

УДК 54.05+546.34

СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

С. Н. Карзан, В. В. Жилинский, В. В. Чаевский

Белорусский государственный технологический
университет, г. Минск

Ионно-литиевые аккумуляторы широко используются как коммерческие продукты из-за их высокой плотности энергии, быстрой скорости зарядки/разрядки и высокой производительности [1]. Наноконкомпозиты графен- Fe_3O_4 демонстрируют высокую обратимую емкость, хорошую цикличность и высокую скорость перезарядки, что делает их многообещающим анодным материалом для высокопроизводительных батарей [2]. Наноконкомпозиты графена перспективны для применения в суперконденсаторах; присутствие графена в сетке полианилина изменяет структуру композита и может быть использовано в мощных суперконденсаторах для портативных устройств [3]. Целью данной работы был синтез углеродных наноматериалов (УНМ) в виде ультрадисперсного графита и графенов и исследование их структуры и свойств.

УНМ были получены методом плазмохимического синтеза с помощью установки (рис. 1, *а*), которая представляет собой диэлектрическую ячейку, выполненную из стекла, медный анод и катод, генератор высокого напряжения (до 30 кВ). Исходным материалом являлась графитово-водная суспензия с катализатором. Температура дуги в ячейке составляла ~ 11000 К, время синтеза от 20 мин (рис. 1, *б*).

Процесс происходил на поверхности суспензии, конечный продукт осаждался на стенках и электродной площадке.

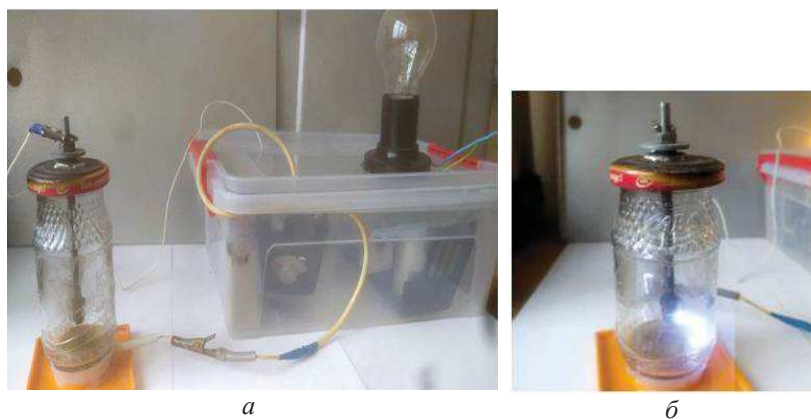


Рис. 1. Установка плазмохимического синтеза: ячейка и генератор (а), дуговой разряд в ячейке (б)

По окончании определенного времени установка выключалась, полученный продукт извлекался из ячейки с остатками графита, промывался и очищался от примесей исходного графита. Очистка УНМ проводилась путем нагревания материала в сушильном шкафу в среде воздуха при температуре 350 °С до прекращения изменения массы. Активация полученного материала проводилась в водных растворах NaOH с концентрациями до 5 М с разной скоростью развертки с целью повышения удельной площади поверхности, и, как следствие, повышения удельной электрической емкости. Для придания гидрофильных свойств УНМ с целью образования устойчивых дисперсий в полярных растворителях, а также для обеспечения возможности дальнейшей электрохимической активации, проводили модификацию их поверхности кислородсодержащими реагентами 6 М HNO₃.

Емкость полученных УНМ исследовалась методом циклической вольт-амперометрии (ЦВА) путем изучения ЦВА кривых, снятых при разных скоростях развертки в 1 М и 2 М NaOH. Морфология поверхности образцов была изучена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа MIRA 3 (TESCAN). Фазовый состав полученных материалов исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku).

Исследования морфологии поверхности и РСА полученных образцов (рис. 2) показывают, что синтезированные УНМ состоят в основном из ультрадисперсного графита.

Данные СЭМ (рис. 2, а) показывают наличие крупных частиц с достаточно большим расстоянием между ними, что является характерным для графита [4]. В процессе эксперимента на СЭМ-снимках при больших увеличениях можно было рассмотреть ультрадисперсный графит, что согласуется с исследованиями [4], которые показывают наличие на СЭМ-снимках при больших увеличениях (2500× и 5000×) множества стопок в структуре графита, что доказывает его слоистую структуру.

Данные рентгенограммы полученных УНМ (рис. 2, б) показывают типичную кристаллическую структуру графита с наличием острого и узкого пика ($2\theta = 26,5^\circ$), соответствующего дифракционной линии С (002). Графен в отличие от графита согласно исследованиям [4] имеет промежуточную структуру между кристаллической и аморфной с наличием значительно более широкой с низкой интенсивностью дифракционной линии С (002).

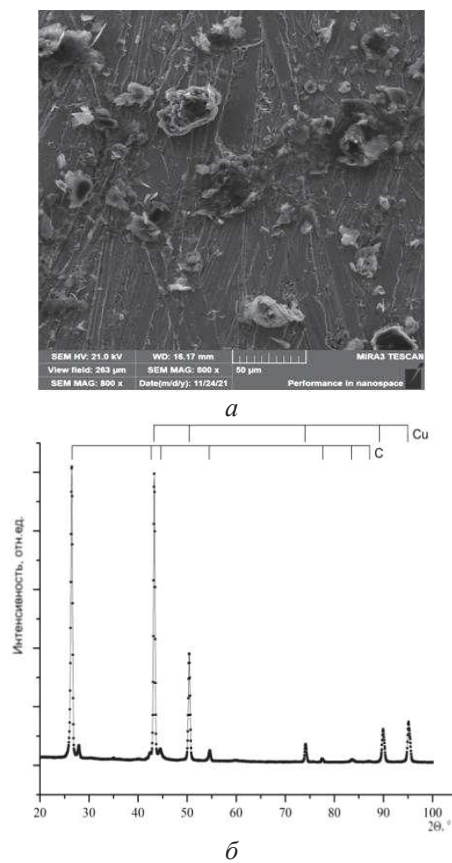
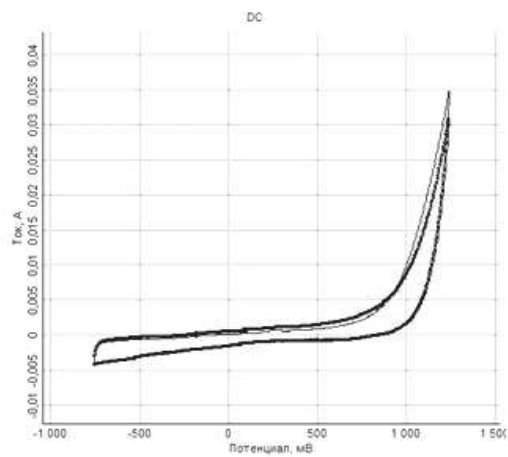


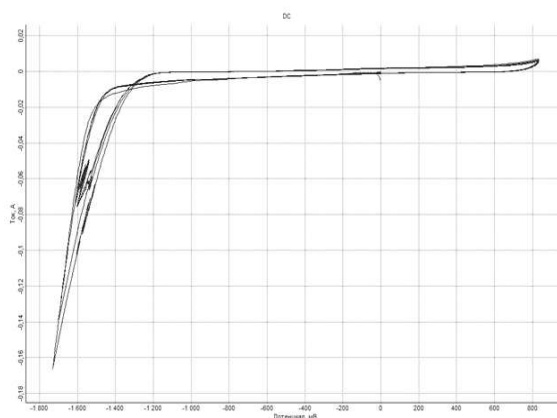
Рис. 2. СЭМ-снимок поверхности УНМ на подложке при увеличении 800× (а), рентгенограмма полученных УНМ на медной основе (б)

На рис. 3 представлены ЦВА кривые синтезированных УНМ при разных скоростях развертки и значениях емкости.

На ЦВА кривых отсутствуют явные пики сорбции/десорбции водорода, что выражает емкостные свойства материала, т. е. возможность применения его в качестве конденсаторов. Емкость полученных УНМ составила



a



б

Рис. 3. ЦВА УНМ: скорость развертки 0,005 В/с (*a*);
 скорость развертки 0,001 В/с, 5 циклов (*б*)

в максимуме 24 Ф/г (рис. 3, *a*). После проведенной активации максимальная зарядная емкость УНМ составила 560 Ф/г (рис. 3, *б*), что выше емкости обычного графита, исследованной в работе [5], и значительно превышает ем-

кость графена, применяемого для изготовления промышленных суперконденсаторов (от 250 до 350 Ф/г) [6].

Таким образом, использование полученных УНМ улучшает емкостные характеристики экспериментальных образцов, что позволит улучшить емкостные свойства суперконденсаторов.

Литература

1. Chatterjee S. Graphene-Based Polymer Nanocomposites / S. Chatterjee, B. T. T. Chu // *Graphene Science Handbook: Applications and Industrialization*. – Ch. 14, Vol. 65: Publisher: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016. – Nowick Place, London, SW1P 1WG.

2. Su J. Fe₃O₄-graphene nanocomposites with improved lithium storage and magnetism properties / J. Su, M. Cao, L. Ren, C. Hu // *J. Phys. Chem. C*: – 2011. – P. 14469–14477.

3. Graphene-conducting polymer nanocomposite as novel electrode for supercapacitors / H. Gómez [et al.] // *J. Power Sources*, 2011. – Vol. 196, No. 8. – P. 4102–4108.

4. New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets / R. Sibirian [et al.] // *Orient. J. Chem.*, 2018. – Vol. 34 (1). – P. 182–187.

5. de Jong K. P. Carbon nanofibers: catalytic synthesis and applications / K. P. de Jong, J. W. Geus // *Catal. Rev. – Sci. Eng.* – 2000. – Vol. 42, No. 4. – P. 481–510.

6. Иванова Н. П. Химические источники тока. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений по специальности 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств» / Н. П. Иванова, И. М. Жарский, В. В. Жилинский. – Минск: БГТУ, 2010. – 216 с.