

## **О Т З Ы В**

### **официального оппонента на диссертацию**

### **Третьякова Сергея Андреевича на тему «ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ И МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОПТИЧЕСКУЮ ОДНОРОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ»,**

**представленную к защите на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 01.04.07**

### **Физика конденсированного состояния**

Диссертационная работа Третьякова Сергея Андреевича посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию способов выявления и оценки дефектов, обуславливающих оптические аномалии в кристаллах германия и парателлурита, которые автор оценивает количественно - по изменению изохром при коноскопических исследованиях.

#### **Актуальность темы диссертации**

Развитие оптического приборостроения и лазерной техники, работающих в ИК области спектра, и расширение номенклатуры компонентов акустооптических приборов поддерживают в настоящее время постоянный интерес к проблемам выращивания и аттестации кристаллов германия и парателлурита высокого качества. Совершенствование технологии выращивания кристаллов для снижения дефектности крупногабаритных кристаллов с целью улучшения эксплуатационных характеристик оптических деталей из германия и элементов акустооптических приборов - актуальное направление оптического материаловедения.

Тема работы Третьякова С.А. «Влияние дефектов структуры и микрорельефа поверхностей на оптическую однородность монокристаллов» на примере кристаллов германия и парателлурита, включающая оценку параметров качества кристаллов с привлечением новых методов исследования и получения экспериментальных результатов весьма актуальна.

## Содержание диссертации

Диссертационная работа Третьякова С.А. изложена на 150 страницах, включает 91 рисунок и 5 таблиц; работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 125 наименований.

Во введении сформулированы:

- актуальность темы исследования и степень ее разработанности;
- цели и задачи;
- научная новизна;
- практическая значимость работы;
- методология и методы исследования;
- положения, выносимые на защиту;
- апробация результатов.

Первая глава посвящена рассмотрению и классификации структурных дефектов в кристаллах с их иллюстрацией на кристаллах германия и парателлурита. Отдельно выделены поверхностные двумерные дефекты, возникшие при механической обработке. Показана взаимосвязь оптических аномалий в кристаллах и дефектов структуры, рассмотрена зависимость оптических характеристик (пропускания, поглощения, рассеяния и оптической однородности) от объемных и поверхностных дефектов в кристаллах, а также в элементах акустооптических устройств.

Во второй главе представлена фотонная модель прохождения света через кристалл с заданной дефектностью, учитывающая изменение индикатрис (сферической, Релеевской и Ми) с одинаковой вероятностью поглощения на единицу пути луча, позволяющая определить траекторию фотона в кристалле. Разработана программа расчета последней с максимальной плотностью 10 лучей светового потока на нм, предложены варианты траектории фотонов в элементарном объеме при отражении и рассеянии света. Приведена связь рассеяния излучения с размером и типом дефектов в кристаллах и показаны результаты расчета для кристаллов парателлурта с разной степенью дефектности, а также германия. В последнем

случае проведено сравнение с экспериментальными результатами, полученными при помощи тепловизора ( $\lambda=10,6$  мкм).

В теоретической части третьей главы автором были определены напряжения ( $\sigma \sim (1-2) \cdot 10^7$  Па) в кристаллах парателлурита со свилеподобными дефектами. В экспериментальной части главы разработан метод дифференциальной коноскопии: приведена методика фиксации изображений, разработана программа построения теоретических изохром, позволяющая выявить изменение локального показателя преломления кристалла, а также в светозвукопроводе вблизи пьезоэлемента определить градиент показателя преломления. Далее тепловизионными методами исследовано изменение излучательной способности легированных кристаллов германия с разным удельным сопротивлением и шероховатостью поверхности при температурах от 30 до 119 °С. В конце главы приведено исследование изменения эксплуатационных характеристик акустооптического дефлектора при максимальном нагреве, что соответствует частотам 65 и 85 МГц.

В заключении диссертации сформулированы основные выводы работы.

### **Основные научные результаты и их новизна**

1. В работе систематизированы по размерам дефекты структуры, встречающиеся в кристаллах, и определены методы их обнаружения для кристаллов германия и парателлурита, показана прямая связь дефектов с оптическими аномалиями, разработаны новые методики исследования кристаллов и оценки оптических аномалий по искажению изохром коноскопических картин.

2. Определена зависимость коэффициента излучения кристаллов германия от температуры на шлифованных и полированных образцах. Выявлено изменение свойств поверхностного слоя кристаллов германия, предварительно обработанных до заданной чистоты поверхности, при нагревании до температур 65 °С, приводящее к снижению пропускания света до 2,0 % ( $\lambda=10,6$  мкм) за счет изменения рассеяния и отражения.

3. Показана возможность определения распределения дислокаций и легирующей добавки в кристаллах германия, а также неоднородные области малых размеров тепловизионным методом ( $\lambda=10,6$  мкм) Разрешающая способность метода на порядок превышает разрешающую способность зондовых методов измерения удельного сопротивления.

4. Показано образование двуосности с углом  $2V$  равном  $\sim 20^\circ$  в кристалле парателлурита в светозвукопроводах АО устройств на частоте 65 МГц.

5. С помощью разработанной фотонной модели распространения света в кристалле показано число фотонов, поглощённых при распространении светового пучка по толщине кристалла парателлурита и определена траектория фотона в кристаллах с разной степенью дефектности.

Полученные автором теоретические и экспериментальные результаты имеют практическое значение для исследования и аттестации свойств кристаллов германия и парателлурита и деталей из них для оптических и акустооптических устройств. Разработанные методы и адаптированные методики исследования являются уникальным инструментом выявления дефектов структуры и оценки параметров качества кристаллов. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и технологических работ по оптимизации процесса выращивания кристаллов высокого качества, в том числе крупногабаритных, а также повышения эксплуатационных параметров приборов.

Оценивая в целом диссертационную работу Третьякова С.А., как законченное научное исследование, выполненное автором на высоком методическом уровне, хотелось бы получить ответы на следующие вопросы:

1. Как учтено в фотонной модели изменение траектории фотона в диапазоне коротковолновой и длинноволновой границ пропускания кристалла?
2. Насколько точно предложенная фотонная модель может применяться для оценки влияния качества обработки входящей и выходящей поверхностей кристалла для разных длин волн излучения?
3. Каким образом в рамках предложенной модели можно учесть поляризацию

излучения при отражении в элементарной ячейке или локальный дефект заданного размера?

4. При температурах более 40 °С значительно увеличивается коэффициент поглощения кристаллов германия n-типа. Как это учтено при определении индикатрисы рассеяния при тепловизионных исследованиях?

К недостаткам, не умаляющим достоинств работы, следует отнести отсутствие оценок погрешностей величин измеряемых параметров кристаллов; не указана точность поддержания температуры кристаллов при использовании тепловизионных методов исследования.

Список публикаций автора и участие автора на конференциях свидетельствует о высокой степени апробации работы. По результатам работы получены 4 патента и 4 свидетельства на программные продукты, а также подана заявка на патент. Текст диссертации в целом выверен и не содержит существенных ошибок. Автореферат полностью отражает содержание работы.

Считаю, что диссертационная работа полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 02.08.2016), а ее автор -Третьяков Сергей Андреевич - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.07 Физика конденсированного состояния.

Доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник  
АО «НПО ГОИ С.И. Вавилова»

Ветров Василий Николаевич  
(Специальность: 01.04.05-Оптика)

*Подпись руки Ветрова В.Н. заверено  
Делегированный отделе УПИД*

192171г. С-Петербург, ул. Бабушкина, д. 36, к. 1 тел. (812) 449-46-99, факс (812) 560-19-87;  
e-mail: [info@goi.ru](mailto:info@goi.ru); [Vasvetrov@mail.ru](mailto:Vasvetrov@mail.ru)