

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Соколовского Владимира Владимировича на диссертационную работу Родионова Владимира Владимировича «Магнитокалорический эффект магнитоэлектрических композитов на основе сплавов Fe-Rh», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

На сегодняшний день, во многих ведущих лабораториях ведутся интенсивные экспериментальные и фундаментальные исследования функциональных материалов, обладающих ярко выраженными магнитными, электрическими и теплофизическими свойствами, с целью последующего их практического применения в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделяется поиску интерметаллических сплавов, обладающих высокими магнитокалорическими свойствами, для создания твердотельных холодильных установок, работающих на принципе магнитного охлаждения при комнатной и более низких температурах. Переход от технологии сжатия газа к технологии твердотельного магнитного охлаждения позволит добиться как существенного снижения энергетических затрат холодильных устройств, так и увеличения КПД. Для увеличения термодинамической эффективности систем, основанных на принципах магнитного охлаждения, необходимо разработать рабочее тело, обладающее большим магнитокалорическим эффектом, узким температурным гистерезисом, большой намагниченностью и значительной хладоемкостью. Кроме того, магнитные материалы могут одновременно демонстрировать два и более калорических эффектов (магнито-, эласто-, баро-, электро-), индуцируемых изменением соответствующих внешних воздействий. Такое разнообразие калорических эффектов способствует интенсивному изучению кристаллической структуры и физических свойств интерметаллических соединений. Диссертационная работа Родионова В.В. посвящена проблеме, направленной на разработку и исследование новых функциональных магнитоэлектрических материалов с управляемым магнитокалорическим эффектом. На сегодняшний день, управление магнитокалорическим эффектом в материалах с магнитоструктурным фазовым переходом первого рода является одной из актуальных и востребованных задач физики магнитных явлений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении отмечена актуальность исследований, сформулирована цель, задачи исследований, научная новизна и практическая значимость. Первая глава посвящена литературному обзору касающейся

тематики. Во второй главе отражены методики приготовления и исследования образцов, описание экспериментальных установок. Третья глава содержит результаты измерений магнитных и магнитокалорических свойств массивных сплавов Fe-Rh. В четвертой главе представлено обсуждение измерений магнитоэлектрических и магнитокалорических эффектов, а также оценка их термодинамической эффективности в толстопленочных композитах на основе сплавов Fe-Rh. Пятая глава посвящена описанию структурных и магнитных свойств пленочных композитов на основе сплава Fe-Rh и пьезоактивной керамики (ЦТС).

В ходе выполнения работы автором решен ряд задач, а полученные результаты, качественно систематизированы, проанализированы и объяснены. Среди наиболее значимых интересных с точки зрения оппонента можно выделить следующие:

1. Показано, что для двухслойного композита FeRh/ЦТС приложение электрического напряжения величиной 25 В приводит к смещению температуры максимума адиабатического изменения температуры ΔT на 4 К в режиме охлаждения и 3 К при нагреве, которое является результатом магнитоэлектрического взаимодействия между магнитной и пьезоэлектрической компонентой композита.
2. Рассчитана эффективность термодинамической системы, работающей на мультикалорическом эффекте на примере двухслойного композита FeRh/ЦТС.
3. Экспериментально продемонстрировано влияние электрического поля на температуру магнитного фазового перехода и магнитные свойства трехслойного МЭ композита ЦТС/FeRh/ЦТС, изготовленного из пластины Fe₄₉Rh₅₁. В отсутствие приложенного электрического поля температура магнитоэлектрического перехода композита соответствует температурам 324 К в режиме нагрева и 315 К в режиме охлаждения. Показано, что приложение напряжения величиной 50 В на пьезоэлектрический слой приводит к смещению температуры перехода, изменению формы и площади термомагнитного гистерезиса, а также уменьшению величины магнитной восприимчивости. Особенности поведения магнитных свойств при включенном электрическом поле теоретически рассмотрено на основе уравнения Ландау-Халатникова.
4. Исследованы магнитный и магнитоэлектрические свойства пленочных композитов PZT/FeRh с толщиной магнитного слоя 50, 100 и 150 нм. Прямой и обратный магнитоэлектрические коэффициенты демонстрируют максимумы в области температуры магнитного перехода, что подтверждает взаимосвязь магнитных и магнитоэлектрических свойств в области температуры фазовых переходов, характерных для слоистых мультиферроидальных композитов.

Результаты экспериментальных исследований и выводы, представленные в работе, являются новыми. Они могут быть использованы при разработке новых функциональных магнитоэлектрических и магнитокалорических материалов.

Достоверность результатов, приведенных в диссертации Родионова В.В. основана на том, что все приведенные данные получены с использованием современных экспериментальных методик, технологического и измерительного оборудования, на образцах, полученных в одних и тех же технологических условиях. Расчеты выполнены с использованием математических пакетов прикладных программ. Приведенные в работе утверждения находятся в рамках признанных положений и теории рассматриваемых вопросов.

Материалы публикаций и автореферат полностью передают содержание диссертации. Диссертация и автореферат отвечают требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней.

К диссертации имеются следующие замечания:

1. Не приведено подробное описание условий применимости модели эффективного слоя для объемного композита ЦТС/FeRh/ЦТС. В рамках этого рассмотрения свободная энергия F описана соотношением (4.2). Однако автор не останавливается на подробном описании магнитоэлектрических коэффициентов первого и второго рода α и β , а также коэффициентов Гинзбурга-Ландау α_1 , α_2 и α_3 , с учетом того, что нами рассматривается роль магнитоэлектрического взаимодействия в композите PZT/FeRh/ЦТС, его влияние на температуру магнитного фазового перехода и гистерезис.

2. В § 4.3. приведено рассмотрение термодинамической эффективности калорических эффектов на примере двухслойного композита FeRh/ЦТС. Расчеты термодинамической эффективности выполнены на основе теории Ландау, рассматривая исследуемый образец линейным сегнетомагнетиком. С другой стороны, образец является слоистым мультиферроиком-композитом, который имеет абсолютно другой механизм магнитоэлектрического взаимодействия и представляет собой продукт взаимодействия между слоями композита, а магнитоэлектрический эффект отсутствует в отдельно взятой компонентой. Автор не останавливается подробно на описание применимости такого подхода для композитных систем.

3. В Главе 2 подробно описана методика измерения прямого магнитоэлектрического эффекта. Однако автор не приводит погрешности измерений и описание того, как был измерен обратный магнитоэлектрический эффект, использованный для магнитоэлектрических измерений в Главе 5. Хотелось бы также, чтобы автор указал мотивацию использования измерений обратного магнитоэлектрического эффекта.

4. В тексте имеется ряд незначительных стилистических ошибок и опечаток, несколько картинок в обзоре (Глава I) приведены в плохом качестве (например, рис. 1.10), часть подписей на рисунках и единицы измерений представлены на английском языке (например, Т вместо Тл).

Приведенные замечания, которые в большей степени носят рекомендательный характер, не снижают общей научной и прикладной ценности диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа Родионова В.В. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи в рамках проблемы по разработке новых функциональных материалов для компонентов электронной техники с определенными свойствами. Выполненные исследования стимулируют так же необходимость формирования новых знаний в области физики магнитных явлений. Результаты исследований представлены в 6 статьях в рецензированных научных изданиях, рекомендованных ВАК.

По своему объему и значимости, полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения (Постановление № 842 от 24.09.2013), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент,

Соколовский Владимир Владимирович,

доцент кафедры физики конденсированного

состояния, ФГБОУ ВО «ЧелГУ»,

доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния),

454001, г. Челябинск, ул. Бр. Кашириных 129,

тел.: (351) 799-71-17,

e-mail: vsokolovsky84@mail.ru

22 ноября 2018 г.