

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Максutowой Филюзы Абдрахимовны «**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.

В последние десятилетия наблюдается активный интерес к изучению свойств мультиферроидных материалов, что связано с широкими возможностями их применения в устройствах магнитной записи и хранения информации, сенсорах и датчиках магнитного поля. Пленки мультиферроиков и магнитоэлектрических материалов могут служить активными элементами в различных устройствах наноэлектроники и спинтроники. Перспективной областью развития наноэлектроники является получение устройств, использующих свойства доменов и доменных границ. Исследования, проделанные за последние годы, показывают, что в мультиферроидных структурах доменные границы (ДГ) приобретают принципиально новые свойства, которые могут быть использованы для работы функциональных наноустройств. Несмотря на то, что в этой области имеется большое количество экспериментальных и теоретических работ, физическая природа и механизмы магнитоэлектрических эффектов изучены недостаточно. Поэтому **актуальной** задачей является изучение физической природы и механизмом, а также возможностей проявления магнитоэлектрического эффекта в пленках ферритов-гранатов, чему посвящена диссертационная работа Максutowой Ф.А.

Диссертационная работа изложена на 101 странице, из которых 80 страниц текста, включая 38 рисунков и 2 таблицы. Используемые в тексте диссертации источники перечислены в библиографическом списке, который включает 106 наименований на 12 страницах. В тексте диссертации

последовательно приводятся введение, в котором кратко обоснована актуальность и разработанность темы исследования, поставлены цели и задачи, представлены новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность полученных результатов работы, основные положения, выносимые на защиту, апробация работы и обозначен личный вклад автора, и пять глав, из которых одна является литературным обзором современного состояния рассматриваемой проблемы, а четыре главы содержат оригинальные результаты исследований.

Первая глава диссертации содержит литературный обзор, посвященный современным аспектам исследований магнитоэлектрических и мультиферроидных материалов. Рассмотрены основные механизмы возникновения магнитоэлектрического эффекта. Описывается кристаллическая, магнитная структура, основные магнитные состояния ферритов-гранатов. Приводится краткий обзор литературы, посвященный теоретическому и экспериментальному исследованию магнитоэлектрического эффекта в данных пленках.

Вторая глава посвящена исследованию процессов намагничивания, описанию поведения электрической поляризации в двухслойной структуре, состоящей из ферромагнитных слоев, помещенной в постоянное магнитное поле H . Обнаружен новый эффект – выход вектора электрической поляризации из плоскости при действии магнитного поля по оси «трудного намагничивания», который проявляется при учете кубической анизотропии пленок. Соответственно, показано, что магнитное поле влияет не только на величину электрической поляризации, но и на её направление.

В третьей главе проведено исследование магнитоэлектрического эффекта в двухслойной пленке с антиферромагнитным межслойным взаимодействием. Обнаружен ряд особенностей электрической поляризации, которые проявляются при различной геометрии магнитного поля. Показано, что в рассматриваемой структуре возможно проявление различных типов

магнитных конфигураций, что приводит к разному поведению электрической поляризации.

В четвёртой главе для объяснения возникновения неоднородных магнитоэлектрических эффектов в пленках ферритов-гранатов использована концепция полярного магнитоэлектрического механизма, полагающая, что обменное взаимодействие между подсистемами редкоземельных ионов и ионов железа приводит к возникновению электродипольных моментов редкоземельных ионов. В основе проведенных исследований лежат квантомеханические расчеты, сделанные ранее, позволяющие рассчитать электрическую поляризацию системы при заданном типе магнитной конфигурации. В данной работе в рамках рассмотренного механизма впервые рассчитаны электрическая поляризация 180° ДГ в пленках ферритов-гранатов; электрическая поляризация ферромагнитной пленки с разной объемной и поверхностной магнитной анизотропией с учетом вклада электродипольных моментов d - и f -ионов.

Пятая глава посвящена исследованию проявлению флексомагнитоэлектрического взаимодействия в ферромагнитной пленке с одноосной анизотропией. Показано, что при действии неоднородного электрического поля на образец происходит изменение магнитной конфигурации 180° ДГ. Найдены решения и теоретически описаны ситуации, соответствующие возникновению 0° ДГ.

В завершении диссертации приводится заключение, библиографический список и список публикаций автора по теме диссертации.

Результаты диссертационной работы имеют **теоретическую и практическую значимость**. Полученные результаты могут быть использованы для разработки энергосберегающих устройств записи и считывания информации на основе новых функциональных материалов. Сочетание нескольких типов упорядочения, перекрестные эффекты делает мультиферроики важнейшими потенциальными материалами для

электроники. Доменные стенки являются активными элементами устройств нанoeлектроники.

Научная новизна работы состоит в получении и анализе новых результатов, касающихся расчета электрической поляризации двухслойной ферромагнитной пленки с учетом кубической анизотропии. Также рассчитаны магнитные конфигурации блоховского, неелевского и смешенного типа. Развита теоретическая модель, показывающая, что электрическая поляризация индуцируется неоднородным магнитным полем в окрестности блоховских ДГ. Впервые теоретически исследованы электрические свойства пленок типа ферритов-гранатов с одноосной анизотропией при локальном воздействии неоднородного электрического поля на определенные участки.

Достоверность полученных результатов подтверждается с использованием апробированных численных методов, согласованностью с общепринятыми представлениями об исследуемых процессах и совпадением с результатами других авторов в предельных случаях.

Результаты работы отражены в 26 публикациях, 6 из которых – статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, также в 20 сборниках тезисов докладов всероссийских и международных конференций.

По диссертации имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. В работе Максutowой Ф.А. используются различные численные методы. На мой взгляд, нужно обосновывать выбор тех или методов и давать более подробное описание.
2. При расчете электрической поляризации в двухслойной магнитной пленке автор пишет о различных геометриях магнитного поля - рассматриваются ситуации $\mathbf{H} \parallel [100]$, $\mathbf{H} \parallel [010]$, однако в тексте диссертации не приводится обоснование выбора направлений магнитного поля.

3. В некоторых параграфах диссертации (например, п. 2.2) не приводится подробный вывод формул, которые были использованы при построении приведенных в диссертации графиков.
4. В пятой главе утверждается, что в одноосных ферромагнитных пленках с флексомагнитоэлектрическим эффектом возможно существование двух типов магнитных неоднородностей: 180° ДГ и 0° ДГ квазиблоховского типа. А могут ли они существовать одновременно при одних и тех же значениях электрических полей?
5. Рисунки в главе 3 работы одновременно содержат обозначения и на русском, и на английском языке: а.и. и Э.

Тем не менее, перечисленные замечания носят уточняющий характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Автореферат диссертации по содержанию полностью соответствует содержанию диссертации. Соответствие содержания диссертации паспорту специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния» также не вызывает сомнений, так как затрагивает свойства конденсированных сред, изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения. (п. 3 и п. 5 паспорта специальности).

Таким образом, диссертационная работа Максutowой Филюзы Абдрахимовны на тему «Магнитоэлектрический эффект в окрестности магнитных неоднородностей в пленках типа ферритов-гранатов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния, что полностью соответствует требованиям ВАК, в том числе критерию раздела II «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Автор диссертации, Максutowа Филюза Абдрахимовна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.07 – физика
конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических
наук, доцент, доцент кафедры
радиофизики и электроники
физического факультета ФГБОУ ВО
«ЧелГУ»

Загребин Михаил Александрович



Специальность

01.04.02 – теоретическая физика

Дата: 04.12.2019

Адрес: 454001, Россия, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Челябинский государственный университет»

Телефон: +7 (351) 799-71-81

Факс: +7 (351) 742-09-25

e-mail: miczag@mail.ru

