

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

«Сибирский государственный  
аэрокосмический университет  
имени академика М.Ф. Решетнева»  
(СибГАУ)

просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31  
г. Красноярск, 660014  
тел.: +7 (391) 264-00-14 факс: +7 (391) 264-47-09  
<http://www.sibsau.ru> e-mail: [info@sibsau.ru](mailto:info@sibsau.ru)  
ОКПО 02069734, ОГРН 1022402056038  
ИНН/КПП 2462003320/246201001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор-проректор  
по образовательной деятельности

Ю.В. Ерыгин

2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Ходжибаева Абдумалика Каюмовича «Исследование кристаллов семейства антимонитов  $R_3Sb_5O_{12}$  ( $R = Pr, Nd, Gd, Er$ ) методами колебательной спектроскопии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертационная работа Ходжибаева А. К. посвящена исследованию методами колебательной спектроскопии диэлектрических кристаллов семейства антимонитов  $R_3Sb_5O_{12}$ , где  $R$  – атомы редкоземельных элементов. Физические свойства материалов существенным образом зависят от качества кристаллической решетки, которая формируется в процессе роста кристаллов. Выявление эффектов легирования и воздействия высоких температур на свойства кристаллов, оптимизация процесса кристаллизации и контроль готовой продукции необходимы для получения качественных материалов и поиска новых возможностей улучшения их свойств. В этой области исследований значительное внимание уделяется использованию неразрушающих оптических методов контроля физических свойств материалов. Оперативность и локализация области диагностики состояния кристалла с характерными размерами до десятков микрон обеспечивается при использовании спектроскопии комбинационного рассеяния. В частности, выявление в образцах материалов локальных областей с высокой акустической добротностью позволяет изготавливать пьезорезонаторы, микрогенераторы или фильтры из качественного материала. В этом состоит актуальность и практическая значимость исследований данной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 84 наименований. Общий объем 96 страниц, имеется 36 рисунков и 3 таблицы.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны используемые объекты, предмет и методы исследований. Имеются сведения о научной новизне работы, ее значимости для теории и практики. Представлены основные положения, выносимые на защиту. Фиксируется достоверность и обоснованность результатов. Указывается личный вклад автора. Дано описание структуры диссертации. Представлен перечень публикаций из 13 наименований по теме диссертации.

**В первой главе** рассмотрены изменения симметрии кристаллической решетки при структурных фазовых переходах, методы описания с использованием параметра порядка и мягкой моды. Кратко характеризуются особенности спектроскопии комбинационного рассеяния в низкочастотной области спектра в исследовании динамики кристаллической решетки в окрестности фазового перехода. Обсуждается эффект флуктуации параметра порядка вблизи фазового перехода, приводящий к возрастанию интенсивности рассеяния вблизи нулевой частоты колебаний решетки. Рассмотрен тензор поляризуемости, изменение его симметрии при фазовом переходе, правила отбора для спектров комбинационного рассеяния света и геометрические схемы

регистрации поляризованных спектров. Обзорный характер главы поддерживается списком цитированной литературы из 49 наименований. Завершается первая глава выводом о целесообразности использования методики изочастотных спектров комбинационного рассеяния в исследовании колебаний решетки в окрестности фазового перехода.

**Вторая глава** содержит описание экспериментальных методов исследований. Разработана автоматизированная система синхронной регистрации на базе спектрометра ДФС-24. Образцы размещались в высокотемпературном термостате, который обеспечивал нагрев до 1000 К с точностью 0.1 К. Исследования температурной зависимости интенсивности рассеянного света в локальной области кристалла проводились в градиентной кювете с максимальный перепадом температур на противоположных сторонах образца с 373 до 900 К. Приведены данные о точности измерений физических параметров исследуемых кристаллов. Выводы по второй главе демонстрируют возможности используемой экспериментальной установки для исследований температурной зависимости параметров спектров при высоких температурах.

**В третьей главе** представлены данные о структуре и симметрии кристаллов семейства  $R_3Sb_5O_{12}$  и результаты их исследований методами спектроскопии комбинационного рассеяния и инфракрасного поглощения, включая образцы с легирующей примесью лантана. Инфракрасные спектры получены при комнатной температуре при различных концентрациях легирующей примеси в кристалле  $Pr_3Sb_5O_{12}$ . Спектры комбинационного рассеяния исследовались в области частот  $0-1100\text{ см}^{-1}$  в температурном интервале от 300 до 850 К. Представлены результаты по температурной зависимости интенсивности изочастотных спектров вблизи температуры фазового перехода для частоты  $10\text{ см}^{-1}$  четырех кристаллов  $R_3Sb_5O_{12}$  ( $R = Pr, Nd, Gd, Er$ ). Обсуждается корреляция интенсивности, константы Кюри-Вейса и температуры фазового перехода указанных выше четырех кристаллов. В выводах по третьей главе перечислены полученные автором результаты экспериментальных исследований.

**Четвертая глава** посвящена неразрушающему методу контроля качества пьезоэлектрических кристаллов на основе измерения степени деполяризации квазиупругого рассеяния лазерного излучения в объеме кристалла. Приведены данные об апробации предложенного метода в кристаллах  $Pr_3Sb_5O_{12}$  и  $Nd_3Sb_5O_{12}$ . Выводы констатируют установление связи степени деполяризации рассеянного света с акустической добротностью для указанных выше двух кристаллов.

В Заключении автор формулирует основные результаты и выводы, отражающие содержание всей работы.

**Научная новизна.** В работе Ходжибаева А. К. проведены экспериментальные исследования колебательных спектров семейства изоморфных кристаллов антимонитов. Предложен метод неразрушающего контроля качества кристаллов на основе измерения степени деполяризации квазиупругого рассеяния лазерного излучения с локальных объемов кристаллов семейства антимонитов. Автоматизирована установка для регистрации спектров комбинационного рассеяния в широком температурном интервале (300-1000 К) при наличии сильной фоновой засветки.

Обнаружено восстановление мягкой фононной моды в спектрах КР кристалла  $Pr_3Sb_5O_{12}$  при понижении температуры ниже точки фазового перехода. Показано, что мягкая мода связана со смещением атомов O и Sb.

Получены изочастотные спектры комбинационного рассеяния кристаллов  $Er_3Sb_5O_{12}$ ,  $Gd_3Sb_5O_{12}$ ,  $Nd_3Sb_5O_{12}$  и  $Pr_3Sb_5O_{12}$  с температурами фазовых переходов 643, 714, 726, 735 К соответственно. В окрестности фазовых переходов измерены температурные зависимости интенсивности на частоте  $10\text{ см}^{-1}$  и установлена корреляция с константой Кюри-Вейса и температурой фазового перехода.

Получена зависимость ИК- спектров поглощения в области  $2200-3200\text{ см}^{-1}$  от концентрации примеси лантана в кристалле  $Pr_3Sb_5O_{12}$ . Обнаружена чувствительная к концентрации примеси полоса поглощения с частотой  $2370\text{ см}^{-1}$  в области двухфононных переходов. Установлена корреляция коэффициента поглощения и концентрации примеси.

Выполнена апробация неразрушающего метода контроля качества кристаллов, основанного на измерении степени деполяризации квазиупругого рассеяния, на кристаллах семейства антимоноитов. Установлена связь степени деполяризации рассеянного света с акустической добротностью в кристаллах  $\text{Pr}_3\text{Sb}_5\text{O}_{12}$  и  $\text{Nd}_3\text{Sb}_5\text{O}_{12}$ .

Результаты работы опубликованы в трех реферируемых журналах из списка ВАК, одной монографии, обсуждались на 6-ти региональных и международных конференциях.

**Значимость результатов.** Проведенные в диссертации исследования природы фазовых переходов и качества кристаллов методами колебательной спектроскопии представляют интерес для организаций, занимающихся физикой диэлектриков, фазовыми переходами, разработкой и производством новых материалов для лазерных и радиотехнических устройств. Это Институт спектроскопии РАН, Институт лазерной физики СО РАН, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ОАО «Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова», Институт физики твердого тела РАН, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева.

Оформление диссертации и автореферата, в целом, не вызывает претензий, содержание изложено в четком и ясном стиле. Имеется достаточное количество иллюстраций. Библиографический список свидетельствует о глубокой проработке автором приложений метода комбинационного рассеяния света в исследовании диэлектрических кристаллами с фазовыми переходами. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

#### **Замечания.**

Результаты экспериментальных исследований изочастотной температурной зависимости спектра комбинационного рассеяния в низкочастотной области спектра интересны и значимы, однако представлены в краткой форме (с.66-68). Отсутствует аргументация выбора частоты в  $10\text{ см}^{-1}$  и спектральной ширины щели  $0,5\text{ см}^{-1}$ . Характер процесса нагревания образца в термостате не описан. Скорости нагрева образца является важным параметром для состояния фоновых возбуждений.

Графики на рис.3.10 демонстрируют возможность определения температуры фазового перехода. Точность измерения этой температуры не указана, отсутствует сравнение с данными других методов.

В главе 4 представлены данные о корреляции степени деполяризации рассеянного света и добротности образцов пьезокристаллов, однако в тексте не приведены размеры образцов, используемых в оптических измерениях и выполненных методом пьезорезонанса. Не ясно, каким образом сопоставлялись данные по измерению дефектности кристалла в области фокусировки лазерного пучка и всего объема кристалла в акустическом резонаторе.

В тексте диссертации (с. 51, рис. 3.8) и автореферата (с.14. рис. 6) имеются опечатки, по шкале абсцисс после 700 градусов Кельвина указано 300 вместо 800. Подпись к рисунку сделана на английском языке. В тексте автореферата отсутствуют отступы в начале абзацев.

В диссертации имеется таблица 2.2 об относительных погрешностях физических параметров исследуемых кристаллов (с. 52). Однако в графических представлениях функциональных зависимостей физических параметров в диссертации и автореферате не указаны интервалы погрешностей, что не вполне соответствует принятым в научной литературе стандартам.

Диссертационная работа заслушана на совместном семинаре базовой кафедры «Космические материалы и технологии ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева» и отдела оптики Института физики им. Л. В. Киренского СО РАН 07.04. 2015, протокол № 45.

#### **Общее заключение по диссертации.**

Диссертация Ходжибаева А.К. представляет собой заверченный этап исследований по актуальной теме. Разработан и реализован комплекс экспериментальных методов исследований свойств кристаллов семейства антимоноитов. Представленные результаты имеют существенное значение для экспериментального и теоретического исследования диэлектрических кристаллов. Результаты исследований о возможности локального неразрушающего контроля качества

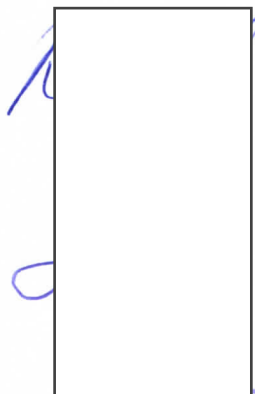
кристаллического материала по деполяризации рассеянного лазерного излучения могут быть основой для промышленного метода диагностики кристаллических материалов.

Объем диссертационной работы, характер и значимость полученных результатов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ходжибаев Абдумалик Каюмович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 –оптика.

Отзыв подготовили:

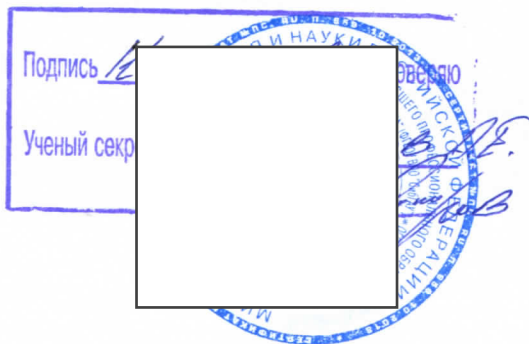
Заведующий кафедрой  
«Космические материалы и технологии»,  
д.ф.-м.н., профессор

Профессор кафедры  
«Космические материалы и технологии»,  
к.ф.-м.н., доцент



Карпов С.В.

Сорокин А.В.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Сибирский государственный  
аэрокосмический университет  
имени академика М. Ф. Решетнева»  
(СибГАУ)**

просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31  
г. Красноярск, 660014  
Тел.: (3912) 64-00-14. Факс: 64-47-09  
E-mail: [info@sibsau.ru](mailto:info@sibsau.ru)  
<http://www.sibsau.ru>

Публикации

1. A. E. Ershov, I.L. Isaev, P. N. Semina, V. A. Markel, S. V. Karpov. Effects of size polydispersity on the extinction spectra of colloidal nanoparticle aggregates. // **Physical Review B**. 2012. **85**, P. 045421-1-10
2. С.В. Карпов, П.Н. Семина. О коагуляции полидисперсных нанокolloидов металлов и условиях применимости теории Мюллера-Смолуховского. // **Коллоидный журнал**, 2012. Т.74. №3. С. 319-328
3. С.В. Карпов, П.Н. Семина, А.П. Гаврилюк. Роль электронного туннельного эффекта в кинетике коагуляции полидисперсных нанокolloидов металлов // **Коллоидный журнал**, 2012. Т.74. №3. С. 329-336.
4. С.В. Карпов. Оптические эффекты в металлических нанокolloидах // **Фотоника**. 2012. №2. С. 40-51
5. С.В. Карпов. Оптическая память агрегатов металлических наночастиц // **Фотоника**. 2012. №3. С. 52-60
6. Карпов С.В., Веселков С.А. **Фотографические и визуальные оптические системы**. Учебное пособие. Изд-во СибГАУ 2012. С. 295.
7. Карпов С.В., Рассказов И.Л. Моделирование условий синтеза оптических нановолноводов из цепочек сферических металлических наночастиц методом электростатической функционализации технологической подложки. // **Коллоидный журнал**. 2013. Т.75. №3. С. 308-318.
8. Рассказов И.Л., Маркель В.А., Карпов С.В. Трансмиссионные и спектральные свойства коротких оптических плазмонных волноводов. // **Оптика и спектроскопия**. 2013. Т.115. № 5, С. 753-762.
9. А.Е. Ershov, А.Р. Gavrilyuk, S.V. Karpov, P.N. Semina. Optodynamic phenomena in aggregates of polydisperse plasmonic nanoparticles. // **Applied Physics B**. 2014. V.115. P. 547-560
10. I.L. Rasskazov, S.V. Karpov, V.A. Markel // Non-decaying surface plasmon polaritons in linear chains of silver nanospheroids. // **Optics Letters**. 2013. V. 38 (22). P.4743-4746
11. Карпов С.В., Гаврилюк А.П., Герасимов В.С., Ершов А.Е., Исаев И.Л., Семина П.Н. Процессы формирования плазмонно-резонансных наноструктур и их оптические свойства. В сб. монографии: **Метаматериалы и структурно организованные среды для оптоэлектроники, СВЧ-техники и нанофотоники**. Под ред. В.Ф. Шабанова, В.Я. Зырянова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. С. 198-228.
12. I.L. Rasskazov, S.V. Karpov, V.A. Markel // Surface plasmon polaritons in curved chains of metal nanoparticles. // **Phys. Rev. B**. 2014. V. 90. P.075405-1-075405-9
13. I.L. Rasskazov, S.V. Karpov, V.A. Markel // Waveguiding properties of short linear chains of non-spherical metal nanoparticles. // **JOSA B**. 2014. V.90. P. 075405-1-9
14. А.Е. Ershov, А.Р. Gavrilyuk, S.V. Karpov, P.N. Semina. Effect of local environment in resonant domains of polydisperse plasmonic nanoparticle aggregates on optodynamic processes in pulsed laser fields. // **Chinese Physics B**. 2015. Vol. 24, No. 4. P. 047804

Составитель

Карпов

удостоверяю

Карпов А.Е.  
И. Шабанов