

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Марченкова Н.В. «Рентгенодифракционные исследования пьезоэлектрических кристаллов при воздействии внешних электрических полей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.18 – «Кристаллография, физика кристаллов»

Разработка новых и совершенствование уже существующих прецизионных методов и методик контроля структурного совершенства кристаллов, исследование их функциональных свойств относится к актуальнейшим проблемам современного материаловедения и микроэлектроники. Это обусловлено с миниатюризацией кристаллических элементов микроэлектроники и резким возрастанием требований к качеству их структуры, которое во многом определяет рабочие характеристики функциональных элементов на основе этих кристаллов.

Диссертационная работа Н.В. Марченкова посвящена развитию современных рентгенодифракционных методов и методик исследования и их применению для изучения пьезоэлектрических свойств перспективных кристаллов лангата и парателлурита в условиях внешних электрических полей, а также изучению дефектной структуры кристаллов.

Безусловно, работа Н.В. Марченкова является на сегодня актуальной и затребованной временем и специалистами.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 93 наименований. Ее содержание изложено на 122 страницах, включая 67 рисунков и 4 таблицы.

Во введении диссертации четко обоснована актуальность проводимых исследований, поставлена цель и основные задачи исследования, сформулированы научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, описана практическая значимость результатов работы, представлены сведения об апробации работы и основных публикациях.

В первой главе кратко и профессионально дан литературный обзор по истории развития рентгенодифракционных методов изучения кристаллов, находящихся под воздействием электрического поля, прецизионным рентгеновским методам определения параметра решетки, которые ранее для исследования кристаллов в условиях внешних воздействий не применялись, проанализированы и показаны возможности применения данных методов для исследования пьезоэлектрических свойств кристаллов. Первая глава в полной мере дает представление о необходимости и перспективности данного диссертационного исследования.

Во второй главе приведены результаты исследования пьезоэлектрических свойств кристалла лангата с помощью рентгенодифракционных методик высокого разрешения. Показано, что метод двух- и трехкристальной ди-

фрактометрии, а также метод квазимогнотолновой дифракции позволяют достаточно точно определить параметры решетки и исследовать отклик пьезоэлектрического кристалла на внешнее электрическое поле.

Данными методами определены значения пьезомодуля лантан-галлиевого танталата и проведено сравнение полученных результатов с представленными в литературных источниках. Показано, что полученные с помощью рентгенодифракционных методов значения пьезомодулей хорошо согласуются с измеренными нерентгеновскими методами. Точность определения пьезомодуля не уступает той, которую обеспечивают традиционные методики.

Методами трехкристальной дифрактометрии и квазимогнотолновой дифракции **впервые** проведены измерения локальной вариации пьезомодуля вдоль поверхности исследуемого образца с пространственным разрешением до десятка микрон. Проведение подобных измерений актуально для исследования влияния особенностей реальной структуры на свойства кристалла.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты по изучению доменной структуры, возникающей в монокристаллах парателлурита под воздействием постоянного электрического поля, и дано объяснение наблюдаемому эффекту. Эффект образования доменов проявлялся в уширении и расщеплении двухкристальной кривой дифракционного отражения, причем величина уширения на порядок превышала полуширину кривой отражения в отсутствие поля. С помощью метода трехкристальной дифрактометрии было проведено двумерное сканирование одного из рентгеновских рефлексов в обратном пространстве и установлено, что образующиеся домены имеют одинаковый параметр решетки, но взаимную малоугловую разориентацию. Исследованы зависимость величины этой разориентации от напряженности внешнего поля, временная зависимость процесса разворота доменов. С помощью сканирования узким пучком по поверхности кристалла определены характерные размеры этих доменов.

Четвертая глава содержит результаты исследования методами двухкристальной дифрактометрии и моговолновой дифракции дефектной структуры парателлурита. В качестве образца использовалась часть кристаллической булы парателлурита. Оценка дефектной структуры проводилась измерением кривых отражения от двух систем атомных плоскостей, находящихся в условиях моговолновой дифракции. Кривые дифракционного отражения были измерены в 18 точках поверхности кристалла, расположенных на одном из его диаметров, что соответствует сканированию вдоль фронта кристаллизации. Показано, что искажение профиля КДО, возникающее в из-за влияния дефектов кристаллической структуры, наиболее ярко проявляется в области моговолнового взаимодействия рентгеновских рефлексов. Это объясняется автором высокой чувствительностью фазы рентгеновской волны к особенностям реальной структуры кристаллов.

Выводы по работе полностью отражают основные научные и практические результаты.

Диссертационная работа представляет собой законченное, выполнен-

ное на высоком уровне, исследование. В ней получены новые научные результаты о дефектной структуре и свойствах кристаллов лантан-галлиевого танталата и парателлуриата, среди которых можно выделить следующие.

1. В кристаллах лантан-галлиевого танталата методами квазимноговолновой дифракции и трехкристальной дифрактометрии проведены локальные измерения пьезомодулей вдоль поверхности образцов с пространственным разрешением 30 мкм. Полученные значения в пределах погрешности хорошо согласуются с представленными в литературе

2. **Впервые** в кристаллах парателлуриата обнаружен и доказан методом трехкристальной дифрактометрии эффект образования доменов при воздействии постоянного электрического поля, представляющие собой области кристалла, имеющие малоугловую разориентацию области с одинаковым параметром решетки. Показано, что переход из монодоменного в полидоменное состояние после включения электрического поля длится несколько часов, а после его выключения происходит обратный процесс, примерно, в течение такого же времени.

3. Показана более высокая чувствительность к дефектам структуры кристаллов метода многоволновой дифракции по сравнению с методом двухволновой дифрактометрии, что связано с привлечением в методе многоволновой дифракции дополнительной информации, содержащейся в фазе рентгеновских волн.

Таким образом, можно констатировать, что представленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном и научном уровне, сочетает в себе как теоретические, так и экспериментальные аспекты. В работе использовались современные диагностические методы и математический аппарат. Достоверность полученных экспериментальных результатов измерения пьезомодулей в кристаллах лантан-галлиевого танталата подтверждается хорошим согласием с литературными данными, измеренными ранее при помощи нерентгеновских методов. Обнаруженный в кристаллах парателлуриата эффект образования доменов детально исследован различными рентгенодифракционными методами, что позволило получить согласующиеся и взаимодополняющие данные о типе доменов и их характерных особенностях.

Тексты диссертации и автореферата написаны грамотным научным языком, понятным для широкого круга специалистов. Иллюстрации и таблицы к тексту в полной мере дают представление о полученных экспериментальных результатах, их новизне и оригинальности.

Личный вклад автора в работу и его высокий профессиональный уровень не вызывает сомнения.

Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации.

Основные научные положения и результаты диссертации опубликованы в 19 работах, включая 16 тезисов докладов на различных конференциях и семинарах, в 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

В диссертационной работе имеется ряд мелких недочетов, представленных ниже.

1. На рис. 2.9 не указаны погрешности определения углового расстояния -

ния между пиками КДО рефлексов (260) и (770) и полуширины асимметричного рефлекса (260).

2. В главе 3 диссертации автор подробно описывает исследование обнаруженного им эффекта образования доменов в кристаллах парателлурита при воздействии на них постоянного электрического поля, при этом остается открытым вопрос о возможных причинах возникновения этих доменов.

3. На рис. 3.14 стоило бы пересчитать угловые величины как по оси абсцисс, так и по оси ординат в единицы измерения обратного пространства. Тогда данный рисунок можно было в полной мере называть изображением рефлекса в обратном пространстве.

4. В главе 4 не объясняется, почему при выборе направления сканирования поверхности исследуемого кристалла TeO_2 было выбрано направление, составляющее угол 7° с кристаллографическим направлением $[1\bar{1}0]$.

Отмеченные недостатки не влияют на научную и практическую значимость полученных в диссертационной работе результатов и ее общую высокую оценку.

Диссертационная работа Н.В. Марченкова полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискания ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.18 - кристаллография, физика кристаллов, и ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры технических и естественнонаучных дисциплин Филиала Санкт-Петербургского государственного экономического университета в г. Великом Новгороде

В.А.Ткаль

Подпись В.А. Ткаля заверяю,
Директор Филиала Санкт-Петербургского государственного экономического университета в г. Великом Новгороде, к.э.н., доцент



И.Р. Кормановская

173003, г. Великий Новгород, ул. Кочетова, д. 29, корп. 3, Филиал Санкт-Петербургского государственного экономического университета в г. Великом Новгороде, старший научный сотрудник, доктор физико-математических наук.

тел. 8(902) 283-46-53

e-mail: valery.tkal@yandex.ru