

Отзыв

Пака Александра Яковлевича

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.03 на диссертационную работу

Прокопьева Айсена Руслановича «Синтез и исследование свойств тонких углеродных пленок, полученных методом осаждения в плазме CH_4 и последующей термообработкой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния

Актуальность работы

Перспективы использования тонких наноструктурированных углеродных пленок определяется комплексом их физико-химических и физико-механических характеристик. Значительный интерес вызывает направление, связанное с развитием оптоэлектроники, где подобные материалы могут быть полезны в качестве элементной базы электронных компонентов. Технологические ограничения процессов синтеза углеродных пленок известны, и касаются во многом высокой стоимости научного и технологического оборудования, высокими энергозатратами и низкой производительностью. Предложенная в диссертационной работе методика базируется быстрых и технологически простых двух этапах, позволяющих получать углеродные пленки, схожие по характеристикам материалам, синтезированным методами осаждения (CVD, PECVD). В этой связи представленная работа представляется актуальной. Отдельно следует отметить, что вопрос переработки метана в ходе процесса синтеза пленок также актуален ввиду его значительного количества в составе газообразных отходов производств нефтегазового сектора, а также ввиду его негативного воздействия на атмосферу земли в случае значительного повышения концентрации.

Работа ставит целью получение углеродных пленок оригинальной разработанной методикой и исследование структуры, электрических и оптоэлектронных свойств.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 137 страниц, включая 53 рисунка, 24 таблицы, 189 библиографических источников и 1 приложение.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи диссертации, описаны научная новизна, а также научная и практическая значимость.

В первой главе приводится информация обзорного характера в области известных кристаллических фаз углерода, наноматериалов на их основе. Описаны методики получения этих материалов, особое внимание уделено плазменным методам осаждения пленок. На основе проведенного литературного обзора представлена ставится цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена описанию методов исследования. Представлены сведения об экспериментальном стенде, на котором производился синтез углеродных пленок. Представлены сведения о рабочих режимах, условиях получения материалов. Описаны методики используемых аналитических методик.

В третьей главе представлено описание результатов исследования структуры формируемых пленок в зависимости от параметров и условий процесса получения (мощность и длительность воздействия, температура и длительность отжига). Структура пленок была исследована методами АСМ, СЭМ, РЭДС, КРС и ИК-Фурье микроскопии. Проведен анализ полученных результатов.

Четвертая глава посвящена исследованию электрических и оптоэлектронных свойств сформированных углеродных пленок.

В заключении приведены кратко сформулированные основные результаты работы и выводы.

В диссертации сформулированы следующие положения, выносимые на защиту:

1. Новая методика синтеза (осаждение в плазме CH_4 и последующая термообработка) углеродных пленок позволяет получать структуры толщиной до 150 нм непосредственно на поверхности твердотельных подложек.
2. Термообработка в диапазоне от 650 °C до 750 °C аморфных углеродных пленок, осажденных на твердотельные подложки, приводит к формированию нанокристаллов преимущественно графитовой структуры с латеральными размерами от 5 до 20 нм.
3. Углеродные пленки, сформированные на твердотельных подложках, имеют линейную зависимость логарифма электрического сопротивления от температуры как $1/T$ в диапазоне температур от 200 °C до -70 °C и зависимость сопротивления как $1/T^{1/2}$ в диапазоне от -70 °C до -193 °C.
4. Из углеродных пленок, осажденных на твердотельные подложки, возможно создание фотосенсоров, чувствительных в оптическом диапазоне.

Работа характеризуется рядом пунктов научной новизны, которые могут быть сформулированы следующим образом:

1. Модернизирована плазменная методика получения углеродных пленок последовательным двухэтапным синтезом со следующими условиями: осаждение атомов углерода (при $T < 50$ °C) в индуктивно-связанной плазме (150-200 Вт) метана при потоке 30 см³/мин с последующей термообработкой при температурах от 650 °C до 800 °C в атмосфере аргона.
2. Впервые показано, что пленки, сформированные предложенной методикой, после термической обработки от 650 °C до 700 °C имеют при низких температурах (меньше, чем -70 °C) механизм прыжковой проводимости в соответствии с законом Эфроса-Шкловского для двумерных систем.
3. Использование температуры термообработки 700 °C в процессе синтеза позволяет получать углеродные пленки на подложках Si с максимальной фоточувствительностью 55 мА/Вт.

В целом, защищаемые положения, научная, практическая новизна и значимость работы достаточно хорошо подтверждены проведенными в работе исследованиями. Исследования были выполнены с использованием уже хорошо зарекомендовавших себя современных методов и оборудования.

Имеются следующие замечания по работе:

1. В работе не используются методы рентгеновской дифрактометрии, что в общем-то понятно в связи с техническими сложностями съемки тонких пленок, тем не менее такие методики существуют.
2. В диссертации присутствуют «пустые места», переносы рисунков и таблиц с листа на лист, что является некоторым недостатком оформления (например, с. 53-55).
3. Автореферат диссертации в целом отражает ее содержание, однако при этом объем сутевой части автореферата 14 листов, а с учетом списка используемых источников и списка публикаций соискателя – 19 неполных листов; неясно, почему соискатель намеренно занижил объем содержательной части автореферата.
4. В некоторых местах при округлении величин и указании отклонений и доверительных интервалов сравниваемые значения содержат различное количество знаков после запятой. Например, размер доменов, на одном типе образцов указан с точностью до 1 нм, в другом – 0,1 нм. И в этом случае также следует пояснить, с какой точностью возможно физически определить размеры доменов?

Изложенные выше замечания по работе не снижают высокой оценки полученных соискателем результатов и значимости диссертационной работы в целом.

Результаты работы обсуждены на международных и всероссийских конференциях различного уровня. По теме работы опубликовано 20 трудов, 8 из них индексируются в рецензируемых отечественных и международных базах данных, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертации (ВАК, БД Web of Science, Scopus). Получен патент РФ на изобретение, получен акт внедрения в образовательный процесс. Требования к публикации основных научных результатов диссертации выполнены в полном объеме.

Диссертация по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует пунктам: 1. «Экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», 3. «Экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ» и 6. «Установление закономерностей влияния технологии получения и обработки материалов на их структуру, механические, химические и физические свойства, а также технологические свойства изделий, предназначенных для использования в различных областях промышленности и медицины» паспорта научной специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния (технические науки).

Автореферат отражает основное содержание диссертации и опубликованных работ.

Считаю, что диссертационная работа Прокопьева Айсена Руслановича «Синтез и исследование свойств тонких углеродных пленок, полученных методом осаждения в плазме CH_4 и последующей термообработкой» является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет п. 2.1 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», а ее автор, Прокопьев Айсен Русланович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния.

Дополнительный член
диссертационного совета ДС.ТПУ.03
доктор технических наук, заведующий
лабораторией перспективных
материалов энергетической отрасли,
федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет», г. Томск.

Адрес: 634050, г. Томск, проспект
Ленина, 30 Тел.: +7 (3822) 701777

Е-mail: avapak@tpu.ru

Согласен на обработку персональных
данных

Подпись Пака А.Я. заверяю:
Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ
ТПУ

Кулинина Екатерина Александровна

19.09 2023 года