

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**А. С. Исмаилова, И. Д. Парфимович**

*Белорусский государственный университет, г. Минск*

*ianast@list.ru; irongrivus@mail.ru*

*науч. рук. – Е. С. Григорчук, ст. преп.*

Методом просвечивающей электронной микроскопии проведены структурные исследования углеродных нанотрубок, синтезированных на различных каталитических системах. Продемонстрировано влияние типа каталитической системы на структурные параметры нанотрубок. Установлено, что за счет озонно-кислородной функционализации происходит удаление аморфных примесей с поверхности углеродных нанотрубок.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки; электронная микроскопия; озонно-кислородная функционализация.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Характеристики нанокompозитных материалов полимер/углеродные нанотрубки (УНТ) зависят от диспергирования УНТ в матрице и межфазного взаимодействия между УНТ и полимером. Однако, атомы углерода на стенках таких материалов, как УНТ и графен, химически стабильны из-за ароматической природы связи. Как результат, УНТ являются инертными и могут взаимодействовать с матрицей полимера главным образом за счет Ван-дер-Ваальсового взаимодействия, которое неспособно обеспечить устойчивые связи через интерфейс углеродный наноматериал (УНМ)/полимер [1]. Поэтому, значительные усилия должны быть направлены на разработку методов модификации свойств поверхности УНТ, с целью обеспечения сопряжения поверхности данных материалов с полимерными матрицами.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния химической функционализации на структурные параметры углеродных нанотрубок, синтезированных на различных каталитических системах: Ni/MgO и Fe-Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Метод получения катализаторов заключался в растворении исходных компонентов (с использованием ультразвука и без него) и термической обработке полученного раствора (разложение/прокаливание). Предварительные исследования показали, что применение ультразвукового воздействия (частотой 22 кГц и мощностью 2 кВт) при получении раствора исходных компонентов Ni/MgO катализатора позволяет повысить его эффективность. Для закрепления результата, полученного при активации раствора предкатализатора ультразвуком, необходимо его подвергнуть термическому разложению в течение 3 минут. Наиболее рациональным временем обработки раствора предкатализатора ультразвуком (объем 50 мл) является 10 с, этого времени активации достаточно для повышения эффективности формируемого катализатора на 20-30 %. Поэтому все металлоксидные катализаторы для реализации данного проекта получали с использованием кратковременного ультразвукового воздействия.

В качестве параметра, характеризующего эффективность полученных катализаторов, был выбран удельный выход углеродного наноструктурного материала, синтезированного на исследуемых каталитических системах. Именно этот показатель позволил судить об активности полученных каталитических систем. Удельный выход нанопродукта ( $\gamma$ ) определяли по формуле:

$$\gamma = (m_2 - m_1) / (m_1 - m_0),$$

где  $m_0$  – масса подложки;  $m_1$  – масса подложки с катализатором;  $m_2$  – масса подложки с катализатором и синтезированными на нем УНТ.

В результате было получено 4 металлоксидных каталитических систем с различным компонентным содержанием. Виды каталитических систем и их характеристики представлены в таблице.

Таблица

**Характеристики металлоксидных каталитических систем**

Катализатор	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Эффективность, $\gamma_{\text{угл}}/\gamma_{\text{кат}}$
Ni/0,16MgO	51,9	9,64
Ni/0,3MgO	55,6	11,30
Ni/0,5MgO	60,8	4,90
Fe-Co/2,1Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79,03	21,2

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изображений, полученных на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ), позволяет сделать вывод о том, что все образцы УНМ состоят из нитевидных структур (показаны на рисунке).

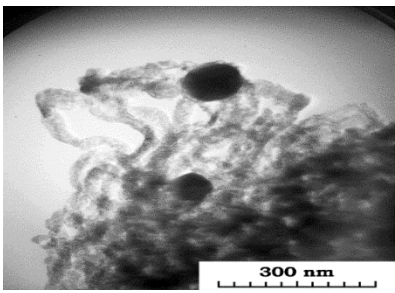
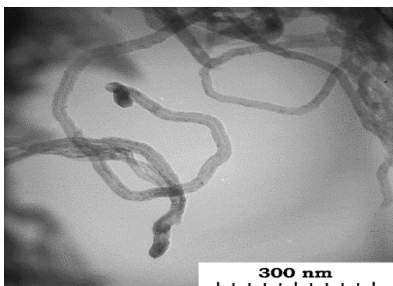
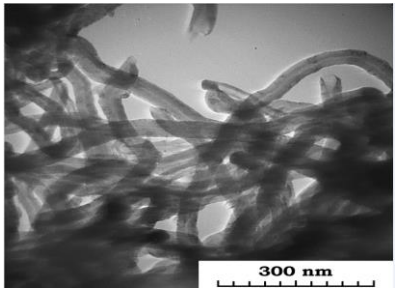
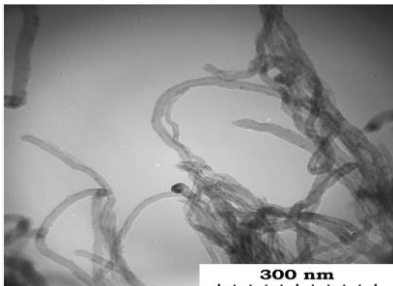
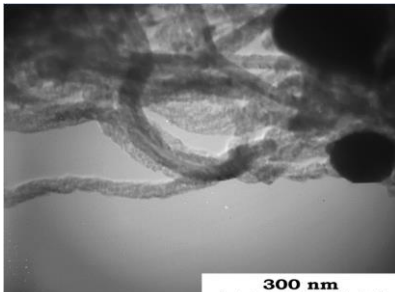
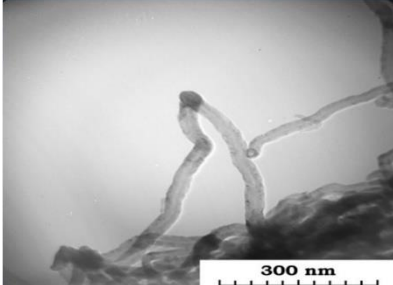
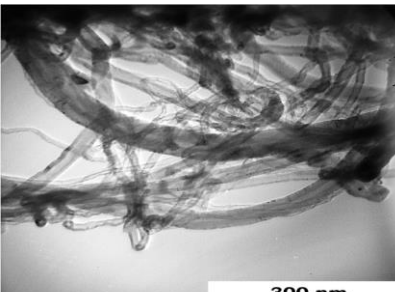
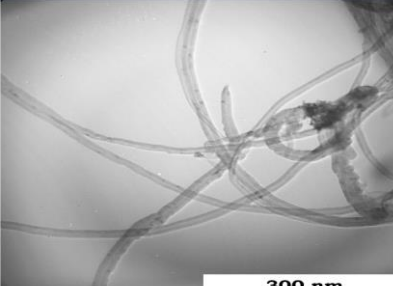
Виды	ПЭМ изображение исходных УНТ	ПЭМ изображение УНТ после окисления озоново-кислородной смесью
$\text{Ni}_{0.3}\text{MgO}$		
$\text{Ni}_{0.5}\text{MgO}$		
$\text{Ni}_{0.16}\text{MgO}$		
$\text{Fe-Co}_{2,1}\text{Al}_2\text{O}_3$		

Рис. 1. ПЭМ микрофотографии образцов УНТ, синтезированных на различных каталитических системах

Более четкую морфологию имеют структуры, синтезированные на  $\text{Ni}/_{0,3}\text{MgO}$  и  $\text{Ni}/_{0,16}\text{MgO}$  катализаторах. Углеродные нитевидные образования, синтезированные на  $\text{Ni}/_{0,16}\text{MgO}$  и  $\text{Ni}/_{0,3}\text{MgO}$  катализаторах, имеют диаметр  $\sim 30\div 60$  нм. В образцах, полученных на  $\text{Ni}/_{0,3}\text{MgO}$  и  $\text{Ni}/_{0,5}\text{MgO}$  каталитической системе, помимо нитевидных образований присутствует много непрореагировавшего катализатора.

Синтезированные на  $\text{Fe-Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$  катализаторах УНМ представляют собой нитевидные образования диаметром  $\sim 30$  нм. Для данных УНМ также можно отметить закапсулированное состояние металлических частиц катализатора.

Необходимо, однако, отметить, что ПЭМ-изображения окисленных УНТ выглядят более четкими, что, возможно, обусловлено удалением примесей аморфного материала при данном типе химической обработки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

За счет подбора катализаторов были синтезированы серии углеродных нанотрубок с различными геометрическими параметрами для дальнейшего изучения влияния синтезированных массивов УНТ на электропроводящие и структурные характеристики композитных материалов на их основе.

Работа выполнена в лаборатории элионики Научно-исследовательского института прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко совместно с коллегами из Тамбовского государственного технологического университета.

## **Библиографические ссылки**

1. *P. C. Ma, N. A. Siddiqui, G. Marom, J. K. Kim* Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review // *Composite: Part A*. 2010. Vol. 41. P. 1345 – 1367.