

## Көміртекті нанотүтікшелердің алынуы және олардың функционализациясы

М. Назипқызы<sup>1,2\*</sup>, Н. Қуантай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*E-mail: meruert.nazhipkyzy@kaznu.kz

Ұсынылып отырған жұмыста гидрофобты қасиеті бар құмның бетінде көміртекті нанотүтікшелердің синтезі химиялық бұдан тұндыру (CVD) әдісімен жүргізілді. Көміртекті нанотүтікшелерді синтездеудің ең тиімді температурасы болып 800 °С орнықтырылды. Пропан-бутан газ қоспасы газ тәріздес көміртек көзі ретінде пайдаланылды. Аргон (Ar) газы инертті тасымалдаушы газ ретінде пайдаланылды. Никель нитраты (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) көміртекті нанотүтікшелерді синтездеу үшін катализатор ретінде таңдалды. Көміртекті наноматериалдардың барлық ерекше қасиеттерімен қатар қолданыс барысында мәселе туындататын агрегацияға бейімділік пен басқа заттардың матрицасына инерттілік қасиеті де бар. Аталған мәселені шешу мақсатында көпқабатты көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатын химиялық тәсілмен функционализациялау бойынша тәжірибелер жүргізілді. Көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатына карбоксил топтарын енгізу үшін, оның беткі қабаты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub> қышқылдардың концентрлі қоспасымен өңделді. Нәтижесінде, нанотүтікшелердің беткі қабатындағы функционалды топтардың негізгі үлесін карбоксильді, карбонильді және гидроксильді топтар құрайтыны орнықтырылды. Гидрофобты құм бетінде синтезделген көміртекті нанотүтікшелер келесідей зерттеу әдістерімен талданды: сканерлеуші электронды микроскоп, оптикалық микроскоп, элементтік талдау, комбинациялық шашырау спектроскопия әдісі және функционализацияланған нанотүтікше үлгілерінің сапалық бағалауы ИҚ-спектроскопия әдісімен жүргізілді.

**Түйін сөздер:** синтез; көпқабатты көміртекті нанотүтікшелер; CVD; функционализация; катализатор.

## Получение углеродных нанотрубок и их функционализация

М. Назипқызы<sup>1,2\*</sup>, Н. Қуантай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*E-mail: meruert.nazhipkyzy@kaznu.kz

В предлагаемой работе синтез углеродных нанотрубок проводился на поверхности песка с гидрофобными свойствами методом химического осаждения из паровой фазы (CVD). Эффективная температура для синтеза углеродных нанотрубок составляет 800 °С. Пропан-бутановая газовая смесь была использована в качестве источника газообразного углерода. Газ аргон (Ar) применяли в качестве инертного газа-носителя. Нитрат никеля (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) был выбран в качестве катализатора для синтеза углеродных нанотрубок. Несмотря на все особые свойства углеродных наноматериалов, одной из проблем при его использовании является его склонность к агрегации и инертность к матрице различных веществ. Для решения данной проблемы была проведена химическая функционализация поверхностного слоя многостенных углеродных нанотрубок. Для введения карбоксильных групп в поверхностный слой углеродных нанотрубок, его поверхность обрабатывали концентрированной смесью кислот H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub>. Установлено, что основной частью функциональных групп в поверхностном слое нанотрубок являются карбоксильные, карбонильные и гидроксильные группы. Углеродные нанотрубки, синтезированные на поверхности гидрофобного песка, были проанализированы следующими методами: сканирующим электронным микроскопом, оптическим микроскопом, элементным анализом, Рамановской спектроскопией и с помощью ИК-спектроскопией.

**Ключевые слова:** синтез; многостенные углеродные нанотрубки; CVD; функционализация; катализатор.

## Production of carbon nanotubes and their functionalization

М. Nazhipkyzy<sup>1,2\*</sup>, N. Kuantai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan



\*E-mail: meruert.nazhipkyzy@kaznu.kz

In this work, the synthesis of carbon nanotubes was carried out on the sand surface with hydrophobic properties by chemical vapor deposition (CVD). The effective temperature for the synthesis of carbon nanotubes is 800 °C. Propane-butane gas mixture was used as a source of gaseous carbon. Argon gas (Ar) was used as an inert carrier gas. Nickel nitrate (Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) was chosen as a catalyst for producing carbon nanotubes. Despite all the special properties of carbon nanomaterials, one of the problems with its use is its tendency to agglomerate and inert to the matrix of various substances. In order to solve this problem, the chemical functionalization of the surface layer of multiwall carbon nanotubes was carried out. To introduce carboxyl groups into the surface layer of carbon nanotubes, its surface was treated with a concentrated mixture of acids H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub>. It has been established that the main part of the functional groups in the surface layer of nanotubes are carboxyl, carbonyl and hydroxyl groups. Carbon nanotubes synthesized on the surface of hydrophobic sand were analyzed by the following research methods: scanning electron microscope, optical microscope, elemental analysis, Raman spectroscopy and a qualitative assessment of functionalized nanotubes using IR spectroscopy.

**Key words:** synthesis; multiwall carbon nanotubes; CVD; functionalization; catalyst.



## Көміртекті нанотүтікшелердің алынуы және олардың функционализациясы

М. Нажипқызы<sup>1,2\*</sup> , Н. Қуантай<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*E-mail: [meruert.nazhipkyzy@kaznu.kz](mailto:meruert.nazhipkyzy@kaznu.kz)

### 1. Кіріспе

Нанотүтікшелердің қасиеттері атомдық орналасуға, түтікшелердің диаметрі мен ұзындығына, морфологиясына немесе наноқұрылымдығына байланысты. Бірқабатты нанотүтікшелердің (БҚНТ) диаметрі 1 нм және ұзындығы сантиметрге дейінгі цилиндр қалыптастыру үшін біркелкі оралған графеннің бір қабатынан тұрады. Көпқабатты нанотүтікшелер (КҚНТ) тығыз түрде құрылған бір-бірінен 0,35 нм-мен бөлінген концентрлі цилиндрлерден тұрады [1,2].

Көміртекті нанотүтікшелерді алудың негізгі әдістерінің бірі – CVD (chemical vapor deposition) әдісі, яғни, каталитикалық бөлшектердің бетінде графитті тозаңдату және газфазалық тасымалдағыштардың ыдырауына негізделген [2,3].

Танымал синтетикалық әдістердің көпшілігінің басты мәселесі - олар әдетте металл және аморфты қоспалармен ластанған, диаметрлері мен хиральдігі әртүрлі нанотүтікшелер қоспаларын беретін үлгілерді өндіреді.

Соңғы жылдардағы зерттеу жұмыстарының негізгі бағыты көміртекті нанотүтікшелердің (КНТ) беткі модификациясының үйлесімділігі мен ерігіштігін арттыру болып табылады. КНТ-дің ковалентті емес немесе ковалентті функционализациялануы олардың үйлесімділігі мен ерігіштігін арттыра алады [4,5]. Көміртекті нанотүтікшелердің коваленттік функционализациясының кемшілігі: модификациядан кейін олардың құрылымы мен бастапқы қасиеттері өзгеріске ұшырайды. Көміртекті нанотүтікшелердің идеалды құрылымы мен ерекше қасиеттерін өте аз ғана өзгерте отырып модификациялау мүмкіндігін анықтау, қазіргі уақытта үлкен міндетке айналып отыр.

Әдетте, көміртекті нанотүтікшелердің беткі модификациясы неғұрлым көп болса, соғұрлым олардың айрықша қасиеттері өзгереді [4,5].

Алайда, әрбір нақты қолданыс үшін, беттік сипаттамалары бар (мәселен, сенсорлы датчиктерде жақсы биоүйлесімді болып келетін немесе нанокомпозиттерде полимерлі матрицалармен оңай біріге алатын) көміртекті нанотүтікшелерді синтездеу айтарлықтай оңай емес. Сондықтан, көміртекті нанотүтікшелердің бүйір және шеткі бөліктерінің модификациясы, жақсартылған беттік және көлемдік қасиеттері бар материалдарды жасау кезіндегі қажетті манипуляция болып табылады. Қажетті қасиеттерді беру үшін, көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатын өзгертудің екі негізгі тәсілі бар. Олар: функционалды топтардың ковалентті байланысы және химиялық қосылыстарды көміртекті нанотүтікшелердің бетінде Ван-дер-Ваальс күші, электростатикалық немесе π-электрондық өзара әрекеттесу есебінен валентті емес ұстап тұру.

Көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатына карбоксильді, гидроксильді және карбонильді топтарды егу нәтижелері [6] жұмыста келтірілген.

Осы жұмысқа ұқсас зерттеу жұмыстарының авторлары [7,8] көміртекті нанотүтікшелерді қышқыл қоспасында өңдеу кезінде синтезден кейінгі көміртекті наноматериалды металл катализатордың бөлшектерінен және аморфты көміртектен тазартуға болатындығын көрсеткен.

[9] жұмыста КНТ-нің N атомдарымен легирлену нәтижелері келтірілген. Азоттың орналасуымен сандық құрамынан тәуелді, көміртекті нанотүтікшелер жартылай өткізгіш те, металдық та қасиеттерге ие бола алатындығы байқалған.

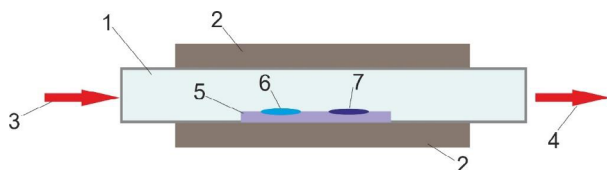
Функционалды топтардың көміртекті наноматериалдарға олардың әртүрлі табиғаттағы

қосылыстармен өзара әрекеттесуі кезінде қосылу мүмкіндігі нанотүтікшелердің жоғары реакциялық қабілеттілігімен байланысты. Көміртекті нанотүтікшелер мен көміртекті наноталшықтар басқа көміртекті материалдар сияқты құрамында оттегі бар қышқылдармен немесе басқа реагенттермен өзара әрекеттескен кезде функционалды топтар беттік қабатқа қосылады.

Бұл жұмыста гидрофобты құмның бетінде CVD әдісімен алынған көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабаты оттегі құрамды топтармен модификацияланды. Модификацияланған көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатына отырғызылған топтар ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттелді.

## 2. Тәжірибелік бөлім

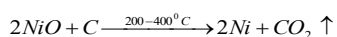
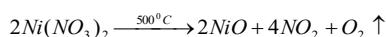
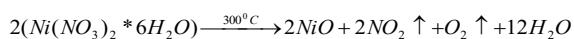
CVD әдісімен көміртекті нанотүтікшелерді алу үшін катализатор тасымалдаушы ретінде гидрофобты құм пайдаланылды. Көміртекті нанотүтікшелердің синтезі үшін қажетті катализатор ретінде никель металының тұзы, ал көміртекті тасушы ретінде пропан-бутан қоспасы пайдаланылды. 1-ші суретте эксперименталды қондырғының сызбанұсқасы келтірілген.



1 – кварц түтікше, 2 – пеш, 3 – газдың енуі, 4 – газдың шығуы, 5 – үлгіге арналған қайық, 6 – КНТ, 7 – катализатор

**1-сурет** – КНТ синтезіне арналған тәжірибиелік қондырғының сызбанұсқасы

Никель нитраты ( $Ni(NO_3)_2$ ) көміртекті нанотүтікшелерді алу үшін катализатор ретінде таңдалды. Пропан-бутанды қоспасы реакторға түскен кезде көміртегі және сутегі атомдарына ыдырайды. Никель оксидінің түзілуі және оның көміртегімен реакциясы төменде келтірілген:



Көпқабатты көміртекті нанотүтікшелердің беткі қабатын химиялық функционализациялау жүргізілді.

Алынған нанотүтікшелердің морфологиясы мен құрамы «Quanta 200i 3D», сканирлеуші электрондық микроскопымен (FEI, АҚШ), «DM 6000M Leica Microsystems» оптикалық микроскопымен (Германия) және элементтік талдау (AMETEC Materials Analysis Division, АҚШ) арқылы және SolverSpectrum құрылғысында комбинациялық шашырау спектроскопиясы (NT-MDT, Ресей) әдісімен зерттелді.

Функционализацияланған нанотүтікше үлгілерінің сапалық бағалауы ИҚ-спектроскопия әдісімен жүргізілді (Spectrum 65, Perkin Elmer). КНТ-мен функционалды топтар арасында байланыс түзілу үшін көпқабатты нанотүтікшенің беткі қабаты  $HNO_3:H_2SO_4$  қышқылдарының 1:1 (2 мл:2 мл) және 1:3 (2 мл:6 мл) қатынастағы концентрлі ерітінділерімен өңделді. Өңдеуді жүзеге асыру үшін 0,05 г мөлшерде көпқабатты көміртекті нанотүтікшеге,  $HNO_3:H_2SO_4$  қышқылдарының 1:1 (2 мл:2 мл) және 1:3 (2 мл:6 мл) қатынастағы концентрлі ерітінділерінің құйылып,  $50^\circ C$ -қа дейін, 20 минут ультрадыбысты моншада қыздырылып, орта бейтарап болғанша дистилденген сүмен шайылды. Ары қарай үлгі сүзіліп, ерітінді кептіргіш шкафта  $90^\circ C$  температурада, 20 мин кептірілді. Функционализациялау нәтижесінде, үлгінің салмағы бастапқы салмағынан 10 есеге артқандығы байқалды.

## 2. Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Гидрофобты құм бетінде синтезделген көміртекті нанотүтікшелердің сканерлеуші электронды және оптикалық микроскоппен, элементтік талдау, комбинациялық шашырау спектроскопия әдісімен алынған нәтижелері 2-ші суретте келтірілген.

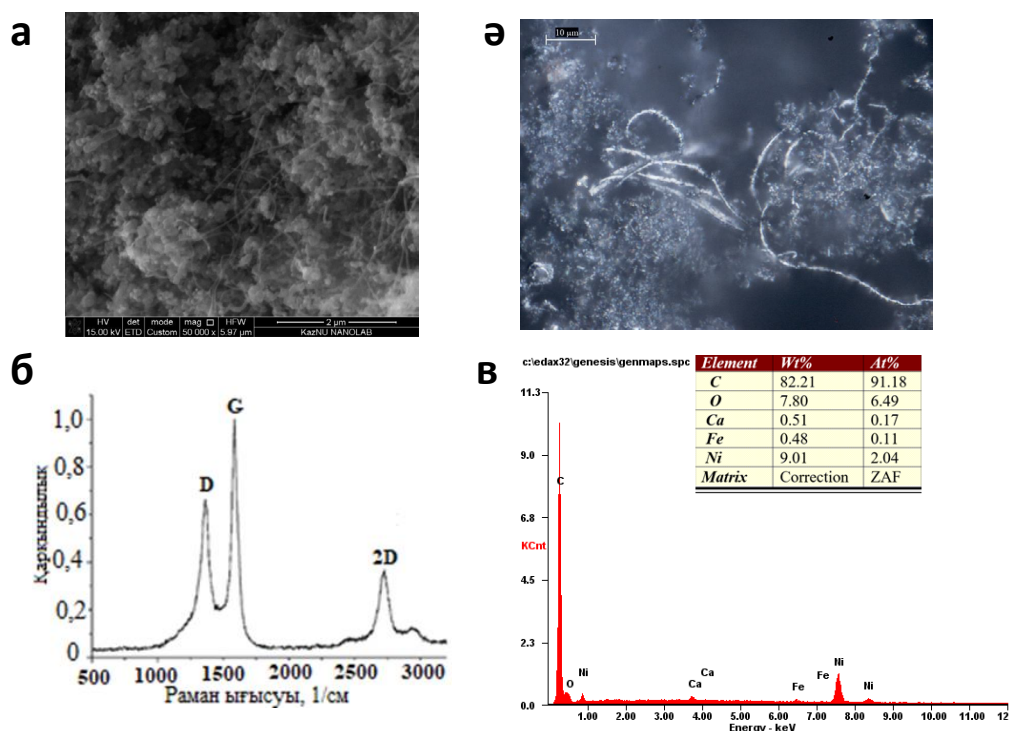
Көміртекті нанотүтікшелердің сканерлеуші электронды микроскоп арқылы алынған көріністерінен үлгінің құрамында көміртекті нанотүтікшелердің бар екендігін анық байқай аламыз (2, а сурет).

Оптикалық микроскоп арқылы алынған үлгі көріністерінен гидрофобты құмның беткі қабатында ақ көміртекті нанотүтікшелердің өскендігін көруге болады (2, ә сурет).

Сонымен қатар, алынған нанотүтікшелердің көпқабатты екендігіне Раман спектрлері дәлел болып отыр. Көміртекті нанотүтікшелердің Раман спектрлерінің сипаттамалары жайлы [10] жұмыста терең қарастырылған. Раман спектрлері ең негізгі G және 2D көміртекті шыңдармен сипатталған. G шыңының  $1577\text{ см}^{-1}$ -ге, ал 2D-ның  $2720\text{ см}^{-1}$ -ге ығысуы аз қабатты графенге, сонымен қатар, нанотүтікшелерге сәйкес келеді (2, б сурет).

EDAX талдауы көміртекті нанотүтікшелердің синтезі үшін катализатор ретінде қолданылған никельдің бар екендігіне көз жеткізе аламыз (2, в сурет).

Сұйық фазалы функционализациялауды қарқындырау үшін әртүрлі физика-химиялық әдістер қолданылады [11]. Оның ішінде азот және күкірт қышқылының қоспасын тиімді пайдалану болып табылады.



а – сканирлеуші электронды микроскоптық көрінісі; ә – оптикалық микроскоптық көрінісі;  
б – Раман спектрлері; в – элементтік талдау (EDAX)

**2-сурет** – Көпқабатты көміртекті нанотүтікше үлгісінің зерттеу нәтижелері

Сол себепті, функционализациялау сызбанұсқасы 3-ші суретте көрсетілгендей етіп, Materials Studio Materials Modeling & Simulation бағдарламасының қосымшасы көмегімен модельденді.

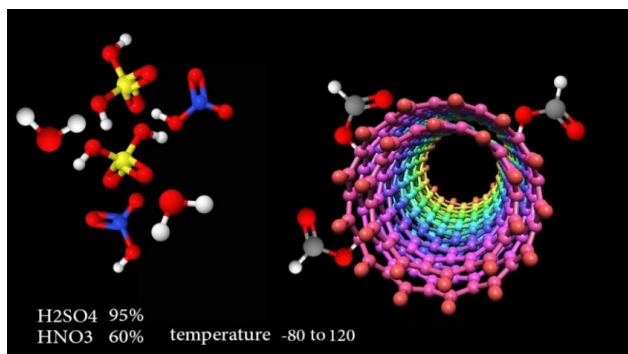
Модельдеу үшін температура, қысым, ерітіндінің концентрациясы қажет болғандықтан, әдебиеттер негізінде КНТ-нің функционализациясына арналған оңтайлы шарттардың бірі  $H_2SO_4$  95%,  $HNO_3$  60% және бөлме

температурасы ( $25^\circ C$ ) қолданылды. Бағдарлама қосымшасы үшін модельдеу кезіндегі температура  $-80^\circ C$ -тан  $120^\circ C$  аралағында жатады (3-сурет).

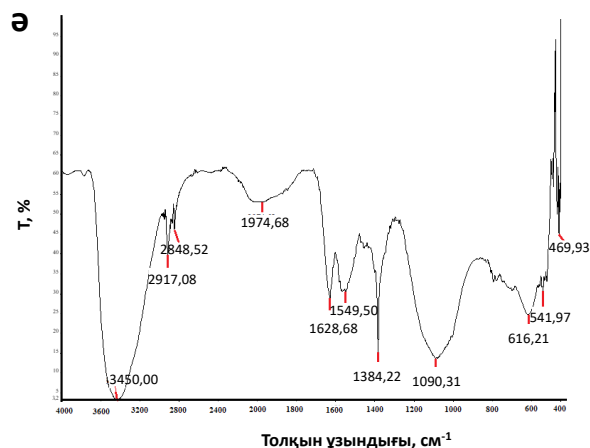
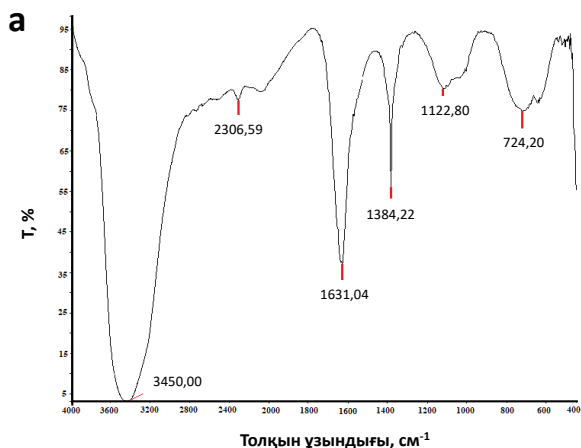
Қалыптасу моделі  $H_2SO_4$  95%,  $HNO_3$  60% және  $25^\circ C$  бөлме температурасы үшін құрылды. Яғни, Materials Studio Materials Modeling & Simulation бағдарламасының қосымшасы осындай қалыптасу модельдерін құруда маңызы өте зор. 3-ші суреттен функционализацияның көпқабатты нанотүтікшелер үшін ең сыртқы қабатта орын алатындығын түсіндіреді.

КНТ функционализациялаудың негізгі 3 түрлі моделі бар, соның ішінде біз ковалентті функционализацияны, оның ішінде тотығу тазарту, яғни КНТ-дің карбоксилденуін пайдаландық [11].

КНТ бетіндегі функционалды топтардың бар екендігі ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттелді. ИҚ-Фурье-спектроскопия әдісі көміртекті наноматериалдардың құрылымын сапалы бағалау әдісі ретінде қолданылады. Бұл үлгілер үшін сапалы ИҚ-спектрлерді алу қиындық туғызады, өйткені олар қара түсті, яғни толқын ұзындығының барлық көрінетін аймағында сәулелерді жұтады. Спектрлерде байқалатын шыңдар, әдетте, функционалды топтардың түрлі типтерінің өзара әрекеттесуімен байланысты болады.



**3-сурет** –  $HNO_3$ - $H_2SO_4$  қоспасымен функционалды топтардың КНТ беткі қабытында қалыптасу моделі



4-сурет –  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$  қатынасында  $50^\circ\text{C}$  температурада өңделген көпқабатты нанотүтікшелердің ИҚ-спектрлері: а – 1:1 қатынасында; ә – 1:3 қатынасында

4-суретте  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$  қоспасымен  $50^\circ\text{C}$  температурада қыздыру арқылы функционализацияланған көпқабатты нанотүтікшелердің ИҚ-спектрлері келтірілген.

4-ші суретте функционалды топтардың түзілгендігін көрсету үшін, бастапқы КҚНТ спектрлері 5-ші суретте келтірілді.

4-ші және 5-ші суреттерді салыстыра отырып, қай аймақта қандай шыңның пайда болғандығын байқай аламыз.

Үлгілердің ИҚ-спектрлерінде жұтылудың сипаттамалық жолақтары байқалады (4-сурет). Алынған спектрлердің ішінен КҚНТ бетінде келесі топтардың

түзілуін көруге болады: О-Н ( $3450\text{ cm}^{-1}$ ),  $>\text{C}=\text{O}$  ( $1631,04\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{COO}^-$  ( $1384,22\text{ cm}^{-1}$ ) (4, а-сурет);  $\text{C-H-CH}_2^-$  ( $2917,08\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{CH}$ - ( $2848,52\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{-C-C-}$  ароматты сақинада ( $1974,68\text{ cm}^{-1}$ ),  $>\text{C}=\text{O}$  ( $1628,68\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{N-C=O}$  ( $1549,50\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{COO}^-$  ( $1384,22\text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{C-O-C}$  ( $1090,31\text{ cm}^{-1}$ ), О-Н ( $3450\text{ cm}^{-1}$ ), ( $616,21$ ;  $541,97$ ;  $469,93\text{ cm}^{-1}$ ), (4, ә-сурет).

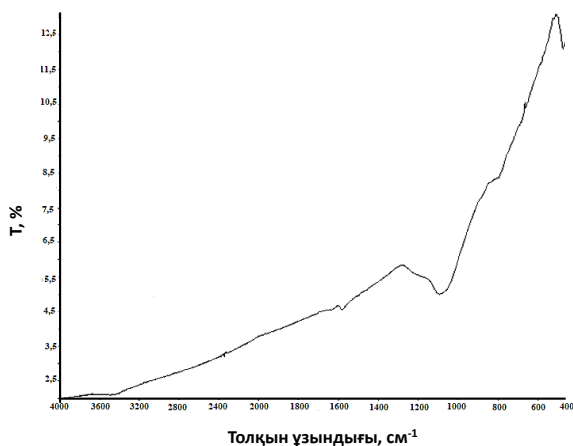
4-ші суреттерден үлгілерді  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$  қышқылдар қоспасымен өңдеген кезде алынған шыңдардың бастапқы үлгіге қарағанда қарқынды екендігі байқалды [12].

#### 4. Қорытынды

Гидрофобты құм бетінде көпқабатты көміртекті нанотүтікшелер CVD әдісімен синтезделінді. Алынған көпқабатты көміртекті нанотүтікшелердің морфологиялық ерекшеліктері мен құрылымы туралы ақпараттарды алу үшін физико-химиялық зерттеу әдістерімен талданды. КҚНТ-дің функционализациясы жүзеге асырылды. Нәтижесінде, күкірт және азот қышқылдарының қоспасымен өңделген нанотүтікшелердің беткі қабатындағы функционалды топтардың негізгі үлесін карбоксильді, карбонильді және гидроксильді топтар құрайтындығы орнықтырылды.

#### Алғыс білдіру

Бұл жұмысты Қазақстан Республикасының Білім және Ғылым министрлігінің АР05133836 «Электроспиннинг әдісімен талшықты композициялық материалдарды алу және олардың негізінде суперконденсаторлар үшін электродтар жасау» гранты қолдағаны үшін алғыс білдіреміз.



5-сурет – Өңделмеген көпқабатты нанотүтікшелердің (бастапқы үлгі) ИҚ-спектрлері

#### Әдебиет

- 1 Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. – 1991. – Vol. 354. – P. 56-58.

- 2 E.N. Ganesh. Single Walled and Multi Walled Carbon Nanotube. Structure, Synthesis and Applications // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2013. – Vol. 2, Is. 4. – P. 311-320.
- 3 Nazhipkyzy M., Lesbayev B.T., Prikhodko N.G., Mansurov Z.A., Nemkaeva R.R. Raman Spectroscopy of Carbon Nanotubes Obtained on the Basis of Oil Sludge and Soot // Universal Journal of Applied Science. – 2015. – Vol. 3. – P. 17-20.
- 4 Musso S. Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites // Composites Science and Technology. – 2009. – Vol.69. – P. 1985-1990.
- 5 Hong C.Y., You Y.Z., Pan C.Y. Surface Modification of Nanotube Fillers. Edited by Vikas Mittal. Polymer Nanotube Nanocomposites Synthesis, Properties, and Applications // Technology & Engineering. – 2011. – P.331.
- 6 Захарычев Е.А., Рябов С.А., Семчиков Ю.Д., Разов Е.Н., Москвичев А.А. Исследование влияния степени функционализации на некоторые свойства многослойных углеродных нанотрубок // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2013. – №1. – С.100-104.
- 7 Van Thu Le, Cao Long Ngo, Quoc Trung Le, Trinh Tung Ngo, Duc Nghia Nguyen, Minh Thanh Vu Surface modification and functionalization of carbon nanotube with some organic compounds // Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology. – 2013. – Vol.4. – ID.035017.
- 8 Lee Y.S. Synthesis and properties of fluorinated carbon materials // Journal of Fluorine Chemistry. – 2007. – Vol.128. – P.392-403.
- 9 Huang Y. Structure and electronic properties of nitrogen-containing carbon nanotubes // Synthetic Metals. – 2000. – Vol.113. P.251-255.
- 10 Jorio A., Pimenta M.A., Souza A.G., Saito R., Dresselhaus G., Dresselhaus M.S. Characterizing carbon nanotube samples with resonance Raman scattering // New Journal Physics. – 2003. – Vol.5. – P.139.1-139.17.
- 11 Hirsch A., Vostrowsky O. Functionalization of carbon nanotubes // Topics in Current Chemistry. – 2005. – Vol.245. – P.193-237.
- 12 Temirgaliyeva T.S., Nazhipkyzy M., Nurgain A., Turganbay A., Dinistanova B., Mansurov Z.A. Synthesis of Multiwall Carbon Nanotubes by the CVD Method and their Functionalization. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Vol.93, Is.1. – P.91-94.

#### References

- 1 Iijima S (1991) Nature 354:56-58. <http://doi.org/10.1038/354056a0>
- 2 Ganesh EN (2013) International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering 2:311-320.
- 3 Nazhipkyzy M, Lesbayev BT, Prikhodko NG, Mansurov ZA, Nemkaeva RR (2015) Universal Journal of Applied Science 3:17-20. <https://doi.10.13189/ujas.2015.030202>
- 4 Musso S (2009) Compos Sci Technol 69:1985-1990. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.05.002>
- 5 Hong CY, You YZ, Pan CY (2011) Technology & Engineering 331.
- 6 Zakharychev EA, Ryabov SA, Semchikov YuD, Razov EN, Moskvichev AA (2013) Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky [Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N. I. Lobachevskogo] 1:100-104. (In Russian)
- 7 Van Thu Le, Cao Long Ngo, Quoc Trung Le, Trinh Tung Ngo, Duc Nghia Nguyen, Minh Thanh Vu (2013) Adv Nat Sci: Nanosci Nanotechnol 4:035017. <https://doi:10.1088/2043-6262/4/3/035017>
- 8 Lee YS (2007) J Fluorine Chem 128:392-403. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2006.11.014>
- 9 Huang Y (2000) Synthetic Met 113:251-255. [https://doi:10.1016/s0379-6779\(00\)00212-5](https://doi:10.1016/s0379-6779(00)00212-5)
- 10 Jorio A, Pimenta MA, Souza AG, Saito R, Dresselhaus G, Dresselhaus MS (2003) New J Phys 5:139.1-139.17. <https://doi:10.1088/1367-2630/5/1/139>
- 11 Hirsch A, Vostrowsky O (2005) Top Curr Chem 245:193-237. <https://doi.org/10.1007/b98169>
- 12 Temirgaliyeva TS, Nazhipkyzy M, Nurgain A, Turganbay A, Dinistanova B, Mansurov ZA (2020) J Eng Phys Thermophy 93:91-94. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02094-8>