

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.03

Лысенко Елены Николаевны

на диссертацию 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 темы диссертационной работы

Тонкие углеродные покрытия, обладающие одновременно алмазоподобной и графитоподобной фазами, перспективны для применения в качестве электропроводящих покрытий и светочувствительных материалов. Поэтому разработка новой методики синтеза таких материалов является весьма актуальной.

Общая методология и методики исследования соответствуют современному уровню развития науки и техники, используемые подходы к решению поставленных задач научно обоснованы.

Объём диссертационной работы 137 страниц и включает 53 рисунка и 24 таблицы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и терминов, списка литературы (189 источников) и одного приложения.

Цель диссертационной работы состояла в разработке методики синтеза и исследование свойств тонких углеродных пленок.

Успешному достижению заявленной цели работы способствовали грамотно поставленные задачи и последовательность в методологии исследования.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показана степень разработанности тематики, сформулированы цели и задачи, представлена научная и практическая значимость результатов работы.

В главе 1 «Обзор современной литературы» обобщены литературные данные о структуре, свойствах, применению и способах получения углеродных пленок. Подробно описаны механизмы формирования углеродных пленок в методах плазменного осаждения в метане.

Во второй главе «Материалы и методы» приведено описание методики синтеза тонких углеродных пленок, полученных осаждением атомов углерода в плазме метана и последующей термообработкой. Описаны основные характеристики экспериментальных оборудований и лабораторных установок. Приведено технико-экономическое обоснование методики синтеза тонких углеродных пленок осаждением в плазме метана и термообработки.

В третьей главе «Структура углеродных пленок, сформированных осаждением в плазме метана и термообработкой» представлено исследование морфологии углеродных пленок, полученных осаждением в плазме метана при разной мощности разряда плазмы и различной длительности осаждения. Приведены результаты влияния термообработки на морфологию сформированных углеродных плёнок. Показано, что после проведения первого этапа синтеза, основанного на осаждении в плазме метана, образуется аморфная гидрогенизированная пленка (a:C-H) толщиной от десятков до 300 нм в зависимости от длительности и мощности осаждения. После последующего отжига толщина пленок

Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности.

По тематике, объектам и области исследования, разработанным автором новым научным положениям, научной и практической значимости, диссертация соответствует научной специальности 1.3.8 - физика конденсированного состояния (технические науки) согласно следующим пунктам паспорта: п.1 «Экспериментальное изучение физической природы и свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и, в том числе, материалов световодов как в твердом (кристаллы, поликристаллы), так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», п.2 «Изучение экстремального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие и высокие температуры)», п.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».

Замечания по диссертации

По диссертационной работе и тексту автореферата диссертации следует высказать несколько критических замечаний:

1. В работе не проведены исследования фазового состава синтезированных пленок рентгенофазовым анализом, что заметно ослабляет приведенные выводы о структуре и составе пленки.

2. При проведении технико-экономической оценки использовались сильно устаревшие данные по стоимости оборудования, что затрудняет сделать однозначный вывод об экономической эффективности разработанной методики.

3. В п. 3 научных положений не раскрыто положение «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» вследствие отсутствия данного графика в тексте диссертации и автореферата.

4. В тексте диссертации указано, что толщины полученных пленок, в зависимости от условий плазменного процесса, составляли от 40 до 300 нм. В то время как на графике рис. 3.3 присутствуют экспериментальные точки по образцам с меньшей, чем 40 нм толщиной. По каким причинам такие данные были исключены из дальнейших исследований.

5. Не совсем понятен вывод по 3 главе (с. 91 диссертации) в части формирования на поверхности сформированных углеродных пленок кристаллитов с размерами от 2 до 300 нм при толщине пленок до 150 нм.

Заключение

Указанные замечания не снижают высокой оценки полученных соискателем результатов и значимости диссертационной работы в целом.

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 завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеющим важное научное

уменьшается и составляет 20-150 нм в зависимости от температуры и времени отжига. Полученные таким образом углеродные пленки наиболее близки к показателям нанокристаллического графита с содержанием sp^2 -кристаллитов, латеральные размеры которых колеблются от 5 до 20 нм.

В четвертой главе «Электрические и оптоэлектронные свойства сформированных углеродных пленок» представлены результаты исследования электрического сопротивления пленок с анализом возможного механизма проводимости, а также результаты анализа спектров оптической плотности и фоточувствительности синтезированных углеродных пленок. Показано, что сопротивление углеродных пленок зависят как от материала используемой подложки, так и от условий термообработки, предположительно вследствие изменения количества образующихся нанографитовых доменов, ответственных за перенос носителей заряда.

В разделе «**Заключение**» изложены основные выводы диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современного аналитического оборудования, применением общеизвестных методик анализа данных, а также отсутствием противоречий с ранее опубликованными научными работами.

По теме диссертации опубликовано 7 научных статей, 2 из которых входят в базу данных Scopus/Web of Science, 1 статья в журнале, входящем в список ВАК, 4 статьи в РИНЦ. Количество публикаций в материалах конференций 10. Получены 2 патента на РИД.

Научная новизна полученных результатов

1. Разработана методика получения углеродных пленок последовательным двухэтапным синтезом, основанном на осаждении атомов углерода в индуктивно-связанной плазме метана с последующей термообработкой в атмосфере аргона.

2. Показано, что пленки, сформированные предложенной методикой, после термической обработки от 650 °С до 700 °С имеют при температурах ниже -70 °С механизм прыжковой проводимости в соответствии с законом Эфроса-Шкловского для двумерных систем.

3. Использование температуры термообработки 700 °С в процессе синтеза позволяет получать углеродные пленки на подложках Si с максимальной фоточувствительностью 55 мА/Вт.

Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и практики.

Разработанная методика синтеза тонких углеродных пленок на твердотельной подложке позволяет получать пленки с разными структурными, электрическими и оптическими свойствами в зависимости от режимов осаждения и последующей термообработки.

Полученные в рамках диссертационной работы результаты могут быть использованы на предприятиях и в организациях, ведущих разработки в области углеродной электроники и оптоэлектроники.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

и практическое значение, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а ее соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Я, Лысенко Елена Николаевна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Доктор технических наук, заведующий
Проблемной научно-исследовательской
лабораторией электроники, диэлектриков и
полупроводников Исследовательской школы
физики высокоэнергетических процессов,
профессор отделения контроля и диагностики
Инженерной школы неразрушающего контроля
и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет»

Адрес: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Телефон: +7 (3822) 701777 вн. 3478

E-mail: lysenkoen@tpu.ru

Дата «01» ноября 2023 г.

 /Лысенко Елена
Николаевна/

Подпись Е.Н. Лысенко заверяю,

Ученый секретарь

Национального исследовательского Томского
политехнического университета

 /Кулинич Екатерина
Александровна/