Көміртекті аэрогельдер мен ксерогельдер

Дәріс 8

Аэрогельдер мен ксерогельдер

Көміртекті аэрогельдер мен ксерогельдер мұнай мен судың қоспаларын және эмульсияларын бөлуге арналған перспективалы сорбенттер болып табылады.

Аэрогель – кеуектеріндегі сұйықтық ауаға алмастырылғанда құрылымын негізінен сақтайтын гельден алынатын материал. Қазіргі анықтама бойынша аэрогельдерге кеуектілігі 95%-дан жоғары, мезо- және макрокеуектері бар материалдар жатады.

Ксерогель – ылғалды гельді кәдімгі кептіру арқылы алынатын материал. Кептіру кезінде капиллярлық қысым гель құрылымының шөгуіне әкеледі, нәтижесінде ксерогельдердің тығыздығы жоғары, ал меншікті бетінің ауданы аэрогельдерге қарағанда төмен болады.

Гель алуға арналған бастапқы материалдар:

- Резорцин мен формальдегид;
- Көміртекті нанотүтікшелер (CNTs);
- Графен;
- Биомасса.



Аэрогель Ксерогель

Салыстыру параметрі	Көміртекті аэрогельдер	Көміртекті ксерогельдер
Анықтамасы	Кеуектеріндегі сұйықтықты газбен алмастыру арқылы алынатын жоғары кеуекті материалдар	Ылғалды гельдерді дәстүрлі кептіру арқылы алынатын кеуекті материалдар
Кеуектілігі	90–99%, кейде 99%-дан жоғары	Шамамен 50 көлемдік %
Меншікті бетінің ауданы	2400 м²/г-нан жоғары болуы мүмкін	Әдетте аэрогельдерге қарағанда төмен
Тығыздығы	Өте төмен, шамамен 3 мг/см³	Төмен тығыздыққа ие болуы мүмкін, бірақ аэрогельдерден тығызырақ
Құрылымдық ерекшелігі	Кеуекті құрылымы жақсы сақталады	Кептіру кезінде шөгуі және жиырылуы байқалады
Электрөткізгіштігі	Жоғары	Жоғары болуы мүмкін
Термиялық және химиялық тұрақтылығы	Жоғары	Қолданылуына байланысты жақсы тұрақтылық көрсете алады
Гидрофобтылығы	Мұнай–су қоспаларын бөлуге қолайлы	Бастапқы құрамы мен беттік өңдеуіне байланысты
Алыну әдісі	Гель түзу, жетілдіру, көбіне вакуумда мұздатып кептіру, карбонизация	Гель түзу, жетілдіру, атмосфералық қысымда кептіру, карбонизация
Дайындау құны	Кептіру әдісіне байланысты салыстырмалы түрде жоғары болуы мүмкін	Дәстүрлі кептіру әдісіне байланысты салыстырмалы түрде төмен
Негізгі қолданылуы	Мұнайды судан бөлу, энергия сақтау, сенсорлар, катализ	Суды тазарту, суперконденсаторлар, катализ, ауаны ластаушы газдардан тазарту

1. Графен негізіндегі аэрогельдер және олардың мұнайды сіңіру қабілеті

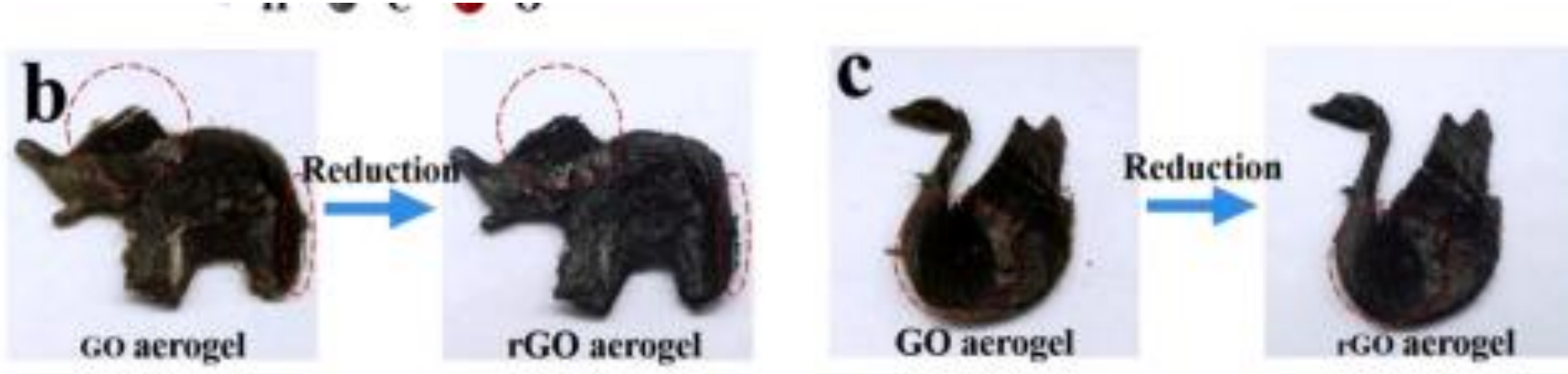
Графен аэрогельдері (GA) — графен оксидінен (GO) алынатын, мұнай мен суды бөлуге арналған кеңінен қолданылатын көміртекті кеуекті материалдар.

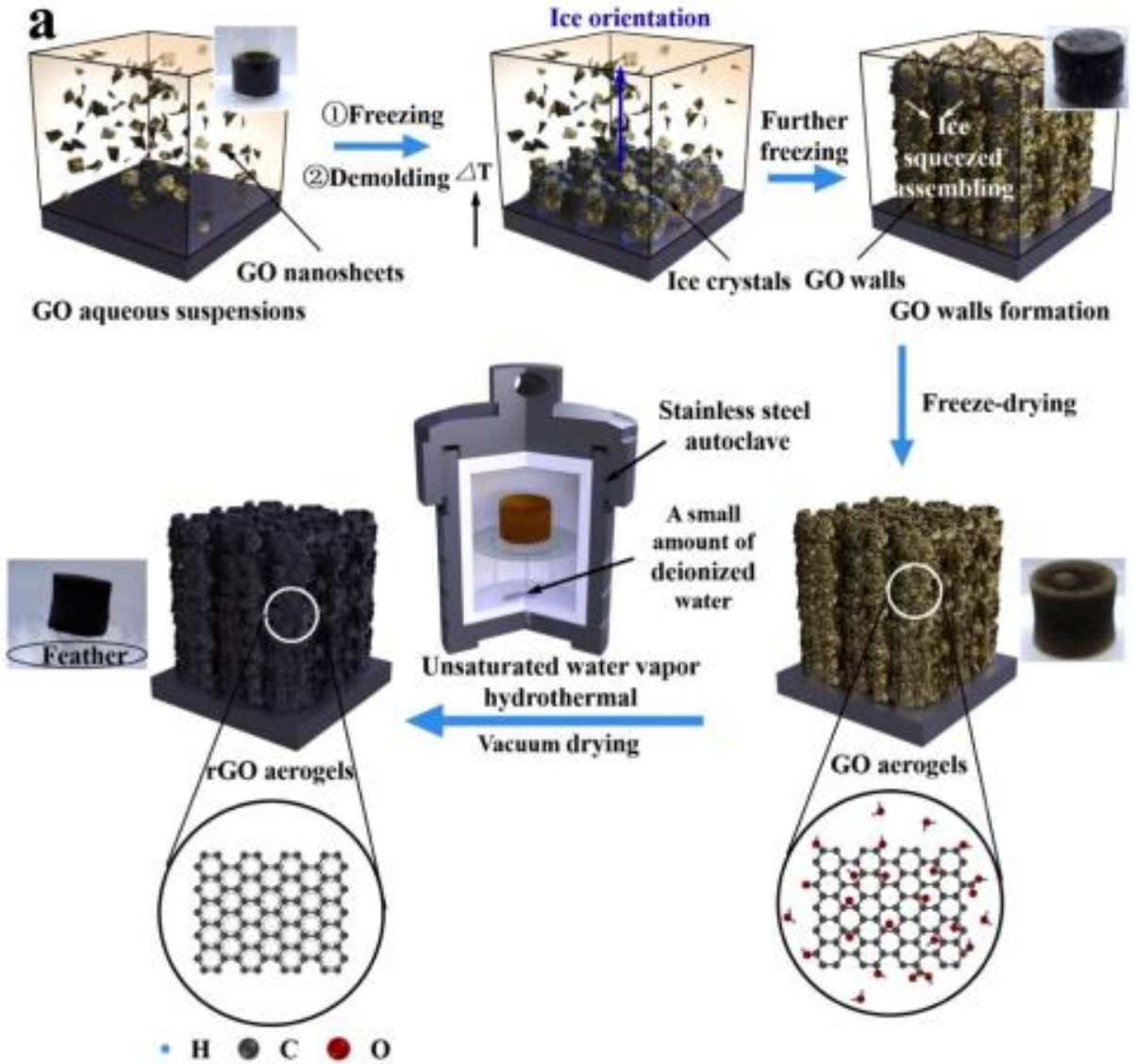
Синтездеу әдістері

- **Мұздатып кептіру:** графен оксидінің гидрогельдерін кептіру арқылы кеуекті құрылым алу.
- **Химиялық тотықсыздандыру:** HI, этилендиамин (EDA), аммиак немесе аскорбин қышқылын қолдану арқылы оттекті функционалдық топтарды азайту.
- **Гидротермиялық өңдеу:** графен гидрогелін қалыптастыру және оның құрылымын жетілдіру.
- **Бағытталған мұздату:** тік және радиалды бағытталған кеуектер мен капиллярлық арналар түзу.

Синтездеу әдісі	Сіңіру қабілеті
HI көмегімен тотықсыздандыру және мұздатып кептіру	Өз массасынан 40 есе көп
EDA–аммиак арқылы гидротермиялық тотықсыздандыру	Дизель үшін 130 г/г; эмульсияланған мұнай үшін 71,67 г/г
Аскорбин қышқылымен тотықсыздандыру	138–328 г/г
Бағытталған екіжақты мұздату (BDF)	86,6–374,7 г/г
Бір бағытты мұздату	н-гексан үшін 105 г/г

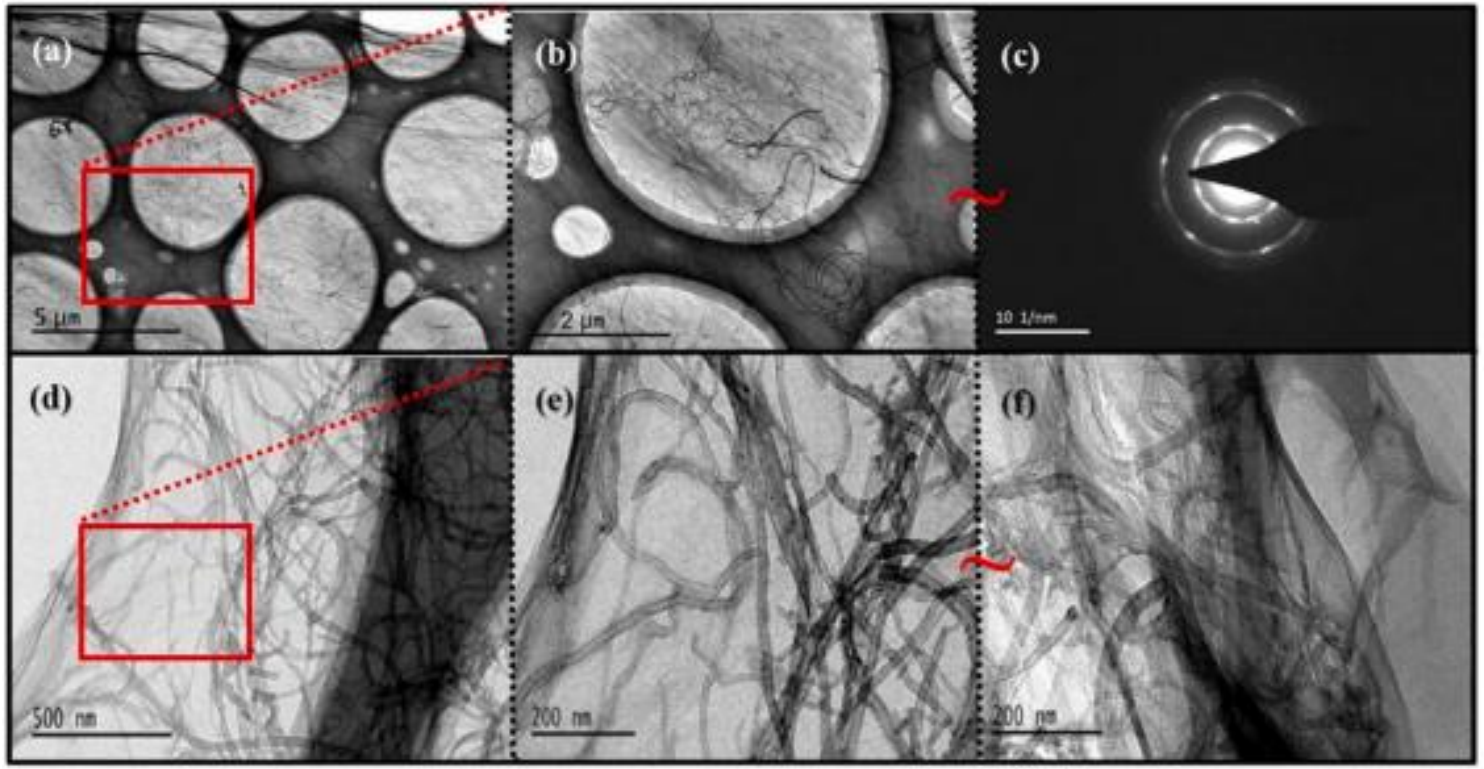
Мұнайды сіңіру қабілеті
Қайта пайдалану және температураның әсері
•HI арқылы алынған аэрогель бастапқы сіңіру қабілетінің **97,7%-ын 10 циклден кейін** сақтаған.
•C дәруменімен тотықсыздандырылған аэрогель 10 циклден кейін сіңіру қабілетінің **92%-ын** сақтаған.
•EDA–аммиак әдісімен алынған аэрогельді сығу кезінде деформация шегі шамамен 50%-ды құрайды.
Мұнайды жандыру арқылы жою 15 циклден кейін сіңіру қабілетінің жоғалуын 6,4%-бен шектеуге мүмкіндік берген.
•Температура −40°C-тан 240°C-қа дейін артқанда мотор майының сіңірілуі шамамен 26,5 г/г-нан 24,7 г/г-ға дейін төмендеген.
Графен аэрогельдерінің жоғары мұнай сіңіру қабілеті, гидрофобтылығы және қайта пайдаланылуы олардың мұнай төгінділерін жоюға арналған перспективалы сорбенттер екенін көрсетеді. Сіңіру тиімділігі материалдың кеуекті құрылымына, тотықсыздандыру дәрежесіне және синтез жағдайларына тәуелді.





Графен оксидінің (GO) сулы суспензияларынан rGO аэрогельдерін дайындау процесінің схемалық бейнесі

2. Графен–көміртекті нанотүтікшелер негізіндегі гибридті аэрогельдер



Графен–көміртекті нанотүтікшелер (CNTs) гибридті аэрогельдері — графен оксиді (GO) мен көміртекті нанотүтікшелерді біріктіру арқылы алынатын кеуекті материалдар.

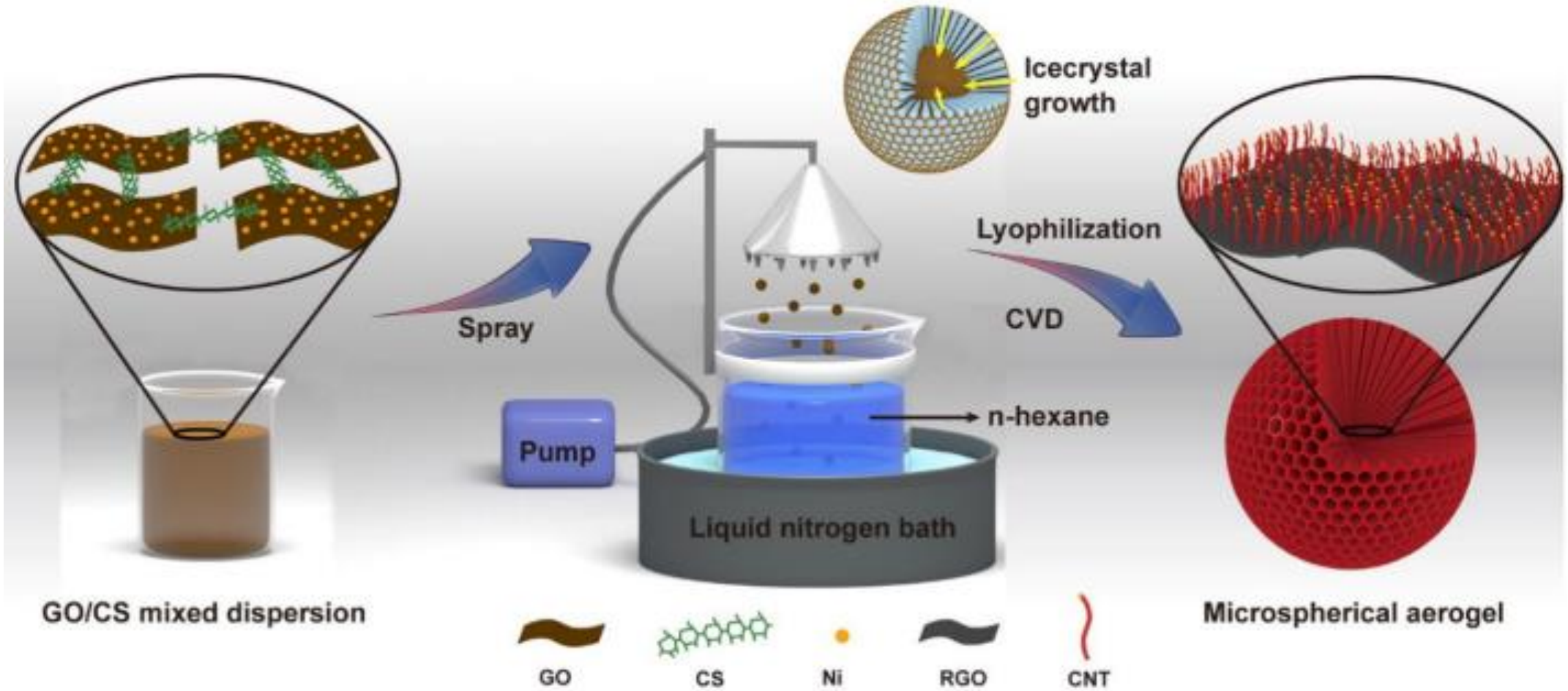
Негізгі артықшылықтары:

•Графеннің жоғары электрөткізгіштігі және тасымалдау қасиеттері;

•CNTs түзетін нанокедір-бұдыр бет;

•Жоғары гидрофобтылық және мұнайды сіңіру қабілеті;

•Реттелген кеуекті құрылым және қайта пайдалану мүмкіндігі.



Графен–көміртекті нанотүтікшелер негізіндегі гибридті аэрогельдің алынуы

Синтездеу әдісі	Адсорбция сыйымдылығы
Темір(II) сульфаты арқылы тотықсыздандыру	35 г/г
Аскорбин қышқылымен тотықсыздандыру	190 г/г
Гидразин буымен тотықсыздандыру	421 г/г-ға дейін
Химиялық бу тұндыру (CVD) арқылы CNTs өсіру	323 г/г-ға дейін
Функционалданған MWCNTs және GO негізіндегі аэрогельдер	Ацетон үшін шамамен 220 г/г
PVP/CNTs негізіндегі гибридті аэрогельдер	270 г/г-ға дейін
Этилендиаминмен функционалданған графен аэрогелі	Сорғы майы үшін 137 г/г-ға дейін
CNTs/тотықсызданған GO микросфералық аэрогелі	Ауыр мұнай үшін 267 г/г

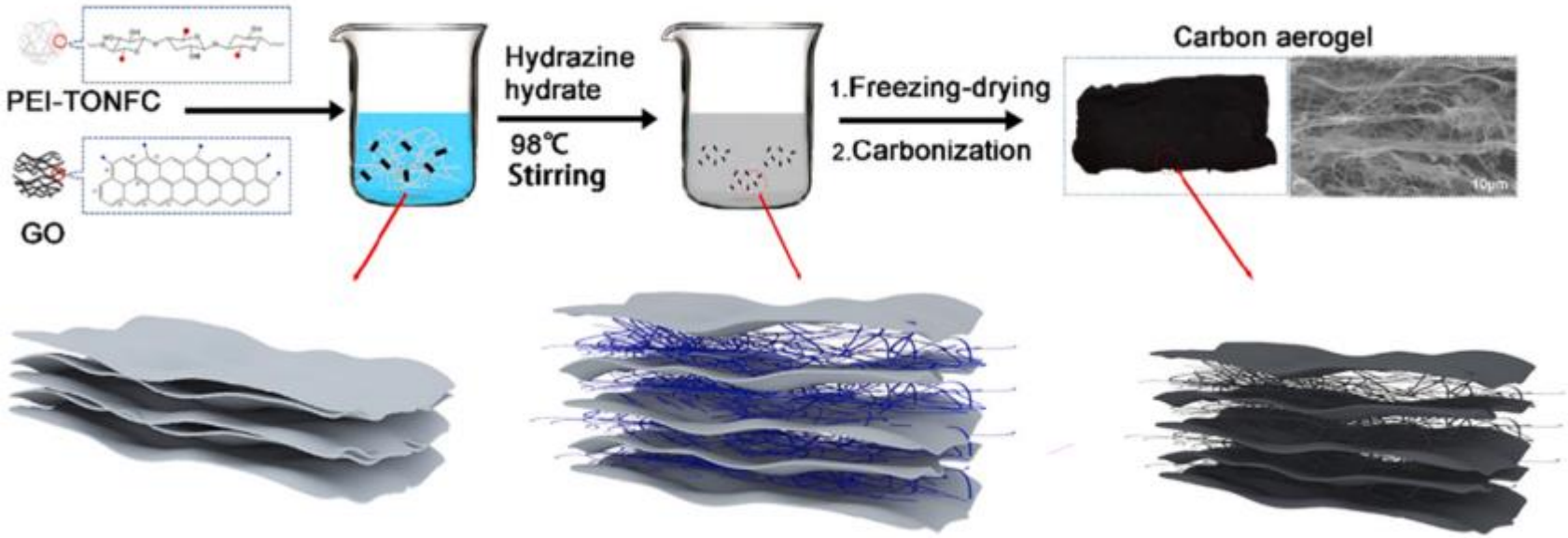
3. Графеннің басқа көміртекті материалдармен гибридті аэрогельдері

Гибридті аэрогельдер — графен оксидін (GO) наноталшықтармен немесе көміртекті нанобөлшектермен біріктіру арқылы алынатын, кеуектілігі жоғары және сорбциялық қабілеті жоғары материалдар. Олар:

•Наноталшықтар графен парақтарын байланыстырып, аэрогельдің механикалық тұрақтылығы мен кеуекті құрылымын жақсартады.

•Қуыс және магниттік көміртекті сфералар графен парақтарының бірігіп қалуын азайтып, меншікті бет ауданын арттыруға көмектеседі.

•Ең жоғары көрсетілген сорбциялық сыйымдылық **GO/целлюлоза ацетаты наноталшықтары негізіндегі аэрогельде — 734 г/г дейін**.



NC-GO@NFC дайындау процесі

Гибридті материал	Негізгі сипаттамалары	Сорбциялық сыйымдылығы
GO + көміртектендірілген целлюлоза наноталшықтары	Мұздатып кептіру және карбонизация; аса гидрофобты құрылым; меншікті бет ауданы 441 м²/г	81 г/г дейін
GO + PAN наноталшықтары	Үздіксіз талшықты қаңқа; тығыздығы 2–3 мг/мл; 80%-ға дейін сығылады	120–286 г/г
GO + целлюлоза ацетаты наноталшықтары	Өзара байланысқан кеуектер; кеуектілігі 99%-дан жоғары; тығыздығы 1,8 мг/см³	230–734 г/г
GO + қуыс көміртекті сфералар (HCS)	Меншікті бет ауданы 356,1 м²/г; сфералар графен парақтары арасында біркелкі таралған	108 г/г дейін
Графен + магниттік көміртекті наносфералар (MCNS)	Меншікті бет ауданы 787,92 м²/г; 95%-ға дейін аса сығымдалғыш	187–537 г/г

4. Көміртекті нанотүтікшелері бар аэрогельдер

Көміртекті нанотүтікшелер (CNT) негізіндегі аэрогельдер — үшөлшемді кеуекті құрылымы, төмен тығыздығы және жоғары сорбциялық сыйымдылығы бар материалдар.

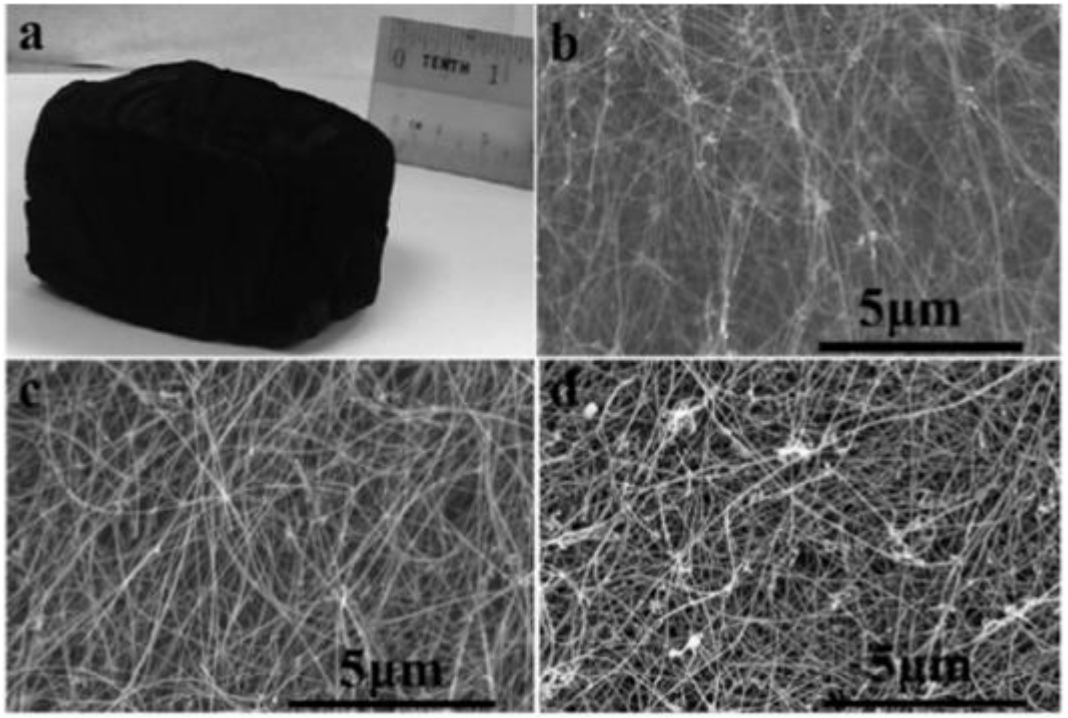
Синтез әдістері

•**CVD және қалқымалы катализатор әдісі:** CNT-лерді сапфир субстратында тұндыру.

•**Статикалық реакция:** пиррол мономерінен полипиррол нанотүтікшелерінің гидрогелін алу.

•**Биологиялық құрастыру:** CNT-лерді саңырауқұлақ гифаларының бетіне бекіту.

•**Мұздатып кептіру және пиролиз:** целлюлоза наноталшықтары мен MWCNT негізіндегі композит алу.



Аэрогель түрі	Құрылымы мен қасиеттері	Сорбциялық сыйымдылығы
CNT аэрогелі (CVD)	Қос қабырғалы CNT-лердің өзара байланысқан 3D желісі; тығыздығы 2,5 мг/см³	107 г/г дейін
Полипиррол нанотүтікшелері негізіндегі аэрогель	Кедір-бұдыр беті бар 1D нанотүтікшелер желісі; 100 сорбция–дистилляция циклінен кейін бастапқы сыйымдылығын 100% сақтайды	140–600 г/г
CNT/саңырауқұлақ гифалары композиті	Кеуекті 3D құрылым; меншікті бет ауданы 1041,2 м²/г	48–138 г/г
Целлюлоза наноталшықтары/MWCNT композиті	Кеуектілігі 95%; 6 сорбция–жану циклінен кейін бастапқы сыйымдылығының тек 8,2%-ын жоғалтады	110 г/г дейін

Қорытынды

CNT негізіндегі аэрогельдер жоғары сорбциялық сыйымдылығымен және қайта пайдалануға жарамдылығымен ерекшеленеді. Полипиррол нанотүтікшелері негізіндегі аэрогельде ең жоғары көрсетілген сыйымдылық — **600 г/г дейін**.

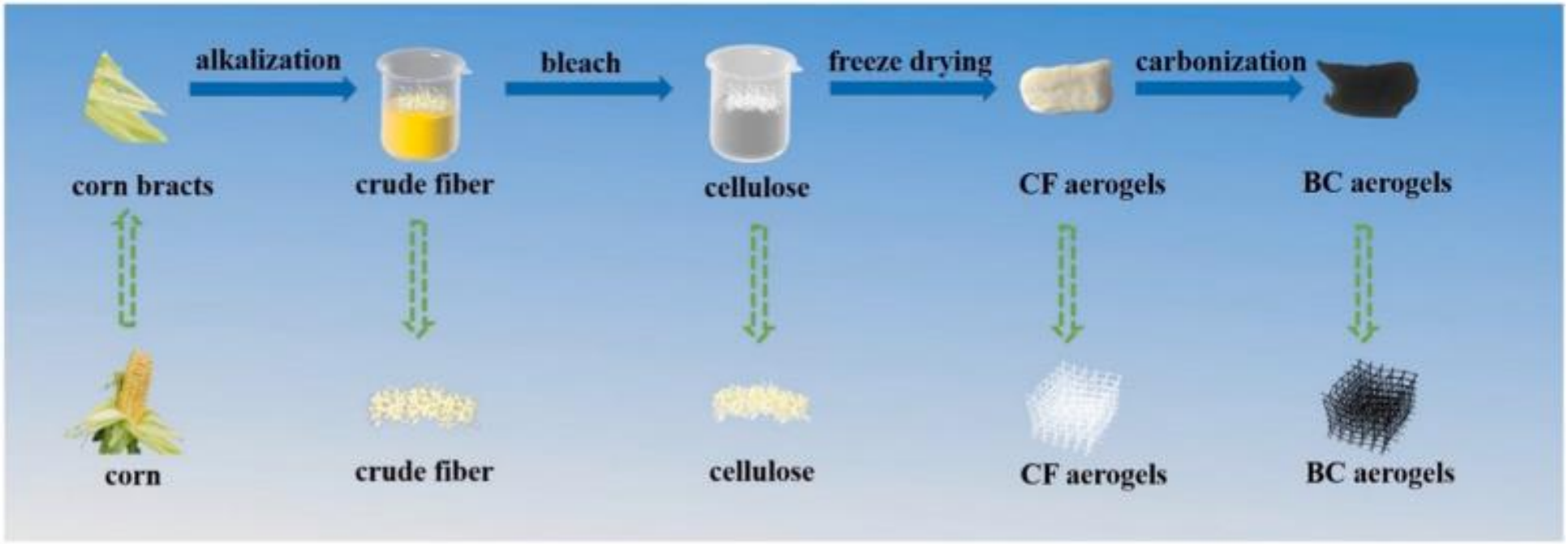
Ескерту: сорбциялық сыйымдылық зерттеуде қолданылған сұйықтыққа және сынақ жағдайларына тәуелді.

5. Табиғи шикізаттан көміртекті аэрогельдерді синтездеу

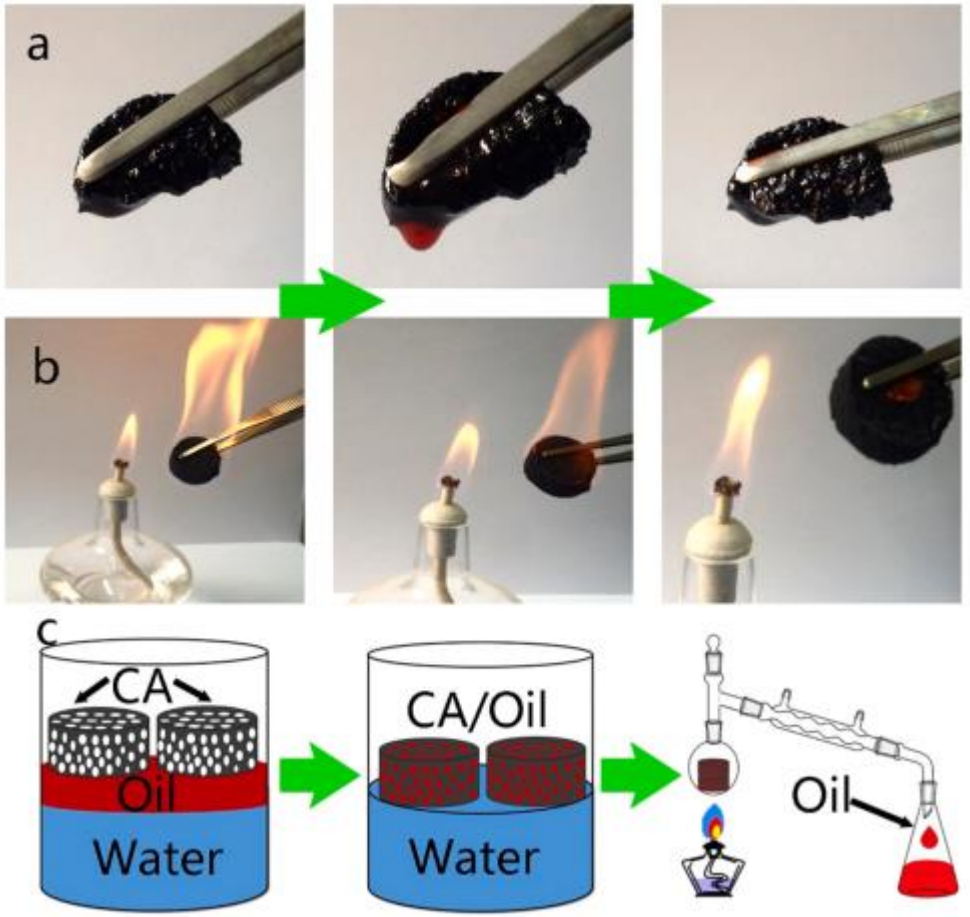
Биомасса — көміртекті аэрогельдер алуға арналған қолжетімді, жаңартылатын және экологиялық тиімді шикізат. Бұл әдіс өндірістік және тұрмыстық қалдықтарды қайта пайдалануға мүмкіндік береді.

Қолданылатын табиғи шикізаттар

•Жүгері собығының жапырақтары мен жабындары
•Қалдық газет қағазы
•Ағартылған жұмсақ ағаштың крафт-целлюлозасы
•Балса ағашы мен бамбук талшықтары
•Мақта және сизаль талшықтары



Көрсеткіш	Сипаттамасы
Сорбциялық сыйымдылығы	14–192 г/г
Қолданылуы	Органикалық сұйықтықтарды сіңіру және қалпына келтіру
Қайта пайдалану	Жану, дистилляция немесе механикалық сығу арқылы
Синтез негізі	Целлюлозаны талшықты құрылымға айналдыру және карбонизациялау



6. Көміртекті ксерогельдер (Carbon xerogels)

Көміртекті ксерогельдер — золь-гель әдісімен алынатын кеуекті көміртекті материалдар. Олар мұнай өнімдерін тазартуда, мұнай-су эмульсияларын бөлуде және өндірістік ағын суларды өңдеуде қолданылады.

1. Мұнай-су эмульсияларын тазарту

•**Синтезі:** резорцин мен формальдегидтің поликонденсациясы → гель түзілуі → ацетонмен өңдеу → кептіру және пиролиз.
•Ксерогель микросфералары көмірсутектерді ыдырататын *Pseudomonas stutzeri* бактерияларын тасымалдаушы ретінде қызмет етеді.
•**Мұнайды жою тиімділігі:** 8200 мг/л бастапқы концентрацияда 72 сағат ішінде 100%-ға дейін.
•**Қайта пайдалану:** 10 циклден кейін де мұнайды толық жою мүмкіндігі сақталған.

2. Мұнай құмдарын өңдеуден қалған суды (OSPW) тазарту

Негізгі қорытынды

•Ксерогельдердің адсорбциялық тиімділігі меншікті бет ауданына және кеуек өлшеміне тәуелді.
•Ароматты қосылыстар графендік құрылымдармен π–π әрекеттесулері арқылы жақсырақ байланысуы мүмкін.
•**Перспективалы бағыт:** мұнаймен ластанған суды тазарту және көмірсутектерді адсорбция мен биодеградацияны біріктіру арқылы жою.

Материалдың сипаттамасы	Адсорбцияланатын зат	Сыйымдылығы
pH 5,5; меншікті бет ауданы 573 м²/г; кеуек диаметрі 11 нм	Қышқылмен экстракцияланатын фракциялар (AEF)	15 мг/г
Сол материал	Нафтен қышқылдары (NAs)	7,8 мг/г
Мезокеуекті ксерогель; меншікті бет ауданы 573 м²/г; кеуек көлемі 1,55 см³/г	5-фенилвалериан қышқылы	87 мг/г
Сол материал	Гептан қышқылы	65 мг/г
Сол материал	5-циклогексанпентан қышқылы	61 мг/г