

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мартышкина Александра Александровича
**«Распространение спиновых волн в нерегулярных ферромагнитных структурах на
основе сочлененных тонкопленочных микроволноводов»**, представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.4. – Радиофизика

Представленная диссертационная работа посвящена исследованию закономерностей распространения и преобразования спиновых волн в тонкопленочных ферромагнитных структурах, содержащих геометрические и функциональные неоднородности. Данное направление развивается в рамках современной магноники, которая рассматривается как потенциальная основа для построения энергоэффективных волновых устройств обработки информации. Сочетание тонкой геометрии волноводов, особенностей магнитостатического взаимодействия и специфики дипольных мод делает изучаемые системы научно значимыми и востребованными.

В работе исследуются нерегулярные магنونные волноводы различной конфигурации, включая ортогональные планарные соединения, трёхмерные переходы между взаимно перпендикулярными плоскостями, а также структуры, модифицированные функциональными поверхностными покрытиями. Такой набор объектов позволяет выявить общие закономерности поведения спиновых волн в условиях нарушения регулярности и охватывает широкий спектр характерных волноведущих структур. Все вышеописанное обуславливает актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение и список литературы. Полный объем диссертации 120 страниц текста с 33 рисунками. Список литературы содержит 188 наименований. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и положения, выносимые на защиту. Сформулированные положения имеют самостоятельное научное значение и развивают фундаментальные основы управления спектром и динамикой спиновых волн в нерегулярных магنونных структурах. Представленный материал излагается последовательно, в соответствии с поставленными задачами, и содержит необходимый набор экспериментальных и численных данных. Работа сочетает численные и экспериментальные методы исследования, обеспечивающие независимую проверку основных результатов, что позволяет анализировать свойства спиновых волн с различных позиций.

Рассмотренные в диссертации нерегулярные волноводы охватывают несколько характерных типов сочленений тонкоплёночных ферромагнитных пленок на основе железо-иттриевого гранта. В планарных ортогональных соединениях исследованы особенности конверсии модового состава спиновых волн в различных типах соединения, ширины и толщины волноводов. В трёхмерных конфигурациях с вертикальным сочленением численно и экспериментально установлены условия передачи спинового сигнала между взаимно ортогональными волноводами. Также в работе изучены структуры на основе ферромагнитных плёнок с функциональными покрытиями, включая полупроводниковые массивы полосок в геометрии Лауэ и частично металлизированные волноводы в виде металлической полоски, расположенной поперек распространения спиновой волны. Показано, что такие покрытия позволяют модифицировать условия для спиновых волн, распространяющихся в волноводах, формируя частотно-зависимые селективные свойства и позволяют осуществлять пространственную локализацию спиновых волн.

В заключении каждой главы диссертационной работы представлены обобщённые результаты выполненных численных и экспериментальных исследований и сформулированы основные выводы, отражающие решения поставленных научных задач. Сформулированные автором выводы логически вытекают из содержания работы, согласуются с полученными моделями и экспериментальными данными и подтверждают достижение заявленной цели — установления закономерностей распространения и управления спин-волновыми сигналами в нерегулярных тонкоплёночных ферромагнитных структурах.

К основным достоинствам работы следует отнести комплексный характер исследования, включающий микромагнитное моделирование и независимую экспериментальную проверку; системный подход к анализу различных типов нерегулярных сочленений волноводов, позволяющий выявить общие закономерности динамики спиновых волн; корректность постановки задач и последовательность их решения, обеспечивающие внутреннюю согласованность результатов; получение новых данных о свойствах структур с функциональными покрытиями, демонстрирующих возможности управления спин-волновыми сигналами.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В диссертации приведены частотные зависимости передачи, однако временные характеристики (например, групповая задержка) не рассмотрены. Несмотря на то что работа посвящена спектральным и пространственным эффектам, включение

нескольких временных оценок укрепило бы практическую часть, особенно применительно к магнным элементам маршрутизации.

2. При рассмотрении структур с функциональными покрытиями было бы желательно рассмотреть влияние параметров подложки и механического напряжения на свойства таких структур.
3. При обсуждении режимов локализации спиновых волн в структурах с функциональными полупроводниковыми покрытиями влияние температуры и возможного лазерного нагрева поверхности практически не затрагивается. Было бы желательно провести оценку возможных термических эффектов и их влияние на результаты измерений в условиях интенсивного локального воздействия.
4. В тексте диссертации и в автореферате встречаются опечатки.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Диссертация Мартышкина Александра Александровича представляет собой законченную научную работу, в которой решена актуальная задача по анализу и управлению спин-волновыми процессами в нерегулярных тонкоплёночных волноводных структурах. Представленные результаты обладают значимой фундаментальной составляющей и могут служить основой для разработки магнных волноводных элементов различного функционального назначения. Диссертационная работа полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика. Автореферат правильно отражает ее содержание.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ряде ведущих отечественных и международных рецензируемых журналов, в том числе *Physical Review Applied*, *Applied Physics Letters*, *AIP Advances*, Журнал технической физики и других изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в базы *Web of Science* и *Scopus*. Дополнительно по тематике диссертации автором получены патенты и зарегистрированы программы для ЭВМ, что подчёркивает прикладную направленность и востребованность выполненного исследования.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается согласованностью различных используемых методик и независимым характером полученных данных. Экспериментальная часть выполнена с применением современных методов исследования динамики магнитных систем, включая микроволновую спектроскопию на основе векторного анализатора цепей и спектроскопию мандельштам-бриллюэновского рассеяния, что обеспечивает высокую точность определения параметров спин-волновых процессов. Численные расчёты проводились в рамках микромагнитного

моделирования с использованием приближений, корректно описывающих динамику тонкоплёночных ферромагнитных структур. Сопоставление данных моделирования с экспериментальными результатами показало их хорошее согласие в широком диапазоне исследуемых параметров, что свидетельствует о корректности выбранных моделей и адекватности граничных условий. Кроме того, результаты работы неоднократно представлялись на российских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах высокого уровня, что дополнительно подтверждает их надёжность и признание научным сообществом.

Таким образом, диссертационная работа Мартышкина Александровича вносит заметный вклад в понимание процессов распространения спиновых волн в нерегулярных поперечно-ограниченных ферромагнитных структурах на основе сочлѐнных тонкоплѐночных микроволноводов. Работа в полной мере удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что соискатель Мартышкин Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры физической электроники и технологии Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), доктор физико-математических наук (01.04.03)



Устинов Алексей Борисович

«26» ноября 2025 г.

Подпись Устинова А.Б. удостоверяю:
Ученый секретарь совета СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Устинов Алексей Борисович, доктор физ.-мат. наук, профессор
адрес: 197022, С.-Петербург, ул. проф. Попова, д. 5 литера Ф
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина)
телефон: 8(812)2349983
E-mail: info@etu.ru

