

## О Т З Ы В

официального оппонента о диссертационной работе Снисаренко Дарьи Валерьевны «Исследование магнитоэлектрического микроволнового эффекта в слоистых феррит-пьезоэлектрических структурах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

### **Актуальность темы исследования.**

Объектом исследований настоящей работы являются гетерогенные слоистые структуры с магнитоэлектрическим эффектом. Актуальность данной работы в большей степени обусловлена возможным практическим применением разрабатываемых гетероструктур в СВЧ диапазоне, в частности использованием сдвига линии ферромагнитного резонанса магнитоактивной фазы при приложении электрического поля к пьезоэлектрической фазе. Создание магнитоэлектрических СВЧ приборов на основе слоистых феррит-пьезоэлектрических структур позволит перейти к интегральной технологии изготовления, а также повысить быстродействие, уменьшить массогабаритные характеристики и энергопотребление по сравнению с ферритовыми аналогами. Однако, такие ранее разработанные МЭ СВЧ устройства, работающие на МЭ микроволновом эффекте, имеют малый диапазон частотной перестройки и требуют приложения больших внешних подмагничивающих полей. Таким образом, основная задача современных исследований в области МЭ микроволнового эффекта сводится к поиску способов повышения МЭ взаимодействия в феррит-пьезоэлектрических структурах, что позволит увеличить диапазон частотной перестройки. В рамках поставленной цели разработаны несколько моделей МЭ эффекта в высокочастотной области и в области ферромагнитного резонанса в гетероструктурах на основе градиентных пьезо- или магнитоактивных слоев. Не вызывает сомнений, что моделирование и создание МЭ материалов, а так

же устройств на их основе, с использованием неоднородных компонентов на сегодняшний день является актуальной научной задачей.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Результаты теоретических расчетов, приведенные во второй главе, по исследованию микроволнового магнитоэлектрического эффекта имеют высокую степень достоверности, так как они сопоставлялись с результатами исследований, проведенных с использованием методов компьютерного моделирования, и сравнивались с данными экспериментальных исследований.

Основные положения, выносимые на защиту, а также выводы и рекомендации, сделанные по главам, основаны на тщательном анализе литературных источников. Библиография включает значительную и основную часть публикаций в указанных областях.

**Достоверность основных экспериментальных положений работы** следует из правильного выбора материалов, а так же методики проведения экспериментальных измерений магнитоэлектрических свойств композитов, с использованием аттестованного высокоточного оборудования. Поэтому представленные в третьей главе экспериментальные результаты исследований реализованных на МПІ вентиля-аттенюатора-фазовращателя и вентиля-аттенюатора на основе структуры ЖИГ – PMN-PT, а также вентиля-аттенюатора на основе структуры ЖИГ-ЦТС, реализованного на КВ, не вызывают сомнений.

### **Научная новизна результатов.**

Следующие результаты автор считает оригинальными:

1. Уточнено учетом диссипации выражение для сдвига линии ФМР слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры под влиянием постоянного электрического поля.

2. Проведено сравнение результатов, выполненных методом компьютерного моделирования и расчета, с теоретическими и экспериментальными результатами зависимости сдвига линии ФМР под влиянием постоянного электрического поля от отношения толщин фаз слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры.

3. Разработана теоретическая модель МЭ микроволнового эффекта в слоистой феррит-пьезоэлектрической структуре на основе биморфной пьезоэлектрической фазы и получены выражения для сдвига линии ФМР под влиянием постоянного электрического поля через материальные параметры и геометрические размеры фаз структуры для данной структуры в форме пластины.

4. Проведено теоретическое исследование МЭ микроволнового эффекта в слоистой феррит-пьезоэлектрической структуре на основе ферритовой фазы со ступенчатым изменением намагниченности и в слоистой феррит-пьезоэлектрической структуре на основе биморфной пьезоэлектрической фазы при воздействии на данную структуру электрическим полем с частотой ЭМР;

5. Разработаны рекомендации по практическому использованию слоистых феррит-пьезоэлектрических структур в невзаимных СВЧ устройствах, работающих на МЭ микроволновом эффекте.

Действительно, все заявленные результаты являются оригинальными и позволяют расширить знания о магнитоэлектрическом микроволновом эффекте в гетероструктурах с неоднородными по составу и свойствам слоями.

### **Значимость для практики результатов работы.**

Практическая значимость работы, во-первых, объясняется созданными теоретическими моделями микроволнового магнитоэлектрического эффекта в гетероструктурах на основе биморфной пьезоэлектрической фазы, феррит-пьезоэлектрических структуры с ферритовой фазой со ступенчатым изменением намагниченности, а также слоистой феррит-пьезоэлектрической

структуры на основе биморфной пьезоэлектрической фазы при приложении к данной структуре электрического поля с частотой ЭМР. Разработанные модели позволяют рассчитать сдвиг линии ФМР через материальные параметры и геометрические размеры фаз слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры. Во-вторых, предложены конструкции принципиально новых устройств твердотельной СВЧ электроники, работающих на МЭ микроволновом эффекте «Вентиль сверхвысокочастотный магнитоэлектрический» (патент № 119940); «Аттенюатор магнитоэлектрический» (патент № 115125); «Компланарный вентиль-аттенюатор» (патент № 148921). В заключении разработаны практические рекомендации по выбору параметров конструкции планарных СВЧ вентилях-аттенюаторов на основе слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры. Полученные рекомендации позволяют подобрать оптимальные размеры слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры для достижения достаточных для практического применения вентиляного отношения и диапазона сдвига линии ФМР.

### **Апробация результатов и публикации.**

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 14 статей, из них 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, получены 3 патента на полезную модель, а также опубликованы тезисы 8 докладов на Международных и Всероссийских научных конференциях.

### **Замечания по диссертационной работе**

В данной части я останавлиюсь на основных замечаниях к данной работе:

1. В первом пункте второй главы диссертации приводятся результаты сравнения теоретических расчетов, экспериментальных данных с данными компьютерного моделирования. Однако при сравнении используются теоретические модели без учета диссипации. В выводах главы автор диссертации постулирует хорошее совпадение результатов

компьютерного моделирования с теоретическими расчетами, хотя нигде в тексте не приводятся численные значения последних. Следовало бы привести результаты теоретических оценок смещения линии ФМР полученных по формуле 2.21.

2. В четвертом пункте второй главы получены выражения через материальные параметры и геометрические размеры фаз слоистой структуры для механических напряжений, индуцируемых в градиентно ферритовой фазе. Остается непонятным, на основании каких расчетов автор делает вывод, о том, что использование ферритовой фазы, состоящей из двух слоев ферритового материала, имеющих разные намагниченности позволяет увеличить сдвиг линии ФМР под влиянием постоянного электрического поля приблизительно на 10 %. Любые оценки и формулы для расчета микроволнового МЭ эффекта в подобных гетероструктурах в тексте диссертации отсутствуют.
3. В третьей главе диссертации, в которой проводится апробация представленных ранее теоретических расчетов, все предложенные радиокомпоненты используют двухслойные безградиентные гетероструктуры. Ожидалось, что автор применит предложенные им пути увеличения микроволнового МЭ эффекта, в частности использование биморфной пьезоэлектрической фазы или градиентного магнитоактивного слоя. Таким образом, все представленные во второй главе улучшения остаются экспериментально неподтвержденными.

### **Заключение.**

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы в целом. Работа производит хорошее впечатление, как своим высоким научным уровнем, так и оформлением. Представленная диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа «Исследование

магнитоэлектрического микроволнового эффекта в слоистых феррит-пьезоэлектрических структурах» выполнена в соответствии с критериями, установленными пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор - Снисаренко Дарья Валерьевна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник кафедры функциональных наносистем и  
высокотемпературных материалов,  
НИТУ «МИСиС»



Карпенков Дмитрий Юрьевич

03 марта 2019 г.

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.4, НИТУ «МИСиС»

кафедра ФНСиВТМ

Телефон: +7 915 437 22 12

e-mail: [Karpenkov.dy@misis.ru](mailto:Karpenkov.dy@misis.ru)

Проректор по науке и инновациям



Филонов М.Р.