морфологиясымен немесе концентрациясымен және ақаулардың түрімен байланысты. Наномөлшерге көшу магниттік материалдар ғылымында жаңа бағыттың қалыптасуына әкелді. Магниттік наноматериалдардың құрамы, құрылымы және қасиеттері әр түрлі болады және бастапқы материалдарға, синтез әдістеріне және оларды шешуге бағытталған практикалық міндеттерге байланысты болады. Көбінесе магниттік наноматериалдар Ni, Co және Fe-ден синтезделеді. Сонымен қатар, магниттік наноматериалдардың ішінде Fe негізіндегі қосылыстар, әсіресе Fe₃O₄ магнетиті жетекші орын алады.

Наноматериалдардың геометриялық және құрылымдық сипаттамалары бойынша жіктелуіне сәйкес магниттік наноматериалдардың 0D (zerodimensional, нольмер) құрылымы болуы мүмкін — магниттік нанобөлшектер мен нанобөлшектер.

Бір өлшемді (1D) нанокұрылымдық материалдар, мысалы, наноталшықтар, нанотүтікшелер және наноөзектер олардың ерекше физикалық және химиялық сипаттамаларына байланысты үлкен назар аударды. Осы нанокұрылымдық материалдардың ішінде наноталшықтар кеуектіліктің жоғары коэффициенті, бетінің көлемге қатынасы, синтез процесінің бақылануы сияқты ерекше қасиеттерге байланысты зерттеулердің басты бағыты болды.

Қазіргі уақытта наноталшықтарды алудың көптеген әдістері бар. Осындай әдістердің бірі-электроспиннинг, ол аппараттық құралдың қарапайымдылығы, масштабтау мүмкіндігі және жоғары тиімділігі үшін өзін дәлелдеді. Бұл әдіс талшықтарды өндіруде ең перспективті және жиі қолданылатын әдістердің бірі болып табылады.

Электроспиннинг әдісімен талшықтарды қолдану саласы. Биомедицина саласындағы негізгі зерттеулердің бірі-дәрі-дәрмектерді жеткізу. Электроспиннинг әдісімен алынған талшықтар терапиялық агентті капсулалауға

көмектеседі, сонымен қатар дәрілік зат молекулаларының тұтастығы мен биологиялық белсенділігін сақтайды.

Сүзгі материалдары ретінде қолданылатын талшықтар жоғары сүзу тиімділігі және төмен ауа кедергісімен сипатталады. Сүзгі материалдарын өндірудегі маңызды мәселелердің бірі-талшықтардың диаметрі, өйткені сүзу тиімділігі сүзгіні құрайтын талшықтың жұқа болуына тікелей байланысты. Сүзгілердің негізгі міндеті-зиянды бөлшектерді субмикрон ауқымында және одан аз сақтау [1]. Беткі қабаттың көлемге жоғары қатынасы және бетінің жоғары когезиясы арқасында $<0,5$ мм құрайтын ұсақ бөлшектерді электроспиннингтік наноталшықты құрылымға оңай түсіруге болады. Талшықтары электроспиннинг әдісімен алынған сүзгі материалдарының ең ірі өндірушісі Freudenberg Nonwovens компаниясы болып табылады, ол нарықта 20 жылдан астам уақыт бойы жұмыс істеп келеді [2].

Сүзу тиімділігін одан әрі арттыру үшін полимерлі нанофилдерді қысымды төмендетпестен бөлшектерді тарту үшін электростатикалық зарядтауға болады. Электр айналдыру процесінде зарядталған талшықтарды бір сатыда алуға болады, өйткені наноталшық синтезі мен заряды параллель жүруі мүмкін [3].

Магниттік нанобөлшектерді полимерлі талшықтардың құрылымына енгізу үшін электроспиннинг әдісін қолдану электромагниттік сәулеленуден қорғайтын материалдардың бірлескен құрылысына жаңа мүмкіндіктер ашады. Электроспиннинг әдісі кез-келген еритін немесе балқитын полимерді қолдануға мүмкіндік береді. Осының арқасында электромагниттік сәулеленуден қорғайтын киім жасауға болады. Шынында да, қазіргі уақытта денені қорғау үшін металл маталардан және радио сіңіретін материалдардан жасалған киім қолданылады[4]. Бұл киім өте ыңғайсыз және электр тогын өткізеді, бұл төтенше жағдайларда жөндеу және жөндеу жұмыстары үшін кез-келген жағдайда пайдалануға мүмкіндік бермейді. Электроспиннинг әдісімен алынған полимерлі талшықтар қорғаныс қасиеттері бар диэлектрлік киім жасауға мүмкіндік береді [5].

1 ТЕОРИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1.1 Нанобөлшектер және оларға негізделген материалдар (анықтамалар)

Ең алдымен, наноөлшемді объектілерге қатысты жалпы ұғымдар беру керек.

Нанотехнология-бұл жеке нано объектілермен де, оларға негізделген материалдармен де, құрылғылармен де, нанометр ауқымында жүретін процестермен де айналысатын технология.

Нанообъект-бұл физикалық объект, ол қасиеттері бойынша тиісті массивтік материалдан өте ерекшеленеді және ол кемінде бір өлшемге ие (100 нм-ден аспайды).

Наноматериалдарға физикалық сипаттамалары олардың құрамындағы нанообъектілермен анықталатын материалдар жатады. Наноматериалдар ықшам материалдар мен нанодисперстерге бөлінеді. Ықшам деп аталатын "нанокұрылымды" материалдар, яғни құрылымның қайталанатын элементтері нанометрлік өлшемдердің өзара байланысатын объектілері болып табылатын макроқұрамдағы изотропты материалдар. Алғашқы материалдардан айырмашылығы, нанодисперсиялар біркелкі дисперсиялық ортадан (вакуум, газ, қатты немесе сұйық) және осы ортада таратылған және бір-бірінен оқшауланған наноөлшемді қосындылардан тұрады. Мұндай дисперсиялардағы нано объектілер арасындағы қашықтық ондаған нанометрлерден нанометрдің үлестеріне дейін жеткілікті кең шектерде өзгеруі мүмкін. Соңғы жағдайда біз нано ұнтақтармен айналысамыз, олардың дәндері олардың агрегациясына кедергі келтіретін жеңіл атомдардың жұқа (моноатомды) қабаттарымен бөлінеді.

Нанобөлшек-бұл нөлдік (0D) нанообъект, оның сызықтық масштабтары бір өлшемге ие болады (100 нм-ден аспайды). Нанобөлшектер қасиеттері бойынша үлкен бөлшектерден түбегейлі ерекшеленуі мүмкін, мысалы, ультра дисперсті ұнтақтардан дән мөлшері 0,5 мкм және одан жоғары. Әдетте, нанобөлшектер тік пішінді болады. Атомдардың (немесе иондардың) реттелген орналасуы байқалатын нанобөлшектерді нанокристаллиттер деп атайды. Электрондық энергия деңгейлері жүйесінің айқын дискреттілігі бар нанобөлшектерді көбінесе "кванттық нүктелер" деп атайды.

"Кластер" - өткен жылдары химия әдебиетінде кеңінен қолданылған, бұл термин қазіргі уақытта өлшемдері 1 нм-ден аспайтын шағын нанобөлшектерге қатысты синоним ретінде қолданылады. Яғни, "нанокластер" термині артық, өйткені барлық кластерлерде нано өлшемдері бар.

Бір өлшемді (1D) нанообъектілерге наноөзектер мен нанопроволоктар (nanorods, nanowires) жатады. Мұндай жүйелерде бір өлшем нанодиапазонда орналасқан басқа екі өлшемнен үлкен болады. Атап айтқанда, "кванттық сымдар" сияқты қызықты нанокұрылымдар осы сыныпқа жатады.

Екі өлшемді (2D) нысандарға планарлық құрылымдар-жұқа пленкалы магниттік құрылымдар, нанодисктер, магниттік нанобөлшектердің қабаттары

және басқалары жатады, оларда екі өлшем нанодиапазонда орналасқан үшінші өлшемнен үлкенірек болады.

Наноматериалдардың барлық осы түрлерін осы жұмысты қарастыруға арналған әмбебап және химиялық синтез әдістерімен алуға болады.

1.2 Нанобөлшектер мен наноматериалдарды алу әдістері

Қазіргі уақытта нанобөлшектерді алудың бірқатар жалпы әдістері жасалды. Көптеген әдістерді магниттік бөлшектерді алу үшін қолдануға болады. Магниттік бөлшектерді өндірудің маңызды ерекшелігі-берілген мөлшер мен пішіндегі бөлшектердің синтезі (өлшемнің таралуы 5-10% болуы керек, яғни кішкентай) және басқаруға және бақылауға болады. Пішінді бақылау және анизотропты магниттік құрылымдарды алу мүмкіндігі өте маңызды. Бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесуді едәуір азайту (немесе алып тастау) үшін көптеген жағдайларда магниттік нанобөлшектерді тасымалдаушылардың бетіне немесе тұрақтандырушы инертті матрицаның көлеміне иммобилизациялау арқылы бір-бірінен оқшаулау қажет. Матрицадағы бөлшектер арасындағы қашықтықты реттей білу маңызды. Наномөлшерде материалдардың физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттері кванттық шектеулерге байланысты олардың тиісті көлемдік аналогтарынан түбегейлі және жиі күтпеген жерден бөлінетіні белгілі. Мысалы, нанобөлшектердің мөлшері бар қатты заттарды дәстүрлі әдістермен алу мүмкін емес, өйткені реактивтер атомдық масштабта араласпайды.

Сайып келгенде, синтездің практикалық әдісі арзан, салыстырмалы түрде қарапайым және қайталанатын зерттеу нәтижелерін беруі керек.

1.2.1 Наноматериалдар синтезі

Гидротермальды синтез [6] - бір фазалы/көп фазалы металл оксидтерін/жартылай өткізгіштерді олардың тиісті біртекті/гетерогенді ерітіндісінен тікелей тұндыру үшін қолданылатын белгілі әдістердің бірі. Гидротермальды синтез-бұл бірнеше алу үшін қолайлы бір сатылы процесс бір немесе көп фазалы оксидтер мен фосфаттар (қарапайымдылығы мен әмбебаптығына байланысты гидротермальды синтез изумруд, рубин, кварцтан александритке дейін жалғыз кристаллдарды өсіру үшін де қолданылады). Бұл әдіс сонымен қатар наноматериалдарды энергияны өндіру және қоршаған ортаны қорғау үшін, сенсублизацияланған күн элементтерінен бастап катализге дейін қолданылады.

1.2.2 Золь-гель әдісі

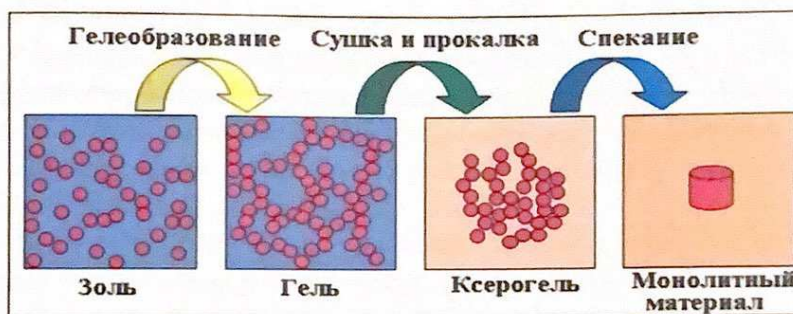
Золь-гель әдісі-наноматериалдарды алудың әртүрлі әдісі. Бұл әдіс алдымен күлді алып, содан кейін күлді гелге ауыстыруға негізделген. "Золь" бөлігінің атауы, басқаша айтқанда, қосылысты алу үшін "коллоидты ерітінді" деп аталады. Ол тиісті лигандтармен (гель) қоршалған металдан немесе металлоидтан тұрады. Бұл процесс көптеген нанокристалды металл оксидтерінің, қорытпалардың және Композиттердің пайда болуына әкеледі. Сол жақ гель синтезі процестің параметрлерін бақылауды қамтамасыз етеді, бұл әртүрлі металл оксидтерін синтездеуге әкеледі. Золь-гель процесі өткен ғасырдың ортасында әртүрлі

оптикалық жабындарды өнеркәсіптік өндірудің тиімді әдісі ретінде кеңінен қолданылды [7]

Золь-гель әдісін қолдана отырып, торлары ретсіз немесе біркелкі емес кеуекті құрылымдық заттарды, нано жабындарды, монокристалл және талшықты құрылымдарды алуға болады.

Материалдарды алу әдісінің негізі бастапқы компоненттердің ерітінділерінен гельдердің пайда болуының физика-химиялық процестері болып табылады.

Золь - гель синтезінің әртүрлі сатыларындағы материал құрылымының эволюциясын суреттейтін схема келтірілген (1-сурет).



1 Сурет - Золь-гель синтезі процесінде материалдың эволюциясын суреттейтін схема [7]

Белгілі болғандай [7-9], сол гель әдісі келесі маңызды кезеңдерді қамтиды:

1) Коллоидты ерітінді жасау (золь).

Сұйық коллоидты химиялық синтез әдістері түзілетін бөлшектердің химиялық құрамына байланысты түбегейлі маңызды шектеулерге ие. Бұл әдісті сұйық фазада ерігіштігі төмен химиялық заттардың нанобөлшектерін қалыптастыру үшін қолданған дұрыс. Су ерітінділері үшін мұндай заттардың мысалы кремний қышқылы (кремний нанобөлшектері пайда болады), әртүрлі металдардың гидроксидтері, ауыр металдардың халькогенидтері.

Коллоидтық химияның классикалық идеяларына сәйкес [10] нанобөлшектердің пайда болуының бірінші кезеңі-сыни өлшемнен асатын жаңа фазалық эмбриондардың ерітінділерінде пайда болу. Жаңа фазаның эмбриондарын қалыптастыру үшін ерітінді қаныққан компонент болуы керек, яғни оның концентрациясы ерігіштік шегінен асып кетеді. Эмбриондардың түзілу процесінің жылдамдығы S -нің салыстырмалы түрде қанықтылығына тура пропорционал және оны формуламен білдіруге болады [11]:

$$v = k \cdot S = k \cdot (C_{\text{спер}} - C_{\text{нас}}) / C_{\text{нас}} \quad (1)$$

мұндағы k – пропорционалдық коэффициенті;

$C_{\text{нас}}$ – қаныққан ерітіндінің концентрациясы;

$C_{\text{спер}}$ – қаныққан ерітіндінің концентрациясы.

Жаңа фазаның қалыптасуындағы жүйенің Гиббс бос энергиясының өзгеруі теңдеумен көрінеді [10]:

$$\Delta G = -\frac{4\pi r^3}{v} k_B T \ln S + 4\pi r^2 \gamma \quad (2)$$

мұндағы V - жаңа фазаның молекулалық көлемі;

r – эмбрионның радиусы;

k_B – Больцман тұрақтысы;

γ – меншікті беттік энергия.

Теңдеудің оң жағындағы бірінші термин (2) Химиялық (көлемдік) компонентке байланысты жүйенің энергиясының төмендеуін көрсетеді және оның мәні үшінші дәрежеде эмбрионның радиусына байланысты болады. Екінші термин пайда болған бөлшек пен оның айналасындағы ерітінді арасындағы жаңа интерфейсті қалыптастыруға жұмсалған жұмыстармен байланысты.

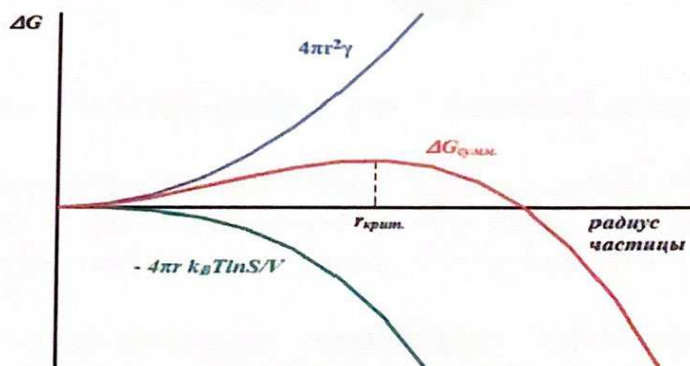
(2) теңдеуіне сәйкес Гиббс бос энергиясының жалпы өзгеруінің эмбрион радиусына тәуелділігі монотонды емес.

2-суретте ерітіндіде жаңа фазалық эмбрионның пайда болуының энергетикалық тосқауылының пайда болу графигі көрсетілген.

Ерітіндіде микробтардың бөлшектері пайда болғаннан кейін олардың өсуі тікелей ерітіндіден заттың қосымша мөлшерін қосу арқылы немесе артық беттік энергиясы бар ұсақ бөлшектердің еруі арқылы жүреді. Бөлшектердің өсу процестерін ерітіндінің химиялық құрамы мен рН өзгеруімен, сондай-ақ арнайы химиялық қоспаларды енгізумен басқаруға болады.

2) Гельдің пайда болуы.

Коллоидты ерітіндіден гель түзілуіне оның тұрақсыздануы, әдетте коллоидты ерітіндінің рН-ын өзгерту арқылы қол жеткізіледі. Гель пайда болған кезде бөлшектердің көлемді торы пайда болады және ерітінді сұйықтықты жоғалтады. Золадан гельге өту ұзақтығы процестің шарттарымен анықталады және бірнеше секундтан бірнеше айға дейін болуы мүмкін.



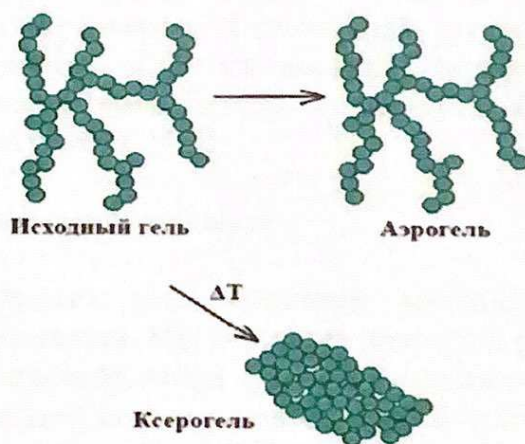
2 Сурет - Гиббс бос энергиясының ерітіндіде пайда болатын эмбриондардың радиусына тәуелділігі [7]

3) Гельді кептіру (синерезис).

Гельдерді кептіру процесі оның торын құрайтын бөлшектер арасындағы кеңістікті толтыратын сұйықтықты алып тастаудан тұрады. Бұл кезеңде бастапқы механикалық нәзік шикі гель үлкен шөгуге ұшырайды және қатты дененің қасиеттерін алады. Монолитті материалдарды синтездеу кезінде кептіру процестің маңызды кезеңі болып табылады, кептірілген монолитті геледе үлкен кернеулер пайда болады, монолитті үлгілердің жарылуы мен бұзылуы орын алады. Нәтижесінде, кептіру процесінде монолитті гелдің эволюциясын сипаттайтын теориялық сән - лерді құру үшін қарқынды зерттеулер жүргізілуде [12], материал эволюциясын сипаттайтын физика-химиялық механизмдерді зерттеу [13,14], содан кейін ақаусыз монолитті үлгілерді алуды қамтамасыз ететін практикалық технологиялық әдістерді жасау [15].

Гельді термоөңдеу және оны күйдіру.

Бастапқы компоненттердің қалдықтарын кетіру және материал құрылымын нығайту үшін кептірілген гелдер температураның баяу жоғарылауымен термиялық өңдеуден өтеді. Ауа гелі пайда болады. Термоөңдеу процесі сол гелді материалдың жарылып кетуіне жол бермеу үшін температураның кенеттен өзгеруін болдырмауы керек. Процестің нәтижесі – берік құрылымы бар өнім-ксеро-гель. (3 - сурет)



3 Сурет – Гель құрылымды тордан сұйықтықтың жоғалуы [7]

Әдістің артықшылығы-бұл әдіс технологиялық, қол жетімді, бөлшектердің таралуын, мөлшерін және тұрақтылығын реттей алады. Алынған бастапқы наноматериал жоғары температураға төзімді, тозуға төзімді, берік және басқа да ерекше қасиеттерге ие.

Әдістің кемшіліктері-алынған бөлшектердің монодисперсивтілігінің болмауы, өнімдердің жоғары (70% дейін) шөгуі, анизотропты бөлшектерді алу мүмкін еместігі, кеңістіктік реттелген құрылымдардың синтезіне қол жеткізілмеуі.

Осы әдіспен алынған наноматериалдар кеңінен қолданылады, мысалы: сорбенттер, катализаторлар, синтетикалық цеолиттер, керамика, байланыстырғыштар, ерекше қасиеттері бар әйнек синтезі.

1.2.3 Сұйық фазалық жану әдісі

Сұйық фазалық жану әдісі оңай жүзеге асырылады, оның артықшылығы жылдамдық пен энергияны үнемдеу болып табылады. Бұл процесс әртүрлі материалдардың нанобөлшектерінің жоғары таза және біртекті ұнтақтарын өндіруде қолданылады. Бұл әдіс нанобөлшектердің кең ауқымын, соның ішінде көптеген нанометрлік металл оксидтерінің ұнтақтарын синтездеу үшін әмбебап болып табылады. Сұйық фазалық жану арқылы синтездеу кезінде нитраттар, тұздар, металл сульфаттары мен карбонаттар тотықтырғыш және тотықсыздандырғыш реагенттер ретінде, отын ретінде глицин, сахароза және басқа суда еритін көмірсулар қолданылады. Синтезделген ұнтақ, әдетте, металл оксидтерінің қосындысы болып табылады және бір фазалы өнімдерді шығару үшін кейінгі өңдеуді қажет етеді.

Сұйық фазалық жану әдісіне қыздыру реакциясымен бастамашылық еткен қағидатына негізделген, содан кейін өзін-өзі қамтамасыз ететін экзотермиялық реакция нәтижесінде ұнтақ түрінде соңғы өнім пайда болады. Бұл әдістің артықшылығы-біртекті ультра дисперсті ұнтақтарды тез өндіру мүмкіндігі. Бұл экзотермиялық процесс жоғары жылу жылдамдығымен бірге жүретіндіктен, ол жарылғыш болып табылады және белгілі бір қауіпсіздік шараларын сақтау арқылы жүзеге асырылуы керек.

1.2.4 Химиялық конденсация әдісі

Химиялық конденсация әдісі қаныққан ерітіндіден жаңа фазаның конденсациялануына негізделген. Бұл жағдайда дисперсті фазаны құрайтын зат химиялық реакция нәтижесінде пайда болады. Коллоидты ерітінділерді осы әдіспен алу үшін ерітіндідегі заттың концентрациясы ерігіштіктен асып кетуі керек, яғни.ерітінді қаныққан болуы керек. химиялық конденсация әдісі қаныққан ерітіндіден жаңа фазаның конденсациялық шығарылуына негізделген. Бұл жағдайда дисперсті фазаны құрайтын зат химиялық реакция нәтижесінде пайда болады. Коллоидты ерітінділерді осы әдіспен алу үшін ерітіндідегі заттың концентрациясы ерігіштіктен асып кетуі керек, яғни.ерітінді қаныққан болуы керек.

Ерімейтін заттар түзілетін химиялық реакциялар (гидролиз, тотығу, тотықсыздану, қос алмасу реакциялары) нәтижесінде коллоидты ерітінділерді алу химиялық конденсацияға жатады. Тұрақтандырғыш әдетте реактивті заттардың бірі болып табылады. Алынған бөлшектердің мөлшері конденсация процесінің шарттарына-бір уақытта жүретін процестердің жылдамдығы арасындағы арақатынасқа байланысты: эмбриондардың пайда болуы және олардың өсуі.

Коллоидты ерітінді пайда болып, тұнба пайда болмас үшін эмбриондардың пайда болу жылдамдығы олардың өсу жылдамдығынан жоғары болуы керек. Бұған бір реактивтің жеткілікті концентрацияланған ерітіндісін басқа реактивтің өте сұйылтылған ерітіндісіне енгізу арқылы қол жеткізіледі. Сонымен қатар, бірінші заттың жоғары концентрациясы эмбриондардың қажетті қанықтылығы мен жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді, ал екінші заттың аз шоғырлануы сұйылтылған ерітіндіден баяу диффузияға байланысты пайда болған эмбриондардың өсу қарқынын шектейді.

Химиялық конденсация әдісімен наноматериалдарды синтездеу синтез процесінде нанобөлшектердің санын бақылауға мүмкіндік береді. Магнетит нанобөлшектерін химиялық тұндырумен синтездеу мысалындағы әдіс принципі екі немесе үш валентті темір тұздарының сілтілік ортаға енуіне негізделген.

Fe_3O_4 -ті шпинель құрылымымен синтездеудің ең көп таралған әдістері-бұл гидроксидтерді темір тұздарының ерітіндісіне қосу арқылы сулы ерітіндіде тұндыру, сонымен қатар тұрақтандырғыштардың қатысуымен қайнаған органикалық қоспаларда темірдің органометалл қосылыстарын термиялық ыдыратуды қамтиды.

Осылайша, химиялық реакция барысында коллоидты ерітінділердің түзілуі үшін мынадай қажетті шарттарды тұжырымдауға болады: 1) реакция нәтижесінде аз еритін қосылыс түзілуі тиіс (жаңа Фаза – агрегат затының шамадан тыс қанықтылығы мен бөлінуі қамтамасыз етіледі); 2) жоғары концентрациясы бар ерітінді аз концентрациясы бар ерітіндіге қосылады (бөлшектердің өсуін шектеу салдарынан дисперсияның қажетті дәрежесіне және кинетикалық тұрақтылыққа қол жеткізіледі); 3) Реактивтердің біреуінің шамадан тыс артық болуы қажет (тұрақтандырғыш рөлін атқаратын электролит бөлшектердің бетінде қос электр қабатын түзеді және олардың агрегативті тұрақтылығын қамтамасыз етеді); 4) сыртқы электролиттердің болуы және реагенттің көп болуы (коагуляцияның алдын алу үшін) қолайсыз.

Химиялық конденсация әдісінің басты артықшылығы-реагенттердің химиялық құрамының өзгеруі, ортаның рН және температура нанобөлшектерді олардың құрылымдық, өлшемді, морфологиялық және магниттік қасиеттерін реттеу арқылы синтездеуге болады.

1.2.5 Электроспиннинг әдісі

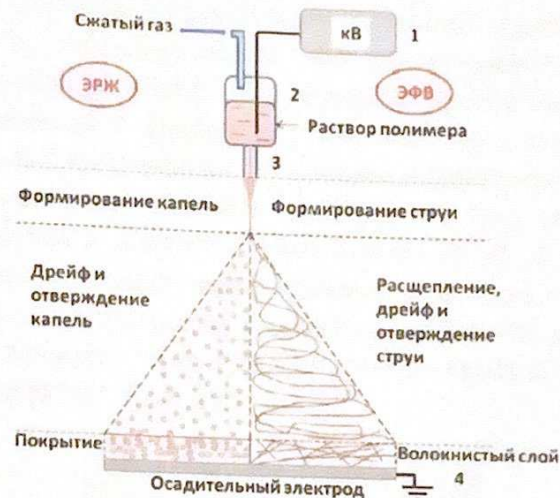
Электроспиннингтің прототипі- бұл сұйықтықтарды электрогидродинамикалық бүрку әдісі (ЭБӨ), онда тұрақты жоғары электр кернеуінің астында орналасқан мөлшерлеу саптамасынан төмен электр өткізгіштігі бар сұйықтық өте кішкентай тамшыларға бірдей электр зарядтарын еріту күштерімен шашыратылады, содан кейін оларды қарама-қарсы электродқа тұндыруға болады. Бұл құбылысты зерттеудің алғашқы әрекеті кезінде Дж. М. Бозе 1745 жылы белгілі бір жағдайларда шашыраған тамшылардың бұлты реактивті ағымның алдында болатындығын анықтады. Күшті электр өрісі бар ағынды ерітіндіден талшықтарды алуға арналған алғашқы патенттер 1902 жылы

АҚШ-та Кули мен Мортонға берілді [16], бірақ олар локальды қабаттың шектеулі беріктігіне байланысты орындалмады. Алғашқы нақты жетістікке 1930 жылы қол жеткізілді, сол кезде А.Формхолс [17] талшықты қалыптастыру үшін полимер шайырының ерітінділерін қолдануды ұсынды. 1936 жылы К. Л. Нортон [18] бұл әдісті резеңке және басқа синтетикалық шайырлардың балқымалары мен ерітінділеріне қатысты дамыды.

КСРО-да Электрокалыптастыру әдісі(ЭҚӘ) 1938 жылы Мәскеу физика-химия ғылыми-зерттеу институтында пайда болды. Л. Я. Карпова (НИФХИ), Н.А. Фукс басқаратын аэрозольдер зертханасында, оның қызметкерлері Н.Д. Розен-Блум және И. В. Петрянов-Соколов қатты сфералық монодисперсті нитроцеллюлоза аэрозоль бөлшектерін оның ерітіндісінен ЭҚӘ әдісімен алуға тырысқанда, кенеттен бәсекелес талшықты генерация режиміне тап болды, онда жоғары кернеулі саптамадан ағып жатқан сұйық ағындар, еріткіш буланған кезде тамшыларға күтілетін рэлей ыдырауының орнына қатты күйге түсіп, жоғары кернеуде пайда болды, тұрақты көлденең қимасы бірнеше мкм немесе одан аз болатын тұрақты үздіксіз талшықтар түзеді [19].

1.2.6 Схемалық диаграмма, процестің негізгі кезеңдері мен параметрлері

Олардың негізгі сатыларының реттілігі мен саны, олардағы физикалық өзгерістердің сипаты және аппараттық ЭБӘ және ЭҚӘ процестері түбегейлі ерекшеленбейді. Олардың арасындағы жалғыз айырмашылық-соңғы процесте полимерлі ерітінділерді жұмыс сұйықтығы ретінде пайдалану. Алайда, бұл физикалық, соның ішінде арнайы реологиялық қасиеттер мен мөлшерлеу режимдерінің белгілі бір жиынтығына байланысты болатын сәйкессіздік, дәл қажетті нәтижелерге әкеледі: зарядталған сұйық ағындардағы капиллярлық толқындардың сөнуі, олардың деформация жүктемелеріне және кавитацияға төзімділігі, еріткіш буланған кезде олардың жеткілікті күшті болуы, сайып келгенде, кең ауқымда реттелетін микроқұрылымы және макроскопиялық қасиеттері бар талшықты қабаттың пайда болуына әкеледі. 4 – Суретте осы процестерге тән орнату схемасы көрсетілген, онда олардың негізгі кезеңдеріне сәйкес келетін үш сипаттамалық аймақ шартты түрде бөлінген.



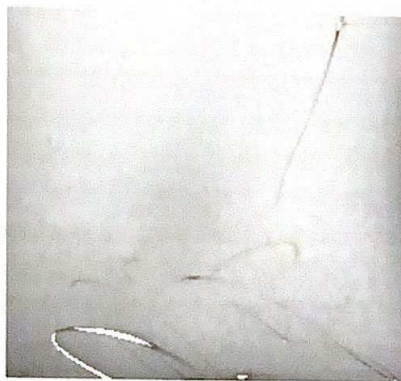
4 Сурет – ЭБӨ және ЭҚӨ процестерін жүзеге асыруға арналған қондырғы схемасы: 1 - жоғары кернеу көзі, 2 - қалыптау ерітіндісі бар сыйымдылық, 3 - капиллярлық мөлшерлеу шүмегі, 4 - шөгінді электрод [19]

Осы кезеңдерді толығырақ қарастырайық. 1-ші кернеу көзінен металл-жапырақты электрод арқылы реттелетін тұрақты, әдетте теріс, жоғары электр кернеуі 2-ші контейнерден өз салмағымен немесе газдың, сұйықтықтың немесе поршеннің артық қысымымен жеткізілетін иіру полимерлі ерітіндісі 3 инъекциялық капиллярлық саптама арқылы және оның әсерінен көлемдік ағынмен ағып кетеді, электр күштері осы электр өрісінің негізгі бағытына сәйкес келетін бастапқы стационарлық, үздіксіз, үдеткіш және жұқа бос ағынды құрайды. Нәтижесінде ағын конус түрінде қалыптасады, оны шетелдік әдебиетінде "Тейлор конусы" деп атайды (4.1 - сурет). Бұл ЭҚӨ процесінің бірінші, салыстырмалы түрде оңай реттелетін кезеңі, оның барлық басқа кезеңдері тұрақтылық пен нәтижесінде талшықты өнімнің қажетті қасиеттеріне байланысты.



4.1 Сурет – Бастапқы ағынды қалыптастыру кезінде Тейлор конусының пайда болуы [19]

Екінші кезең бір мезгілде жүретін бірнеше процестерден тұрады: электр зарядтарының көлемдік тығыздығының кеңістіктік-уақыттық ауытқулары электр өрісінің кернеулігінің бағыт пен шамада ауытқуын тудырады, бұл зарядтардың ағын бағытынан ауытқуына әкеледі. Бұл жағдайда ағынның айтарлықтай инерциясына байланысты күштердің гидродинамикалық моменті пайда болады, бұл ауытқуды арттыра отырып, тұтқыр (ағынның жоғары жылдамдығында) газ ортасы жағынан ағынға әсер етеді. Нәтижесінде, ағын өрістің бағыты бойынша айналады және ортаның өсіп келе жатқан қарсыласу күшімен тежеліп, 4 - суретте сызылған сызықпен шектелген және 4.2 - суретте көрсетілген бұралған ағынмен толтырылған конус түрінде бірдей атаудағы электр зарядтарымен итерілген бұлт түзеді.



4.2 Сурет – ЭҚӨ процесінің екінші кезеңіндегі орамалы ағынның иллюстрациясы [19]

Сонымен қатар, еріткіштің булану процесінің алғашқы сатысында басталған ағын біртіндеп қатайып, қалыптасқан талшықты бұлт сыртқы электр өрісіне 4-ші электродқа түседі (4-сурет). Процестің осы кезеңінде ағындарды еншілес ағындардың жұптарына дәйекті түрде бөлуге болады, олардың әрқайсысы кейінгі бөліністерге ұшырауы мүмкін (4.3-сурет). Бұл процесс тұтқырлықтың тепе-теңдігіне, беткі кернеуге және ағын көлеміндегі электр зарядтарының тығыздығына байланысты.



4.3 Сурет – ЭҚӨ процесінің екінші сатысында бөлінетін ағынның фотосуреті [19]

Соңғы кезең сонымен бірге бір уақытта жүретін екі процестен тұрады: біріншісі - шөгінді электродқа оның жазықтығына параллель талшықтар төсеу, екіншісі - шөгінді электрод пен ондағы түзілетін талшық қабаты арасындағы ұшқын газ разрядының электр тізбегін жабу. Негізгі орнату түйіндерінің өзара орналасуы мен пішіні айтарлықтай өзгеруі мүмкін екенін атап өткен жөн. Мысалы, айналдыру ерітіндісін горизонтқа кез-келген бұрышта және тіпті төменнен жоғары қарай енгізуге болады. Талшықтарды белгілі бір қисықтық пен қозғалатын беттерге еркін орналастыруға болады. Бұл жоғарыда қарастырылған сатылардың мәнін және олардың реттілігін мөлшерлейтін иіру ерітіндісін саптама мен шөгінді электрод арасындағы кеңістіктегі электр өрісінің күш сызықтарының бағыты бойынша өзгертпейді.

Электрлік қалыптастыру процесінің анықталған және тәуелді технологиялық параметрлерін қарастырайық. Біріншіден, электрод кеңістігінің геометриясы және иіру ерітіндісінің көлемдік шығыны, екіншіден, инжекциялық саптамадағы электр кернеуі, электродтар арасындағы электр тогы, тарту жылдамдығы және бастапқы ағынның үдеу уақыты. Электрод аралық кеңістіктің геометриясы кондырғының дизайнымен анықталады және жоғарыда қарастырылған барлық кезеңдерде қауіпсіз және тұрақты технологиялық процесті қамтамасыз етуі керек. Ол үшін кейбір реттелетін маржасы бар электродтар арасындағы қашықтық алғашқы екі кезеңнің аймақтарының өлшемдерін қамтуы керек. Орнатуды шектейтін қабырғаларға дейінгі қашықтық оларға талшықтардың түсуіне жол бермеу және электрлік бұзылулардың алдын алу үшін жеткілікті үлкен болуы керек. Әдетте электродтар арасындағы қашықтық 10 - нан 50 см-ге дейін, ал электродтардан қабырғаларға дейінгі қашықтық 50 см-ден немесе одан да көп, ал қабырғалардың өздері электрлік әсер етеді.

ЭҚӨ процесінің өнімділігін анықтайтын иіру ерітіндісінің көлемдік шығынын айтарлықтай мөлшерде өзгертуге болады. Төменгі шек негізінен жұқа капилляр арқылы мөлшерлеу тұрақтылығын талап етумен шектеледі, ал жоғарғы жағы талшықтардың қатаю уақытымен, яғни еріткіштің булану жылдамдығымен және электродтар арасындағы қашықтықпен шектеледі. Практика жүзінде игерілген көлемдік ағынның диапазоны бір инжекторлық саптамаға 0,03-1 см³/мин құрайды (иіру ерітіндісінің инжекторларының кейбір конструкцияларында көлемдік ағынның жылдамдығы 100 см³/мин жетеді).

Инжекторлық саптамадағы электр кернеуі қарапайым, бірақ оны ЭҚӨ процесінде таңдау және өзгерту мүмкін емес. Айналдыру ерітіндісінің кез-келген көлемді шығыны үшін бұл кернеудің шамаларының өте тар диапазоны бар, оның ішінде процестің бірінші кезеңінде пайда болған сұйық ағын өзінің тұрақтылығын сақтайды. Бұл диапазонның төменгі деңгейі мен ені беттік керілу коэффициентіне, электр өткізгіштікке, ерітіндінің көлемдік ағынына, электродтар арасындағы алшақтыққа және олардың конфигурациясына байланысты. Мысалы, 4-суретте көрсетілген кондырғы үшін бірлік шүмегі және 30 см электрод аралық қашықтық көлемдік шығын, электр өткізгіштік және

ерітіндінің беттік керілу коэффициенті сәйкесінше $0,3 \text{ см}^3/\text{мин}$, $10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ және $0,03 \text{ Н/м}$ тұрақты ағын 20-дан 25 кВ-қа дейінгі саптамадағы кернеу диапазонында болады [19]. Осы параметрлердің басқа комбинациясы және ерітіндінің төменгі қасиеттері үшін ағынның тұрақтылығын қамтамасыз ететін кернеу диапазонының деңгейі бірнеше есе көп болуы мүмкін, ал оның салыстырмалы ені төменгі деңгейдің 5-тен 40%-на дейін өзгеруі мүмкін. Сонымен, көптеген саптамалары бар өнеркәсіптік қондырғыларда осы кернеу диапазонының төменгі деңгейі 80-120 кВ-қа жетеді.

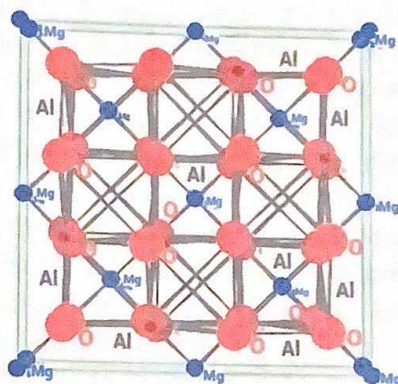
Электр тогы ЭҚЭ процесінің тәуелді технологиялық параметрлеріне де қатысты. Оны мүлдем орнатуға және өзгертуге болмайды. Бұл жоғарыда аталған барлық параметрлер мен қасиеттердің салдары. Алайда оны бақылау бірқатар себептерге байланысты қажет. Біріншіден, бұл процестің энергетикалық балансына кіреді. Екіншіден, оның иіру ерітіндісінің көлемдік ағынына қатынасы-бұл бастапқы ағындағы электр зарядының көлемдік тығыздығының өлшемі, сондықтан оны бөлуге қабілетті. Үшіншіден, оның шөгінді электродтағы тығыздығы талшықты қабаттың пайда болуына әсер етеді, сондықтан соңғысының қалдық заряды мен сүзгі қасиеттеріне әсер етеді. Ақыр соңында, ол оқшаулау арқылы газ разрядтары мен ағып кетулердің барлық паразиттік токтарын қамтиды және осылайша жабдықтың күйін көрсетеді. Қалыпты ЭҚЭ процесінің тогы ерітіндінің көлемдік жылдамдығына сызықтық байланысты, бірақ әлдеқайда күшті-саптамадағы кернеуден және кең диапазонда өзгеруі мүмкін - бір инжекторлық саптамаға 0,1-ден 5 мкА-ға дейін (иіру ерітіндісі инжекторларының белгілі бір құрылымдары үшін электр тогы 50 мкА немесе одан да көп).

ЭҚЭ процесінің тағы бір тәуелді технологиялық параметрі-бұл уақыт бірлігінде шөгінді электродта жинақталған барлық талшықтардың жалпы ұзындығы ретінде көрінетін талшықты түзудің тиімді сызықтық жылдамдығы. Бастапқы ағынның бөлінуі болмаған кезде, бұл мән процестің бірінші кезеңінде оның қол жеткізген максималды жылдамдығына тең болады. Бұл қоршаған ауадағы дыбыс жылдамдығынан үлкен болуы екіталай. Алайда, өнеркәсіптік қондырғылардағы оның тиімді мәні жүздеген м/с құрайды, көбінесе бастапқы ағынның бөлінуіне байланысты дыбыстық мәннен асып түседі (және кейбір жағдайларда бірнеше км/с-қа жетеді), өйткені талшықтың тиімді жылдамдығы оның барлық еншілес ағындарының жылдамдығын жинақтайды.

Қорытындылай келе, жоғарыда қарастырылған иіру ерітіндісінің барлық қасиеттерін және ЭҚЭ процесінің технологиялық параметрлерін оңтайлы таңдау, әр жағдайда зерттеу міндетті екенін атап өтемін.

1.3 Магнетит.Құрамы,құрылысы және қасиеттері

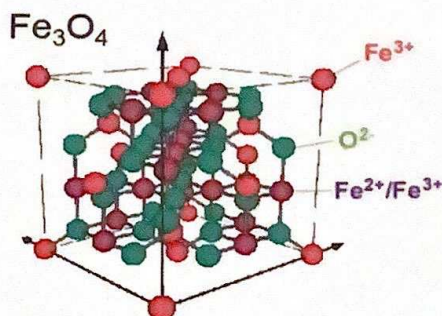
Магнетит (Fe_3O_4) жалпы MeFe_2O_4 формуласы бар асыл MgAl_2O_4 шпинель кристалдық торына ие феррит-шпинельдер класына жатады. Кубтық кристалл торындағы тетраэдрлік және октаэдрлік түйіндер қандай металл иондарға және қандай ретпен орналасқанына байланысты, тікелей шпинельдер бөлінеді, мысалы CdFe_2O_4 (парамагнетик), ZnFe_2O_4 (әлсіз ферромагнетик) және айналдырылған шпинельдер (ферримангнетиктер), олар үшін $\text{Me} = \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Pb}$. Кюри магнетитінің температурасы $\sim 585^\circ\text{C}$.



5 Сурет – Қалыпты шпинель MgAl_2O_4
Mg-көк, Al-сұр, O-қызыл шарлар

Fe_3O_4 (6-сурет) ретінде көрсетілген композиция кейбір шатасуларды тудыруы мүмкін. Оттегі -2 тотығу күйіне ие, ал темірде әдетте +2 немесе +3 тотығу стөнді болады (сәйкесінше екі валентті және үш валентті темір). Кристалды қалыптастыру үшін бұл тотығу күйлері бір-бірін теңестіруі немесе өтеуі керек, бірақ $4 \times (-2) = -8$, ол 6 (2×3) немесе 9 (3×3) теңдемейді. Формулада қате бар болғандай

Бұл мәселені шешу үшін оны белгілі бір жолмен біріктіріліп, магнетит кристалдарын құрайтын әр түрлі дәрежедегі +3 және +2 (Fe_2O_3 және FeO) екі темір оксидінің қоспасы ретінде қарастырған жөн. Магнетит сөздің қатаң мағынасында қоспа емес екенін түсіну керек. Бұл кристалды қатты зат, әр түрлі темір атомдары оттегі атомдарымен химиялық байланысқан.



6 Сурет – Магнетиттің кристалдық құрылымы

Құрылымы- O^{2-} иондары бар кері шпинельмен сипатталған, олар тордың қыры центрленген текше құрылымын (ГЦК) және түйінаралық алатын темір катиондарын құрайды. Fe^{+3} катиондарының жартысы тетраэдрлік позицияны алады, ал екінші жартысы Fe^{+2} катиондарымен бірге октаэдрлік позицияны алады. Бірлік ұяшық 32 O^{2-} ионынан тұрады.

Магнетиттің ең көрнекті қасиеті - өте күшті ферромагнетизм. Бұл оны оңай анықтауға мүмкіндік береді, өйткені минерал қолмен магнитпен қатты тартылады. Ферромагнетизм кристалдардың ішіндегі оң, бірақ тең емес магниттік моменттерден туындайды, бұл материалдың тұрақты және өздігінен магниттелуіне әкеледі. Темірдің жоғары мөлшері магнетитке бұлдырлық пен қара түс береді. Кристалдар сынғыш, сынуы біркелкі емес.

Теріс температурада магнетит кристалдық құрылымның моноклиннен кубтық құрылымға фазалық ауысуынан өтеді, ол сонымен қатар Вервейдің ауысуы деп те аталады. Оптикалық зерттеулер көрсеткендей, металдың окшаулағышқа ауысуы өткір және шамамен 120 K температурада жүреді [20]. Вервейдің ауысуы дән мөлшеріне, домен күйіне, қысымға [21] және темір-оттегі стехиометриясына байланысты [22]. Изотропты нүкте сонымен қатар Вервейдің шамамен 130 K өтуінің жанында пайда болады, онда магнитокристалды анизотропия тұрақтысының белгісі оңнан теріске ауысады [23]. Кюри магнетитінің температурасы $580^{\circ}C$ ($853 K$; $1076^{\circ}F$).



7 Сурет – Пластина түріндегі магнетит дәндері

1.4 Полиметилметакрилат (ПММА) және оның қасиеттері

Полиметилметакрилат (ПММА) сияқты мөлдір полимерлерден тұратын терезе әйнегіне ұқсайтын табақ материалдарының өнеркәсіптік және атап айтқанда тұрмыстық атауы - "органикалық әйнек (оргстекло)". Полиметилметакрилаттың негізгі буыны-метилметакрилат. Бұдан әрі органикалық әйнек "ПММА" ретінде қарастырылады — химиялық формуласы $(C_2O_2H_8)_n$.

ПММА-акрил шайыры, термопластикалық синтетикалық винил полимері метилметакрилат, мөлдір термопластикалық пластик. Бұл полимердің коммерциялық атауы негізінен "Plexiglas" ретінде қолданылады және әртүрлі заманауи брендтері бар. Мұндай полимер барлық негізгі өнеркәсіптік әдістермен өнімдерге оңай өңделеді.

Полиметилметакрилат-соққыға төзімді, қатты және жеңіл материал. Оның тығыздығы 1,17-1,20 г/см³. Сондай-ақ, әйнектен де, полистиролдан да жақсы соққы тұтқырлығы бар; дегенмен, ПММА соққы тұтқырлығы поликарбонат пен кейбір модификацияланған полимерлерге қарағанда әлдеқайда төмен. Полиметилметакрилат 460°C температурада жанады және көмірқышқыл газын, суды, көміртегі тотығын және формальдегидті қоса төмен молекулалы қосылыстар түзеді.



8 Сурет – Полиметилметакрилат. Сол жақта кристалдар түрінде, оң жақта ұнтақ түрінде

Полиметилметакрилат көрінетін жарықтың 92%-ына дейін жетеді және сыну көрсеткішіне байланысты оның әр бетінің шамамен 4% шағылысады (1,4905 толқын ұзындығы 589,3 нм). Ол толқын ұзындығында шамамен 300 нм-ден төмен ультракүлгін сәулені өткізбейді (әдеттегі терезе әйнегіне ұқсас). Кейбір өндірушілер 300-400 нм диапазонында сіңіруді жақсарту үшін органикалық әйнекке жабындар немесе қоспалар қосады.

Мөлдір және берік бола отырып, полиметилметакрилат әмбебап материал болып табылады және қолданылу аясы көптеген аудандарды қамтиды.

Парақ түріндегі полиметилметакрилат терезелердің тұрақты панельдерін, жарық люктерінің, оқ өтпейтін қауіпсіздік кедергілерінің, белгілер мен

дисплейлердің, сантехниканың (ваннаның), сұйық кристалды экрандардың, жиһаздың және басқа да көптеген материалдар жасауға мүмкіндік береді. Ол сонымен қатар зиянды заттардың шығарылуын азайту арқылы қоршаған орта жағдайларына төзімділікті арттыру үшін метилметакрилат негізіндегі полимерлерді қаптау үшін де қолданылады. Метакрилат полимерлері тазалық пен тұрақтылықты қажет ететін өте маңызды медициналық және стоматологиялық мақсаттарда кеңінен қолданылады. Полиметилметакрилат автомобильдердің сыртқы шамдарының линзаларында қолданылады. Хоккей мұз айдындарында көрермендерді қорғау органикалық әйнектен де жасалады. Тарихи тұрғыдан алғанда, полиметилметакрилат ұшақтардың терезелерін жобалаудың маңызды жақсаруына айналды, бұл бомбалаушы Boeing B-17-де арналған мөлдір бөлік сияқты құрылымдарды жасауға мүмкіндік берді [24].

Медициналық технологиялар мен полиметилметакрилат импланттары адам ұлпасымен үйлесімділіктің жақсы деңгейіне ие және қатаракты емдеуде бастапқы линза алынып тасталған кезде көзге имплантацияланатын қатты көзішілік линзаларды дайындауда қолданылады. Атап айтқанда, акрил түріндегі контактілі линзалар көздің қайталанатын қабынуы бар науқастарда қатаракта хирургиясы үшін пайдалы, өйткені акрил материалы аз қабынуды тудырады. Бастапқыда қатты контактілі линзалар көбінесе осы материалдан жасалған.



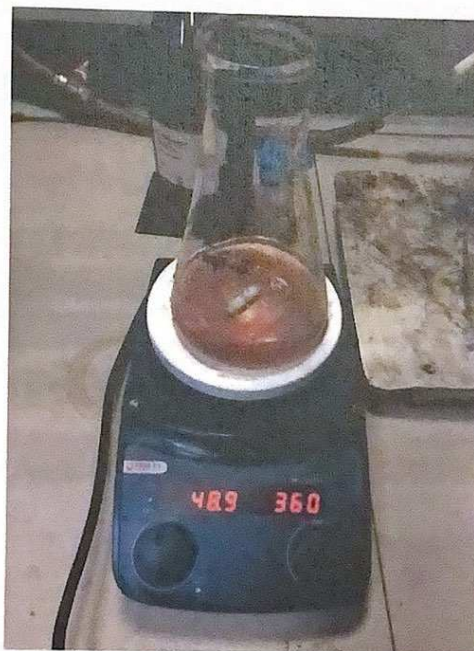
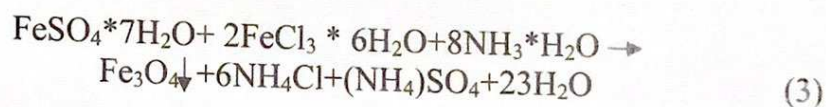
9 Сурет - ПММА негізіндегі контактілі линзалар

2 ЭКСПЕРИМЕНТТІК БӨЛІМ

2.1 Химиялық конденсация әдісімен магнетит синтезі

Бұл жұмыстың мақсаты 50 нм-ден аспайтын магнетит нанобөлшектерін алып, электроспиннинг әдісімен 160 нанометрге дейінгі нанобөлшектерді полимерлі ертіндіге енгізу арқылы наноталшықтарды алу болды. Магнетит бөлшектері 30-50 нанометрге дейінгі аймақта бөлме температурасында суперпарамагниттік күйде болады. Олар іс жүзінде нөлдік қалдық магниттелумен сипатталады. Бұл магниттік материалдар үшін ерекше қасиет.

Магнетит синтезі үшін $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ темір сульфаты, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ үшхлорлы темір, аммиактың 25% сулы ертіндісі қолданылды. Реакция үшін 4,516 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (молярлық концентрациясы 0,2 моль/л) және 7,0275 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,32 моль/л) 81,25 мл тазартылған суда ерітілді. Магнетит нанобөлшектерін алудың химиялық реакциясы келесі түрде көрсетілген:



10 Сурет – Ертіндінің жалпы көрінісі

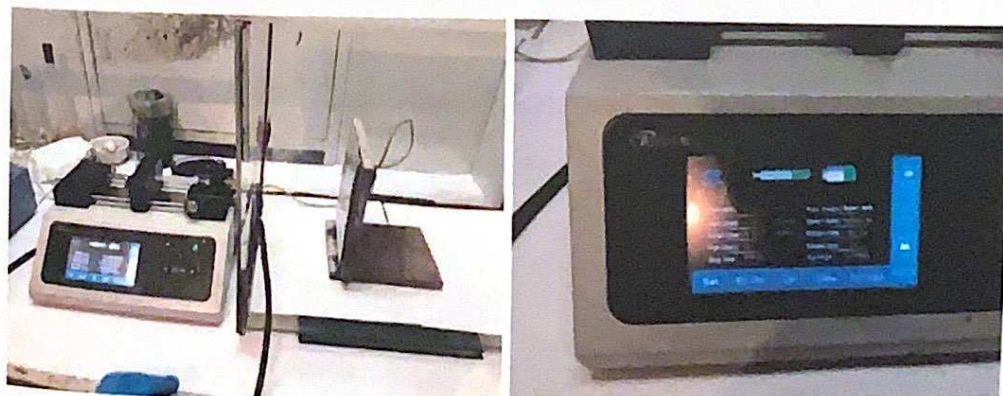
Сүзгеннен кейін алынған ертіндісі бар стақан магниттік араластырғышқа орналастырылды. Темір тұздарының ертіндісіне секундына бір тамшы жылдамдықпен 50 мл NH_4OH сулы ертіндісі қосылды. Тұндыру реакциясы 50-70°C темір тұздары ертіндісінің температурасында жүргізілді, тұнба бөлініп, он рет дистилденген сумен тазартылды.



11 Сурет – NH_4OH сулы ерітіндісінің темір тұздарына қосу процесі

2.2 Электроспиннинг әдісімен полиметилметакрилаттың магнитті талшықтарын алу

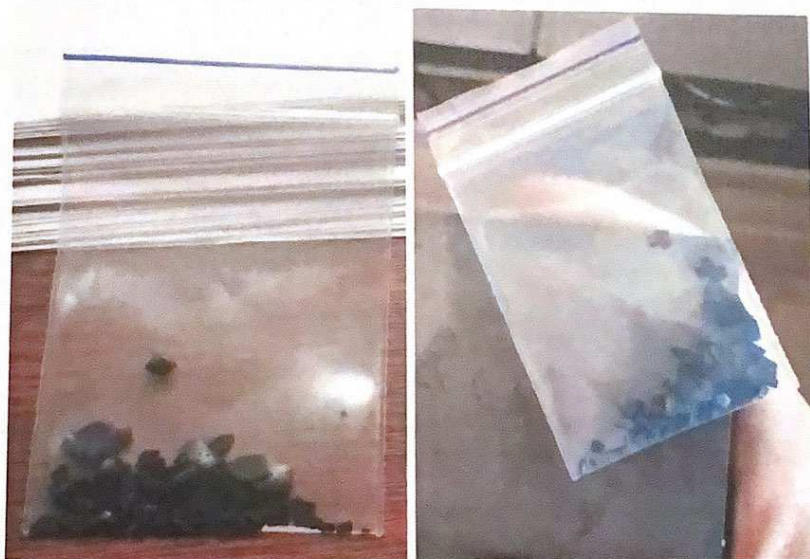
Талшықты құрайтын материал ретінде 7% (мас.) бұрын синтезделген магнетит нанобөлшектерінің қосындылары бар дихлорэтандағы полиметилметакрилат (ПММА) ерітіндісі қолданылды. Бұл қоспаны шприцке енгізіп, оның металл инесіне теріс заряд, ал төсемге (подложка) оң заряд берілді. Кернеу тұрақты кернеу көзі арқылы берілді. Кернеу - 5–15 кВ құрады. Электрод аралық қашықтық-15-30 см. Полимер ерітіндісінің бұрку жылдамдығы 5 мл/мин, шығыны 0,003 мл/мин болды, ол ерітіндінің оңтайлы шығу жылдамдығына сәйкес келеді, онда барлық шығыс ерітіндісі талшықтарға тартылады.



12 Сурет – Электроспиннинг әдісінің құрылғысы және шамалар



13 Сурет – электроспиннинг әдісімен алынған полимерлі төсем
(подложка)



14 Сурет – Магнетит дәндері

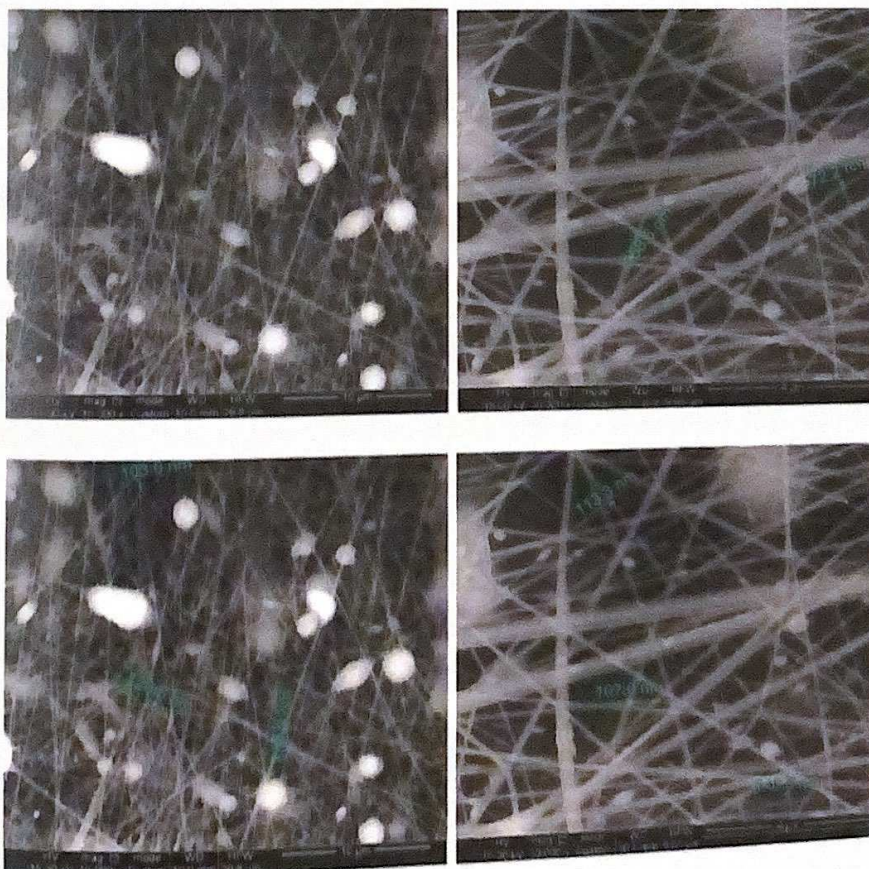
НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУЛАР

3.1 Электрондық микроскопиямен жұмыс (СЭМ)

Нанобөлшектер мен наноталшықтардың сипаттамаларын анықтау үшін сканерлеуші электронды микроскоппен (СЭМ) зерттеулер жүргізілді (15,16-суреттер).



15 Сурет – магнетит нанобөлшектерінің СЭМ көрінісі

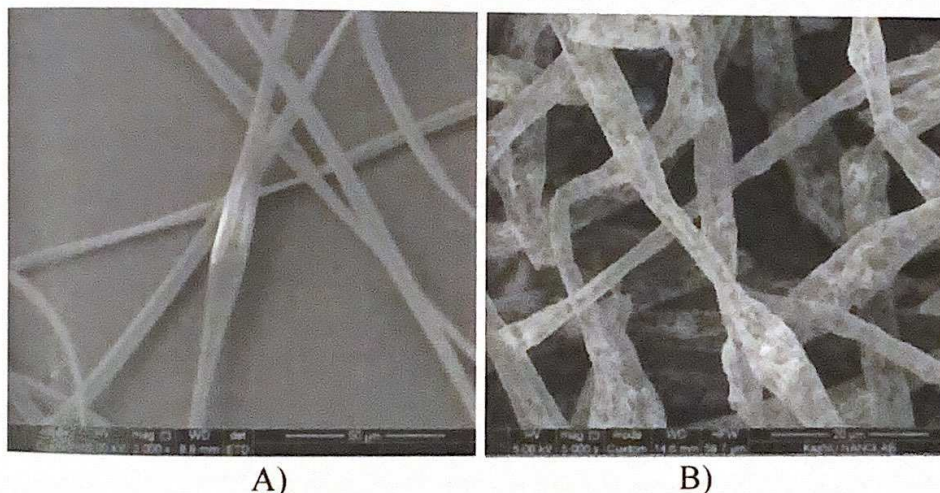


16 Сурет – наноталшықтардың СЭМ көрінісі (өлшемдерімен)

СЭМ суреттерінің нәтижелерінен көрініп тұрғандай, нанобөлшектердің өлшемдері шамамен 40 нм-ге дейін, ал наноталшықтардағы өлшемдері 72,2-158,6 нанометрді құрады. Сондай-ақ, нанобөлшектердің өлшемдері аздап шашыраңқы екенін атап өткен жөн, бұл электроспиннинг әдісі үшін маңызды. Өйткені, электроспиннинг-бұл көптеген молекулалық процестер мен техникалық параметрлерге байланысты өте күрделі процесс.

Эксперимент нәтижелері көрсеткендей, полимерлі прекурсорға магнетит нанобөлшектерін қосу – алынған талшықтардың пішініне, диаметріне және құрылымына айтарлықтай әсер етеді.

Fe_3O_4 қоспаларының әсерін салыстыру үшін 17-суретте қоспасыз ПММА талшықтары бар СЭМ кремний төсемінің суреттері көрсетілген.



17 Сурет – ПММА талшықтарының СЭМ суреттері қоспасыз (А) және магнетит нанобөлшектері қосылған (В) [25]

Осылайша, электроспиннинг арқылы магнетит нанобөлшектері қосылған полимерлі талшықтарды алу, магниттік қасиеттері бар полимерлерді құрудың жаңа мүмкіндіктерін ашады деп айтуға болады. Магниттік қасиеттері бар полимерлерді барлық ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында да қолдануға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыс электроспиннинг әдісімен ПММА магниттік талшықтарын алу жобасын қарастырады. Дипломдық жұмыстың тақырыбы ашылып, қойылған мақсаттар мен міндеттер орындалды.

Алынған мөлшердегі магнетит нанобөлшектерін химиялық конденсация әдісімен синтездеу процессі жүргізілді. Ерітіндінің қыздыру температурасы 50-70°C аралығында қойылды. Бұндай температурада қыздыру, полимерлі-магниттік ерітіндіні дайындау үшін қажет болды.

Электроспиннинг әдісімен полимер қосылған магнитті наноталшықтарды алу процессі жүргізілгенде, наноталшықтардың керекті өлшемдері алынды. Бұл өлшемдер болашақта қолданылатын техниканың түрлі салаларында өзінің қасиеттерін ерекше көрсете алады.

Сканерлеуші электрондық микроскоп дайын үлгілердің морфологиясын зерттеу үшін қолданылды. Үлгілердің орташа өлшемдері СЭМ арқылы өлшеніп, зерттелінді. Сканерлеуші электрондық микроскопияның рұқсаты жеткіліксіз болуына байланысты, жабысқан нанобөлшектердің өлшемдерін өлшеу мүмкін болмады. Ол үшін әдебиет көздері зерттелініп, осы нанобөлшектер туралы мақалалары бар ғалымдардың еңбектері қаралды. Нәтижесінде нанобөлшектердің мөлшері шамамен 40 нм құрады.

Сонымен қатар, наноталшықтардың өлшемдері нақты 72-160 нанометр диапазонында жататындығында көз жеткізілді.

Қорытындылай келе, жұмыс барысында электроспиннинг әдісімен алынған магнитті-полимерлі наноталшықтар магниттік қасиеттері бар полимерлерді дайындау үшін көптеген жаңа мүмкіндіктер ашуға септігін тигізеді. Атап өткендей, полимер негізіндегі магнитті наноталшықтар әскери техника, медицина, тоқыма өнеркәсібінде және сан-алуан түрлі техника қолданылатын аумақтарында өз орнын табатынына сөзсіз кепілдемін.

ТЕРМИНДЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

СЭМ - Сканерлеуші электрондық микроскопия

ПММА – Полиметилметакрилат

ЭБӘ - Электрогидродинамикалық бүрку әдісі

ЭҚӘ – Электроқалыптастыру әдісі

Км - километр

М – метр

См – сантиметр

Мкм - микрометр

Нм – нанометр

кВ – киловольт

мкА - микроампер

С – секунд

Мин – минут

Л - литр

Г - грамм

Мл – миллилитр

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Pelipenko J., Kristl J., Jankovic B., Baumgartner S., Kocbek P. The impact of relative humidity during electrospinning on the morphology and mechanical properties of nanofibers // *Int. J. Pharm.* 456(1), – P. 125–134 (2013).
- 2 Wenguo. Electrospun Nanofibrous Materials for Tissue Engineering and Drug Delivery // *Science and Technology of Advanced Materials*. 11 (1), – P. 1–11 (2010).
- 3 Graham K., Ouyang M., Raether T., Grafe T., McDonald B., Knauf P., Fifteenth Annual Technical Conference and Expo of the American Filtration and Separations Society, Galveston. – P. 123-127 (2002).
- 4 Groitzsch D., Fahrbach E. US patent 4,618,524, (1986).
- 5 Angadjivand SA, Schwartz MG, Eitzman PD, Jones ME. US patent, 6375886. (2002).
- 6 Pomogailo A.D. Catalysis by Polymer-Immobilized Metal Complexes. Amsterdam: Gordon and Breach Sci.Publ. 1998.
- 7 Евстропьев С.К., Никоноров Н.В. Жидкостные методы получения оптических наноматериалов. Учеб. пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – С. 84.
- 8 Sol-Gel Optics: Processing and Applications/ Edited by L.C.Klein, Kluwer Academic Publishers, 1994, 592 p.
- 9 Попович Н.В. Низкотемпературный синтез аморфных и стеклокристаллических материалов (обзор).- *Стекло и керамика*, 1993, №9-10, – С. 11-14.
- 10 James P.F. The gel to glass transition: chemical and microstructural evolution.- *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1988, v.100, №1-3, – P. 93-114.
- 11 Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы, М.: «Химия». 1989, 464 с.
- 12 Васильев Р.Б., Дирин Д.Н. Квантовые точки: синтез, свойства, применение.- *Методические материалы, МГУ им. М.В. Ломоносова*, 2007, 34 с.
- 13 Scherer G., Drying gels.4. Cylinder and sphere.-*Journal of Non-Crystalline Solids*, 1987, v.91, – P. 101-121.
- 14 Мазурина Е.К., Мазурин О.В., Климова А.В., Шашкин В.С., Петровский Г.Т., Особенности процессов сушки монолитных кремнегелей для получения стекол.- *Физика и химия стекла*, 1988, т.14, №1, – С. 146-149.
- 15 Евстропьев С.К. Особенности эволюции монолитных гелей кремнезема в процессе конвективной сушки.- *Стекло и керамика*, 1992, №11-12, – С. 24-26.
- 16 Патенты США N692631 (1902), N705691 (1902).
- 17 Патент США N1975504 (1930).
- 18 Патент США N2048651 (1936).

- 19 Филатов ЮН. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). // Под редакцией В.Н. Кириченко. - М.: ГНЦ РФ НИФХИ им.Л.Я. Карпова, 1997.
- 20 Гаспаров, Л.В.;и другие.(2000).«Инфракрасные и рамановские исследования перехода Вервея в магнетите».Физический обзор В. 62(12): 7939
- 21 Гаспаров,Л.В.;и другие.(2005).«Магнетит: Рамановское исследование эффектов высокого давления и низких температур».Журнал прикладной физики. 97(10): 10A922.
- 22 Арагон, Рикардо (1985).«Влияние нестехиометрии на переход Вервея». физ. Преподобный Б.31(1): 430–436.
- 23 Габбинс, Д .;Эрреро-Бервера, Э., ред.(2007).Энциклопедия геомагнетизма и палеомагнетизма. Springer Science & Business Media.
- 24 Паламарчук А.А., Шишакина О.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. современные технологии получения полиметилметакрилата // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 6.
- 25 Лесбаев А.Б., Элуади Б., Лесбаев Б.Т., Манаков С.М., Смагулова Г.Т., Приходько Н.Г., Получение магнитных полимерных волокон с добавками наночастиц магнетита (2017) Procedia Manufacturing, 12, – С. 28-32.
- 26 Курбанова З., Смагулова Г., Кайдар Б.(2019).Получение волокнистых композиционных материалов методом электроспиннинга и их применение.*Горение и плазмохимия*,16(3-4), – С. 172-180.
- 27 Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства / С.П. Губин, Ю.А.Кокшаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрко //Успехи химии. - 2005.– Т.74, № 4. – С. 539-574.