

В диссертационный совет Д 212.173.02
при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего
образования «Новосибирский государственный технический университет»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук

Александра Евгеньевича Ангервакса

на диссертационную работу Шмыгалева Александра Сергеевича «**Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами**»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Развитие волоконной оптики, связанное с расширением рабочего диапазона функциональных материалов в инфракрасную область спектра, обусловлено перспективностью её применения в различных областях науки и техники. Примерами новых областей применения являются лазерная техника, фотоника, наноэлектроника, инфракрасная волоконная и сцинтилляционная оптика и другие. Среди прочих особо стоит выделить направление инфракрасной волоконной пирометрии, активное развитие которой может служить предпосылкой к созданию нового класса тепловизионных приборов, предназначенных для решения широкого спектра задач при затрудненных условиях съемки. Оптические материалы, которые могут быть использованы в качестве основы для создания подобных приборов, должны обладать разнообразными физико-химическими свойствами и удовлетворять достаточно жестким эксплуатационным характеристикам, среди которых прозрачность в широком диапазоне спектра, механическая и лучевая прочность, высокая чистота и однородность материала, стойкость к влаге, термоударам и другим внешним воздействиям, нетоксичность, технологичность изготовления.

В настоящее время известен широкий круг инфракрасных материалов, однако, всему комплексу требований не удовлетворяют даже лучшие из них. В связи с этим для исследований автором выбраны световоды, изготовленные из монокристаллов твердых растворов галогенидов серебра, в том числе модифицированные ТII. Автором были изготовлены инфракрасные световоды систем AgCl–AgBr и AgBr–ТII, проведено исследование возможности передачи по ним энергии в форме теплоты и теплового изображения при различных условиях и выявлены их основные теплофизические

свойства. Также в рамках работы диссертантом разработан ряд оптоволоконных приборов, осуществляющих удаленный контроль за температурой нагретых объектов в промышленности и медицине. Учитывая вышесказанное, **актуальность** диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и обозначений, библиографического списка (227 наименований) и приложения, содержит 164 страницы машинописного текста, включая 16 таблиц и 64 рисунка. Диссертация написана хорошим научным языком и грамотно изложена.

Во введении представлена актуальность выбранной темы исследований, сформулирована цель и поставлены задачи, которые решались в рамках диссертационной работы. Также, описана научная новизна и практическая значимость проведенной работы, указаны положения, выносимые на защиту, обоснована степень надежности и достоверности полученных результатов и приведены сведения об апробации результатов диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору различных материалов волоконной оптики, прозрачных в инфракрасной области спектра. Рассмотрены широко изученные в настоящее время материалы на основе оксидных (SiO_2 , GeO_2 , TeO_2), халькогенидных (ZnSe), фторидных (CdF_2 , CaF_2 , BaF_2) и галогенидных (КРС-5, КРС-6) стекол, а также проанализированы системы на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия (AgCl-AgBr , AgBr-TlI). Для данных материалов приведены физико-химические, оптические и основные теплофизические свойства, описаны способы получения и области их применения. Обоснован выбор систем AgCl-AgBr и AgBr-TlI для проведения дальнейших исследований.

Во второй главе представлена технология производства кристаллов и световодов на основе твердых растворов систем AgCl-AgBr , AgBr-TlI . Синтез сырья был проведен автором на установке, использующей метод термозонной кристаллизации синтеза (ТЗКС) с разделением зон насыщения, транспорта и кристаллизации, на основании предварительно рассчитанных условий. Выращивание монокристаллов проводилось с участием А.С. Шмыгалева на установке ПКБ – печь конструкции Бриджмена. Проведена настройка температурных режимов установки, разработаны условия роста и выращены кристаллы различных составов. Автором работы был определен комплекс оптических свойств кристаллов. Установлено, что кристаллы обладают высоким пропусканием (до 80 %) в спектральном диапазоне 0.4–40.0 мкм в зависимости от состава без окон поглощения. Измерены значения показателей преломления в зависимости от состава на длине волны

632.8 нм, которые находились в диапазоне от 2.094 до 2.272. Методом экструзии автором изготовлены инфракрасные световоды систем AgCl–AgBr, AgBr–ТII четырех составов. Используемые режимы экструзии подбирались экспериментально.

В третьей главе рассмотрен комплекс теплопереносных свойств инфракрасных световодов. Продемонстрировано, что с применением инфракрасных световодов можно проводить измерения температур поверхностей различных удаленных объектов с использованием метода инфракрасной термографии. Установлено влияние конфигурации световодов, изготовленных на основе твердых растворов галогенидов серебра на передачу теплового излучения. Выявлено, что диаметр световода не влияет на пропускание излучения, а при наличии изоляционных материалов и уменьшении длины световода доля пропускания увеличивается. Определен критический радиус изгиба и оценены потери теплового излучения при различных радиусах, отличных от критического. Подтверждена принципиальная возможность передачи тепловизионного изображения через волоконно-оптический кабель, изготовленный из световодов на основе твердых растворов галогенидов серебра.

Автором сконструирована оптико-электронная система, с помощью которой исследованы особенности импульсного режима передачи теплового излучения по инфракрасным световодам в температурном диапазоне от 280 до 400 К. Показана эффективность импульсного режима работы в сравнении с непрерывным. В работе установлены зависимости напряжения при увеличении расстояния между приемником и источником инфракрасного излучения и от соотношения их площадей. Объяснено изменение формы сигнала при изменении соотношения площадей излучающей площадки и лопастей модулятора. Установлена зависимость характеристик теплового излучения, передаваемого в импульсном режиме с помощью инфракрасных световодов различного химического состава. Показано, что разница в значениях выходного напряжения в 15 % для световодов составов $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$ и $\text{Ag}_{0.95}\text{Tl}_{0.05}\text{Br}_{0.95}\text{I}_{0.05}$ связана со спектральными характеристиками оптического волокна.

Автором введено понятие коэффициента теплопереноса для случая радиационно-кондуктивного теплообмена в прозрачном твердом теле. Разработана методика и изготовлена лабораторная установка и впервые получены значения коэффициента теплопереноса инфракрасных световодов составов AgCl–AgBr и AgBr–ТII. Методом температурного скачка получены новые данные о коэффициентах температуропроводности инфракрасных световодов. На основании этих данных произведен расчет удельной теплоемкости.

В четвертой главе рассмотрены перспективные области практического применения кристаллических инфракрасных световодов на основе твердых растворов галогенидов серебра. Автором предложено использовать световоды для удаленного контроля за тепловым состоянием рабочих лопаток газотурбинных установок и характеристиками газовых факелов. Возможность применения инфракрасных световодов для этих целей обосновывается получением удовлетворительных результатов при проведении первичных испытаний. Диссертантом разработана и запатентована конструкция оптоволоконного тиристора, управляемого инфракрасным излучением. Также автором предложен ряд применений волокон в области медицины. В частности, сконструировано стоматологическое устройство для проведения антисептической обработки труднодоступных участков полости рта, эффективность работы которого подтверждается клиническими испытаниями и патентами РФ. Кроме того, автором предложена и апробирована модель оптоволоконного пирометра, предназначенного для контроля температуры при лазерной облитерации кист Бейкера.

Научная новизна диссертационной работы Шмыгалева А.С. состоит в следующем:

1. Проведен расчет условий термозонной кристаллизации-синтеза исходной шихты, подобраны режимы и выращены кристаллы систем AgCl-AgBr , AgBr-TlI , исследованы их оптические свойства. Подобраны параметры экструзии и изготовлены кристаллические инфракрасные световоды.
2. Экспериментально подтверждена возможность передачи энергии в форме теплоты и теплового (термического) изображения по сборке световодов. Определены факторы, влияющие на передачу тепловизионного изображения по инфракрасным световодам, предложены рекомендации по их учету и минимизации потерь.
3. Разработана методика и создана новая оптико-электронная система, предназначенная для получения и исследования импульсного режима передачи теплового излучения по инфракрасным световодам от тел, излучающих в среднем инфракрасном диапазоне (7.0–9.0 мкм) длин волн. Получены новые качественные и количественные данные о передаче тепловой энергии по световодам систем AgCl-AgBr , AgBr-TlI , при непрерывном и импульсном режимах передачи, на основании сравнения которых показана эффективность работы в импульсном режиме.
4. Предложена методика определения коэффициента теплопереноса на основании данных, полученных экспериментальным путем с помощью вновь разработанной и настроенной лабораторной установки для определения коэффициентов теплопереноса в готовых изделиях в виде стержней малого диаметра. Впервые получены данные о

теплофизических свойствах инфракрасных световодов на основе кристаллов систем AgCl–AgBr, AgBr–Tl, включающие в себя коэффициенты теплопереноса и температуропроводности, а также величины удельной теплоемкости.

5. Разработан ряд предложений по практическому использованию световодов в различных областях науки и техники.

В ходе выполнения диссертационной работы изготовлены ИК-световоды оптимальной структуры, сочетающие широкий спектр оптических свойств и технологичность производства, исследован комплекс их теплопереносных свойств, а также предложены перспективные области их применения. Все вышеперечисленные аспекты составляют **теоретическую и практическую значимость представленной работы.**

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность и обоснованность результатов исследований подтверждаются надежной статистикой эксперимента, воспроизводимостью полученных данных и использованием современного оборудования, прошедшего аттестацию. Основные результаты работы были опубликованы в ведущих научных российских и зарубежных журналах, представлены в докладах на российских и международных конференциях, а также докладывались и обсуждались на международных конференциях и форумах: Advanced Photonics Congress, Optical Sensors Conference (Barcelona, Spain, 2014 г.), XXII–XXIII Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте (г. Новороссийск, 2014 и 2015 г.), «Энергия-2016» (Иваново, 2016 г.), на XXIV Фотоэлектроника и приборы ночного видения (Москва, 2016 г.); на российских конференциях и форумах: XVII Актуальные проблемы физической и функциональной электроники (г. Ульяновск, 2014 г.), ВКВО – 2015 (г. Пермь, 2015 г.), XX–XXI Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках (Москва, 2015 г.; Санкт-Петербург, 2017), ежегодная конференция Нанотехнологического общества России (онлайн, 2014 г.).

Научные и практические результаты диссертационной работы неоднократно представлялись на российских и международных промышленных выставках (ИННОПРОМ 2013–2016 г.; ЭнергоПром ЭКСПО 2015) и были отмечены различными наградами.

В целом диссертационная работа Шмыгалева А.С. выполнена на высоком научном и технологическом уровне. Полученные результаты и сделанные выводы не вызывают сомнений.

- Неравномерность переноса энергии в световоде обсуждена недостаточно, хотя явно показана на тепловизионном снимке, рис. 3.4
4. Не оценено влияние быстродействия тепловизора на точность воспроизведения кривой нагрева в методе Паркера. При измеряемой величине 0,1 с (табл.3.3) тепловизор дает 5-6 кадров за время 0,1 с.
 5. При оценке возможностей новой установки по измерению коэффициента теплопереноса в тонких стержнях были бы полезны сравнительные оценки и для плохих проводников тепла, например, проволоки из нержавеющей стали.
 6. В тексте диссертации присутствуют упрощения терминов и описки. Вводятся термины «эффективная теплопроводность» и «коэффициент теплопереноса», однако далее неоднократно используются термины «температуропроводность» и «теплопроводность». В таблице 3.3 правильнее указать в качестве результата «эффективный коэффициент температуропроводности» в соответствии с принятыми допущениями. На стр. 103-106 следует указывать «коэффициент теплопереноса». На стр. 106 ошибочно сформулировано определение «теплопроводности». Очевидно, определяется «эффективная теплопроводность» по результатам измерений теплоемкости, плотности и «эффективной температуропроводности» и затем сравнивается со значением коэффициента теплопереноса. Название табл. 3.6 не отражает содержания. Значение количества тепла в табл. 3.6 приведено в ваттах.
 7. Для практического применения результатов исследования была бы уместна сравнительная характеристика теплопереноса в световодах из галогенидов серебра и в кварцевых световодах.

7. Заключение

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа Шмыгалева Александра Сергеевича «Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами» представляет собой завершённое научное исследование на актуальную тему. Сделанные в работе выводы и сформулированные защищаемые положения адекватны и достоверны. Результаты диссертационной работы были доложены на международных и отечественных конференциях по росту кристаллов, а также опубликованы в ведущих зарубежных журналах. Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения (см. раздел 5 отзыва). Автореферат и опубликованные статьи отражают содержание диссертации.

Диссертация логично построена, ее структура и содержание соответствует целям исследования и паспорту заявленной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

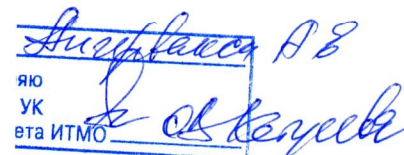
По своей, актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора диссертационная работа «Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных

Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. (с изменениями на 02 августа 2016 г.).
Результаты работы соответствуют паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, включающего разделы по экспериментальному исследованию термодинамических и переносных свойств чистых веществ и их смесей в широкой области параметров состояния и разработке методов исследования и расчета радиационного теплообмена в прозрачных и поглощающих средах, а ее автор, Шмыгалев Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заведующий лабораторией федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО), кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.05 – Оптика)



Александр Евгеньевич Ангервакс



яю
УК
ета ИТМО

Адрес места работы: 197101, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49.

Тел/факс: +7 (812) 457-18-19

Адрес электронной почты: angervax@mail.ru

*Поступил в Совет 27.11.18
Уд. экр. ДС/ИТМО / Шмыгалев А.С.*

*С отзывом знакомлен 27.11.2018
Шмыгалев А.С.*