

На правах рукописи

КРЫЛОВ Александр Сергеевич

**ИЗМЕНЕНИЯ В СПЕКТРАХ КОМБИНАЦИОННОГО
РАССЕЯНИЯ КРИСТАЛЛОВ, ВЫЗВАННЫЕ МАЛЫМИ
ДЕФОРМАЦИЯМИ РЕШЕТКИ**

01.04.05 – оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Красноярск – 2000

Работа выполнена в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник **Втюрин А.Н.**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор **Слабко В.В.**
кандидат физико-математических наук
доцент **Мельник Н.Н.**

Ведущая организация: Институт автоматизации и электрометрии
СО РАН (г. Новосибирск)

Защита состоится “ ____ ” _____ 2000 г. в ____ часов на заседании
специализированного диссертационного совета К.002.67.02 в Институте
Физики им Л.В. Киренского СО РАН по адресу: 660036, г. Красноярск,
Академгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Физики
им Л.В.Киренского СО РАН.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Втюрин А.Н..

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Метод комбинационного рассеяния (КР) давно и успешно используется для изучения влияния внешних воздействий на структуру кристаллов и их динамику решетки. В качестве внешнего воздействия может фигурировать гидростатическое или одноосное сжатие, изменение температуры, электрическое или магнитное поле, при этом воздействие может быть как статическим, так и меняющимся со временем. Возникающие при этом изменения в спектрах зачастую достаточно малы, и для их изучения необходима специализированная методика, позволяющая проводить высокоточные измерения индуцированных малых изменений спектра на фоне шумов, с контролем величины приложенного внешнего воздействия. Серийные отечественные спектрометры комбинационного рассеяния, обладая неплохой оптической частью, сильно проигрывают зарубежным приборам аналогичного класса по уровню шумов в системе регистрации, особенно в области низкочастотных решеточных колебаний кристаллов, и механической части, которая осуществляет развертку спектра. Кроме того, в стандартный прибор затруднительно вносить изменения, позволяющие расширить область применения прибора и разнообразие спектральных экспериментов, которые можно на них проводить.

Целью диссертационной работы являлось

1. Модификация серийного спектрометра комбинационного рассеяния для проведения экспериментов на образцах, имеющих слабые спектры, или при переменных внешних воздействиях.
2. Регистрация малых изменений в низкочастотном спектре комбинационного рассеяния кристалла CsScF_4 в окрестности высокотемпературного фазового перехода.
3. Регистрация малых изменений, индуцированных механическими деформациями, в спектре комбинационного рассеяния пьезорезонаторов в условиях механического резонанса.

Основные экспериментальные результаты, изложенные в диссертаци-

онной работе, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, получены впервые, что и определяет **научную новизну** исследований.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методики автоматизированной регистрации спектров комбинационного рассеяния света с одновременной фильтрацией сигнала, синхронизированной с внешним воздействием, что позволяет существенно снизить уровень шумов, сократить время измерений и уверенно регистрировать малые изменения в спектре (в том числе в его интенсивности), индуцированные внешними воздействиями. В частности, с ее помощью удастся регистрировать изменения в спектре пьезоэлектрических образцов, находящихся под воздействием внешнего переменного поля акустической частоты, резонансного с собственной частотой механических колебаний. Методика позволяет наблюдать изменения спектральных характеристик пьезорезонатора под воздействием деформаций сжатия и растяжения, при этом для уверенной регистрации изменений спектра к образцу прикладывается электрическое поле 1–10 В/мм.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

Создание автоматизированной установки комбинационного рассеяния света, позволяющей регистрировать слабые изменения спектра кристаллов, вызванных малыми деформациями кристаллической решетки, системы управления параметрами эксперимента и внешними воздействиями. Подготовка программного и аппаратного обеспечения экспериментальной установки.

Методика регистрации спектра комбинационного рассеяния с одновременной фильтрацией шумов, позволяющая существенно улучшить качество сигнала на этапе получения спектра. Тем самым повышается чувствительность регистрации, сокращается время регистрации.

Обнаружение конденсации мягкой моды в спектре комбинационного рассеяния света кристалла CsScF₄ вблизи высокотемпературного фазового перехода.

Обнаружение аномалий интенсивности спектра кристалла α -кварца в условиях переменных одноосных деформаций, индуцированных резонанс-

ными механическими колебаниями: возгорание новых линий, перераспределение интенсивностей линий в зависимости от знака деформации.

Апробация работы. Основные результаты работы представлялись на

- Европейской конференции “Динамические свойства твердых тел” DYPROSO-XXIII (Нидерланды, 1993).
- V Русско-японском симпозиуме по сегнетоэлектричеству (Москва, 1994).
- Международной конференции по молекулярной спектроскопии (Самарканд, 1996).
- Международном семинаре по физике сегнетоэлектриков (Казань, 1997).
- The Ninth International Meeting on Ferroelectricity (Корея, 1997).
- Международной конференции ”Комбинационное рассеяние” (Москва, 1998).
- XV Всероссийской конференции по физике сегнетоэлектриков (Ростов-на-Дону, 1999).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, список которых приведен в конце автореферата.

Личный вклад автора в получение научных результатов. Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. Научный руководитель А.Н. Втюрин принимал участие в постановке задачи исследований, обсуждении экспериментальных результатов и их интерпретации. Подготовка аппаратного обеспечения для проведения исследований пьезокристаллов во внешних переменных полях осуществлялась как самостоятельно, так и совместно с А.В. Баранником и А.Г. Агеевым.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 100 страницах, включает 26 рисунков, 6 таблиц, приложения, список литературы из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования, показана научная новизна и практическая значимость результатов, перечислены основные положения выносимые на защиту, приведены сведения об апробации материалов диссертации. Описана структура диссертации и представлен список опубликованных работ.

Первая глава является обзорной, составляющей основу для дальнейшего рассмотрения. В ней рассматриваются основные методы спектроскопии комбинационного рассеяния света, в которых применяются внешние воздействия на исследуемые кристаллы. Рассмотрены эффекты, индуцированные электрическим и магнитным полем, высоким давлением. Приведено рассмотрение различных методов получения высоких давлений. Отдельно рассмотрены эффекты, связанные с изменением температуры исследуемого образца. Описаны методы, применяемые для улучшения соотношения сигнал/шум для слабых и сильно зашумленных спектров.

Во **второй главе** приводится описание экспериментальной установки, на которой проводились исследования в данной работе. В ходе работы была проведена модификация стандартного отечественного спектрометра ДФС-24. Изменения затронули управление разверткой, систему регистрации, была добавлена возможность управления параметрами эксперимента. В результате удалось уменьшить недостатки присущие базовому прибору: уменьшились люфты механической системы, повысилась точность позиционирования, расширился динамический диапазон измерений, добавились возможности получать данные в оцифрованном виде и производить предварительную обработку в ходе эксперимента, возможность быстрой и легкой модификации системы и схемы измерений. Автоматизация проводилась на основе модульной системы КАМАК, сопряженной с персональным компьютером.

Для управления экспериментом была написана управляющая программа. Реализация процедуры измерения интенсивности в текущей спектральной точке приведена в приложении к диссертации.

Для уменьшения люфтов в системе развертки и увеличения точности позиционирования во время сканирования спектра, в механизме управления разверткой была произведена замена стандартного асинхронного двигателя и системы редукторов на шаговый двигатель. Для уменьшения погрешности позиционирования используется специальная процедура пересчета текущего положения, учитывающая дискретный характер работы шагового двигателя. Программа, реализующая данный пересчет, приведена в приложении к диссертации.

Система регистрации переделана со стандартной регистрации по постоянному току на схему счета фотонов. При этом была произведена замена штатного ФЭУ-79 на ФЭУ-106.

Управление параметрами эксперимента позволяет контролировать и управлять температурой образца в ходе эксперимента, а также получать спектры образцов находящихся под переменным внешним давлением.

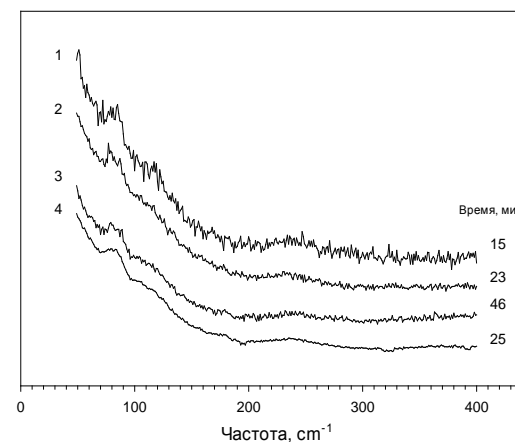


рис. 1

- 1.– накопления в точке 1 сек., 1 сканирование – это базовый спектр со стандартными параметрами.
- 2.– время накопления в точке 3 сек., 1 сканирование – произведено увеличение времени накопления.
- 3.– время накопления в точке 1 сек., 3 сканирования – режим многократного сканирования.
- 4.– время накопления в точке 3 сек., 1 сканирование, – режим фильтрации с сортировкой

Помимо широко используемых методов улучшения соотношения сигнал/шум, к которым можно отнести вариацию времени накопления в точке, многократное сканирование, была реализована фильтрация с сортировкой. Вкратце суть метода заключается в следующем: в каждой спектральной точке производится многократный замер интенсивностей. Затем полученные значения сортируются и из полученного ряда отбрасываются

несколько наименьших значений замеров интенсивности и ровно такое же количество наибольших значений замеров. Оставшиеся значения усредняются. На рис. 1 представлено сравнение записи спектра в различных режимах улучшения качества спектра. Справа от каждого графика приведено полное время регистрации спектра, с учетом перемещения сканирования

Во второй главе так же рассматриваются методические вопросы эксперимента. Приведены технические параметры экспериментальной установки. Выполнена классификация возможных изменений в разностном спектре комбинационного рассеяния.

Третья глава посвящена исследованию спектра комбинационного рассеяния сегнетоластика CsScF_4 вблизи высокотемпературного фазового перехода между тетрагональными фазами.

Кристалл CsScF_4 представляет собой типичный пример слоистого перовскита. Согласно данным рентгеноструктурных исследований и измерений макроскопических характеристик, структура его высокотемпературной фазы (пр. гр. D_{4h}^1 , $Z = 1$) образована квадратными слоями связанных между собой октаэдров ScF_6 , разделенных ионами Cs^+ . При охлаждении ниже 475 К происходит переход в фазу D_{4h}^5 с удвоением элементарной ячейки, и при дальнейшем охлаждении ниже 317 К – в ромбическую фазу D_{2h}^{13} , $Z = 4$. Данная последовательность фазовых переходов необычна для цезий-содержащих перовскитов, и аналогична наблюдаемой в кристалле RbAlF_4 , где фазовые переходы типа смещения индуцируются конденсацией мягких мод, восстановление которых ниже точек переходов наблюдается в спектрах комбинационного рассеяния света. В данной работе была произведена попытка поиска подобных эффектов в окрестности первого ($D_{4h}^1 - D_{4h}^5$) фазового перехода в CsScF_4 .

В ходе работы был проведен полный теоретико-групповой анализ. Получены поляризованные спектры во всех компонентах тензора рассеяния. Произведено полное отнесение линий по типам колебаний.

Наиболее интересным полученным экспериментальным результатом является конденсация полносимметричного колебания при подходе к точке перехода. Температурная зависимость спектра комбинационного рассея-

ния мягкой моды в кристалле CsScF_4 представлена на рис. 2. Видно, что до точки фазового перехода интенсивность линии уменьшается, но проделанная модернизация прибора позволяет уверенно регистрировать спектр и при высоких температурах образца, когда паразитное рассеяние от кристалла велико. Температурная зависимость квадрата частоты этого колебания показана на рис. 3. Она практически линейна во всей области существования фазы D_{2h}^5 . Несколько больший разброс точек в области высоких температур обусловлен меньшей интенсивностью линии и большим уровнем шумов, что ясно видно на рис. 2. Необходимо отметить отсутствие насыщения зависимости частоты от температуры вплоть до точки следующего перехода при $T_2 = 317 \text{ K}$,

где значение частоты достигает 113 cm^{-1} . Подобная зависимость типична для мягкой моды при фазовом переходе первого рода, близкого ко второму.

Собственный вектор этого критического колебания соответствует антифазному повороту жестких групп ScF_6 вокруг оси z . Его симметрия соответствует неприводимому представлению мягкой моды, восстановление

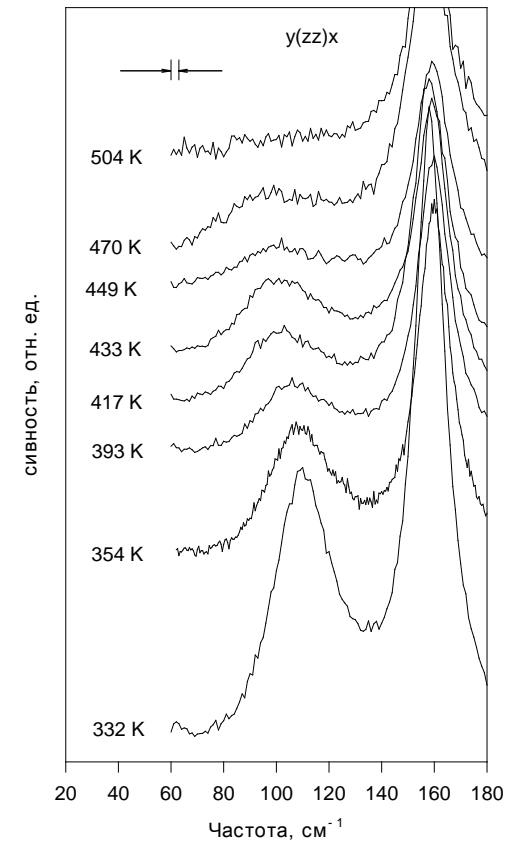


рис. 2.

Температурная зависимость спектра КР мягкой моды в кристалле CsScF_4

которой наблюдается в экспериментальном спектре комбинационного рассеяния.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что исследованный фазовый переход типа смещения, относится к первому роду, близкому ко второму, и сопровождается конденсацией мягкой моды на границе зоны Бриллюэна. Восстановление этой моды наблюдается ниже точки перехода в спектре комбинационного рассеяния.

Частота данного колебания не достигает насыщения вплоть до точки

следующего перехода в ромбическую фазу. Искажением, вызывающим фазовый переход между тетрагональными фазами, является антифазный разворот жестких тетраэдров ScF_6 вокруг тетрагональной оси.

В **четвертой главе** описаны результаты исследований влияния переменного внешнего воздействия на спектр комбинационного рассеяния на примере спектра кварцевого резонатора, находящегося в условиях механического резонанса.

При воздействии на кристалл, обладающий пьезоэлектрическими свойствами, переменного электрического поля с частотой, равной или близкой к частоте собственных механических колебаний данного образца,

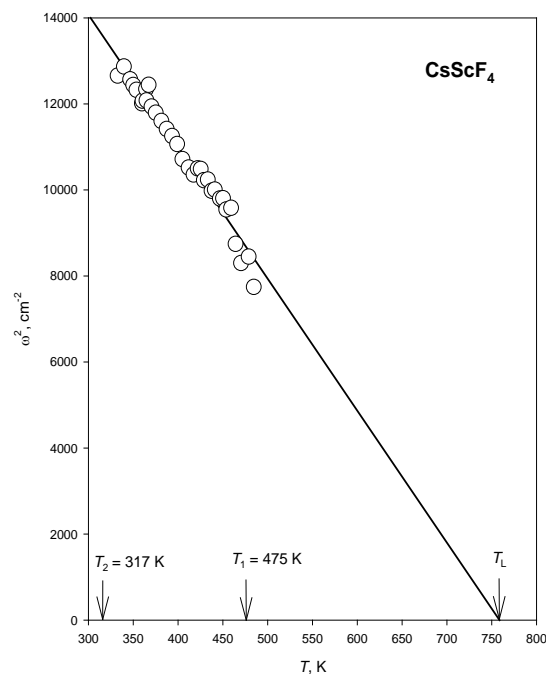


рис. 3.

Температурная зависимость квадрата частоты мягкой моды A_1 в кристалле CsScF_4

в последнем возникают резонансные механические колебания. Возникающие при этом деформации носят периодический знакопеременный характер. Таким образом, становится возможным изучение влияния деформации растяжения. Получение такого рода деформаций иным путем крайне затруднительно.

В случае, если крепление кристалла в установке и его форма обеспечивают высокую добротность этого резонанса (отсутствие заметного затухания этих колебаний), для создания заметных деформаций кристалла требуются небольшие электрические поля, что делает данный метод воздействия на кристалл весьма простым и не требующим специальных приборов.

В ходе работы был выполнен теоретико-групповой анализ, отнесение колебаний активных в спектре комбинационного рассеяния по типам симметрии.

В экспериментах использовался специально приготовленный образец.

На две противоположные стороны образца, имеющие наибольшую площадь, были нанесены проводящие покрытия, к которым крепились электроды. На образец подавалось переменное электрическое поле с частотой равной частоте собственных механических колебаний, в результате в образце

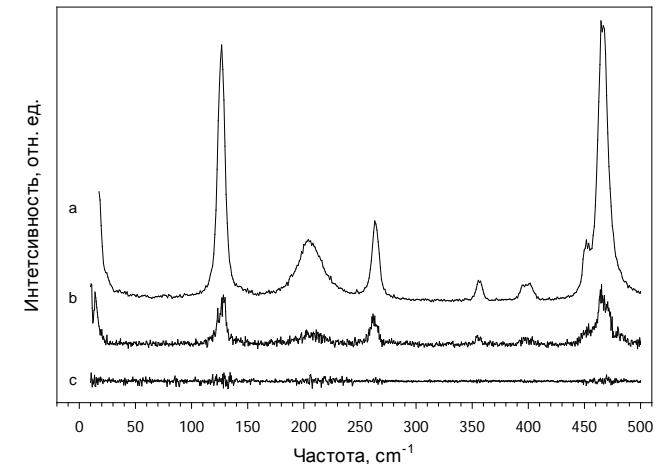


рис. 3.

- a – спектр КР кристалла в свободном состоянии.
- b – разностные спектры кристалла α -кварца под воздействием деформаций вызванных электрическим полем резонансной частоты.
- c – спектр свободного кристалла полученные по разностной методике. Определяет уровень шумов.

возникла стоячая акустическая волна. Образец свободно подвешивался на электродах, чтобы контакт с окружающими предметами не гасили возникших резонансных колебаний. Для исследованного кристалла α -кварца частота составляла 76.8 кГц, а напряженность электрического поля, приложенного к обкладкам 6.1 В/см.

Было обнаружено, что внешнее воздействие уменьшает интенсивность некоторых линий. Частота этих линий равны 128, 206, 264, 355, 401, 449, 465, 1066, 1160 см^{-1} . На рис 3 представлены разностные спектры кристалла α -кварца. В случае, когда образец не возмущается, разностный спектр должен давать прямую линию с нулевой интенсивностью. Кривая с соответствует уровню шумов. На частоте 15 см^{-1} наблюдалось уменьшение интенсивности спектра. Зафиксированное изменение интенсивности составляет несколько процентов.

Наибольший интерес представляет спектр в районе 800 см^{-1} . На частоте 790 см^{-1} зарегистрировано возгорание новой линии, которой не было в спектре невозмущенного α -кварца (рис 4). По данным инфракрасного поглощения на этой частоте присутствует колебание типа A_2 , которое не активно в КР. Поскольку эта линия не совпадает ни с одной существующей линией невозмущенного кристалла в этом диапазоне, то ее можно интер-

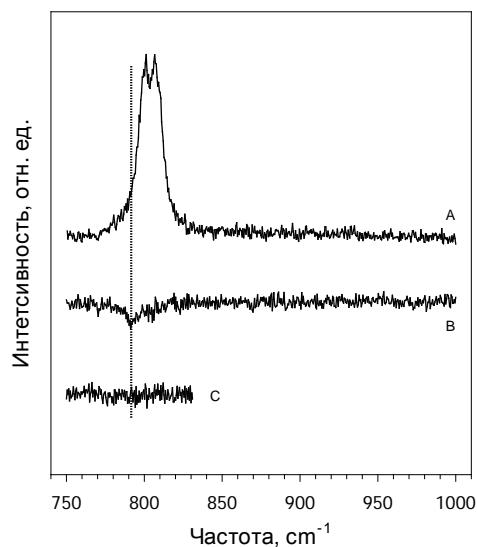


рис. 4

Возгорание новой линии в разностном спектре кристалла α -кварца, соответствующей колебания типа A_2

- a – спектр КР кристалла в свободном состоянии.
- b – разностные спектры кристалла α -кварца под воздействием деформаций вызванных электрическим полем резонансной частоты.
- c – спектр свободного кристалла полученные по разностной методике. Определяет уровень шумов.

претировать как проявление колебания типа A_2 в спектре КР.

Следующим шагом исследований было выявление влияния возбуждаемых в исследуемом образце акустических волн на частоты линий.

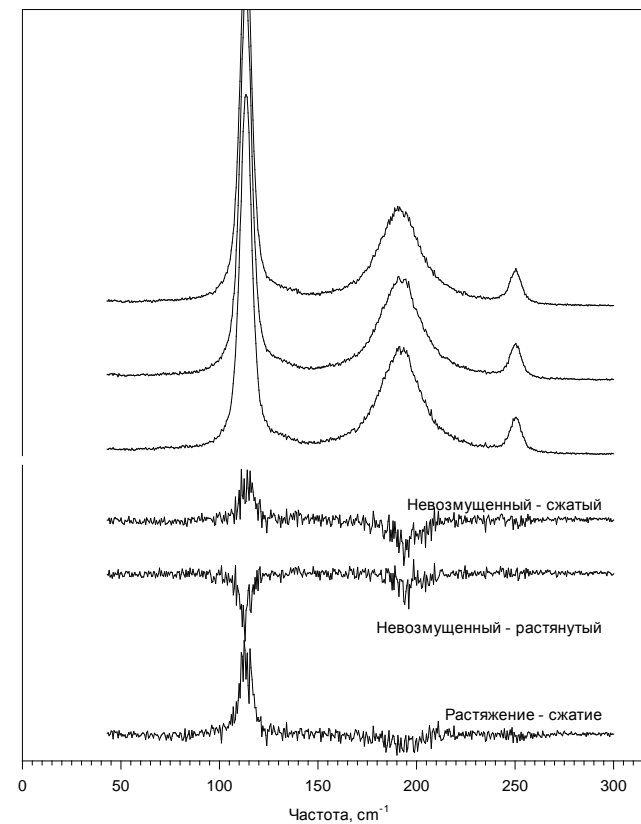


рис. 5.

Спектр кристалла α -кварца при под действием периодической деформации с частотой 76.8 кГц.

Вверху – спектры растянутого, сжатого и свободного кристалла.
Внизу – разность между спектрами растянутого, сжатого и свободного кристалла

Для линии 127 см^{-1} после соответствующей обработки разностного спектра обнаружилось смещение в сторону низких частот величиной 0.9 см^{-1} , что дает относительное смещение 0.7%.

Линии 452 и 466 см^{-1} перекрывались, поэтому было проведено их разделение на отдельные контура. После разделения и соответствующей аппроксимации выявилось смещение в сторону низких частот: для линии 466.7 см^{-1} на величину 0.3 см^{-1} – относительное смещение 0.06% , для линии $452.3 \text{ см}^{-1} - 0.2 \text{ см}^{-1}$, относительное смещение – 0.04% . для линии $1160.6 \text{ см}^{-1} - 0.4 \text{ см}^{-1}$, что соответствует относительному смещению 0.03% .

Следующим шагом было выяснение зависимости изменений, происходящих в спектрах от полярности приложенного к исследуемому образцу поля. Схема измерений была несколько расширена. В уже существующей схеме измерений было разделено получение спектров в случаях с различными знаками деформации образца, что соответствует деформации растяжения или деформации сжатия. Разделение было синхронизировано с подаваемым на исследуемый образец переменным напряжением – по положительному или отрицательному полупериодам. Была обнаружена зависимость от знака деформации (рис. 5).

Проведенное исследование показало, что перемешивание компонент КР не наблюдается. Линии из одной компоненты КР под действием деформаций не появляются в другой, т. е. эффект индуцированного двулучепреломления отсутствует. Сдвиги частот есть, но они очень малы ($\leq 0.5 \text{ см}^{-1}$) и наблюдаются только благодаря применению специальных методов – разностной спектроскопии и обработке данных. Показано, что основное влияние анизотропных деформаций на спектры КР связано с изменениями электрооптических параметров – производных восприимчивости кристалла по колебательным координатам. Изменение этих производных восприимчивости, в частности, приводит к появлению новых линий в спектре КР, запрещенных в обычных условиях правилами отбора. Влияние на динамику проявляется слабее, а на кристаллооптику – еще слабее, чем на динамику.

В **Заключении** приведены основные результаты и выводы работы.

Основные результаты и выводы

1. Создана автоматизированная экспериментальная установка, для регистрации спектров комбинационного рассеяния. Установка позволяет по-

лучать спектры в условиях сильных шумов, а также регистрировать малые изменения спектра, индуцированные периодическими внешними воздействиями. Разработаны соответствующие методики, аппаратное и программное обеспечение.

2. Впервые получены поляризованные спектры комбинационного рассеяния тетрагональных фаз кристалла CsScF₄. Выполнена полная теоретико-групповая интерпретация спектра. Впервые наблюдалась и была исследована конденсация мягкой оптической моды при переходе между тетрагональными фазами. Установлено, что переход первого рода, близкого ко второму, связан с неустойчивостью решетки по отношению к антифазным сращениям жестких октаэдрических групп ScF₆.
3. Исследованы изменения спектра комбинационного рассеяния в пьезокристаллах, индуцированные резонансными механическими колебаниями. Наблюдались слабые (менее 1 см⁻¹) частотные сдвиги в спектре α -кварца, перераспределение интенсивностей спектральных линий, возгорание новых спектральных линий, запрещенных симметрией недеформированного образца. Впервые наблюдались изменения в спектре в условиях отрицательных деформаций. Установлено, что относительные изменения интенсивности линий, обусловленные влиянием деформации на восприимчивость кристалла, существенно превосходят относительные изменения частот, связанные с ангарманизмом динамики решетки.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Крылов А.С., Шефер А.Д., Втюрин А.Н. Спектроскопия комбинационного рассеяния света пьезоэлектрических кристаллов в условиях резонансных механических колебаний. // Приборы и техника эксперимента. – 1995, № 3, – С. 146-153.
2. Vtyurin A.N., Schafer A.D., Krylov A.S. Acoustic waves effects on Raman spectra of piezoelectric crystals. // Ferroelectrics, – 1995, vol. 170. – pp. 181-186.

3. Втюрин А.Н., Шефер А.Д., Крылов А.С. Влияние акустических волн на спектры комбинационного рассеяния пьезоэлектрических кристаллов. // Известия Академии Наук, серия физическая. –1995, № 3. – С. 146-153.
4. Втюрин А.Н., Крылов А.С., Шмыголь И.В., Шебанин А.П. Конденсация мягкой моды в спектре комбинационного рассеяния второй тетрагональной фазы CsScF₄. // Физика твердого тела. – 1997, Т. 39, № 4. – С. 717-719.
5. Крылов А.С., Шмыголь И.В., Шебанин А.П. Втюрин А.Н., Агеев А.Г., Флейшер О.И. Влияние перехода между тетрагональными фазами в кристалле CsScF₄ на динамику решетки и спектры комбинационного рассеяния. // Известия Академии Наук, серия физическая. – 1998, Т. 62, № 8. – С. 1550-1557.
6. Агеев А.Г., Втюрин А.Н., Крылов А.С. Шефер А.Д., Динамика и устойчивость решетки перовскитов семейства Rb-Cd-Cl. // Кристаллография. – 1998, Т.43, №1. – С. 58-63.
7. Krylov A.S., Shmigol I.V., Shebanin A.P., Vtyurin A.N., Ageev A.G., Fleisher O.I. Effects of tetragonal-tetragonal phase transition on Raman spectra and lattice dynamics CsScF₄ crystal. // Ferroelectrics, – 1999, Vol. 233. – pp. 103-110.
8. Vtyurin A.N. Ageev A.G. Krylov A.S., Shmigol I.V. Effects of orientational disorder in Raman spectra of Rb₂ZnCl₄ crystal. // Ferroelectrics, –1999, Vol. 233. – pp. 51-56.
9. Vtyurin A.N., Krylov A.S., Shmigol I.V., Shebanin A.P., Ageev A.G., Goryainov S. G., Bulou A. Raman scattering study of phase transitions in CsScF₄ crystal. // Proceedings of SPIE. – 2000, Vol. 4069. – pp. 53–57.
10. Krylov A.S., Schafer A.D., Vtyurin A.N. Raman scattering study of (NH₄)_{3-x}Rb_xZnBr₅ single crystal. // Journal of Raman Spectroscopy. – 1993, vol. 24. – pp. 637-639.

11. Втюрин А.Н., Агеев А.Г., Крылов А.С. ЭВМ в физическом эксперименте. // Красноярск 1998, 112 с.
12. Втюрин А.Н., Крылов А.С., Шмыголь И.В., Шебанин А.П., Агеев А.Г., Горяйнов С.В. Исследование фазовых переходов в кристалле CsScF₄ методом спектроскопии комбинационного рассеяния. // Сборник докладов, представленных на Международную конференцию «Комбинационное рассеяние». г. Москва.– 16-19 ноября 1998. – С. 100-104.
13. Крылов А.С., Втюрин А.Н., Агеев А.Г. Влияние резонансных механических колебаний на спектры комбинационного рассеяния света. // Сборник докладов, представленных на Международную конференцию «Комбинационное рассеяние». г. Москва. – 16–19 ноября 1998. – С. 413–417.
14. Vtyurin A.N., Schafer A.D., Krylov A.S. Acoustic Waves Effects on the Lattice Dynamics and Raman Spectra of Piezoelectric Crystals. // Европейская конференция “Динамические свойства твердых тел” DYPROSO-XXIII. Тезисы докладов. Нидерланды. – 1993. – С. 28-29.
15. Vtyurin A.N., Schafer A.D., Krylov A.S. Acoustic wave effects on Raman spectra of piezoelectric crystals. // The fifth Russian-Japanese symposium of ferroelectricity. Тезисы докладов. Россия, г. Москва. – 1994. – С. 121.
16. Агеев А.Г., Втюрин А.Н., Шефер А.Д., Крылов А.С. Динамика и устойчивость решетки перовскитов семейства Rb-Cd-Cl. // XIV Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков. Тезисы докладов. г. Иваново. – 1995. С. 25.
17. Втюрин А.Н., Шефер А.Д., Крылов А.С. Влияние акустических волн на спектры комбинационного рассеяния пьезоэлектрических кристаллов. // XIV Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков. Тезисы докладов. г. Иваново. – 1995. – С. 150.

18. Vtyurin A., Krylov A., Shmygol I., Fleisher O., Ageev A.G. Lattice dynamics and stability of CsScF₄ layered perovskite. // Тезисы докладов международной конференции по молекулярной спектроскопии г. Самарканд 1996.
19. Vtyurin A., Krylov A., Shmygol I., Shebanin A., Ageev A., Fleisher O. Lattice dynamics and phase transition between tetragonal phases of CsScF₄ crystal. // Abstracts of The Ninth International Meeting on Ferroelectricity, 1997, Seoul, Korea, p 29.
20. Втюрин А.Н., Крылов А.С., Шмыголь И.В., Агеев А.Г., Горяйнов С.В., Белю А., Робер А., Даниель П. Исследование динамики решетки и фазовых переходов в перовскитоподобных кристаллах CsScF₄ и ScF₃. // Тезисы докладов XV Всероссийской конференции по физике сегнетоэлектриков (ВКС-XV). г. Ростов-на-Дону. – 1999 г.