

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

№ 1 (2024)

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/AFVW5822>

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 алкасы – Редакционная коллегия

Яковлев Р. В.,	<i>д.б.н., профессор (Российская Федерация);</i>
Титов С. В.,	<i>доктор PhD;</i>
Касанова А. Ж.,	<i>доктор PhD;</i>
Jan Micinski,	<i>д.с.-х.н., профессор (Республика Польша);</i>
Surender Kumar Dhankhar,	<i>доктор по овощеводству,</i> <i>профессор (Республика Индия);</i>
Шаманин В. П.,	<i>д.с.-х.н., профессор</i> <i>(Российская Федерация);</i>
Азаренко Ю. А.,	<i>д.с.-х.н., профессор</i> <i>(Российская Федерация);</i>
Омарова А. Р.,	<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

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ»

МРНТИ 28.01.45

<https://doi.org/10.48081/ITGF5255>**М. Әуелханқызы¹, *М. Нажипқызы², С. Таупихова³,
Ә. Талғатқызы⁴, М. Әуелханқызы⁵**^{1,2,3,4,5}әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,

Қазақстан Республикасы Алматы қ.;

²Жану проблемалар институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

*e-mail: meruert82@mail.ru**КӨМІРТЕКТІ АЭРОГЕЛЬДЕР: ТҮРЛЕРІ, АЛУ ЖОЛДАРЫ,
ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛУ АЯСЫ**

Көміртекті аэрогельдер әлемдегі ең жеңіл материалдар болып табылады. Сонымен қатар, олар жоғары кеуектілікке, өте төмен тығыздыққа, өте жоғары адсорбциялық қабілетке және жоғары жылу тұрақтылығына ие. Бұл мақалада, соңғы жылдары алынған көміртегі негізіндегі аэрогельдердің түрлерін, алу жолдарын, зерттеу әдістерін және қолдану аясын қамтитын бір ретке келтірілген жаңа көзқарастар ұсынылды. Біріншіден, қазіргі кезде белгілі көміртегі негізіндегі аэрогельдерді 6 түрге бөліп қарастыру ұсынылды. Олар резорцинол-формальдегид негізіндегі аэрогельдер, көміртекті нанотүтікше негізіндегі аэрогельдер, графен негізіндегі аэрогельдер, көміртекті нанотүтікше және графен негізіндегі гибридті аэрогельдер, алмаз негізіндегі аэрогельдер және биомасса негізіндегі аэрогельдер. Осы атталған көміртегі негізіндегі аэрогельдердің ішінен әртүрлі табиғи қалдықтар негізінде дайындалып, экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді биомасса негізіндегі аэрогельдер ең көп зерттелген және болашағы зор аэрогельдер түрі болып табылады. Екіншіден, сканерлеуші электронды микроскоп, трансмиссиялық немесе жарықтандырушы электронды микроскоп, термогравиметрия және раман спектроскопиясы көміртегі негізіндегі аэрогельдердің құрылысы мен құрамын сипаттауда ең көп қолданылатын әдістер екені анықталды. Нанокеуекті материалдардың тарихында бұл

– жаңа материалдар классы болғанымен, қолданысын кеңінен тапты. Олардың басты артықшылығы – жоғары кеуектілігі, соның арқасында аэрогельдер адсорбент ретінде май/суды бөлуде, ауыр металл иондарын тазалауда және т.б. салаларда қолданылуы қарастырылды.

Кілтті сөздер: аэрогельдер, көміртегі негізіндегі аэрогельдер, кеуекті материал, карбонизация, адсорбент, жылу оқшаулағыштар.

1. Кіріспе

Аэрогельдер – ашық ұяшықтары бар бұралған құрылым, ультражәнішке ұяшық/кеуек өлшемі < 50 нм, жоғары беттік ауданы $400\text{--}1100$ м²/г болатын және өзара байланысқан диаметрлері 10 нм болатын бөлшектер мен талшықты тізбектерден тұратын коллоид тәрізді қатты матрица [1].

Негізінен, металл алкоксидтерінің золь-гельді полимерленуінен алынатын бейорганикалық аэрогельдер кеңінен таралған. Бейорганикалық аэрогельдер золь-гель әдебиетінде 60 жылға жуық болғанымен, көміртегі негізіндегі аэрогельдер нанокеуекті материалдардың салыстырмалы түрде жаңа класы болып келеді.

Х. Крото және т.б. фуллерендерді ашқан соң оларға деген қызығушылық арта түсті. С. Идзима нанотүтікшелерді, А. Гейм мен К. Новоселов графенді ашып, олардың қасиеттерін сипаттағаннан кейін наноматериалдардың қолданылу аясы көбейді. Осы кезден бастап наноматериалдардың басқа құрылымдарын да зерттеуге назар аударылды. Р. Пекала ойлап тапқан көміртегі негізіндегі аэрогельдер энергияны сақтау, катализ, сүзу сияқты бірқатар технологиялар үшін қажет ететін бірнеше бірегей қасиеттерге ие болды [2]. Соның ішінде бірінші жұмыстардың бірі резорцинол-формальдегидпен (РФ) болды. РФ-ті органикалық аэрогельдердің ең алғаш зерттелген түрі деп санауға болады. Шамамен отыз жыл бұрын жасалған бұл материал формальдегидпен резорцинол су поликонденсациясынан алынған. Алынған гельдер қара қызыл түске ие және мөлдір болған. Радиожиілікті аэрогельдер жоғары байланысқан хош иісті полимерден тұратындықтан, олар инертті атмосферада пиролизденіп, әйнек тәрізді көміртек түзеді. Осыдан кейін көміртекті нанотүтікше (КНТ) негізіндегі аэрогель туралы М. Брайнинг [3] жариялады. Д. Ванг [4] графен негізіндегі аэрогельдің алғашқы синтезі туралы хабарлаған болатын. Ақырында, аэрогельді зерттеулер барлық белгілі көміртегі аллотроптарын, соның ішінде тек нанотүтікше немесе графен негізіндегі аэрогельдерді ғана емес, сонымен қатар П. Паузауски [5] алмаз негізіндегі аэрогельдерді алды. Көміртекті аэрогельдердің тағы бір маңызды түрі биомассадан алынған көміртекті

аэрогельдер болып табылады. Себебі, прекурсорлар ретінде мұнай өнімдерін қолданатын көміртекті аэрогельдердің басқа түрлеріне қарағанда биомасса негізіндегі аэрогельдер биомасса қалдықтарын пайдаланады, сондықтан олар экологиялық таза және үнемді болып келеді [6].

Көміртегі негізіндегі аэрогельдерге деген қызығушылық жылдан жылға арта түсуде және бұның бірнеше себептері бар. Біріншіден, көміртек өте жеңіл элемент, сондықтан одан жасалған материалдар өте төмен тығыздыққа ие болуы мүмкін. Мысалы, кремнеземді аэрогельдер ұзақ уақыт бойы (тығыздығы $\sim 1 \text{ мг/см}^3$) «әлемдегі ең жеңіл материал» атағын иеленсе де, жақында көміртегі негізіндегі аэрогельдер бұл рекордты (тығыздығы 200 мкг/см^3 -тен төмен) жанартты. Екіншіден, көміртегі негізіндегі аэрогельдер жоғары беттік аудандарға ие болып келеді. Барлық жағдайларда көміртегі негізіндегі аэрогельдер өздерінің жоғары бетінің ауданын ($400\text{--}1200 \text{ м}^2/\text{г}$) және ультражіңішке ұяшық/кеуек өлшемін ($<100 \text{ нм}$) сақтайды. Шын мәнінде, нанотүтікшелер мен графен негізіндегі аэрогельдер әдетте $500\text{--}1000 \text{ м}^2/\text{г}$ асатын беттік ауданды көрсетеді, ал белсендірілген көміртегі негізіндегі аэрогельдердің беттік аудандары $3000 \text{ м}^2/\text{г}$ -нан асады [2]. Қасиеттері нанокұрылыммен ерекше байланыста болғандықтан, оларды қатаң бақылау арқылы оңай басқаруға болады. Үшіншіден, олардың механикалық қасиеттері (Юнг модулі, сығылғыштығы және т.б.) бейорганикалық аэрогельдерден жоғары [2].

Бұл мақаланың мақсаты көміртегі негізіндегі аэрогельдермен таныстырып, олар туралы толық мәлімет беру, яғни, көміртегі негізіндегі аэрогельдердің түрлері мен қасиеттерін, оларды алу жолдарын, зерттеу әдістерін көрсету болып табылады. Себебі, ғалымдардың зерттеу нәтижесінде көміртегі негізіндегі аэрогельдерді көптеген салаларда қолдануға мүмкін болатынын көрсетті. Мысалы, тұзды су/теңіз суын тұщыландыру, жылу немесе акустикалық окшаулағыштар, адсорбенттік материалдар, сулы ерітінділерді деионизациялауға арналған электродтар ретінде қолданылады.

2. Материалдар мен әдістері

Көміртекті аэрогельдердің қолданылған көміртек материалына байланысты негізгі 6 түрге бөліп қарастыруға болады. Олар РФ негізіндегі көміртекті аэрогель, КНТ негізіндегі аэрогель [3; 7; 8], графен негізіндегі аэрогель [8; 9], графен және КНТ негізіндегі гибриді көміртекті аэрогель [10; 11], алмаз негізіндегі аэрогель [5; 12] және биомасса негізіндегі аэрогельдер [6]. Көміртекті аэрогельдердің құрылысы мен құрамын сипаттауда сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ), трансмиссиялық электронды микроскоп (ТЭМ) немесе жарықтандырғыш электронды

микроскоп (ЖЭМ), термогравиметрия (ТГА), Раман-спектроскопиясы және т.б. зерттеу әдістері қолданылады.

3. Нәтижелер және талқылау

3.1 Резорцинол-формальдегид (РФ) негізіндегі көміртекті аэрогель

РФ аэрогельдері ең көп зерттелген органикалық аэрогельдер болып табылады. Бұл аэрогельдер алынғаннан кейін көп ұзамай С. Алвисо және оның әріптестері оларды инертті атмосферада (азот немесе аргон) 400–1800 °С температураға дейін қыздыру арқылы аэрогельді құрайтын полимерді сусыздандыруға (немесе «пиролиздеуге») болатындығын анықтады. Осы процесс нәтижесінде көміртекті аэрогель түзілді. Бүгінгі таңда көміртекті аэрогельдерді алу үшін резорцинол ғана емес, сонымен қатар меламин, флороглуцинол және сірке қышқылының полимерлерінен жасалған органикалық аэрогельдер қолданылады.

«Нано» деңгейінде көміртекті аэрогельдер диаметрі шамамен 1–2 нм болатын көміртекті нанобөлшектерден тұрады. Басқа аэрогельдер сияқты, көміртекті аэрогельдер негізінен мезокеуекті, орташа кеуек диаметрі шамамен 7–10 нм-ге тең мезокеуектерден тұрады. Көміртекті аэрогельдердің бетінің ауданы 500–800 м²/г құрайды, бірақ бұл тығыздыққа және басқа заттардың аэрогельге енгізілгеніне байланысты. Көміртекті аэрогельдің беткі қабатын жасағаннан кейін оны жоғары температурада (400–1000 °С) бу немесе сутегі ағыны қатысында беткі ауданын оңай арттыруға болады. Осы температурада су мен сутегі аэрогельдегі көміртеппен әрекеттесіп, газ тәрізді өнімдер түзеді және микрокеуекті (диаметрі 2 нм-ден аз) аэрогельдің бүкіл ішкі бөлігінде коррозияланады осылайша олардың беткі ауданын 2500 м²/г дейін арттырады.

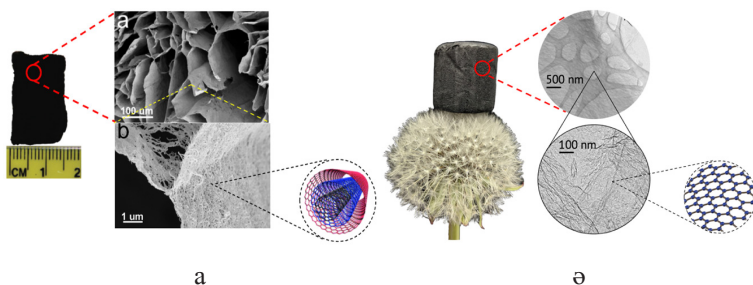
3.2 КНТ негізіндегі көміртекті аэрогель

КНТ негізіндегі аэрогельдер бір және көп қабатты КНТ-лерден тұратын тығыздығы төмен ең қатты нанокеуекті материал болып табылады. КНТ негізіндегі аэрогельдер өздігінен жиналатын аэрогельдер санатына жатады, онда біріктіру процесі мен байланыстыру шарттарының құрылымы арқылы соңғы қасиеттерін анықтайды.

Ең бірінші КНТ-лер негізіндегі аэрогельдерді М. Брайнинг және т.б. [3] ультрадыбыстық әдіспен, натрий додецилбензол сульфонатты (NaDDBS) беттік активті зат ретінде қолданып, КНТ-ні суда диспергілеу арқылы синтездегенін хабарлады. Содан кейін гель өртүрлі мөлшердегі поливинил спирті (PVA) бар суға малынып, кейін критикалық нүктеде кептіру және мұздату арқылы кептіруден өтті. Дайындалған аэрогельдердің тығыздығы 10 мен 60 мг/мл аралығында өзгерді және жақсы электр өткізгіштікті

көрсетті. Бұл жұмыстан [3] кейін көптеген ғалымдар КНТ-лер негізіндегі аэрогельдерді синтездеуді жүргізді.

Ж. Цзоу және т.б. өте жеңіл және көп қабатты КНТ-лер (КҚКНТ) негізіндегі тығыздығы 4 мг/см^3 тең көміртекті аэрогельді синтездеді. Ол үшін авторлар теориялық болжамға сүйене отырып, КҚКНТ-лерді диспергілеу және функционализациялау үшін полипропилметакрилатты қолданды. Себебі, бұл қосындының гидролизі және конденсациясы КНТ-лерінің атомдары арасында күшті және тұрақты химиялық байланысты жасайды. Бұл болжам, эксперимент жүзінде де дәлелденді. СЭМ кескіндерінен көп қабатты КНТ негізіндегі көміртекті аэрогель макрокеуекті ($50\text{--}150 \text{ мкм}$), ұяшық құрылымды, түзу және параллель ұяшық арналарынан және мезокеуекті ұяшық қабырғаларынан тұратыны анықтады (Сурет 1а). Алынған аэрогельдің бет ауданы $580 \text{ м}^2/\text{г}$ тең, сыққан кезде қалпына келу қасиетіне ие және алынған аэрогельдің электр өткізгіштігі $3.2 \times 10.2 \text{ Сименс/см}$ құрайтын иерархиялық кеуекті материал болып табылды.



Сурет 1 – а) КНТ негізіндегі көміртекті аэрогель;
б) графен негізіндегі көміртекті аэрогель [1,2]

Х. Ли және т.б. ғалымдар [13] ағаштың құрамындағы целлюлозаны наноөндеуден өткізгеннен кейін тамаша дисперсиялық қасиеттерге және биоүйлесімділікке ие КНТ негізіндегі аэрогельді алды. Алынған аэрогель термоэлектрлік және механикалық қасиеттерді көрсетті. Көміртекті аэрогельдің 90% -і сығылған кезде 152 кПа дейінгі қысымға төтеп берді. Термоэлектрлік қасиеттеріне келетін болсақ, алынған көміртекті аэрогельдің жылу өткізгіштігі төмен ($0,03\text{--}0,08 \text{ Вт/мК}$) және жоғары тығыздыққа ие ($7,5 \text{ мг/см}^3$) болды. Бұл қасиеттері термоэлектрлік құрылғыларды құру үшін жаңа идеялар мен шешімдерді берді.

3.3 Графен негізіндегі көміртекті аэрогель

Графен негізіндегі көміртекті аэрогельдер – ең жеңіл, үлкен беттік ауданға, жоғары электр өткізгіштікке, тамаша сығылуға, қалпына қайта келу және жылу оқшаулағыш қасиеттеріне ие материал. КНТ негізіндегі көміртекті аэрогель құрылымдарымен салыстырғанда, графен негізіндегі көміртекті аэрогельдер, әсіресе дайындаудың қарапайымдылығы, жоғары өнімділігі және қолжетімділігі жағынан тиімді болып табылады.

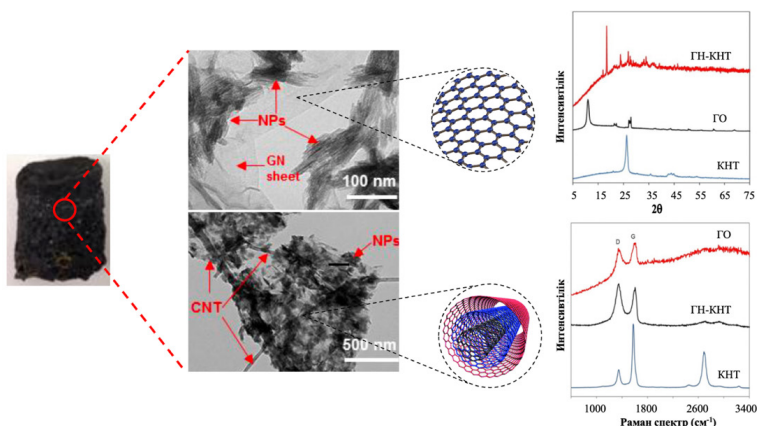
Графен негізіндегі аэрогель әдетте дымқыл графен гельдерін мұздату немесе суперкритикалық кептіру арқылы өндіріледі. Олар графеннің құрылымдық қасиеттерін сақтап қана қоймай, сонымен қатар жоғары кеуектілікке ие болады. Нәтижесінде наноқұрылымды қабаттарынан макроқұрылымды монокристалл жасай алу қабілеті графеннің қолдану аясын айтарлықтай кеңейтті. Графен оксиді (ГО) графен негізіндегі 3D гельдік желілерді өндіру үшін ең қолайлы прекурсор болып табылады. ГО көптеген еріткіштерде дисперсті болып табылады және оның диэлектрлік, электрондық, механикалық сияқты физикалық қасиеттерін кең ауқымда басқаруға және реттеуге болады. Тотығу деңгейі жоғары және тор ақаулары болғандықтан, тотықсыздандыру арқылы қажетті қасиеттерге ие болатын графен алынады. Субмикрондық және микрондық кеуектері бар үш өлшемді гельдік жүйені алу үшін ГО көптеген әдістер арқылы графенге дейін тотықсыздандырылады. Мысалы, өзін-өзі құрастыру, гидротермиялық, химиялық, термиялық, фоторедукция, микротолқынды сәулелену, электрохимиялық, кросс-байланыстыру және т.б.

Графен қабаттарың шеткі беттерінің көлемі 100 нанометрден бірнеше микрометрге дейін жетеді. Онымен қоса ішкі графен аэрогельдің қабаттарың көлемі электрон сәулелерінің өтуіне жеткілікті деңгейде жұқа болады. 1ә-суретте ТЭМ бейнесі көрсетілген және осы жерде графен аэрогелі мыжылған қағаз құрылымды болып келеді. Сонымен қатар, бұл 1ә-суретте графен аэрогельдердің ТЭМ бейнелерінде золь-гель реакциясына түскен резорцин және формальдегидтердің артық көміртек байланыстары көрінбейді, ал басқа жоғары арақатынаста дайындалған резорцинол және формальдегидпен ГО немесе КНТ-ден дайындалған аэрогельдер осы көміртек қалдықтар жиі кездеседі. Осындай қасиеті көміртекті байланыстардың графен қаңқасына тиімді орналасқан және басқа артық құрылымды заттар кездеспейтінін көрсетеді.

3.4 Графен және КНТ негізіндегі гибридіті көміртекті аэрогель

Графен және КНТ негізіндегі гибридіті көміртекті аэрогель ең көп таралған көміртекті аэрогельдердің туындысы болып табылады. Жалпы, гибридіті материалдардың қасиеттері жеке компоненттердікінен жоғары

болады. Графен және КНТ негізіндегі көміртекті аэрогельдері үшін графеннің тамаша тасымалдау қасиеттерін тегіс графен қабаттары КНТ әсерінен пайда болатын нанокесектілік арқылы толықтыруға болады; олардың гидрофобтылығы мен сорбциялық қабілетін арттыру – оларды май/су бөліну шекарасында пайдалануда қолайлы етеді. Көбіне осы гибридіті аэрогельдерді алу үшін графен негізіндегі аэрогельдің прекурсоры ретінде ГО қолданылады. Мысалы, С. Кабири [14] ГО мен КНТ негізінде гидрогель дайындады, ол мұнай өнімдері, майлар және органикалық еріткіштерді жоюда тамаша адсорбциялық сипаттамаларға ие: әсіресе тұрақты вакуум режимінде бір грамм аэрогельге 28 литр майды адсорбциялау қабілеті сәйкес келетіні анықталды. Сонымен, бір қадамда графен және КНТ гидрогельдерін алу, яғни қабаттасқан графен қабаттары мен КНТ құрылымдарын қалыптастыру жүзеге асты, бұдан сорбциялық қабілеттілік 35 г/г-ға ғана жеткені байқалды [14] (Сурет 2).



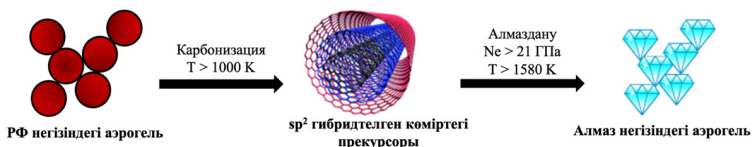
Сурет 2 – Графен және КНТ негізіндегі гибридіті көміртекті аэрогельдің құрылымы және Раман спектрлері [14]

3.5 Алмаз негізіндегі көміртекті аэрогель

Алмаз негізіндегі аэрогель – атомдары sp^3 гибридтелген көміртек негізіндегі мезокеуекті материалдардың ерекше түрі. Осы кезге дейін алмаз негізіндегі аэрогельдің аморфты фазадан кристалды фазаға өтуі толық зерттелмеген [5]. Бірақ, қазіргі кезде мезокеуекті материалдарда өтетін фаза аралық ауысулар жайлы жұмыстар жүргізіліп жатыр. Кристалды фазаға өткен жағдайда алмаз өзінің қаттылығын, жоғары жылу өткізгіштілігін, сыну көрсеткішін және дисперстілік сияқты қасиеттерін сақтайды.

Алмаз негізіндегі көміртекті аэрогельді синтездеу әдісі – көміртек негізіндегі аэрогельді синтездеу әдістерінің жаңа түрі. Ең бірінші алмаз негізіндегі аэрогельді П. Паузауски және оның әріптестері [5] алмаз анвилді ұяшықта 1580 К температурада 21 ГПа-дан төмен қысымда РФ негізіндегі көміртекті аэрогельден синтездеді.

Алмаз негізіндегі аэрогельді дайындау үшін өнімнің кеуектілігі мен төмен тығыздығын сақтай отырып, sp^2 гибридтелген көміртегі прекурсорынан наноөлшемді sp^3 гибридтелген алмазына түрлендіру өте маңызды, сурет 3 [5].



Сурет 3 – Алмаз негізіндегі көміртекті аэрогельді алу жолы [5]

РФ негізіндегі аэрогельді қысымның әсерінен бұзылып кетпес үшін неонды енгізді. Электрондық және рентгендік спектроскопиямен зерттеу кезінде қатты наноалмаз матрицасының алынғаны көрсетілді. Зерттеушілердің айтуынша [5], ол пластик тәрізді мөлдір және иілгіш, жарқырайды. Алмаз негізіндегі аэрогельде оның бастапқы РФ негізіндегі аэрогельде болмаған жарқын және тұрақты фотолуминесценция болды.

Кейінірек алмаз негізіндегі аэрогельді А. Ду және оның әріптестері [15] золь-гель әдісімен синтездеді. Ол үшін алдымен полярлы апротонды еріткіште, яғни ацетонитрилде ерітіп, кейін қышқылмен катализдейді. Содан кейін конденсация реакциялары арқылы беттік ауданы үлкен наноалмазды аэрогель макроскопиялық өлшемде алынды. Наноалмаз негізіндегі аэрогель материалының құрамында РФ матрицасында таралған наноалмаз атомдары бар екенін көру үшін жарықтанғыш электронды микроскоп қолданылды. Алайда қазіргі уақытта наноалмаздардың көп бөлігі көміртегі бар жарылғыш заттарды детонациялау арқылы алынады. Жарылыстан кейін химиялық тазарту арқылы алынған диаметрі бір нанометр диапазонында алмаз түйірлері пайда болады.

3.6 Биомасса негізіндегі аэрогельдер

Биомасса негізіндегі көміртекті аэрогельдер көміртекті аэрогельдердің тағы бір маңызды түрі болып табылады. Соңғы жылдары, бұл көміртекті аэрогельдерге бүкіл әлем бойынша зерттеушілердің қызығушылығы артып келеді. Себебі, мұнай өнімдерін не көміртекті наноматериалдарды

прекурсорлар ретінде пайдаланатын көміртекті аэрогельдердің басқа түрлеріне қарағанда, бұл көміртекті аэрогельдердің негізгі прекурсорлары ретінде таусылмайтын биомасса немесе биомасса қалдықтарын пайдаланады. Табиғи заттардан алынғандықтан, бұл аэрогельдер таза және үнемді болып келеді. Қазірге дейін көміртекті аэрогельдер биомассадан алынған биополимерлерден синтезделді, оларға целлюлоза, хитин немесе хитозан, лигнин және таннин жатады [1].

Көміртек аэрогельдерін жасау үшін прекурсорлар ретінде танин және лигнин сияқты көмірсулар мен фенолдық биомолекулалардан басқа, газет қалдықтары мен өсімдік терісі сияқты биомасса қалдықтарын пайдалануға болады. С. Хан және басқалары [16] газет қалдықтарынан көміртекті аэрогельді синтездеді. Аэрогель жеңіл (9.84×10^{-2} г) және ~ 18.5 мг/см³ тығыздыққа ие болды. Сондай-ақ, Л. Важайал және т.б. ғалымдар [17] бастапқы материал ретінде макулатура мен поливинил спиртін пайдаланып көміртекті аэрогель алды.

Биомасса негізіндегі аэрогельдер соңғы жылдары экологиялық мәселелердің әсерінен көптеген елдерде қызушылық тудырып жатыр. Осы биомассадан жасалған заттар табиғатта аса ауыр зиян келтірмейді. Себебі, олар био қалдықтардан алынғандықтан табиғатта оңай ыдырайды және пластиктер сияқты жүздеген жылдар бойы жер бетінде қоқыс түрінде жатпайды. Сондықтан, мұнай өнімдерінен жасалатын материалдардан тәуелсіз болу үшін биомасса технологиялары даму үстінде.

Қорытынды

Көміртекті аэрогельдер – жоғары кеуектілік пен жоғары беттік ауданға ие ең жеңіл материалдар және басқа аэрогельдерден кейбір механикалық қасиеттердің жоғары болуымен ерекшеленеді. Бұл мақалада көміртекті аэрогельдерді бастапқы көміртек материалына байланысты 6 түрге бөліп қарастырылу ұсынылды. Алмаз аэрогельдері көптеген артықшылықтарға ие жаңа материал болғандықтан қызығушылық тудыруда, ал лигнин және макулатура негізіндегі аэрогельдер био-қалдықтардан алынғандықтан табиғатта оңай ыдырауы арқасында экологиялық таза болып табылады. Көміртекті аэрогельдердің тағы бір ерекшелігі – алу жолдарының қарапайымдылығы, олар көбіне золь-гель әдісімен алынады, оның ішінде полимерлеу, кептіру. Көміртекті аэрогельдердің құрылысы мен құрамын сипаттауда СЭМ, ТЭМ, ТГА, Раман-спектроскопиясы және т.б. зерттеу әдістері қолданылады.

Көміртекті аэрогельдер адсорбент ретінде суды мұнай өнімдері мен органикалық ластаушы заттардан, ауаны ароматты көмірсутектерден және ауыр металл иондарынан тазалауда кеңінен қолданылады. Жылу өткізгіштігі

төмен болуына байланысты, көміртекті аэрогельдерді жылу изоляторлары және жалынға қарсы заттар ретінде қолданады. Сонымен қатар, бұл аэрогельдерді наноөлшемді және макроөлшемді қолданбалар арасындағы байланыстырушы материал ретінде қолдануға болады.

Пайдаланылған деректер тізімі

- 1 **Lesbayev, B., Auyelkhankyzy, M., Ustayeva, G., Yeleuov, M., Rakhymzhan, N., Maltay, A., Maral, Ye.** (2023) South African Journal of Chemical Engineering 43:327–33,6 doi.org/10.1016/j.sajce.2022.11.012
- 2 **Worsley, M. A., Baumann, T. F.** (2018) Carbon Aerogels. In: Klein L., Aparicio M., Jitianu A. (eds) Handbook of Sol-Gel Science and Technology. Springer, Cham. 3339–3374. doi:10.1007/978-3-319-32101-1_90.
- 3 **Bryning, M. B., Milkie, D. E., Islam, M. F., Hough, L. A., Kikkawa, J. M., Yodh, A. G.** (2007) Carbon nanotube aerogels. Advanced Materials, 19(5):661–664 doi:10.1002/adma.200601748
- 4 **Wang, J., Ellsworth, M.** (2009) Graphene aerogels. ECS Transactions, 19(5):241-247. doi:10.1149/1.3119548.
- 5 **Pauzauskie, P. J., Crowhurst, J. C., Worsley, M. A., Laurence, T. A., Kilcoyne, A. L. D., Wang, Y., Satcher, J. H.** (2011) Synthesis and characterization of a nanocrystalline diamond aerogel. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(21):8550-8553. doi:10.1073/pnas.1010600108
- 6 **Sam, D. K., Sam, E. K., Durairaj, A., Lv, X., Zhou, Z., Liu, J.** (2020) Synthesis of biomass-based carbon aerogels in energy and sustainability. Carbohydrate Research, 491:107986. doi:10.1016/j.carres.2020.107986.
- 7 **Van Aken, K. L., Pérez, C. R., Oh, Y., Beidaghi, M., Jeong, J. Y., et.al** (2015) High rate capacitive performance of single-walled carbon nanotube aerogels. Nano Energy, 15:662-669. doi:10.1016/j.nanoen.2015.05.028,
- 8 **Sarathchandran, C., Ilangovan, S. A.** (2021) Carbon aerogels: Synthesis, properties, and applications. Nanomaterials. Micro and Nano Technologies. Chapter 18: 739-781. doi:10.1016/B978-0-12-821996-6.00002-6.
- 9 **Zhi, D., Li, T., Li, J., Ren, H., Meng, F.** (2021) A review of three-dimensional graphene-based aerogels: Synthesis, structure and application for microwave absorption. Composites Part B: Engineering, 211:108642 doi:10.1016/j.compositesb.2021.108642 ,
- 10 **Sultanov, F. R., Auyelkhankyzy, M., Smagulova, G., Lesbayev, B. T., Mansurov, Z. A.** (2014) Aerogels based on graphene oxide with addition of carbon nanotubes: Synthesis and properties. Eurasian Chemico-Technological Journal, 16 (4):265-269. doi:10.18321/ectj9.

11 **Zhao, D., Yu, L., Liu, D.** (2018) Ultralight Graphene/Carbon Nanotubes Aerogels with Compressibility and Oil Absorption Properties. *Materials*, 11(4):641. doi:10.3390/ma11040641.

12 **Zhao, P., Zhang, X., Hao, J.** (2021) Melamine-imprinted electrochemical sensor of graphene/ionic liquid composites and its use for the detection of melamine in dairy products. *ChemPhysMater*, in press. doi:10.1016/j.chphma.2021.11.003.

13 **Li, H., Zong, Y., He, J., Ding, Q., Jiang, Y., Li, X., Han, W.** (2022) Wood-inspired high strength and lightweight aerogel based on carbon nanotube and nanocellulose fiber for heat collection. *Carbohydrate Polymers* 280:119036 doi: 10.1016/j.carbpol.2021.119036.

14 **Kabiri, S., Tran, D. N. H., Altalhi, T., Losic, D.** (2014) Outstanding adsorption performance of graphene-carbon nanotube aerogels for continuous oil removal. *Carbon* 80, 523–533. doi:10.1016/j.carbon.2014.08.092.

15 **Du, A., Zhou, B., Zhang, Z., Shen, J.** (2013) A Special Material or a New State of Matter: A Review and Reconsideration of the Aerogel. *Materials*, 6(3), 941-968, doi:10.3390/ma6030941

16 **Han, S., Sun, Q., Zheng, H., Li, J., Jin, C.** (2016) Green and facile fabrication of carbon aerogels from cellulose-based waste newspaper for solving organic pollution. *Carbohydrate Polymers*, 136: 95–100. doi:10.1016/j.carbpol.2015.09.024

17 **Vazhayal, L., Wilson, P., Prabhakaran, K.** (2020) Waste to wealth: Lightweight, mechanically strong and conductive carbon aerogels from waste tissue paper for electromagnetic shielding and CO₂ adsorption. *Chem. Eng. J.*, 381:122628., doi:10.1016/j.cej.2019.122628

Алғыс

Авторлар Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетіне қаржылық қолдау көрсеткені үшін алғысын білдіреді («AP19677415 Тағам қалдықтарынан нанокөміртер алу және олардың негізінде суперконденсаторлар үшін электродтық материалдарды жасау»).

30.11.23 ж. баспаға түсті.

24.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

26.08.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

М. Әуелханқызы¹, *М. Нәжипқызы², С. Тауұпихова³,

Ә. Талғатқызы⁴, М. Әуелханқызы⁵

^{1,2,3,4,5}Казахский национальный
университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы;

²Институт проблем горения,
Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 30.11.23.

Поступило с исправлениями 24.04.24.

Принято в печать 26.08.24.

УГЛЕРОДНЫЕ АЭРОГЕЛИ: ВИДЫ, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

Углеродные аэрогели — самые легкие материалы в мире. Кроме того, они обладают высокой пористостью, очень низкой плотностью, очень высокой адсорбционной способностью и высокой термической стабильностью. В данной статье представлен новый обзор полученных за последние годы аэрогелей на основе углерода, включая виды, способы получения, методы исследования и сферы применения. Прежде всего, было предложено разделить известные в настоящее время аэрогели на основе углерода на 6 типов. Это аэрогели на основе резорцин-формальдегида, аэрогели на основе углеродных нанотрубок, аэрогели на основе графена, гибридные аэрогели на основе углеродных нанотрубок и графена, аэрогели на основе алмаза и аэрогели на основе биомассы. Среди этих углеродных аэрогелей наиболее изученным и перспективным типом аэрогелей являются аэрогели на основе биомассы, которые получают на основе различных природных отходов и являются экологически и экономически эффективными. Во-вторых, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая или освещающая электронная микроскопия, термогравиметрия и рамановская спектроскопия оказались наиболее широко используемыми методами характеристики структуры и состава углеродных аэрогелей. Хотя это новый класс материалов в истории нанопористых материалов, он нашел широкое применение. Их главным преимуществом является высокая пористость, благодаря которой аэрогели можно использовать в качестве адсорбентов для разделения нефти и воды, удаления ионов тяжелых металлов и т. д. рассматривалось применение на полях.

Ключевые слова: аэрогели, углеродные аэрогели, пористый материал, карбонизация, адсорбент, теплоизоляторы.

M. Auyelkhankyzy¹, M. Nazhipkyzy², S. Taupikhova³,

A. Talgatkyzy⁴, M. Auyelkhankyzy⁴,

^{1,2,3,4,5}Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

²Institute of Combustion Problems,

Republic of Kazakhstan, Almaty,

Received 30.11.23.

Received in revised form 24.04.24.

Accepted for publication 26.08.24.

CARBON AEROGELS: TYPES, METHODS OF OBTAINING, RESEARCH METHODS AND SCOPE OF APPLICATION

Carbon aerogels are the lightest materials in the world. In addition, they have high porosity, very low density, very high adsorption capacity and high thermal stability. In this article, a new overview of carbon-based aerogels obtained in recent years, including types, preparation methods, research methods, and scope of applications, is presented. First of all, it was proposed to divide currently known carbon-based aerogels into 6 types. They are resorcinol-formaldehyde based aerogels, carbon nanotube based aerogels, graphene based aerogels, carbon nanotube and graphene based hybrid aerogels, diamond based aerogels and biomass based aerogels. Among these carbon-based aerogels, biomass-based aerogels, which are prepared on the basis of various natural wastes and are ecologically and economically efficient, are the most studied and promising type of aerogels. Second, scanning electron microscopy, transmission or illumination electron microscopy, thermogravimetry, and Raman spectroscopy were found to be the most widely used methods for characterizing the structure and composition of carbon-based aerogels. Although this is a new class of materials in the history of nanoporous materials, it has found widespread use. Their main advantage is their high porosity, thanks to which aerogels can be used as adsorbents for oil/water separation, heavy metal ion removal, etc. application in the fields was considered.

Keywords: aerogels, carbon-based aerogels, porous material, carbonization, adsorbent, heat insulators.

Теруге 04.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

2,56 МБ RAM

Шартты баспа табағы 7,94.

Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген А. К. Темиргалинова

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4292

Сдано в набор 04.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

2,56 МБ RAM

Усл. п. л. 7,94. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка А. К. Темиргалинова

Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4292

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

Павлодар мемлекеттік 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