

«УТВЕРЖДАЮ»
ФГБУН «Институт
УрО РАН, к.ф.-м.н.
_ А. В. Виноградов
_____ 2018 г.

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

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт теплофизики» Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Шмыгалева Александра Сергеевича «**Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа посвящена применению новых инфракрасных световодов на основе кристаллов твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия для передачи, приема и исследования информации о температуре и тепловом состоянии различных объектов энергетической сферы. Данное техническое направление является актуальным, что обусловлено важностью разработки приборов и методик их применения, осуществляющих тепловой контроль труднодоступных объектов и объектов, работающих в экстремальных (применительно к мощности тепловыделения) условиях. Передача теплового излучения инфракрасными световодами напрямую связана с их теплопереносными свойствами, исследование которых является важным условием понимания механизмов радиационного теплообмена в прозрачных телах. Учитывая новизну предложенной темы работы, важным является исследование именно комплекса теплопереносных свойств. Автором работы экспериментально доказана возможность передачи теплового излучения и изображения по световодам в непрерывном и импульсных режимах, определены факторы, влияющие на величину пропускания, а также получены новые данные об основных теплофизических свойствах световодов.

В этой связи, тема диссертационной работы А.С. Шмыгалева, целью которой является комплексное экспериментальное исследование характеристик переноса тепловой энергии инфракрасными световодами, действительно является **актуальной** как с научной, так и с прикладной точек зрения.

2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа А.С. Шмыгалева состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения, содержит 164 страницы машинописного текста, включая 16 таблиц и 64 рисунка, библиографический список из 227 наименований цитируемой литературы и список сокращений.

Во введении представлена актуальность проведенных исследований, сформулирована цель и поставлены задачи, которые необходимо было решить в рамках диссертационной работы. Описана научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности полученных результатов и приведены сведения об их апробации.

Первая глава посвящена аналитическому обзору кристаллических материалов, применяемых в инфракрасной технике. Обсужден комплекс физико-химических, оптических и теплофизических свойств рассматриваемых материалов, а также описаны технологии их производства. Приведены основные области применения для каждого класса инфракрасных материалов. Обоснован выбор световодов на основе галогенидов серебра и таллия для дальнейших исследований.

Вторая глава раскрывает детали производства инфракрасных световодов на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия, которые в дальнейшем использовались для проведения исследований. Приведено описание основных технологических этапов производства, включающих подготовку шихты, рост кристаллов, контроль их оптических свойств и изготовление кристаллических световодов. Описаны гидрохимические основы базового метода термозонной кристаллизации-синтеза (ТЗКС). Автором проведен расчет условий, на основании которых синтезирован исходный материал. Из синтезированной шихты методом Бриджмена-Стокбаргера выращены монокристаллы и изучены их основные оптические свойства – показатель преломления (его значения изменялись от 2,094 до 2,272 в зависимости от состава) и спектральное пропускание, находившееся в области от 0,4 до 40,0 мкм. Методом экструзии из полученных кристаллов изготовлены кристаллические инфракрасные световоды составов $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, $\text{AgCl}_{0,75}\text{Br}_{0,25}$, $\text{AgCl}_{0,5}\text{Br}_{0,5}$, $\text{Ag}_{0,95}\text{Tl}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$.

В третьей главе, являющейся основной в представленном исследовании, обсуждена передача теплового излучения от различных источников с помощью кристаллических инфракрасных световодов на основе твердых растворов галогенидов серебра системы $\text{AgCl}-\text{AgBr}$. Определена доля пропускания теплового излучения в различных диапазонах длин волн, которая для длинноволнового диапазона (8,0 – 14,0 мкм) составила 54 %, а для коротковолнового (2,8 – 3,1 мкм) составила 26%. Изучены факторы, влияющие на пропускание теплового излучения, в частности, изменение геометрических характеристик (диаметра и длины), изменение радиуса изгиба, применение свето- и теплоизолирующих оболочек. Исследована возможность передачи тепловизионного изображения по инфракрасным сборкам и даны рекомендации по улучшению качества съемки.

Можно рекомендовать продолжение исследований оптических свойств обсуждаемых материалов для определения изменения спектра пропускания и спектральной зависимости показателя преломления с температурой.

Проведены комплексные работы по разработке методики, конструированию экспериментальной оптико-электронной системы для исследования импульсного режима передачи тепловой энергии по инфракрасным кристаллическим световодам и определению рабочих параметров этого процесса. На основании исследований линейности частотных свойств КРТ-детектора, характеристик падения напряжения в зависимости от расстояния между источником и приемником теплового излучения, уровня шумов операционного усилителя и характеристик падения напряжения в зависимости от площади поверхности источника излучения, выбраны наиболее удобные режимы проведения измерений. Определены характеристики импульсной передачи теплового излучения световодами составов $\text{AgCl}_{0,25}\text{Br}_{0,75}$, $\text{Ag}_{0,95}\text{Ti}_{0,05}\text{Br}_{0,95}\text{I}_{0,05}$ и выявлена их связь с оптическими свойствами.

Изучены основные теплофизические свойства поликристаллических инфракрасных световодов различного состава, таких, как коэффициент теплопереноса, эффективный коэффициент температуропроводности и удельная теплоемкость. Принимая во внимание структуру и физико-химические свойства оптических волокон, было введено понятие коэффициента теплопереноса и разработана методика его определения. Спроектирована и откалибрована лабораторная установка для определения коэффициентов теплопереноса в готовых изделиях в виде цилиндрических стержней малого диаметра, с помощью которой были получены значения искомых коэффициентов инфракрасных световодов. Методом температурного скачка измерены значения эффективных коэффициентов температуропроводности, посредством гидростатического взвешивания определена плотность исследуемых световодов. По этим данным и результатам калориметрических измерений автором работы произведен расчет удельной теплоемкости. В качестве рекомендации предлагаем в дальнейших исследованиях провести более подробный сравнительный анализ характеристик теплопереноса для световодов из новых материалов и традиционно используемых, например кварцевых и полимерных материалов.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практического применения кристаллических инфракрасных световодов. В рамках работы автором создана и протестирована модель волоконно-оптической системы, позволяющей проводить контроль термического состояния конструктивных элементов газотурбинного оборудования в реальном времени. Проведено измерение лучистых характеристик газового факела в ультрафиолетовом диапазоне спектра излучения с помощью кварцевого кабеля. Сравнение экспериментальных данных показало совпадение положения характеристических пиков OH^* и CN^* со стандартным положением. Показано, что инфракрасные кристаллические световоды способны передавать температурный профиль пламени газовой горелки в своей части спектрального диапазона. На основании полученных данных, предложено совместить в одном

волоконном кабеле кварцевые и инфракрасные световоды, что позволит значительно расширить покрываемый диапазон длин волн от 250 до 30000 нм. Совместно с соавторами разработана и запатентована конструкция силового тиристора, управляемого инфракрасным излучением, которая позволяет повысить надежность и стабильность работы энергосистем. Предложен ряд применений световодов в медицинских технологиях, в том числе в лазерной хирургии и стоматологии.

Заключение по диссертации кратко суммирует результаты выполненных исследований.

Оформление работы выполнено на высоком уровне. К сожалению, в тексте присутствуют грамматические и стилистические ошибки. В частности, «зависимость коэффициенты ...», страница 7, 24-я строка, «удельной теплоемкость...», страница 8, 25-я строка и далее по тексту. Обозначения переменных на осях рисунков даны основным шрифтом, хотя общепринятым является шрифт «курсив» для удобства отделения обозначений от их размерностей.

3. Научная новизна диссертационной работы

1. Проведен расчет условий термозонной кристаллизации-синтеза исходной шихты, подобраны режимы и выращены кристаллы систем $\text{AgCl} - \text{AgBr}$, $\text{AgBr} - \text{ТII}$, исследованы их оптические свойства. Найдены 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 осуществления импульсного режима передачи теплового излучения по инфракрасным световодам от тел, излучающих в среднем инфракрасном диапазоне (7,0 – 9,0 мкм) длин волн и его исследования. Получены новые качественные и количественные данные о передаче тепловой энергии по световодам систем $\text{AgCl} - \text{AgBr}$, $\text{AgBr} - \text{ТII}$, при непрерывном и импульсном режимах передачи, показано преимущество работы в импульсном режиме.
4. Предложена методика определения коэффициента теплопереноса в готовых изделиях в виде стержней малого диаметра на основании данных, полученных на новой лабораторной установке. Впервые получены данные о теплофизических свойствах инфракрасных световодов на основе кристаллов систем $\text{AgCl} - \text{AgBr}$, $\text{AgBr} - \text{ТII}$, включающие в себя значения коэффициентов теплопереноса, эффективной температуропроводности, а также удельной теплоемкости.
5. Разработан ряд предложений по практическому использованию световодов в различных областях науки и техники.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

- Показана возможность передачи тепловой энергии и информации о тепловых процессах по инфракрасным световодам с высокой скоростью. Разработанные устройства на основе инфракрасных световодов могут быть применены для проведения термического контроля в различных областях техники.
- Полученные данные об основных теплофизических свойствах световодов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия могут оказаться полезными для проведения различных научных и инженерных расчетов.
- Результаты исследования могут служить основой для разработки нового класса оптоволоконных приборов, реализующих метод удаленной инфракрасной термографии.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы А.С. Шмыгалева подтверждается наличием актов о внедрении результатов в деятельность российских компаний.

5. Достоверность, обоснованность и апробация результатов диссертационного исследования

Диссертантом сформулированы 6 положений, свидетельствующих о достоверности результатов исследований, включая использование фундаментальных законов теплового излучения, современной аппаратурной базы и известных научных методик. Данные положения не вызывают сомнений.

Научные положения, выносимые на защиту в диссертационной работе А.С. Шмыгалева, достаточно полно отражены в опубликованных работах. Материалы диссертации прошли серьезную апробацию в отечественных и зарубежных изданиях. По результатам исследования автором работы опубликовано 26 научных работ, из них 7 – в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, Scopus, WOS, 16 публикаций в тезисах и материалах конференций, получено 3 патента РФ.

6. Основные замечания и вопросы по работе

1. Основное внимание в работе уделено оценке теплопереноса через инфракрасные световоды от нагретого тела и возможностям пирометрии нагретых тел через световоды. Для заявленного широкого диапазона температуры 80-1080 К спектр излучения нагретого тела сильно меняется, в связи с чем недостаточно подробно сопоставлены спектр пропускания исследуемых световодов и спектры излучения нагретого тела.
2. Радиационный теплообмен оценивается по Стефану, пропорционально 4 степени температуры, но на ограниченном участке спектра следует оценивать по формуле Планка.
3. Обсуждение изменения показателя преломления на стр. 90 имеет следствием не только Френелевские потери, но и перераспределение модового состава излучения и переносимой энергии для различных длин волн в световоде.

- 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

степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы, **Александр Сергеевич Шмыгалеv**, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв подготовлен:

1. Ведущим научным сотрудником ИТФ УрО РАН, д.ф.-м.н., профессором по специальности 01.04.14 Скриповым Павлом Владимировичем



2. Старшим научным сотрудником ИТФ УрО РАН, к.ф.-м.н. Старостиным Александром Алексеевичем



Диссертационная работа А.С. Шмыгалева и отзыв на нее обсуждены на семинаре лаборатории высокотемпературных измерений Института теплофизики УрО РАН 16.11.2018 г. (протокол № 4).

620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 107а

Телефон: (343) 267-88-01

Тел./факс: (343) 267-88-00

E-mail: itp@itp.uran.ru

Сайт: <https://www.itp.uran.ru>

Подписи П.В. Скрипова и А.А. Старостина заверяю:

Специалист по персоналу,

Тимофеев / Попова С.

Поступил в Совет 27.11.18

Уд. экр. ДС Скрябин / Шмыгалеv АВ



С отзывом ознакомлен 27.11.2018

Шмыгалеv А.С.