ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/43

**МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
АНСАМБЛЕЙ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Кан В.Е., Князев Е.В., Поворознюк С.Н., Росликов В.Е., Стенькин Ю.А.

Омский научный центр СО РАН, Омск

Уникальные физико-химические свойства, многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) указывают на перспективы этого материала при создании газовых сенсоров, суперконденсаторов, элементов литий-ионных аккумуляторов и т.д. Наиболее простым способом синтеза углеродных нанотрубок является метод осаждения из газовой фазы (Chemical vapor deposition(CVD)). Однако, значительную долю трубок, полученных этим методом, составляют многостенные углеродные трубки [1,2], зачастую не обладающие необходимым набором характеристик. В настоящей работе исследовались структурные и электрофизические характеристики ограниченных массивов МУНТ, подвергнутых облучению ионами аргона с энергией 5 кВ и последующими отжигами в инертной среде.

Слои МУНТ синтезировались методом CVD при пиролизе ацетонитрила и ферроцена. Далее слой МУНТ облучался ионами аргона с энергией 5 кВ. Затем облученные ионами аргона МУНТ, проходили отжиги в атмосфере аргона при температурах 300°C, 600°C и 900°C в течении 30 минут. Структура МУНТ исследовалась методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с использованием электронного микроскопа JEOL JEM-2100 и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) с использованием Фурье-спектрометра BRUKER RFS-100/s. Изменение проводимости МУНТ оценивалось по вольт-амперным характеристикам (ВАХ) тестовых структур, измеренных на LCR-метре Agilent E4980.

Согласно данным КРС облучение приводит к существенной деградации структуры нанотрубок. На ПЭМ изображениях МУНТ после облучения (Рис.1 А) наблюдаются разрывы во внешних графеновых слоях размерами 2-5 нм. Также наблюдается аморфизация внутренних графеновых слоев нанотрубки. Отжиг при 300°C не приводит к существенному восстановлению внутренних слоев нанотрубки по данным КРС. В то же время на ПЭМ изображениях(Рис.1В) разрывы внешних графеновых слоев все еще наблюдаются. После отжига в инертной среде при 600°C внутренняя структура МУНТ по данным КРС и ПЭМ частично восстанавливается. Размеры разрывов внешних слоев МУНТ уменьшились до 1 нм (Рис.1С). Спектры КРС показывают, что отжиг при 900°C восстанавливает внутреннюю структуру нанотрубок лишь частично, также наблюдается формирования областей с изгибами графеновых слоев по всей толщине стенки МУНТ по данным ПЭМ (Рис.1Д). Данные электрофизических измерений указывают на рост сопротивления ансамблей МУНТ после отжигов (Таблица 1), что связано с образованием дефектов во внутренней структуре МУНТ и возможным формированием гетеропереходов.

Таблица 1. Сопротивление ограниченного ансамбля МУНТ

Исходные, R кОм	ТО 300°C, R кОм	ТО 600°C, R кОм	ТО 900°C, R кОм
9,1	20,1	235,1	9256,5
3,9	257,5	797,6	2607,4
117,2	13,9	153,8	7035
2,1	17,4	52,6	473,9

Рис. 1. ПЭМ изображения внешних графеновых слоев МУНТ. А – МУНТ облученные Ag^+ , $E=5 \text{ кВ}$, $I=10^{16} \text{ см}^{-2}$. В – МУНТ облученные Ag^+ , с последующим отжигом в среде Ag при температуре 300°C . С – МУНТ облученные Ag^+ , с последующим отжигом в среде Ag при температуре 600°C . D – МУНТ облученные Ag^+ , с последующим отжигом в среде Ag при температуре 900°C . 1,2,3,4 – изменения дефектов во внешних графеновых слоях МУНТ

Таким образом, показано, что комбинация ионного облучения и термообработок являются эффективным способом модификации структуры и электрофизических свойств ансамблей МУНТ.

В работе было использовано оборудование Омского регионального центра коллективного пользования СО РАН. Работа выполнена по государственному заданию ОНЦ СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013-2020 годы (номер госрегистрации проекта в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117041210227-8).

1. В.В. Болотов, В.Е. Кан, М.Ю. Бирюков, Е.В. Князев, Р.В. Шелягин, Ю.А. Стенькин. Природа низкочастотной полосы в спектрах комбинационного рассеяния света многостенных углеродных нанотрубок, синтезированных методом CVD. //Физика твердого тела, 2013, том 55, вып. 7. С. 1360-1363.
2. V.V. Bolotov, P.M. Korusenko, S.N. Nesov, S.N. Povoroznyuk, E.V. Knyazev. The origin of changes in the electronic structure of oriented multi-walled carbon nanotubes under the influence of pulsed ion radiation.// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2014, V.337, p 1-6.