мощью конфокального профилометра S-Neox. ACM-исследование показало, что осадки золота, полученные в бесцианидном электролите, имеют более мелкозернистую структуру. Шероховатость покрытий золота толщиной 6 мкм имеет значения 62 и 92 нм, соответственно, в сульфитно-тиосульфатном и фосфатном цианидном электролитах золочения.

Покрытия золота, локально осажденные на исследуемые структуры в «окна» фоторезиста (МАР 1240) из бесцианидного электролита, имеют вертикальные стенки (рис. 1), что особенно важно, например, при формировании столбиковых выводов (бампов) на поверхности микросхемы.

Таким образом, слои золота, осажденные из бесцианидного сульфит-тиосульфатного электролита, по сравнению с цианидным фос-

## Список литературы

 Соколова Г.П., Чумакова Л.В., Баранова В.С. и др. // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы, 1980.– Вып.1.–№136.– С.92–101.

фатным, характеризуются меньшим размером зерна и шероховатостью осажденных слоев. Принимая во внимание влияние размера зерна осажденного золота на электрофизические характеристики контактов с барьером Шоттки [3], использование бесцианидного электролита золочения открывает новые перспективы в технологии производства полупроводниковых приборов. При локальном осаждении по маске фоторезиста могут быть получены контактные площадки с вертикальными стенками. Таким образом, замена цианидного фосфатного электролита на сульфит-тиосульфатный может быть использована также при формировании затворов рНЕМТѕ и столбиковых выводов, что является актуальным, учитывая тенденцию к миниатюризации микросхем.

- Liew M.J., Roy S., Scott K. // Green Chemistry, 2003.– №5.– P.376–381.
- 3. Akhtari-Zavareh A., Wenjie Li, Maroun F. et al. // J. Appl. Phys., 2013.– Vol.113.– P.063708.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Ю.3. Васильева, А.Я. Пак

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Я. Пак Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, yzv1@tpu.ru

Углеродные материалы, такие как фуллерены и углеродные нанотрубки (УНТ), относятся к классу новых наноструктур с широким спектром применения благодаря своим выдающимся физическим и электронным свойствам [1]. В частности, они применяются при изготовлении устройств полевой эмиссии [2], наконечников для сканирующего зондового микроскопа [3], наноэлектронных и оптоэлектронных устройств [4, 5], а также различных композитов [6].

Углеродные наноматериалы получают с применением различных физических явлений и техник, включая дуговой разряд [7], лазерную абляцию [8] и химическое осаждение из паровой фазы (CVD) [9]. Широкое распространение в последние годы получил метод электродугового синтеза в воздушной атмосфере [10].

Данная работа посвящена синтезу многослойных углеродных нанотрубок электродуговым методом в воздушной среде.

Для начала с помощью лабораторной установки, предназначенной для генерации дугового разряда постоянного тока, была проведена серия экспериментов. Основными элементами установки являются графитовые электроды, подключаемые к источнику питания постоянного тока. Электроды имели разную форму: анод в виде цилиндра, катод в форме тигля. Использовался вольфрам железный катализатор. Эксперимент проводился при токе 165 А и времени процесса 11,6 с.

Для каждого эксперимента были оценены масса электродов до и после эксперимента, пирометром оценивалась температура электродов, при помощи цифрового осциллографа регистрировались ток и напряжение.

На основе полученных в ходе выполнения эксперимента данных об изменении тока и на-



пряжения были построены типичные зависимости мощности и энергии плазменного разряда (рис. 1). Минимальное значение напряжения наблюдается в момент инициирования разряда и составляет 27,2 В, при этом ток увеличивается до своего максимального значения 165 А. В начальный момент времени и после окончания горения дугового разряда напряжение равно напряжению холостого хода источника питания – 60 В, ток разрядного контура равен нулю.

Установлено, что средняя мощность на рабочем интервале равна 7,5 кВт. В свою очередь, мощность обеспечивает энерговыделение в системе, равное 80,1 кДж за 11,6 с. Расчетным

## Список литературы

- 1. Imasaka K., et al. // Carbon, 2007.– 45.1. 132– 140.
- 2. Choi W.B., et al. // Applied Physics Letters, 2001.-78.-1.-154-159.
- 3. Wong S.S., et al. // Journal of the American Chemical Society, 1998.–120.–603–604.
- 4. Bockrath M., et al. // Science, 1997.– 275.– 1922–1925.
- 5. Fuhrer M.S., et al. // Science, 2000.– 288.– 494–497.

путем установлено, что на нагрев электродов было затрачено 25,2 кДж. Тогда с учетом того, что наибольшие потери энергии идут на нагрев электродов, можно утверждать, что на полезную работу – синтез материала, остается объем энергии не более 54,9 кДж. Так как исходная масса реагентов была равна 2 г., следовательно, удельный расход энергии составил 27,45 кДж/г.

Таким образом, в данной работе был выполнен плазмохимический электроразрядный синтез многослойных углеродных нанотрубок, проведен анализ полученных осциллограмм U(t), I(t), P(t) и W(t).

- 6. Thostenson E.T., et al. // Composites Science and Technology, 2001.–61.–1899–1912.
- Zhao T.K., et al. // Carbon, 2005.- 43.- 2907-2912.
- Yudasaka M., et al. // Journal of Physical Chemistry, 1999.– 103.– 6224–6229.
- 9. Zhao N.Q., et al. // Materials Research Bulletin, 2006.-41.-2204-2209.
- 10. Arora N., et al. // Diamond Relat. Mater, 2014.– 50.–135–150.

## ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТА МЕДИ (II), ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СООСАЖДЕНИЯ В ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕ

Я.А. Висурханова

Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан 100008, Казахстан, г. Караганда, ул. Алиханова 1, yakhashovda@mail.ru

Целью данной работы является изучение структурно-фазовых изменений феррита меди (II), происходящих при термической обработке и в ходе электрохимического восстановления на Cu-катоде, и электрокаталитической активности в электрогидрировании ацетофенона (АФ). Феррит меди (II) ( $CuFe_2O_4$ ) был получен методом соосаждения в среде этиленгликоля при 150 °C по методике в работе [1]. Мольное соотношение нитрата меди (II) и нитрата железа (III)