

ОТЗЫВ

на диссертацию Куркиной Ирины Ивановны

«Тонкие пленки из суспензии фторированного графена: создание, свойства и перспективы применения», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность и новизна темы диссертационного исследования

В диссертации Куркиной Ирины Ивановны представлены новые результаты по созданию пленок фторированного графена с варьируемыми свойствами в зависимости от степени фторирования и перспективному применению пленок фторированного графена в качестве диэлектрических слоев в гибкой электронике, а также использованию суспензий фторграфена в качестве основы для чернил печатной электроники. Научный интерес в этом направлении обусловлен приближением современных кремниевых технологий к своему пределу, в связи с чем идет всестороннее исследование новых материалов, пригодных для создания потенциальных электронных устройств в традиционной, а также интенсивно развивающихся областях наноэлектроники, таких как гибкая и печатная электроника.

Значительная часть диссертации посвящена экспериментам по определению взаимосвязи между степенью фторирования графена в суспензии и свойствами пленок фторграфена. Автором найдено три области степени фторирования, при достижении которых изменяются электрические свойства таких пленок, созданных из суспензии. Электрические свойства пленок фторграфена изменяются от проводящих, демонстрирующих впервые отрицательное дифференциальное сопротивление (через эффект резистивного переключения) до изолирующих. Впервые исследованы пленки, созданные из суспензии фторграфена, при растягивающих деформациях, возникающих при изгибе. Выявлено, что свойства таких пленок начинают меняться при радиусе изгиба около 2 мм, т.е. тонкие пленки практически сгибаются пополам. Данные исследования являются важными для применения суспензии фторграфена в качестве перспективного материала для гибкой электроники.

Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 131 странице и состоит из четырех глав. В Главе 1 представлен обзор основных работ, посвященных свойствам графена и фторграфена, используемых методам его создания и применению. Рассмотрены достоинства и недостатки различных методов получения фторграфена и методы исследования и характеризации получаемых пленок. Выявлены основные проблемы, существующие при изготовлении суспензий в целом и суспензий для печатной электроники, в частности. Обсуждается важная задача создания диэлектрических пленок, которые способны обеспечить качественную границу графен/диэлектрик, и тем самым улучшить транспорт носителей в графене. Таким образом, обоснован выбор основных направлений исследования, экспериментальных методик и поставлены цель и задачи исследования. В Главе 2 представлено описание методов создания исследуемых материалов, используемого оборудования и методик исследования. В Главе 3 описаны экспериментальные результаты исследования структурных и электрических свойств пленок, созданных из фторированной графеновой суспензии в зависимости от степени фторирования. В Главе 4 представлен анализ перспектив использования фторированного графена для конкретных приложений и, прежде всего, в качестве диэлектрических пленок для гетероструктур. Особый акцент сделан на возможности использования пленок фторированного графена для гибкой электроники.

В процессе выполнения работы диссертантом получены важные результаты:

- Показана возможность варьировать свойства пленок фторированного графена за счет изменения времени и степени фторирования графеновых частиц суспензии в процессе разработанного метода фторирования в водном растворе плавиковой кислоты. Показано, что размеры исходных графеновых частиц определяют время фторирования, требуемое для появления у пленок диэлектрических свойств.
- Экспериментально созданы простые структуры, содержащие пленку фторграфена с относительно низкой степенью фторирования (до 25%), на вольт-амперных характеристиках которых впервые обнаружены участки отрицательного дифференциального сопротивления. Установлено, что положение и количество пиков ОДС контролируется путем изменения степени фторирования. Это связано с изменением размеров островков графена и ширины барьеров из фторированных областей в мультибарьерной системе графен/фторографен.
- Обнаружено, что пленки, полученные из фторированной графеновой суспензии со средней степенью фторирования (25-30%), демонстрируют эффекты резистивного переключения, которые коррелируют с наличием ловушек для носителей заряда в пленках фторированного графена
- Показано, что чернила на основе суспензии фторированного графена могут быть использованы для создания тонких диэлектрических слоев методом 2D печати. Выявлено, что полностью напечатанные структуры демонстрируют диэлектрические свойства (напряженность поля пробоя, токи утечки и др.), превосходящие таковые для пленок фторграфена, нанесенных на подложку другими способами
- Установлено, что пленки из фторированной графеновой суспензии выдерживают растягивающие деформации, возникающие при изгибе, без заметных изменений своих свойств до радиусов изгиба 2 – 2,5 мм для изолирующих и высокоомных пленок.

Достоверность полученных результатов подтверждается высоким уровнем используемого экспериментального оборудования, применением современных методов обработки при анализе результатов, воспроизводимостью результатов экспериментов.

Основные результаты диссертации были представлены на всероссийских и международных конференциях, опубликовано 6 тезисов в материалах и сборниках трудов конференций. Основные положения работы опубликованы в рецензируемых научных журналах в 9 статьях, в том числе 8 из них изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ и входящих в базы данных Web of Science и Scopus.

Результаты, полученные соискателем, обладают практической значимостью:

- В зависимости от требуемых параметров пленок фторированного графена метод фторирования в водном растворе плавиковой кислоты позволяет выбирать время фторирования и параметры частиц исходных суспензий.
- Вариация степени фторирования позволяет настраивать свойства пленок фторированного графена. Результаты исследования электрических свойств показывают, что пленки фторированного графена можно исследовать в качестве материала, с применением которого можно создать генератор высокой частоты, элементы логических и запоминающих устройств, когда вольт-амперные характеристики (ВАХ) пленок демонстрируют отрицательное дифференциальное сопротивление; энергонезависимой мемристорной памяти, если на ВАХ пленок наблюдается эффект резистивного

переключения; диэлектрические слои и защитные покрытия, когда степень фторирования достаточно высока, и пленки фторированного графена переходят в изолирующее состояние.

- Суспензии фторграфена перспективны в качестве материалов чернил для струйной печати компонентов электронных схем на твердых и гибких подложках.
- Пленки фторграфена, демонстрирующие возможность выдерживать изгиб без серьезных изменений в свойствах до малого радиуса изгиба, являются перспективным материалом для гибкой электроники.

В качестве замечания можно выделить следующее:

1. В работе не представлено полное описание процесса взаимодействия плавиковой кислоты с графеном в процессе фторирования разработанным методом.
2. Эффекты переключения и явление отрицательного дифференциального сопротивления встречаются для 3D неупорядоченных систем. Пленки фторированного графена, по-видимому, являются поликристаллами, причем двумерными мелкозернистыми. Таким образом, диссертационное исследование описывает известные ранее для 3D систем эффекты для двумерных неупорядоченных систем. Желательно дать сравнение и связь этих 3D и 2D систем.
3. Имеются опечатки, например, на с. 6 «Данный метод имеет проблему, который...» и др.

Отмеченные недостатки не снижают качество работы и не влияют на основные результаты диссертации.

Диссертация «Тонкие пленки из суспензии фторированного графена: создание, свойства и перспективы применения», удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Куркина Ирина Ивановна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

19 декабря 2019 г.

Официальный оппонент:

Чернозатонский Леонид Александрович,
д.ф.-м.н., проф. г.н.с. Отдела новых методов
биохимической физики ФГБУН Института
биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
Тел.: 84959397172
e-mail: cherno@sky.chph.ras.ru

Собственноручную подпись
сотрудника Чернозатонского Леонида Александровича
удостоверяю Засекина Евгения Геннадьевича

