

«УТВЕРЖДАЮ»



Врио зам. председателя по науке
ФГБУН Дагестанского федерального
исследовательского центра Российской
академии наук,
кандидат биологических наук

А.Б. Биарсланов

«04» декабря 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН на
диссертационную работу Максutowой Филузы Абдрахимовны на тему
«Магнитоэлектрический эффект в окрестности магнитных неоднородностей
в пленках типа ферритов-гранатов», представленную на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 –
физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Максutowой Ф. А. посвящена изучению
неоднородного магнитоэлектрического эффекта в области магнитных
неоднородностей в пленках типа ферритов – гранатов.

С фундаментальной точки зрения актуальность темы диссертации
обусловлена тем, что природа возникновения магнитоэлектрического
эффекта не до конца изучена, ведутся активные поиски новых
мультиферроидных структур.

Практическая значимость диссертационной работы обусловлена тем,
что на данный момент возможности традиционной микроэлектроники
практически исчерпаны, в то время как требования к устройствам
возрастают. В связи с этим мультиферроики и магнитоэлектрические
материалы, в которых магнитоэлектрические эффекты могут быть

реализованы при комнатных температурах являются перспективными материалами для разработки устройств спинтроники; создания энергонезависимой памяти, датчиков магнитных полей и управляемых СВЧ устройств.

Диссертационная работа Максutowой Ф.А. содержит 101 страницу и включает в себя введение, пять глав, заключение, список цитируемой литературы, включающий 106 наименований и список публикаций.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, задачи и основные положения, выносимые на защиту, её научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приведены сведения о магнитоэлектрических материалах и мультиферроиках, дана их классификация. Описаны основные механизмы магнитоэлектрических эффектов (МЭЭ). Обосновывается выбор феррит-гранатовых пленок в качестве модельного объекта исследования. Также в данной главе рассмотрены разработанные ранее теоретические модели магнитоэлектрических эффектов в этих материалах, а также результаты экспериментальных исследований. Обзор литературы соответствует современному состоянию науки о мультиферроидных материалах.

Во **второй главе** исследовано возникновение электрической поляризации на магнитной неоднородности в двухслойной обменно-связанной ферромагнитной пленке, слои которой характеризуются различной магнитной анизотропией. Рассмотрено влияние комбинированной магнитной анизотропии, внешнего магнитного поля на поведение электрической поляризации и процессы намагничивания; проведен анализ возникающих магнитных конфигураций. Показано, что при наличии кубической магнитной анизотропии выделяется определенное направление электрической поляризации. Магнитное поле, приложенное вдоль нормали к пленке, приводит к уменьшению величины электрической поляризации, магнитное поле, приложенное вдоль оси «трудного намагничивания» (ОТН), приводит к вращению вектора электрической поляризации. Приведена оценка

критических значений магнитного поля, подавляющего поляризацию.

В третьей главе исследовано влияние межслойного обменного взаимодействия (в случае антиферромагнитного упорядочения спинов в окрестности границы раздела) на магнитоэлектрические свойства ферромагнитных двухслойных пленок. Построены диаграммы полевых зависимостей электрической поляризации P для двух геометрий магнитного поля H (в плоскости и вдоль нормали к поверхности пленки). Установлено, что в магнитном поле, направленном вдоль оси «легкого намагничивания» [011] $P(H)$ зависимости немонотонно убывают. Особенности, возникающие при данных условиях, объясняются процессами намагничивания. Показано, что за счет вклада кубической анизотропии в антиферромагнитной обменно-связанной пленке могут быть реализованы магнитные конфигурации различных типов: блоховские, неелевские и смешанные.

В четвертой главе возникновение магнитоэлектрических эффектов в эпитаксиальных пленках ферритов-гранатов объясняется в рамках концепции полярного механизма, заключающейся в том, что обменное взаимодействие между подсистемами редкоземельных ионов и ионов железа индуцирует электро-дипольные моменты редкоземельных ионов. Нескомпенсированные электродипольные моменты в примитивной ячейке ферритов-гранатов появляются в неоднородном магнитном поле. В работе рассчитана электрическая поляризация, связанная с наличием нескомпенсированных электродипольных моментов в пленках ферритов-гранатов на магнитных неоднородностях, связанных с различием поверхностной и объемной магнитной анизотропии, а также в окрестности 180° доменных границ.

В пятой главе исследованы особенности проявления флексомагнитоэлектрического эффекта в магнитоодноосных пленках при локальном воздействии неоднородного электрического поля на их поверхность. Показано, что при увеличении действия электрического поля происходит поэтапная трансформация структуры 180° доменной границы от блоховской к квазиблоховской, а при некотором значении поля и в неелевскую. Обнаружено, что при более высоких полях возможно

зарождение 0° доменной границы с неблоховской структурой. Определены также вклады парциальных частей неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия в рассматриваемые явления, обусловленных наличием в них $div\mathbf{m}$ и $rot\mathbf{m}$.

В заключение приведены основные результаты и выводы.

Диссертационное исследование, выполненное Максutowой Ф.А., проведено с использованием современных и хорошо апробированных методов исследования. Результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, являются достоверными и обоснованными. Они согласованы с экспериментальными результатами и проведенными ранее численными расчетами.

Наиболее существенные **научные результаты** диссертационной работы Максutowой Ф.А., характеризующие её научную новизну, состоят в следующем:

1) Исследован магнитоэлектрический эффект в двухслойной ферромагнитной пленке при наличии кубической магнитной анизотропии и впервые рассчитана и проанализирована электрическая поляризация в этой структуре.

2) Обнаружено, что действие внешнего магнитного поля приводит к вращению электрической поляризации.

3) Исследованы электрические свойства двухслойных ферромагнитных пленок с различным характером межслойного обменного взаимодействия, показана возможность реализации разнообразных магнитных конфигураций (блоховского, неелевского и смешанного типов) в пленках с антиферромагнитным упорядочением спинов в окрестности границы раздела сред.

4) В рамках концепции полярного механизма магнитоэлектрического эффекта рассчитана электрическая поляризация в окрестности 180° ДГ блоховского типа в пленках редкоземельных ферритов - гранатов.

5) Исследованы электрические свойства возможных магнитных конфигураций при действии неоднородного электрического поля на ферромагнитную одноосную пленку.

6) Рассмотрены вклады частей неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия на электрические свойства микромагнитной структуры. До сих пор предполагалось, что вклад обеих параметров b_1 и b_2 , которые определяют интенсивности соответствующих частей неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия (НМЭВ), одинаков.

7) Выявлены возможности зарождения 0° ДГ, обусловленные флексомагнитоэлектрическим эффектом в однородном и неоднородном поле.

Результаты и выводы диссертационной работы не встречают возражений и являются вполне обоснованными. В целом они согласуются с результатами, полученными другими исследователями в данной области.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИФМ УрО РАН, ИФСО РАН, ИФМ РАН, в учебных курсах вузов (МГУ, МИРЭА, МИЭТ, УрГУ, ЧелГУ, БашГУ, СыктГУ) и других учреждениях и предприятиях, где ведутся исследования свойств магнитных материалов и разработка технических устройств на их основе.

Замечания к диссертационной работе:

1. В главах 2, 3, 5 не приводится оценка величины электрической поляризации и сравнение с известными значениями поляризации типичных мультиферроиков;

2. При описании неоднородных магнитных состояний и сопутствующих магнитоэлектрических эффектов в одноосных пленках ферромагнетика, рассмотренных в главе 5 не учитываются поля размагничивания и связанная с ними магнитостатическая энергия;

3. В диссертации не обсуждаются аспекты практической реализации изменения констант магнитной анизотропии в пленках;

4. В диссертации и автореферате имеются недочеты оформления.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Работа Максумовой Ф.А. выполнена на высоком научном уровне. Как научные положения, выносимые на защиту, так и выводы автора являются достаточно обоснованными. Основные результаты опубликованы в двадцати шести работах, в том числе шести статьях – в реферируемых российских и зарубежных журналах, докладывались на российских и международных научных конференциях. Материал диссертации в полной мере отражен в опубликованных работах, а автореферат соответствует содержанию диссертации. Тематика диссертации соответствует специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

По актуальности поставленных задач, по важности и степени обоснованности научных положений, достоверности и новизне результатов, диссертационная работа Максумовой Филозы Абдрахимовны удовлетворяет всем требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Ф.А. Максумовой обсуждена и одобрена на научном семинаре Института физики им. Х.И.Амирханова – обособленного подразделения ФГБУН Дагестанского федерального исследовательского центра РАН 03 декабря 2019 года.

Врио директора Института физики им. Х.И.Амирханова обособленного подразделения ФГБУН Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, к.ф.-м.н.  К.Ш. Хизриев
Почтовый адрес: 367015, г. Махачкала, ул. Ярагофа, 94
тел. (8722)62-90-70, e-mail: kamal71@mail.ru

Я, Хизриев Камал Шахбанович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Врио ученого секретаря Института физики им. Х.И.Амирханова – обособленного подразделения ФГБУН ДФИЦ РАН  Н.С. Абакарова

