

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Химия-биологиялық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Химико-биологическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3544

№ 4 (2023)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайгыров университета

Химико-биологическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ84VPY00029266

выдано
Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области химии, биологии, экологии,
сельскохозяйственных наук, медицины

Подписной индекс – 76134

<https://doi.org/10.48081/IQSZ6573>

Бас редакторы – главный редактор

Ержанов Н. Т.
д.б.н., профессор

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Ахметов К. К., *д.б.н., профессор*
Камкин В. А., *к.б.н., доцент*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Яковлев Р.В.,	<i>д.б.н., профессор (Россия);</i>
Титов С. В.,	<i>доктор PhD;</i>
Касанова А. Ж.,	<i>доктор PhD;</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>(технический редактор).</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

**А. Қахарман¹, *М. Әуелханқызы^{1,2},
М. Нажипқызы^{1,2}, Н. Серікбаев²**

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²Жану проблемалар институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: meruert82@mail.ru

**ЭЛЕКТРОСПИННИНГ: ТЕХНОЛОГИЯСЫ,
ПРОЦЕСІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ**

Электроспиннинг – бұл электростатикалық күштердің полимер ерітіндісінің немесе балқыманың электрлік зарядталған ағынына әсер етуі нәтижесінде наноталшықтардың пайда болуына әкелетін процесс. Электроспиннинг әдісі бүгінгі таңда ультра жұқа полимерлі талшықтарды алудың танымал әрі әмбебап әдісі болып табылады. Әдіс көптеген параметрлерді қамтиды: полимер мен прекурсор тұзының концентрациясы, ерітіндінің тұтқырлығы, ине мен түндырғыш коллектордың конфигурациясы, ине мен коллектор арасындағы кернеу мен қашықтық, бұл параметрлерді өзгерту қажетті құрылымы, құрамы және қасиеттері бар материалдарды алуға мүмкіндік береді. Электроспиннинг әдістерін жетілдіруде, әртүрлі қолданбалы наноталшықтарды өндіруде айтарлықтай жетістіктер байқалды. Берілген жұмыста электроспиннинг процесіндегі принциптерді, әдістерді, материалдарды және қолдану салаларын қоса, электроспиннингке жан-жақты шолу жасалды. Мақалада электроспиннингтің алғашқы тарихына қысқаша кіріспеден бастап, әдістің принципі мен типтік құрылғысы талқыланды. Сонымен қатар, электроспиннинг әдісімен алынған наноталшықтардың қолдану салаларын, соның ішінде интеллектуалды матрастар, сүзгі мембраналары, каталитикалық субстраттар, энергияны жинау/сақтау компоненттері, фотонды және электронды құрылғылар, биомедициналық тіректер ретінде пайдаланылуы қарастырылды. Электроспиннинг әдісімен алынған

наноталшықтарды қолдану туралы ғылыми мақалалар белсенді түрде зерттеліп, қамтылуда.

Кілтті сөздер: электроспиннинг, технология, КНТ, талшықтар, наноталшықтар.

Кіріспе

Талшықтар табиғатта барлық жерде, үздіксіз жіптер немесе ұзартылған нысандар түрінде кең таралған. Өрмекшілер 140 миллион жылдан астам уақыт бойы жыртқыш тұзақ үшін талшықты торды пайдаланады. Тор диаметрі 2-ден 5 микронға дейінгі жібек талшықтардан жасалған. Жібек құрттары кокос жанғағын жасау үшін жібек жіптерін жасаудың таңғажайып қабілетімен де танымал. Осындай және басқа да көптеген табиғи процестер жасанды талшықтарды жасауға түрткі болды [1]. Сонымен қатар, талшықтар ежелден бері адам өмірінің ажырамас бөлігі болды. Адамның талшықтарды өңдеу тарихын ежелгі дәуірден бері байқауға болады. Қазба жұмыстары нәтижесінде біздің заманымызға дейінгі 5000 жылдан бастап мақта бұйымдарының сынықтары табылған, ал жібек талшықтары мен тоқыма бұйымдарын өндіру үшін жібек құрттарын өсіру біздің заманымызға дейінгі 2700 жылы басталды. Шамамен 1300 жылы маталар мен киімдерді өндіру үшін жүн және мақта талшықтарын алу үшін шпиндель жасалды, ал 1880 жылдары бұл қызмет тоқыма өнеркәсібіне біртіндеп таралды. Алғашқы жасанды маталар мақта немесе ағаш целлюлоза талшықтарынан жасалған вискоза болды. 1891 жылы хабарланғанымен, ол 1911 жылға дейін коммерциялық мақсатта сатылмады [2].

Шамамен 50 жылдан кейін синтетикалық талшықтар химия мен полимер ғылымының дамуымен бірге дамыды. Нейлонды 1938 жылы DuPont компаниясы коммерциялық тұрғыдан алғашқы синтетикалық талшық ретінде ұсынды және ол бірден көпшіліктің назарын аударды. Кейіннен синтетикалық талшықтарды өндіру үшін полиэфирлердің және басқа синтетикалық полимерлердің көптеген түрлері бірінен соң бірі жасала бастады [3].

Синтетикалық талшықтар ассортименттің едәуір кеңеюімен халықтың табиғи талшықтарға деген сұранысын айтарлықтай төмендетті. Синтетикалық полимерлерден талшықтарды алудың көптеген әдістері әзірленді, ең алдымен дымқыл, құрғақ иіру, балку және гельдеуге негізделген әдістер пайда болды. Ылғал иіру химиялық ваннаға батырылған иіргішті қамтиды. Полимер ерітіндісі иіргіштен химиялық ваннаға экструдалған кезде сұйылту әсері немесе химиялық реакция полимердің тұнбаға түсуіне әкеліп соғады, қатаю нәтижесінде талшықтар түзеді. Полимер ерітіндісі

күрғақ иіру иіргіші арқылы ауаға экструдалады және талшықтар ыстық ауа ағынының көмегімен еріткіштің булануы нәтижесінде инжекторлардан жиналады. Полимер балқымасы салқындағаннан кейін талшықтарды алу үшін балқыманы қалыптау кезінде иіргіштен экструдалады. Гельді иіру полимерді «гель» күйінде иіру, содан кейін ауада кептіру, содан кейін сұйықтық ваннасында салқындату арқылы жоғары механикалық беріктігі немесе басқа да ерекше қасиеттері бар талшықтарды жасау үшін қолданылады. Бұл иіру процестері кезінде ағындар негізінен механикалық тартудың әсерінен иіргіштерден өткенде пайда болады, ал талшықтар ағындар қатайғаннан кейін тұндыру немесе кептіру нәтижесінде пайда болады. Саптамалар аз ғана дәрежеде ұзартылады, нәтижесінде диаметрі 10 – 100 мкм болатын талшықтар пайда болады [4]. Қатаю процесінде немесе саптамалар толығымен салқындағаннан кейін механикалық тарту үлкен болғанымен, нәтижесінде алынған талшықтар тіпті микрометрлік өлшемнен де аспауы керек.

Чарльз В. Бойз 1887 жылы сыртқы электр өрісі болған кезде талшықтарды вискоэластикалық сұйықтықтан алуға болатынын хабарлады [5]. Ол қуат көзіне қосылған оқшауланған шыныаяқтан тұратын құрылғыны пайдаланды. Тұтқыр сұйықтық (мысалы, балауыз және коллодий) пластинаның шетінен өтіп бара жатқанда талшықтар арқылы ағып кететіні көрсетілген. Қазір бұл әдіс – электроспиннинг деп аталады, бұл әдіс диаметрі нанометрге дейін ультра жұқа талшықтар алуға мүмкіндік береді. Электроспиннинг әдетте диаметрі ондаған нанометрден бірнеше микрометрлерге дейінгі үздіксіз талшықтарды алуды жеңілдетеді. Сондай-ақ, диаметрі 1 нм-ге дейін және одан да төмен электросперсті талшықтар туралы хабарланды, әдебиеттерде электросперсті талшықтар диаметрі шамамен 500 нм-ден жұқа болған кезде наноталшықтар деп те аталады.

Электроспиннинг әдісінің тұжырымдамасы одан ертрек 1600 жылы Уильям Гилберт жүргізген зерттеуде ойластырылған, онда ол электр өрісінің қатысуымен конус тәрізді су тамшысының пайда болуын бақылаған [5]. Шамамен бір ғасырдан кейін Стивен Грей өте жұқа ағын пайда болған су тамшысының электрогидродинамикалық бүркуін байқады [3]. Аббенол 1747 жылы ең ерте бүркуді жасады. 1882 жылы ол сұйықтық ағындары жер бетінен шығарылғанға дейін сұйықтық тамшысы көтере алатын зарядтардың максималды санын теориялық тұрғыдан бағалады. Электроспиннингті электрлі бүрку әдісінің нұсқасы ретінде қарастыруға болады [6], екі әдіс те сұйықтық ағындарын шығару үшін жоғары кернеуді қолдануға негізделген. Электроспиннинг пен электрлі бүрку арасындағы негізгі айырмашылығы – қолданылатын сұйықтықтың тұтқырлығы, яғни, ағынның мінез-құлқы

болып табылады. Электр бүрку сияқты тамшыларға (бөлшектер түзу үшін) бөлінудің орнына талшықтар алу үшін электроспиннинг кезінде ағынды үздіксіз ұстауға болады.

1902 жылы Джон Кули мен Уильям Мортон сәйкесінше электроспиннинг қондырғысының прототипін сипаттайтын екі электроспиннинг патентін берді. 1934 және 1944 жылдары Антон Формхальс кейіннен тоқыма жіптерін өндіру үшін электроспиннингті коммерцияландыруға көшу арқылы жабдықты жетілдіруді ашатын бірнеше қосымша патенттер берді. 1938 жылы Кеңес Одағында аэрозоль бөлшектерін ұстау үшін «Петрянов сүзгілері» деп аталатын ауа сүзгілерін жасау үшін электрмен жұмыс істейтін наноталшық алғаш рет имплантацияланды. 1939 жылға қарай бұл жұмыс Тверьде наноталшық негізіндегі төсеніштері бар газ маскаларына арналған түтін сүзгілерін шығаратын зауыт құруға әкелді. Осы кезеңде электр иіру туралы механикалық түсінік біртіндеп дамыды. 1964 – 1969 жылдар аралығында Джеффри Тейлор күшті электр өрісінің әсерінен полимер ерітіндісінің немесе балқыма тамшысының конустық сфералық пішінінің өзгеруін қалай математикалық түрде сипаттауға және модельдеуге болатынын көрсететін бірқатар жұмыстарды жариялады [7]. Атап айтқанда, электр өрісінің кернеулігі критикалық деңгейден асып кеткендіктен, сфералық тамшы біртіндеп конуска айналды, содан кейін электр иіру технологиясының дамуы 20 жылдық тоқырауға ұшырады, өйткені бұл кезеңде оған ғылыми орта немесе өнеркәсіп тарапынан көп көңіл бөлінбеді. Диаметрі субмикрометрлік диапазонға дейінгі талшықтардың өлшемдерін сенімді түрде өлшей алатын сипаттамаларды анықтауға арналған құралдардың болмауы бұл тоқырауға айтарлықтай ықпал етуі мүмкін. Осыған қарамастан, осы кезеңде электроспиннинг арқылы алынған талшықтарды қолданудың әртүрлі бағыттары ұсынылды, соның ішінде оларды 1977 жылы берілген патентте сипатталғандай жараларды тану материалдары ретінде пайдалану мүмкіндігі [8]. 1980 жылдардың басында Donaldson Co. Inc. электр иірілген талшықтарды қамтитын АҚШ-та ауа сүзгілерін өндіру және сату басталды. Алайда, бәсекелестерінен артықшылықтарға қол жеткізу үшін компания өз өнімдерінің құрамын ашпады.

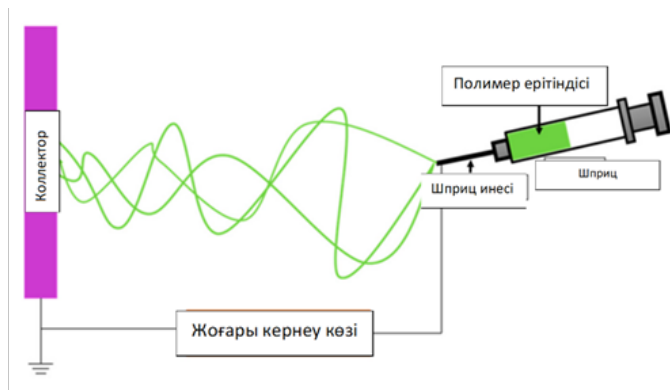
1990 жылдардың басында ғана бірнеше зерттеу топтары бұл әдісті қайта ойлап таба бастады, әсіресе Даррелл Ренеккер мен Григорий Рутледж басқарған ғылыми топтарды атап өтуге болады. Бұл объектілерді нанометрлік масштабқа дейін ажырата алатын электронды микроскоптардың қол жетімділігінің артуына байланысты мүмкін болды. Бұл топтар көптеген әртүрлі органикалық полимерлерді наноталшықтарға айналдыруға болатындығын көрсетті. Бұл әдісті түсіндіру үшін «электр иіру» сөзі танымал

болды. Бұл технология нанометрлік масштабқа дейін диаметрі ұзын және үздіксіз талшықтарды алу үшін таңдаулы әдіске айналды. Осы ғасырдың басында композиттік және керамикалық наноталшықтарды жасау үшін жана материалдар мен формулаларға көшу арқылы оның мүмкіндіктері одан әрі кеңейген кезде электроспиннингке көбірек көңіл бөлінді.

Жаңа материалдардың жылдам электрлі иірілу қабілеті катализде, сондай-ақ дәстүрлі түрде бейорганикалық нанобөлшектер басым болатын энергияны жинау, түрлендіру және сақтауда жаңа қолданбаларды ашты. Сонымен қатар, энергетика және биомедицина салаларында бірқатар мүмкіндіктер ашатын наноталшықтардың құрылымын реттеудің жана әдістері жасалды. Наноталшықтардың өлшеміне, құрылымына, құрамына, морфологиясына, кеуектілігіне және жиналуына байланысты әртүрлі қасиеттерді біріктіру мүмкіндігін көрсететін наноталшықтарды алудың бірнеше әдістері әзірленгені назар аудартады [9]. Сонымен қатар, өзегі бар үздіксіз наноталшықтар мен қуыс талшықтарды алу үшін коаксиалды электр иіру әзірленді. Сондай-ақ, электр иіру наноталшықтарынан үздіксіз жіптер алынғаны туралы хабарланды. Мұндай жетістіктер электроспиннинг әдісін қолдану аясы кең наноталшық негізіндегі материалдарды әзірлеудің бірден бір әмбебап технологиясына айналдырады.

Материалдар мен әдістер Электроспиннинг жүйесі.

Көптеген командалар мен ұжымдар электроспиннинг процесі туралы бірнеше теориялық зерттеулер жүргізді [10]. Электростатикалық және магниттік эманацияның мінез-құлқын 1500 жылдардың аяғында Сэр Уильям Гилберт түсіндірді. Ол судың электростатикалық өріс арқылы су тамшысына әсер етіп, конус пен шұңқырдың пішінін алатынын және тамшы шұңқырдың басынан сығылатынын анықтады. Бұл электрлі бүркудің алғашқы процесі болды. Электроспиннингті электрлі бүркудің бір түрі ретінде қарастыруға болады. Электрлі бүрку сияқты, электроспиннинг шикізаты сұйықтықтың электростатикалық потенциалын арттыру үшін жоғары кернеулі қуат көзіне қосылады. Олардың молекула аралық өзара әрекеттесуіне байланысты шикізат ретінде жоғары молекулалық полимерлер жиі қолданылады.



1 – сурет Электроспиннинг әдісінің құрылғысы

Сұйықтың беттік заряды мен электростатикалық потенциал арасында тікелей байланыс бар сондықтан олардың біреуінің ұлғаюы немесе азаюы кезінде екіншісінде де дәл сондай әрекет болуы мүмкін. Сұйықтың көлемдік формасы әдетте беттік керілумен анықталады. Сұйықты өзгерту арқылы беттік заряд беттік керілуді өзгертеді, бұл сұйықтың пішінін өзгертіп, Тейлор конусы деп аталатын құрылымды құрайды. Талшықты электр иіруге көптеген параметрлер әсер етеді, сондықтан осы саланы зерттеу жұмыстары аздап қиындық тудырады.

Қолданылатын кернеу

Электроспиннинг кезінде берілетін кернеу талшықтың соңғы сипаттамасында маңызды рөл атқарады. Электроспиннинг зарядының бағыты коллекторға полимер ағыны арқылы жүреді, ал саптамадан полимер массасының ағыны токтың азаюына немесе ұлғаюына тікелей әсер етеді. Кернеудің жоғарылауы иіру тогының жоғарылауына әкелуі мүмкін. Иіру тогының жоғарылауы талшық морфологиясының өзгеруіне әкелуі мүмкін және бұл құрылым бетінің ауданын азайтуы мүмкін. Қолданылатын кернеудің жоғарылауы немесе төмендеуі талшықтың морфологиясы мен құрылымында өзгерістер тудыруы мүмкін [11]. Зерттеу көрсеткендей, кернеудің жоғарылауы талшық ұзындығының ұлғаюына және талшық мөлшерінің азаюына әкеледі.

Ине мен коллектор арасындағы қашықтық

Талшықтың морфологиясына, құрылымына, физикалық және химиялық қасиеттеріне әсер ететін тағы бір параметр - ине мен коллектор арасындағы қашықтық. Бұл булану жылдамдығына, тұндыру уақытына және сәйкессіздік кезеңіне байланысты талшықтың соңғы қасиеттеріне тікелей

әсер етеді. Зерттеулер көрсеткендей, біз саптама мен коллектор арасындағы қашықтықты азайту арқылы моншак тәрізді құрылымы бар дымқыл электр иірілген талшықты аламыз. Соңғы талшықтардың морфологиясы кейбір талшықтарда дөңгелектен жалпақ пішінге өзгерді [8]. Екінші жағынан, зерттеу сулы полимерлі дисперсияны алу үшін талшықты кептіру үшін көбірек қашықтық қажет екенін көрсетеді.

Дисперсия деңгейлері

Физикалық және химиялық қасиеттері бойынша талшықты өндірудің басқа тиімді параметрлері полимер ағынының жылдамдығы болып табылады. Полимер ағынының жылдамдығының өзгеруі (электроспиннинг жүйесінің шприцінен) талшық морфологиясының өзгеруіне әкеледі. Талшықтың диаметрі ағынның жылдамдығын арттыру арқылы ұлғайтылады және моншак тәрізді морфология байқалады [10].

Электроспиннинг материалдары

Электроспиннинг әртүрлі материалдардан наноталшықтарды алу үшін пайдаланылды. Атап айтқанда, ерітінді немесе балқыма түріндегі органикалық полимерлер ең көп қолданылатын материалдар болып табылады. Шағын молекулалар өздігінен жиналып, тізбек тудыра отырып, тікелей наноталшықтарға айналуы мүмкін. Золь-гель химиясы арқылы әртүрлі композициялық материалдар наноталшықтарға тікелей өңделеді.

Электроспиннинг өнімдері

Бұл талшықтарға электроспиннингтің арнайы сипаттамаларына байланысты көптеген салаларда қолдануға болатындықтан көп көңіл бөлінді. Композиттік талшықтар, көміртекті нанотүтікшелер, бейорганикалық талшықтар және тіндік тіректер қолданудың ең белсенді аймақтарының бірі болып табылады. Композиттік электроспиннинг талшықтарында әртүрлі материалдардың полимерлі дисперсиясын дайындау өте қарапайым. Осылайша, әртүрлі жаңа сипаттамаларға ие талшықтарды өндіруге болады [12]. Нано-диаметрлі бейорганикалық талшықтарды өндіру оңай емес. Табиғи полимерлі хитозанның электроспиннингі [9] туралы 2006 жылы Охкава және басқалар хабарлады. Шифман және басқа ғалымдар, кемеңнің түбінде электроспиннинг әдісін қолдана отырып тігілген хитозан төсеніштерін көрсетті [13]. Сондай-ақ, электроспиннинг әдісін желатинді гидроксипатит наноталшығын Ким және басқалар тіндерді басшылыққа ала отырып жасау үшін шығарған [14].

Нәтижелер және оларды талқылау

Көміртекті нанотүтікшелер (КНТ). Көміртекті нанотүтікшелер жоғары серпімділік модулі және жоғары созылу беріктігі сияқты бірқатар механикалық қасиеттерге ие. Көміртекті нанотүтікшелер композитте

армирлеуші ретінде пайдаланылған кезде, оларды тарту өте қиын және бұл КНТ үшін кемшілік. Бұл нанокомпозит механикалық қасиеттерге ие бола алмайды. Сондықтан электроспиннинг әдісімен алынған полимерлі наноталшықтарға КНТ синтезі бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді. Электр иіру процесінде КНТ талшықтың бір шетінен екіншісіне қарама-қарсы полимерлі дисперсия өткізгіштігі мен таза электр иіру күші негізінде тартылады деп күтілуде. Цзян және т.б. электрохимиялық энергетика саласында көміртекті нанотүтікшені/ полианилинді кеңінен қолдануға жоғары ток сезімталдығына, жоғары өткізгіштікке және меншікті сыйымдылыққа негізделген көміртекті нанотүтікшені/полианилинді электроспиннинг арқылы қол жеткізілді [15]. Майтра және т.б. ғалымдар КНТ электроспиннинг талшықтардың өткізгіштігінің жоғарылауын және өндіріс әдісінің электроспиннинг наноталшықтарындағы көміртекті парақтардың орналасуына әсерін зерттегенін хабарлады. Сонымен қатар, Рана және т.б. ғалымдар тобының жұмысында көп қабатты КНТ композициялық қабығын электроспиннинг әдісімен синтездеу наноталшықтардың физикалық қасиеттерін жақсартуда өте тиімді екендігі көрсетілген [16].

Жараны таңуда қолдану

Электроспиннинг әдісі арқылы жарадан қорғайтын материал жасауға болады. Зерттеулер көрсеткендей, ультра жұқа наноталшықтарды терінің зақымдалған жеріне тікелей орап, электр өрісін пайдаланып талшықты күнгірт таңғыш жасауға болады. Өлшемі 500-ден 100 мкм-ге дейінгі бұл наноталшықтар жараларды бактериялардан қорғауға жарамды. Хонг ПВА/AgNO₃ электроспиннинг жараға таңғыш дайындағанын хабарлады [17]. Ал Дуан және т.б. ғалымдар тобы цирконий фосфатының ұсақ нанобөлшектері бар бактерияға қарсы электроспиннинг нанобөлшегі жараларды байлауда қолдануға болатындығын хабарлады. Ким және т.б. авторлар өз жұмыстарында жараларды таңу үшін поли (ε-капролактон) наноталшықтарын өндіруге мүмкіндік беретін бағыттаушы ауа үрлеу жүйесі мен электродты пайдаланатын электр иіру құрылғысын сипаттады [16]. Хан және т.б. ғалымдар [14] шаш фолликуласының жасушаларымен өсірілген электроспиннинг наноталшықтарының жараны емдеудің ерте сатысына әсерін зерттеді.



2 – сурет Наноталшықтарды жараны таңуда қолдану

Фильтрлеуде қолдану

Өндірілген электроспиннинг талшықтары талшықтың диаметрін және талшықты жабынның сүзу тиімділігін өлшеу арқылы ауаны сүзу үшін қолданылады. Талшықты фильтрлеу машина жасау саласында ең көп қолданыс тапқан. Мысалы, Media талшықты сүзгілері жоғары сүзу тиімділігімен және ауаға қарсы әсері арқылы ерекшеленеді. Сүзгілердің өнімділігі – талшықтың жұқалығымен байланысты және сүзгілер үшін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Электроспиннинг наноталшықтары тек 0,3 мкм май тамшыларын ұстай алады және бұл сүзу секторындағы маңызды қасиет болып табылады. Осылайша, электроспиннинг әдісімен алынған талшықтар қажетсіз ұсақ бөлшектерді кетіруге жақсы материал болып табылады. Электроспиннингті наноталшықты сүзгілердің тиімділігін беттің адгезиясын арттыратын керемет көлемді бетінің арқасында арттыруға болады. 2002 жылы Эмиг және т.б. авторлар наноталшық қабатын қамтитын шанды фильтрлейтін қапшық жасаудың жаңа әдісін ұсынды. Бірқатар сынақтар арқылы Xiao-Hong Qin және авторлар талшықтың диаметрін, жалпы диаметрін, сүзу өнімділігін және наноталшық мен ішкі қабаттардың текстуралық сүзгісін өлшеді. Нәтижелер наноталшықтың диаметрі ішкі қабаттармен салыстырғанда өте аз екенін көрсетті. Сонымен қатар, наноталшықтың сүзу тиімділігі мен беріктігі ішкі қабаттарға қарағанда жоғары екендігін көрсетті [17].

Дәрі-дәрмектерді жеткізу

Электроспиннинг әдісін қолдана отырып, дәрі-дәрмектерді жеткізу жүйесін бақылау үшін құрамында дәрілік заттар бар наноталшыққа негізделген капсулалар жасауға болады. Мами Хамори және т.б. ғалымдар метакрил қышқылының электроспиннингті полярлы және полярлы емес препараттар үшін дәрі-дәрмектерді жеткізудің тиімді әдісі болып табылады деп хабарлады [15]. Тончева және басқа ғалымдар тобы электроспиннингті талшықты негіз ретінде поли (L-лактид) және натрий диклофенак және дәрілік зат ретінде лидокаин гидрохлориді қолданатын қос спиннинг және жалғыз спиннингпен салыстырды. Олар қос спиннингті қолдану тәсілі натрий диклофенак пен лидокаингидрохлоридінің иондық әрекеті мен реакциясын жоюға мүмкіндік беретінін байқады [18].

Қорытынды

Электроспиннинг – зертханалық жағдайларда наноөлшемді талшықтарды алудың қарапайым әдісі. Бұл әдіс наноталшықтарды алудың ең қолайлы әдістерінің біріне айналды, наноталшықтар медицинада, фильтрацияда, тоқыма өнеркәсібінде және т.б. салаларда кең қолданысқа ие болды. Осы әдіске және оны қолдануға бағытталған зерттеулердің саны соңғы онжылдықта артып келеді, бұл электроспиннинг әдісінің маңыздылығын көрсетеді. Электроспиннингті наноталшықтар әртүрлі ерекше қасиеттеріне байланысты бірнеше салаларда кеңінен қолданылады. Қолдану салалары катализден қоршаған ортаны қорғауға, энергияны жинауға/ түрлендіруге/ сақтауға және биомедицинаға дейін кең ауқымда болып табылады. Электроспиннинг наноталшықтарынан жасалған төсеніштер жоғары кеуектілігі мен үлкен бетінің арқасында ластанған ауадан да, ағынды сулардан да ластаушы заттарды кетіру үшін жетілдірілген сүзгілер ретінде қолданылады. Диаметрі, кеуектілігі, туралануы, механикалық қасиеттері және биологиялық ыдырауы тұрғысынан оңтайландырудан кейін нервтерді, теріні, жүректі, қан тамырларын, тірек-қимыл жүйесін және тіндердің интерфейстерін қоса алғанда, әртүрлі тіндердің қалпына келуін немесе регенерациясын жақсарту үшін наноталшықтарға негізделген тіректер зерттелді. Электроспиннинг наноталшықтарының соңғы клиникалық сынақтары оларды регенеративті медицинаға, атап айтқанда, тіндердің операциядан кейінгі адгезиясын болдырмау үшін тосқауыл мембраналары ретінде пайдалану үшін түпкілікті енгізуге жол ашуды бастады.

Алғыс

Авторлар Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетіне қаржылық қолдау көрсеткені үшін алғысын білдіреді («AP23490169 «Лигнин талшықтарының композиттерін

электроспиннинг арқылы синтездеу және оны батареялар үшін электродтар ретінде қолдану»).

References

1 **Vollrath, F., Knight, D.** Liquid Crystalline Spinning of Spider Silk / F. Vollrath., D. Knight // *Adv Fiber Mater.* – 2021. – № 23. – P. 48 – 52. – doi.org/10.1038/35069000.

2 **Heim, M., Keerl, D.** Spider Silk: From Soluble Protein to Extraordinary Fiber / M. Heim., D. Keerl // *Adv Fiber Mater.* – 2020. – №48. – P. 35–39. – doi.org/10.1002/anie.200803341.

3 **Andersson, M., Jia, Q., Abella, A.** Biomimetic Spinning of Artificial Spider Silk from a Chimeric Minispidroin / M. Andersson, Q. Jia, A. Abella // *Nat. Chem. Biol.* – 2017. – № 13. – P. 262 – 264. – doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00402.

4 **Murillo, L., Rivero, P., Sandúa, X.** Antifungal Activity of Chitosan/Poly(Ethylene Oxide) Blend Electrospun Polymeric Fiber Mat Doped with Metallic Silver Nanoparticles / L. Murillo, P. Rivero, X. Sandúa // *Nat. Chem. Biol.* – 2023. – № 8. – P. 15 – 18. – doi.org/10.3390/polym15183700.

5 **Alessio, V., Riccardo, A.** Experimental investigations on the multi-jet electrospinning process. / V. Alessio., A. Riccardo // *Vac. Sci. Technol.* – 2019. – № 11. – P. 5178–5185. – doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.03.003.

6 **Seeram, R., Kazutoshi, F.** Electrospun Nanofibers: Solving Global Issues / R. Seeram., F. Kazutoshi // *Chem. Soc. Rev.* – 2019. – № 9. – P. 40 – 50. – [doi.org/10.1016/S1369-7021\(06\)71389-X](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(06)71389-X).

7 **Tseng, A., Notargiacomo, A.** Nanofabrication by scanning probe microscope lithography: A review / A. Tseng., A.J. Notargiacomo // *Vac. Sci. Technol.* – 2021. – № 23. – P. 877-894. – doi.org/10.1116/1.1926293

8 **Luo, C., Stoyanov, S.** Electrospinning Versus Fibre Production Methods: From Specifics to Technological Convergence / C. Luo., S. Stoyanov // *Chem. Soc. Rev.* – 2019. – №40. – P. 470–475. – doi.org/10.1039/c2cs35083a.

9 **Rahul, S., Sundaramurthy, J.** Electrospun composite nanofibers and their multifaceted applications / S. Rahul, J. Sundaramurthy // *Chem. Soc. Rev.* – 2020. – № 41. – P. 470–473. – doi.org/10.1039/C2JM30966A.

10 **Jian, S., Zhu, J.** Nanofibers with Diameter Below One Nanometer from Electrospinning / S. Jian., J. Zhu // *Nat. Chem. Biol.* – 2018. – № 8. – P. 47–50. – doi.org/10.1039/C7RA13444D.

11 **Ma, W., Zhang, Y., Pan, S.** Smart fibers for energy conversion and storage / W. Ma., Y. Zhang., S. Pan // *Chem Soc Rev.* – 2021. – № 50. – P. 70-75. – doi.org/10.1039/C2JM30966A.

12 **Baye, B., Tesfaye, T.** The new generation fibers: a review of high performance and specialty fibers / B. Baye., T. Tesfaye // Polym Bull. – 2021. – № 12. – P. 21-25. – doi.org/10.1007/s00289-021-03966-6.

13 **Chen, Y., Dong, X., Shafiq, M.** Recent advancements on three-dimensional electrospun nanofiber scaffolds for tissue engineering / Y. Chen., X. Dong., M. Shafiq // Adv Fiber Mater. – 2022. – № 8. – P. 48-52. – doi.org/10.1007/s42765-022-00170-7.

14 **Xu, T., Ding, Y., Liang, Z.** Three-dimensional monolithic porous structures assembled from fragmented electrospun nanofiber mats/membranes: methods, properties, and applications / T. Xu., Y. Ding., Z. Liang // Prog Mater Sci. – 2021. – № 112. – P. 87-91. – doi.org/10.1039/C2JM30966A.

15 **Li, Y., Cao, L.** Ultrafine, self-crimp, and electret nano-wool for low-resistance and high-efficiency protective filter media against PM0.3 / Y. Li., L. Cao // Colloid Interf. Sci. – 2022. – №51. – P. 57-59. – doi.org/10.1016/j.jcis.2020.05.123.

16 **Dou, L., Si, Y., Yu, J.** Semi-template based, biomimetic-architected, and mechanically robust ceramic nanofibrous aerogels for thermal insulation / L. Dou., Y. Si., J. Yu // Nano Res. – 2022. – № 15. – P. 20-23. – doi.org/10.1007/s12274-022-4194-9.

17 **Kalauni, K., Pawar, S.** A review on the taxonomy, factors associated with sound absorption and theoretical modeling of porous sound absorbing materials / K. Kalauni., S. Pawar // J Porous Mat. – 2021. – № 26. – P. 95-98. – doi.org/10.1007/s10934-019-00774-2.

18 **Wu, H., Li, Y., Zhao, L.** Stretchable and superelastic fibrous sponges tailored by “stiff-soft” bicomponent electrospun fibers for warmth retention / H. Wu., Y. Li., L. Zhao // ACS Appl Mater Interfaces. – 2020. – № 12. – P. 27-30. – doi.org/10.1021/acsami.0c05333.

Басып шығаруға 04.12.23 қабылданды.

А. Кахарман¹, М. Ауелханқызы^{1,2}

**М. Нажитқызы^{1,2}, Н. Серикбаев²*

¹Казахский Национальный Университет

имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, г. Алматы,

²Институт проблем горения,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Принято к изданию 04.12.23.

ЭЛЕКТРОСПИННИНГ: ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОЦЕСС И ПРИМЕНЕНИЕ

Электроспиннинг – это процесс, который приводит к образованию нанотрубок в результате воздействия электростатических сил на электрически заряженный поток полимерного раствора или расплава. Метод электроспиннинга на сегодняшний день является самым популярным и универсальным методом получения ультратонких полимерных волокон. Метод включает в себя множество параметров: концентрацию полимера и соли-предшественника, вязкость раствора, конфигурацию иглы и коллектора отстойника, напряжение и расстояние между иглой и коллектором, изменение этих параметров позволяет получить материалы с желаемой структурой, составом и свойствами. Значительные успехи были достигнуты в совершенствовании методов электроспиннинга и в производстве различных прикладных нанопроволок. В данной работе был проведен всесторонний обзор электроспиннинга, включая принципы, методы, материалы и области применения в процессе электроспиннинга. В статье обсуждались принцип и типовое устройство метода, начиная с краткого введения в раннюю историю электроспиннинга. Кроме того, были рассмотрены области применения нанотрубок, полученных методом электроспиннинга, включая их использование в качестве интеллектуальных матрасов, фильтрующих мембран, каталитических субстратов, компонентов сбора/преобразования /хранения энергии, фотонных и электронных устройств и биомедицинских опор. Также активно изучаются и освещаются последние научные статьи об использовании нанопроволок, полученных методом электроспиннинга.

Ключевые слова: электроспиннинг, технология, УНТ, волокна, нановолокна.

A. Kaharman¹, M. Auelkhankyzy^{1,2},

**M. Nazhipkyzy^{1,2}, N. Serikbayev²*

¹Al-Farabi Kazakh National University,
Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Institute of Combustion Problems,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Accepted for publication on 04.12.23.

ELECTROSPINNING: TECHNOLOGY, PROCESS AND APPLICATIONS

Electrospinning is a process that leads to the formation of nanotubes as a result of the action of electrostatic forces on an electrically charged flow of a polymer solution or melt. The electrospinning method is by far the most popular and universal method for producing ultrathin polymer fibers. The method includes many parameters: the concentration of the polymer and the precursor salt, the viscosity of the solution, the configuration of the needle and the collector of the sump, the voltage and distance between the needle and the collector, changing these parameters allows you to obtain materials with the desired structure, composition and properties. Significant progress has been made in improving electrospinning methods and in the production of various applied nanowires. In this paper, a comprehensive review of electrospinning was conducted, including principles, methods, materials and applications in the electrospinning process. The article discussed the principle and typical device of the method, starting with a brief introduction to the early history of electrospinning. In addition, the fields of application of nanotubes obtained by electrospinning were considered, including their use as intelligent mattresses, filter membranes, catalytic substrates, energy collection/conversion/storage components, photonic and electronic devices and biomedical supports. The latest scientific articles on the use of nanowires obtained by electrospinning are also actively studied and highlighted.

Keywords: electrospinning, technology, CNT, fibers, nanofibers.

Теруге 04.12.2023 ж. жіберілді. Басуға 28.12.2023 ж. қол қойылды.
Электрондық басылым
2,14 МБ RAM
Шартты баспа табағы 8,28.
Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. Ж. Шокубаева
Корректорлар: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 4244

Сдано в набор 04.12.2023 г. Подписано в печать 28.12.2023 г.
Электронное издание
2,14 МБ RAM
Усл. п. л. 8,28. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка З. Ж. Шокубаева
Корректоры: А. Р. Омарова
Заказ № 4244

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
e-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-cb.tou.edu.kz