ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

ХАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

NEWS

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА СЕРИЯСЫ

◆ СЕРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

•

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

3 (301)

МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж. МАЙ – ИЮНЬ 2015 г. МАҮ – JUNE 2015

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

> ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

> > АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА АЛМАТЫ, НАН РК ALMATY, NAS RK

Бас редактор

ҚР ҰҒА академигі, Мұтанов Г. М.

Редакция алқасы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Әшімов А.А.; техн. ғ.докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Байғұнчеков Ж.Ж.; физ.-мат. ғ.докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Жұмаділдаев А.С.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Қалменов Т.Ш.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Мұқашев Б.Н.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Тәкібаев Н.Ж.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Харин С.Н.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Харин С.Н.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Тәкібаев Н.Ж.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Харин С.Н.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Әбішев М.Е.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Жантаев Ж.Ш.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Косов В.Н.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Юйнаров Р.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Ойнаров Р.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Темірбеков Н.М.;

Редакция кеңесі:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК А.А. Ашимов; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК Ж.Ж. Байгунчеков; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК А.С. Джумадильдаев; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК Т.Ш. Кальменов; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК Б.Н. Мукашев; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК М.О. Отелбаев; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК Н.Ж. Такибаев; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК С.Н. Харин; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК К.Ш. Жантаев; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Ж.Ш. Жантаев; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК М.Н. Калимолдаев; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Р. Ойнаров; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Р. Ойнаров; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК К.С. Рамазанов (заместитель главного редактора): доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК К.И. Темирбеков; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК У.У. Умирбаев

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы) Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год. Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, www:nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

_____ 3 _____

Editor in chief

G. M. Mutanov, academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; Zh.Zh. Baigunchekov, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; A.S. Dzhumadildayev, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK;
T.S. Kalmenov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; B.N. Mukhashev, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; M.O. Otelbayev, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK;
N.Zh. Takibayev, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; S.N. Kharin, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; M.Ye. Abishev, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK;
Zh.Sh. Zhantayev, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; M.N. Kalimoldayev, dr. physmath. sc., prof., corr. member. of NAS RK; V.N. Kosov, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK;
T.A. Mussabayev, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; R. Oinarov, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; T.S. Ramazanov, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK;
U.U. Umirbayev, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK;

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series. ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty) The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18, www:nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

_____ 4 _____

N E W S OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 66 – 72

SYNTHESIS OF MULTI-WALLED AND SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBES BY CVD METHOD

D. G. Batryshev, Kh. A. Abdullin, T. S. Ramazanov, M. T. Gabdullin, D. V. Ismailov, E. V. Chihray

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan. E-mail: batryshev@physics.kz

Keywords: nanotube, CVD, synthesis, Raman spectra.

Abstract. In proposed work a method of pyrolytic vapor deposition of carbon nanotubes is considered. The synthesis process was carried out in a vertical reactor with nebulized aerosols of ferrocene and ethanol. The vertical arrangement of the reactor allows the synthesis of single-walled and multi-walled carbon nanotubes with their simultaneous separation. Such separation technique during the synthesis process essentially facilitates the further process of separation of carbon nanotubes, which requires additional special equipment, and most importantly the time and energy. The products of chemical processes (pyrolysis and chemical vapor deposition) were deposited on the inner wall of the reactor and on the paper filter at the reactor outlet. Obtained samples were studied by a Quanta 3D 200i scanning electron and Ntegra Spectra probe microscopies. Synthesized samples on the inner wall of the reactor were identified as multi-walled carbon nanotubes have been estimated from radial breathing mode band frequencies. The technological conditions of synthesis process were also investigated for increasing the quality of deposited carbon nanotubes.

УДК 539.23; 539.216.1

СИНТЕЗ ОДНОСТЕННЫХ И МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Д. Г. Батрышев, Х. А. Абдуллин, Т. С. Рамазанов, М. Т. Габдуллин, Д. В. Исмаилов, Е. В. Чихрай

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: нанотрубка, CVD, синтез, Раман спектр.

Аннотация. В работе рассматривается метод пиролитического осаждения из газовой фазы углеродных нанотрубок. Синтез углеродных нанотрубок проводился на установке с вертикальным реактором. Такое расположение реактора позволяет синтезировать одностенные и многостенные углеродные нанотрубки с одновременной их сепарацией. Такой метод сепараций во время процесса синтеза существенно облегчает дальнейший процесс разделения углеродных нанотрубок, который требует дополнительного специального оборудования и растрат времени и электроэнергий. В ходе эксперимента были получены продукты пиролиза и газофазного осаждения на катализаторах железа на внутренней стенке реактора и на бумажном фильтре, расположенном на выходе реактора. Данные образцы были исследованы на Quanta 3D 200i сканирующем электронном и Ntegra Spectra зондовом микроскопах. Образцы, синтезированные на внутренней стенке реактора, были идентифицированы как одностенные углеродные нанотрубки с высоким кристаллическим совершенством. Диаметры одностенных углеродных нанотрубок были определены из частот радиальных дыхательных колебательных мод. Также в работе были исследованы технологические условия синтеза углеродных нанотрубок для повышения их качества осаждения.

Введение. Углеродная нанотрубка (УНТ) – это цилиндрическая структура, представляющая собой свернутую одну или несколько графеновых плоскостей (именуемые как одностенные ОУНТ и многостенные МУНТ углеродные нанотрубки) с открытыми или закрытыми концами [1-5]. Диаметр ОУНТ и МУНТ лежит в диапазоне от 0,8 до 2 нм и от 5 до 20 нм соответственно. Идеальная УНТ имеет все углеродные связи во всех гексагональных ячейках, кроме тех, которые находятся у края трубки, где могут образоваться пентагоны и гептагоны. Такие же дефекты могут образоваться и в самой структуре УНТ. Дефекты могут значительно ухудшать их свойства. УНТ имеют значительную механическую прочность, значение модуля упругости приблизительно равно 1 ТПа, а предел прочности на разрыв 100 ГПа для отдельных УНТ [6, 7].





 1 – ультразвуковой распылитель, 2 – раствор этанола с ферроценом, 3 – первый вход для транспортного газа, 4 – второй вход транспортного газа, 5 – вход транспортного газа, 6 – цилиндрическая кварцевая трубка, 7 – цилиндрическая печка, 8 – водяная ловушка, 9 – герметичная камера с фильтром для ОУНТ, 10 – медная трубка с охлаждением Такая прочность в 10 раз выше прочности любых видов выпускаемых волокон. ОУНТ делятся на структуры с металлической или полупроводниковой проводимостью, что определяется их хиральностью, т.е. ориентацией графеновой решетки относительно оси трубки. ОУНТ могут иметь теплопроводность порядка 3500 Вт/(м·К) при комнатной температуре [8-11], это значение превышает теплопроводность алмаза. В настоящее время проводятся различные экспериментальные работы по синтезу ОУНТ с металлической [12-15] и полупроводниковой [13, 16] проводимостью. Данные работы очень актуальны, так как получение определенного типа ОУНТ (хиральность, диаметр, длина, чистота) сильно зависит от условий синтеза и композиции катализаторов. Синтез УНТ с требуемыми характеристиками затруднено сильной зависимостью морфологии от условий синтеза, вследствие чего синтезированные УНТ имеют значительный разброс электрических и структурных свойств. Данная работа посвящена разработке метода синтеза ОУНТ и МУНТ. В работе приводятся результаты исследований свойств полученных образцов и условия для синтеза высококачественных УНТ.

Эксперимент

Метод синтеза УНТ, примененный в настоящей работе, основан на газофазном осаждении углерода на наночастицах катализаторах железа в процессе пиролиза. Рост УНТ на катализаторах осуществлялся по хорошо известному механизму: перенасыщение наночастиц катализатора по углероду с последующим выделением углерода в виде второй фазы в форме УНТ.

Синтез УНТ проводился на экспериментальной установке (рисунок 1) при температурах 850-900°С в атмосфере водорода. Источником углерода и катализатора был аэрозоль из этанола и ферроцена (1, 2 на рисунке 1). Раствор этанола с ферроценом был подготовлен растворением 0.25 г ферроцена $C_{10}H_{10}Fe$ в 100 мл C_2H_5OH с перемешиванием на магнитной мешалке. Аэрозоль образовывался путем ультразвукового распыления.

На начальном этапе во время повышения температуры реактора продувка системы транспортным газом водород/азот осуществлялась по каналу 5-4 (рисунок 1). При достижении температуры синтеза транспортный газ направлялся через ультразвуковой распылитель (по каналу 5-3) и аэрозоль поступал из области с комнатной температурой в область с максимальной температурой, минуя более холодные области благодаря охлаждаемой медной трубки у входа реактора (10). Данный этап позволяет значительно снизить образование аморфного углерода и повысить производительность по ОУНТ. Время синтеза УНТ составляло 3 часа до образования густого слоя сажевого продукта на бумажном фильтре на выходе из реактора, затем реактор охлаждался при продувке водородом.

В процессе синтеза УНТ, часть сажевого продукта осаждалась на внутренней стенке кварцевой трубки (6), другая часть уносился из реактора и осаждался на фильтре (9). Полученные образцы на стенках реактора и на фильтре исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) на микроскопе SEM 3D 200i (FEI, USA) и методом комбинационного рассеяния на спектрометре Ntegra Spectra (NT-MDT).

Результаты

Фотографии полученных продуктов синтеза методом пиролитического газофазного осаждения представлены на рисунке 2. Анализ данных продуктов методом электронной микроскопии представлен на рисунке 3. Как видно из SEM снимков, синтезированные образцы содержат структуры подобным углеродным нанотрубкам. На данных рисунках можно оценить диаметры УНТ, которые составляют от десятков нм до единиц нм.

Рентгенофлуорисцентный анализ образцов также представлен на рисунке 3. Видно, что синтезированные наноматериалы содержат только химические элементы углерода и катализатора (железо). Данный показатель говорит о чистоте процесса синтеза и о низком уровне посторонних примесей в синтезированных наноструктурах.

Таким образом, метод сканирующей электронной микроскопии демонстрирует, что морфология синтезированных образцов соответствует углеродным нанотрубкам. Для получения дополнительной информации по структуре УНТ был использован дополнительный метод исследования: метод колебательной спектроскопии (комбинационного рассеяния).

— 68 —

ISSN 1991-346X



Рисунок 2 – Образцы осажденных продуктов синтеза а) на внутренней стенке реактора и б) на бумажном фильтре



Рисунок 3 – СЭМ снимки и химический состав продуктов синтеза, осажденных на бумажном фильтре (а) и на внутренней стенке реактора (б)

_____ 69 _____

Известия Национальной академии наук Республики Казахстан



Рисунок 4 – Рамановский спектр (слева) и соответствующая ему морфология на SEM снимке (справа) образцов, собранных на фильтре на выходе из реактора



Рисунок 5 – Рамановский спектр УНТ, осажденных на стенках реактора в средней части (1) и в верхней части (2) трубки реактора

Измеренный спектр комбинационного рассеяния образцов УНТ, собранных на фильтре на выходе из реактора, представлен на рисунке 4, на рисунке 5 показаны рамановские спектры образцов, осажденных на стенке реактора. Спектры были получены возбуждением образцов оптическим излучением с длиной волны 473 нм (синий лазер).

Рамановский спектр, соответствует одностенным УНТ, поскольку в нем присутствуют низкочастотный дыхательные моды, что является характерной особенностью ОУНТ [17]. Основными полосами в спектре ОУНТ являются: RBM-полоса, D-полоса, G-полоса и 2D-полоса.

RBM (radial breathing mode) – полоса радиальных дыхательных мод, соответствует колебаниям атомов углерода в графитовой плоскости УНТ в радиальном направлений. Область RBM полос Рамановского сдвига низкочастотная и величина частоты обратно пропорциональна диаметру нанотрубки [18]:

$$\omega_{RBM} = \frac{A}{d} + B ,$$

где $A = 234 \text{ см}^{-1}$, $B = 10 \text{ см}^{-1}$, из данного соотношения легко можно найти диаметр синтезированных одностенных УНТ d~1.1-1.4 нм.

G-полоса соответствует тангенциальным колебаниям двух смежных атомов углерода в решетке УНТ. У одностенных УНТ G-полоса расщепляется на G⁺ и G⁻ – полосы в результате влияния хиральности на тангенциальное колебание. Так как хиральность определяет проводимость

УНТ, то по расположению G^+ и G^- – полос и их форме можно оценить содержание в полученных образцах металлических и полупроводниковых нанотрубок. В нашем случае в образце несколько больший вклад составляют нанотрубки с полупроводниковой проводимостью.

В общем случае хиральность у МУНТ тоже влияет на тангенциальное колебание атомов, но из-за большого числа графеновых слоев в нем присутствует большое количество близко расположенных тангенциальных колебании атомов каждого слоя. Поэтому G-полоса у МУНТ одна, как у графита, но имеет большую ширину, что позволяет отличить МУНТ от дефектной структуры графита.

У многостенных УНТ отсутствуют полосы радиальных колебании атомов углерода – дыхательные моды. Присутствие достаточно интенсивной D-полосы позволяет говорить о наличии в структуре дефектов, нарушение симметрии с sp² гибридизацией или о наличии примесей в узлах. Отношение интенсивностей D и G полосы дает характеристику о количестве материала с

дефектной структурой в образце [19]. Для МУНТ данное соотношение составляет $R = \frac{I_D}{I_C} = 0.86$.

Также на основе отношения интенсивностей пиков D и G можно оценить размер области гомоген-

ного рассеяние в графеновой плоскости [20,21] из следующего соотношения $L = 4.4 \cdot \frac{l_G}{l_D} = 5.06$ нм.

Отношение интенсивности D и G полос у ОУНТ составляет ~ 10, что свидетельствует о высоком совершенстве структуры. Пики 2D и D+G являют обертонами, т.е. составными частями колебаний дефектной моды D и суммы частот максимума D и G полосы.

Заключение. Таким образом, в настоящей работе представлены результаты по методу пиролитического синтеза углеродных нанотрубок из газовой фазы и исследования их свойств методами сканирующей электронной и зондовой микроскопии. Синтез углеродных нанотрубок проводился в установке с вертикальным реактором. В работе исследованы технологические условия для повышения качества осаждаемых углеродных нанотрубок. Образцы, синтезированные на внутренней стенке реактора, были идентифицированы как многостенные углеродные нанотрубки. Образцы, осажденные на бумажном фильтре, расположенном на выходе реактора, были идентифицированы как многостенные углеродные нанотрубки. Образцы, осажденные углеродные нанотрубки с высоким кристаллическим совершенством. Диаметры одностенных углеродных нанотрубок были определены из частот радиальных дыхательных колебательных мод.

Работа была выполнена при финансовой поддержке МОН РК, гранты 3109/ГФ4, 2501/ГФ3.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. - 1991. - Vol. 354. - P. 56-58 (in Eng.).

[2] Harris P.J.F. Carbon Nanotube Science - Synthesis, Properties, and Applications // Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2009.

- [3] Thomsen Ch., Kataura H. // New J. Phys. 2003. Vol. 5. doi:10.1088/1367-2630/5/1/E04.
- [4] Yamaguchi T., Bandow S., Iijima S. // Chemical physics letters. 2004. Vol. 389. P. 181-185.
- [5] Abrahamson J., Wiles P.G., Rhodes B. Carbon. 1999. Vol. 37. P. 1873-1875.
- [6] Peng B. et al. Nat. Nanotechnol. 2008. Vol. 3. P. 626.
- [7] Spitalsky Z., Tasis D., Papagelis K., Galiotis C. Progress in Polymer Science. 2010. Vol. 35, No. 3. P. 357–401.
- [8] Pop E., Mann D., Wang Q., Goodson K., Dai H.J. // Nano Lett. 2006. Vol. 6. P. 96.

[9] Che J., Çagin T., Goddard W.A. III. Thermal conductivity of carbon nanotubes. - 2000. - Vol. 11, №. 2. doi:10.1088/0957-4484/11/2/305.

[10] Yang D.J., Zhang Q., Chen G., et al. // Physical Review B. - 2002. - Vol. 66. - P. 165440.

- [11] Han Zh., Fina A. // Progress in Polymer Science. 2011. Vol. 36, №. 7. P. 914–944.
- [12] Harutyunyan A.R., et al. // Science. 2009. Vol. 326. P. 116.
- [13] Wu B., Geng D., Liu Y. // Nanoscale. 2011. Vol. 3. P. 2074-2085.
- [14] Hou P.X., Li W.Sh., et al. ACS Nano. 2014. Vol. 8, №. 7. P. 7156–7162.
- [15] Park J.Y., Rosenblatt S., Yaish Yu., et al. // Nano Letters. 2004. Vol. 4, №. 3. P. 517-520.
- [16] Ding L., et al. // Nano Lett. 2009. Vol. 9. P. 800.
- [17] Удовицкий В.Г. // ФИП. 2009. Т. 7, № 4.– С. 351.
- [18] Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Saito R., Jorio A. // Phys. Rep. 2005. Vol. 409. P. 47.
- [19] Delhaes P., Couzi M., Trinquecoste M., Dentzer J., Hamidou H., Vix-Guterl C. // Carbon. 2006. Vol. 44. P. 3005.
- [20] Tuinstra F., Koening J.L. // J. Chem. Phys. 1970. Vol. 53. P. 1126.
- [21] Байтингер Е.М., Векессер Н.А., Ковалев И.Н., Бехтерев А.Н., Викторов В.В. // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 11.

– C. 56.

= 71 ====

REFERENCES

- [1] Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon, Nature. 1991. V. 354. P. 56–58 (in Eng.).
- [2] Harris P.J.F. Carbon Nanotube Science Synthesis, Properties, and Applications // Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2009
- 2009.
 - [3] Thomsen Ch., Kataura H. New J. Phys. 2003. V. 5. doi:10.1088/1367-2630/5/1/E04.
 - [4] Yamaguchi T., Bandow S., Iijima S. Chemical physics letters. 2004. V. 389. P. 181-185.
 - [5] Abrahamson J., Wiles P.G., Rhodes B. Carbon. 1999. V. 37. P. 1873-1875.
 - [6] Peng B. et al. Nat. Nanotechnol. 2008. V. 3. P. 626.
 - [7] Spitalsky Z., Tasis D., Papagelis K., Galiotis C. Progress in Polymer Science. 2010. V. 35, № 3. P. 357-401.
 - [8] Pop E., Mann D., Wang Q., Goodson K., Dai H.J. Nano Lett. 2006. V. 6. P. 96.
 - [9] Che J., Çagin T., Goddard W.A. III. Thermal conductivity of carbon nanotubes. 2000. V. 11, №. 2. doi:10.1088/0957-

4484/11/2/305.

- [10] Yang D.J., Zhang Q., Chen G., et al. Physical Review B. 2002. V. 66. P. 165440.
- [11] Han Zh., Fina A. Progress in Polymer Science. 2011. V. 36, №. 7. P. 914–944.
- [12] Harutyunyan A.R., et al. Science. 2009. V. 326. P. 116.
- [13] Wu B., Geng D., Liu Y. Nanoscale. 2011. V. 3. P. 2074-2085.
- [14] Hou P.X., Li W.Sh., et al. ACS Nano. 2014. V. 8, №. 7. P. 7156–7162.
- [15] Park J.Y., Rosenblatt S., Yaish Yu., et al. Nano Letters. 2004. V. 4, №. 3. P. 517–520.
- [16] Ding L., et al. Nano Lett. 2009. V. 9. P. 800.
- [17] Udovichky V.G. FIP. 2009. V. 7, № 4. P. 351. (in Russ.).
- [18] Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Saito R., Jorio A. Phys. Rep. 2005. V. 409. P. 47.
- [19] Delhaes P., Couzi M., Trinquecoste M., Dentzer J., Hamidou H., Vix-Guterl C. Carbon. 2006. V. 44. P. 3005.
- [20] Tuinstra F., Koening J.L. J. Chem. Phys. 1970. V. 53. P. 1126.

[21] Baytinger E.M., Vekesser N.A., Kovalev I.N., Bekhterev A.N., Viktorov V.V. Vestnik of SUSU. 2012. №11. P. 56. (in Russ.).

БІРҚАБАТТЫ ЖӘНЕ КӨПҚАБАТТЫ КӨМІРТЕГІ НАНОТҮТІКШЕЛЕРІН ГАЗДЫҚ ФАЗАДАН ПИРОЛИТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРУ ӘДІСІМЕН СИНТЕЗДЕУ

Д.Г. Батрышев, Х.А. Абдуллин, Т.С. Рамазанов, М.Т. Габдуллин, Д.В. Исмаилов, Е.В. Чихрай

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: нанотүтікше, CVD, синтез, Раман спектр.

Аннотация. Жұмыста көміртегі нанотүтікшелерін газдық фазадан пиролитикалық кондыру және оларды сканерлеуші электрондық (Quanta 3D 200i) және зондтық (Ntegra Spectra) микроскопия әдістерімен талдау қарастырылған. Көміртегі нанотүтікшелерді синтездеу тігінен орнатылған реакторлық қондырғыда жасалынған. Реактордың осылай орналасуы бірқабатты және көпқабатты көміртегі нанотүтікшелерді синтездеу процессі үстінде оларды өз ара бөліп алуына мүмкүндік береді. Аталған жұмыста бірқабатты көміртегі нанотүтікшелерінің қондыру сапасын жақсартудың техналогиялық шартары зертелген. Реактордың ішкі қабырғасында синтезделген үлгілер көпқабатты көміртегі нанотүтікшелері екені анықталды. Ал, реактордың шығысындағы қағаз фильтрде қонған үлгілер жоғарғы кристалдық симметриялы бірқабатты көміртегі нанотүтікшелері екені анықталды. Бірқабатты көміртегі нанотүтікшелердің диаметрлері радиалдық тербеліс модтарының жиіліктері арқылы анықталды.

Поступила 25.02.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www:nauka-nanrk.kz

physics-mathematics.kz

Редактор М. С. Ахметова Верстка на компьютере Д. Н. Калкабековой

Подписано в печать 9.06.2015. Формат 60х881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф. 15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

Национальная академия наук РК 050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19