

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе **Андрониковой Дарьи Александровны**
«Фазовые переходы в чистом и допированном цирконате свинца»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Д. А. АНДРОНИКОВОЙ представляет результаты исследования фазовых переходов в кристаллах PbZrO_3 (ЦС) и $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ (ЦТС) методами дифракции и диффузного рассеяния синхротронного излучения.

Актуальность полученных результатов определяется актуальностью исследуемых материалов и использованием наиболее современных структурных методов.. ЦС является модельным антисегнетоэлектриком; его практические возможности связаны с гигантским электрокалорическим эффектом и высокой электрострикцией. ЦТС является наиболее востребованным эффективным пьезоматериалом. Его свойства варьируются в широких пределах при изменении состава $[\text{Zr}]/[\text{Ti}]$, что связано с весьма сложной фазовой диаграммой. Таким образом, проведенные в работе исследования структуры и атомной динамики в области фазовых переходов актуальны не только с позиций микроскопии антисегнетоэлектричества, но также с точки зрения возможности контроля практически важных параметров этого материала.

Диссертация состоит из Введения, трех глав и Заключения Оригинальные результаты, полученные автором при исследовании критической динамики кристаллической решетки в ЦС и ЦТС, изложены в **третьей главе**, состоящей из двух частей.

Первая часть Главы 3 представляет результаты исследования структуры и динамики кристаллической решетки в чистом ЦС методами дифракции, диффузного и неупругого рассеяния синхротронного излучения. Описана наблюдающаяся последовательность фазовых переходов, охарактеризовано диффузное рассеяние в параэлектрической фазе, установлена связь диффузного рассеяния в окрестности центра зоны Бриллюэна со смягчением моды в центре зоны Бриллюэна, что проявляется в виде критического роста диэлектрической проницаемости. Установлено, что TA in-plane фононная ветвь в направлении $[110]$ имеет низкую энергию, сильно анизотропна и испытывает равномерное смягчение при охлаждении в широком интервале волновых векторов. Показано, что динамический отклик на поперечной оптической фононной ветви на конечных волновых векторах в спектрах неупругого рассеяния проявляется в виде фононных резонансов, положение которых практически не зависит от температуры, и центрального пика с интенсивностью, критически растущей при приближении к температуре фазового перехода. С использованием модели Вакса показано, что описание трехмерного распределения интенсивности диффузного рассеяния в окрестности центра зоны Бриллюэна может быть осуществлено с учетом только низкочастотных возбуждений кристаллической решетки.

Вторая часть Главы 3 представляет результаты исследования кристаллов ЦТС с концентрацией $[\text{TiO}_2] \leq 4 \text{ mol/\%}$. Как известно, при таких концентрациях Ti в области между параэлектрической и антисегнетоэлектрической фазами появляется область сегнетоэлектрической (ромбоэдрической) фазы с весьма высокой спонтанной

поляризацией $P_s = 24 \text{ } \mu\text{C}/\text{cm}^2$. Исследование фазовой диаграммы ЦТС в этой концентрационной области методами синхротронного излучения было выполнено диссертантом впервые и позволило получить новую информацию о модулированной структуре данной фазы. Продемонстрирована связь асимметричного максимума в интенсивности диффузного рассеяния на границе зоны Бриллюэна с центральным пиком в спектрах неупругого рассеяния, наблюдаемого с одной стороны границы зоны Бриллюэна. Показано, что наблюдаемая система отражений является результатом несоразмерного фазового перехода по каналу перехода, включающего два волновых вектора. Установлено существование двух разделенных критических областей в параэлектрической фазе: в центре и на границе зоны Бриллюэна.

Новизна работы определяется проведенным впервые исследованием критической динамики кристаллической решетки в ЦС и ЦТС методом неупругого рассеяния синхротронного излучения. В частности, в ЦТС метод дифракции синхротронного излучения впервые использован для исследования промежуточной сегнетоэлектрической фазы, возникающей в области концентраций $[\text{TiO}_2] \leq 4 \text{ mol.}\%$.

К числу наиболее интересных и важных результатов, также определяющих новизну диссертации, относится вывод о существовании в ЦС и, по-видимому, в ЦТС межмодового взаимодействия $\text{TA} - \text{TO}$, обусловленного флексоэлектрическим взаимодействием. Возникающая неустойчивость предлагается диссертантом в качестве причины формирования несоразмерной фазы.

Научная и практическая значимость работы не вызывает сомнений. Полученные результаты вносят вклад в понимание микроскопии антисегнетоэлектричества в целом. Практическая значимость определяется необходимостью фундаментальных исследований наиболее актуального материала современной пьезотехники – ЦТС.

К работе можно сделать следующие замечания.

Результаты исследований динамики решетки с применением синхротронного излучения, проведенные в родственных материалах (сегнетоэлектриках и антисегнетоэлектриках), обсуждены недостаточно подробно.

Из изложения результатов, полученных в ЦТС, неясно, имеется ли концентрационная зависимость диффузного рассеяния.

При обсуждении фазовой диаграммы ЦТС не упоминаются последние работы (B.Noñeda e.a., PRB, 63, 2000, и др.).

Название диссертации носит слишком общий характер, не отражая ее конкретного содержания.

В работе имеется ряд опечаток и неточностей, не имеющих принципиального характера. Используемый термин “*предпереходной(-ая)*” не определен.

Сделанные замечания имеют частный характер и не меняют общую положительную оценку работы.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация Андрониковой Д. А. «Фазовые переходы в чистом и допированном цирконате свинца» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, посвященное актуальной теме, Работа выполнена на высоком профессиональном уровне, ее основные результаты

опубликованы в высокорейтинговых журналах и доложены на международных конференциях. Постановка задачи, подход к анализу результатов, обоснованность выводов свидетельствуют о высокой квалификации диссертанта. **Автореферат** полностью соответствует основному содержанию диссертации.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа Андрониковой Д. А. «Фазовые переходы в чистом и допированном цирконате свинца» удовлетворяет всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 за № 842, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «физика конденсированного состояния»,

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Волк Татьяна Рафаиловна

доктор физико-математических наук, профессор
(01.04.07, «Физика конденсированного состояния»).

И.о. зав. Лабораторией кристаллооптики,

Федеральное государственное учреждение «Федеральный
научно-исследовательский центр «Кристаллография и
фотоника» Российской академии наук.

Юридический адрес: 119333, г. Москва, Ленинский пр. 59,
Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН.

Телефон: 8-(499)-135-63-11, +7(499)-135-61-00

e-mail: volk@crys.ras.ru, volk-1234@yandex.ru

Волк Татьяна Рафаиловна

21.02.2019