

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Амирова Абдулкарима Абдулнатиповича
«Калорические эффекты в мультиферроиках»

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности

1.3.12. Физика магнитных явлений

Диссертационная работа посвящена исследованию калорических и мультикалорических эффектов в различных мультиферроидных материалах, с сосуществованием различного типа ферроупорядочения. В то время, как одиночные калорические эффекты, к которым относятся, например, магнитокалорический и электрокалорический, являются уже достаточно разработанными направлениями исследований. Мультикалорические эффекты, которые наблюдаются в мультиферроиках, напротив, остаются слабо изученными и представляют большой интерес. Как с точки зрения физики магнитных явлений и физики фазовых переходов в материалах с фазовыми переходами I рода для их изучения под воздействием нескольких внешних полей. Так и с точки зрения перспектив использования этих эффектов для улучшения эффективности твердотельных систем охлаждения и других направлениях электроники. Отдельно стоит выделить вопрос разработки технологий изготовления таких материалов, которому уделяется немало внимание в работе. Все это делает данную диссертационную работу *актуальной*.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка авторских публикаций по теме диссертации из 49 наименований. Число страниц в диссертационной работе составляет 300, 144 рисунка, 14 таблиц, ссылок в списке литературы 396.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов, кратко изложено содержание диссертации по главам.

Первая глава содержит обширный обзор литературы по мультикалорическим материалам и эффектам. Автором отдельным параграфом выделены прикладные аспекты мультикалорических материалов и приведены наиболее интересные примеры практических приложений на их основе.

Во **второй** главе автором представлены основные экспериментальные методы, использованные для изучения калорических и мультикалорических эффектов, с подробным описанием модернизированных измерительных установок и вставок для изучения мультикалорических эффектов. Описаны также основные методы получения однофазных и композитных мультикалорических материалов.

В **третьей** главе автором выполнены расчетные оценки величин калорических эффектов в «природных» мультикалорических материалах с магнитоэлектрической природой взаимодействия на примере известного соединения - феррита висмута с различным типом замещения иона железа.

В **четвертой** главе на примере «природного» мультикалорика - сплава *FeRh* исследованы одиночные калорические и мультикалорические эффекты под одиночным и комбинированным воздействием внешних полей различной природы, а именно: а) магнитное поле и изотропное сжатие; б) магнитное поле и одноосное растяжение

В **пятой** главе представлены результаты экспериментального изучения объёмных композитных мультикалориков с двумя типами матриц: керамической, на основе модифицированного твердого раствора PMN-PT и полимерной, на основе пьезополимера поливинилденфторида PVDF.

В **шестой** главе исследовано управление электрическим полем магнитными и магнитокалорическими свойствами в двух и трехслойных магнитоэлектрических композитах с типом связности 2-2, состоящих из склеенных магнитных (*FeRh*) и пьезоэлектрических (*PZT*) компонент. Проведенные эксперименты сопровождаются расчетами на основе метода конечных элементов

В **седьмой** главе представлены результаты расчетов и экспериментов по управлению магнитокалорическим эффектом через электрическое поле в образце композита MnAs/PZT цилиндрического типа. Кроме того, автором исследованы магнитоэлектрический и магнитокалорический эффекты в полимерном композите, состоящем из микропроводов на основе сплава Гейслера, встроенных в пьезополимерную матрицу *PVDF*.

В **восьмой** главе автором представлен ряд интересных результатов, демонстрирующих прикладной потенциал мультикалорических материалов. В частности, разработан и представлен лабораторный прототип для демонстрации мультикалорического эффекта под комбинированным воздействием одноосного сжатия и магнитного поля. Далее, с помощью специально разработанной экспериментальной вставки продемонстрирована возможность магнитоуправляемого сброса лекарства-доксорубицин в результате магнитокалорического эффекта. И, наконец, продемонстрирована возможность использования магнитных свойств сплава FeRh в области температуры фазового перехода I рода для управления спин-волновым транспортом в микроволноводных магнитных структурах с различной геометрией.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертации.

Полученные результаты имеют *важное практическое значение* и являются *актуальными*.

Наиболее *важные новые научные результаты* работы, следующие:

1. Усовершенствована расчетная модель для оценки магнитокалорических параметров в области температур магнитных фазовых переходов типа «антиферромагнетик-парамагнетик» и «слабый ферромагнетик-антиферромагнетик» в оксидных мультиферроиках на основе феррита висмута BiFeO_3 .

2. Продемонстрированы возможности взаимного управления калорическими эффектами и наблюдения синергетического эффекта в

объемных композитах при соответствующем выборе протокола приложения магнитного и электрического полей.

3. Впервые экспериментально в режиме *in situ* продемонстрирована возможность управления состоянием термочувствительного полимера через магнитокалорический эффект для контролируемого сброса лекарственного средства.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в возможности использования результатов данной работы для развития работ по созданию более эффективной мультикалорической системы охлаждения, призванной решить имеющиеся проблемы в повышении эффективности более известного магнитокалорического холодильника, такие как дороговизна постоянных магнитов, гистерезисные эффекты и др. Также большим достижением являются разработанные методы изготовления и исследования мультикалорических материалов.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений работы следует из использования автором известных и хорошо себя зарекомендовавших математических методов и подходов. Полученные результаты находятся в согласии с уже имеющимися результатами, независимо полученными другими авторами.

Научную новизну диссертационной работы определяют:

1. Модифицированная расчетная модель для оценки магнитокалорических параметров в области температур магнитных фазовых переходов в «природных» мультиферроиках с магнитоэлектрической природой взаимодействия.
2. Результаты исследований смесевых керамических мультикалорических композитов из магнитных и сегнетоэлектрических частиц с высокими значениями калорических эффектов в области комнатной температуры и способы управления калорическими эффектами.

3. Экспериментальные результаты по исследованию мультикалорических эффектов в сплавах $FeRh$ под комбинированным воздействием: 1) изотропного сжатия и магнитного поля и 2) одноосного растяжения и магнитного поля.
4. Технологические основы получения мультикалорических композитов цилиндрического и смесового типов с магнитоэлектрической природой взаимодействия, а также перекрестные эффекты в них.
5. Эксперименты по демонстрации возможностей управления за счет магнитокалорического эффекта свойствами термочувствительного полимера для биомедицинских приложений.

В то же время, диссертация Амирова А.А. не лишена недостатков. по которой имеются **замечания**, которые можно разделить на две группы.

Замечания по структуре и оформлению диссертации.

1. Из литературного обзора не совсем понятна постановка цели и задач и выбор исследованных материалов. Например, не приведено обоснование исследования $FeRh$, которому посвящено несколько глав диссертации.
2. Было бы желательно в тексте диссертации четко разделить результаты, полученные автором и другими исследователями. Это облегчило бы оценку вклада автора в исследование мультикалорических материалов. В нынешнем виде наблюдается некоторая путаница в данном вопросе.
3. Большое расстояние между рисунками и описанием к ним, что затрудняет чтение текста.
4. В тексте присутствует достаточно большое количество грамматических и стилистических ошибок.

Замечания по работе.

1. В тексте диссертации в некоторых главах отсутствует подробное описание исследованных образцов. В частности, не указываются информация о наличии серий образцов, их размеров, способов крепления и т.д. Считаю, что фотографии образцов непосредственно в установках улучшили бы впечатление о работе.

2. Из текста диссертации не вполне понятны детали модификаций, которые автор произвел для улучшения установки. Более четкое и подробное описание этих улучшений необходимо. Также следует более подробно и ясно сформулировать метод расчета. Например, уточнить границы его применимости.
3. В диссертации не затрагиваются обратные эффекты, которые, очевидно, представляют интерес для исследований мультикалорических эффектов.
4. В главе, посвященной исследованию полимерных композитов, автор рассматривает лишь магнитострикцию частиц и их деформацию или вращение. В тоже время не учитывается вклад механизма смещения частиц в полимерной матрице под действием магнитного поля.
5. Известно, что свойства полимерных композитов критически зависят от концентрации частиц наполнителя, их формы и размеров. В тоже время в работе при исследовании мультикалорических эффектов вопрос влияния этих параметров не учитывается, что, по моему мнению, делает проведенные исследования и сделанные выводы неполными.
6. Из текста диссертации не совсем ясно, какова связь между магнитоэлектрическими и калорическими эффектами. В тексте отдельно приводятся результаты исследований этих эффектов, но дальнейшего обсуждения их связи не приводится.
7. На рисунке 7.3. наблюдается минимум, который в тексте никак не объясняется.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Основные результаты работы полностью опубликованы в ведущих научно-технических журналах (48 статей), прошли апробацию на научно-технических конференциях в России и за рубежом. Автореферат достаточно подробно отражает, научную новизну, содержание и основные результаты диссертации.

Заключение

Учитывая изложенное, считаю, что диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Амиров Абдулкарим Абдулнатилович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры нанoeлектроники
института перспективных технологий и
индустриального программирования
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Фетисов Леонид Юрьевич
8.09.2025

Контактные данные:

Тел.: +7 916 128-73-83

E-mail: fetisovl@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация: 05.27.01. Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес места р:
119454, г. Мос
Тел.: +7 916 12
e-mail: fetisovl@yandex.ru