

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова»
(ЯрГУ)**

Советская ул., д. 14, Ярославль, 150003
Телефон: (4852) 78-86-05 Факс: (4852) 25-57-87
<http://www.uniyar.ac.ru>, e-mail: rectorat@uniyar.ac.ru
ОКПО 02069409, ОГРН 1027600680249
ИНН/КПП 7604011791/760401001

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО

«Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова»
д.х.н., профессор

А.И. Русаков

2018 г.

№ _____

на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Воронцовой Елены Юрьевны «Форма изохром в коноскопических картинах одноосных кристаллов при произвольной взаимной ориентации нормали к поверхности и оптической оси», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Коноскопия является одним из классических интерференционных методов и применяется для оценки оптической однородности и для приближенного определения ориентации оптически анизотропных монокристаллов. Новые технические возможности метода связаны с использованием лазеров как источников конических пучков света, направляемых на поверхности кристаллических элементов, а также с применением цифровых камер для фиксации и численного анализа коноскопических картин. Несмотря на развитие современных приложений метода, до настоящего времени многие теоретические его аспекты разработаны недостаточно. Для формы изохром – наиболее информативной составляющей коноскопических картин – известны только уравнения, выведенные с большим числом приближений и не позволяющие строго интерпретировать форму изохром в реальных изображениях путем сопоставления их с формой, предписываемой точной теорией. Такое положение имеет место не только в отношении одноосных кристаллов, но и двуосных, для которых вывод строгих соотношений сопряжен с еще большими математическими трудностями. Между тем вывод точных уравнений изохром даже для одноосных кристаллов является не только важной теоретической задачей, но и открывает перспективы для применения в метрологии оптической однородности большого количества различных кристаллов, активно используемых в современных оптических,

оптоэлектронных (акустооптических, электрооптических, магнитооптических) и лазерных устройствах.

Таким образом, тематика диссертационной работы Воронцовой Е.Ю. является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Критерию научной новизны отвечает большинство из представленных в диссертации результатов исследований. Среди них можно выделить некоторые новые результаты, представляющиеся наиболее интересными:

- Впервые получено без ранее применявшихся приближений уравнение изохром в коноскопических картинах одноосных кристаллов.
- Впервые проанализированы теоретически и подтверждены экспериментально формы изохром при произвольных ориентациях нормали к поверхностям одноосных кристаллов относительно оптической оси.
- Впервые уравнение изохром использовано при исследованиях оптической однородности одноосных монокристаллов методом лазерной коноскопии.

Практическая значимость результатов диссертационных исследований достаточно обоснована. Полученное уравнение изохром эффективно использовано при анализе коноскопических картин одноосных кристаллов парателлурита и ниобата лития с целью поиска, классификации и численной оценки оптических аномалий в элементах, предназначенных для акустооптических и лазерных устройств. Кристаллические элементы, прошедшие тестирование на оптическую однородность с помощью метода лазерной коноскопии, дополненного усовершенствованным математическим аппаратом, вошли в состав действующих уникальных акустооптических устройств, в частности, АОДЛ – адаптивных линий задержки, предназначенных для сжатия и корреляции сверхмощных импульсов фемтосекундных лазеров. В работе показана практическая применимость использованной методики для обнаружения таких аномалий в одноосных кристаллах как свили, вариации показателей преломления, аномальная двуосность, а также для установления клиновидности образцов. При этом возможно вычисление значений остаточных механических напряжений в кристаллах, а установление локализации объемов материала, содержащих неоднородности, в принципе позволяет вносить целенаправленные коррективы в технологии выращивания соответствующих кристаллов.

Полученные в работе результаты представляются достоверными, а выводы и основные положения, выносимые на защиту, обоснованными. Это обеспечено использованными при выполнении работы тщательными и подробными математическими выкладками, применением апробированных экспериментальных методик, реализованных с помощью современного исследовательского оборудования, а также прямой проверкой выведенных соотношений на реальных образцах одноосных кристаллов парателлурита и ниобата лития.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 94 наименований. Работа изложена на 149 страницах печатного текста и содержит полностью 66 рисунков и 2 таблицы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационной работы, обоснованы актуальность ее тематики, ее новизна и практическая значимость.

В первой главе изложены физические принципы, оптические схемы и сферы применения метода коноскопии с учетом современных новых приложений, представлена динамика публикаций по данной тематике. Рассмотрены основные положения кристаллооптики, на которых базируются известные и полученные в диссертации уравнения изохром. Приведены примеры до сих пор не исследованных вопросов кристаллооптики, близких по постановке к задачам, решаемым в диссертации. Проанализированы история и современное состояние математического аппарата, описывающего формы изохром и изогир одноосных и двуосных кристаллов. Показано, что ранее применявшиеся приближения при выводе уравнений изохром в коноскопических картинах даже для одноосных кристаллов приводят к грубым искажениям истинной формы кривых равной разности фаз обыкновенной и необыкновенной волн. В особенности это касается общего случая, когда нормаль к кристаллу и его оптическая ось не параллельны и не ортогональны. Сделан вывод о том, что использование приближенного уравнения одноосных кристаллов может давать существенные погрешности при оценках оптической однородности кристаллов методом коноскопии. Приведен обзор оптических свойств исследованных в работе кристаллов.

Во второй главе, являющейся теоретической частью диссертации, подробно показана процедура выведения уравнения изохром одноосных кристаллов без ранее применявшихся приближений и упрощений. Сначала получено ранее не публиковавшееся уравнение кривой, описываемой волновым вектором необыкновенной волны на выходной поверхности кристалла при вращении падающего луча под постоянным углом к нормали. Далее, с помощью расчетов в рамках предложенной оптической схемы хода лучей после кристалла, находится разность фаз обыкновенной и необыкновенной волн, сходящихся в фокальной плоскости проекционной системы, используемой при получении коноскопической картины. Итоговой операцией является получение уравнения изохром одноосного кристалла при произвольной взаимной ориентации нормали к поверхности и оптической оси. Уравнение представлено как в классической форме - в виде многочлена восьмой степени от двух букв, равного нулю, а также в виде, наиболее удобном для компьютерных расчетов. Уравнение позволяет, при подстановке численных значений главных показателей преломления и толщины кристалла, фокусного расстояния проекционной системы, длины волны падающего излучения, а также угла между оптической осью и нормалью, рассчитывать и графически воспроизводить кривые – изохромы любых порядков. Проанализирован вид изохром при различных углах между осью и

нормалью. Приведены также ранее не публиковавшиеся формулы изохром для классических случаев их параллельности и ортогональности.

В третьей главе на специально изготовленных из одноосных кристаллов парателлурита и ниобата лития элементах с редкой кристаллографической ориентацией параллельных граней осуществлена прямая экспериментальная проверка корректности выведенного уравнения изохром. При этом для получения коноскопических картин использована оптическая схема, включающая лазерные источники излучения, а также полупрозрачный экран, за которым соосно исходному лучу устанавливалась цифровая фотокамера. Полученные изображения изохром с помощью компьютерной программы сравнивались с теоретическими, рассчитанными согласно выведенному уравнению. Установлено совпадение вида кривых, предсказанного теоретически с их видом, зафиксированным экспериментально. Представлены результаты применения разработанной методики при выявлении и численных оценках различных оптических аномалий в одноосных кристаллах – вариаций показателей преломления, свилей, аномальной двуосности, – а также клиновидности образцов, при расчетах механических напряжений в кристаллах, вызывающих соответствующие нарушения их оптической индикатрисы. Обоснованы некоторые технические особенности метода лазерной коноскопии и, в частности, возможность отказа от линзы проекционной системы, устанавливаемой после кристалла.

В заключении представлены основные результаты проведенных исследований и сделаны выводы, из которых следует, что цель и задачи, поставленные в диссертационной работе, успешно выполнены.

Диссертация Е.Ю. Воронцовой не лишена недостатков. Укажем на некоторые из них:

1. В первой главе (п.1.4.) помимо оптических свойств кристаллов парателлурита и ниобата лития упоминаются, в том числе, в заголовке, и оптические свойства кристаллов SBN (ниобата бария-стронция). Однако, несмотря на представленные во второй главе результаты опытов по температурной инверсии оптического знака этих кристаллов, они не нашли отражения ни в выводах к главе, ни в итоговых выводах.
2. Представляется, что в конце второй главы уместно было бы представить на одном графике одновременно кривые – изохромы, полученные для одного и того же кристалла согласно известному приближенному уравнению и согласно уравнению, выведенному без приближений в диссертации. Это еще более ярко иллюстрировало бы соответствующие различия.
3. Из текста в третьей главе (стр.124–130) не вполне ясно, вызываются ли выявленные методом коноскопии нарушения оптической однородности кристалла, входящего в состав акустооптического устройства, действием

импульсного фемтосекундного излучения или действием проходящего ультразвука, и каковы соотношения между этими факторами.

Указанные недостатки не изменяют общей положительной оценки работы.

Диссертация Е. Ю. Воронцовой является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Полученные в ней новые результаты имеют не только существенную теоретическую ценность для кристаллооптики, но и очевидную практическую значимость, поскольку могут быть использованы в организациях и на предприятиях с целью усовершенствования метрологии оптической однородности одноосных кристаллов, применяемых в оптоэлектронике и лазерной технике.

Диссертация по актуальности избранной тематики, обоснованности научных положений, достоверности, новизне и практической значимости полученных результатов соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней (п.9–п.14)», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации» от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Воронцова Елена Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа рассмотрена на заседании кафедры микроэлектроники и общей физики (протокол № 8 от 18 сентября 2018).

В обсуждении приняли участие заведующий кафедрой, д.ф.-м.н., доцент Кузнецова И.А., проф. Белоножко Д.Ф., проф. Зимин С.П., проф., декан физического факультета Московский С.Б., проф. Бережной Е.И., доценты Биркган С.Е., Куликов А.Н., Папорков В.А., Преображенский М.Н. и др. члены кафедры.

Заведующий кафедрой микроэлектроники
и общей физики, доктор физ.-мат. наук,
проректор по учебной работе

И.А. Кузнецова

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Адрес: 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14

Телефон: +7 (4852) 797702

Факс: +7 (4852) 257702

e-mail: rectorat@univ.yar.ac.ru

