

УДК 620.187

Получение и характеристики наноуглеродной бумаги на основе УНТ «Таунит-М»  
М.Н. Уразов<sup>1</sup>, А.А. Лизунова<sup>1</sup>, И.А. Волков<sup>1</sup>, В.В. Иванов<sup>1</sup>, В.Р. Хрустов<sup>2</sup>, А.В. Никонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup> Институт электрофизики УрО РАН

В настоящее время реализуется одно из наиболее массовых применений наноуглеродной бумаги (УНБ) в качестве электромагнитных экранов. Высокая слоевая проводимость нанотрубок в УНБ в сочетании с большой открытой удельной поверхностью позволит использовать данный материал в качестве электродов суперконденсаторов с двойным электрическим слоем и анодов литий-ионных батарей без несущего фольгового металлического коллектора.

В настоящей работе в качестве исходного продукта использовались очищенные многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) марки «Таунит-М». Единичные УНТ по данным просвечивающей электронной микроскопии (JEM-2100, JEOL) характеризуются средним внешним ( $10,4 \pm 1,0$  нм) и внутренним ( $3,6 \pm 0,3$  нм) диаметрами, которые имеют переменные значения по длине и деформированные дефектные стенки. В качестве примесей присутствуют неструктурированный углерод (1,2 масс.%) и наночастицы остаточного катализатора (0,8 масс.%).

В основе методики получения УНБ лежит метод фильтрации под давлением однородной дисперсии с УНТ на нанопористом фильтрующем материале. В качестве фильтрующего материала использовали фторопластовую гидрофильную мембрану с наноразмерными порами. После ультразвукового диспергирования получаемая водная дисперсия с УНТ вливается на фильтр, вода отжимается приложением избыточного давления. После полного отжима промывочной жидкости полученная бумага отделяется от фильтра и сушится под гнетом.

Микроструктуру полученных образцов УНБ исследовали с помощью растрового электронного микроскопа высокого разрешения JSM-7001F (JEOL). Было установлено, что средний эффективный диаметр нановолокна на поверхности углеродной бумаги составляет ( $9,1 \pm 0,5$ ) нм, видимая эффективная длина – ( $348,4 \pm 17,4$ ) нм, степень однородности расположения нановолокон – ( $64,5 \pm 3,2$ )%.

Для образцов УНБ разной толщины в диапазоне 100-500 мкм исследовали проводимость 4-контактным методом и плотность методом обмера и взвешивания. Как видно из графиков на рис. 1б, проводимость и плотность УНБ монотонно возрастают

при уменьшении толщины бумаги. Причем проводимость быстро возрастает с увеличением плотности, что логично объясняется ростом числа контактов между соседними волокнами при повышении плотности их укладки в бумаге. Максимальная проводимость УНБ на уровне  $10 (\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$ , реализованная при толщине образцов около 100 нм, оказалась несколько ниже наибольших значений, известных из литературы ( $\sim 30 (\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$ ) [1, 2].

В дальнейших исследованиях целесообразными подходами для повышения слоевой проводимости УНБ должны быть способы повышения плотности укладки УНТ и способы модификации поверхности УНТ с целью уменьшения контактных сопротивлений.

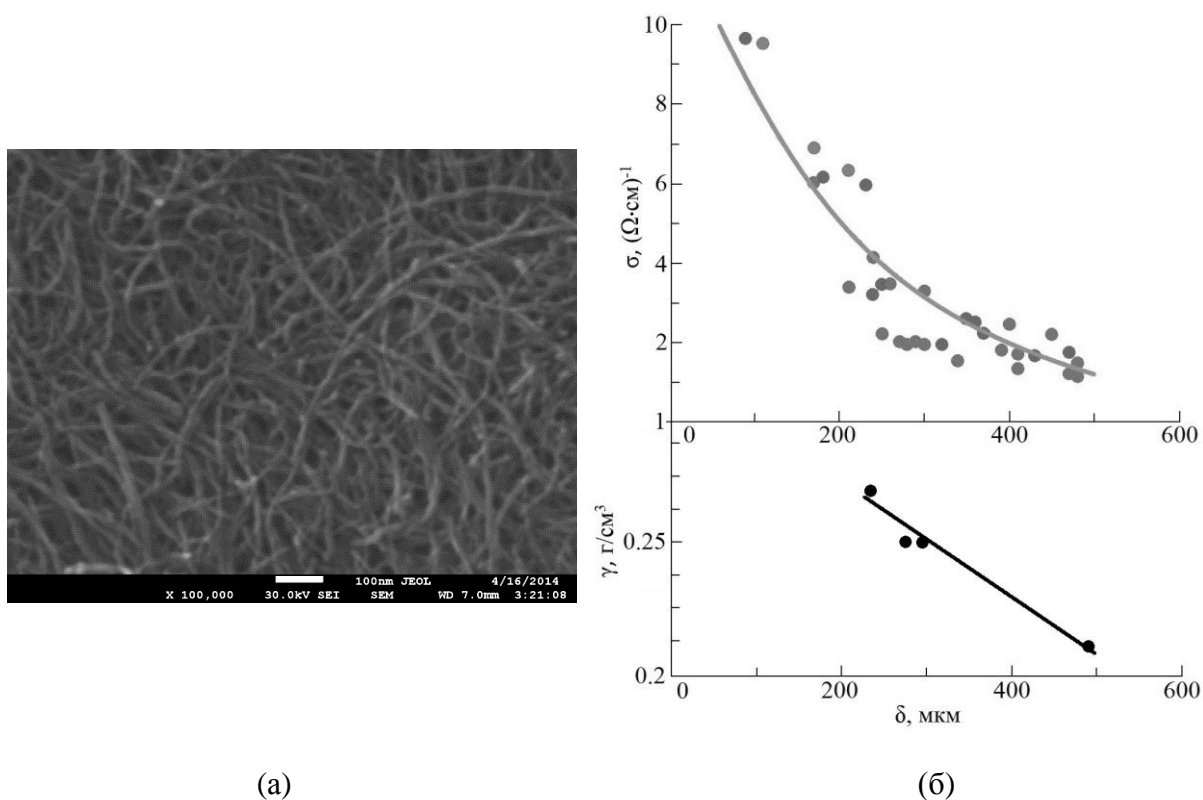


Рис. 1. Изображение поверхности нанотрубчатой бумаги с увеличением  $\times 100\,000$  (а) и зависимость проводимости и плотности слоя нанотрубчатой бумаги от толщины (б).

#### Литература

1. Imai, M., Akiyama, K., Tanaka, T., Sano, E. Highly strong and conductive carbon nanotube/cellulose composite paper. // *Composites Science and Technology*. – 2010. – V. 70, N. 10. – P. 1564-1570.
2. Yong Tang, Jihua Gou Synergistic effect on electrical conductivity of few-layer graphene/multi-walled carbon nanotube paper. // *Materials Letters*. – 2010. – V. 64. P. 2513–2516.