

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

Диссертация Романова Даниила Алексеевича посвящена изучению неразрушающими методами рентгеновской топографии и двухкристальной дифрактометрии особенностей формирования реальной структуры гомоэпитаксиальных CVD-пленок алмаза с природным и модифицированным изотопным составом. Благодаря своим уникальным свойствам – высокой твердости, химической и радиационной стойкости, малому коэффициенту теплового расширения и высокой теплопроводности – монокристаллы синтетического алмаза находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Кристаллы, полученные методом CVD, являются важным объектом физики конденсированного состояния, поскольку в процессе их роста удается не только синтезировать наиболее чистые кристаллы, но и прецизионно управлять содержанием в них примеси.

Алмаз содержит два стабильных изотопа – C-12 (98.93%) и C-13 (1.07%). В работе исследован вопрос о возможности повышения качества выращиваемых алмазных пленок путем целенаправленного изменения изотопного состава. Ожидается, что управление изотопным составом, допускаемое в методе CVD, позволит улучшить качество эпитаксиальных пленок алмаза за счет согласования параметров решетки пленки и подложки.

Для изучения физических процессов, происходящих в эпитаксиальных пленках, находящихся в напряженном состоянии, широко используют рентгеноструктурные методы исследования. В отдельных случаях эти методы

позволяют получить детальную информацию о таких важнейших параметрах структур, как величина несоответствия и степень упругой деформаций в многослойных гетероструктурах. Развитие этих методов в работе Д.А. Романова является актуальным.

Диссертация Д.А. Романова состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 100 страниц текста, 54 рисунка и 8 таблиц. Список литературы включает 62 источника.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулирована цель исследования, определены задачи и методы исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, указаны основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации полученных результатов.

В первой главе представлен литературный обзор по свойствам, методам получения и характеристики эпитаксиальных пленок алмаза. Рассмотрены структура, физические свойства, дефекты и применение алмаза. Также рассмотрено получение эпитаксиальных пленок алмаза методом осаждения из газовой фазы. Рассмотрены рентгенодифракционные методы исследований, такие как дифрактометрия высокого разрешения и рентгеновская топография.

Во второй главе приведены методы получения, общая характеристика образцов и методы исследования. В работе описана технология синтеза образцов эпитаксиальных двухслойных структур алмаза CVD/HPHT с природным и модифицированным изотопным составом.

Третья глава посвящена исследованиям образцов эпитаксиальных пленок алмаза с природным изотопным составом и образцам, отделенным от подложки. В четвертой главе рассмотрены эпитаксиальные структуры алмаза с модифицированным изотопным составом. Пятая глава посвящена особенностям пластической деформации эпитаксиальных структур германия и алмаза. В Общих выводах обобщаются результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Полученные автором результаты в полной мере отражены в 11 научных работах, из которых 3 опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

К достоинству работы можно отнести применение резко асимметричных схем дифракции (см. гл. 4), позволяющих предельно уменьшить угловую расходимость отраженного пучка. Это позволяет достигнуть прецизионного углового разрешения, а также при используемом в работе развороте кристалла на 180 градусов вокруг вектора дифракции определить угол выхода отражающих плоскостей к поверхности и скомпенсировать эффект преломления на границе раздела. Благодаря этому удастся с высокой точностью определить величину несоответствия периодов решеток пленки и подложки. Также нужно отметить удачное использование рентгеновской топографии, позволившее визуализировать поля деформаций, отбирать и локализовать микрообласти для проведения дифрактометрических измерений.

В процессе ознакомления с диссертацией Д.А. Романова возникли следующие вопросы и замечания.

Во Введении в пункте Методология утверждается, что в работе проводится подробное теоретическое обоснование наблюдаемых в эксперименте особенностей. Однако, интерпретация результатов дифракции рентгеновских лучей на тонких эпитаксиальных пленках требует динамического рассмотрения хотя бы в двухволновом приближении Лауэ и Эвальда, а для искаженных решеток – анализ решений системы уравнений Такаги – Топена. Это позволяет получить дисперсионное уравнение для волновых векторов прошедшей и рассеянной волн и определить дополнительное преломление на границах раздела, а также найти длину экстинкции для заданной геометрии. Кроме того, в рамках динамической теории на основе анализа профиля дифракционных рефлексов удастся провести послойный анализ границы раздела, что отсутствует в представленной работе. Соответствующая методика изложена, например, в

монографии Афанасьева А. М. и др. Рентгенодифракционная диагностика субмикронных слоев. Москва 1989. Как ясно из текста диссертации, модификация двухкристального рентгеновского дифрактометра состоит в применении монокристалла германия (без указания его дисперсии), а также более медленного шагового двигателя. Не указано, как такая модификация соотносится с возможностями современных рентгеновских дифрактометров, оснащенных, в том числе, двойным германиевым монохроматором (например, с дифрактометрами Ultima IV RIGAKU Япония, SmartLab и др.).

В главе 4 в вводной части утверждается, что прецизионно измерен период решетки. Этого в работе нет. В главе 5 приведенное соискателем соотношение 5.3 (называемое аналогом формулы Мэтьюза) дается без вывода и представляется ошибочным. Вывод не содержится и в работе [45], на которую ссылается соискатель.

Имеются также замечания по терминологии, использованной в работе. Вместо «глубокого инфракрасного диапазона» следует использовать словосочетание «дальний инфракрасный диапазон», а вместо «изотопический состав» следует использовать термин «изотопный состав». На наш взгляд не обоснована разбивка диссертации на 5 глав, т.к. 4-я и 5-я главы содержат лишь по 1 параграфу каждая.

Несмотря на приведенные выше замечания, диссертационная Романова Д.А. заслуживает общей положительной оценки. Работа представляет оригинальные и актуальные результаты. Достоверность полученных результатов и обоснованность сформулированных выводов не вызывают сомнений.

Автореферат, в целом, отражает содержание диссертационной работы, положений, выносимых на защиту, новизну, теоретическую и практическую значимости. Однако, в разделе «Общие выводы» имеются некоторые различия в формулировках при сохранении смысла.

Считаю, что 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 соискатель - Д.А. Романов - достоин присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, профессор, ведущий научный сотрудник, Филиал Баксанская нейтринная обсерватория федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук

Хоконов Азамат Хазрет-Алиевич

Контактная информация

Почтовый адрес:

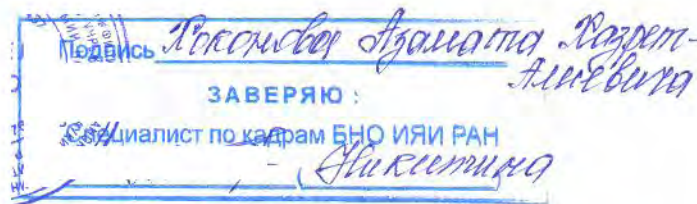
361609, КБР, Эльбрусский р-н, с.п. Эльбрус, с Нейтрино, ул. Губасанты, зд. 2а

Факс: (86638)75-103

Сайт: <https://www.inr.ru>

Тел.: +7 928 081 17 03

e-mail: azkh@mail.ru



Дата: « 1 » сентября 2022 г.

Хоконов Азамат Хазрет-Алиевич

Я даю согласие на обработку моих персональных данных.