

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Зайцевой Ирины Валерьевны  
«Исследование полярных свойств сегнетоэлектриков  
в параэлектрической фазе оптическими методами»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.6. – оптика

### **Актуальность темы**

Сегнетоэлектрические материалы, обладающие высокими эксплуатационными характеристиками (переключаемой поляризацией и высокой диэлектрической проницаемостью, пироэлектрическими, пьезоэлектрическими, электрооптическими коэффициентами, нелинейными оптическими восприимчивостями) традиционно используются в разнообразных практических приложениях, активно исследуются разнообразными экспериментальными методиками. В последние годы особое внимание исследователей и разработчиков привлекли сегнетоэлектрические материалы и композиты с неоднородной на наномасштабах структурой, обладающие аномально высокими параметрами, которые могут целенаправленно варьироваться путем изменения состава или технологий их синтеза. В то же время надо отметить, что сложная структура таких систем зачастую затрудняет их исследование традиционными экспериментальными макрометодиками, что требует разработки новых подходов как к самим методикам, так и к интерпретации получаемых экспериментальных результатов. В связи с этим тематика данной диссертационной работы, посвященной разработке и применению нелинейных оптических и спектральных методов исследования полярных нанобластей сегнетоэлектриков в макроскопически неполярных фазах, является, очевидно, весьма актуальной.

### **Структура и основное содержание работы**

Содержание диссертации соответствует формуле паспорта специальности 1.3.6 – оптика.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы из 152 наименований. Общий объем работы составляет 118 страниц текста, включая 40 рисунков.

Во *введении* сформулированы цели и задачи данной работы, обоснован выбор использованных методов, обоснована актуальность, новизна и практическая значимость выполненного исследования.

В *первой главе* сделан квалифицированный обзор современных представлений о строении и физических свойствах релаксоров и других систем, содержащих в структуре полярные нанобласти, введены основные понятия их описания, кратко описаны разработанные модели, применяемые для объяснения их физических свойств. Обоснован выбор объектов исследования (кристалличе-



ских твердых растворов  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  и керамики  $\text{BaTiO}_3$ ), дан краткий обзор по их предыдущим исследованиям.

*Во второй главе* дано общее описание используемых экспериментальных методов: генерации второй оптической гармоники, спектроскопии комбинационного рассеяния света, рассеяния Мандельштама – Бриллюэна.

*В третьей главе* описаны использованные в работе экспериментальные установки и методики выполненных измерений.

*В четвертой главе* приведено описание результатов исследования температурных зависимостей генерации второй оптической гармоники и спектров комбинационного рассеяния света в прессованных порошках  $\text{BaTiO}_3$ . Принципиально важным элементом новизны здесь является исследование формы линии второй гармоники с высоким спектральным разрешением, что позволило выделить сигнал гармоники из фона, связанного с рассеянием света и тем самым значительно повысить чувствительность метода. Полученные здесь данные по температурным зависимостям параметров линий комбинационного рассеяния в дальнейшем используются при анализе данных по исследованию образцов титаната бария, подвергнутых негидростатическому сжатию.

*Пятая глава* посвящена результатам исследования твердых растворов  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  с различным химическим составом с использованием всего комплекса вышеописанных спектральных методик: генерации второй оптической гармоники с высоким спектральным разрешением, спектроскопии комбинационного рассеяния, в частности, применительно к исследованию температурных зависимостей центрального пика спектра, спектроскопии Мандельштама – Бриллюэна применительно к изучению упругих свойств. Важное значение здесь имеет комплексность такого подхода, что позволило установить связи локальных дипольных моментов в неполярных структурах с их макроскопическими параметрами.

*В шестой главе* дано описание результатов исследования порошков титаната бария, подвергнутых негидростатическому прессованию. Здесь также важное значение сыграло использование комплексного подхода, что позволило связать результаты по генерации второй оптической гармоники и спектроскопии комбинационного рассеяния света – в результате чего получены приоритетные новые результаты.

В целом в качестве **основных результатов** следует выделить:

1. Результаты комплексных исследований твердых растворов  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ , включающих генерацию второй оптической гармоники с высоким спектральным разрешением, спектроскопию комбинационного рассеяния и рассеяния Мандельштама – Бриллюэна, что позволило установить связь температурных зависимостей дипольных моментов локально полярных наноразмерных областей в неполярной структуре релаксора, и его макроскопических упругих характеристик.

2. Доказательство наличия широкого набора времен колебательной релаксации в твердых растворах  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  на основании исследования темпера-



турных зависимостей формы центрального пика в спектрах комбинационного рассеяния.

3. Впервые выполненные количественные оценки величин остаточных механических напряжений после негидростатического прессования порошков титаната бария, и установление их связи с дипольными моментами локальных полярных областей, возникающих в результате анизотропных механических напряжений.

Диссертационная работа не свободна от **некоторых недостатков**. В качестве основного, неудачным представляется использование термина «...зависимости сигнала... *описываются* температурно-зависимым дипольным моментом...». Зависимости могут описываться формулой, моделью, теорией, но не реальной характеристикой материала. Скорее, следовало использовать термин «связаны», или, более сильно, «определяются». Имеется также ряд стилистических неточностей (на стр. 13 «яркими примерами... является», «группа релаксоров, которая... используются» и др.), на которые автору указано.

Разумеется, сделанное замечание не затрагивает существа диссертационной работы и не снижает общего благоприятного впечатления.

**Защищаемые положения**, изложенные в тексте диссертации и автореферате, отражают научную новизну и практическую ценность полученных результатов, подтверждены представленными результатами.

**Теоретическая и практическая значимость** работы определяется тем, что установленные в ней корреляции локальных и макроскопических характеристик наноструктурированных релакторных систем, очевидно, послужат дальнейшему развитию их теоретическому описанию, а развитые экспериментальные подходы будут применяться при исследовании широкого класса полярных диэлектрических материалов и будут полезны специалистам, занимающимся разработкой новых сегнетоэлектрических материалов с заранее заданными свойствами.

**Достоверность и обоснованность выводов** диссертации обеспечиваются квалифицированным использованием комплексом современных спектральных методов, внутренней непротиворечивостью экспериментальных результатов, обоснованностью сделанных выводов, сравнением получаемых результатов с имеющимися результатами других авторов.

Результаты, изложенные в диссертации, прошли **апробацию**, были неоднократно представлены на профильных международных и всероссийских конференциях, опубликованы в 9 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, хорошо известны специалистам.

## **Заключение**

Диссертационная работа Зайцевой Ирины Валерьевны выполнена на высоком научном уровне и представляет собой завершенную научно-квали-

фикационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для оптики конденсированных сред и физического материаловедения.

Автореферат диссертации и опубликованные работы автора отражают научную новизну и содержание работы.

Считаю, что диссертационная работа «Исследование полярных свойств сегнетоэлектриков в параэлектрической фазе оптическими методами» по своей актуальности, научному уровню, объему решаемых задач и завершенности исследований отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Зайцева Ирина Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. – оптика.

Официальный оппонент,

Втюрин Александр Николаевич

доктор физ.-мат. наук (01.04.05 – оптика), старший научный сотрудник,  
главный научный сотрудник лаборатории молекулярной спектроскопии  
Института физики им. Л. В. Киренского

Сибирского отделения Российской академии наук

– обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН,

г. Красноярск, 660036, Академгородок, д. 50/38.

Тел. +7 (908) 200 4440, эл. почта vtyurin@iph.krasn.ru

А. Н. Втюрин  
9 сентября 2022 г.

*Подпись А. Н. Втюрина заверяю*

Ученый секретарь ИФ СО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

