

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Гречишкина Ростислава Михайловича «Доменная структура ферромагнитных сплавов Гейслера и редкоземельных интерметаллических соединений в области магнитных фазовых переходов», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений

Представленная диссертационная работа относится к числу тех немногих исследований, в которых воспроизведены все фазы экспериментального цикла, включающего скрупулёзную и в большей части эвристическую проработку методик и техники эксперимента, продуманный подбор объектов исследования, виртуозное осуществление измерительных процедур, профессиональный анализ полученных результатов и корректное использование их для построения физических моделей и прототипов функциональных устройств. Важно подчеркнуть, что каждая из этих составляющих, как и работа в целом, в **полной мере отвечают требованиям актуальности**.

Так, определяющим метрологическим началом в работе выбрано взаимодействие поляризованного светового излучения с веществом. На сегодняшний день это наиболее эффективный способ получения достоверной информации о структуре магнитных доменов, а с её знанием и о тонких нюансах магнитной анизотропии и магнитного гистерезиса. Современная элементная база создаёт великолепные предпосылки для регистрации оптических изображений, формируемых посредством эффектов Керра и Фарадея, но их ещё нужно реализовать, что с успехом было сделано при выполнении диссертации.

Объектами исследования в работе являются магнитоупорядоченные вещества, обладающие значительным потенциалом функционализации фундаментальных свойств, что составляет определяющий тренд современных научных исследований. Во-первых, это семейство тройных сплавов Ni-Mn-Ga, называемых сплавами Гейслера, которые проявляют уникальное свойство пластиически деформироваться и восстанавливать исходное состояние под действием магнитных и тепловых полей. Во-вторых, ряд интерметаллических соединений редкоземельных элементов с переходными металлами, характеризующихся вариативным магнитным гистерезисом. Общей чертой этих веществ является наличие структурных и магнитных фазовых переходов, которые сопровождаются аномалиями физических свойств (гигантское электросопротивление, магнитокалорический эффект, гигантская деформация, сверхпластичность др.), вызывающими непреходящий научно-технический на протяжении нескольких последних десятилетий. Однако, несмотря на активную исследовательскую деятельность в отношении указанных магнетиков и огромное число соответствующих публикаций, автор диссертации нашёл своё уникальное место в этой довольно конкурентной научной среде и внёс существенный вклад в

решение таких вопросов как получение новых и, главное, достоверных фактов о доменной структуре рассматриваемых соединений; установление и детализация её связи с макроскопическими и в первую очередь магнитными свойствами; функционализация аномалий физических свойств веществ в области фазовых переходов.

В обоснование вышеуказанного вывода приведём краткий анализ содержания диссертационной работы. Диссертация разделена на пять глав и включает введение, заключение, а также список цитируемой литературы из 169 наименований.

Введение содержит необходимые сведения о характере исследования, его резюмирующих результатах, аprobации и других обязательных элементах диссертационной работы.

Первая глава представляет собой обзор результатов научных исследований по теме диссертации. Он показывает, что ежегодное число публикаций, особенно в части магнетиков с памятью формы возрастает по экспоненциальной кривой, начиная с 1970– 1980 гг. и кончая текущим годом. Общее число работ по тематике переваливает за несколько тысяч. Все их детально проанализировать невозможно, но автор сделал некий разумный срез наиболее концептуальных исследований, который в достаточной мере отражает основные научные идеи и исследовательские тенденции, имеющие непосредственное отношение к работе.

Во второй главе диссертации ключевое внимание уделяется описанию результатов деятельности автора по разработке новых и усовершенствованию известных методов и подходов к изучению доменной структуры. Следует отметить, что, несмотря на существование многочисленных классических и современных методик выявления доменной структуры её экспериментальное исследование далеко не столь просто, как это может представляться на первый взгляд. К числу нетривиальных артифактов, свойственных именно сплавам Гейслера, можно отнести образование в процессе наблюдений глубокого (10...100 мкм) и обратимого при структурных переходах рельефа, маскирующего доменную структуру на исходно плоскополированной поверхности образцов. Автор успешно развил комплексную методологию выявления сложных доменных структур, подбирая такие сочетания селективных методик, которые в совокупности обеспечивают получение информации, недоступной или трудно достижимой для методик, взятых по отдельности. Таковы, например, комбинации метода порошковых осадков, чувствительных к градиентам поля, с методом полярного эффекта Керра, пропорционального нормальной компоненте поля рассеяния на поверхности, или совокупного наблюдения инверсии спонтанной намагниченности двухподрешёточного нескомпенсированного антиферромагнетика GdCo₃Cu₂ методами эффекта Керра и магнитооптических индикаторных плёнок (МОИП) (рис. 5.3, с. 183), а также обнаружение и расшифровка собственных доменных

структур планарных МОИП (рис. 2.31, с.104) и др. Совместное использование взаимодополняющих методик позволило получить новые интересные результаты, дающие существенный вклад в понимание физических процессов эволюции мартенситной и магнитной доменных структур при температурных воздействиях, а также особенности спонтанных спин-ориентационных фазовых переходов в интерметаллических соединениях с анизотропией типа «легкая плоскость».

Тщательная методическая проработка позволила автору получить большой объём нового научного материала, отличающегося высокой степенью достоверности. Детальный его анализ дан в *третьей и четвёртой главах* диссертации, а наиболее значимые результаты состоят в следующем.

1. Впервые выполнено экспериментальное исследование доменной структуры и магнитных свойств интерметаллических соединений $DyCo_{5,2}$, $TbCo_{5,1}$ и Sm_2Fe_{17} при спонтанных спин-ориентационных переходах. Показано, что для соединений $DyCo_{5,2}$ и $TbCo_{5,1}$ такой переход является обратимым и осуществляется по схеме: одноосная фаза – угловая фаза – планарная фаза. Он начинается путём плавного вращения векторов намагниченности в исходных 180-градусных доменах и их деформации за счёт появления элементов гексагональной симметрии $L3$ и $L6$ без изменения топологической связности, а заканчивается –посредством фрагментации доменов за счет деформации доменных границ и последующего перехода в состояние «лёгкая плоскость».

2. Определены основные закономерности формирования и взаимодействия взаимосвязанных структур мартенситных и магнитных доменов моно-, поли- и нанокристаллических ферромагнитных сплавов Гейслера. Главные особенности установленной взаимосвязи состоят в следующем: 180-градусные магнитные домены непрерывны в пределах кристаллитов, при этом они пересекают плоские параллельные между собой границы мартенситных доменов; намагниченность магнитных доменов модулирована мартенситными доменами, так как c -оси последних, являющиеся направлениями лёгкого намагничивания, находятся под углом 90° друг по отношению к другу; границы между мартенситными доменами также выполняют роль 90-градусных магнитных доменных стенок, на которых отсутствуют свободные «магнитные заряды».

3. На примере интерметаллических соединений сплавов редкоземельных элементов с 3d-металлами развита концепция формирования термоуправляемых постоянных магнитов, основанная на двухподрешеточной модели ферримагнетиков.

В *пятой главе* диссертации собраны **рекомендации по практическому применению** полученных результатов. Они многообразны, охватывают различные сферы возможного использования методических и материаловедческих наработок и отличаются оригинальностью идей, что подтверждено немалым количеством патентов на изобретение. Наиболее интересными, на взгляд оппонента, являются

предложенный автором, развитый в деталях и прошедший практическую апробацию метод количественной визуализации пространственных микрораспределениях магнитного поля доменных структур и элементов МЭМС, а также стробоскопический метод дефектоскопии, основанный на визуализации магнитных полей вихревых токов.

Диссертационная работа Гречишкина Р.М. не лишена определённых недостатков, основные из которых состоят в следующем.

1. Не приведены сравнительные количественные оценки чувствительности (значения коэффициентов преобразования) феррит-гранатовых одноосных и планарных плёнок. Очень важно было бы сравнить эти значения с таковыми для металлических плёнок, а также для плёнок, используемых другими авторами.

2. Вихревоковые методы неразрушающего контроля токопроводящих металлов и сплавов с помощью индукционных преобразователей достаточно известны и широко применяются на практике. Имеются серийные вихревоковые приборы, выпускаемые как в нашей стране, так и за рубежом. В литературе описано большое количество разработок соответствующих намагничающих устройств. Однако в работе не даётся сравнение эффективности предложенной стробоскопической системы с известными индукционными приборами, не рассмотрены её достоинства и недостатки, не обоснована необходимость разработки ещё одного вихревокового метода в дополнение к уже имеющимся.

3. Рисунки 2.6 (с.62 диссертации) и 4.10 (с.146) дублируют друг друга.

4. В главе 3 в подписях к рис.3.22–3.25 указан режим азотирования, но не указан ни химический состав, ни результаты других анализов. Из-за этого теряется связь с другими данными по этой группе материалов.

5. В главе 2, а также главах 3 и 4 не приведены сведения ни о точности измерений температуры при термомагнитном анализе, ни о точности справочных данных по температурам Кюри изучаемых соединений.

Вышеотмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня представленной диссертационной работы и не влияют на её конечные принципиальные выводы.

Как уже было отмечено выше, достоверность содержания диссертационной работы не вызывает сомнений и среди прочего достигается согласованностью полученных результатов с соответствующими данными других исследователей, имеющимися в литературе, реальным практическим приложением ряда физических выводов диссертации, наличием защищенных под руководством автора 8 кандидатских диссертаций. Следует также отметить хорошую публичную апробацию идеологии и конкретных научных материалов диссертации. Они докладывались более чем на 25 российских и международных конференциях и семинарах различного уровня, опубликованы в 50 работах, цитируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, защищены 6 патентами.

Основные идеи и выводы диссертации полно и всесторонне отражены в автореферате диссертации.

Диссертация Гречишко Р.М. «Доменная структура ферромагнитных сплавов Гейслера и редкоземельных интерметаллических соединений в области магнитных фазовых переходов» является законченной квалификационной работой и по актуальности, достоверности, научной новизне, теоретической и практической значимости отвечает требованиям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых ВАК к работам, представленным на соискание ученой степени доктора наук (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.13 с изменениями от 21.04.2016 г. №335), а ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой магнетизма
и магнитных наноматериалов Института
естественных наук и математики

Владимир Олегович
ВАСЬКОВСКИЙ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
e-mail:vladimir/vaskovskiy@urfu.ru

06.12.2016 г.