

дистой стали У8А. Для этой величины наблюдается однозначный ход зависимости от температуры нагрева под закалку, изменение величины $\delta_{Втр-Вг}$ с ростом температуры в области структурных превращений происходит со скоростью около 15 % на 100 °С.

Литература

1. ГОСТ 1435–99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общетехни-

ческие технические условия. – Введ. 2001.09.01. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 21 с.

2. Лахтин, Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М. : Машиностроение. 1980. – 493 с.

3. Короткевич, З.М. Прибор для измерения магнитной индукции ферромагнитных стержней в процессе импульсного намагничивания- перемагничивания / З.М. Короткевич и [др] // Приборостроение-2013: материалы 6-й МНТК; редкол.: О.К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013, с. 70–72.

УДК 541.136

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНА ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Шаронов Г.В., Корякин С.В., Гусаков Г.А., Михалёнок Е.В.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Миниатюризации электронных устройств и повышение их срока функционирования требует создания эффективных и компактных источников тока и накопителей энергии. Использование графена, обладающего высокой удельной поверхностью и высокой проводимостью, в качестве добавки на электродах химических источников тока позволяет существенно повысить кинетику электрохимических процессов.

В зависимости от исходного материала, условий синтеза, оксид графена и графен могут обладать различными физическими свойствами. Существует несколько методов получения графена [1]. Наиболее распространенным является последовательное получение оксида графена и его восстановление до графена.

Для получения оксида графена в основном используют хорошо отработанные методы Броди, Штауденмайера и Хаммерса [2]. Сущность этих методов заключается в длительной обработке графита в присутствии HNO_3 и сильного окислителя, такого как KClO_3 или KMnO_4 . При этом последний метод получения и его модификации является наиболее распространенным и позволяет получать оксид графена с различными физическими свойствами [3]. Процесс восстановления графена имеет важное значение, поскольку при этом процессе уникальные свойства графена восстанавливаются полностью или частично. Полное восстановление графена из оксида графена для применения в химических источниках тока является необязательной задачей [4].

Целью настоящей работы является отработка методики получения графенового материала для использования в химических источниках тока, изучение процессов получения, исследование свойств полученного материала.

В качестве исходного материала использовались препараты коллоидно-графитовые НПК и

водный В-1 производства ООО "ГРАФИТ" (Воскресенск). НПК и В-1 представляют собой стабилизированную водную суспензию высокодисперсного термографита с добавками стабилизатора и пленкообразующих веществ. Исходным материалом для них служит искусственный графит, получаемый по технологии термообработки из каменноугольного антрацита.

В качестве методов исследования использовались РЭМ, ИК- спектроскопия, КР-спектроскопия.

Процесс подготовки материала для получения оксида графена можно разделить на две стадии. Первая стадия включала в себя химическую обработку исходного материала: коагуляция исходной суспензии в при температуре ниже +5 °С, последующий отжиг при 800 °С в течение 5 часов, кипячение в HCl в течение 2 часов и промывка в воде.

Вторая стадия (интеркаляция) – отжиг в серной кислоте в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 3 часов.

Окисление проводилось методом Хаммерса: взрыв интеркалированного графита в присутствии NaNO_2 , H_2SO_4 и H_3PO_4 с добавлением KMnO_4 , перекиси водорода и NaOH на завершающей стадии процесса. Завершительными этапами окисления были центрифугирование, промывка, сушка.

Восстановление графена проводился термическим методом - отжиг в вакуумной печи при температурах выше 1000 °С в течение 1 часа.

На рисунке 1 представлено изображение поверхности полученного оксида графена. Материал представлял собой ажурную, пористую массу, составленную из тонких слоев оксида графена, беспорядочно ориентированных друг относительно друга. Насыпная плотность материала была в несколько раз меньше, чем исходного

графита. Микронзондовый анализ показал наличие кислорода в образцах, и его содержание варьировалось от 9 до 20 ат.% на разных участках образцов. Также выявлено незначительное количество других элементов, которые присутствуют в веществах, используемых при получении исходного материала и оксида графена. Это такие элементы как Cl, S, P, K, Mn, Fe.



Рисунок 1 – РЭМ изображение поверхности оксида графена

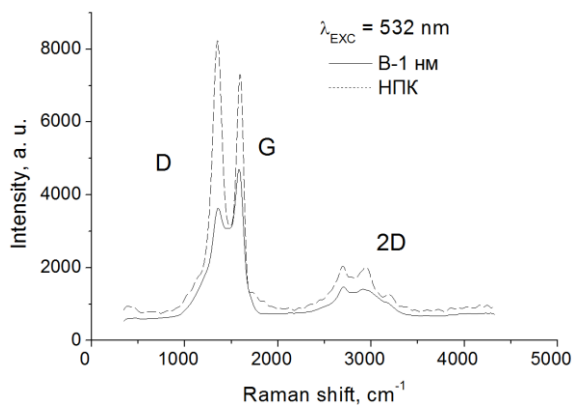


Рисунок 2 – КР спектры оксида графена

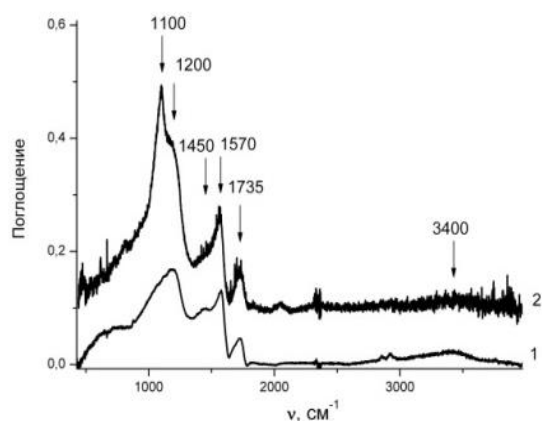


Рисунок 3 – Спектры ИК-поглощения: 1 – B-1; 2 – НПК

На рисунке 2 приведены КР-спектры оксида графена. Согласно литературным данным [5], в КР спектрах графита, оксида графена и графена

могут наблюдаться три наиболее интенсивные линии D, G, и 2D. Линия G на частоте $\sim 1582 \text{ cm}^{-1}$ характеризует графен в плоскости колебательной моды sp^2 . Данный параметр отображает степень кристаллизации материала. Линия D на частоте $\sim 1352 \text{ cm}^{-1}$ возникает в образцах с большим количеством структурных дефектов. Линия 2D ($\sim 2710 \text{ cm}^{-1}$) дает информацию об упорядочении графеновых слоев. Отношение интенсивностей линий D и G (I_D/I_G) характеризует степень структурного совершенства графена [6, 7]. Согласно спектров КР отношения (I_D/I_G) приблизительно равны 0.73 и 1.14 для материалов из препаратов B-1 и НПК, соответственно, и полученный материал является нанокристаллическим, в состав которого входят оксиды графенового материала.

На рисунке 3 приведены спектры ИК-поглощения после отжига в вакуумной печи.

Полоса с максимумом $\sim 3400 \text{ cm}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям гидроксильной группы (-OH). Полоса 1735 cm^{-1} соответствует колебаниям связи C=O в карбоксильной группе. Полосы 1450 и 1570 cm^{-1} могут соответствовать симметричным и асимметричным деформационным колебаниям ионизованной карбоксильной группы (-COO-). В этом же диапазоне проявляются полосы колебаний углеродного скелета в ароматических соединениях. Полоса с максимумом 1100 cm^{-1} соответствует колебаниям мостиковых групп (-C-O-C-) в составе простых эфиров. Плечо с максимумом $\sim 1200 \text{ cm}^{-1}$ может соответствовать колебаниям группы (=C-O-) в составе ароматических эфиров или колебаниям связи C-O в карбоксильной группе. В целом, приведенные выше спектры хорошо согласуются с приводимыми в литературе данными по ИК-поглощению оксида графена, структура поверхности которого описывается в соответствии со схемой приведенной на рисунке 4.

Следует отметить практически полное отсутствие гидроксильных групп и значительно большее содержание эфирных кислород содержащих групп для графита НПК по сравнению с графитом B-1.

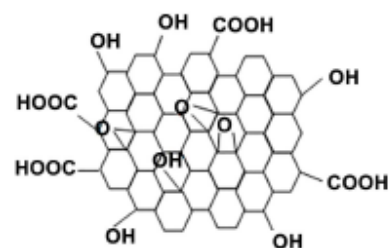


Рисунок 4 – Схема поверхности оксида графена [8]

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование коллоидно-графитовых препаратов на основе искусственного графита позволяет получить углеродные наномате-

риалы, которые могут быть перспективными при создании химических источников тока. В дальнейшем будет продолжен подбор исходного материала и отработка методики получения графена.

Литература

1. Формирование нанокремниевых пленок на поверхности SiC методом сублимации в вакууме / А.А. Лебедев, И.С. Котоусова, А.А. Лаврентьев, С.П. Лебедев, И.В. Макаренко, В.Н. Петров, А.Н. Титков // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 51. – С. 783-786.
2. Оптические и электрические свойства оксида графена / А.А. Бабаев, М.Е. Зобов, Д.Ю. Корнилов, С.В., Ткачев и др. // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, вып. 6. – С. 820–824.
3. Alam, S. Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO) / S. Alam, N. Sharma, L. Kumar // Graphene. – 2017. – no. 6. – P. 1–18.
4. Конакова, Р.В. Сравнительные характеристики спектров комбинационного рассеяния света пленок

графена на проводящих и полупроводящих подложках 6H-SiC / Р.В. Конакова, А.Ф. Коломыс, О.Б. Охрименко, В.В. Стрельчук и др. // Физика и техника полупроводников. – 2013. Т. 47, вып. 6. – С. 802–804.

5. Шульга, Ю.М. Углеродные наноструктуры, восстановленные из оксида графита, как материалы для электродов суперконденсаторов. / Ю.М. Шульга, Н.Ю. Шульга, Ю.Н. Пархоменко // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2014. – Т. 17, № 3. – С. 157–167.

6. Лебедев, А.А. Исследование пленок мультиграфена, получаемых на поверхности SiC методом сублимации / А.А. Лебедев, И.С. Котоусова, А.В. Лаврентьев, С.П. Лебедев и др. // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, вып. 4. – С. 779–805.

7. Ferrari, A.C. Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron–phonon coupling, doping and nonadiabatic effects. / A.C. Ferrari // Solid State Communications. – 2007. – no 143. – P. 47–57.

8. Pei, S. The Reduction of Graphene Oxide / S. Pei, H.M. Cheng // Carbon. – 2012. – Vol. 50. – P. 3210–3228.

УДК 621.9.22

ДИЗАЙН УКРАШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ С ОСОБЫМИ ЭСТЕТИЧЕСКИМИ КАЧЕСТВАМИ

Луговой В.П.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Ювелирные украшения содержат различные по размеру, форме и цвету вставки из драгоценных и недрагоценных камней. Красота подобных украшений во многом зависит от эстетических качеств самих камней. Для повышения этих качеств в настоящее время используют различные дизайнерские приемы и технические способы облагораживания и повышения декоративных качеств камней, используемых в качестве вставок, к которым можно отнести следующие методы:

- использование особых природных форм камней,
- нанесение покрытий на камни,
- различные методы облагораживания камней,
- инкрустирование природных и синтетических материалов по принципу «камень в камень» и пр.

Примером использования особых природных форм камней и изменяющимися окрасками в дизайне украшений являются такие камни, как турмалин. Он имеет изменяющуюся интересную окраску поверхности среди множества кристаллов. Турмалин насчитывает около 180 разновидностей простых форм, и все они, как правило, кристаллизуются в основном в дитригонально-пирамидальном классе тригональной сингонии, а также имеют характерную форму сферических треугольников в поперечном разрезе и вертикальную штриховку на поверхности.

Эстетические качества камней могут быть улучшены нанесением покрытий. Такой способ

применяется для облагораживания топазов. Топазы относятся к числу наиболее известных и популярных видов ювелирных камней из числа множества других различных цветных минералов и кристаллов. Топазы имеют редкие и красивые окраски высокого качества. Повышенный спрос на ювелирные украшения с вставками из топазов вызвал в настоящее время потребность в увеличении объемов их производства. Однако наряду с камнями хорошего качества, в природе встречается немалое количество минералов топаза, имеющих неяркую окраску и не столь привлекательных для ювелирных украшений. С целью изменения цвета бесцветных и недостаточно привлекательных топазов и их использования в качестве вставок в ювелирных украшениях применяют различные способы их облагораживания. К их числу относятся способы облучения, термообработки и их комбинаций.

В настоящее время известен ряд способов облагораживания топазов. Наряду с успешно применяемыми в настоящее время термическим методом и способом термообработки с последующим облучением в настоящее время нашли применение новые способы. К ним относятся диффузионная обработка, нанесение цветной пленки и окраска камней с помощью вплавленной цветной пленки.

Диффузионная обработка – относится к разновидности термического облагораживания для