

УДК 538.971

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В КОЛОННЕ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА

© М.Г. Попова, Р.А. Столяров, А.В. Шуклинов, А.А. Дмитриевский

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки; электронная микроскопия; деструкция.

На примере многослойных углеродных нанотрубок показано, что воздействие электронного пучка при визуализации материалов в электронном микроскопе оказывает существенное влияние на структуру и, соответственно, свойства исследуемых объектов.

На сегодняшний день одним из наиболее информативных и распространенных методов визуализации поверхности материалов является сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Получение СЭМ-изображений сопряжено с бомбардировкой визуализируемой части материала электронами с энергией в десятки и сотни кэВ. Известно [1–7], что бета-облучение со сравнительно малыми флюенсами ($F \sim 10^{12} \text{ см}^{-2}$) способно вызывать существенные изменения микромеханических свойств реальных кристаллов. В [8–10] приведены данные, прямо свидетельствующие о модификации структуры многослойных углеродных нанотрубок под действием электронных пучков в СЭМ. Интенсивные исследования морфологии углеродных нанотрубок и их композитов с различными материалами (в т. ч. с наночастицами металлов [11–12]) диктуют необходимость получения информации о структурных нарушениях, возникающих в процессе визуализации с использованием СЭМ.

В работе исследованы насыпные ансамбли многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ). МУНТ были синтезированы методом каталитического пиролиза природного газа на Ni/Mg-катализаторе при атмосферном давлении и температуре 620 °С в ООО «НаноТех-Центр» в г. Тамбове. Ансамбли МУНТ экспонировали

лись в пучке электронов с плотностью потока $I = 200 \text{ А/м}^2$ и энергией $E = 20 \text{ кВ}$ в течение времени $t = 3 \text{ ч}$. Такая экспозиция соответствовала накоплению флюенса $F = 25 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$.

Установлено, что экспозиция насыпных ансамблей МУНТ в колонне СЭМ с указанными выше параметрами в течение времени $t = 3 \text{ ч}$ приводит к значительной модификации структуры многослойных углеродных нанотрубок (рис. 1).

Качественный анализ представленных на рис. 1 изображений свидетельствует о том, что под действием потока электронов происходит преимущественное нарушение (деструкция) внешних слоев МУНТ. Это приводит к тому, что по мере нарастания длительности экспозиции МУНТ в колонне СЭМ уменьшается средний диаметр углеродных нанотрубок.

Статистический анализ среднего диаметра d исходных и экспонированных в колонне СЭМ (в течение $t = 3 \text{ ч}$) МУНТ позволяет заключить, что наибольшие (достигающие 35 %) относительные изменения d наблюдаются для трубок меньшего диаметра (средний исходный диаметр $d_0 \sim 12 \text{ нм}$). Экспозиция МУНТ, средний исходный диаметр которых $\sim 40 \text{ нм}$, в потоке электронов с аналогичными параметрами вызывает относительные изменения d , не превышающие 15 %.

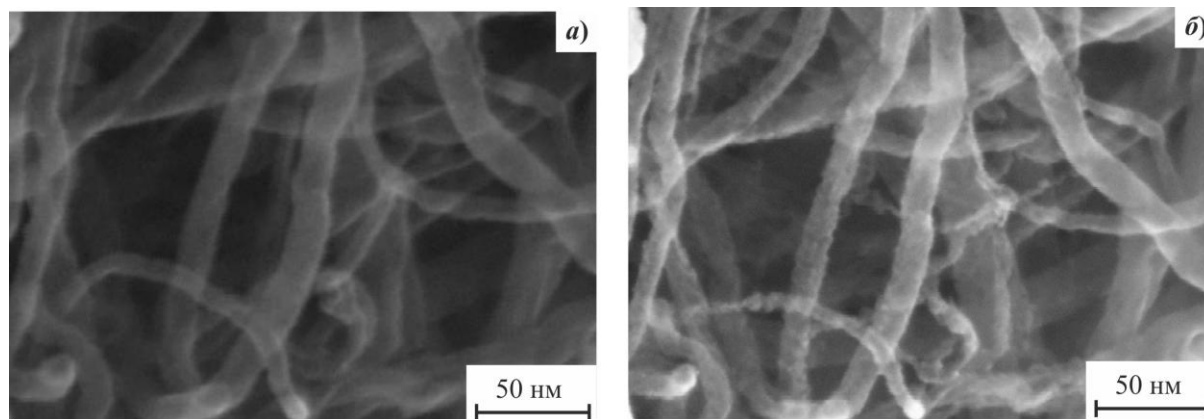


Рис. 1. СЭМ-изображения МУНТ а) исходных; б) экспонированных в колонне СЭМ ($I = 200 \text{ А/м}^2$, $E = 20 \text{ кВ}$, $t = 3 \text{ ч}$, $F = 25 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$)

Таким образом, в работе получены данные, свидетельствующие о существенной деструкции внешних слоев многослойных углеродных нанотрубок при их визуализации с использованием сканирующих электронных микроскопов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин Ю.И., Дмитриевский А.А., Николаев Р.К., Пушин И.А. // ФТТ. 2003. Т. 45. № 1. С. 187-190.
2. Головин Ю.И., Дмитриевский А.А., Сучкова Н.Ю., Толстаев М.Ю. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. Т. 4. С. 34-36.
3. Дмитриевский А.А., Головин Ю.И., Васюков В.М., Сучкова Н.Ю. // Известия РАН. Серия Физическая. 2008. Т. 72. № 7. С. 988-990.
4. Головин Ю.И., Дмитриевский А.А., Сучкова Н.Ю. // ФТТ. 2008. Т. 50. № 1. С. 26-28.
5. Дмитриевский А.А. // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 11. С. 2-11.
6. Дмитриевский А.А. // Известия вузов. Серия Физика. 2013. № 8. С. 85-94.
7. Дмитриевский А.А. // ПЖТФ. 2014. Т. 40. № 2. С. 61-67.

8. Cretu O., Rodriguez-Manzo J.A., Demortière A., Banhart F. // Carbon. 2012. V. 50. P. 259-264.
9. Jackman H., Krakhmalev P., Svensson K. // Ultramicroscopy. 2013. V. 124. P. 35-39.
10. Tada K., Yasuda M., Mitsueda T., Honda R., Kawata H., Hirai Y. // Microelectronic Engineering. 2013. V. 107. P. 50-53.
11. Головин Ю.И., Головин Д.Ю., Шуклинов А.В., Столяров Р.А., Васюков В.М. // ПЖТФ. 2011. Т. 37. № 6. С. 21-26.
12. Головин Ю.И., Столяров Р.А., Шуклинов А.В. // ЖТФ. 2013. Т. 83. № 8. С. 105-109.

Поступила в редакцию 5 февраля 2014 г.

Popova M.G., Stolyarov R.A., Shuklinov A.V., Dmitrievskiy A.A. MODIFICATION OF STRUCTURE OF MULTILAYER CARBON NANOTUBES IN COLON OF ELECTRON MICROSCOPE

On the example of multilayer carbon nanotubes it is shown that the effect of the electron beam at the visualization of materials in electronic microscope has a significant influence on the structure and respectively properties of the investigated objects.

Key words: multilayer carbon nanotubes; electronic microscope; destruction.

Попова Марина Геннадиевна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Физика» института математики, физики и информатики, e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Popova Marina Gennadyevna, Tambov State University named G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of Direction of Preparation of "Physics" of Mathematics, Physics and Informatics Institute, e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Столяров Роман Александрович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, ведущий специалист НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы», e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Stolyarov Roman Aleksandrovich, Tambov State University named G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Leading Specialist of Scientific Educational Center "Nano-technologies and nano-materials", e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Шуклинов Алексей Васильевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, ведущий специалист НОЦ «Нанотехнологии и наноматериалы», e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Shuklinov Aleksey Vasilyevich, Tambov State University named G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Leading Specialist of Scientific Educational Center "Nano-technologies and nano-materials", e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Дмитриевский Александр Александрович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики, e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru

Dmitrievskiy Aleksander Aleksandrovich, Tambov State University named G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of Theoretical and Experimental Physics Department, e-mail: dmitr2002@tsu.tmb.ru