

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 разработке новых анизотропных пьезоматериалов, предназначенных для объемной печати пьезоэлементов при помощи аддитивных технологий и совершенствованию уже существующих пьезоматериалов путем воздействия электрическим полем с целью увеличения анизотропии пьезоэффекта.

В настоящее время пьезоэлементы из анизотропных пьезоматериалов широко применяются в качестве активных элементов в различных устройствах приема-передачи ультразвуковых сигналов в таких отраслях как медицина, неразрушающий контроль, гидроакустика и др. Это обусловлено необходимостью создания и совершенствования широкополосных преобразователей ультразвуковых сигналов, способных излучать и принимать короткие ультразвуковые импульсы длительностью полтора - два периода. Применение материалов с высокой анизотропией пьезоэффекта позволяет исключить паразитные колебания в полосе пропускания широкополосных преобразователей, что обеспечивает качество преобразования сигналов. Это делает **актуальной** разработку анизотропных пьезоматериалов и исследование физических воздействий, способных увеличить анизотропию пьезоэлементов.

Развитие аддитивных технологий в последнее время создает возможность разработки технологий объемной печати пьезоэлементов. Создание таких технологий означает переход на новый технологический уклад при

производстве активных элементов, что позволит снизить затраты на производство вследствие исключения ряда трудоемких технологических процессов. На основании вышеизложенного данную диссертацию следует признать **актуальной**.

Работа представляет собой систематичное исследование, включающее в себя разработку технологий получения новых композиционных материалов, изучение их электрофизических свойств, а также способов увеличения анизотропии пьезоэффекта уже существующих пьезоматериалов.

Достоверность и надежность полученных результатов подтверждается параметрами использованной аппаратуры, 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.

Полученные Макарьевым Д.И. в диссертационной работе результаты являются **новыми**. Впервые разработан техпроцесс производства пьезоэлементов на основе смесового композита системы «пористая пьезокерамика - полимер», изучены электрофизические свойства данных композитов. Определены методы воздействия, способные увеличить анизотропию уже существующих пьезоматериалов.

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 управления анизотропией ряда пьезоматериалов, позволяющая использовать их в широкополосных ультразвуковых преобразователях, аддитивная технология послойного склеивания порошков адаптирована для изготовления пьезоэлементов, получены одно- и многослойные композиты системы «пористая пьезокерамика - полимер» и «пористая пьезокерамика - полимер - металл», обладающие пьезосвойствами, на основе этого же композита получен материал с управляемой относительной диэлектрической проницаемостью.

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 анизотропии пьезоэффекта сегнетопьезокерамик, пористой керамики, аддитивным технологиям, в том числе и технологиям трехмерной печати пьезоэлементов.

Во **втором разделе** диссертации приведены объекты и методы исследования. Описаны материалы ПКР-1, ПКР-7М, ПКР-8, ПКР-13, ПКР-70, ЦТС-19 и композиты системы «пористая пьезокерамика - полимер», приведены технологии их получения и методики исследования электромеханических свойств.

В третьем разделе приведены результаты влияния различных электрических воздействий на анизотропию пьезоэффекта стандартных материалов ПКР-70, ПКР- 1, ПКР-7М и ЦТС -19. Показано, что гигантская анизотропия пьезоэффекта материала ПКР-70, созданного на основе титаната свинца, возникающая в результате воздействия сильным постоянным электрическим полем, превышающим 6кВ/мм, обусловлена формированием в результате данного воздействия анизотропной дефектной структуры микротрещин, ориентированных вдоль поляризующего поля. Установлено также, что воздействие многократной циклической переполаризацией позволяет увеличивать анизотропию пьезоэффекта сегнетомягких материалов.

В четвертом разделе представлены технологии создания и результаты исследования электрических и электромеханических свойств однослойных композитов системы «пористая пьезокерамика-полимер». В разделе также изучено поведение диэлектрической проницаемости композитов системы «пористая пьезокерамика - полимер». Указаны основные преимущества применения пористой пьезокерамики вместо плотной в качестве пьезоактивной компоненты композита. Показана принципиальная возможность трехмерной печати пьезоэлементов из данного композита по одной из аддитивных технологий.

В пятом разделе описаны многослойные композиты системы «пористая пьезокерамика - полимер» и «пористая пьезокерамика - полимер-металл» показано, что внесение проводящей фракции в полимерную матрицу композита способствует у него появлению пьезосвойств.

В **Заключении** 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. В разделах 4 и 5 указана пористость применяемых пьезоматериалов, но не указан средний размер пор. Между тем материалы с одинаковой пористостью, но разной величиной пор могут обладать различными характеристиками.

2. В третьем разделе термины «многократное переключение поляризации», «многократное циклическое переключение поляризации», «многократная переполаризация» и «циклическая переполаризация» используются как синонимы, что затрудняет понимание текста.

3. Частично это же относится к терминам 90-градусные и нестовосьмидесятиградусные домены.

4. На рис. 3.24 (стр. 140), рис. 3.27 (стр. 144) и рис. 3.29 (стр. 148) вместо масштабирующей линейки указана только кратность увеличения. Это не дает возможности точно определить размеры зерен.

5. Описание технологии послойного склеивания порошков, приведенное в разделе 1 во многом повторяется в разделе 4.

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 присуждения ученых степеней в ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», утвержденного Приказом N°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:

 Буш Александр Андреевич,
доктор технических наук (специальность 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники), профессор,
«МИРЭА — Российский технологический университет»

Адрес места работы: 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78,

E-mail: aabush@yandex.ru

Телефон:

