

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Попова Павла Аркадьевича*
**«ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОКСИДОВ И
ФТОРИДОВ»**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

В ряду *несомненно актуальных* поставленных и решенных в диссертации задач по исследованию перспективных кристаллов, ситалов и нанокерамических материалов с нелинейными оптическими характеристиками можно выделить:

– систематические измерения теплопроводности различных оптических материалов (кристаллов, стекол, керамики), принадлежащим к различным химическим классам веществ;

– исследование влияния изо- и гетеровалентного изоморфизма на теплопроводность с учетом концентрации, размера и массы допантов;

– исследование свойств обычных и лазерных керамик;

– исследование дополнительных характеристик материалов (теплоемкость, термическое расширение, плотность и т. д.) с целью проведения анализа полученных данных с помощью существующих теоретических представлений и выявления влияния структуры и других факторов на теплопроводность для получения оптических материалов с высокими и низкими значениями коэффициента теплопроводности.

Явление теплопроводности даже по сравнению со сложным кинетическим явлением электропроводности характеризуется вдвое большим числом механизмов релаксации. Добавляется рассеяние фононов электронами, фонон-фононное взаимодействие и рассеяние фононов примесями или допантами. Каждый из механизмов характеризуется своей температурной зависимостью, а потому результирующая картина оказывается очень сложной. Можно согласиться с выводом автора, что существующее состояние теории теплопереноса в твердых телах не позволяет делать уверенные количественные прогнозы не только для сложных по составу и структуре легированных твердотельных материалов, но и наиболее простых объектов – кристаллических матриц диэлектриков.

В этой связи *научная новизна работы* определяется в основном экспериментальными результатами:

- Впервые измерены характеристики целого ряда твердотельных материалов, представленных как легированными составами, так и матричными (фторид кадмия CdF_2 , кристаллы семейств KY_3F_{10} , $\text{Na}_{0.4}\text{Y}_{0.6}\text{F}_{2.2}$, LiRF_4 , германозвлитин $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, α - и β -модификации бората бария BaB_2O_4 , александрит $\text{Al}_2\text{BeO}_4:\text{Cr}$, тетраборат стронция SrB_4O_7 , пирит FeS_2 и др.).
- Уточнены характеристики многих важных материалов, а в ряде случаев получены данные, позволяющие по-новому оценить уже известные материалы.

- Впервые установлены закономерности влияния гетеровалентного изоморфизма на теплопроводность, в т. ч. переход от кристаллического к стеклообразному поведению теплопроводности при увеличении концентрации гетеровалентных твердых растворов.
- Впервые систематически исследованы концентрационные зависимости теплопроводности ряда твердых растворов различной природы.
- Подтвержден факт повышения теплопроводности при фазовом упорядочении.
- Впервые экспериментально исследована теплопроводность наноструктурированной фторидной оптической керамики.

К наиболее существенным достижениям автора следует отнести создание установки для измерения теплопроводности, в которой реализован абсолютный стационарный метод продольного теплового потока. Температурная зависимость теплопроводности $k(T)$ исследовалась в интервалах температур 6 – 300 К и 50 – 300 К. Погрешность определения величины теплопроводности не превышающая $\pm 5\%$ при воспроизводимости результатов не хуже $\pm 3\%$ - хороший показатель для подобных измерений.

Современный уровень диссертационной работы определяется также исследованием качественных образцов, состав и структура которых охарактеризована современными инструментальными методами. Образцы синтезированы высококвалифицированными специалистами из известных научных центров России:

Гранатовые кристаллы высокого структурного качества больших размеров выращены в ИОФРАН, НИИ «Полюс» (Москва); ELMA (г. Зеленоград), ВНИИМЭТ (г. Калуга).

Оксидные монокристаллы высокого качества изготовлены в Институте неорганической химии СО РАН (г. Новосибирск), Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск), Южно-Уральском госуниверситете (г. Челябинск), Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г. Красноярск.) и др. научно-технологических центрах.

Основная часть исследованных образцов фторидов была изготовлена в Научном центре лазерных материалов и технологий Института общей физики РАН (Москва), Институте кристаллографии РАН (ИК РАН, г. Москва) и Казанском госуниверситете. Фторидные оптические керамики были изготовленные методами горячего прессования и формования в ГОИ НИТИОМ и ЗАО ИНКРОМ (г. С.-Петербург).

Заинтересованность указанных центров в развитии современных оптических материалов с требуемыми теплофизическими характеристиками способствовала как постановке работы, так и определению её *практической ценности* в виде:

- справочных данных, необходимых при конструировании оптических систем;
- рекомендаций по управлению теплопроводностью путем изоморфных замещений;

- выбора лазерных материалов с высокой теплопроводностью для лазеров большой мощности;
- установления факта высокой теплопроводности кристаллов ортованадатов РЗЭ и их перспективность как лазерных материалов;
- установления высокой теплопроводности у кристаллов александрита;
- установления практически идентичной теплопроводности оптической фторидной керамики и ее монокристаллических аналогов.

По автореферату можно сделать *следующие не принципиальные замечания*:

1) Многофакторный анализ значительного массива полученных экспериментальных данных о теплопроводности твердотельных оптических материалов в разных состояниях (кристаллических, стеклообразных и их смесей) в зависимостях от температуры, химического состава, особенностей структуры и режимов термообработки (см. цель работы) в ряде случаев заменяется общими качественными обсуждениями эксперимента.

2) Достаточно очевидные рассуждения о компенсирующихся зависимостях возрастающей теплоемкости $C(T)$ и снижающейся длины свободного пробега фононов $l(T)$ при увеличении температуры для образцов $\text{Ca}_{1-x}\text{Pr}_x\text{F}_{2+x}$, включая кристалл твердого раствора $\text{Sr}_{0.72}\text{Ce}_{0.28}\text{F}_{2.28}$, по сути, не добавляют нового знания, а скорее свидетельствует о стеклоподобном характере зависимости $k(T)$ (стр. 17 автореферата). Возрастающая теплопроводность многих стеклообразных материалов при высоких температурах часто выходит на почти постоянный «уровень насыщения».

По актуальности темы, по объему и уровню выполненных исследований, их новизне и практической значимости представленная работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор **Попов Павел Аркадьевич** заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Директор ИХВВ РАН, академик

М.Ф. Чурбанов

тел. +7 831 462-65-52, e-mail: churbanov@ihps.nnov.ru

В.н.с. ИХВВ РАН, д.х.н.

А.М. Кутьин

тел. +7 831 462-65-52, e-mail: kutyin@ihps.nnov.ru

603950. Н. Новгород, ГСП – 75, ул. Тропинина, 49

5.05.2015