

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Воронцовой Елены Юрьевны «Форма изохром в коноскопических картинах одноосных кристаллов при произвольной взаимной ориентации нормали и оптической оси», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы.

Метод коноскопии, заключающийся в получении и наблюдении изохром – интерференционных линий равной разности хода двух волн, возникающих при освещении оптически анизотропных кристаллов коническими пучками линейно поляризованного света, а также темных областей – изогир, соответствующих направлениям, в которых колебания гасят друг друга, известен уже около 150 лет. Как и любой интерференционный метод, он должен обладать чрезвычайно высокой чувствительностью, позволяющей регистрировать и измерять ничтожно малые по сравнению с длиной волны излучения разности хода, как это эффективно используется в современной интерферометрии, использующей не конические, а параллельные пучки света. Тем не менее до сих пор коноскопия применяется для решения ограниченного круга задач, в основном, качественного характера. Это грубое определение кристаллографической ориентации параллельных граней образца, вырезанного из кристалла, наблюдение такой оптической аномалии в кристаллах средней сингонии как аномальная двуосность и, наконец, проведение ярких и эстетически привлекательных демонстрационных опытов для студентов, углубленно изучающих специальные дисциплины, связанные с оптикой двулучепреломляющих кристаллов. Такие ограничения сферы применения метода обусловлены, в первую очередь, отсутствием математического аппарата, корректно описывающего форму изохром для одноосных и двуосных кристаллов и позволяющего переходить от констатации наличия в кристаллах неких оптических аномалий к расчету характеризующих аномалии физических параметров – вариаций показателей преломления, механических напряжений и т.д. Однако до недавнего времени форма изохром даже у одноосных кристаллов не была строго исследована математически и не была установлена экспериментально для произвольных углов между нормалью к поверхности и оптической осью. Таким образом, тематика работы Воронцовой Е.Ю. безусловно актуальна как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Методы и объекты исследований.

Для получения без приближений уравнения изохром одноосных кристаллов в теоретической части диссертации составлена система, в которую входит уравнение Френеля, записанное через направляющие

косинусы нормали, оптической оси, а также волновых векторов падающей и двух преломленных в кристалле волн. Условие нахождения векторов волн и нормали к поверхности в одной плоскости представлено в виде равенства нулю соответствующего определителя. Использован также закон преломления для обыкновенной и необыкновенной волн. При решении системы, с целью последующего перехода к координатной записи точек изохром, использованы операции с матрицами поворотов и другие преобразования, относящиеся к методам линейной алгебры и алгебры полиномов от нескольких букв. В ходе анализа выведенного уравнения восьмой степени, рассматриваемого с точки зрения геометрической формы соответствующих кривых, использованы понятия и положения теории симметрии.

Основным экспериментальным методом, применявшимся для получения и регистрации картин изохром одноосных кристаллов, являлся метод лазерной коноскопии. Его особенностью является использование лазеров видимого диапазона в качестве первичных источников линейно поляризованного монохроматического света, направляемого, после преобразования с помощью линз из параллельного в сходящийся или расходящийся пучок, на входную поверхность элемента, изготовленного из исследуемого кристалла. После выхода из кристалла свет проходит через анализатор и создает коноскопическую картину на полупрозрачном экране, за которым строго соосно оси конуса лазерных лучей устанавливается цифровая цветная камера, фиксирующая картину с изохромами на задней поверхности экрана. В работе использован и классический вариант метода коноскопии, при котором изохромы и изогиры наблюдаются с помощью поляризационного микроскопа, а образец кристалла размещается на предметном столике и освещается снизу конденсорной системой.

С целью сравнительного анализа формы рассчитанных теоретически и полученных экспериментально картин с изохромами в работе использованы компьютерные методы обработки изображений. При наблюдениях оптических искажений в кристаллах, входящих в состав включенных устройств, применялись методы и аппаратура, используемые в акустооптике для измерений мощностей и высоких частот электрических колебаний, подаваемых с генератора на пьезопреобразователь.

Объектами экспериментальных исследований в работе Е.Ю. Воронцовой являлись специально изготовленные из одноосных кристаллов парателлурита, ниобата лития и SBN (ниобата бария–стронция) образцы с различными ориентациями противоположных параллельных граней. Объектами исследований являлись также искажения формы изохром в кристаллах- светозвукопроводах из парателлурита, возникающие вследствие выделения тепла в акустооптических устройствах – АОД (дефлекторах) и АОДЛ (линиях задержки), предназначенных для сжатия и корреляции формы импульсов фемтосекундных лазеров.

Содержание работы.

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

Во введении обоснована актуальность диссертационной тематики, сформулированы цель работы и решаемые в ней задачи. Показаны научная новизна и практическая значимость полученных в диссертации результатов. Представлены научные положения, выносимые на защиту. Приведены данные о публикациях по теме диссертации, об апробации работы, а также о личном вкладе автора в полученные результаты.

В первой главе, являющейся литературным обзором по тематике диссертационных исследований, изложены физические принципы метода коноскопии, рассмотрена история развития его теоретической и экспериментальной составляющих, показаны сферы применения в науке и технике, представлена динамика публикаций, связанных с коноскопией. С точки зрения необходимости развития метрологии оптической однородности одноосных кристаллов как материалов, широко применяемых в современной оптоэлектронике, обоснована важность получения точных выражений, описывающих форму изохром этих кристаллов. В результате анализа способов, использованных ранее при получении приближенных уравнений изохром одноосных кристаллов, а также на основании изображений изохром, зафиксированных экспериментально, сделан вывод о несоответствии приближенной теории реально наблюдаемым формам изохром для всех вариантов взаимной ориентации оптической оси и нормали кроме их параллельности и ортогональности.

Во второй главе содержится описание вывода уравнения изохром одноосных кристаллов без ранее применявшихся приближений. Полученное алгебраическое уравнение восьмой степени от двух неизвестных, являющихся координатами точек изохромы заданного порядка, представлено в классическом виде, а также в виде, удобном для компьютерного численного решения и графического воспроизведения. При подстановке значений толщины кристалла, главных показателей преломления, длины волны излучения, угла между оптической осью и нормалью к поверхности и фокусного расстояния проекционной системы уравнение позволяет получать картины семейств изохром любых порядков в коноскопической картине. Показано, что в общем случае это кривые восьмого порядка, при совпадении направлений оси и нормали это кривые второго порядка – окружности, при ортогональности оси и нормали – это кривые четвертого порядка, только по виду напоминающие классические гиперболы – кривые второго порядка. Ранее упоминавшиеся в литературе в качестве изохром одноосных кристаллов кривые второго порядка – эллипсы в действительности не могут присутствовать в коноскопических картинах. В заключительной части главы проанализированы изменения вида изохром при изменениях угла между оптической осью и нормалью к поверхности кристалла.

В третьей главе рассмотрены следствия технического характера, вытекающие из полученного уравнения изохром и позволяющие оптимизировать условия применения метода коноскопии. На специально изготовленных образцах кристаллов парателлурита и ниобата лития, имеющих ранее не использовавшиеся в известных работах ориентации взаимно параллельных поверхностей, методом лазерной коноскопии получены картины изохром, полностью подтвердившие их форму, рассчитанную согласно выведенному без приближений уравнению. С помощью лазерной коноскопии, дополненной усовершенствованным математическим аппаратом, получены экспериментально и проанализированы путем компьютерного сравнения с теоретическими картины изохром в таких же по размерам, но идеальных по однородности кристаллах. При этом в некоторых исследованных кристаллах парателлурита и ниобата лития обнаружены, классифицированы и оценены с количественной стороны такие оптические неоднородности как свили, вариации показателей преломления и аномальная двуосность. Показана перспективность применения такого метода в практической метрологии оптического качества искусственно выращиваемых одноосных монокристаллов, входящих в состав современных оптоэлектронных и лазерных устройств многих типов. Приведены результаты применения коноскопии при наблюдениях температурной инверсии оптического знака кристаллов SBN, а также с целью контроля оптической однородности кристаллов, входящих в состав включенных и функционирующих акустооптических и лазерных устройств.

В заключении представлены выводы, сделанные по результатам проведенных диссертационных исследований.

Новизна результатов, полученных в диссертационной работе.

- Впервые без ранее использовавшихся приближений выведено уравнение изохром в коноскопической картине одноосного кристалла для общего случая произвольной взаимной ориентации оптической оси и нормали к его поверхности.
- С помощью метода лазерной коноскопии получено подтверждение совпадения рассчитанных согласно уравнению и зафиксированных экспериментально форм изохром в коноскопических картинах одноосных монокристаллов парателлурита и ниобата лития.
- Методом коноскопии, дополненным усовершенствованным математическим аппаратом, обнаружены и исследованы с количественной стороны оптические аномалии в кристаллах парателлурита и ниобата лития – свили, вариации показателей преломления, аномальная двуосность.

Практическая значимость полученных результатов.

Теоретические и экспериментальные результаты, полученные автором при выполнении диссертационной работы, представляют практическую ценность для метрологии оптической однородности элементов,

изготавливаемых из одноосных монокристаллов и предназначенных для современных оптоэлектронных, в том числе, акустооптических и лазерных устройств. При этом метод лазерной коноскопии, дополненный новым математическим аппаратом, не уступает по чувствительности другим известным методам, применяемым для обнаружения и численной оценки оптических аномалий в кристаллах, отличаясь от них большей информативностью, а также более простым, малогабаритным и менее дорогостоящим аппаратным оформлением. Результаты диссертационных исследований могут быть внедрены на предприятиях, организациях и в научных учреждениях, связанных с разработкой устройств оптоэлектроники и фотоники, с исследованиями свойств, выращиванием и контролем качества одноосных кристаллов.

Общая оценка диссертационной работы.

Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК РФ. Работа изложена профессиональным научным языком, в понятной логической последовательности. Она содержит высококачественные иллюстративные материалы, снабжена ссылками на значительное число публикаций по тематике проведенных исследований. Тем не менее следует указать на некоторые недостатки, имеющиеся в диссертации.

- В первой главе показано, что для одноосных кристаллов в научной литературе отсутствуют точные математические выражения не только для кривых-изохром, но и для кривых-изогири. Между тем изогиры присутствуют в коноскопических картинах и, как видно на экспериментальных изображениях из второй главы диссертации, иногда закрывают изохромы. В связи с этим представляется, что хотя бы на качественном уровне следовало оценить данное препятствие для наблюдения, съемки и компьютерного анализа изображений изохром в затемненных областях.
- Из текста в третьей главе на страницах 119 и 130 и из подписей к рисункам 59 и 66 не вполне ясно, какой фактор является определяющим при возникновении оптических неоднородностей в кристаллах во включенных устройствах – поглощение ультразвука или лазерного излучения.
- В диссертации присутствуют некоторые неточности и опечатки. Так, на стр. 51 в правой части уравнения не закрыта квадратная скобка; на рисунке 48 а смазано цветное экспериментальное изображение изохром; в подписи к рисунку 53 вместо слова «направлениями» должно быть «напряжениями».

Заключение.

Перечисленные недостатки не влияют на положительную общую оценку диссертационной работы. Список научных конференций и перечень научных публикаций, в которых представлялись полученные автором результаты,

свидетельствуют о высокой степени апробации работы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Давая оценку работы в целом, можно утверждать, что она является законченным научным исследованием, выполненном на высоком уровне. Его теоретическая ценность для кристаллооптики состоит в выводе уравнения, впервые точно описывающего форму изохром одноосных кристаллов. Практическая значимость результатов работы определяется новыми перспективами технических приложений метода коноскопии и, в первую очередь, в метрологии оптической однородности одноосных монокристаллов, используемых в современных оптоэлектронных и лазерных устройствах.

По объему решенных задач, актуальности темы исследования и практической значимости диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК, изложенным в положении № 842 от 24.09.2013г. «О присуждении ученых степеней» и предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.07, а ее автор – Воронцова Елена Юрьевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния.

Кандидат физико-математических
наук по специальности 01.04.07,
ведущий инженер
ООО «Нефтегазгеофизика»
170033, г. Тверь,
ул. Терещенко, д. 5/25
Тел. 89206814300
E-mail: lis13@yandex.ru

Лисицын Владимир Сергеевич.

4.10.2018