


УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
д.ф.-м.н.




_____ П.Н. Брунков
11 " мая 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу МАМБЕТОВОЙ Ксении Мустафиевны «Генерация электронных пучков и агрегирование микро- и наночастиц в сильных электрических полях, формируемых на поверхности кристаллов LiNbO_3 и микроструктур $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ при термическом и лазерном воздействии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Мамбетовой Ксении Мустафиевны посвящена детальному изучению эффектов генерации электронных пучков и агрегирования микро- и наночастиц в сильных электрических полях, формируемых на поверхности кристаллов ниобата лития и допированных микроструктур на его основе, при термическом и оптическом воздействии.

Сегнетоэлектрические кристаллы ниобата лития характеризуются высокой температурой Кюри, хорошими пьезоэлектрическими и диэлектрическими свойствами, допускают варьирование в широких пределах своих фотогальванических параметров и фотопроводимости за счет легирования. Они по праву считаются одними из лучших

кандидатов среди материалов для создания на их основе элементов и микроструктур, использующих генерацию мощных электрических полей при термическом и оптическом возбуждении.

Электрические поля, генерируемые в сегнетоэлектрических кристаллах, привлекают внимание в связи с их потенциальным применением в термически и оптически управляемых устройствах. При реализации оптических методов создания таких полей осуществляется диффузионное легирование кристаллов ниобата лития различными примесями. При термическом воздействии на сегнетоэлектрические кристаллы ниобата лития полярных срезов, за счет пьезоэлектрического эффекта генерируются электрические поля, приводящие к эмиссии электронов, что применяется для создания твердотельных источников рентгеновского и нейтронного излучения.

В этой связи диссертационная работа Мамбетовой Ксении Мустафиевны, посвященная изучению процессов генерации электронных пучков, объединения наночастиц в сильных электрических полях в сегнетоэлектрических кристаллах и структурах на их основе, при термическом и лазерном возбуждении, безусловно является актуальной.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 209 страницах машинописного текста. Диссертация включает в себя 77 рисунков, 12 таблиц и список литературы из 148 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы, представлен обзор литературы, сформулированы цели и поставлены задачи диссертационной работы, приведены выносимые на защиту основные научные положения, а также информация об апробации работы и структуре диссертации.

В первой главе представлен обзор работ, посвященных изучению явлений, связанных с термо- и фотоиндуцированными в сегнетоэлектрических кристаллах сильными электрическими полями и с их использованием для генерации электронных пучков с энергией до 100 кэВ, рентгеновского и нейтронного излучения, а также для реализации устройств оптически управляемого манипулирования микрочастицами.

Во второй главе приведены результаты по практической реализации технологии легирования пластин ниобата лития ионами

меди и отработке режимов, позволяющих создавать образцы с высокими фотовольтаическими и фоторефрактивными свойствами.

Третья глава посвящена исследованию формирования поля пространственного заряда фоторефрактивных решеток в легированных ионами меди пластинах ниобата лития X-среза, в том числе и микроструктурированных.

В четвертой главе приведены результаты по моделированию динамики сильных электрических полей фоторефрактивных решеток в пластинах ниобата лития, допированного медью (X-срез), используемых для фотовольтаического агрегирования микро- и наночастиц на поверхности образцов ниобата лития, как микроструктурированных, так и изготовленных из объемно-легированных медью кристаллов.

В пятой главе представлены результаты исследования динамики генерации электронных пучков в микросекундном и наносекундном диапазоне сильными электрическими полями, создаваемыми за счет пироэлектрического эффекта при термическом воздействии на монокристаллические образцы ниобата лития полярного Z-среза, при форвакуумном и атмосферном давлении.

В заключении приводятся основные результаты и выводы работы, которые представляются надежно обоснованными.

Новизна выполненных исследований и полученных результатов

Все основные результаты работы являются новыми. Наиболее значимые результаты, полученные соискателем в ходе проведенного диссертационного исследования, являются:

1. Выполнение существенного объема технологических и конструкторских работ, а также теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров создаваемых и исследуемых микроструктур.
2. Развитие методики расчета сил, действующих на микро- и наночастицы, агрегируемых фотовольтаическими пинцетами на основе пластин ниобата лития, допированного медью (X-срез).
3. Разработка метода регистрации динамики пироэлектрической генерации электронов в микро- и наносекундных временных диапазонах.

Достоверность полученных результатов

подтверждается корректным использованием современных представлений о физических процессах в сегнетоэлектрических кристаллах и соответствующих математических моделей, использованием апробированных методик измерений; высокой степенью повторяемости результатов; хорошим согласием экспериментальных и теоретических результатов.

Научная и практическая значимость полученных в работе результатов

Полученные результаты исследований, а именно, изучение процессов генерации электронных пучков и агрегирования микро- и наночастиц в сильных электрических полях в сегнетоэлектрических кристаллах и структурах на их основе, представляют весомый вклад в физику фото- и термостимулированных эффектов в сегнетоэлектрических кристаллах и родственных соединений и закладывают основу для их широкого использования в промышленности.

Рекомендации по использованию

Результаты диссертационной работы могут представлять интерес в исследованиях сегнетоэлектрических кристаллов и родственных соединений, а также разработке на их основе твердотельных источников рентгеновского и нейтронного излучения и оптических пинцетов в научных учреждениях, таких как Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИОФ, ИРЭ РАН, Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН.

Все задачи, поставленные в диссертационной работе, успешно решены. Однако по диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Автором полагалось, что в созданном высокотемпературной диффузией микроструктурированном слое $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X -среза отношение концентраций ионов в зарядовых состояниях Cu^+ и Cu^{2+} не зависит от координаты x (подраздел 2.4, стр. 71). Однако меньший ионный радиус Cu^{2+} может приводить для данных ионов к большему коэффициенту диффузии, чем для полученных в диссертации значений D_{Cu}^X , основанных на линейной связи показателя

поглощения на длине волны 532 нм с концентрацией ионов в зарядовом состоянии Cu^+ .

2. При анализе динамики формирования поля пространственного заряда в пластинах $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ X-среза в подразделе 3.4 диссертации было использовано приближение, в котором тангенциальная компонента этого поля $E_z(x,z)$ считалась преобладающей, а нормальной к границе раздела компонентой $E_x(x,z)$ пренебрегалось. К сожалению, подробное обсуждение правомерности использования данного приближения в диссертации отсутствует.
3. Соискателю следовало указать в тексте автореферата и диссертации о программах, используемых для численного моделирования: собственная программа или стандартные пакеты, такие как MATLAB, COMSOL Multiphysics.
4. В тексте диссертации имеются опечатки: стр. 137

«Диэлектрофоретическая сила, действующие на микро- и наночастицы, нанесенные на поверхность кристалла, определяются, как видно из соотношений (4.7) и (4.8), градиентом квадрата модуля поля пространственного заряда». По-видимому, следует «Диэлектрофоретическая сила, действующая на микро- и наночастицы, нанесенные на поверхность кристалла, определяется, как видно из соотношений (4.7) и (4.8), градиентом квадрата модуля поля пространственного заряда»

Отмеченные замечания не влияют на общую **положительную оценку работы**, которая является законченным исследованием, выполненным на высоком научном и техническом уровне и вносящим весомый вклад в физику фото- и термостимулированных эффектов в сегнетоэлектрических кристаллах и родственных соединений для создания твердотельных источников рентгеновского и нейтронного излучения и оптических пинцетов.

Результаты диссертационного исследования отражены в 29 публикациях: 8 публикаций – в журналах из перечня ВАК, из них 5 публикаций в журналах, индексируемых в базах Scopus и/или Web of Science; 2 статьи – в сборниках международных конференций, индексируемых в базах Web of Science и/или Scopus; 19 публикаций – в

сборниках научных трудов и материалов научных и научно-практических конференций.

Автореферат соответствует всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ и полностью отражает содержание диссертации.

В целом рассматриваемая диссертация по своему содержанию, объему выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01.10.2018 г.) (пп. 9 – 14), а ее автор, Мамбетова Ксения Мустафиевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника».

Отзыв заслушан и одобрен на заседании научно-технического семинара лаборатории физики анизотропных материалов (протокол № 3 от 04.05.2021 г.).

Руководитель отделения физики диэлектриков
и полупроводников,
ведущий научный сотрудник
лаборатории физики анизотропных материалов
ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
доктор физико-математических наук
Тел.: (812) 515-9195

И.А. Соколов



Соколова И.А. удостоверяю
в отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

Н.С. Бузгалин

Полное название ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (Ioffe Institute)
Сокращенное название ведущей организации: ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Ioffe Institute)
Адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
Электронная почта: post@mail.ioffe.ru
Телефон: (812) 297-2245
Сайт: http://www.ioffe.ru
Составитель отзыва: Соколов Игорь Александрович