

При отображении множества графиков на одном окне у пользователя может возникнуть необходимость рассмотреть один из графиков подробнее, поэтому важно, чтобы в программе присутствовала функция максимизации выделенного графика нажатием комбинации клавиш или через панель кнопок.

#### Литература

1. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник в 2-х кн. Кн. 1 / Под. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1978 г.
2. *Ануфриев И.* Самоучитель MatLab 5.3/6.x. // ВHV. 2002 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ВЫРАЩЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

**Е. Ю. Лещенко, И. К. Кирина**

Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрон, состоящие из одного или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых слоев и заканчивающиеся полусферической головкой. Уникальные физико-химические свойства УНТ вызвали огромный интерес исследователей в связи с широкими перспективами их применения. Однако для эффективного применения углеродных нанотрубок необходимо создать приемлемую методику получения УНТ с необходимыми характеристиками. Как показали исследования, существует широкое многообразие условий, в которых наблюдается эффективное образование УНТ.

В данной работе рассмотрены такие методы формирования УНТ, как газо-фазное каталитическое разложение СО и метод химического осаждения в парах, который в англоязычной литературе обычно называют CVD-методом (Chemical vapor deposition).

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ

Методика приготовления одностеночных углеродных нанотрубок (ОУНТ) с использованием газо-фазного каталитического роста была аналогичной приведенной в работе [1]. Частицы металла-катализатора формировались путем термической декомпозиции пентакарбонила железа ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ) в потоке СО при давлении 2 атм. и температуре 1100 °С.

Рост УНТ с использованием метода CVD осуществлялся на специальных ориентирующих подложках из пористого оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), полученного в процессе анодизации Al фольги. Толщина подложек

составила  $\sim 90$  мкм, диаметры пор  $\sim 50 - 80$  нм. Затем поры были заполнены Ni путем электрохимического осаждения. Углеродные нанотрубки выращивались путем пиролиза ацетилена ( $C_2H_2$ ) при температуре  $900^\circ C$  и давлении 1 атм. в течение 15 минут.

Структурные исследования образцов УНТ проводились с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Для получения ПЭМ-изображений использовался электронный просвечивающий микроскоп Hitachi-H800 (Япония) с действующим ускоряющим напряжением до 200 кВ. Для образцов, полученных методом газо-фазного разложения CO, также проводилось исследование методом комбинационного рассеяния (КР) света. Спектры КР углеродных нанотрубок были получены с помощью автоматизированного спектрометрического комплекса, созданного на базе RAMALOG4 фирмы SPEX. Регистрация спектров проводилась в диапазоне  $40 - 1800\text{ см}^{-1}$ , для возбуждения использовалось излучение аргонового лазера с длиной волны 514.5 нм, мощность на образце  $\sim 100$  мВт.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлено ПЭМ-изображение ОУНТ, сформированных декомпозицией CO и  $Fe(CO)_5$ . Видно, что исследуемый материал содержит определенное количество УНТ, которые, как правило, находятся в виде переплетений и связок. Значительную часть исследуемого материала составляют различные кластеры, представляющие собой частицы катализатора либо графита размером 1 – 6 нм. Длины полученных углеродных нанотрубок достигают нескольких десятков микрометров. Значения диаметров ОУНТ составили 1 – 10 нм.

На рис. 2 приведена микрофотография многостеночных углеродных нанотрубок (МУНТ), выращенных методом CVD. Данные образцы отличались высокой степенью однородности. Диапазон диаметров полученных нанотрубок составил 50 – 100 нм.

Зарегистрированный спектр КР образцов, полученных методом газо-фазного каталитического роста, представлен на рис. 3.

Группа линий, сосредоточенная в области частот, соответствующих  $150 - 250\text{ см}^{-1}$ , относится к так называемым радиальным «дышащим» модам (РДМ). Низкочастотным РДМ соответствуют радиальные колебания атомов углерода в трубках. Частота таких колебаний обратно пропорциональна радиусу нанотрубок, поэтому указанная часть спектра КР содержит информацию о распределении трубок по диаметрам [2 – 4]. Из полученного спектра были извлечены значения РДМ волновых чисел

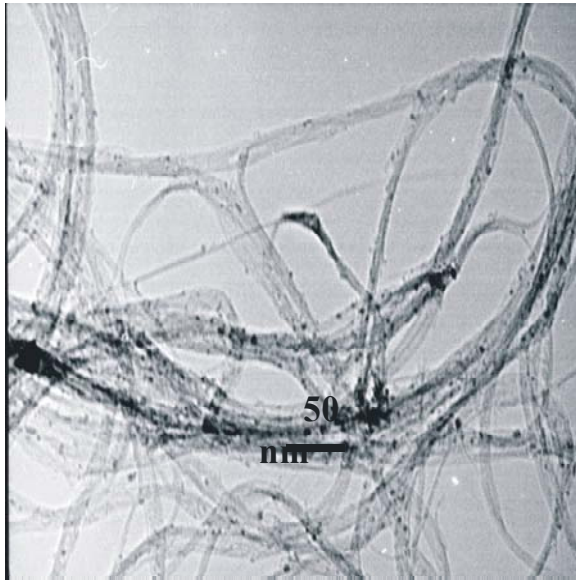


Рис. 1. ПЭМ-изображение одностеночных углеродных нанотрубок, сформированных декомпозицией CO и  $\text{Fe}(\text{CO})_5$

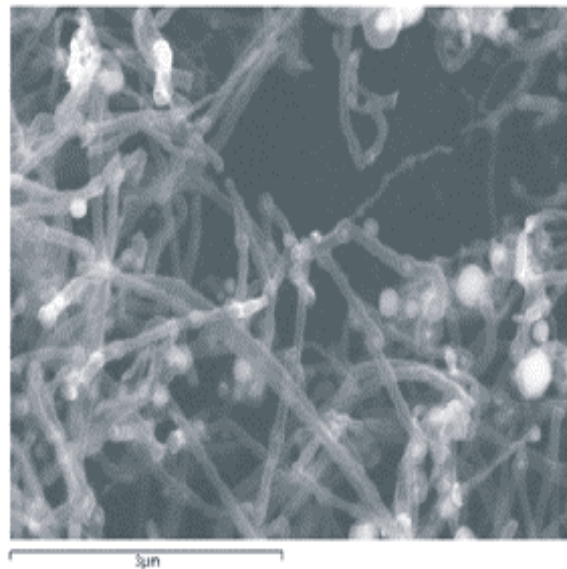


Рис. 2. СЭМ-изображение МУНТ, выращенных методом CVD

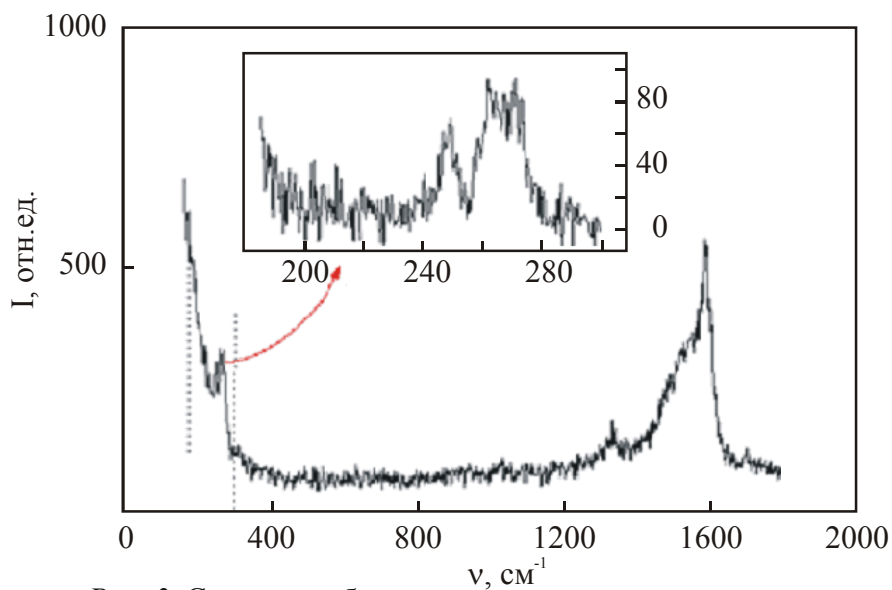


Рис. 3. Спектр комбинационного рассеяния углеродных нанотрубок, полученных методом газо-фазного разложения CO

( $249$  и  $267 \text{ см}^{-1}$ ), которые использовались для вычисления диаметров нанотрубок. Диапазон полученных значений диаметров ОУНТ составляет  $0,784 - 0,96 \text{ нм}$ . Полосы КР, которые присутствуют в диапазоне высоких значений волновых чисел ( $1500 - 1600 \text{ см}^{-1}$ ), позволяют охарактеризовать тип проводимости УНТ [2 – 4]. Узкие линии соответствуют резонансу на полупроводниковых трубках, тогда как широкие и асимметричные про-

фили отображают резонанс в металлических трубках. Для исследуемых образцов зарегистрирован широкий профиль тангенциальных мод с максимумом при  $1538 \text{ см}^{-1}$ . Эта полоса обусловлена наличием металлических трубок малого диаметра (около 0.9 нм). Дополнительный узкий пик при  $1593 \text{ см}^{-1}$  на фоне широкой полосы связан с присутствием полупроводниковых трубок. Можно сделать вывод о том, что образцы данного типа содержат смесь металлических и полупроводниковых трубок, чаще всего в виде связок отдельных нанотрубок, с указанным выше диаметром.

Таким образом, были проведены детальные исследования структурных свойств углеродных нанотрубок, в частности, оценены их длина и диаметр. Путем анализа спектров КР углеродных нанотрубок, полученных разложением СО, были получены значения диаметров УНТ, а также определен тип проводимости нанотрубок в исследуемых образцах.

#### Литература

1. *Chiang I.W., Brinson B.E., Huang A.Y. et al.* Purification and Characterization of Single-Wall Carbon Nanotubes (SWNTs) Obtained from the Gas-Phase Decomposition of CO (HiPco Process) // *J. Phys. Chem.*, 2001. P.8297.
2. *Alvarez L., Righi A., Rols S. et al.* Excitation energy dependence of the Raman spectrum of single-walled carbon nanotubes // *Chem. Phys. Lett.*, 2000. P. 441–447.
3. *Alvarez L., Righi A., Guillard T. et al.* Resonant Raman study of the structure and electronic properties of single-wall carbon nanotubes // *Chem. Phys. Lett.*, 2000. P. 186–190.
4. *Alvarez L., Righi A., Rols S. et al.* Diameter distribution of single wall carbon nanotubes in nanobundles // *Eur. Phys. J.*, 2000. P. 201–205.

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

**А. А. Логиновский**

Во многих случаях процессы в природных и технических системах могут быть описаны временными рядами, представляющими значения системных параметров в последовательные моменты времени [1–2].

Существуют две основные цели анализа временных рядов: определение природы ряда и прогнозирование (предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям). Модель может быть использована для интерпретации конкретных данных (например, для понимания сезонного изменения курсов валют) и позволяет предсказать будущие значения временного ряда путем их экстраполяции [1–2]. В результате прогнозирования уменьшается риск при принятии решений. Прогноз обычно получается ошибочным, но ошибка зависит от исполь-