

Карзан С.Н., Жилинский В.В., Чаевский В.В.  
(БГТУ, г. Минск, Беларусь)

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УНМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В настоящее время углеродные наноматериалы (УНМ), к числу которых принадлежат фуллерены, фуллериты и нанотрубки, вызывают большой интерес из-за своих уникальных свойств: термическая и химическая устойчивость, регулируемая фотолюминесценция, низкая токсичность, светостойкость, высокая теплопроводность и др. [1, 2]. Одной из основных целей применения таких материалов как фуллерены является использование их в суперконденсаторах. На сегодня рынок суперконденсаторов значительно вырос, достигая объемов продаж в 400 миллионов долларов в год, что привело исследователей к поискам новых технологических решений в этой области, в результате чего применение наноматериалов позволило значительно улучшить характеристики суперконденсаторов [3].

Среди УНМ графены являются одними из наименее изученных. Целью данной работы был синтез УНМ в виде ультрадисперсного графита и графенов, которые применяются при изготовлении суперконденсаторов [4].

УНМ получали методом плазмохимического синтеза с помощью установки, которая представляет собой диэлектрическую ячейку (рис. 1а), выполненную из стекла, медный анод и катод, генератор высокого напряжения постоянного тока (до 30 кВ). Исходный материал – графитоводная суспензия с катализатором. Температура дуги составляла ~11000 К (рис 1б), время синтеза от 20 мин. Ячейка заполняется до уровня метки исходным продуктом и закрывается. Затем выставляется искровой промежуток и включается генератор. Процесс происходит на поверхности суспензии, конечный продукт осаждается на стенках и электродной площадке. По прошествии определенного времени установка выключается, полученный продукт извлекается из ячейки с остатками графита, промывается и очищается (от примесей исходного графита).

Емкость полученных УНМ исследовалась методом циклической вольт-амперометрии (ЦВА) путем изучения ЦВА кривых, снятых при разных скоростях развертки в 2,5 М NaOH.

Морфология поверхности образцов была изучена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа “MIRA 3” TESCAN.

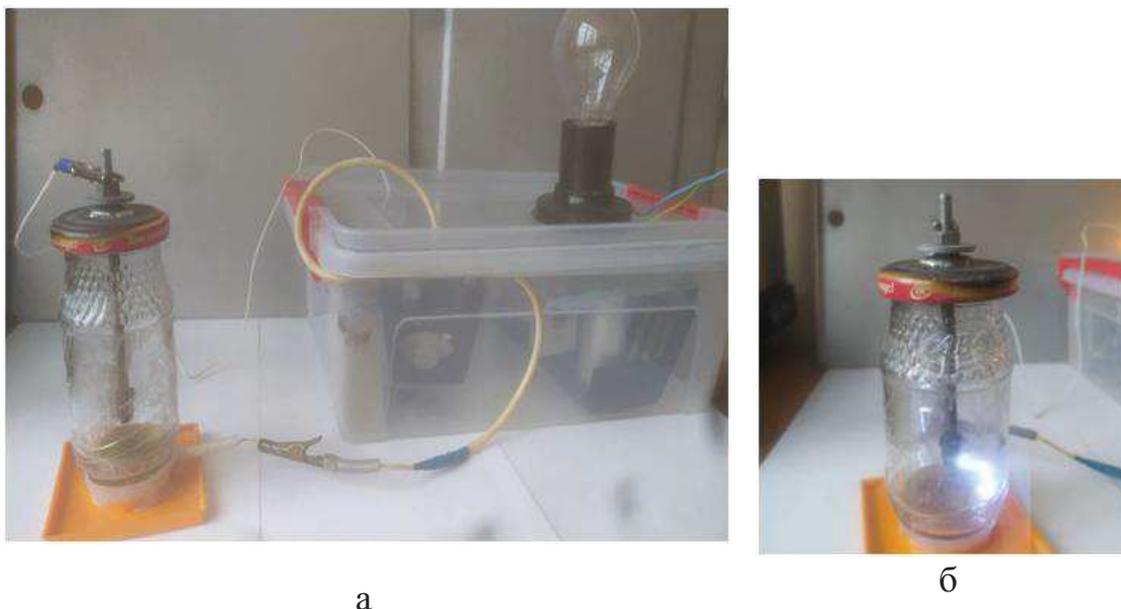


Рисунок 1 – Установка плазмохимического синтеза: ячейка и генератор (а), дуговой разряд в ячейке (б)

На СЭМ-снимке (рис. 2) поверхности УНМ видно, что УНМ имеют вид чешуек, которые являются графеном. Ультрадисперсный графит можно рассмотреть на СЭМ-снимках при больших увеличениях.

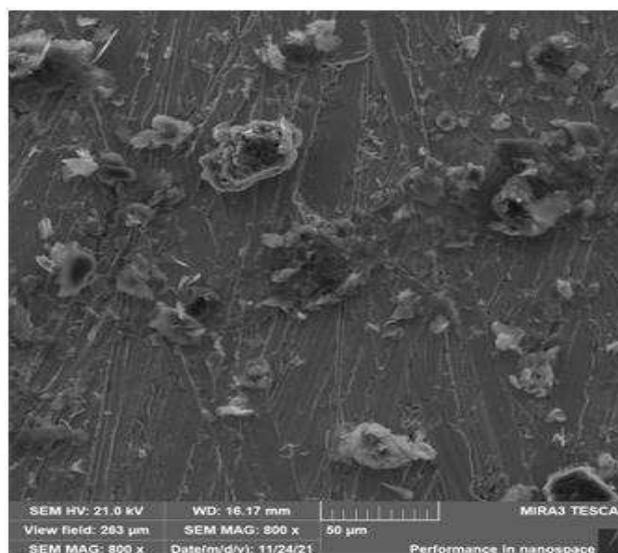


Рисунок 2 – СЭМ-снимок поверхности УНМ на подложке

На рисунках 3, 4 представлены ЦВА кривые синтезированных УНМ и значения емкости УНМ при разных скоростях развертки.

Пики в диапазонах  $-0,25 - 0,02$  В и  $0,06 - 0,22$  В (рис. 3 и 4, соответственно) соответствуют резкому скачку тока за счет адсорбции кислорода в прибазальной области.

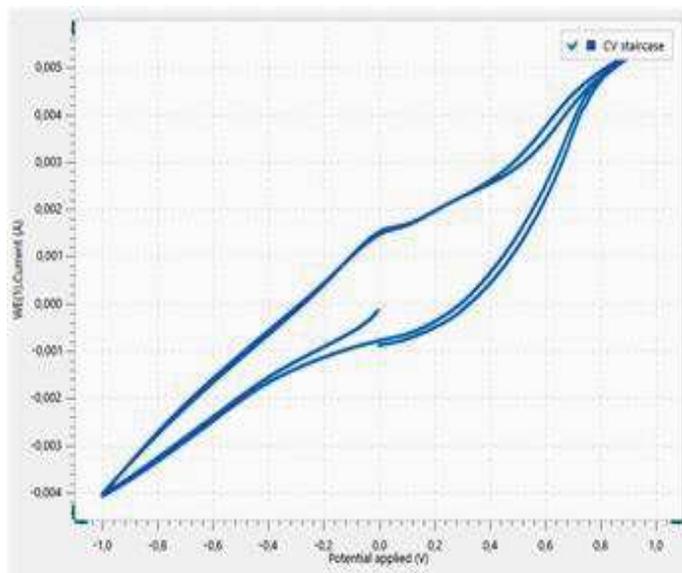


Рисунок 3 – ЦВА кривые полученных УНМ при скорости развертки  $0,005$  В/с, емкости  $2,54$  Ф/г, 2 цикла

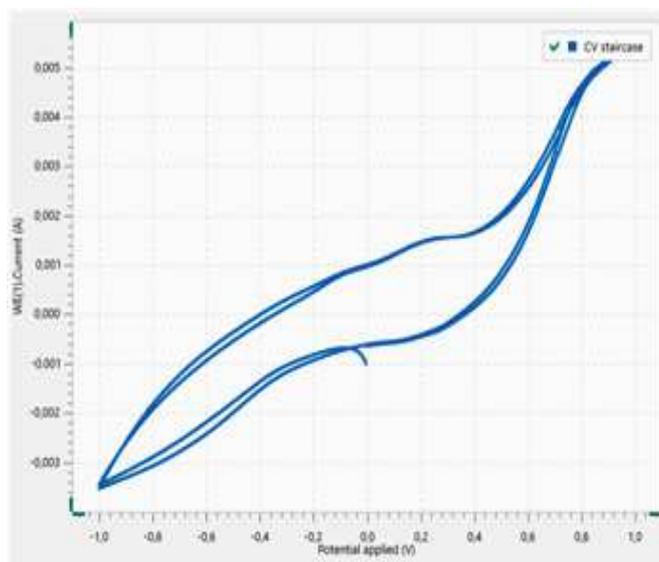


Рисунок 4 – ЦВА кривые полученных УНМ при скорости развертки  $0,0025$  В/с, емкости  $5,43$  Ф/г, 2 цикла

Данные ЦВА кривых показывают, что емкость полученных УНМ выше емкости обычного графита, исследованной в работе [5], т. к. значение емкости связано с средним значением силы тока по отношению к скорости развертки.

Если сравнить скорости развертки, использованные при снятии ЦВА кривых, то можно заметить, что при ее уменьшении (рис. 4) более четко просматриваются процессы, происходящие с исследуемым материалом: адсорбция кислорода, скачок тока на определенном промежутке потенциала и изменение емкости.

Таким образом, можно заключить, что УНМ влияют на базальный слой – происходит улучшение емкостных характеристик за счет нанесения УНМ на графит. Если подвергнуть УНМ глубокой очистке, функционализации или допированию азотом, то можно значительно повысить их емкость, что значительно улучшит емкостные свойства суперконденсаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харрис, П. Углеродные нанотрубки: синтез, свойства и применение / П. Харрис // ИФП СО РАН: Новосибирск. – Офсет-ТМ, 2016. – 220 с.
2. Кубрак, П.Б. Электрохимическое осаждение и свойства композиционных никелевых покрытий, содержащих углеродные наноматериалы / П.Б. Кубрак, В.Б. Дроздович, И.М. Жарский, В.В. Чаевский // Гальванотехника и обработка поверхности, 2012. – Т. XX, № 2. – С. 43-49.
3. N-Doped Carbon NanoWalls for Power Sources / N. Suetin [et al.] // Scientific Reports, 2019. – Vol. 9, iss. 1. – P. 6716.
4. Graphene-based electrochemical supercapacitors / S.R.C. Vivekchand [et al.] // J. Chem. Sci. Indian Academy of Sciences, 2008. – V. 120. – P. 9-13.
5. de Jong, K.P. Carbon nanofibers: catalytic synthesis and applications / K.P. de Jong, J.W. Geus // Catal. Rev. - Sci. Eng., 2000. – V. 42, № 4. – P. 481-510.