

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Романова Даниила Алексеевича**
**«Особенности формирования реальной структуры эпитаксиальных CVD-
пленок алмаза с природным и модифицированным изотопным составом»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Монокристаллы синтетического алмаза находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Применение алмаза возрастает не только в областях, связанных с изготовлением обрабатывающих инструментов, но и в высокотехнологичных, таких как создание детекторов излучений, электронных приборов, рентгенооптических элементов для синхротронных источников.

Целенаправленное изменение изотопного состава представляет значительный интерес, так как изотопическое модифицирование позволяет реализовывать новые свойства алмазов, которые превосходят свойства естественных кристаллов.

Получение совершенных по структуре кристаллов по-прежнему остаётся проблемой из-за многообразия факторов, которые влияют на рост и структуру плёнок. Для изучения физических процессов, происходящих в эпитаксиальных пленках, широко используют рентгеноструктурные методы исследования. Однако, в некоторых случаях использование существующих подходов к изучению релаксационных процессов затруднено. К таким случаям относятся эпитаксиальные структуры алмаза, чья высокая твердость и химическая инертность значительно затрудняет проведение структурных исследований. Тем не менее, принимая во внимание, что алмаз является

кристаллографическим аналогом германия, можно предположить, что процессы релаксации и дефектообразования в этих материалах проходят схожим образом. Этим и определяется актуальность темы диссертационного исследования Д.А. Романова, посвященная изучению реальной структуры эпитаксиальных CVD-пленок алмаза с природным и модифицированным изотопным составом.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые проводится прецизионное определение периода кристаллической решетки CVD-пленок алмаза ^{13}C и рассчитываются зависимости критических толщин псевдоморфных пленок алмаза от величины несоответствия периодов кристаллических решеток подложки и пленки.

Практическая значимость состоит в том, что известные физические методы исследования, развитые в работе и полученные результаты, которые подтверждают достоверность используемых в работе методов, могут быть использованы для совершенствования технологии выращивания эпитаксиальных пленок алмаза.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, заключения и списка использованных источников из 62 наименований. Объем диссертации составляет 100 страниц, включая 54 рисунка и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, на ее основе сформулирована цель и задачи исследования. Изложены научная новизна, выносимые на защиту положения, перечислены методы исследования, обоснованы теоретическая и практическая значимости работы. Представлены данные об апробации результатов работы и об опубликовании в периодической печати.

Первая глава посвящена анализу существующих работ по свойствам, методам получения и характеристике эпитаксиальных пленок алмаза.

Рассмотрены структура, физические свойства, дефекты и применение алмаза, также метод получения алмаза с помощью осаждения из газовой фазы. Анализируются рентгенодифракционные методы исследований, в частности дифрактометрия высокого разрешения и рентгеновская топография.

Вторая глава диссертации посвящена методам получения, исследования и общей характеристике образцов. Описана технология получения образцов эпитаксиальных двухслойных структур алмаза CVD/HPHT с природным и модифицированным изотопическим составом.

В третьей главе рассматриваются результаты исследования эпитаксиальных пленок алмаза с природным изотопическим составом и образцам, отделенным от подложки. Показано, что уменьшение исследуемой области на образце до размера $\sim 1 \times 1 \text{ мм}^2$ позволило значительно улучшить параметры кривых качания.

Четвертая глава посвящена эпитаксиальным структурам алмаза с модифицированным изотопическим составом. Методами рентгеновской дифрактометрии определено несоответствие периодов кристаллических решеток подложки и пленки образца ТШ-3 (CVD¹³C/HPHT Ib).

В пятой главе рассмотрены особенности пластической деформации эпитаксиальных структур германия и алмаза.

В Общих выводах и заключении подведены итоги диссертационной работы.

Результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, 3 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

В качестве замечаний и вопросов можно привести следующие.

1) Могут ли исследования в спектрах комбинационного рассеяния, приведенные в работе, подтвердить, что структура алмаза, состоящая из

подложки Ib алмаза природного изотопного состава и эпитаксиальной пленки ^{13}C , не содержит включений графитной фазы?

2) Можно ли использовать метод аналогий, на который опирается работа для сравнения процессов дефектообразования в структурах кремния и алмаза? Проводилось ли такое сравнение?

Указанные замечания и вопросы не изменяют положительного впечатления от работы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и является полезной для развития эффективных методов повышения структурного совершенства алмазов. Достоверность оригинальных и актуальных результатов не вызывают сомнений.

Автореферат полностью передает содержание и результат диссертационной работы.

Диссертация Романова Даниила Алексеевича «Особенности формирования реальной структуры эпитаксиальных CVD-пленок алмаза с природным и модифицированным изотопным составом» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне и полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор - Д.А. Романов - достоин присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент – Исаев Евгений Игоревич

Кандидат физико-математических наук, по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, доцент, отделение института лазерных и

плазменных технологий Обнинского института атомной энергетики – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Адрес: 249040, Калужская область, городской округ «Город Обнинск», г. Обнинск, тер. Студгородок, д.1.

Тел.: +7 (910) 527-01-14

e-mail: e.isaev87@gmail.com

Я даю согласие на обработку персональных данных (приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 г. № 662)

К.ф.-м.н., (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), доцент Отделения лазерных и плазменных технологий Обнинского института атомной энергетики – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Исаев
Евгений Игоревич

Подпись Е.И. Исаева удостоверяю

Специалист по кадрам
ОК ИАТЭ НИЯУ МИФИ



Галентова
Оксана Геннадиевна