

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор РТУ МИРЭА

Н.И. Прокопов

«20» ноября 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

на диссертацию Родионова Владимира Владимировича «Магнитокалорический эффект магнитоэлектрических композитов на основе сплавов Fe-Rh», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - Физика магнитных явлений.

Сплавы на основе Fe-Rh относятся к семейству магнитных сплавов с магнитоструктурным фазовым переходом первого рода с гигантским магнитокалорическим эффектом (МКЭ) и рассматриваются в качестве перспективных материалов для применения в технологиях магнитной записи, системах магнитного охлаждения и биомедицине.

Диссертационная работа Родионова Владимира Владимировича «Магнитокалорический эффект магнитоэлектрических композитов на основе сплавов Fe-Rh» посвящена экспериментальному исследованию магнитокалорического эффекта в сплавах Fe-Rh и магнитоэлектрических композитах на их основе. В работе исследовались как объёмные образцы сплавов Fe-Rh, так и плёночные композитные структуры на их основе. Подход, основанный на изготовлении магнитоэлектрических композитов на основе Fe-Rh и предложенный в настоящей работе для управления магнитокалорическими и магнитными параметрами через пьезоэлектрическую подложку путем включения напряжения является интересным и перспективным.

С учетом перспективности выбранных для исследования материалов, полученных новых результатов по исследованию магнитных, магнитокалорических, магнитоэлектрических свойств сплавов Fe-Rh и магнитоэлектрических композитов на их основе, а также важности полученных результатов и сделанных выводов – работа является **актуальной** и своевременной.

Диссертационная работа Родионова В.В. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 113 страниц основного текста, 52 рисунка, 1 таблицу и списка литературы из 126 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой** главе описывается актуальная ситуация с исследованиями свойств материалов с фазовым переходом первого рода, в частности в сплавах на основе Fe-Rh. Рассмотрена природа и виды калорического эффекта, приведено общее понятие магнитоэлектрических композитов, а также рассмотрены различные варианты их изготовления. Приведена подборка наиболее близких к тематике диссертационной работы публикаций, обозначена основная проблематика темы, проанализированы достижения в области синтеза образцов сплавов Fe-Rh и композитов на их основе, поисков методов их изготовления для получения материалов с заданными свойствами.

Во **второй** главе описаны методики изготовления образцов объемных образцов сплавов Fe-Rh и композитов на его основе. Описана технология изготовления «толстых» магнитоэлектрических композитов различной конфигурации, а также получение пленочных магнитоэлектрических композитов с различными толщинами магнитного слоя $\text{Fe}_{48}\text{Rh}_{52}$ на пьезоэлектрической подложке цирконата титаната свинца ($\text{PbZr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3$). Описаны методики измерения и приведены описания экспериментальных установок для исследования магнитных, магнитокалорических и магнитоэлектрических свойств исследуемых образцов.

В **третьей** главе приведены результаты исследования магнитных свойств и магнитокалорического эффекта в объемных образцах сплавов $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ в зависимости от условий их термообработки.

В **четвертой** главе приведены результаты исследования магнитных свойств, магнитоэлектрического и магнитокалорического эффектов в «толстых» композитах на основе Fe-Rh, изготовленных путем склеивания в различных конфигурациях, соотношениях толщин и соотношений количества магнитных и пьезоэлектрических слоёв. Проведены расчеты термодинамической эффективности системы слоистых магнитоэлектрических композитов.

В **пятой** главе приведены результаты исследований структуры, а также результаты исследования магнитных свойств и магнитоэлектрического эффекта в плёночных композитах $\text{Fe}_{48}\text{Rh}_{52}/\text{PZT}$.

В **заключительной части** диссертации сформулированы основные результаты и выводы работы.

Научная новизна и значительность результатов работы

В диссертационной работе получен ряд новых важных научных результатов, к которым следует отнести:

1. Установлено, что для двухслойного композита FeRh/PZT приложение электрического напряжения величиной 25 В приводит к смещению температуры максимума адиабатического изменения температуры ΔT_{AD} на 4 К в режиме охлаждения и на 3 К при нагреве, что связано с механическим воздействием, индуцированным пьезоэлектрическим слоем при приложении электрического напряжения.
2. На примере двухслойного композита FeRh/PZT, изготовленного из пластины $\text{Fe}_{48}\text{Rh}_{52}$ доказано, что термодинамическая эффективность системы с мультикалорическим эффектом зависит от свойств слоёв. В результате проведённых расчётов по выведенным в работе формулам установлено, что эффективность мультикалорического эффекта в структуре со слоем PZT увеличивается на 30% по сравнению с

электрокалорическим эффектом, что подтверждает повышенную эффективность твердотельных охладителей с использованием нескольких калорических эффектов.

3. Экспериментально показано, что электрическое поле, приложенное к структуре, оказывает существенное влияние на температуру магнитного фазового перехода и магнитные свойства трехслойного МЭ композита PZT/FeRh/PZT, изготовленного из пластины Fe₄₉Rh₅₁. В отсутствие приложенного электрического поля температура магнитоструктурного перехода композита соответствует температурам 324 К в режиме нагрева и 315 К в режиме охлаждения. Приложение напряжения к пьезоэлектрическому слою приводит к смещению температуры перехода до 320 К в режиме нагрева и до 316 К в режиме охлаждения. Наблюдается изменение формы и площади термомагнитного гистерезиса, а также уменьшается величина магнитной восприимчивости
4. Установлено, что в пленочном композите PZT/FeRh с толщиной магнитного слоя 50 нм прямой и обратный МЭ коэффициенты демонстрируют максимумы в области температуры магнитного перехода. Полученные результаты подтверждают взаимосвязь магнитных и магнитоэлектрических свойств в области температуры фазовых переходов, характерных для слоистых мультиферроиков-композитов и может быть использовано для широкого спектра практических приложений.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность выводов и результатов диссертации не вызывает сомнений. Точность постановки и проведения эксперимента, глубокий и всесторонний анализ полученных результатов с позиций современных теоретических представлений обеспечивают достоверность полученных экспериментальных данных. Достоверность достигается использованием апробированных методик измерений со статистической обработкой, подтверждается воспроизводимостью значений полученных параметров от образца к образцу и непротиворечивостью литературным данным в тех случаях, когда их сравнение

обосновано. Соответствие состава исследуемых образцов заданной химической формуле подтверждалось результатами рентгеноструктурного анализа и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Материал диссертации изложен чётко а работа хорошо структурирована.

Результаты работы диссертации докладывались на международных и всероссийских научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 6 статей в российских и зарубежных реферируемых печатных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертации.

Содержание автореферата полностью соответствует диссертационной работе Родионова Владимира Владимировича.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы состоит в следующем:

Полученные данные по исследованию магнитных свойств композитных структур на основе сплавов Fe-Rh помогут в изучении проблем, связанных с управлением магнитным и температурным гистерезисами, деградацией МКЭ посредством различных немагнитных воздействий на материалы с магнитным фазовым переходом первого рода.

Использованные в диссертационной работе подходы по использованию композитных структур могут быть использованы в поиске и исследованиях новых материалов и методик для увеличения термодинамической эффективности калорических эффектов.

Полученные результаты будут интересны для более глубоких исследований в области мультикалорического эффекта, а также полезны для исследователей, занимающихся решением прикладных задач в области технологий “умных” материалов, медицины и т.д.

К замечаниям по работе стоит отнести:

По диссертации можно сделать следующие замечания.

1. Не совсем понятно, чем обусловлен выбор режима отжига (1000 °С в течение 72 часов) для обеспечения минимального температурного гистерезиса в положении 1.

2. В диссертационной работе автор не указывает можно ли использовать предложенные методики и результаты для проведения аналогичных исследований в композитных структурах на основе других материалов с аналогичным МКЭ эффектом.
3. Автором диссертационной работы недостаточно чётко обоснован выбор величин постоянных магнитных полей, при которых измеряли температурные зависимости намагниченности и калорических эффектов.
4. В работе встречается большое количество грамматических и стилистических ошибок. Некоторые рисунки требуют переделки для лучшего качества (рис. 1.10 на стр. 30), либо для большей информативности (рис. 1.14 на стр. 35).

Заключение о работе

Однако, сделанные замечания не снижают ценности проделанной автором работы. В целом диссертация Родионова В.В, выполнена на хорошем научном уровне и представляет собой законченное научное исследование в области физики магнитных явлений, в ходе которого получены новые и оригинальные экспериментальные данные о структурных, магнитных, магнитокалорических и магнитоэлектрических свойствах композитов на основе сплавов Fe-Rh.

Диссертация Родионова Владимира Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научные результаты, имеющие важное значение для изучения природы магнитоэлектрического и мультикалорического эффектов в мультиферроиках. Её тематика, содержание и результаты отвечают формуле специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений

Диссертация Родионова Владимира Владимировича «Магнитокалорический эффект магнитоэлектрических композитов на основе сплавов Fe-Rh», полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в п. 9 Положения ВАК РФ «О присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским

диссертациям, а её автор – Родионов Владимир Владимирович заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Диссертация обсуждалась на научном семинаре ФКС № 142 под руководством А.С. Сигова на кафедре наноэлектроники физико-технологического института «МИРЭА – Российский технологический университет» 13 ноября 2018 года.

Доктор физико- математических наук, профессор кафедры наноэлектроники Физико-технологического института «МИРЭА-Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА)

Юрасов Алексей Николаевич

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры наноэлектроники Физико-технологического института «МИРЭА-Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА)

Фетисов Леонид Юрьевич

19.11.2018

119454, г. Москва, проспект Вернадского, 78,
МИРЭА-Российский технологический университет
(РТУ МИРЭА)

E-mail: yurasov@mirea.ru

Телефон: +7 499 215-65-65

Мы согласны на обработку наших персональных данных: