



УТВЕРЖДАЮ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)



Проректор ФГАОУ ВО «СПбПУ»  
по научной работе

Райчук Д.Ю.

" 10 " февраля 2015г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Таргонского Антона Вадимовича  
**«РАЗВИТИЕ ВРЕМЯРАЗРЕШАЮЩИХ РЕНТГЕНОАКУСТИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ И ИЗУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ  
РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ»,**

представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.18 – «Кристаллография, физика кристаллов»

#### **Актуальность темы и содержание диссертационной работы**

В диссертации А.В.Таргонского рассмотрен комплекс задач, связанных с разработкой новых рентгенооптических схем, реализацией этих схем на практике и применением их для анализа монокристаллов.

Рентгеноструктурный анализ является одним из самых мощных методов исследования структуры кристаллических материалов. Особую актуальность рентгеноструктурному анализу придает возможность производить исследования динамики процессов *in situ*. Речь идёт о всевозможных структурных перестройках, фазовых переходах и т.д., а также о реакции исследуемого материала на внешнее воздействие. Основные проблемы в данном подходе связаны с обеспечением высокого быстродействия

экспериментальной аппаратуры, что далеко не всегда достижимо на существующей аппаратной базе. В связи с этим разработка быстродействующих систем рентгеноструктурного анализа представляется весьма перспективной для целого ряда областей науки: от биологии до нанотехнологий.

В работе А.В.Таргонского развивается направление, связанное с совершенствованием систем управления рентгеновским пучком. Средством решения данной проблемы избрано рентгеноакустическое взаимодействие, позволяющее осуществлять влияние на среду распространения пучка с помощью ультразвуковых колебаний. Такой способ достаточно прост в применении, позволяет реализовать схемы с высоким временным разрешением и при этом позволяет варьировать различные параметры рентгеновского пучка (геометрическое положение, фокусировку, длину волны).

Таким образом, актуальность и значимость работы не вызывают сомнений.

В **первой главе** диссертации приведён развёрнутый обзор: во-первых, работ, посвящённых взаимодействию рентгеновских лучей с акустическим полем; во-вторых, методов формирования и управления рентгеновскими пучками - как с помощью традиционных рентгенооптических элементов, так и с помощью рентгеноакустических взаимодействий.

Обзор в значительной степени охватывает выбранное направление и показывает, что автор достаточно свободно в нём ориентируется.

Также в первой главе автор мотивирует выбор длинноволнового ультразвука в качестве метода управления рентгеновскими пучками в процессе измерений.

**Вторая глава** посвящена использованным в работе рентгенооптическим схемам: «Источник-образец-анализатор» и «Источник-монохроматор-образец». Показано, как ультразвуковая модуляция параметра решётки кристалла позволяет производить угловое сканирование с высоким временным и угловым разрешением, разработана и реализована система анализатора стоячих волн, использованная в выбранных схемах.



Было бы уместным в данном разделе указать, почему возникла необходимость в разработке двух различных схем и в чём заключается принципиальное различие между ними.

Создание монокристаллического резонатора, пригодного для использования в рентгеновской дифрактометрии высокого разрешения, является нетривиальной задачей в силу анизотропии монокристаллической среды и наличия дополнительной пьезоэлектрической жёсткости. В **третьей главе** диссертации описывается методология разработки и создания таких устройств. Новым и важным здесь представляется разработка монокристаллических резонаторов, лишённых многих присущих составным резонаторам недостатков, как-то: влияние поверхности склейки, склонность к разрушению и необходимость подгонки резонансных частот кристалла и резонатора. При этом недостаточно простых одномерных моделей распространения волны в кристалле и стандартных методов измерений частотных характеристик кристаллов. Как показали исследования, описанные в данной главе, распределение амплитуд по длине кристалла может носить существенно более сложный характер.

Предложенные методы и разработанная аппаратура были реализованы в форме рентгеноакустического дифрактометра, описанного в **главе 4**. Помимо двух рентгенооптических схем, дифрактометр способен работать в нескольких режимах регистрации – интегральном, стробоскопическом и времяразрешающем, а также как в режиме отражения, так и в просвечивающем режиме. Проведённые эксперименты показали хорошее совпадение кривых дифракционного отражения, полученных на разработанном приборе и на традиционном рентгеновском дифрактометре. Не уступая традиционным приборам по основным параметрам, разработанный рентгеноакустический дифрактометр позволяет резко – с ~100 до 5 секунд - сократить время проведения эксперимента.

В **главе 5** изложены результаты применения созданного прибора для анализа эволюции рентгенодифракционных характеристик ряда кристаллов в широком диапазоне амплитуд. В экспериментах были использованы как составные, так и монокристаллические резонаторы.

Здесь следует заметить, что, коль скоро речь идёт о деформационном процессе и эволюции дефектной структуры, уместней было бы в экспериментальных зависимостях указывать не амплитуду приложенного

ультразвукового воздействия в вольтах, а амплитуду деформаций в материале.

Были измерены зависимости полуширины кривых дифракционного отражения от амплитуды ультразвукового воздействия для разных режимов регистрации. При этом были обнаружены серьёзные различия зависимостей для бездефектных кристаллов и кристаллов, содержащих дефекты и неоднородности. Если для первых поведение было достаточно простым и предсказуемым, без остаточных эффектов, то для вторых было зафиксировано аномальное поведение, выражающееся в нелинейном изменении полуширины линий при повышении амплитуды ультразвука до определённых значений. Кроме того, после снятия воздействия наблюдались достаточно длительные релаксационные процессы. Очевидно, такое поведение связано с эволюцией дефектной структуры в кристалле, но детального объяснения в настоящий момент нет. Впрочем, это ни в коей степени не является недостатком данной работы.

В общих **выводах** представлены основные результаты, соответствующие содержанию диссертационной работы и достаточно полно её характеризующие. Список литературы содержит достаточное количество ссылок как на результаты современных отечественных и зарубежных исследователей, так и на научные труды известных специалистов в области свойств кристаллов и рентгеновского анализа.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Результатами данной диссертации, обладающими научной новизной, можно считать:

1. Разработку и практическую реализацию рентгенооптических схем с использованием рентгеноакустического метода с высоким временным разрешением.
2. Экспериментальный и расчётный анализ ультразвуковых деформаций рентгеноакустического элемента.
3. Разработку, создание и исследование свойств нового элемента рентгеновской оптики – монолитного рентгеноакустического резонатора.
4. Разработку и практическую реализацию времяразрешающего рентгенодифракционного метода анализа деформационных процессов в кристаллах на основе рентгеноакустической оптики.



5. Результаты исследования рентгенодифракционных характеристик ряда кристаллов (кремния, кварца, фторида лития и парателлуриата). Обнаружены ранее не наблюдавшиеся и в настоящий момент не имеющие детального объяснения аномалии поведения характеристик для фторида лития и парателлуриата.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Достоверность и обоснованность результатов опирается на использование современных и надёжных экспериментальных и расчётных методов, а также на разумное согласие с имеющимися экспериментальными данными и физическими моделями.

### **Практическая ценность**

Практическая ценность работы несомненна, разработанный и реализованный метод расширяет имеющиеся возможности рентгеноструктурного анализа, в первую очередь, за счёт значительного повышения скорости съёмки. Это позволяет исследовать процессы в материале в их динамике. Использование предложенного метода совместно с более мощными источниками рентгеновского излучения позволит дополнительно повысить временное разрешение.

### **Замечания по содержанию работы.**

Диссертация, безусловно, заслуживает высокой оценки, однако имеются некоторые замечания:

1. Не объяснён выбор использованных двух рентгенооптических схем, а также различия между ними.
2. При анализе влияния деформации на рентгенодифракционные характеристики кристалла уместнее было бы использовать не амплитуду электрического напряжения, приложенного к пьезоэлементу, а амплитуду деформации в материале.
3. В работе имеется некоторое количество погрешностей оформления. Впрочем, это не снижает ценности работы и является, скорее, пожеланием диссертанту.

## Заключение

Как следует из вышеизложенного, диссертационная работа А.В.Таргонского является актуальной, имеет законченный характер, полученные данные в достаточной степени обоснованы, имеют научную новизну и практическую ценность. Имеется достаточное количество публикаций по теме диссертации.

Основным достоинством предложенной работы является разработка и реализация времяразрешающего метода рентгеноструктурного анализа с использованием рентгеноакустического взаимодействия.

Представленная диссертационная работа «Развитие времяразрешающих рентгеноакустических методов и изучение на их основе рентгенодифракционных характеристик кристаллических материалов» соответствует по содержанию паспорту специальности 01.04.18 – «Кристаллография, физика кристаллов» и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842), а её автор, Таргонский Антон Вадимович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Доклад по диссертационной работе и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры «Механика и процессы управления» института Прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета (протокол № 02-04 от 04 февраля 2015г.).

Заведующий кафедрой  
«Механика и процессы управления»  
д. ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН

 Индейцев Дмитрий Анатольевич

195251 г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29  
тел.: (812) 552-77-78  
e-mail: dmitry.indeitsev@gmail.com