

УДК 667.7 + 681.7

## УГЛЕРОДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В. Н. НАТАРОВ, Ю. С. ГАЙДУК, А. А. САВИЦКИЙ

Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгенофазового анализа (РФА), термогравиметрии (ТГ-ДТА) и ИК-спектроскопии исследованы структура и состояние поверхности углеродных квантовых точек (УКТ), спектральные свойства которых были представлены ранее [1].

УКТ получали смешением органических кислот (лимонной, янтарной и др.) и аминов (мочевина, этилендиамин), тщательным их перетиранием и сжиганием в муфельной печи (260...270 °С, 15...30 мин).

Рентгенографические исследования проводили с использованием дифрактометра ДРОН-3 ( $\text{Co}_{K\alpha 1}$ -излучение). ИК-спектры образцов, высушенных при 20 и 300 °С, исследовали на спектрометре AVATAR 330 (Thermo-Nicolet) в области волновых чисел ( $\nu$ ) 400...700  $\text{cm}^{-1}$  с точностью 1  $\text{cm}^{-1}$ . Метод ПЭМ (JEM 100 CX) применяли для изучения размеров частиц. ТГ-ДТА исследования производили на дериватографе Netzsch STA 449C «Jupiter» в области температур 20...600 °С на воздухе со скоростью нагрева 5 °С/мин. Масса образцов составляла 2,47...2,92 мг.

Рентгенограммы исследованных материалов отвечают формированию близкой к аморфной структуре углерода. В частности, рентгенограмма материала, полученного из смеси лимонной кислоты и мочевины представляла собой сдвоенный широкий пик с максимумами при  $2\theta = 19,0$  и  $23,7^\circ$  (что соответствует наличию двух форм углерода).

Методом ТГ-ДТА установлено, что УКТ начинают окисляться выше 250 °С, наибольшая скорость процесса наблюдается выше 350 °С. Достаточно широкий интервал окисления может свидетельствовать об образовании аморфного углерода различных модификаций. Остаточная масса образца материала, полученного из смеси лимонной кислоты и этилендиамина составила 69,7 %.

Экстракция органическими растворителями из водной фазы позволяет в значительной мере отделить УКТ от примесей других продуктов неполного сгорания. На рис. 1 представлена фотография углеродных квантовых точек, экстрагированных бутанолом. Видно, что наиболее мелкие частицы имеют размер ~ 2,5 нм, что, согласно литературным данным, соответствует одиночным квантовым точкам. При этом порошок, полученный высушиванием водного раствора неочищенных УКТ представлял собой



преимущественно частицы неправильной формы размером около 250 нм или их агломераты.

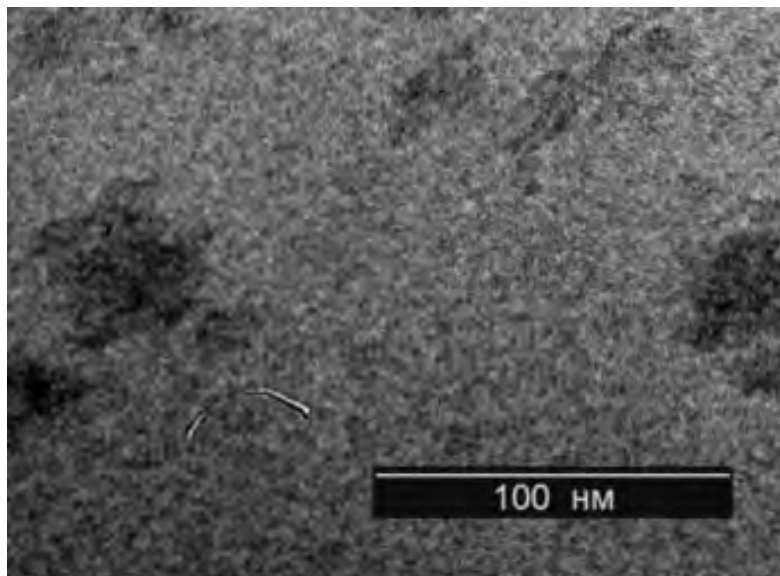


Рис 1. Фотография углеродных кантовых точек, экстрагированных бутанолом (формваровая подложка)

ИК-спектры всех исследованных образцов сходны, они имеют широкую область поглощения при  $3000...3500\text{ см}^{-1}$  и набор узких полос поглощения в области  $400...1800\text{ см}^{-1}$ , среди которых можно выделить полосы поглощения в области  $3100...3500\text{ см}^{-1}$ , принадлежащие  $\nu$  (O–H) и  $\nu$  (N–H). Обнаруживаются также полосы поглощения, относящиеся к колебаниям  $\delta$  (CH<sub>2</sub>),  $\nu$  (C = O), к альдегидным группам, к валентным C = C колебаниям полициклических аренов, к колебаниям OH-групп.

С увеличением температуры и времени термолiza также можно наблюдать снижение сигнала при  $700$  и  $3400\text{ см}^{-1}$  наряду с усилением  $880\text{ см}^{-1}$ . Эти процессы указывает на потерю водорода и увеличение доли  $\pi$ -сопряженной системы при более высокой температуре. Таким образом, в зависимости от условий пиролиза формируются ядра УКТ, содержащие разнообразные полициклические углеводороды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савицкий, А. А.** Спектральные характеристики и применение углеродных квантовых точек, полученных термическим методом / А. А. Савицкий, Ю. С. Гайдук, П. А. Лойко // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. – Могилев: Белорус.-Рос.ун-т, 2018. – С. 156–157.*