

По месту требования
от гр. Кугаенко Ольги Михайловны,

E-mail: okugaenko@mail.ru

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе **Третьякова Сергея Андреевича** «ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ И МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОПТИЧЕСКУЮ ОДНОРОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ», представленной в диссертационный совет Д 212.263.09 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тверской государственный университет»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Развитие технологий выращивания монокристаллов, применяемых в оптике, оптоэлектронике, акустооптике, фотонике, лазерной технике, сопровождается повышением требований к оптическим характеристикам кристаллов для современных приборов и устройств. Вопросы сохранения оптической однородности и функциональных характеристик особо актуальны при использовании монокристаллов в условиях повышенных температур, давлений, вибраций, излучений. Наряду с достижениями технологии увеличения размеров монокристаллов и значительным улучшением их структурного и оптического качества, до настоящего времени актуальны проблемы оптической однородности кристаллов, структурного совершенства изготавливаемых из них оптических элементов, однородности физических параметров кристаллов, которые определяются внутренними и поверхностными дефектами, включая дислокации, границы блоков, включения, примеси, шероховатость оптических поверхностей, напряжения.

Диссертационная работа Сергея Андреевича Третьякова посвящена исследованию оптической однородности монокристаллов, обусловленной внутренними дефектами структуры и шероховатостью поверхностей монокристаллов. Для оценки степени неоднородности монокристаллов автор диссертации применяет термин «оптические аномалии», характеризующий нарушения оптической индикатрисы кристалла; это обобщающий термин, сравнительно недавно вошедший в научную литературу для описания суммарных разнообразных неоднородностей и структурных дефектов в оптических кристаллах, с характерными размерами оптических аномалий макро-, мезо- и микроуровня.

Исследования проведены на широко известных в акустооптике монокристаллах германия и парателлурита. Выбор этих кристаллов с хорошо изученными феноменальными физическими свойствами и развитой технологией получения является вполне актуальным и полезным для дальнейшего развития как фундаментальной, так и прикладной физики. С.А.Третьяков проводил измерения оптических аномалий на монокристаллах с заведомо малыми концентрациями примесей и иных структурных дефектов, условия выращивания этих кристаллов практически исключали появление в них массивных примесных включений, в диссертационной работе рассматривается только интегральное действие микроскопических включений примесей и нульмерных примесных дефектов на оптические индикатрисы

монокристаллов.

Необходимость максимального повышения функциональных возможностей и характеристик оптоэлектронных устройств определяет требования структурной однородности монокристаллов. Разработанные автором методы выявления оптических неоднородностей в крупногабаритных монокристаллах германия и парателлуриата и получение численной оценки оптических неоднородностей и влияния рельефа оптических поверхностей на параметры светового потока, проходящего через кристаллы с объёмными дефектами структуры, указывают на безусловную **актуальность** диссертационной работы С.А.Третьякова.

Диссертационная работа С.А.Третьякова состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 150 страниц основного текста, 91 рисунок, 5 таблиц, 125 наименований цитируемой литературы.

Во введении диссертации обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследований и задачи, решаемые в работе. Показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Описаны методы исследования: лазерной коноскопии, интерференционной профилометрии, тепловизионной аппаратуры для оценки искажений оптической индикатрисы монокристаллов парателлуриата при нагреве и для обнаружения объемных структурных дефектов в крупногабаритных монокристаллах оптического германия; спектрометрии монокристаллов германия и парателлуриата в видимом и инфракрасном (до 20 мкм) диапазонах.

Представлены основные научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы, публикациях по теме диссертации, личном вкладе автора и объеме работы.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературы, в котором автор обосновывает актуальность исследования и формулирует задачи, решаемые в рамках диссертационной работы. Автор проанализировал известные экспериментальные и теоретические данные о связи между дефектами структуры и оптическими неоднородностями в кристаллах, описал механизмы образования, классификацию, методы обнаружения и анализа оптических аномалий и влияние оптических аномалий на характеристики оптических, оптоэлектронных и лазерных устройств на основе монокристаллов.

Во второй главе представлено разработанное автором математическое моделирование процессов взаимодействия световых потоков с внутренними объемами и поверхностями монокристаллов: расчет индикатрис диффузного отражения и рассеяния света поверхностями кристалла и фотонная модель прохождения света через кристалл при различных концентрациях рассеивающих оптических аномалий.

В третьей главе приведены результаты изучения оптических аномалий в кристаллах парателлуриата и германия интерференционно-поляризационным и тепловизионным методами. В монокристаллах парателлуриата методом дифференциальной коноскопии определены механические напряжения в светозвукопроводе акустооптического устройства, связанные с технологией изготовления, проведена оценка отклонений коэффициентов преломления в области свили, определены отклонения коэффициентов преломления и глубина распространения наведённого механического напряжения, возникшего при сварке светозвукопровода с пьезоэлементом.

Профилометрические исследования поверхности монокристаллов германия при нагреве проведены автором с использованием разработанной программы по влиянию шероховатости поверхности на индикатрисы отражения и рассеяния света, обнаружено увеличение доли диффузного рассеяния от поверхности на 1-2% из-за изменений профиля поверхности, вызванных процессом нагрева.

Коноскопические и тепловизионные исследования работающего акустооптического дефлектора со светозвукопроводом из монокристалла парателлуриата показали, что возникает оптическая неоднородность в результате нагрева, вызванного поглощением акустической волны и теплопередачей от электронных элементов прибора в процессе работы.

Наблюдающиеся изменения формы и расположения изохром, при температурном

градиенте $\sim 4^\circ\text{C}/\text{см}$, эквивалентны появлению в кристалле парателлурида аномальной оптической двуосности с углом, равным $20'-25'$.

Результаты работы сведены к 6-ти развернутым и обоснованным выводам. Среди результатов, полученных Третьяковым С.А., следует особо выделить:

1. Разработанные методы моделирования, использующие геометрический и корпускулярный подходы, которые позволяют с высокой точностью описать вид оптических индикатрис пропускания и диффузного рассеяния при прохождении света через оптические элементы и оценить вклад дефектов в рассеяние световых потоков.

2. Анализ коноскопических картин разработанными автором методами, позволяющий выявить оптические аномалии и определить изменения оптической индикатрисы, вызванные наличием дефектов или внешним воздействием.

3. Применение тепловизионного метода в совокупности с зондовым способом значительно расширяет возможности анализа распределения легирующей примеси и удельного электросопротивления в кристаллах и позволяет выявлять в них неоднородные области.

Личный вклад автора

В теоретической части работы автором сформулированы алгоритмы для математических моделей, проведены виртуальные эксперименты и проанализированы полученные результаты. В экспериментальной части работы автором самостоятельно разработаны методы оценки однородности монокристаллов, проведены исследования влияния дефектов структуры и шероховатости поверхности, а также процессов нагрева на оптическую однородность монокристаллов с помощью оптического профилометра NanoMap WLI 1000, тепловизионной камеры FLIR T250 и оптических схем регистрации коноскопических картин.

Сформулированные автором цель и задачи работы отвечают **критериям новизны**. **Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обеспечивается воспроизводимостью результатов, согласованностью результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований, соответствием с результатами других известных работ по смежной тематике, корректной постановкой исследовательских задач; применением современных методов исследования и обработки экспериментальных результатов, а также представительным объемом экспериментальных данных, включающих апробацию результатов на международных и всероссийских конференциях, публикации основных результатов работы в рецензируемых центральных изданиях; использование результатов работы на практике, патенты и программы ЭВМ.

Практическая значимость

Разработанные и проверенные методики измерений и программы расчета коэффициента пропускания и отражения света могут применяться при определении оптической однородности крупногабаритных монокристаллов германия, предназначенных для объективов тепловизионных устройств, при отборе крупногабаритных монокристаллов парателлурида для изготовления светозвукопроводов акустооптических дисперсионных линий задержки, предназначенных для сжатия и корреляции сверхмощных импульсов фемтосекундных лазеров. А также при измерениях оптических параметров и при контроле оптической однородности различных монокристаллов в научных организациях и на предприятиях, выпускающих устройства оптики, оптоэлектроники и фотоники.

Метод лазерной коноскопии, дополненный компьютерной программой и математическим аппаратом для анализа коноскопических картин, использован в метрологии оптической однородности и геометрической формы элементов из монокристаллов парателлурида и ниобата лития. Он может применяться при контроле оптического качества всех одноосных кристаллов, прозрачных в видимом диапазоне, и для непосредственных наблюдений и исследований влияния нагрева элементов работающих акустооптических устройств при поглощении ультразвука на оптическую однородность светозвукопроводов, изготовленных из монокристаллов.

Метод тепловизионной дефектоскопии, испытанный в работе при поиске объемных структурных дефектов в кристаллах германия, может применяться для контроля однородности

крупногабаритных полупроводниковых монокристаллов, например, кремния, арсенида галлия, фосфида индия.

Разработанный и испытанный на кристаллах германия и парателлурита способ расчета индикатрис пропускания и диффузного рассеяния света поверхностями кристаллов адаптирован для решения задач, связанных с уменьшением размеров дефектов поверхности в оптическом диапазоне, а также с увеличением прозрачности оптических элементов с помощью создания на их поверхности специального микрорельефа.

Разработанные методы исследований оптической однородности монокристаллов могут быть использованы на предприятиях и в организациях, осуществляющих выпуск монокристаллов.

Результаты работы опубликованы в реферируемых российских и международных научных журналах и докладывались на ведущих конференциях по росту кристаллов. Публикации полностью отражают все основные положения диссертационной работы и позволяют подтвердить личный вклад Третьякова Сергея Андреевича.

Основные результаты работы опубликованы в 38 статьях, в том числе в 13 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, автором получено 4 патента на изобретения и 4 свидетельства на программы для ЭВМ.

Замечания

Работа не лишена отдельных недочетов.

1. После оглавления диссертации не приведена расшифровка используемых обозначений и сокращений.
2. По тексту часто не приведены размеры кристаллов и пластин из них и их кристаллографические ориентации.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации.

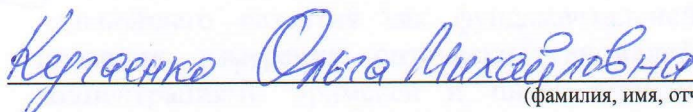
В целом диссертация выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научное исследование. Новые, полученные диссертантом научные результаты, имеют большое значение для науки и практики материаловедения. Диссертация характеризуется логически доказательным стилем изложения и хорошо оформлена. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и дает представление об актуальности работы, основных научных результатах и их новизне. **Достоверность** полученных результатов и **обоснованность** выводов диссертации обеспечена высоким научно-методическим уровнем проведенных исследований – применением современных экспериментальных методов, использованием надежных методов анализа результатов и хорошей теоретической подготовкой диссертанта.

Диссертационная работа Третьякова С.А. по объему решенных задач, актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.9 – п.14), утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013г., а автор Сергей Андреевич Третьяков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

кандидат физико-математических наук (01.04.07),
старший научный сотрудник
Кугаенко Ольга Михайловна

Город Москва, пятого ноября две тысячи девятнадцатого года.


(фамилия, имя, отчество, подпись)