

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по науке и инновациям
НИТУ «МИСиС»

М.Р. Филонов

« 19 » апреля 2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» на диссертационную работу Гаваяна Мамикона Юрьевича «Влияние кристаллографической ориентации и примесного состава на оптические, диэлектрические и теплофизические характеристики кристаллов германия и парателлурита», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационное исследование Гаваяна М.Ю. «Влияние кристаллографической ориентации и примесного состава на оптические, диэлектрические и теплофизические характеристики кристаллов германия и парателлурита» посвящено актуальной теме исследования возможностей улучшения характеристик оптических материалов для фотоники и квантовой электроники с целью создания современной элементной базы и устройств фотоники на их основе.

Кристаллический германий нашел широкое применение в различных отраслях науки и техники. Германий используется в металлургии, в медицине, в электронике и электротехнической промышленности, в оптике,

для производства волоконной оптики, в производстве бытовых пластмасс. В настоящее время основными сферами потребления германия являются: инфракрасная оптика; оптические волокна; производство пластмасс, где Ge используется в качестве катализатора синтеза; электроника и солнечные батареи; детекторы ионизирующих излучений. В настоящее время германий является наиболее востребованным материалом для акустооптических устройств управления лазерным излучением ИК и терагерцового диапазонов.

Парателлурит является востребованным материалом для создания приборов и устройств акустооптики и фотоники. Монокристаллы парателлурита – тетрагональной модификации диоксида теллура ($\alpha\text{-TeO}_2$) – обладают рядом уникальных для диэлектриков свойств. Кристаллы имеют широкий диапазон прозрачности (0,35–6,0 мкм) без заметных полос поглощения, практически нерастворимы в воде, легко обрабатываются. Кристаллы парателлурита обладают высоким акустооптическим качеством и аномально высокой анизотропией оптических, акустических и фотоупругих свойств, что позволяет применять их во всех классах акустооптических приборов: дефлекторах, модуляторах, электронно-перестраиваемых фильтрах и дисперсионных линиях задержки для мощных фемтосекундных лазерных машин.

Высокие требования к оптическим системам и приборам, частью которых являются кристаллы германия и парателлурита определяет и соответствующий уровень требований к оптическому качеству и структуре кристаллов, а также к таким параметрам монокристаллов, как их электрофизические свойства и теплофизические характеристики. Все это делает исследование свойств, а также возможность контроля параметров оптических заготовок **актуальной** задачей.

Приборы на основе германия и парателлурита, используются в различных климатических условиях, во время работы кристаллы могут разогреваться, требовать водяного охлаждения, с возникновением в них температурных градиентов. Исследование теплофизических характеристик

позволит выращивать кристаллы, оптимальные для конкретного использования, а также конструировать систему теплоохлаждающих элементов в приборах и устройствах.

Компетенция в области разработки и производства оптических материалов является ключевым фактором для развития всех направлений фотоники. Вышеизложенное определяет **актуальность и значимость** поставленной автором проблемы.

Важно отметить и то, что выводы диссертационного исследования уже находят свое **практическое применение** в технологиях выращивания кристаллов парателлуриата и германия.

Работа состоит из введения, четырех глав и основных результатов и выводов. Во **введении** обосновывается актуальность исследования, его новизна, теоретическая и практическая значимость; указывается его цель, задачи, объекты; формулируются положения, выносимые на защиту; обосновывается методология и методы исследования, достоверность результатов, научная новизна.

Первая глава представляет собой достаточно подробный литературный обзор по теме исследования.

Во второй главе выполнен тщательный анализ методик и аппаратуры исследований, вполне достаточный для обоснования **достоверности** экспериментальных результатов.

Третья глава посвящена исследованиям диэлектрических и тепловых характеристик монокристаллов парателлуриата в зависимости от кристаллографической ориентации.

В работе выполнены подробные экспериментальные исследования частотных зависимостей и мнимой компонент диэлектрической проницаемости в интервале температур от 30°C до 360°C.

Наиболее интересным моментом исследования (раздел 3.1) является **впервые обнаруженный феномен**, что диэлектрическая проницаемость, соответствующая направлению роста кристалла на 25% больше, чем

диэлектрическая проницаемость, соответствующая ортогональному направлению, несмотря на то, что эти направления: и $[110]$ и $[1-10]$ в силу класса симметрии 422 парателлурита с кристаллографической точки зрения эквивалентны.

К сожалению, в описании феномена (см. также рис. 3.1), например, «диэлектрическая проницаемость кристалла парателлурита, соответствующая кристаллографическому направлению $[1-10]$, которая использовалась при вытягивании кристалла по методу Чохральского, на 25% больше, чем в направлении $[110]$...» допущена ошибка. Направления $[110]$ и $[1-10]$ в парателлурите не могут быть идентифицированы и разграничены на рентгеновском дифрактометре, или каким-либо другим методом. Нельзя определить вдоль какого направления $[110]$ или $[1-10]$ вытягивается кристалл. Поэтому, можно утверждать только, что диэлектрическая проницаемость кристалла в направлении выращивания и в ортогональном направлении различается.

Данное замечание не снижает научной значимости обнаруженного феномена.

Завершается глава исследованием коэффициента теплопроводности кристалла парателлурита в направлениях $[110]$, $[1-10]$, $[010]$ и $[001]$.

Четвертая глава посвящена исследованиям диэлектрических и тепловых характеристик монокристаллов германия.

Экспериментально исследовалась спектральная зависимость коэффициента пропускания кристаллов германия, легированных галлием, висмутом, никелем, кобальтом, алюминием, а также легированного сурьмой без дислокационного германия в диапазоне длин волн 8-12 мкм, а также в длинноволновой области основных пиков фононного поглощения. Обнаружено наличие одновременно двух «кислородных» пиков поглощения.

Исследованы оптические свойства крупногабаритных кристаллов германия, определяемые структурным совершенством кристалла и значимые для систем передачи изображений с высоким разрешением.

Наиболее интересным моментом четвертой главы являются оригинальные результаты экспериментального исследования оптического пропускания германия в терагерцовом диапазоне длин волн (раздел 4.2).

Результаты этого эксперимента в отличие от результатов исследования в инфракрасном диапазоне показывают резкую зависимость пропускания излучения терагерцового диапазона длин волн от концентрации примесей сурьмы и галлия. Обнаружено, что пропускание германия в терагерцовом диапазоне длин волн существенно ниже, чем в ИК диапазоне. Дано качественное объяснение этих феноменов. Результаты новые, они имеют высокую **научную ценность**, поскольку в настоящее время германий является основным акустооптическим материалом для создания приборов управления терагерцовым излучением.

Перед нами значимое серьезное исследование, основными научными результатами которого стало исследование оптических, тепловых, диэлектрических характеристик кристаллов германия и парателлурита.

На основании проведенных экспериментальных исследований и их анализа автором получен ряд новых результатов, среди которых, на наш взгляд, наиболее значимыми являются следующие:

1. обнаружено наличие 2-х «кислородных» пиков поглощения в монокристаллах германия, максимумы которых соответствуют частотам 841 см^{-1} и 855 см^{-1} , обусловленных ростом концентрации кислорода от 10^{15} до 10^{17} см^{-3} ,
2. в инфракрасном и терагерцовом спектральных диапазонах впервые выявлены закономерности влияния примеси и ее концентрации на оптическое пропускание в монокристаллическом германии,
3. впервые исследована зависимость коэффициента теплопроводности для монокристаллов парателлурита и германия от кристаллографического направления и для кристаллов германия *n*-типа от концентрации примеси,

4. при исследовании диэлектрической проницаемости кристаллов парателлурита обнаружен феномен, связанный с направлением роста кристалла.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что данное исследование, безусловно, обладает **научной новизной**.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов определяется использованием современной аппаратуры и методов исследования, согласованностью результатов полученных различными методами.

Диссертация Гаваяна М.Ю. имеет важное **практическое значение**. Комплексные методы определения оптических параметров кристаллов германия могут быть применены для контроля качества выращенных кристаллов для оптических элементов систем тепловидения. Знание тепловых характеристик может быть использовано для улучшения качества оптических элементов на основе германия, работающей в условиях повышенных температур.

Численные значения коэффициентов теплопроводности парателлурита могут использоваться при расчете оптимальных формы и размеров конструкционных элементов, окружающих акустооптические элементы на основе монокристаллов парателлурита.

Диссертация оформлена в соответствии с ВАК РФ, изложена грамотным научным языком, содержит иллюстрации и таблицы, текст сопровождается ссылками на публикации. Полученные результаты работы достаточно хорошо аргументированы и апробированы на российских и международных конференциях.

По материалам исследования опубликовано 13 научных работ, в том числе 9 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК по данной специальности.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает основное содержание диссертации.

Вместе с тем диссертация не лишена недостатков.

1. Один из недостатков отмечен на странице 4 отзыва ведущей организации.
2. Исследованию оптических свойств кристаллического германия посвящено достаточно много экспериментальных и теоретических работ, следовало более четко указать, чем настоящее исследование отличается от предшествующих.
3. Возможно следовало бы более четко обосновать объединение в одной работе таких достаточно разных оптических материалов, как германий и парателлурит.
4. В тексте диссертации имеются опiski и стилистические неточности. В качестве подобного примера на странице 24 коэффициент акустооптического качества M_2 определен дважды двумя формулами (1.7) и в тексте. Скорость звука в них обозначена различными буквами

Заключение по диссертации.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от работы и не влияют на ее основные выводы и защищаемые положения.

По актуальности, научной новизне, объему проведенных исследований и практической значимости, диссертационная работа Гаваляна М.Ю. отвечает требованиям (пунктов 9-14 "Положения о порядке присуждения ученых степеней"), предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор несомненно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Отзыв заслушан и обсужден на семинаре НТУЦ Акустооптики
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС» 27 апреля 2016 г., протокол № 13-2016.

Директор НТУЦ акустооптики,
канд. физ.-мат. наук, с.н.с.


С.И. Чижиков

Служебный адрес и телефон:

НТУЦ Акустооптики НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, НИТУ «МИСиС» (ауд. А-625).

E-mail: aocenter@misis.ru Телефон: +7 (495) 951-1265 Факс: +7 (495) 959-9984

Подпись С.И. Чижикова заверяю

Проректор по безопасности
и общим вопросам

И.М. Исаев