

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Капитановой Олеси Олеговны «Наноструктуры с резистивным переключением на основе оксида графена», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.21-химия твердого тела и 01.04.07-физика конденсированного состояния

Актуальность выбранного направления связана с возможностью создания низкоразмерных ячеек резистивной памяти и, как следствие, преодоления размерного эффекта.

В связи с этим целью данной работы стала разработка методов формирования наноструктур на основе оксида графена в вертикальной и планарной геометриях с использованием как металлических электродов, так и электродов из графена и оксида цинка и определение механизма резистивного переключения в этих структурах.

Из данной цели логично вытекают задачи работы:

1. Синтез оксида графена различными способами (окислением и расслоением графита), окислением графена через маску с помощью кислородной плазмы, а также с помощью фотокаталитического окисления с наночастицами оксида цинка.
2. Восстановление оксида графена, а также его модификация хлоридом железа (III) для контролируемого изменения электрических свойств и характеристик резистивного переключения.
3. Отработка методики переноса графена, полученного методом газофазного осаждения на медной фольге, на различные подложки.
4. Синтез нанокристаллов оксида цинка различной морфологии и исследование их структурных и оптических свойств.
5. Определение морфологии, состава и электрофизических свойств наноматериалов и наноструктур, полученных из оксида графена, графена и нанокристаллов оксида цинка.
6. Изготовление структур на основе оксида графена и «графена/нанокристаллов ZnO» в вертикальной и планарной геометриях с использованием фото- и электронной литографии.

7. Исследование транспорта носителей заряда и эффекта резистивного переключения в сформированных наноструктурах из оксида графена, «графен/оксид графена/стержни ZnO».

Представленная работа состоит из шести глав: 1) введение, 2) обзор литературы, 3) экспериментальная часть, 4) результаты и обсуждение, 5) выводы и 6) список литературы.

Во введении явно прослеживается актуальность работы, сформулированы цель и задачи.

В обзоре литературы приведен подробный анализ работ, посвященных синтезу и исследованию физико-химических свойств низкоразмерных материалов (графен, оксид графена) и гетероструктур на их основе в зависимости от условий получения. Особое внимание во второй главе уделяется эффекту резистивного переключения в различных веществах, включая оксид графена. Описаны возможные механизмы резистивного переключения в исследованных структурах на основе оксида графена. Обзор завершается выводами из анализа литературы, которые обосновывают постановку цели и задач диссертационной работы.

Экспериментальная часть посвящена методическим аспектам исследования. Приводятся методики синтеза оксида графена, способы формирования структур на его основе и подбор оптимальных условий для получения таких структур. Подробно описан широкий набор физико-химических методов анализа свойств полученных образцов, таких как просвечивающая и растровая электронные микроскопии, атомно-силовая микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, дифференциально-термический и термогравиметрический анализы, спектроскопии поглощения в УФ-видимой и ИК области, мессбауэровская спектроскопия, катодоллюминесценция, вольтамперные измерения, локальный метод измерения с пространственным разрешением в режиме наведенного электронным пучком тока в сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения.

В четвертой главе представлены результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, и их обсуждение.

Список литературы содержит 134 наименования и показывает глубокое представление автором литературных данных, касающихся предмета исследования.

Все полученные результаты обладают как фундаментальной новизной, так и практической направленностью.

К **наиболее научно значимым и новым результатам** относятся

1. Впервые предложенный метод формирования наноразмерных структур «графен/оксид графена» с использованием локального фотокаталитического окисления графена с наночастицами оксида цинка без применения фото- или электронной литографии.

2. Разработка метода локального восстановления оксида графена с использованием электронно-стимулированного отжига для формирования наноразмерных структур «восстановленный оксид графена/оксид графена» прямым экспонированием сфокусированным электронным пучком.
3. Определение транспортных свойств структур на основе оксида графена, обработанных электронным пучком и модифицированных хлоридом железа (III). Показано, что такая обработка приводит к дырочной проводимости с высоким значением концентрации дырок $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$.
4. Изготовление вертикальных наноструктур «графен/оксид графена/наностержни ZnO» с эффектом резистивного переключения с возможностью произвольного доступа к отдельному переключающему элементу.
5. На основании анализа транспортных измерений исследуемых наноструктур и данных, полученных методом наведенного тока, установлено, что наблюдаемый эффект резистивного переключения связан с процессом электромиграции кислородных групп, в результате которого в оксиде графена образуются барьерные и проводящие области.

Практическая ценность результатов работы заключается в разработке автором наноструктур с резистивным переключением на основе оксида графена с возможностью их применения в качестве низкоразмерных элементов резистивной памяти для гибкой и прозрачной нанооптоэлектроники.

Цель и задачи работы, способы решения и полученные результаты свидетельствуют о том, что диссертация О.О. Капитановой вносит существенный экспериментальный вклад в актуальное направление современных исследований графеники. Полученные данные **надежны и достоверны**. Интерпретация, основные выводы и заключения, полностью обоснованы.

Следует отметить, что диссертация хорошо оформлена, написана четко и лаконично, ясно прослеживается логика исследования, иллюстративный материал информативен. Работа в целом является тщательно подготовленным, аккуратно проведенным, законченным научным исследованием.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

С.53 Метод 3 не указывается - кем предложен?. Далее - в методах анализа не указано -Что конкретно делалось автором?

На С.85 - желательно было привести методику оценки величин концентрации дырок.

На С. 87 сказано «В данной работе были изготовлены структуры на основе ОГ с платиновыми электродами», но подробно методика изготовления не описана.

На С.100 сказано «Из состояния высокого сопротивления (СВС) структура переходит в состояние низкого сопротивления (СНС) и обратно (более 100 переключений) с малым разбросом переключающих напряжений ($\pm 0.1\text{В}$)», но для реального использования нужно бы провести испытания хотя бы до 10^5 переключений.

На Рис. 116. РЭМ изображение микроструктуры «графен/оксид графена /стержни ZnO» (поперечное сечение) не указано, где графен и оксид графена.

Приведенные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации. Работа прошла весомую апробацию – 14 докладов на международных и российских научных конференциях. По результатам работы опубликовано 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также получено 2 патента на изобретение.

Диссертационная работа О.О. Капитановой: «Наноструктуры с резистивным переключением на основе оксида графена» обладает всеми необходимыми элементами: актуальность, достоверность, новизна, научная и практическая значимость результатов, и отвечает всем квалификационным признакам ВАК РФ для кандидатских диссертаций. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальностям 02.00.21- химия твердого тела и 01.04.07 – физика конденсированного состояния, в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), и ее автор Капитанова Олеся Олеговна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.21- химия твердого тела и 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Чернозатонский Леонид Александрович

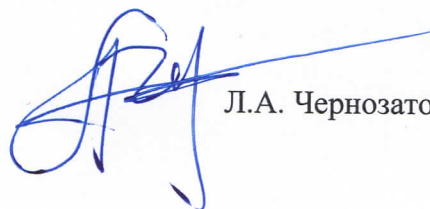
доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник отдела новых методов
биохимической физики Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

119334, Россия, Москва, ул. Косыгина, 4.

Телефон: 8(495) 9397172

Электронная почта: cherno@sky.chph.ras.ru

26.12.2014



Л.А. Чернозатонский

