

М. Әуелханқызы^{1,2*} , А. Жамаш^{1,2} , Н. Рақымжан² , М. Әуелханқызы¹ ,
Б.Т. Лесбаев^{1,2} 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Жану проблемалар институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: auyelhankyzy.m@kaznu.kz

КӨМІРТЕКТІ НҮКТЕЛЕР: ТҮРЛЕРІ, АЛУ ЖОЛДАРЫ, ҚАСИЕТІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ АЯСЫ

Нанотехнология – іргелі және қолданбалы ғылымдардың және технологияның қиылысында орналасқан пәнаралық сала. Бұл салада дәстүрлі жолмен алуға мүмкін емес материал түрлерін атомдық және молекулалық деңгейде манипуляция жасау арқылы жаңа және қажетті материалдарды алуды мүмкін етеді. Осы салада соңғы жылдары өзінің көрсететін әртүрлі қасиеттерінің арқасында қарқынды дамып келе жатқан нөл-өлшемді наноматериалдардың бірі – көміртекті нүктелер. Көміртекті нүктелер – фотокатализ, жарық шығаратын құрылғыларда және сенсорларда қолдануға қолайлы қасиеттері бар тартымды көміртекті наноматериалдар.

Бұл шолу мақаласында көміртекті нүктелерді зерттеу барысында жасалған алғашқы қадамдардан басталып, яғни 2004 жылы бұл наноматериалдардың «флуоресцентті нанобөлшектер» деп аталуынан бастап, даму тарихына, яғни 2011 жылдан қазіргі уақытқа дейін жасалған жұмыстарға тоқталынды. Көміртекті нүктелерді графенді кванттық нүктелер, көміртекті кванттық нүктелер және карбонизделген полимерлі нүктелер деп бөліп қарастыру ұсынылып, олар бір-бірімен салыстырылып, жан-жақты зерттелінді. Сонымен қатар, бұл көміртекті нүктелерді синтездеуде қолданылатын «жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдері және оларға жататын әдістер қарастырылды. Көміртекті нүктелерге деген қызығушылықтың артуы олардың көрсететін әртүрлі қасиеттері болғандықтан, олардың оптикалық, электрохимиялық қасиеттері және дисперстілігі мен уыттылығы сипатталды. Бұл мақаланың соңында көміртекті нүктелердің қолдану аясына, яғни сенсорларда, биомедицинада, фототерапиялық нысандарда, энергия сақтауда және катализде қолдануы толықтай қарастырылды.

Түйін сөздер: көміртекті нүктелер, нөл-өлшемді наноматериалдар, фотолюминесценция, сенсор, биомедицина.

M. Auyelkhankyzy^{1,2*}, A. Zhamash^{1,2}, N. Rakhymzhan², M. Auyelkhankyzy¹, B.T. Lesbayev^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: auyelhankyzy.m@kaznu.kz

Carbon dots: their types, obtaining methods, properties and applications

Nanotechnology is an interdisciplinary field at the intersection of fundamental and applied sciences and technology. This field makes it possible to obtain new and useful materials by manipulating materials that are not available in traditional ways at the atomic and molecular levels. One of the zero-dimensional nanomaterials that has been rapidly developing in this field in recent years due to the diverse properties it exhibits is carbon dots. Carbon dots are attractive carbon nanomaterials with properties suitable for use in photocatalysis, light-emitting devices, and sensors.

This review article focuses on the history of carbon dots, starting from the first steps taken in the study of carbon dots, i.e., from the name of these nanomaterials "fluorescent nanoparticles" in 2004, to the development history, i.e., from 2011 to the present. It is proposed to consider carbon dots as graphene quantum dots, carbon quantum dots, and carbonized

polymer dots, and they are compared and studied in detail. In addition, the “Top-down” and “bottom-up” approaches used in the synthesis of these carbon dots and their related methods were reviewed. Due to the increasing interest in carbon dots due to their diverse properties, their optical, electrochemical properties, dispersibility and toxicity were characterized. At the end of this article, the application of carbon dots in sensors, biomedicine, phototherapy, energy storage and catalysis are fully reviewed.

Keywords: carbon dots, zero-dimensional nanomaterials, photoluminescence, sensors, biomedicine.

М. Ауелханкызы^{1,2*}, А. Жамаш^{1,2}, Н. Рақымжан², М. Ауелханкызы¹, Б.Т. Лесбаев^{1,2}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

*e-mail: auyelkhankyzy.m@kaznu.kz

Углеродные точки: виды, способы получения, свойства и область применения

Нанотехнологии – междисциплинарная область, находящаяся на стыке фундаментальных и прикладных наук и технологий. Эта область позволяет получать новые и востребованные материалы путем манипулирования типами материалов на атомном и молекулярном уровне, которые невозможно получить традиционными способами. Одним из нульмерных наноматериалов, который в последние годы стремительно развивается в этой области благодаря своим разнообразным свойствам, являются углеродные точки. Углеродные точки – это привлекательные углеродные наноматериалы со свойствами, подходящими для использования в фотокатализе, светоизлучающих устройствах и сенсорах.

В данной обзорной статье рассматривается история исследований углеродных точек, начиная с первых шагов, предпринятых в 2004 году, когда эти наноматериалы были названы «флуоресцентными наночастицами», и продолжая работой с 2011 года по настоящее время. Было предложено выделять углеродных точек как графеновые квантовые точки, углеродные квантовые точки и карбонизированные полимерные точки. Они были сравнены и тщательно изучены. Кроме того, были рассмотрены подходы «сверху вниз» и «снизу вверх», используемые при синтезе углеродных точек, а также связанные с ними методы. Интерес к углеродным точкам растет из-за разнообразных свойств, которые они проявляют; были охарактеризованы их оптические, электрохимические свойства, а также дисперсность и токсичность. В конце статьи подробно обсуждается применение углеродных точек в сенсорах, биомедицине, фототерапии, хранении энергии и катализе.

Ключевые слова: углеродные точки, нульмерные наноматериалы, фотолюминесценция, сенсор, биомедицина.

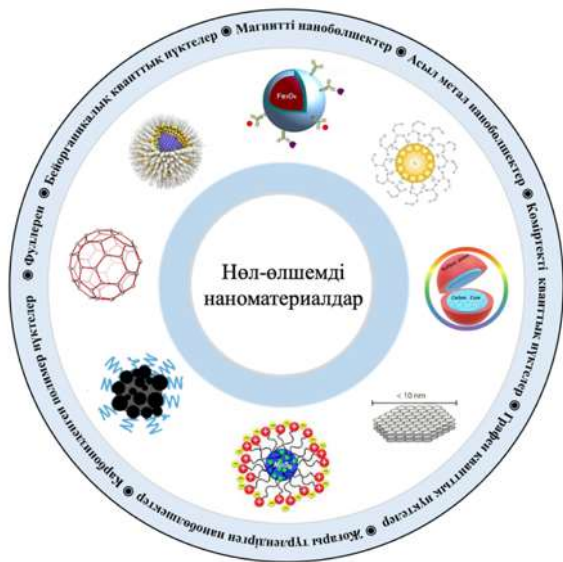
Kіріспе

Нөл-өлшемді наноматериалдар, негізінен, диаметрі 100 нм-ден аз сфералық немесе квазисфералық нанобөлшектер болып табылады. Нөл-өлшемді наноматериалдарды қолдану тарихы бұрыннан зерттеле бастағанымен, негізгі ұғымдар, жетістіктер мен түсініктер 20 ғасырдың ортасынан кейін пайда болды. Нөл-өлшемді наноматериалдар қарапайым материалдардан көптеген сипаттамалары, яғни өлшемі, пішіні, кванттық эффектсі және беттік ауданның көлемге қатынасы бойынша ерекшеленеді. Сонымен қатар, мұндай наноматериалдар

көптеген қолданбаларда олардың керемет сипаттамаларының арқасында қолданылып жүр [1, 2]. Нөл-өлшемді наноматериалдарды соның ішінде «кванттық нүктелерді ашқаны және синтездегені үшін» химия бойынша 2023 жылы ең жоғары ғылыми «Нобель» сыйлығына Мунги Дж. Бавенди, Луи Э. Брус және Алексей Екимов ие болды.

Нөл-өлшемді наноматериалдың түрлері өте көп, 1-сурет, соның ішінде көміртекті наноматериалдарға ғалымдар ерекше қызығушылық танытып жатыр. Себебі көміртек атомдарының

тізбегі берік және көміртектің аллотропиялық модификациясы басқа элементтерге қарағанда көп. Соңғы жылдары нөл-өлшемді көміртекті наноматериалдарға, яғни фуллерен [3] мен көміртекті нүктелерге [4, 5], сонымен қатар бір-, екі- және үш-өлшемді көміртекті наноматериалдарға, яғни көміртекті нанотүтікшелерге [6], графенге [7], көміртекті аэрогельдерге [8, 9, 10, 11] және олардың туындыларына көп көңіл бөлініп, зерттелініп, қолдану аясы көбейіп келеді.



1-сурет – Нөл-өлшемді наноматериалдар

Нанотехнологияның негізгі кванттық объектілері – кванттық нүктелер. Кванттық нүктелер – бұл нанобөлшектер құрамында фосфор, көміртегі, ауыр металдар және басқа элементтер бар әртүрлі материалдардан жасалған наноматериалдар [12]. Кванттық нүктелердің ішінде көміртекті нүктелер ерекше орын алады. Бетінде әртүрлі органикалық функционалды топтары бар кванттық шектеуді көрсетпейтін аморфты көміртек нанобөлшектерін немесе барлық квазисфералық көміртек нанобөлшектерін көміртекті нүктелер деп атауға болады.

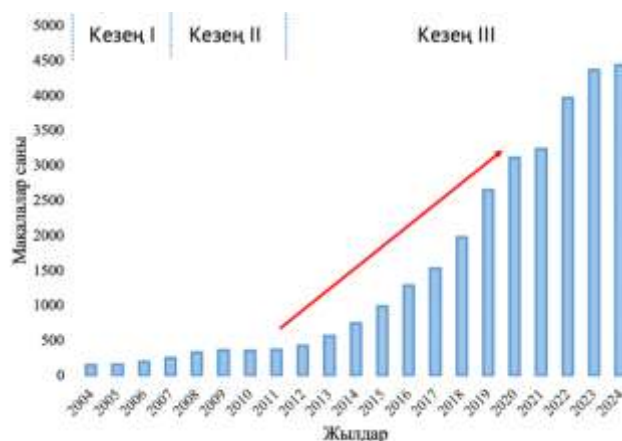
Көміртекті нүкте туралы, әсіресе қолданысы мен қасиеті жайлы ақпараттың дамуын үш кезеңге бөлуге болады, сурет 2.

I-кезеңде Оңтүстік Каролина университетінің ғалымдары 2004 жылы [13] бір қабатты көміртекті нанотүтікшелерді препаративті электрофорез әдісімен тазалау кезінде көміртекті нүктелерді анықтады. Бұл алғашқы еңбекте көміртекті нүктелерді «флуоресцентті нанобөлшектер» деп атады. Содан кейін Клемсон университетінің ғалымдары 2006 жылы [14] бұл нанобөлшектерді «көміртекті кванттық нүктелер»

деп атап, оларды графит ұнтағы мен цементті лазерлік абляциялау арқылы алып, көміртекті нүктенің басқа нанобөлшекті көміртек негізіндегі материалдан айырмашылығын көрсетті. Бұл нанобөлшек туралы іздестірулер жүріп жатты, алайда толыққанды алыну жолдары мен қасиеттері шешілмеді.

II-кезеңде 2007-2010 жылдары көміртекті материалдарды қолдана отырып, көміртекті нүктелердің алыну жолдары қарастырылды. Осы жылдар аралығында көміртекті нүктелердің оптикалық және электрохимиялық қасиеттері тәжірибедегі параметрлердің өзгеруімен қасиеттерінің өзгеретіні дәлелденіп, ғалымдардың көміртекті нүктенің құрылымы мен қолдану аясына қызығушылығы арта түсті.

III-кезеңде шамамен 2011 жылдан бастап көміртекті нүктелер туралы мақалалар күрт ұлғая бастады. Оның негізінде көміртекті нүктенің қасиеттері зерттеліп, әртүрлі қолдану салалары қарастырылды. Мысалға: сенсор қосымшалары, энергия сақтау құралдары, био-сурет, катализ және т.б.



2-сурет – ISI Web of Science-тен алынған 2004 жылдан 2024 жылға дейінгі көміртекті нүктелер туралы мақалалар санын көрсететін гистограмма

Бұл мақаланың негізгі мақсаты көміртекті нүктелер туралы толық мәлімет беру, яғни көміртекті нүктелерінің жіктелуін, олардың алыну жолдарын, қасиеттерін, және қолдану аясын ашып көрсету болып табылады. Сонымен қатар, көміртекті нүктелер саласындағы соңғы прогрестер сипатталады. Себебі, ғалымдардың зерттеу нәтижесі көміртекті нүктелердің көптеген салаларда қолдануға мүмкін болатынын көрсетті. Мысалы, олардың фотоэлектроникалық және люминисценция қасиеттеріне байланысты ғалымдар және инженерлер көміртекті нүктелерді оптоэлектроникада қолдану мүмкіндігін көрсетті [1].

Көміртекті нүктелердің жіктелуі

Көміртекті нүктелердің алуан түрлілігіне байланысты олардың нанокұрылымдарын дәл анықтау және жіктеу қиын болып табылады. Жүргізілген алдыңғы жұмыстарға [15, 16] сүйене отырып, көміртекті нүктелердің көміртегі ядросына сәйкес үш түрге бөліп қарастырылады. Олар графенді кванттық нүктелер (ГКН), көміртекті кванттық нүктелер (ККН) және карбонизделген полимерлі нүктелер (КПН), 3-сурет. 1-ші кестеде аталған көміртекті нүктелердің құрылымдық сипаттамасы, фотолюминесценция (ФЛ) механизмі, синтезделу тәсілі, артықшылығы, кемшілігі және қолдану аясы салыстырылып көрсетілген.

Графенді кванттық нүктелер (ГКН) – нөл-өлшемді, 2-50 нанометр аралығында болатын, флюоресцентті қасиетімен танымал көміртекті наноматериалдар. ГКН-дерді «жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдерімен синтездеуге болады. «Жоғарыдан төмен» тәсілдеріне жататын лазерлік абляция, доғалық разряд, электрохимиялық тотығу, химиялық тотығу және ультрадыбыстық өңдеу әдістерімен, яғни графен, көміртекті талшықтар, наноалмаздар, көміртекті күйелер сияқты көміртекті материалдарды ұсақтау арқылы ГКН алуға болады.

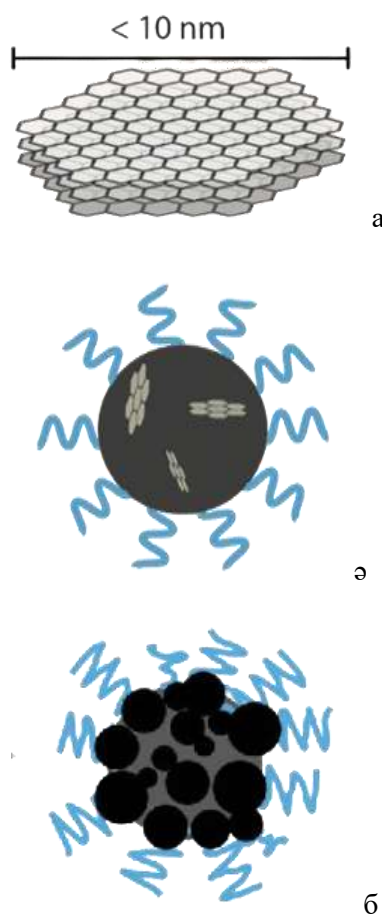
Кванттық көміртекті нүктелер (ККН) – құрамында sp^2 және sp^3 көміртегі қоспасына негізделген кристалды ядросы бар квазисфералық көміртекті нанобөлшектер. ККН суда жақсы ериді, жоғары люминесценцияға ие, сонымен қатар химиялық инерттілігі жоғары және фототүссіздендіруге төзімді [17].

Карбонизделген полимерлі нүктелер (КПН) жоғарыда аталған көміртекті нүктелерден айтарлықтай ерекшеленетін сызықтық полимерлерді немесе мономерлерді біріктіру, тігу арқылы алынған көміртекті нанобөлшектерді қамтиды. Яғни, бұл көміртек атомдарының полимерлік тізбектерінің нәтижесінде пайда болатын микроскопиялық немесе нанометрлік құрылым. Олардың өлшемдері әдетте 10 нанометрден аспайды. Сонымен қатар, КПН полимерлер сияқты әртүрлі қасиеттерге ие және олардың құрамы әртүрлі болып келеді

Көміртекті нүктелерді алу жолдары

Көміртекті нүктелер табиғатта және адам өмірінде кең таралған, бірақ олардың тазалығы өте төмен болғандықтан, оларды кез-келген салада қолдануға болмайды [18, 19]. Сондықтан, тазалығы жоғары көміртекті нүктелерді синтездеу үшін синтетикалық жолдар қолданылады. Соңғы онжылдықтарда көміртекті нүктелерді

синтездеудің көптеген жолдары ұсынылды, оларды бастапқы заттар мен алынатын көміртекті нүктелердің өлшемдеріне байланысты «жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдеріне бөлуге болады, 4-сурет. 2-кестеде көміртекті нүктелерді синтездеуде қолданылатын тәсілдер және оларға жататын синтетикалық әдістердің дайындау процесіндегі ерекшеліктер, қолданылатын прекурсорлары және алынған көміртекті нүктелердің кванттық кірістілігі, ерігіштігі және шығару түсі көрсетілген.



3-сурет – Көміртекті нүктелер түрлері:
а - ГКН; б - ККН; в - КПН [14]

«Жоғарыдан төмен» тәсілінде көміртекті нүктелерді физикалық немесе химиялық әдістерді қолдана отырып, мысалы графит оксидін, көміртекті нанотүтікшелерді, көмірді, графен және басқа да үлкен өлшемді көміртекті құрылымдарды нөл-өлшемді материалдарға бөлу арқылы жасалады.

Бөлшектердің өлшемдері біркелкі болғанымен, кванттық шығымы әдетте төмен болады,

сонымен қатар өңдеу кезінде күшті химиялық заттар мен беттің активтігін азайту процессі қолданылады. Керісінше, «төменнен жоғары» тәсілінде дегидратация, полимерлеу, айқас

байланыстыру және белгілі бір жағдайларда кіші молекулаларды ірі бөлшектерге карбонизациялау арқылы көміртекті нүктелерді синтездейді.

1-Кесте – ГКН, ККН және КПН арасындағы айырмашылық

Көміртекті нүктелердің түрлері	ГКН	ККН	КПН
Құрылымдық сипаттамасы	Графеннің бірнеше қабаттары, қалыңдығы <2 нм және бүйір өлшемдері <10 нм, беттерінде /жиектерінде функционалдық топтары бар	Квазисфералық нанобөлшектер, диаметрі <10 нм, айқын кристалдық торы бар толық карбонизация ядросы, беттерінде функционалдық топтары бар	Квазисфералық нанобөлшектер, диаметрі <10 нм, полимер/көмір-текті гибриді қаңқа, беттерінде функционалдық топтары бар
ФЛ механизмі	Кванттық шектеу эффектісі және беттік/жиек күйі	Кванттық шектеу эффектісі, беттік күй және молекула күйі	Кванттық шектеу әсері, беттік күй және кросс-байланыс күшейтілген эмиссия эффектісі
Синтезделу тәсілі	«Жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдері	«Жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдері	«Төменнен жоғары» тәсілі
Артықшылығы	Жоғары кристалдылық, тиімді электронды тасымалдау, төменгі кванттық кірістілік, төмен уыттылық	Жеңіл функционалдық, жоғары меншікті бетінің ауданы, жоғары кванттық кірістілік, төмен уыттылық	Жоғары өнімділік, жақсы химиялық инерттілік, жоғары кванттық кірістілік, фосфоресценция, хиральділік
Кемшілігі	Шығымдылығы төмен, қымбат, кванттық кірістілігі төмен, май ерігіштігі нашар	Төмен кірістілік, нашар зарядты тасымалдау	Зарядтың нашар тасымалдануы, полимердің жоғары уыттылығы
Қолдану аясы	Күн элементтері, қайта зарядталатын батареялар, суперконденсатор, электрохимиялық зондтау, жарықдиоды	Биобейнелеу, дәрі-дәрмек жеткізу, жарықдиоды, фотокатализ	Сенсор, жарықдиодты, контрафактілікке қарсы, көміртегі негізіндегі прекурсор



4-сурет – «Жоғарыдан төмен» және «төменнен жоғары» тәсілдері [20]

2-кесте – Көміртекті нүктелерді синтездеуде қолданылатын синтетикалық әдістер

Тәсілдер	Әдістер	Прекурсорлар	Дайындау процесі	Ерігіштік	Кванттық кірістілік (%)	Шығару түсі немесе толқын ұзындығы
«Жоғарыдан төмен»	Лазерлік абляция	Графит	Ar, лазерлік абляция, азот қышқылында рефлюкс, пассивация	Суда таралады	4–10 %	450-650 нм
	Доғалы разряд	Тотыққан КНТ	Доға разряды, ультрадыбыс, фильтр, және центрифуга қолдану	Судағы агрегация	-	Көктен сарғыш жасылға дейін
	Электрохимиялық тәсіл	Графит	100 В ультрадыбыстық электролиз 20 мин	Суда еритін Тұнбаның дисперстілігі	8.9 %	450нм
	Плазмалық өңдеу	Бензол	Доғалық плазмалық өңдеу	Суда еритін	-	Жасыл
«Төменнен жоғары»	Микротолқынды пешті қолдану	Сірке қышқылы	Микротолқынды пеште 40 сек қыздыру	Суда дисперсті	18,9%	460 нм
	Шаблон әдісі	Глицерин	230 °С, 30мин, центрифуга қолдану		~32 %	450–480 нм
	Гидротермиялық	Лимон қышқылы, этилендиамин	160 °С, 4 сағ	Суда таралатын	94%	450 нм
	Пиролитикалық процесс	Лимон қышқылы, глутатион	200 °С, 10 мин	Суда еритін	~80.3 %	Көк

«Жоғарыдан төмен» тәсіліне лазерлік абляция, доғалық разряд, ультрадыбыстық пассивация, электролиз (электрохимиялық тотығу) және плазмалық өңдеу әдістері жатады. «Төменнен жоғары» тәсілдеріне пиролитикалық процесс, шаблон әдісі, микротолқынды пешті қолдану әдісі, химиялық тотығу, гидротермиялық әдіс, ультрадыбыстық әдіс, жану және термиялық тотығу әдістері жатады

Көміртекті нүктелердің қасиеттері

Көміртекті нүктелердің құрылымдары мен компоненттері олардың әртүрлі қасиеттерін анықтайды. Көміртекті нүктелер бетіндегі көптеген карбоксил фрагменттері суда тамаша ерігіштік пен биожетімділікті береді. Сонымен қатар, олар химиялық модификацияға және бетті әртүрлі органикалық, полимерлі, бейорганикалық немесе биологиялық материалдармен пассивациялауға жарамды. Беттік пассивация арқылы көміртекті нүктелердің флуоресцентті қасиеттерін және физикалық қасиеттері жақсартуға болады.

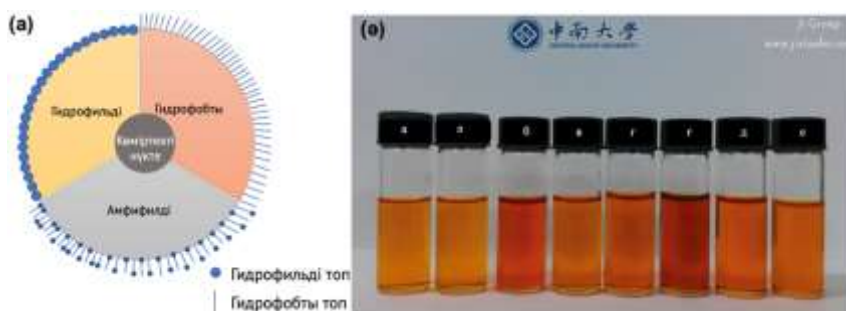
Көміртекті нүктелердің дисперстілігі

Көміртекті нүктелерді суда немесе органикалық еріткіштерде ерекше «ерігіштік» дәрежесіне қарай оларды үш түрге, яғни гидрофильді, гидрофобты және амфифильді деп бөліп қарастыруға болады, 5а-сурет [21, 22]. Көміртекті нүктелердің беткі күйі олардың дисперстілігін реттеуде маңызды рөл атқарады. Егер олардың беті негізінен гидрофильді функционалдық топтардан (мысалы, -ОН, -COOH) тұратын болса, онда өміртекті нүктелер гидрофильді болып табылады. Сонымен қатар, көбінесе көміртекті нүктелердің гидрофильді болуына оларды дайындау процесінде оттегімен қамтамасыздандырылатыны болып табылады.

Гидрофобты көміртекті нүктелерді зерттеуге деген қызығушылық соңғы кездері кейбір қолданбаларда, мысалы, оларды органикалық электролиттік қоспа ретінде қолдануда артты. Хоу және т.б. [23] көміртекті нүктелерді әртүрлі органикалық еріткіштерде, соның ішінде этанол, ацетон, бензил спирті, тетрагидрофуран, диметилформамид, 1-метил-2-пирролидинон, диметилсульфоксид және пропилен карбонатында жақсы дисперстілік көрсеткенін айтты. Сонымен

катар, бұл ерітінділер біркелкі, мөлдір және тұрақты, бұл көміртекті нүктелерді әртүрлі салаларды қолдануын жеңілдететінін көрсетті, сурет 5ә. Органикалық еріткіштердегі тамаша дисперстілік метил топтарындағы көміртегі-сутектік біртұтас байланыстың (C-H) созылу және иілу тербелістеріне жатқызылуы мүмкін. Гидрофобты көміртегі нүктелерін беттік пассивтелген

гидрофобты молекулалардан да алуға болады. Пан және т.б. [24] алдын-ала дайындалған көміртек нанобөлшектердің бетіндегі карбоксил тобымен ковалентті байланысқан, пассивтенген агент ретінде додециламинді (DDA) пайдалана отырып, гидрофобты көміртегі нанобөлшектерін дайындады..



а - этанол; ә - ацетон; б - бензил спирті; в - тетрагидрофуран; г - диметилформамид; д - 1-метил-2-пирролидинон; е - диметилсульфоксид; е - пропилен карбонаты

5-сурет – Көміртекті нүктелердің «ерігіштік» дәрежесіне қарай жіктелуі [21] (а); Әртүрлі органикалық еріткіштерде көміртекті нүктелердің ерігіштігі (ә) [23]

Оптикалық қасиеттері

Көміртекті нүктелердің (ГКН, ККН және КПН) қасиеттері бастапқыда қолданылған көміртек көзіне және қолданылған синтетикалық әдіске байланысты болады. Мысалы, Көміртекті нүктелердің абсорбция қасиетін қарастыратын болсақ, алынған материалдың сіңіру қасиеті қолданылған көміртек көзіне және әдіске тікелей байланысты. Дегенмен, олар әдетте ультракүлгін (УК) аймағында (200-400 нм) күшті сіңіруді көрсетеді.

Көміртекті нүктелердің іргелі және қолданбалы тұрғыдан ең басты қасиеттерінің бірі фотолюминесценция болып табылады. Фотолюминесценция ол материалдың бетіне әр түрлі толқын ұзындықтағы жарықты түсіру арқылы оның сәуле шығаруын қоздыру процессі. Материалдың фотолюминесценциясы қоздырушы жарықтың толқын ұзындығына тәуелді болып табылады.

Көміртекті нүктелердің құрамында кадмий /қорғасын, сирек-жер наноматериалдары және органикалық бояғыштары бар кванттық нүктелер сияқты басқа флуоресцентті материалдармен салыстырғанда, олар өте жақсы жарық тұрақтылық, жоғары шығымға, төмен уыттылық, синтездеу үшін арзан және өте көп шикізаттардың қолданылуымен қатар өте жоғары биоүйлесімділікпен ерешеленеді. Бұл олардың әртүрлі салаларда, маңызды қолданбаларда қолданылуын қамтамасыз етеді.

Көміртекті нүктелердің фотолюминесценциясы сандық түрде кванттық шығымның мәнімен көрінеді, оған қолданылған көміртегі көздері, синтетикалық тәсілдер және пассивациядан кейінгі әсерлер қатты әсер етеді. Дегенмен, «жоғарыдан төмен» тәсілдер бойынша дайындалған көміртекті нүктелер әдетте «төменнен жоғары» тәсілдерімен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен кванттық шығымға ие. Сондықтан, ГКН кванттық шығымы әрқашан ККН және КПН-ге қарағанда төмен.

Көп жағдайда көміртекті нүктелер көк немесе жасыл түсті флуоресценция шығарады, бұл олардың биомедицинадағы әрі қарай қолданылуын шектейді, ал соңғы зерттеулер реакция жағдайларын немесе көміртек көздерін реттеу арқылы қызыл және NIR эмиссиялық көміртекті нүктелерді алуды сәтті көрсетті.

Электрохимиялық қасиеттері

Көміртекті нүктелер қазіргі уақытта келесі қасиеттерінің арқасында электрохимия және электрокатализ саласында қолданылады [25]:

1. Көміртек негізіндегі басқа наноматериалдармен салыстырғанда көміртекті нүктелер ерекше заряд тасымалдау қабілетімен, электрөткізгіштігімен, беттік ауданның үлкендігімен және салыстырмалы түрде үнемділігімен ерекшеленеді.

2. Көміртекті нүктелердің бетінде көптеген функционалды топтар бар, мысалы, гидроксил,

карбоксил, амин және т.б., олар бетті модификациялауға мүмкіндік береді, сонымен қатар молекулааралық электр өткізгіштігін жеделдету арқылы электрокаталитикалық белсенділікті арттырады.

3. Көміртекті нүктелерді азот, фосфор, күкірт, бор және т.б. сияқты гетероатомдармен легирлеу арқылы олардың электронды қасиеттерін молекулаішілік заряд тасымалдау есебінен айтарлықтай жақсартуға болады.

4. Көміртекті нүктелерді оттегінің және сутегінің бөліну, оттегінің тотықсыздану және спирттің тотығуы сияқты электрохимиялық реакциялар кезінде электрокатализ процесін айтарлықтай жақсарты алады.

Көміртекті нүктелердің жоғарыда аталған артықшылықтары оларды қажетті электрохимиялық қолданбаларға қызмет ету үшін тамаша электрокаталитикалық агенттер ретінде қолданады. Сонымен қатар, көміртекті нүктелер тамаша электрөткізгіштігін көрсетеді және оларды электрокаталитикалық реакциялар жағдайында электрокатализатор ретінде пайдаланған кезде электролит-катализатор түйісуінде пайда болған Шоттки ақауларын оңай жоюға болады. Бұл энергияның тиімді түрлендіруін растай алады. Оның үстіне кванттық нүктелердің тамаша электр өткізгіштігінің арқасында олар электрохимиялық реакциялар кезінде электрондарды өте жылдам тасымалдай алады.

Электрохимиялық реакциялар кезінде көміртекті нүктелер тамаша электр өткізгіштікке, көптеген ақаулы аймақтар мен белсенді аймақтар және олардың беттік ауданының көлеміне қатынасына байланысты тиімді әрекет ете алады. Көміртекті нүктелер өткізгіш материалдармен біріктірілгенде, олар электрохимиялық қасиеттері мен өнімділікті айтарлықтай жақсарты алады [25].

Гетероатомдық допинг – электронды құрылымды реттеу

Көміртекті нүктелер азот, фосфор, күкірт, бор және т.б. сияқты гетероатомдармен легирленгенде, бұл олардың химиялық құрылымының өзгеруіне әкеледі, ал электр заряды көрші көміртек атомдарынан тиімді тасымалдана алады. Гетероатомдармен легирленген кванттық нүктелер беттік функционалдық орталықтардың меншікті белсенділігінің күшеюіне, олардың электрондық конфигурациясының өзгеруіне, адсорбция мен десорбцияның жылдамдатылуына байланысты жақсы электрохимиялық сипаттамалар көрсетеді.

Гетероатомды легирлеу және беткі функционализация ККН электрохимиялық сипаттамаларын оңтайландырудың тиімді стратегиясы болуы

мүмкін. Электронды тасымалдау тұрғысынан, негізінен, электронды иондаушы гетероатомдарды (мысалы, азот) қосу гетерогенді электронды тасымалдаудың (ГЭТ) жоғары жылдамдығына әкелуі мүмкін, ал электрондарды шығаратын гетероатомдармен (мысалы, галогендер) допинг ГЭТ жылдамдығының төмендегенін көрсетеді. ККН-де көбірек функционалды оттегі топтарының болуы өткізгіш көміртегі конфигурациясы sp^2 бұзылуына байланысты электронды тасымалдаудың баяулауына әкелуі мүмкін. Көптеген зерттеулер қосарланған/көп элементті бірлескен допингтің көміртекті нүктелер электрондарының берілуіне әсерін зерттеуге арналған. Металл легирлеуші қоспалар көміртекті нүктелер зарядының берілуін едәуір арттыра алады. Көміртекті нүктелер жоғары электр өткізгіштікке (171,8 лс см⁻¹) мыс атомымен (Cu) допинг арқылы қол жеткізілді деп болжады. Cu (II) иондары және көміртекті нүктелер функционалды топтары Cu лиганд байланысын құра алады және осылайша ККН ішіндегі заряд тасымалын оңтайландырады, бұл Cu қосылмаған көміртекті нүктелермен салыс-тырғанда электрондарды (2,5 есе) және беру (1,5 есе) қабілетін едәуір арттырады [20].

Көміртекті нүктелерден электронды тасымалдау флуоресценцияның резонанстық энергия тасымалына (ФЭРТ) әкеледі. ФЭРТ термині әдетте шамамен 10 нм қашықтықта орналасқан екі флуоресцентті компоненттің өзара әрекеттесуін қамтиды. Энергияны донордан (жоғары энергиямен) акцепторға (төмен энергиямен) беру акцептордың флуоресценциясын жоғарылату арқылы жүреді, бірақ донордың флуоресценциясын немесе жойылуын қамтамасыз етеді. Бұл құбылыс сенсор аймағында көміртекті нүктелерді қолдану үшін жұмыс негізі болып табылады. Флуоресценцияның жойылуын болдырмау үшін көп күш жұмсалды. Мысалы, Ли және басқалары [20] бор атомдарымен допинг арқылы қатты күйдегі флуоресцентті көміртекті нүктелерді алды, олар зарядтың берілуіне кедергі келтіретін электронды ақаулар тудыруы мүмкін. Табиғи көміртекті нүктелер флуоресценциясын матрицадағы поливинил спирті және крахмал сияқты материалдармен біріктіру арқылы да тежеуге болады.

Тұрақтылықты арттыру қасиеттері

Көміртекті нүктелердің бетінде көптеген белсенді функционалды топтардың болуына, сондай-ақ олардың еріткіштердің кең спектрінде ұзақ химиялық тұрақтылығына байланысты олар гибриді катализаторлар ретінде идеалды наноматериалдар болып табылады. Сонымен қатар, көміртекті нүктелердің металдармен және металл

оксидтерімен гибриді нанокомпозиттерін дайындау кезінде тасымалдаушы материал ретінде пайдалануға болады, бұл агломерацияны болдырмайды және сол арқылы электрокаталитикалық белсенділікті арттырады. Көміртекті нүктелер гибриді катализаторлардың тұрақтылығына ықпал ете алатын электростатикалық тұрақтандыруға байланысты сулы ортада жақсы тұрақтылықты көрсете алады. Көміртекті нүктелер электростатикалық әрекеттесу арқылы катализаторлармен күшті әрекеттесе алатындықтан, олар тұрақтылықты айтарлықтай жақсартады [25].

Көміртекті нүктелердің ұйымдылығы

Жартылай өткізгіш не кванттық нүктелермен салыстырғанда көміртекті нүктелердің ең маңызды артықшылықтарының бірі ретінде «төмен ұйымдылық» қарастырылады, бұл олардың биобейнелеуде қолдануға мүмкіндігін береді. Көптеген зерттеулер көміртекті нүктелерді орташа концентрация деңгейінде әртүрлі жасуша желілеріне (мысалы, *HeLa* жасушалары, адамның сүт безі қатерлі ісігінің жасушасы) аз емес цитотоксикалық әсер береді деп болжайды. Бірақ «төмен ұйымдылық» терминін дұрыс түсінген жөн. Себебі, көміртекті нүктелердің ұйымдылығын сыртқы әсермен (ерітінділермен) де өзгертуге болады [20].

Көміртекті нүктелердің қолдану аясы

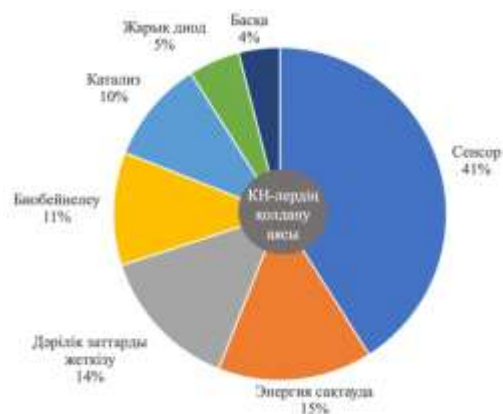
Сенсорларда қолдану

Кванттық нүктелер мен көміртегі негізіндегі наноматериалдардың артықшылықтарын біріктіре отырып, көміртекті нүктелер әр түрлі мақсатта қолданады. Статистика бойынша, өзінің фотолюминесценттік және флуоресценциялық қасиеттеріне байланысты сенсор саласында көміртекті нүктелер жиі қолданылады, 6-сурет. Әр түрлі механизмдеріне сәйкес көміртекті нүктелер негізіндегі сенсорларды люминесценциялық-, фотолюминесценттік-, электролюминесценттік- және электрохимиялық- сенсорлар деп бөлуге болады.

Люминесценциялық сенсорлар талданатын зат қатысында көміртекті нүктелердің флуоресценциясының сәулеленуін басу немесе басудың алдын алуына негізделген. Джин ғалымы [26] 2012 жылы Fe^{3+} иондарын анықтауға арналған ГКН негізінде бірінші ФЛ сенсорды ұсынды. Кейінірек «талданатын зат» металл иондарына, сутегі иондарына, аниондарға, органикалық молекулаларға, бейорганикалық молекулаларға, биомакромолекулаларға және т.б. дейін көбейді.

Функционалды полиамин топтары қатысында көміртекті нүктелердің жоғары селективтілік

пен сыртқы орта әсеріне реактивтілік қасиеттері артатын, Cu^{2+} иондарының сөнуін мысалға қарастыруға болады [20]. Әдетте көміртекті нүктелер карбосилат және амин секілді беттік функционалды топтарды байланыстыратын Pt^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , ONOO^- , ClO^- катиондар мен аниондарды анықтауда қолданады. Соның негізінде Янг және т.б. [27] этилендиаминтетра сірке қышқылы мен Zn^{2+} ионының селективті түрде анықтауға арналған қайтымды флуоресцентті наносенсорды шығарды. Өзінің идеалды электрохимиялық сипатына байланысты көміртекті нүктелерсонымен қатар электролюминесценция және электрохимиялық зондтау процесінде сигналды күшейткіш ретінде қолданыла алады. Электрохимиялық антидене сенсорларында, электродты модификатор ретінде қолданылған, жоғары кристалды графит нитридті көміртекті нүктелер жүрек ауруларын бақылауда да нәтиже көрсетті. Түрлі электрохимиялық жауап алу үшін, сипаттамаларды анықтаудың дифференциалды және дифференциалды импульстік вольтамперометрия, тікбұрышты вольтамперометрия немесе импульстік амперометрия әдістері қолданылды. Сонымен қатар, жақында нанотермометрлер және термоэлектрлік құрылғылар салаларында температураны өзгерту арқылы көміртекті нүктелердің физика-химиялық қасиеттерін пайдаланып, термиялық сенсорлардың жаңа класына қол жеткізілді.



6-сурет – Көміртекті нүктелердің қолдану аясы

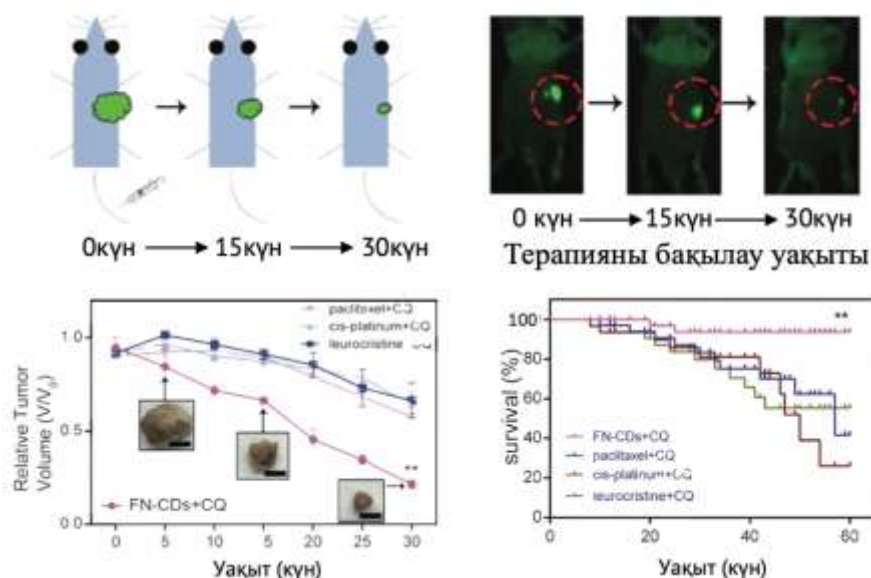
Биомедицинада қолдану

Биомедицина ғылымы – бұл көміртекті нүктелерге негізделген материалдар химиясын қолданудың айқын саласы. Көміртекті нүктелердің фотоэффективтілік, жоғары селективті және биожетімді қасиеттері қолайлы болғандықтан оны *vivo/vitro*-да қолданылады. Бұл *vivo* тәжірибесінде егеуқұйрықтың гепатобилиарлы жүйесінен көміртекті нүктелер оңай шығатыны көрсетіліп, көміртекті нүктелер әсері жүрек, бүйрек, бауыр мүшелеріне еш зақым келтірмей,

биомедицинада қолдануда қауіпсіз екендігі дәлелденді, сурет 7 [28]. Осы салада көміртекті нүктелердің қолданылуын биосенсор, био-сурет, дәрі-дәрмектерді, гендерді жеткізу, фототерапия, наномедицинаға бөлуге болады [27, 29].

Көптеген көміртекті нүктелер негізіндегі оптикалық биосенсорлар көміртекті нүктелердің флуоресценциялық қасиетінің арқасында жұмыс істейді. Осындай көміртекті нүктелер негізіндегі оптикалық сенсорлар биомедицинада қоспа

құрамынан әртүрлі бактерияларды анықтауда қолданады. Ғалымдар сүт құрамынан табылған пеницилин антибиотигін анықтауда көк-сары түсте сәулелендіретін флуоресцентті МІР сенсорды пайдаланған. Тәжірибеде сары түсті шығаратын көміртекті нүктелердің флуоресценциясы бәсеңделіп, көк түске өзгере, тұрақты қалыпқа келді. Яғни, флуоресценция спектрлері пеницилин концентрациясының сызықты түрде 1 ден 32 нм-ге дейін өскенін көрсетті.



7-сурет– КПН-ді *vivo* негізінде ісікке бағытталған терапияның тиімділігі мен мониторингі

Көміртекті нүктелердің био-суретте қолданылуы флуоресцентті бейне әдісімен айқындалады. Көміртекті нүктелердің жоғары селективтілігі био-бейненің негізгі факторы болып табылады, ол нысананың түрі мен жағдайы туралы ақпарат беру арқылы диагноз қоюға көмектеседі. Селективті мақсатқа жету үшін көміртекті нүктелерге бірқатар тану фрагменттері енгізілді. Көміртекті нүктелер фотолюминесценциясының қарқындылығын никотинамид аденин динуклеотидпен күшейтуге болады, оның концентрациясы ісік жасушаларында қалыпты жасушаларға қарағанда едәуір жоғары. Ұйты қасиетін аз болуымен және биоорганизммен қатынаса алатындықтан, адамның рак жасушаларын және көптеген дәрі-дәрмектерге тұрақты бактериялардың биосуреттерінде көміртекті нүктелер тиімді қоланысқа ие. Тетрафенилпорфиринді немесе оның өтпелі металл кешенін (Pd немесе Pt) қолдана отырып, ғалымдар гидротермалдық технологияның көмегімен азот пен металмен қоспаланған көміртекті нүктелер синтездеді. Мұнда дайындалған көміртекті нүктелер көк түсті жасушаларды бейнелеу үшін флуоресцентті

зондтар ретінде пайдаланылды. МТТ талдауы төмен цитоуытты ККН-дің маңыздылығын зерттеді.

Сонымен қатар, көміртекті нүктелерді «*S. aureus* және *P. Aeruginosa*» жасушаларының био-бейнесі үшін қолдана, нәтижесінде минималды ингибиторлық концентрациялар (MIC) үшін өте аз мәндер табылып, бұл алынған көміртекті нүктелердің бактерицидтік немесе бактериостатикалық белсенділікті көрсете алмайтындығын растады. Осы «*S. aureus* және *P. Aeruginosa*» жасушаларымен көміртекті нүктелер инкубацияланғаннан кейін флуоресцентті кескіндер 545-570 нм, 450-490 нм және 365-395 нм толқын ұзындығында қызыл, жасыл және көк көміртекті нүктелердің сәулеленуін көрсетті. Бұл көп түсті сәулелену көміртекті нүктелердің «*S. aureus* және *P. Aeruginosa*» жасушаларына сәтті енгізілгенін білдіреді [25].

Көміртекті нүктелер және олардың наногибридтері үлгіні жеткізудің тиімді жүйелері болып табылады. Бетті дайындау мен пассивациялаудың әртүрлі әдістерін қолдана отырып, көміртекті нүктелер бетін полимерлі материалдармен, металды нанобөлшектермен,

ұсақ бөлшектермен функционализациялау арқылы өзгертуге болады, нәтижеде органикалық молекулалар және т.б. иондық, сутегі немесе коваленттік байланыстардың пайда болуы арқылы фотолюминесценцияның жоғарылауына, сондай-ақ судағы көміртекті нүктелердің ерігіштігінің ерекшеліктеріне әкелуі мүмкін. Бұл өзгертілген көміртекті нүктелердің тераностикалық қосымшалардың кең спектрі үшін, әсіресе дәрі-дәрмектерді жеткізу және гендерді жеткізу үшін тиімді қолданыла алады. Көміртекті нүктелер гендерді/ дәрі-дәрмектерді жеткізуді күшейту және негізгі емдік тәсілдерді дамыту үшін, мақсатты және реттелетін нано-кешендерді бейнелеу үшін гендермен немесе дәрі-дәрмектермен біріктіруге болады. Осы уақытқа дейін әртүрлі дәрі-дәрмектер көміртекті нүктелерге сәтті енгізілді. Көміртекті нүктелер және олардың наногибридтері әртүрлі ауруларға қарсы дәрі ретінде тікелей қолданылады, соның ішінде бактериялық кератит, коронавирус, Альцгеймер ауруы және Паркинсон ауруы [20]. Әдетте ісік басатын ген ісік жасушаларына еніп, гендік терапия немесе гендік жеткізілім кезінде өсуді тежейді. Алайда, көміртекті нүктелер сияқты наноматериалдар өздерінің биожетімділігі мен ұсындығының арқасында генді жеткізуде немесе гендік терапияда нано/гендік тасымалдаушы ретінде тиімді қолданылуы дәлелденді. Қазіргі уақытта жоғары тиімді трансферлік көміртекті нүктелер нуклеин қышқылын жеткізу үшін кеңінен қолданылады. Оған кіші интерферентті РНҚ (siRNA), кодталмайтын РНҚ және ДНҚ сияқты қышқылдар жатқызуға болады, себебі көміртекті нүктелер гендерді эндоцитоз, макропиноцитоз және фагоцитоз арқылы жеткізуге қабілетті.

Фототерапиялық нысандарда қолдану

Көміртекті нүктелердің фототұрақтылық, оптикалық және суда жақсы еру қасиеті бойынша бұл нанобөлшектер фототерапияда қолданылады. Фототерапия фотодинамикалық және фототермиялық болып бөлінеді. Соның ішінде фотодинамикалық терапия рак клеткаларында жинақталған фотосенсибилизаторлық агенттердің жасуша ішінде жинақталған оттегіні белсенді түрге ауыстыра отырып, қауіпті жасушалардың жоюына әкеледі. Бұл фотосенсибилизаторлар теріге төмен фотоуыттылық әсер беріп, сәулені жұту қабілеті жоғары болып, рак жасушаларында жақсы жұтылатындай болу керек. Көміртекті нүктелердің гидрофильді және фотон жұтатын қасиеттеріне байланысты ол осы фотосенсибилизаторлармен қосыла рак жасушаларына кіруде жақсы биоқолданыс болып табылады. Метилді

көк, күкіртпен легирленген көміртекті нүктелер сияқты фотосенсибилизаторлар фотодинамикалық терапияда көміртек негізіндегі наноматериалдармен байланыса төмен цитоуыттылық және биожетімді қасиет көрсетіп, ДНК-мен араласуда тұрақтылықты береді. S-KH ауыз қуысының қатерлі ісігінің фотодинамикалық терапиясын импровизациялау үшін тиімді болып табылады, ол ісік жасушаларына оңай еніп, жарықпен сәулелендіру кезінде жасушалардың өліміне әкеледі. Қатерлі ісікті емдеуде электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы алынған KH@Ptpor, яғни көміртекті нүктелер мен байланысқан платиналық порфиринді наногибрид қолданысқа ие болды. Алайда, бұл KH@Ptpor наногибридтері синглетті оттегін шығару қабілеті жоғары болуынан *in vitro*-да аз жанама әсерлерді және ісікті тежейтін импровизацияланған қабілетті көрсетуі мүмкін. Сонымен қатар рак жасушаларын тежеуде хитозан мен моногидроксифенилприфенилпорфиринді (TPP) қолдану арқылы алынған порфиринге негізделген CDS (TPP CDs) синтезі жүзеге асырылды.

Фототермиялық терапия қатерлі ісік түрлерін емдеуде қолданылады, ол энергияны сіңіру арқылы жылу шығаруға негізделген. Бұл терапияға жасуша өліміне немесе жасушалардың қайтымсыз бұзылуына қол жеткізу үшін гипертермияны индукциялауға арналған NIR-сіңіргіш материалы кіреді. NIR-жарық фотоуыттылық және жасушаларға енудің қарқынды қабілетіне ие. Фототермиялық терапевтік агенттер био-бейнемен біріктірілген кезде, олар ісіктің орналасқан жері мен мөлшерін дәл анықтау арқылы, терапевтік реакцияны нақты уақыт режимінде бақылай алады. Көміртекті нүктелердің осы терапиядағы рөліне келсек, көміртекті нүктелер көптеген π электрондардан тұра, металлдық наноматериалдардың бос электрондарымен эквивалентті түрде жұмыс жасап, сәулелендірген кезде температураның өзгерісіне алып келеді. S, N-KH бүйрек экскрециясы арқылы шығарылатын басқа наноматериалдарға қарағанда, пассивті нысана арқылы рак клеткаларына оңай енгізілуі мүмкін екендігі анықталды. Бұл S, N-KH синтезі NIR бағытында күшті сіңіруді, фототермиялық түрлендірудің жоғары тиімділігін көрсетіп, фотолюминесцентті визуализацияда, сондай-ақ фотоакустикалық визуализацияда өзінің артықшылығын көрсетті [25].

Энергия сақтауда қолдану

Көміртекті нүктелер өзінің реттелетін оптикалық қасиеттері, құнының төменділігі, төмен уыттылығы, үлкен меншікті бет ауданына

иелігі, тамаша электрон қабылдаушы/донорлық сипаттамалары және электрондық өткізгіштік қасиеттерінің арқасында энергия саласында, оның ішінде фото-/ электрокатализаторлар, жарық диодтары, суперконденсаторлар, қайта зарядталатын батареялар, яғни металл-ауа батареялары және отын элементтері ретінде кеңінен қолданылады. Электр энергиясын жарыққа айналдыруға арналған қатты күйдегі жарықтандыру құрылғылары көптеген жылдар бойы біздің күнделікті өмірімізде сұйық кристалды дисплейлерде, толық түсті дисплейлерде және жарықтандыру құрылғыларында қолдануға бағытталған ғылыми зерттеулердің тақырыбы болып табылады. көміртекті нүктелер жарық диодтарында фосфор немесе электролюминесцентті құрылғыларда белсенді қабаттар ретінде әрекет ете алады. Ал CCd^{2+} -Mds негізделген светодиодтар жарықты әлдеқайда жақсартады. Температура мен ылғалдылыққа қарсы тұра алатын және қауіпті ультракүлгін түсті көрінетін жарыққа айналдыра алатын көміртекті нүктелер күн батареяларында да зерттеліп, қолданысқа жарады. Суперконденсаторларда қолданысы негізінен жоғары қуатты тығыздығы және ұзақ қызмет мерзімін көрсетеді, бірақ энергияның тығыздығы төмен болғандықтан бұл олардың практикалық қолданылуын шектейді. Дегенмен де басқа көміртегі материалдарымен, полимерлермен немесе металл оксидтерімен будандастырылған көміртекті нүктелер суперконденсаторлардың электрохимиялық сипаттамаларын жақсартады [27].

Катализде қолдану

Көміртекті нүктелер флуоресцентті, жоғарыөткізгіш, аз уытты, суда еру қабілеттеріне сай ол композитті нанокатализаторларда жақсы каталитикалық әсер береді. Көміртекті нүктелер негізіндегі композитті катализаторлар фотокатализ, пероксидаза, электрокатализ химиялық катализде қолданылады. Қазіргі кезде көміртекті нүктелер негізіндегі фотокатализаторлар органикалық ластағыштарды фотоыдырату ретінде қолданылады. Жарық сіңіре алатындықтан көміртекті нүктелер күн сәулесімен сәулелендіру кезінде де фотокатализді жүргізуге болады. Бұл фотокаталитикалық реакцияның тиімділігін арттырып қана қоймай, ультракүлгін сәуленің орнына күн сәулесін немесе көрінетін жарықты қолдану арқылы шығындарды едәуір төмендетеді. Сондықтан көміртекті нүктелер өте тиімді және тұрақты композитті дамытуға үміткер фотокатализатор болып табылады.

Пероксидазалар тиімді ферменттер класы болып табылады және биотехнология және химия

өнеркәсібі сияқты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Алайда, табиғи пероксидазалар әрқашан өндіріске және тазартуға кететін шығындардан, сондай-ақ олардың каталитикалық белсенділігінің қоршаған ортаға сезімталдығынан зардап шегеді. Сол себепті жасанды катализаторлар яғни көміртекті нүктелер көміртегі наноферменті қолданылады. Мұнда көміртекті нүктелер негізіндегі пероксидаза тәрізді катализатор жүйелеріндегі көміртекті нүктелер көп әсер береді.

Электрохимиялық жолмен суды ыдыратқанда бөлінетін сутегі мен оттегі алуда кернеуді жоғарылатқанда, не кеміткенде Pt немесе Ir, Ru негізіндегі катализаторлар қолданады. Алайда, жоғары өндірістік шығындар мен төмен беріктілігі Pt негізіндегі катализаторлардың кең қолданылуын шектейді. Көміртекті нүктелер негізіндегі композиттер сутегі және оттегі үшін керемет электрокатализаторлар екендігі дәлелденді. Соның негізінде оттегінің бөлінуіне көміртекті нүктелер және графен оксиді (КН/ГО) түрдегі композитті электрокатализатор ойлап табылды. Композит КН/ГО электрокаталитикалық белсенділігі және кинетикалық ток тығыздығының жоғары мәнін көрсетті.

Біртекті және гетерогенді жүйелердегі өтпелі металл иондарымен катализденетін H_2O_2 ыдырауы Фентонға ұқсас реакциялар немесе $\cdot\text{OH}$ радикалдарын алу үшін қолданылатын модификацияланған Фентон процестері деп қарастырылады. Алайда реакцияның тар рН диапазоны және темір шөгінділерінің жиналуы сияқты кемшіліктер олардың дамуын айтарлықтай шектейді. Біртекті Фентон процесінің осы кемшіліктерді еңсеру үшін, мұндай металл немесе металл емес материалдар ретінде Фентон тәрізді катализаторлар әзірленді және жақсы каталитикалық белсенділігін көрсетеді. Оған Dot-DBS-LDH көміртегі нанокатализаторы мысал бола алады.

Соңғы жылдары катализ синтетикалық органикалық айналымдарды ынталандыру үшін кеңінен қолданылады. Бұл катализаторлар әдетте наноөлшемді белсенді компоненттерден тұрады, мысалға қатты ортада таралған металл және металл оксидтері. Жоғарыда сипатталған катализден басқа, химиялық катализ саласында көміртекті нүктелер негізіндегі композиттерді қолдану салыстырмалы түрде сирек кездеседі, оның орнына негізінен тотығу реакциясы, тотықсыздану реакциясы, Сузуки-Мияур реакциясы, биодизель өндірісі, сақинаның ашылу реакциясы, майлар реакциясы және қышқыл катализіне этерификация, альдол конденсациясы кіреді [30].

Қорытынды

Мақалада көміртекті нүктелердің ашылу және даму тарихына, жіктелуіне, алынуы және зерттеу әдістеріне, қасиеттері мен қолдану аясы сипатталды. Нөл өлшемді наноматериалдар (0D) дегеніміз – бұл кеңістікте барлық өлшемі наноөлшеммен шектелген материалдар. Мұндай материалдарға бейорганикалық кванттық нүктелерді, көміртекті нүктелерді, магнитті нанобөлшектерді, асыл метал нанобөлшектерін, жоғары түрлендірген нанобөлшектерді жатқызуға болады. Бұл нөл-өлшемді наноматериалдардың ішінде соңғы кездері көміртекті нүктелерге олардың бірегей химиялық және физикалық қасиеттерінің арқасында оларға деген қызығушылық артып отыр.

Көміртекті нүктелер – бұл наноөлшемді (<10 нм) көміртектің сферикалық бөлшектері, олар келесі бірегей қасиеттерімен ерекшеленеді: фототүркілік және жоғары фототұрақтылық, сәуле шығару спектрлерінің икемділігі, төмен молекулалық салмақ, тамаша биосәйкестік және уыттылығының төмен деңгейі. Бұл қасиеттер оларды биологиялық таңбалау мен бейнелеуде қолдануда жартылай өткізгіш кванттық нүктелер мен дәстүрлі органикалық бояғыштарға қарағанда тиімдірек етеді.

Бұл шолу мақалада көміртекті нүктелер графенді кванттық нүктелер (ГКН), көміртекті кванттық нүктелер (ККН) және карбонизделген

полимерлі нүктелер (КПН) деп жіктеліп қарастырылды. Олардың құрылымдық сипаттамасы, ФЛ механизмі, синтезделу тәсілі, артықшылығы, кемшілігі және қолдану аясы салыстырылып сипатталды. Сонымен қатар алу жолдары мен қасиеттері көрсетіліп, көміртекті нүктелердің қасиеттері көміртекті нүктелердің синтезделу жолдарына байланысты болатыны көрсетілді. Қазіргі кезде алу әдістері жеткілікті болғанымен әлі де алу не синтездеу әдістерін жақсарту қажет. Әсіресе, көп мөлшерде көміртекті нүктелер алу жолдарын және әртүрлі еріткіштердегі көміртекті нүктелердің люминесценция қасиеттерін толық түсіну механизмдерін оңтайландыру қажет. Дегенмен, көміртекті нүктелер наноматериалдар мен нанотехнологияларды одан әрі дамытуда маңызды рөл атқаратын наноматериал болып қала береді.

Алғыс

Авторлар Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржылық қолдау көрсеткені үшін («AP23485972 Интерметаллидтер мен кеуекті көміртек негізіндегі бөлме температурасында сутекті сақтауға арналған композиттік материалдар») алғыс білдіреді.

Әдебиеттер

- 1 M. Sajid, *Current Opinion in Environmental Science & Health* **256** 100319 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100319>
- 2 V. Renuga, X. Vinoliya, A. Dinesh, S. Suthakaran, M. Ayyar, V. Mohanavel, L. Gnanasekaran, P. Paramasivam, R. Bousbih, M.K. Hossain, A. Rajendran and S. Santhoshkumar, *Sensing and Bio-Sensing Research* **47**, 100751 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2025.100751>
- 3 H.W. Kroto, J.R. Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl and R.E. Smalley, *Nature* **318**(6042), 162-163 (1985). <https://doi.org/10.1038/318162a0>
- 4 Y. Wang and A. Hu, *Journal of Materials Chemistry C* **34**, 6921 (2014). <https://doi.org/10.1039/C4TC00988F>
- 5 S. Sen and A. Bose, *Inorganic Chemistry Communications* **173**, 113852 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.113852>
- 6 S. Iijima, *Nature* **354**, 56-58 (1991). <https://doi.org/10.1038/354056a0>
- 7 K. Novoselov, G. Andre, S. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. Dubonos, I. Grigorieva and A. Firsov, *Science* **306** (5696), 666-669 (2004). <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- 8 C.T. Alviso, R.W. Pekala, J. Gross, X. Lu, R. Caps and J. Fricke, *MRS Proceedings* **431**, 521-525 (1996). <https://doi.org/10.1557/PROC-431-521>
- 9 M.B. Bryning, D.E. Milkie, M.F. Islam, L.A. Hough, J.M. Kikkawa and A.G. Yodh, *Advanced Materials*, **19**(5), 661-664 (2007). <https://doi.org/10.1002/adma.200601748>
- 10 J. Wang and M. Ellsworth, *ECS Transactions* **19** (5), 241-247 (2009). <https://doi.org/10.1149/1.3119548>
- 11 M. Auelkhankizi, M. Nazhipkizi, S. Taupixova, A. Talgatqizi, M. Auelkhankizi, *Toraygirov universitetinin Xabarsisi, Ximiya-biologiyalik seriyasi* **1** 5-17 (2024). (In Kazakh). <https://doi.org/10.48081/AFVW5822>
- 12 H.J. Yoo, B.E. Kwak and D.H. Kim, *Physical Chemistry Chemical Physics* **22**, 20227-20237 (2020). <https://doi.org/10.1039/D0CP02120B>
- 13 X. Xu, R. Ray, Y. Gu, H.J. Ploehn, L. Gearheart, K. Raker and W.A. Scrivens, *Journal of the American Chemical Society* **126** (40), 12736-12737 (2004). <https://doi.org/10.1021/ja040082h>

- 14 Y.-P. Sun, B. Zhou, Y. Lin, W. Wang, K.A.S. Fernando, P. Pathak and S.-Y. Xie, *Journal of the American Chemical Society* **128**(24), 7756-7757 (2006). <https://doi.org/10.1021/ja062677d>
- 15 S. Li, L. Li, H. Tu, H. Zhang, D.S. Silvester and C.E. Banks, *Materials Today* **51**, 188-207 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.07.028>
- 16 S. Tao, T. Feng, C. Zheng, S. Zhu and B. Yang, *The Journal of Physical Chemistry Letters* **10** (17), 5182-5188 (2019). <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.9b01384>
- 17 N.J. Jilkibayeva, G.K. Sadikov, G.Q. Mussabek., S.Z. Baqtigerey, V. Lisenko, V.V. Lesnyak, *Recent Contributions to Physics* **4**(79), 55-71 (2021). (In Kazakh). <https://doi.org/10.26577/RCPH.2021.v79.i4.08>
- 18 S.M. Mandal, T.K. Sinha, A.K. Katiyar, S. Das, M. Mandal and S. Ghosh, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* **19**(11), 6961-6964 (2019). <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16628>
- 19 S. Mandani, D. Dey, B. Sharma and T.K. Sarma, *Carbon* **119**, 569-572 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.04.075>
- 20 S. Li, L. Li, H. Tu, H. Zhang, D.S. Silvester, C.E. Banks and X. Ji, *Materials Today* **51**, 188-207 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.07.028>
- 21 P. Zhao and L. Zhu, *Chemical Communications* **54**, 5401 (2018). <https://doi.org/10.1039/C8CC02279H>
- 22 M. Cai, L. Lai and M. Zhao, *Carbon* **233**, 119921 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2024.119921>
- 23 H. Hou, L. Shao, Y. Zhang, G. Zou, J. Chen and X. Ji, *Advanced Science* **4**, 1600243 (2017). <https://doi.org/10.1002/advs.201600243>
- 24 D. Pan, J. Zhang, Z. Li, Z. Zhang, L. Guo and M. Wu, *Journal of Materials Chemistry* **21**, 3565 (2011). <https://doi.org/10.1039/C0JM03763J>
- 25 B.D. Mansuriya and Z. Altintas, *Nanomaterials* **11**(10), 2525 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11102525>
- 26 D. Wang, L. Wang, X. Dong, Z. Shi and J. Jin, *Carbon* **50**(6), 2147-2154 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.01.021>
- 27 J. Liu, R. Li and B. Yang, *ACS Central Science* **6**(12), 2179 (2020). <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01306>
- 28 J. Li, Y. Deng, P. Chai, X. He, H. Zhou and X. Fan, *Advanced Functional Materials*, 1800881 (2018). <https://doi.org/10.1002/adfm.201800881>
- 29 H. Chen, K. Luo, C. Xie and L. Zhou, *Chemical Engineering Journal* **496**, 153915 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153915>
- 30 B.C Chen., M.L. Liu and C.Z. Huang, *Green Chemistry* **22**, 4034 (2020). <https://doi.org/10.1039/d0gc01014f>

Мақала тарихы:

Түсті – 10.02.2025

Түзетілген түрде түсті – 16.04.2025

Қабылданды – 20.05.2025

Article history:

Received 10 February 2025

Received in revised form 16 April 2025

Accepted 20 May 2025

Авторлар туралы мәлімет:

1. **Әуелханқызы Мөлдір** (автор корреспондент) – наноматериалдар және нанотехнологиялар мамандығы бойынша PhD, Химиялық физика және материалтану кафедрасы-ның қауымдастырылған профессордың м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан. e-mail: auyelkhankyzy.m@kaznu.kz

2. **Жамаш Аяжан** – наноматериалдар және нанотехнология білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан. e-mail: aasszhamashaass@gmail.com

3. **Рақымжан Нұрғали** – аға ғылыми қызметкер, Жану проблемалар институты, Алматы, Қазақстан. e-mail: nurrt@mail.ru

4. **Әуелханқызы Мадина** – оқытушы, техника және технологиялар магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан. e-mail: m.auyelkhankyzy@gmail.com

5. **Лесбаев Бахытжан Тастанович** – химия ғылымдарының кандидаты, Химиялық физика және материалтану кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан. e-mail: lesbayev@mail.ru

Information about authors:

1. **Moldir Auyelkhankyzy** (corresponding author) – PhD in Nanomaterials and Nanotechnologies, Acting Associate Professor of the Department of Chemical Physics and Materials Science, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: auyelkhankyzy.m@kaznu.kz

2. **Ayazhan Zhamash** – 2nd year master's student of the educational program Nanomaterials and Nanotechnology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: aasszhamashaass@gmail.com

3. **Nurgali Rakhymzhan** – Senior Researcher, Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan. e-mail: nurrt@mail.ru

4. **Madina Auyelkhankyzy** – Teacher, Master of Engineering and Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: m.auyelkhankyzy@gmail.com

5. **Bakhytzhane Lesbayev** – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Physics and Materials Science, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: lesbayev@mail.ru