

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию Макарьева Дмитрия Ивановича на тему «Разработка
физико-технологических основ создания высокоанизотропных
пьезоматериалов и материалов для аддитивных технологий на основе
сегнетопьезокерамики» на соискание ученой степени доктора технических
наук по специальности 2.2.3 - Технология и оборудование для
производства материалов и приборов электронной техники

Диссертация Макарьева Д.И. посвящена вопросам разработки аддитивной технологии трехмерной печати анизотропных пьезоэлементов, включающей в себя адаптацию технологии послойного склеивания порошков и создание нового материала на основе композитов системы «пористая пьезокерамика - полимер», предназначенного для использования в качестве рабочего материала для данной технологии. Кроме того, были разработаны способы электрических воздействий на пьезоэлементы из уже существующих пьезоматериалов, способные увеличить их анизотропию пьезоэффекта.

Ультразвуковые импульсные преобразователи активно применяются в качестве источников и приемников коротких ультразвуковых сигналов в таких отраслях как дефектоскопия, медицинская диагностика, расходометрия, гидроакустика и др. Такие преобразователи обладают широкой полосой пропускания. Однако паразитные колебания, порождаемые обертонами неосновных мод колебаний пьезоэлемента, способны существенно изменить полосу пропускания и тем самым исказить форму ультразвукового сигнала. Пьезоматериалы, обладающие высокой анизотропией пьезоэффекта, имеют низкий уровень паразитных колебаний в полосе пропускания преобразователя, поэтому элементы из таких материалов широко применяют в качестве активных элементов в ультразвуковых преобразователях. Создание аддитивной технологии производства пьезоэлементов способно поднять отрасль на новый уровень, поскольку позволяет существенно упростить процесс производства пьезоэлементов, отказавшись от ряда традиционных производственных

процессов, и снизить производственные затраты. Поэтому данную работу следует признать актуальной.

Достоверность и надежность полученных результатов подтверждается характеристиками использованной аппаратуры, методиками проведения экспериментов, соответствием сведениям из независимых источников, а также отсутствием противоречий с ранее полученными значениями электромеханических параметров пьезоэлектрических материалов. Результаты работы можно считать достоверными, а сделанные на основе данных результатов выводы - обоснованными.

Результаты, полученные Макарьевым Д.И. в диссертационной работе, являются *новыми*. Впервые разработана технология производства пьезоэлементов на основе смесового композита системы «пористая пьезокерамика - полимер», изучены их электромеханические свойства. Выявлены способы управления диэлектрической проницаемостью данного композита, определены методы воздействия, способные увеличить анизотропию уже существующих пьезоматериалов, выявлены причины, обеспечивающие это увеличение.

Целью диссертационной работы являлась разработка физико-технологических основ создания новых пьезоматериалов, обладающих высокой анизотропией пьезоэлектрических свойств, включая материалы, предназначенные для изготовления активных элементов по одной из аддитивных технологий, для электромеханических устройств с низкой добротностью и безрезонансных применений.

Практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений. Разработана методика изготовления элементов с гигантской анизотропией пьезоэффекта на основе пьезоматериалов из титаната свинца; технология управления анизотропией ряда пьезоматериалов на основе цирконата-титаната свинца, позволяющая существенно расширить их область

применения; аддитивная технология послойного склеивания порошков адаптирована для изготовления пьезоэлементов; разработаны композиты системы «пористая пьезокерамика - полимер» и «пористая пьезокерамика - полимер - металл», обладающие пьезосвойствами; на основе композита «пористая пьезокерамика - полимер» получен материал, относительная диэлектрическая проницаемость которого способна изменяться в зависимости от геометрических размеров образца.

Диссертация Макарьева Д.И. состоит из введения, пяти разделов и заключения. Работа изложена на 257 страницах машинописного текста, включающего 72 рисунка, 17 таблиц и библиографию из 166 наименований.

Во введении обоснована актуальность выполненных исследований, сформулированы цель и задачи работы, обоснован выбор объектов исследования, изложены положения, выносимые на защиту, отмечены их научная новизна, достоверность и практическая значимость. В работе приведены сведения о публикациях автора и о его личном вкладе.

В первом разделе диссертации приведен обзор литературы, посвященной общей теории анизотропии пьезоэффекта сегнетопьезокерамик, технологии производства и составам пористой керамики, дан обзор аддитивных технологий, включающий технологии объемной печати пьезоэлементов.

Во втором разделе диссертации описаны объекты и методы исследования. Даны характеристики пьезоматериалов на основе титаната свинца ПКР-70, также приведены свойства материалов на основе цирконата-титаната свинца ПКР-1, ПКР-7М, ПКР-8, ЦТС-19 и композитов системы «пористая пьезокерамика - полимер», приведены технологии их получения и методики исследования электромеханических свойств, приведены характеристики использованного оборудования.

В третьем разделе показано влияние сильных электрических полей на возникновение гигантской анизотропии образцов из пьезоматериала ПКР-70.

Выявлено, что гигантская анизотропия пьезоэффекта данного материала обусловлена формированием анизотропной дефектной структуры микротрещин, ориентированных вдоль поляризующего поля. Приведены результаты влияния многократного переключения поляризации на анизотропию пьезоэффекта материалов ПКР-1, ПКР-7М и ЦТС-19. Установлено, что данное воздействие позволяет увеличивать анизотропию пьезоэффекта сегнетомягких материалов.

В четвертом разделе представлена разработка технологии получения композитов системы «пористая пьезокерамика - полимер» по усовершенствованной технологии послойного склеивания порошков и результаты исследования их электрических и электромеханических свойств. На основе данного композита разработан материал с управляемой диэлектрической проницаемостью. Указаны основные преимущества применения пористой пьезокерамики вместо плотной в качестве пьезоактивной компоненты композита. Разработан однослойный композит системы «пористая пьезокерамика - полимер», обладающий пьезосвойствами. Показана принципиальная возможность трехмерной печати пьезоэлементов из данного композита по одной из аддитивных технологий.

В пятом разделе описаны многослойные композиты системы «пористая пьезокерамика – полимер - металл». Показано, что внесение электропроводных частиц в полимерную матрицу композита способствует появлению у него пьезосвойств. В главе также приведена технология изготовления многослойного композита, состоящего из нескольких слоев однослойных композитов системы «пористая пьезокерамика - полимер», разделенных между собой электропроводными прослойками.

В Заключение автором приведены основные результаты и сформулированы выводы по диссертационной работе.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вместе с тем, по данной диссертационной работе следует сделать ряд замечаний:

1. Автором проведен подробный обзор аддитивных технологий, перспективных для создания функциональных пьезоэлектрических структур. Однако, в работе отсутствуют сведения о методах планарной печати (inkjet, e-jet, aerojet), которые основаны на локализации химических методов осаждения и успешно используются для формирования пьезо- и пирозлектрических материалов.

2. В главе 3, на ряде графиков, отношение пьезоэлектрических модулей выражается в пКл/Н. Так как такое отношение является безразмерной величиной, подобное представление не совсем корректно.

3. По всему тексту работы наблюдается некорректное представление аппроксимационных кривых на графиках. Так, на рисунке 3.10 прямая проведена через две точки. На ряде графиков, достаточно сложные кривые проведены через 3 точки. Кроме того, на графиках отсутствуют доверительные интервалы, что не дает сделать однозначный вывод о воспроизводимости экспериментов.

4. В работе проведено большое количество результатов исследований структуры и свойств пьезоэлектрических структур (дилатометрические, электронномикроскопические, рентгенографические, прочностные). Однако, следует отметить, что эти исследования проведены избирательно и не распространяются на все объекты.

Перечисленные выше замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа Макарьева Дмитрия Ивановича на тему «Разработка физико-технологических основ создания высокоанизотропных

пьезоматериалов и материалов для аддитивных технологий на основе сегнетопьезокерамики»», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и соответствует критериям действующего «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", утвержденного Приказом № 260-ОД от 30.11.2021, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

Диссертация соответствует направлению исследования 1 в формуле паспорта специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники. Ее автор – Макарьев Дмитрий Иванович – заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Я согласен на обработку моих персональных данных

Официальный оппонент:



Белов Алексей Николаевич

доктор технических наук (специальность 05.27.06 - Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники)

Московский институт электронной техники (МИЭТ)

Адрес места работы: 124498, Россия, Москва, Зеленоград, Площадь Шокина, дом 1

E-mail: nanointech@mail.ru

Телефон: +79689316542

Подпись Белова А.Н. удостоверяю

Ученый секретарь МИЭТ, к.т.н



А.В. Козлов