

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
по диссертации
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 01.07.2021 № _____

О присуждении Аргуновой Татьяне Сергеевне,
гражданке Российской Федерации,
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Микроструктура монокристаллов карбида кремния по данным рентгеновского фазово-контрастного изображения и топографии в синхротронном излучении» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 26 марта 2021 г., протокол №2, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.26. Диссертационный совет утвержден приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г. и Приказом Директора ФТИ от 19.01.2021 об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01.

Соискатель Аргунова Татьяна Сергеевна, 1957 г.р., в 1979 году окончила Северо-Осетинский Государственный Университет по специальности «Физика» и получила квалификацию «Физик. Преподаватель». В 1986 году по окончании аспирантуры ФТИ им. А. Ф. Иоффе Аргуновой Т. С. была получена степень кандидата физико-математических наук по специальности «Физика конденсированного состояния» (диплом КД № 005417). В настоящее время Аргунова Т. С. работает в должности исполняющего обязанности ведущего научного сотрудника - заведующего лабораторией дифракционных методов исследования реальной структуры кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертационные исследования выполнены в лаборатории дифракционных методов исследования реальной структуры кристаллов Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Бугров Владислав Евгеньевич, д.ф.м.н., профессор, ведущий профессор Национального Исследовательского Университета ИТМО дал положительный отзыв на диссертацию.

2. Кукушкин Сергей Арсеньевич, д.ф.м.н., профессор, заведующий лабораторией структурных и фазовых превращений в конденсированных средах Института проблем машиноведения РАН дал положительный отзыв на диссертацию.

3. Лебедев Александр Александрович, д.ф.м.н., профессор, руководитель отделения физики твердотельной электроники, заведующего лабораторией физики полупроводниковых приборов Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе дал положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ ЛЭТИ) предоставила положительное заключение на диссертацию. Заключение подписано заведующим кафедрой микро- и нанoeлектроники, директором инжинирингового центра «Микротехнологии и диагностики» СПбГЭТУ ЛЭТИ д.т.н., профессором В. В. Лучининым и профессором кафедры микро- и нанoeлектроники СПбГЭТУ ЛЭТИ д.т.н., А. О. Лебедевым и утверждено проректором по научной работе СПбГЭТУ ЛЭТИ д. т. н. профессором Тупиком В. А. В заключении указано, что диссертация Аргуновой Т. С. соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», а соискатель Аргунова Т. С. заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что все они имеют ученые степени докторов наук, они работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная

работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ ЛЭТИ) ведет активные исследования по нескольким направлениям физики конденсированного состояния. Так, профильными направлениями кафедры микро- и нанoeлектроники являются, в том числе, физика и технология естественных сверхрешеток широкозонных полупроводников и приборов на их основе, физика и технология электролюминесцентных приборов на основе широкозонных полупроводников, а также полупроводниковые соединения, гетероструктуры и наноструктуры для опто- и нанoeлектроники и др. Заведующий кафедрой д.ф.-м.н., профессор В. В. Лучинин является признанным специалистом в области физики и технологии нано- и микросистем на основе неорганических материалов с ориентацией на приборы для экстремальных режимов и условий эксплуатации. Автор более 200 научных статей, 5 монографий изобретений, 7 учебных и методических пособий, 2 монографий. Лауреат премии Правительства РФ (2012 г.), член НТС Совета безопасности Российской Федерации.

Основное содержание диссертации представлено в 40 научных работах, в т. ч. в 32 статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Web of Science. Существенный процент работ опубликован в журналах 1-го и 2-го квартилей. Во многих работах соискатель является первым автором, что убедительно указывает на решающий вклад, внесенный соискателем в научные исследования, результаты которых вошли в диссертационную работу.

На автореферат поступило 11 отзывов. Все отзывы - положительные, во всех отмечается высокий уровень диссертационной работы, оригинальность методики и полученных результатов, а также их практическая важность.

1. Отзыв ведущего научного сотрудника Физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова д.ф.м.н. доцента Андреевой М. А. положительный, замечаний не содержит.
2. Отзыв заведующего лабораторией рефлектометрии и малоуглового рассеяния Института кристаллографии им. А. В. Шубникова Федерального

ФНИЦ “Кристаллографий и фотоника” РАН д.ф.м.н. Профессора Асадчикова В. Е. Положительный, содержит 2 замечания:

- В автореферате диссертации топографические брэгг-дифракционные изображения описаны лишь качественно. Количественный расчет этих изображений автором не приведен. Видимо такая задача и не ставилась в данной работе.
 - Хотя автореферат написан очень грамотно и, практически, без ошибок, имеется, однако, одно стилистическое замечание. На странице 21 (первый абзац) автор пользуется одновременно двумя разными системами кристаллического индексирования (трех и четырех индексными), что затрудняет восприятие.
3. Отзыв профессора кафедры физики Физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова д.ф.м.н. Бушуева В. А. положительный, содержит одно замечание:
- На стр. 12 написано: “Затем вычислялась свертка с функцией интенсивности в поперечном сечении источника...” Отсюда следует, что автор априори считает, будто источник излучения является полностью пространственно когерентным, что, однако, противоречит малой угловой расходимости синхротронного излучения, испускаемого этим источником.
4. Отзыв ведущего научного сотрудника ФГБУН Физико-технологический институт им. К. А. Валиева РАН д.ф.м.н. Ломова А. А. положительный, содержит 3 замечания:
- В автореферате в разделе Глава 5, стр. 33, на рис. 17 оси ординат указаны как “Intensity, 10^{-2} a.u.”. Поскольку a.u. - это относительные единицы, то непонятно, что автор подразумевал под 10^{-2} a.u. Считаю, что сравнивать разные эксперименты: дифференциальный ТРД метод (отражение 0004) и интегральный КДО метод (отражение 10-14) на рис. 17а и 17б, соответственно, не корректно.
 - На стр. 34, 2-й параграф сверху, написано (относительно табл. 1): “В данной работе мы не наблюдали уширения асимметричных отражений по сравнению с симметричными.” Однако отражение 10-14, строго говоря, не является отражением скользящего падения.
 - Язык автореферата перегружен алогизмами, что затрудняет чтение Например: стр. 9, 1-1 абзац: “позади образца...”, “...пик возникает естественным путем...” и т.п.
5. Отзыв заведующего лабораторией ФГБУН Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, генерального директора ООО “Совершенные

кристаллы” к.ф.м.н. Николаева В. И. положительный, содержит 1 замечание:

- Замечание относится к недостаточному описанию условий роста кристаллов SiC. В частности, эволюция микротрубок в кристаллах, выращенных в сэндвич-ячейке изучена, однако режимы роста в реферате не описаны.
6. Отзыв старшего научного сотрудника ФГБУН Института физики твердого тела им. Ю. А. Осипяна к.ф.м.н. Смирнова И. А. положительный, замечаний не содержит.
 7. Отзыв главного научного сотрудника ФГБУН Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН д.ф.м.н. Соколова Н. С. положительный, замечаний не содержит.
 8. Отзыв главного научного сотрудника НИЦ “Курчатовский институт” д.ф.м.н. Подурца К. М. положительный, содержит одно замечание:
 - Неясно, является ли автор разработчиком программы FITTIM.
 9. Отзыв главного научного сотрудника Физико-математического института ФИЦ Коми НЦ УроО РАН д.ф.м.н. Пунегова В. И. положительный, замечаний не содержит.
 10. Отзыв заведующего отделом роста и структуры материалов Института физики полупроводников им. А. В. Рыжова Со РАН, лауреата Государственной премии России д.ф.м.н. профессора Пчелякова О. П. положительный, содержит 3 замечания:
 - В пункте 2 раздела Научная новизна сообщается, что путем моделирования изображений в монокристаллах SiC выявлены неизвестные ранее изменения формы и размеров сечений микротрубок. Замечание заключается в том, что в указанном пункте диссертационной работы не представлены требуемые конкретные данные. Не сообщается, как изменялась форма и размеры сечений. Замечание не снимается тем фактом, что эти изменения обсуждались при построении моделей образования трубок.
 - На страницах 34 и 35 автореферата с привлечением таблицы 1 приведены оценочные данные средней разориентации областей когерентного рассеяния. Результаты получены по методике Вильямсона-Холла. В автореферате не дана литературная ссылка на указанную методику, вследствие чего отсутствует возможность проверки результатов таблицы.
 - Остальные замечания относятся к разряду технических ошибок. Так, приведенный в формуле (5) на стр. 11 автореферата неопределенный интеграл почему-то назван интегралом с конечными пределами.

11. Отзыв главного научного сотрудника Кабардино-Балкарского государственного университета д.ф.м.н. Хапачева Ю. П. и профессора Кабардино-Балкарского государственного университета д.ф.м.н. Дышекова А. А. положительный, замечаний не содержит.

На все заданные в отзывах на автореферат вопросы и замечания соискатель Арунова Т. В. дала исчерпывающие ответы и пояснения.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках исследований, выполненных соискателем на установках класса “мегасайенс”, а именно на синхротронных источниках, получен целый ряд научных результатов, представляющих большой интерес для научного сообщества и имеющих практическую значимость для развития нанoeлектроники на основе карбида кремния. Полученные результаты имеют методическую ценность для развития исследований на синхротронах, и являются значимыми для большой современной области исследований по структуре, технологии и применениям карбида кремния.

1. Разработан метод компьютерного моделирования фазово-контрастных изображений для определения сечений микропор в объеме монокристалла, что позволяет использовать пучки синхротронного излучения с относительно большой шириной спектра. Эффективность метода показана на примере исследований микроструктуры монокристаллов карбида кремния.
2. Выявлены новые морфологические особенности в монокристаллах карбида кремния, такие как изменения сечений и формы дислокационных микротрубок, и предложено объяснение этих особенностей с учетом реакций между дислокациями, содержащимися в микротрубках.
3. В части исследования различных политипов карбида кремния, был обнаружен эффект образования пор на границах включений инородных политипов, являющихся результатом притяжения трубок к границам включений и взаимодействия поля упругой деформации включения с дислокациями внутри трубок.
4. Изучены процессы эволюции дислокаций в политипно-однородных кристаллах карбида кремния и показано, что они протекают при взаимодействии микротрубок между собой и с дислокациями со сплошным ядром.

5. Определены условия получения качественных кристаллов карбида кремния методом свободного распространения за пределы кристалла-затравки и показана роль отсутствия паразитных политипов в снижении плотности дислокаций.
6. Изучение слоев нитрида алюминия, выращенных на подложке карбида кремния с последующим испарением подложки, показало формирование мозаичной дислокационной структуры в нитриде алюминия в результате релаксации напряжений несоответствия. Показано снижение плотности дислокаций на 4-5 порядков в слоях нитрида алюминия по сравнению с нитридом галлия.

Научная новизна и практическая значимость обусловлена тем, что соискателем последовательно развита методика изучения и анализа микроструктур монокристаллов с использованием синхротронного излучения. Методика апробирована и применена для всестороннего изучения практически-важного материала для нано- и оптоэлектроники, а также спинтроники - карбида кремния. Получен большой объем данных о формировании, эволюции микропор в объеме и на поверхности монокристаллов карбида кремния, выявлен ряд неизвестных ранее морфологических особенностей, определена роль включений различных политипов в формировании микроструктуры.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждена применением современных экспериментальных методов, воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов, а также системностью проводимых исследований, комбинацией моделирования и экспериментальных исследований, использованием образцов высокого качества. Полученные результаты прошли апробацию на 40 международных и российских конференциях. Опубликованные по теме диссертации научные работы активно цитируются научным сообществом, что говорит о востребованности полученных результатов.

Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при ее активном участии и под ее руководством. Личный вклад автора состоял в постановке научных задач, проведении экспериментов с использованием синхротронных источников, разработке и апробации метода компьютерного моделирования фазово-контрастных изображений для определения сечений микропор в объеме монокристалла.

Диссертация Аргуновой Т. С. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие такого актуального направления современной физики конденсированного состояния, как синхротронные исследования материалов, перспективных для нано- и оптоэлектроники.

На заседании 1 июля июня 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Аргуновой Т. С. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 12 докторов по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 13, против – 0, воздержались – 0.

Председатель
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Кусраев Юрий Георгиевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
PhD

Калашникова Александра Михайловна

1 июля 2021 г.