

Министерство образования Республики Беларусь
учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.315.56; 661.669

Михновец
Любовь Александровна

Формирование и свойства насыщенного кислородом графена, содержащего
соединения меди

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника,
приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Радюк Дарья Владимировна
канд. физ.-мат. наук
ст. науч. сотрудник НИЛ 4.6

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Радюк Дарья Владимировна,**
кандидат физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник
НИЛ 4.6 «Интегрированные микро- и наносистемы»

Рецензент: **Хмыль Александр Александрович,**
доктор технических наук, профессор кафедры
электронной техники и технологии учреждения
образования «Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2019 года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 114, тел.: 293-89-92, e-mail: kafme@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Открытие графена привлекло широкое исследовательское внимание к изучению возможностей применения этого материала из-за его характерной структуры и необыкновенной совокупности физико-химических свойств [1].

Однако в течении последнего десятилетия в геометрической прогрессии увеличился интерес к оксидированному графену (далее ОГ), что подтверждается ежегодным количеством рецензированных работ, опубликованных по тематике “ОГ”, которые прошли путь от нескольких единиц с 2009 года до 80,644 в 2019 году, по “ОГ нанокompозитам с медью или его оксидом” – до 2,946, по “ОГ нанокompозитам с сульфидом меди” – до 193 и по “ОГ нанокompозитам с оксидом железа” – до 3,243 (данные взяты из Web of Science Citation Statistics Report) (рисунок 1).

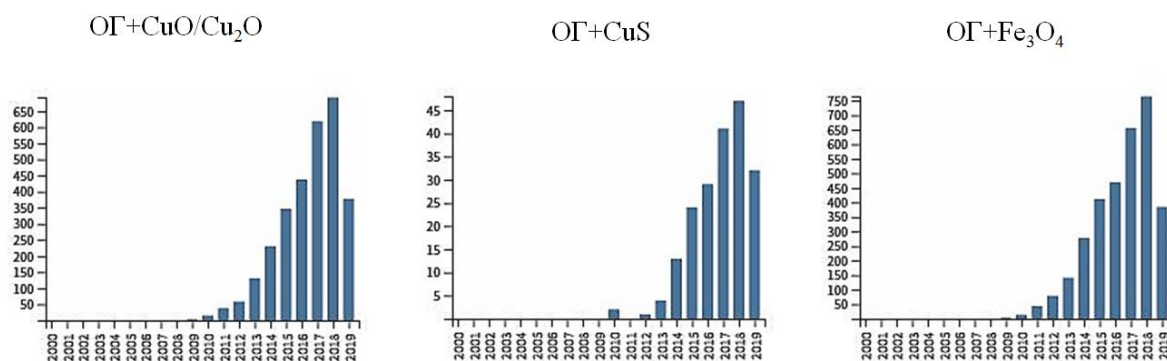


Рисунок 1 – Диаграммы распределения количества опубликованных работ по тематике “ОГ+CuO/Cu₂O”, “ОГ+CuS” и “ОГ+Fe₃O₄” в период с 2009 по 2019 г

Такой интерес можно объяснить разнообразными физико-химическими свойствами данного материала в отличие от многих других. ОГ сохраняет некоторые свойства графена, например, 2D-структура, однако приобретает также и свои уникальные особенности. Например, хорошая диспергируемость материала в воде и во многих других органических полярных и неполярных растворителях, которая обеспечивается наличием кислородсодержащих функциональных групп в ОГ [2]. Эти группы также изменяют тип гибридизации атомов углерода, в результате чего, ОГ становится электрическим изолятором. Функционализация ОГ может кардинально изменить его свойства, более того, этим процессом можно управлять, варьируя атомное C/O отношение в его структуре. Таким образом, модифицированный ОГ приобретает улучшенные свойства, что позволяет адаптировать его под конкретные научно-технические задачи.

Однако к недостаткам ОГ можно отнести: наличие сил межмолекулярного взаимодействия, обусловленных функциональными группами, которые препятствуют получению однослойных наноструктур. По этой причине, в отличие от графена, ОГ приобретает свойство диэлектрика и, как следствие, процесс переноса заряда вещества в нем затруднителен.

Таким образом, ОГ был выбран в качестве базового материала для исследований. Цель настоящей диссертации заключается в формировании ОГ и его функционализации с помощью соединений меди для наделения его свойством переноса заряда вещества.

В данной работе был предложен новый метод функционализации оксидированного графена, а также уникальный способ исследования процесса переноса заряда в нанокompозитном материале.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации.

Оксидированный графен (ОГ), в качестве исходного материала, представляет растущий интерес как для получения графена, так и для формирования уникальных нанокompозитов с улучшенными электронными, оптическими и многими другими свойствами.

Актуальной становится задача разработки эффективных методов синтеза таких нанокompозитов ОГ и исследование их улучшенных свойств.

Цель и задачи исследования. *Целью* диссертационной работы является: формирование нанокompозита оксидированного графена, содержащего соединения меди, изучение его физико-химических свойств.

Для достижения цели работы поставлены следующие *задачи*:

- сформировать оксидированный графен;
- разработать метод формирования нанокompозита оксидированного графена, содержащего медные соединения;
- разработать метод для эффективного обнаружения процесса переноса заряда вещества в синтезированном нанокompозите;
- изучить морфологию, фазовый и элементный состав, а также физико-химические свойства полученного нанокompозита;
- изучить процесс переноса заряда вещества на поверхности нанокompозита оксидированного графена.

Объект и предмет исследования. В качестве *объекта* исследования выбран насыщенный кислородом графен, содержащий соединения меди.

Предметом исследования выступают свойства этого материала, а также других получаемых нанокompозитов.

Основное положение диссертации, выносимое на защиту: Нанокompозит, сформированный на основе оксидированного графена, модифицированного $\text{CuS}/\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ наноструктурами с помощью акустической кавитации (интенсивность ультразвука 18 Вт/см^2), проявляет свойство фотолюминесценции в системе микросфер со структурой «ядро-оболочка», что объясняется излучательной рекомбинацией.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты получены соискателем самостоятельно. Во время работы над диссертацией соискателем был проведен синтез оксидированного графена и нанокompозита на его основе. Проведен синтез микросфер, содержащих полученный нанокompозит. Самостоятельно проведена характеристика экспериментальных образцов. В ходе работы соискатель также принимал участие в обсуждении полученных

результатов и подготовке научных материалов по тематике диссертационной работы.

Публикации. По материалам диссертации было опубликовано 4 работы: 3 из которых – статьи в рецензируемых научных журналах, 1 – тезис в сборнике докладов научной конференции.

Структура и объем диссертации. *Структура* диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, а также библиографического списка. Общий объем диссертации – 79 страниц. Работа содержит 7 таблиц, 29 рисунков. Библиографический список включает 102 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** описаны свойства оксидированного графена, а также нанокompозитов на его основе.

Во **второй главе** рассмотрена основная установка, ее калибровка и описана методика проведения экспериментов.

В **третьей главе** подробно рассмотрены методы характеристики полученного материала и приведены параметры использованных установок.

В **четвертой главе** проведен анализ свойств синтезированных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания магистерской диссертации был проведен анализ структуры ОГ, а также различных методик синтеза его нанокompозитов. На основе проведенного анализа был разработан и реализован уникальный метод функционализации ОГ.

В качестве базового материала для исследования был выбран ОГ. На его основе, с помощью нового метода синтеза, были получены нанокompозиты двух типов, которые обладали улучшенными проводниковыми свойствами благодаря наличию медных и железных фаз.

Затем, с помощью таких аналитических методов как спектроскопия комбинационного рассеяния, ИК-спектроскопия, энергодисперсионная спектроскопия и других, были охарактеризованы физико-химические свойства полученного нанокompозита. Было выявлено, что медные соединения в нанокompозите представлены такими фазами как CuS, CuO и Cu₂O.

Для изучения излучательной рекомбинации на границе CuS/Cu₂O/CuO-ОГ нанокompозита была предложена новая система представления вещества в виде микросфер с различными структурами «ядро-оболочка». Проведенный анализ спектров комбинационного рассеяния микросфер показал, что микросферы, оболочка которых состоит из нанокompозита ОГ, являются наиболее стабильными вне материнского раствора – поэтому они были выбраны для изучения свойства переноса заряда вещества.

Также, в ходе исследования микросфер было обнаружено, что микросферы, состоящие из масляного ядра и оболочки с ПВС@CuS/Cu₂O/CuO-ОГ нанокompозитом, проявляют свойство фотолюминесценции.

Далее была предложена система из микросфер и органических красителей, которые выступали своеобразной пробой для качественного наблюдения процесса излучательной рекомбинации. Было выявлено, что наличие серы в одном из красителей обусловило его взаимодействие с базальной плоскостью ОГ и способствовало индуцированию процесса рекомбинации. Это позволило сделать предположение о влиянии сульфида и других медных соединений на свойство рекомбинации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1-A.]Darya Radziuk, Lubov Mikhnavets, Mykhailo Vorokhta, Vladimír Matolín, Ludmila Tabulina, Vladimir Labunov / Sonochemical Formation of Copper/Iron-modified Graphene Oxide Nanocomposites for Ketorolac Delivery // Chem. Eur. J, 2019, 25 (24), 6233-6245

[2-A.]Petr Rozel, Darya Radziuk, Lubov Mikhnavets, Evgenij Khokhlov, Vladimir Shiripov, Iva Matolínová, Vladimír Matolín, Alexander Basaev, Nikolay Kargin, Vladimir Labunov / Properties of Nitrogen/Silicon Doped Vertically Oriented Graphene Produced by ICP CVD Roll-to-Roll Technology // Coatings, 2019, 9, 1-24

[3-A.]Darya Radziuk, Lubov Mikhnavets, Anastasia Tkach, Ludmila Tabulina, Vladimir Labunov, Sonochemically Assembled Photoluminescent Copper-Modified Graphene Oxide Microspheres. Langmuir, 2018, 34, 8599-8610

[4-A.] The reduction of graphene from graphene oxide / V. Labunov and others // Nano-design, technology, computer simulations: proceedings of 17th International workshop on new approaches to high –tech (26-27 October, 2017). – Minsk : BSUIR, 2017. – C.49 - 51.