

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

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.
MAY – 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

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,
Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков 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 **Өтелбаев М.О.**; 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 **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

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. Байгунчечков**; 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 **М.Е. Абишев**; 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 **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. 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.

E d i t o r i n c h i e f

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

E d i t o r i a l b o a r d:

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. phys-math. 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 (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

E d i t o r i a l s t a f f:

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 55 – 61

**SYNTHESIS OF MULTIWALLED CARBON NANOTUBES
AND ITS COMPOSITE BY CVD METHOD****D. G. Batryshev, Kh. A. Abdullin, T. S. Ramazanov, M. T. Gabdullin,
D. V. Ismailov, A. K. Togambaeva, E. V. Chihray**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: batryshev@physics.kz

Key words: carbon, nanotube, CVD method, scanning, electron, probe, microscopies.

Abstract. In this work the method of chemical vapor deposition of carbon nanotubes and its composites is considered. The synthesis of carbon nanotubes was carried out in fixed and fluidized bed reactors. The silicon substrate, titanium dioxide powder and fiberglass were used as catalyst carriers. Catalytic thin nanolayers (Ni) were deposited on the surface of Si substrate by electron-beam sputtering method. Metal nanoparticles (Fe, Ni, Co) were deposited on the surface of powder and fiberglass by wet impregnation method into catalyst solution and its following drying. The obtained samples were examined by scanning electron microscopy (SEM) and Raman spectroscopy. The electrical properties of obtained composites were measured at direct current. The degree of defect-free zone of carbon nanotubes deposited on a silicon substrate and titanium oxide powder is quite high. The obtained composite material of fiberglass with carbon nanotubes has high electrical conductivity. The electrical resistivity of composite material is very sensitive for external pressure. On increasing of external pressure (from ~0.03 to ~0.15 MPa) and at constant voltage (5 Volts) the electrical resistivity of samples decreases and wherein the pressure sensitivity is different for samples with different electrical resistance.

УДК 539.23; 539.216.1

**СИНТЕЗ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК
И ИХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ CVD****Д. Г. Батрышев, Х. А. Абдуллин, Т. С. Рамазанов, М. Т. Габдуллин,
Д. В. Исмаилов, А. К. Тогамбаева, Е. В. Чихрай**

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

Ключевые слова: углеродная нанотрубка, метод CVD, сканирующая электронная и зондовая микроскопия.

Аннотация. В настоящей работе рассматривается метод химического осаждения из газовой фазы углеродных нанотрубок и их композитов. Синтез углеродных нанотрубок проводился в реакторах с подвижным и неподвижным слоем. В качестве носителей катализатора использовались подложки кремния, порошок оксида титана и стекловолокно. На пластины Si тонкие слои катализатора (Ni) наносились методом электронно-лучевого распыления. Наночастицы металлов (Fe, Ni, Co) наносились на поверхность порошков и стекловолокна методом пропитки в химических растворах солей металлов с последующим отжигом. Полученные образцы исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) и спектроскопией комбинационного рассеяния. Электрические характеристики полученных композитов измерены на постоянном токе. Установлено, что степень бездефектности углеродных нанотрубок на кремниевых подложках и на порошке оксида титана довольно высокая. Полученный композитный материал из стекловолокна, покрытого углеродными нанотрубками, имеет высокую электрическую проводимость, которая весьма чувствительна к внешнему давлению. При увеличении внешнего давления (от ~0.03 до ~0.15 МПа) и при фиксированном напряжении (5 В) электрическое сопротивление образцов резко уменьшается в 4-5 раз, при этом чувствительность к давлению может регулироваться условиями приготовления композитов.

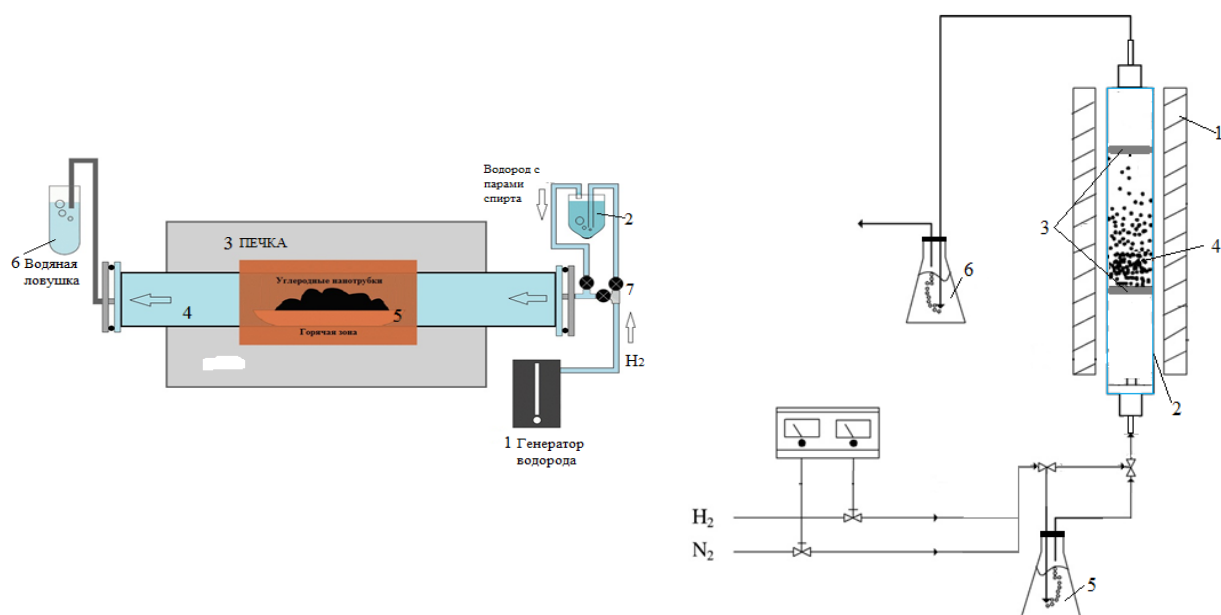
Введение. Углеродные нанотрубки (УНТ) были впервые обнаружены в 1991 г. Иидзимой [1] в ходе исследования на просвечивающем электронном микроскопе продуктов плазмохимической реакции в дуговом разряде. На микроскопе были обнаружены необычные полые трубчатые структуры с диаметром в несколько нанометров, которые впоследствии получили название углеродных нанотрубок. Различают одностенные и многостенные УНТ. Одностенная углеродная нанотрубка (ОУНТ) образуется в результате сворачивания одной графеновой плоскости в цилиндр, а многостенная углеродная нанотрубка (МУНТ) состоит из большого количества свернутых графеновых плоскостей. Оба вида УНТ имеют превосходную механическую прочность с замечательными тепловыми и электрическими свойствами. ОУНТ и МУНТ находят многочисленные применения в качестве химических сенсоров, нанобиоматериалов, проводящих прозрачных электродов, проводящих чернил, капсул для хранения водорода, в композитных материалах, наноустройствах и дисплеях [2-8].

На сегодняшний день существуют три наиболее распространенных методов получения УНТ – метод электродугового синтеза [9-11], плазмохимическое осаждение паров из газовой фазы [12-15] и лазерная абляция [16, 17]. Существуют и другие методы, но из-за трудности контроля роста УНТ, дороговизны каталитических реагентов и аппаратуры они не получили широкого применения. В настоящее время для масштабного производства УНТ применяют метод дугового распыления и метод плазмохимического осаждения из газовой фазы, так как они наиболее максимально отвечают требованиям производства высококачественных УНТ. Недостатки данных методов – токсичность реагентов, высокая температура, высокие энергетические затраты, загрязнение примесями продуктов синтеза. Поэтому для улучшения производительности методов синтеза УНТ проводятся многочисленные исследования. В настоящей работе рассматривается метод синтеза УНТ на основе химического осаждения паров углерода из газовой фазы (CVD) с неподвижным и подвижным слоями. Неподвижный слой – это катализатор, нанесенный на неподвижную инертную подложку, расположенную в реакторе синтеза УНТ, подвижный слой – это катализатор, нанесенный на порошкообразный носитель, который находится в динамическом равновесии внутри реактора.

Эксперимент

Синтез УНТ проводился на двух установках. Для синтеза УНТ на неподвижном слое (подложке) была использована установка, схема которой представлена на рисунке 1 (слева). Установка состоит из горизонтальной реакционной камеры в виде трубчатой печи. Внутри печи вдоль ее оси расположена герметичная кварцевая трубка. На вход трубки подают транспортный газ водород вместе с парами спирта, а выход соединяют с водяной ловушкой для растворения токсичных продуктов плазмохимической реакции. Синтез УНТ осуществлялся при температурах 600-900°C в атмосфере водорода. Источником углерода были пары этанола. В качестве подложки использовалась кремниевая пластина с термически выращенным оксидным слоем SiO_2 . На подложку методом электронно-лучевого распыления наносилась тонкая пленка никеля, играющая роль катализатора для роста УНТ. Подготовленная подложка загружалась в кварцевую трубку в область изотермической зоны. Все фланцы установки герметизировались, и установка продувалась водородом в течение часа, после чего включался нагрев реактора. Вследствие малой инерционности печи и реактора температура в интервале 600-900°C достигалась за 15-20 минут. При достижении необходимой температуры синтеза включалась продувка газа через второй канал – барботер, находящийся при комнатной температуре и заполненный этанолом. На рисунке 1 стрелками обозначены направления потока реакционного газа.

В качестве неподвижного слоя также было использовано стекловолокно на основе SiO_2 , на которое наносился катализатор путем обработки в водном растворе 0.1 М нитратов кобальта и никеля с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой на воздухе. Волокна загружались в среднюю часть реактора, заполняя весь диаметр трубки. Нитраты кобальта и никеля восстанавливались в водородной атмосфере до металлов на этапе нагрева и выхода на рабочую температуру синтеза.



1 – генератор водорода, 2 – барботер с этанолом, 3 – печь,
4 – кварцевая трубка, 5 – подложка/стекловолокон,
6 – водяная ловушка, 7 – переключатель каналов
для подачи чистого водорода и водорода с парами спирта

1 – печь, 2 – кварцевая трубка,
3 – керамические фильтры,
4 – микрочастицы оксида титана, 5 – барботер
с этиловым спиртом, 6 – водяная ловушка

Рисунок 1 – Структура установок с неподвижным (слева) и подвижным (справа) слоями носителя катализатора

В методе с подвижным слоем был использован порошок TiO_2 с размером частиц порядка 0.2 мкм в качестве носителя железного катализатора. Катализатор наносился путем обработки порошка TiO_2 в водном растворе хлорида железа в течении 12 ч, с последующей сушкой при 105°C и восстановлением в водороде при $\sim 500^\circ\text{C}$ в течение 30-60 минут непосредственно перед синтезом в вертикальном реакторе. Установка с подвижным слоем порошков TiO_2 представлена на рисунке 1 (справа). Динамическое равновесие порошков обеспечивалось керамическими фильтрами с размерами пор меньше, чем диаметр частиц порошка. Синтез УНТ проводился при температурах 700°C в атмосфере водорода и азота с парами этанола.

Результаты

Свойства полученных УНТ исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) и спектроскопии комбинационного рассеяния.

Определены условия для синтеза слоев углеродных нанотрубок на подложках из кремния с нанесенными слоями никеля. На рисунке 2а показана морфология полученных многостенных нанотрубок с диаметром 25-70 нм, длиной более 30 мкм. На рисунке 3 приведены спектры рамановского рассеяния полученных образцов УНТ. Известно [18], что для оценки размеров области гомогенного рассеяния L_a в углеродных структурах можно использовать данные из спектров комбинационного рассеяния и формулу $L_a = 4.4 \cdot I(G)/I(D)$ нм. По рамановским спектрам и по изменению отношения интенсивностей I_G/I_D полос D и G при варьировании технологических параметров синтеза проведены оценки изменения степени бездефектности полученного графитового материала. Размер L_a , оцененный по рамановским спектрам полученных УНТ (рисунок 3), составил от 2.4 до 5.2 нм. Таким образом, при росте температуры синтеза степень бездефектности полученных УНТ, характеризуемая длиной L_a , увеличивается. Возможным объяснением этому является то, что с увеличением температуры увеличивается подвижность атомов углерода при росте УНТ, в результате падает количество дефектов на УНТ.

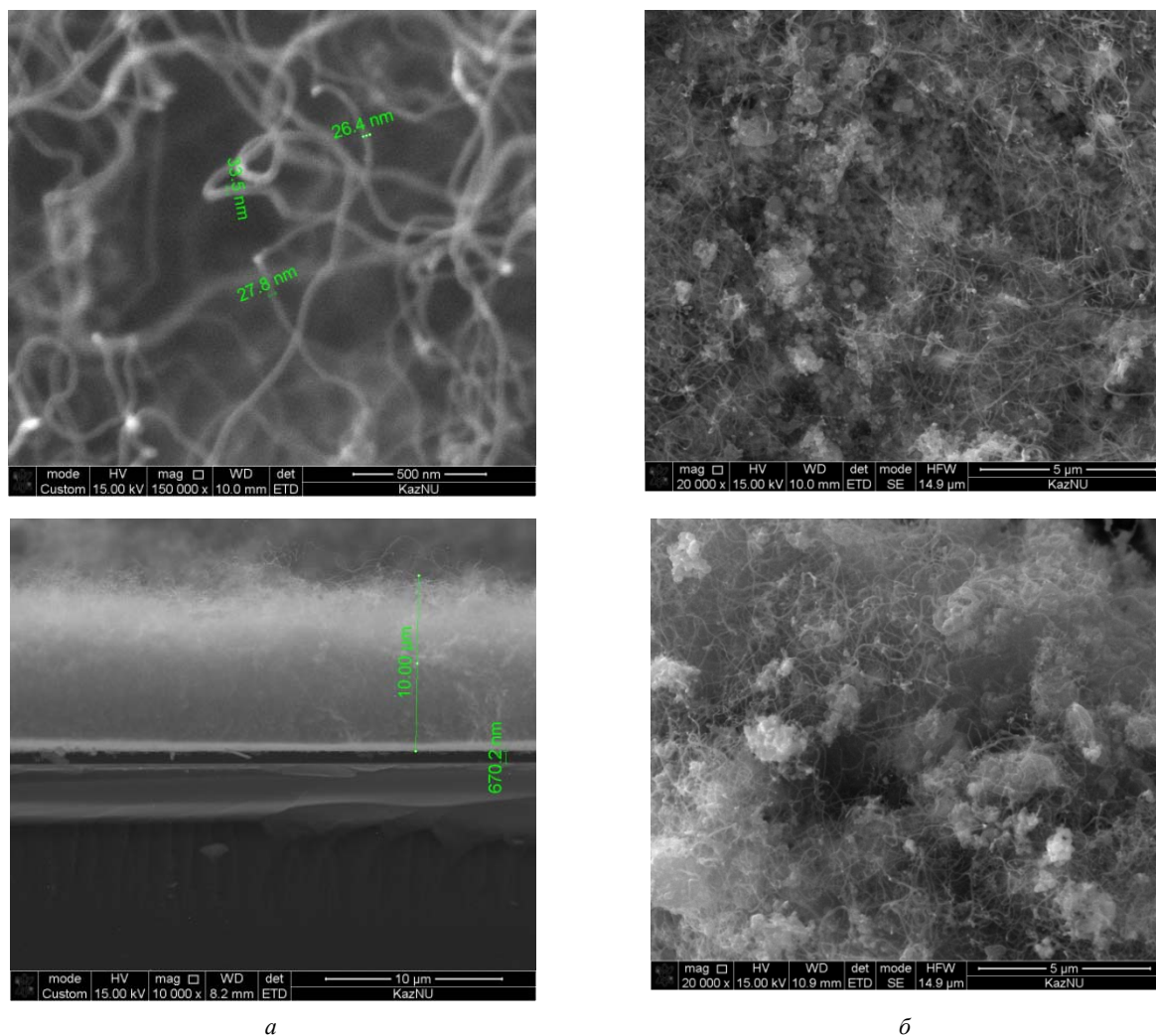


Рисунок 2 – SEM снимки слоев УНТ осажденных на кремниевой подложке, время синтеза 15 мин (а) и на порошке TiO_2 с железным катализатором в псевдокипящем слое, время синтеза 60 мин (б)

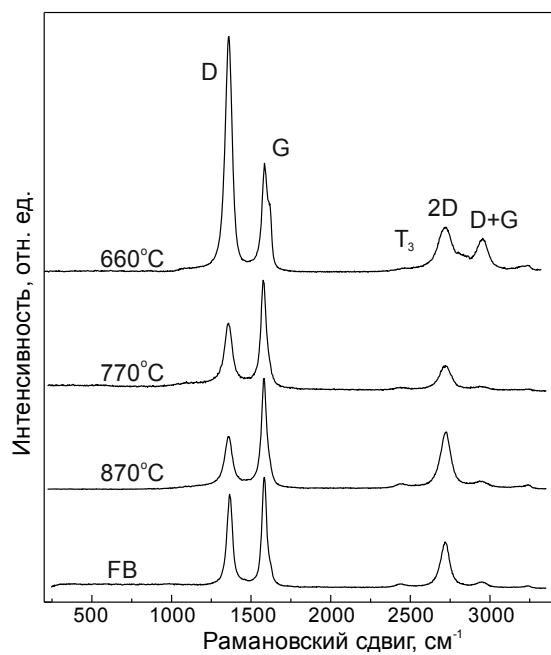


Рисунок 3 – Рамановские спектры слоев УНТ, полученных на подложках Si+Ni при температурах 660, 770 и 870 °C, и на порошке TiO_2 с железным катализатором. Спектры сняты при возбуждении на 473 нм

Как показывают исследования SEM, отжиг кремниевых подложек с каталитическим слоем никеля при температурах 650-900°C в инертной либо в водородной атмосфере без подачи углеродсодержащих компонентов приводит к формированию нанокластеров никеля на поверхности оксида кремния. Средние размеры нанокластеров зависят от толщины первоначального слоя никеля и в нашем случае составляли 10-20 нм. Эти нанокластеры выступают в роли катализаторов роста УНТ по известному механизму перенасыщения раствора углерода в металле и выделения углерода в виде второй фазы.

На рисунке 2б показана морфология полученных в вертикальном реакторе УНТ при использовании в качестве подвижного слоя порошков оксида титана с железным катализатором. Отметим, что степень кристалличности полученных УНТ достаточно высокая, что видно из рамановских спектров (рисунок 3), оцененный размер кристаллитов равен ~5 нм.

Для увеличения количества УНТ в качестве подложки и основы композитного материала были использованы волокна на основе SiO_2 . Морфология полученных образцов показана на рисунке 4. Как видно из рисунка, УНТ диаметром 20-80 нм покрывают более или менее однородно крупные SiO_2 волокна.

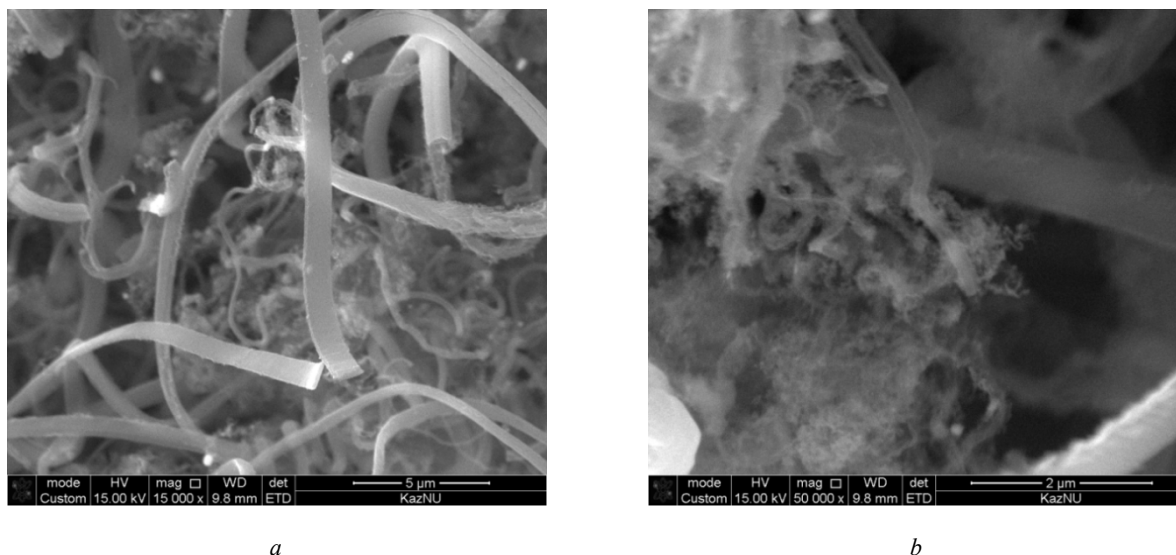


Рисунок 4 – SEM снимки слоев УНТ, осажденных на волокнах на основе SiO_2 с Ni-Co катализатором в водородной атмосфере при температуре 700°C, время синтеза 60 мин. Увеличение на снимке (а) $\times 15\,000$, на (b) $\times 50\,000$

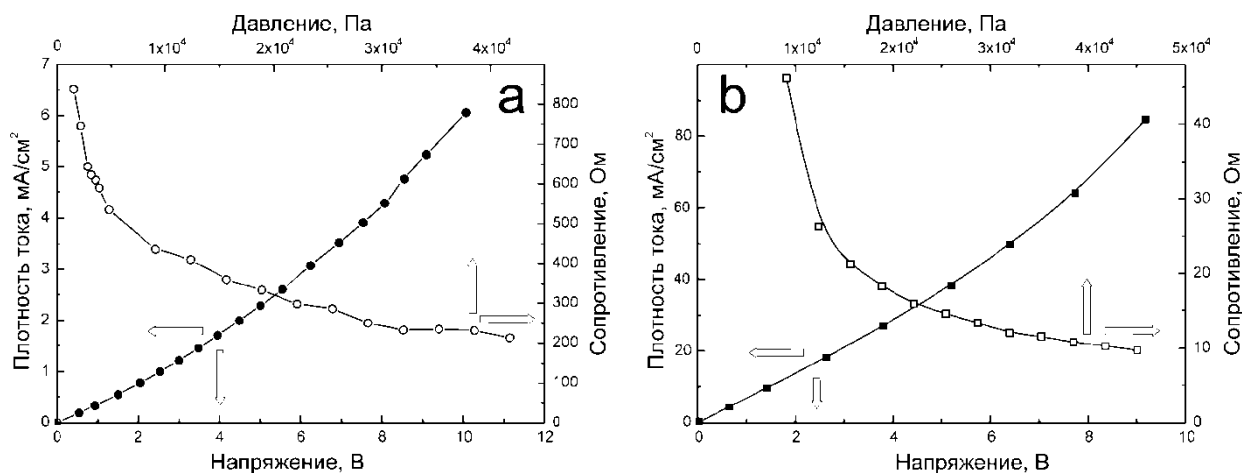


Рисунок 5 – Вольт-амперные характеристики и зависимость электрического сопротивления от величины приложенного внешнего давления для двух типов композитов: слева – с низким и справа – с высоким содержанием УНТ

Полученный композитный материал из волокон SiO_2 , покрытых УНТ, имеет высокую электрическую проводимость. Измерены электрические свойства композитов МУНТ/волокна на постоянном токе. Удельное сопротивление композитов можно легко варьировать в пределах от нескольких Ом-см и выше в зависимости от режимов получения и содержания УНТ в композите. Вольтамперные характеристики композитов были близки к линейным зависимостям и приведены на рисунке 5 для двух образцов – с низким (а) и высоким (б) содержанием УНТ.

Заключение. Исследован метод химического осаждения из газовой фазы углеродных нанотрубок и их композитов. Синтез углеродных нанотрубок проводился в реакторах с подвижным и неподвижным слоем. В качестве носителей катализатора использовались подложки кремния, порошок оксида титана и стекловолокно. На пластины Si тонкие слои катализатора (Ni) наносились методом электронно-лучевого распыления. Наночастицы металлов (Fe, Ni, Co) наносились на поверхность порошков и стекловолокна методом пропитки в химических растворах солей металлов с последующим отжигом. Полученные образцы исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) и спектроскопией комбинационного рассеяния. Электрические характеристики полученных композитов измерены на постоянном токе. Установлено, что степень бездефектности углеродных нанотрубок на кремниевых подложках и на порошке оксида титана довольно высокая. Полученный композитный материал из стекловолокна, покрытого углеродными нанотрубками, имеет высокую электрическую проводимость, которая весьма чувствительна к внешнему давлению. При увеличении внешнего давления (от ~ 0.03 до ~ 0.15 МПа) и при фиксированном напряжении (5 В) электрическое сопротивление образцов резко уменьшается, при этом чувствительность к давлению разная для образцов с разным электрическим сопротивлением и может регулироваться условиями приготовления композитов. Стабильность электрических и тензочувствительных свойств композитов можно значительно увеличить путем усиления структуры композитов при пропитке раствором связующего полимера в подходящем растворителе.

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.
- [2] Popov V.N. Carbon nanotubes: Properties and application // Mat. Sci. Eng. R: Reports. – 2004. – Vol. 43. – P. 61–102.
- [3] Paradise M., Goswami T., Carbon nanotubes-production and industrial application // Mat. Design. – 2007. – Vol. 28. – P. 1477–1489.
- [4] Grunlum J.C., Mehrabi A.R., Bannon M.V., Bahr J.L. Water-based single-walled-nanotube-filled polymer composite with an exceptionally low percolation threshold // Adv. Mat. – 2004. – Vol. 16. – P. 150–153.
- [5] Supronowicz P.R., Ajayan P.M., Ullman K.R., Arulanandam B.P., Metzger D.W., Bizios R. Novel current-conducting composite substrates for exposing osteoblast to alternating current stimulation // J. Biomed. Mat. Res.A. – 2002. – Vol. 59. – P. 499–506.
- [6] Koerner H., Price G., Pearce N.A., Alexander M., Varia R.A. Remotely actuated polymer nanocomposite-stress – recovery of carbon nanotube filled thermoplastic elastomers // Nature Mater. – 2004. – Vol. 3. – P. 115–120.
- [7] Sen R., Zhao B., Perea D., Itkis M.E., Hu H., Love J., Bekyarova E., Haddon R.C. Preparation of single-walled carbon nanotube reinforced polystyrene and polyurethane nano-fibers and membranes by electrospinning // NanoLett. – 2004. – Vol. 4. – P. 459–464.
- [8] Lin Y., Taylor S., Li H., Fernando S.K.A., Qu L., Wang W., Gu L., Zhou B., Sun Y.P. Advances toward bioapplications of carbon nanotubes // J. Mater. Chem. – 2004. – Vol. 14. – P. 527–541.
- [9] Bethune D.S., Klang C.H., De-Vries M.S., Gorman G., Savoy R., et al. Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls // Nature. – 1993. – Vol. 363. – P. 605–607.
- [10] Buchholz D.B., Doherty S.P., Chang R.P.H. Mechanism for the growth of multiwalled carbon-nanotubes from carbon black // Carbon. – 2003. – Vol. 41. – P. 1625–1634.
- [11] Mitchell D.R., Brown R.M., Spires T.L., Romanovitch D.K., Lagow R.J. The synthesis of megatubes: new dimensions in carbon materials // Inorg. Chem. – 2001. – Vol. 40. – P. 2751–2755.
- [12] Tibbetts G.G. Vapor-grown carbon fibers: Status and prospects // Carbon. – 1989. – Vol. 27. – P. 745–747.
- [13] Kong J., Cassell A.M., Dai H.J. Chemical vapour deposition of methane for single-walled carbon nanotubes // Chem. Phys. Lett. 1998. Vol. 292. P. 567–574.
- [14] Dai H., Kong J., Zhou C., Franklin N., Tombler T., Cassell et al. Controlled chemical routes to nanotubes architectures, physics, and devices // J. Phys. Chem. B. – 1999. – Vol. 103. – P. 11246–11255.
- [15] Cheng H., Li F., Su G., Pan H., Dresselhaus M. Large-scale and low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by the catalytic pyrolysis of hydrocarbons // Appl. Phys. Lett. – 1998. – Vol. 72. – P. 3282–3284.
- [16] Thess A., Lee R., Nikolaev P., Dai H.J., Petit P., et al. Crystalline ropes of metallic carbon nanotubes // Science. – 1996. – Vol. 273. – P. 483–487.
- [17] Liu J., Rinzler A.G., Dai H., Hafner J.H., Bradley R.K. et al. Fullerene pipes // Science. – 1998. – Vol. 280. – P. 1253–1256.
- [18] Tuinstra F., Koenig J.L. // J. Chem. Phys. – 1970. – Vol. 53. – P. 1126.

REFERENCES

- [1] Iijima S. *Helical microtubules of graphitic carbon*, Nature. 1991. V.354. P. 56–58 (in Eng.).
- [2] Popov V.N. *Carbon nanotubes: Properties and application*, Mat. Sci. Eng. R: Reports. 2004. V.43. P. 61–102 (in Eng.).
- [3] Paradise M., Goswami T. *Carbon nanotubes-production and industrial application*, Mat. Design. 2007. V. 28. P. 1477–1489 (in Eng.).
- [4] Grunlum J.C., Mehrabi A.R., Bannon M.V., Bahr J.L. *Water-based single-walled-nanotube-filled polymer composite with an exceptionally low percolation threshold*, Adv. Mat. 2004. V. 16. P. 150–153 (in Eng.).
- [5] Supronowicz P.R., Ajayan P.M., Ullman K.R., Arulanandam B.P., Metzger D.W., Bizios R. *Novel current-conducting composite substrates for exposing osteoblast to alternating current stimulation*, J. Biomed. Mat. Res.A. 2002. V. 59. P. 499–506 (in Eng.).
- [6] Koerner H., Price G., Pearce N.A., Alexander M., Varia R.A. *Remotely actuated polymer nanocomposite-stress-recovery of carbon nanotube filled thermoplastic elastomers*, Nature Mater. 2004. V.3. P. 115–120 (in Eng.).
- [7] Sen R., Zhao B., Perea D., Itkis M.E., Hu H., Love J., Bekyarova E., Haddon R.C. *Preparation of single-walled carbon nanotube reinforced polystyrene and polyurethane nano-fibers and membranes by electrospinning*, NanoLett. 2004. V. 4. P. 459–464 (in Eng.).
- [8] Lin Y., Taylor S., Li H., Fernando S.K.A., Qu L., Wang W., Gu L., Zhou B., Sun Y.P. *Advances toward bioapplications of carbon nanotubes*, J. Mater. Chem. 2004. V. 14. P. 527–541 (in Eng.).
- [9] Bethune D.S., Klang C.H., De-Vries M.S., Gorman G., Savoy R., et al. *Cobalt-catalysed growth of carbon nanotubes with single-atomic-layer walls*, Nature. 1993. V. 363. P. 605–607 (in Eng.).
- [10] Buchholz D.B., Doherty S.P., Chang R.P.H. *Mechanism for the growth of multiwalled carbon-nanotubes from carbon black*, Carbon. 2003. V. 41. P. 1625–1634 (in Eng.).
- [11] Mitchell D.R., Brown R.M., Spires T.L., Romanovicz D.K., Lagow R.J. *The synthesis of megatubes: new dimensions in carbon materials*, Inorg. Chem. 2001. V. 40. P. 2751–2755 (in Eng.).
- [12] Tibbetts G.G. *Vapor-grown carbon fibers: Status and prospects*, Carbon. 1989. V. 27. P. 745–747 (in Eng.).
- [13] Kong J., Cassell A.M., Dai H.J. *Chemical vapour deposition of methane for single-walled carbon nanotubes*, Chem. Phys. Lett. 1998. V. 292. P. 567–574 (in Eng.).
- [14] Dai H., Kong J., Zhou C., Franklin N., Tomblor T., Cassell et al. *Controlled chemical routes to nanotubes architectures, physics, and devices*, J. Phys. Chem. B. 1999. V. 103. P. 11246–11255 (in Eng.).
- [15] Cheng H., Li F., Su G., Pan H., Dresselhaus M. *Large-scale and low cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by the catalytic pyrolysis of hydrocarbons*, Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. P. 3282–3284 (in Eng.).
- [16] Thess A., Lee R., Nikolaev P., Dai H.J., Petit P., et al. *Crystalline ropes of metallic carbon nanotubes*, Science. 1996. V. 273. P. 483–487 (in Eng.).
- [17] Liu J., Rinzler A.G., Dai H., Hafner J.H., Bradley R.K. et al. *Fullerene pipes*, Science. 1998. V. 280. P. 1253–1256.
- [18] Tuinstra F., Koenig J.L., J. Chem. Phys. 1970. V. 53. P. 1126 (in Eng.).

CVD ӘДІСІМЕН КӨПДЕҢГЕЙЛІ КӨМІРТЕКТІ НАНОТҮТІКШЕЛЕР МЕН ОЛАРДЫҢ КОМПОЗИТТІН СИНТЕЗДЕУ

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

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: көміртегі нанотүтікшесі, CVD әдісі, сканерлеуші электрондық және зондтық микроскопия.

Аннотация. Жұмыста газдық фазадан химиялық қондыру әдісімен көміртекті нанотүтікшелер мен композитті материалдар алу әдісі қарастырылған. Көміртекті нанотүтікшелерді синтездеу жылжымалы және тұрақты қабаттар ректорларында жүргізілген. Катализатор тасушылары ретінде кремний төсеніші, титан оксидінің ұнтағы және шыны мақта қолданылған. Катализаторлар нанокабатары электронды сәулелік тозандандыру және соңында кептіру мен шаю қарастырылған химиялық қоспаларда катализаторды сіңіру әдістері арқылы алынған. Алынған дайын үлгілер сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және комбинациялық шашырау спектроскопиясы әдістерімен зерттелген. Алынған композиттердің электрлік сипаттамалары тұрақты токқа өлшенген. Титан оксидінің ұнтағындағы және кремний төсенішіндегі көміртекті нанотүтікшелердің кристалдылық дәрежесі айтарлықтай жоғары және 5 нм. тең екендігі анықталды. Көміртекті нанотүтікшелермен қапталған шыны мақтадан алынған композитті материалдың электр өткізгіштігі өте жоғары. Және де олардың электрлік кедергісі сыртқы қысымға өте сезімтал. Сыртқы қысым артқан кезде (~ 0.03 МПа-дан ~ 0.15 МПа дейін) және тұрақты кернеуде (5В) дайын үлгілердің электрлік кедергісі күрт төмендейді, алайда электрлік кедергісі әртүрлі үлгілердің сыртқы қысымды сезгіштігі де түрліше.

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 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.