

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Романа Валерьевича Петрова «Магнитоэлектрический эффект в магнитострикционно - пьезоэлектрических композитах в широком диапазоне частот», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

К настоящему времени опубликовано большое число работ, посвященных исследованию различных физических явлений в материалах, обладающих упорядоченными как магнитной, так и электрической структурами. Широкие возможности применения таких материалов в технике, обусловленные магнитоэлектрическим (МЭ) эффектом, т.е. взаимосвязью их магнитных и электрических свойств, отмечались в ряде работ. Известными группами МЭ материалов являются однофазные сегнетомагнетики и двух- или многофазные композиционные материалы. Результаты последних исследований показывают, что наиболее перспективными для практических применений являются объемные и многослойные композиционные МЭ материалы.

Диссертационная работа Петрова Р.В. посвящена исследованию МЭ свойств композиционных магнитострикционно - пьезоэлектрических материалов. Актуальность темы определяется тем, что в связи со сложностью анализа эффектов в таких материалах до настоящего времени не удалось получить материалы с величиной МЭ эффекта, достаточной для практического применения. Основное внимание в работе уделено решению важной задачи по поиску и изучению МЭ свойств композиционных материалов с заданной величиной магнитоэлектрического взаимодействия, достаточной для их практического применения. Выводы и рекомендации по этому вопросу являются необходимыми для использования этих материалов в практических целях. При этом в ходе работы ставилась задача теоретического моделирования МЭ взаимодействия в широком диапазоне частот и экспериментального исследования МЭ свойств композиционных материалов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы.

Во введении сформулированы цели и задачи диссертационной работы, обоснована её актуальность, приведены основные результаты и научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе анализируются особенности МЭ взаимодействия в композиционных феррит-пьезоэлектрических материалах, приводится обзор литературы по МЭ эффекту. Автором проведен сравнительный анализ известных достижений и теоретических положений других авторов в области изучения МЭ эффекта. При этом отмечено, что первые практические достижения с использованием МЭ эффекта в композитах состава феррит-пьезоэлектрик в диапазоне СВЧ проведено творческим коллективом при участии автора диссертационной работы Петрова Р.В.

Во второй главе разработана теоретическая модель магнитоэлектрического эффекта в двухслойных структурах магнетик – пьезоэлектрик в области электромеханического резонанса, основанная на точном решении уравнений движения среды и использует материальные параметры исходных компонентов структуры. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными для композитов ряда составов.

Третья глава посвящена моделированию свойств МЭ структур в области магнитного резонанса, одним из компонентов которых является магнитострикционный материал, а вторым компонентом - пьезоэлектрик. Адекватность предложенных моделей показана на примере ряда материалов.

В четвертой главе рассмотрены свойства МЭ структур в диапазоне высоких частот. Проведено моделирование МЭ взаимодействия в магнитострикционно-пьезоэлектрических слоистых структурах в области совпадения частот ЭМР и ФМР. Выведено выражение для МЭ коэффициента по напряжению через физические параметры исходных компонент. Разработанная модель позволяет увидеть, что увеличение МЭ эффекта в области совпадения частот ЭМР и ФМР магнитоэлектрической структуры связано с энергетическим обменом между сдвиговой модой ЭМР и основной модой магнитного резонанса.

В пятой главе предложен ряд технических применений результатов работы. Предложена техническая реализация макетов таких устройств как МЭ СВЧ фазовращатель, МЭ фильтр с управляемой характеристикой, МЭ сенсоры, МЭ датчики тока, система сбора энергии с МЭ преобразователем. Пятая глава посвящена практическому использованию результатов диссертационной работы. Предложены, в частности, ряд устройств, основанных на МЭ эффекте: МЭ СВЧ фазовращатель, МЭ фильтр с управляемой характеристикой, МЭ сенсоры, МЭ датчики тока, система сбора энергии с МЭ преобразователем. Предложено также использовать магнитострикционно - пьезоэлектрические композиционные материалы в multifunctional электронных модулях.

В заключении приведены основные результаты работы и выводы.

Основные научные результаты, полученные автором, следующие:

1) Проведено моделирование слоистого композиционного магнитострикционно-пьезоэлектрического материала, позволяющее определять МЭ параметры материала. Получены выражения для МЭ коэффициента по напряжению в области продольной моды электромеханического резонанса через материальные параметры исходных компонент. Использование предложенной модели позволило адекватно описать МЭ эффект в слоистых композитах составов феррит никеля – ЦТС, пермендюр – ЦТС.

2) Разработана модель МЭ эффекта в слоистом композиционном магнитострикционно-пьезоэлектрическом материале в области изгибной моды электромеханического резонанса. Использование предложенной модели позволило адекватно описать МЭ эффект в слоистых композитах составов феррит никеля – ЦТС, пермендюр – ЦТС в области изгибной моды, предназначенных для разработки МЭ устройств. Для нанопленок состава NFO-PZT на подложке из SrTiO_3 МЭ взаимодействие ослабляется по сравнению со свободной слоистой структурой из-за влияния зажатия со стороны подложки. Показано, что при увеличении толщины подложки слоистой структуры МЭ коэффициент экспоненциально убывает, а частота ЭМР увеличивается. Показано, что изменение МЭ взаимодействия в феррит-пьезоэлектрических слоистых наноструктурах, наблюдаемое при уменьшении толщины пленок, обусловлено изменением физических параметров исходных компонент вследствие несоответствия параметров кристаллических решеток компонент структуры и подложки.

3) Проведено моделирование, описывающее изменение спектра магнитного резонанса феррит-пьезоэлектрического композита во внешнем электрическом поле с учётом влияния подложки, а также изгибных деформаций структуры. Показано, что

сильный МЭ эффект в диапазоне СВЧ наблюдается в композитах на основе магнитной фазы, которая имеет большую магнитострикцию и малую намагниченность насыщения. Для композита состава монокристаллический ИЖГ – монокристаллический PMN-PT обнаружен сдвиг частоты однородной прецессии намагниченности во внешнем постоянном электрическом поле, приблизительно на порядок превышающий ширину линии магнитного резонанса.

4) Разработана модель, позволяющая определить МЭ коэффициент по напряжению композиционных феррит-пьезоэлектрических структур в области магнитоакустического резонанса. Обнаружена резонансная зависимость МЭ коэффициента по напряжению композиционного слоистого феррит-пьезоэлектрического материала в области перекрытия линий механического и магнитного резонансов.

5) Создана модель слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры, позволяющей получить выражение для электрически индуцированной СВЧ-намагниченности. Показано, что прецессия индуцированной намагниченности в подмагничивающем поле обуславливает поглощение энергии переменного электрического поля в области магнитоакустического резонанса (МАР).

Достоверность результатов диссертации обеспечивается тщательностью и обоснованностью формирования моделей, подтверждается совпадением полученных данных с результатами экспериментальных работ, с другими теоретическими работами в условиях их применимости.

Значимость результатов исследований для науки заключается в том, что на основе обобщения теоретических и экспериментальных данных определены пути дальнейшего улучшения МЭ свойств магнитострикционно - пьезоэлектрических композитов. Практическая значимость результатов работы определяется возможностью и целесообразностью использования композиционных магнитострикционно - пьезоэлектрических материалов в качестве гиромантных резонаторов с электрической перестройкой в устройствах СВЧ, а также использования указанных материалов в низкочастотных сенсорных и других устройствах электроники.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в диссертационной работе, считаем целесообразным провести работы по разработке методов создания магнитострикционно - пьезоэлектрических структур, использование которых позволит существенно усилить МЭ эффект в композитах. Необходимо продолжить поиск пьезоэлектрических и магнитострикционных материалов с большими пьезоэлектрическим и магнитострикционным коэффициентами для использования при изготовлении композитов с сильным МЭ эффектом. С точки зрения технического применения композиты предложенных составов представляют интерес для предприятий, специализирующихся в области проектирования и производства приборов функциональной электроники.

Как недостаток отмечаем, что в работе недостаточно проработаны следующие проблемы:

1. В диссертации не исследована температурная зависимость параметров компонентов МЭ структуры и ее влияние на величину МЭ эффекта.
2. Возникает естественный вопрос как будут меняться частотные зависимости МЭ при приближении к точке фазового перехода? К сожалению этот вопрос даже не ставился диссертантом.

3. В процессе МЭ взаимодействия в композитном материале могут возникать большие упругие деформации и напряжения, которые, в свою очередь, могут привести к изменению состава композитного материала, образованию в нем дефектов структуры: дислокаций, трещин. Это вопрос совершенно не затрагивался в диссертации.
4. Из текста диссертации не ясно, каким образом диссертант планирует обеспечить стабильность параметров, разрабатываемых МЭ устройств в случае воздействия на них внешних паразитных температурных и механических колебаний?

Указанные замечания не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, представляют собой обобщение теоретических и экспериментальных исследований и направлены на решение важной научно-технической задачи по поиску и исследованию композиционных феррит-пьезоэлектрических материалов с заданной величиной магнитоэлектрического взаимодействия, достаточной для их практического применения. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Диссертация написана ясным языком, четко структурирована. Каждая глава содержит содержательные выводы, что облегчает понимание материала.

Автореферат диссертации правильно отражает ее основное содержание.

Считаю, что диссертационная работа Романа Валерьевича Петрова удовлетворяет всем необходимым требованиям ВАК, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Зав. лабораторией структурных
и фазовых превращений в конденсированных средах
ФГБУН Института проблем машиноведения РАН
д.ф.-м.н., профессор, лауреат премии президиума РАН им.
П. А. Ребиндера, лауреат премии Правительства
Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургского
научного центра РАН по физике
им. А.Ф. Иоффе

сл.тел: +7(812) 321-47-84

e-mail: sergey.a.kukushkin@gmail.com

С.А. Кукушкин

