

Пьезоэлектрический эффект в неравномерно деформированных углеродных нанотрубках

М.В. Ильина, Ю.Ф. Блинов, О.И. Ильин, А.А. Коньшин, О.А. Агеев

*Южный федеральный университет, НОЦ «Нанотехнологии», 347922, Таганрог, Россия
mailina@sfedu.ru*

Экспериментально установлено, что неравномерно деформированные углеродные нанотрубки (УНТ) обладают поверхностным потенциалом, значение которого зависит от величины деформации. Оценено значение пьезоэлектрического коэффициента УНТ, которое составило $0,107 \pm 0,032$ Кл/м².

Piezoelectric effect in non-uniform strained carbon nanotubes

M.V. Iilina, Yu.F. Blinov, O.I. Il'in, A.A. Konshin, O.A. Ageev

Southern Federal University, REC "Nanotechnologies", 347922, Taganrog, Russia

We have experimentally established that non-uniformly strained carbon nanotubes have a surface potential the value of which depends on the magnitude of the deformation. The value of the piezoelectric coefficient of carbon nanotubes was estimated to be 0.107 ± 0.032 C/m².

Переход электроники в наноразмерную область привел к тому, что на электрические свойства материалов существенное влияние оказывают флексоэлектрический эффект, определяющий связь между поляризацией и градиентами деформации, и поверхностный пьезоэлектрический эффект, которые в объемных материалах не учитывались из-за их малой величины. В связи с этим развитие получила новая область науки – пьезотроника, использующая флексо- и пьезоэлектрические свойства наноразмерных структур для разработки и исследования новых приборов и устройств [1]. Фундаментальные основы пьезотроники заложены менее десяти лет назад [1], а поиск материалов для практической реализации данного направления продолжают и в настоящий момент. В связи с этим появляются сообщения о том, что углеродные наноструктуры могут проявлять флексо- и пьезоэлектрические свойства [2], которые при высоких значениях прочности и упругости углеродных наноструктур открывают широкую область их применения в пьезотронике.

Целью данной работы является исследование пьезоэлектрического эффекта неравномерно деформированных ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ) методом зонда Кельвина.

В качестве исследуемого образца использовался массив вертикально ориентированных УНТ с диаметром 92 нм и высотой 2,1 мкм, выращенный методом плазмохимического осаждения из газовой фазы с использованием нанотехнологического комплекса НАНОФАБ НТК-9 (НТ-МДТ, Россия). Структурный анализ исследуемого образца методом рамановской спектроскопии показал наличие D- и G-мод, характерных для УНТ, и отсутствие моды RBM в диапазоне 0-200 см⁻¹, что указывало на их многостенность.

Исследования распределения поверхностного потенциала выполнялось методом зонда Кельвина атомно-силовой микроскопии (АСМ) на зондовой нанолaborатории Ntegra (НТ-МДТ). Для исследования пьезоэлектрического эффекта в УНТ на первом проходе проводилось сканирование поверхности массива в полуконтактном режиме АСМ, в результате чего образовывались пучки УНТ [3], испытывающих неравномерные изгибные деформации (Рис. 1а). Во время второго прохода измерялся поверхностный потенциал пучков деформированных УНТ на расстоянии 12 нм от поверхности массива. Полученное изображение распределения поверхностного потенциала пучков УНТ представлено на Рисунке 1б.

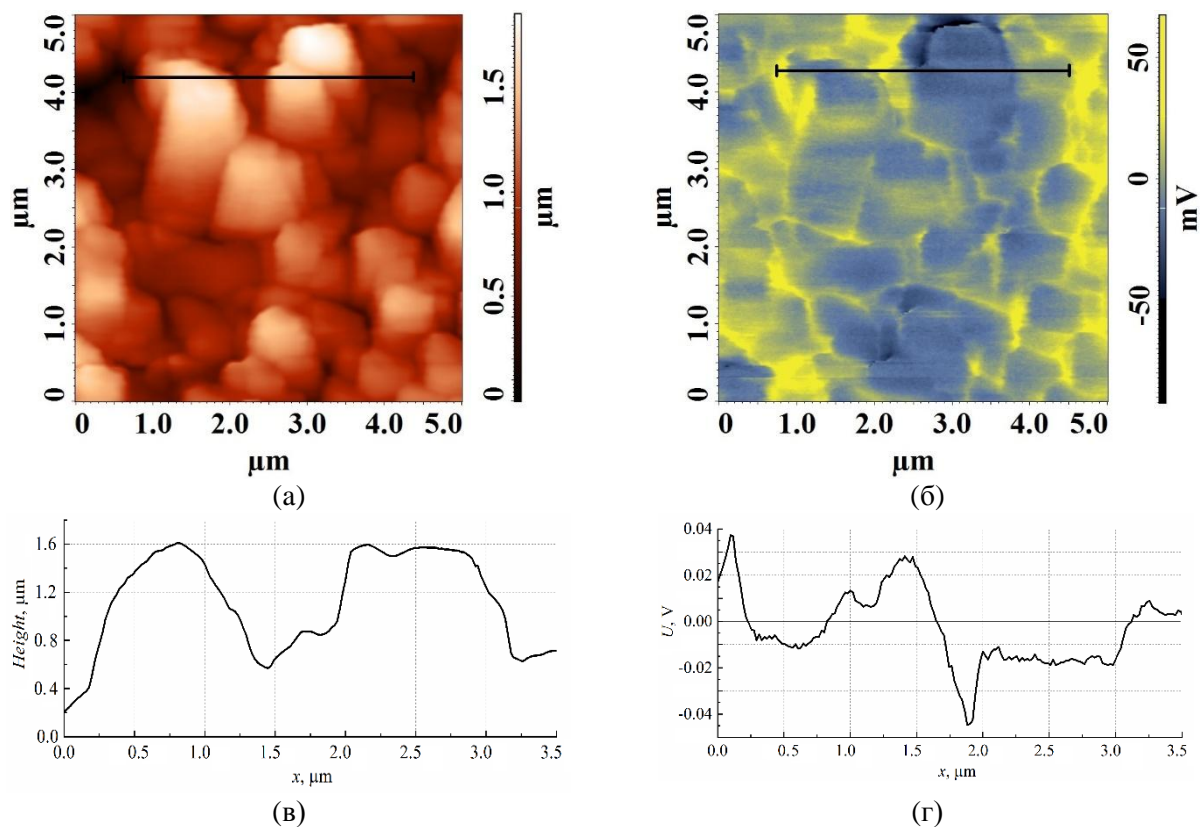


Рисунок 1. Исследование поверхностного потенциала неравномерно деформированных углеродных нанотрубок, образующих пучок:
 (а) топология поверхности;
 (б) распределение потенциала;
 (в, г) сечения вдоль линии.

Анализ полученных АСМ-изображений показал, что на вершинах пучков УНТ диаметром до 500 нм (Рис. 1в) наблюдается отрицательный поверхностный потенциал величиной до -42 мВ, а вблизи основания пучков – положительный потенциал величиной до 40 мВ (Рис. 1г). Причем величина формируемого потенциала зависит от диаметра пучка и величины деформации нанотрубок в нем (Рис. 1в,г). При этом потенциал на вершинах индивидуальных нанотрубок был близок к нулю. Наличие поверхностного потенциала на пучках деформированных УНТ согласуется с результатами исследований, подтверждающих возможность проявления в углеродных наноструктурах пьезоэлектрического эффекта [2]. Анализ экспериментальных исследований неравномерно деформированных УНТ позволил оценить значение пьезоэлектрического коэффициента, величина которого составила $0,107 \pm 0,032$ Кл/м². Рассчитанное значение сопоставимо с пьезоэлектрическим коэффициентом графена [2].

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов формирования устройств пьезотроники и наносистемной техники на основе ориентированных углеродных нанотрубок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-29-14023 офи_м и №16-37-00101 мол_а).

1. Z.L. Wang, *Adv. Mater.*, **19**, 889 (2007).
2. S. Chandratre, P. Sharma, *Appl. Phys. Lett.*, **100**, 023114 (2012).
3. О.А. Агеев, О.И. Ильин, А.С. Коломийцев, Б.Г. Коноплев, М.В. Рубашкина, В.А. Смирнов, А.А. Федотов *Микро- и наносистемная техника*, **3**, 9 (2012).