Дәріс 3. Көміртекті нанотүтікшелер: құрылымы, түрлері және негізгі қасиеттері

Дәрістің жоспары:

1. Көміртекті нанотүтікшелер туралы жалпы түсінік
2. Бір қабырғалы және көп қабырғалы нанотүтікшелердің құрылысы
3. Хиральдылық және көміртекті нанотүтікшелердің жіктелуі
4. Көміртекті нанотүтікшелердің негізгі қасиеттері
5. Көміртекті нанотүтікшелердің қолданылу бағыттары

Көміртекті нанотүтікшелер (КНТ) көміртек атомдарынан түзілген цилиндрлік наноқұрылымдар болып табылады. Оларды шартты түрде графен қабатының түтік түрінде оралуынан пайда болған құрылым ретінде қарастыруға болады. КНТ-ның диаметрі нанометрлік шамада, ал ұзындығы бірнеше микрометрге және одан да жоғары мәндерге жетуі мүмкін. Осындай үлкен ұзындық-диаметр қатынасы оларды квази-бірөлшемді наноматериалдар қатарына жатқызады.

Көміртекті нанотүтікшелерге ғылыми қызығушылық олардың жоғары механикалық беріктігімен, ерекше электрлік және жылулық қасиеттерімен, салыстырмалы химиялық тұрақтылығымен және меншікті бетінің үлкен болуымен байланысты. КНТ қазіргі материалтануда, наноэлектроникада, энергетикада, катализде және композициялық материалдар жасауда маңызды нысан болып саналады.

1. Көміртекті нанотүтікшелердің құрылысы

Көміртекті нанотүтікшелердің қабырғасы sp^2-гибридтелген көміртек атомдарынан тұрады. Әрбір көміртек атомы үш көршілес атоммен ковалентті байланысқан және гексагональды тор түзеді. Құрылымдық тұрғыдан алғанда нанотүтікше графен жазықтығының белгілі бір бағыт бойынша цилиндрге оралуымен сипатталады. Көміртек атомдарының арасындағы берік коваленттік байланыс олардың механикалық қасиеттерінің жоғары болуына негізгі себептердің бірі болып табылады.

Нанотүтікшелердің ұштары ашық немесе фуллеренге ұқсас жартылай сфералық көміртекті қақпақпен тұйықталған болуы мүмкін. Нанотүтікшенің диаметрі, қабырға саны және графен торының оралу бағыты оның физика-химиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.

2. Бір қабырғалы және көп қабырғалы көміртекті нанотүтікшелер

Қабырға санына байланысты көміртекті нанотүтікшелер бір қабырғалы және көп қабырғалы болып бөлінеді. Бір қабырғалы көміртекті нанотүтікше (БҚКНТ) бір ғана графен цилиндрінен тұрады. Оның диаметрі әдетте шамамен 0,4-4 нм аралығында, ал ұзындығы бірнеше ондаған микрометрге дейін жетуі мүмкін. БҚКНТ құрылымы салыстырмалы түрде біркелкі болғандықтан, оның электрлік және механикалық қасиеттері хиральдық индексіне өте сезімтал келеді.

Көп қабырғалы көміртекті нанотүтікше (КҚКНТ) бірінің ішіне бірі орналасқан бірнеше коаксиалды графиттік цилиндрлерден тұрады. Мұндай құрылымды «орыс матрёшкасы» үлгісімен салыстыруға болады. Көршілес қабаттардың арақашықтығы шамамен 0,34 нм, яғни графиттегі қабатаралық қашықтыққа жақын. КҚКНТ-ның сыртқы диаметрі, әдетте, БҚКНТ-ға қарағанда үлкен және ондаған нанометрге дейін жетуі мүмкін.

3. Хиральдылық және нанотүтікшелердің түрлері

Графен қабатының оралу бағыты нанотүтікшенің хиральдылығын анықтайды. Бұл құрылым хиральдық вектор арқылы сипатталады: $Ch = na_1 + ma_2$, мұндағы a_1 және a_2 - графен торының базистік векторлары, ал n және m - бүтін сандар. Хиральдық

индекстер нанотүтікшенің диаметрін және электрондық қасиеттерін анықтауда маңызды рөл атқарады.

Хиральдық бұрышына байланысты көміртекті нанотүтікшелер үш негізгі түрге бөлінеді: «кресло» типті, «зигзаг» типті және хиральды нанотүтікшелер. «Кресло» типінде n = m және хиральдық бұрыш 30°-қа жақын; «зигзаг» типінде m = 0 және бұрыш 0°; қалған жағдайларда түтік хиральды болып саналады. Құрылымдық айырмашылық олардың электрлік қасиеттерінің өзгеруіне әкеледі.

4. Көміртекті нанотүтікшелердің негізгі қасиеттері

Механикалық қасиеттері. Көміртекті нанотүтікшелер өте жоғары беріктік пен серпімділікке ие. Олардың Юнг модулі шамамен 1 ТПа және одан жоғары мәндерге жетуі мүмкін. Бұл көрсеткіш көміртек атомдары арасындағы берік sp^2-коваленттік байланыстармен түсіндіріледі. Нанотүтікшелердің меншікті салмағы салыстырмалы төмен болғандықтан, олар жеңіл әрі берік композициялық материалдар жасау үшін тиімді арматуралаушы компонент болып табылады.

Электрлік қасиеттері. КНТ-ның электрлік қасиеттері оның диаметрі мен хиральдылығына тәуелді. Бір нанотүтік металлдық немесе жартылайөткізгіштік сипат көрсете алады. Сондықтан көміртекті нанотүтікшелерді наноөткізгіштер, транзисторлар, сенсорлар және микроэлектрондық құрылғылар жасауға пайдалану мүмкіндігі бар. Өткізгіштікке құрылымдық ақаулардың саны және түтік қабырғасының сапасы да әсер етеді.

Жылулық қасиеттері. Көміртекті нанотүтікшелер бойлық бағытта жылуды өте жақсы өткізеді. Жылуөткізгіштіктің жоғары болуы көміртек торындағы фонондардың тиімді тасымалдануымен байланысты. Осы қасиет олардың жылуды әкететін жабындарда, электрондық компоненттерді салқындату жүйелерінде және жылуөткізгіш композиттерде қолданылуына мүмкіндік береді.

Химиялық қасиеттері. Мінсіз графиттік қабырға салыстырмалы химиялық инертті болғанымен, нанотүтікшелердің ұштары, ақаулы учаскелері және беткі функционалдық топтары химиялық реакцияларға белсенді болуы мүмкін. КНТ бетін тотықтыру, аминдеу немесе басқа функционалдық топтармен модификациялау олардың еріткіштерде диспергирленуін және полимерлермен, металдармен немесе биомолекулалармен әрекеттесуін жақсартуға мүмкіндік береді.

Сорбциялық қасиеттері. Көміртекті нанотүтікшелердің меншікті беті үлкен және беткі энергиясы жоғары болғандықтан, әртүрлі молекулалар мен иондарды адсорбциялай алады. Бұл қасиет оларды газдарды сақтау, су тазарту, ауыр металл иондарын және органикалық ластағыштарды сорбциялау, сондай-ақ катализатор тасымалдағышы ретінде қолдануға негіз болады.

5. Құрылымдық ақаулар және олардың әсері

Нақты жағдайда алынған нанотүтікшелердің құрылымында әртүрлі ақаулар кездесуі мүмкін. Гексагональды торда бес және жеті мүшелі сақиналардың пайда болуы түтіктің иілуіне, диаметрінің немесе хиральдық бағытының өзгеруіне әкеледі. Мұндай ақаулар механикалық беріктікке, электр өткізгіштікке және химиялық белсенділікке әсер етеді. Кейбір жағдайларда ақаулар қажетсіз болса, кейбір технологиялық қолдануларда беткі белсенділікті арттыру үшін оларды мақсатты түрде енгізу тиімді болуы мүмкін.

6. Көміртекті нанотүтікшелердің қолданылуы

Көміртекті нанотүтікшелер қасиеттерінің жиынтығына байланысты көптеген салаларда зерттеліп және қолданылып келеді. Композициялық материалдарда олар полимерлердің, керамиканың және металдардың механикалық беріктігін арттыратын наноарматура ретінде пайдаланылады. Электроникада өткізгіш элементтер, өрістік транзисторлар және сезімтал сенсорлар жасау үшін маңызды. Энергетикада аккумуляторлар мен суперконденсаторлардың электродтық материалдары ретінде, ал катализде белсенді компоненттерді жоғары дисперсті күйде бекітетін тасымалдағыш ретінде қолданылуы мүмкін.

Экологиялық технологияларда функционалданған КНТ судағы органикалық қосылыстарды және металл иондарын сорбциялау үшін қарастырылады. Сонымен қатар нанотүтікшелерді сутекті сақтау жүйелерінде, қорғаныш жабындарда және электромагниттік экрандаушы материалдарда қолдану бағыттары зерттелуде.

Қорытынды

Көміртекті нанотүтікшелер - көміртектің ерекше наноқұрылымды формаларының бірі. Олардың негізгі құрылымдық ерекшелігі графен қабатының цилиндр түрінде оралуымен байланысты. Қабырға санына қарай олар бір қабырғалы және көп қабырғалы болып бөлінеді, ал графен торының оралу бағыты олардың хиральдылығын анықтайды. Құрылым мен хиральдылық нанотүтікшелердің механикалық, электрлік және жылулық қасиеттеріне тікелей әсер етеді.

КНТ-ның жоғары беріктігі, электр және жылу өткізгіштігі, химиялық тұрақтылығы және сорбциялық қабілеті олардың жаңа функционалдық материалдар жасаудағы маңызын арттырады. Бұл материалдарды тиімді қолдану үшін олардың синтез жағдайын, өлшемін, қабырға санын, ақауларын және беткі функционалдық топтарын бақылау қажет.

Дәрісті бекіту сұрақтары:

1. Көміртекті нанотүтікшелердің құрылымдық ерекшелігі неде?
2. Бір қабырғалы және көп қабырғалы нанотүтікшелердің айырмашылығын түсіндіріңіз.
3. Хиральдылық дегеніміз не және ол КНТ қасиеттеріне қалай әсер етеді?
4. Көміртекті нанотүтікшелердің негізгі механикалық және электрлік қасиеттерін атаңыз.
5. КНТ-ның құрылымдық ақаулары олардың қасиеттеріне қалай әсер етеді?
6. Көміртекті нанотүтікшелердің негізгі қолданылу бағыттарын атаңыз.

Әдебиеттер:

1. Кобояси Н. Введение в нанотехнологию. - М.: БИНОМ, 2005. - 134 с.
2. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. - М.: КомКнига, 2006. - 592 с.
3. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. - М.: Техносфера, 2006. - 336 с.