

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

Исследование спин-волновых процессов в тонкоплёночных ферромагнитных структурах является важным направлением современной магноники, поскольку позволяет глубже понять механизмы распространения, взаимодействия и преобразования спиновых волн в средах с различной геометрией и магнитостатическими условиями. Особый интерес представляют нерегулярные волноведущие системы, в которых нарушение однородности — изменение формы, наличие сочленений или локальных модификаций параметров — приводит к появлению новых режимов переноса энергии и управления спектром спиновых волн. Такие структуры образуют основу для создания компактных и энергоэффективных элементов магнонных устройств, потенциально совместимых с современными полупроводниковыми и гибридными технологиями, что открывает дополнительные перспективы развития устройств волновой обработки информации, основанных на магнонных принципах.

Диссертационная работа Мартышкина Александра Александровича посвящена решению актуальных задач в области радиофизики, заключающейся в выявлении особенностей распространения спиновых волн в нерегулярных тонкоплёночных ферромагнитных структурах на основе сочленённых магнонных микроволноводов и установлении механизмов управления их спектрально-пространственными характеристиками в условиях геометрических и магнитостатических неоднородностей.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации 120 страниц текста с 33 рисунками. Список литературы содержит 188 наименований.

Во введении приведена детальная информация о современном состоянии в области магноники, цели диссертационной работы, актуальности, научной и практической значимости работы, личном вкладе, апробации и достоверности полученных результатов.

Структура диссертационной работы последовательна, а исследования, включенные в нее, связаны друг с другом. Исследуемые структуры по мере глав усложняются. Для решения поставленных задач были использованы как экспериментальные методы исследования (микроволновые измерения с использованием векторного анализатора цепей, оптический метод мандельштам-бриллюэновского рассеяния), так и метод микромагнитного моделирования. Данная связка методов позволила соискателю получить достоверные результаты, а на их основе сформулировать научно-значимые положения для выноса на защиту. Каждое из положений подтверждено полученными в работе данными и логически вытекает из анализа особенностей распространения спиновых волн в исследованных нерегулярных структурах. Представленные положения обладают самостоятельной научной значимостью и вносят вклад в развитие методов управления спин-волновыми сигналами в тонкоплёночных ферромагнитных волноводах.

В диссертационной работе Мартышкина Александровича рассмотрены нерегулярные тонкоплёночные магнитные структуры, представляющие различные варианты сочленённых микроволноводов. К первым относятся планарные ортогональные соединения волноводов различной ширины и толщины, позволяющие исследовать процессы прохождения и конверсии мод спиновых волн при изменении геометрии сочленения. Далее анализируются трёхмерные волноведущие конфигурации с вертикальным переходом между взаимно ортогональными волноводами, что даёт возможность установить условия устойчивой передачи спин-волнового сигнала между разными уровнями структуры. Кроме того, в работе рассмотрены нерегулярные структуры на основе ферромагнитных плёнок с функциональными покрытиями на поверхности, включая системы с полупроводниковым массивом полос и структуры с частичной металлизацией, в которых выявлены механизмы управления спин-волновым сигналом за счёт формирования частотно-пространственных селективных эффектов и локализованных каналов переноса.

В заключении диссертационной работы обобщены результаты проведённых теоретических, численных и экспериментальных исследований и сформулированы основные выводы, отражающие решения поставленных в работе научных задач. Выводы логически вытекают из содержания глав, согласуются с полученными данными и подтверждают достижение цели диссертации, заключающейся в установлении закономерностей распространения и управления спин-волновыми сигналами в нерегулярных тонкоплёночных ферромагнитных структурах.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В первой главе, посвящённой методам исследования, описание ряда микромагнитных приёмов дано весьма компактно. Некоторым моделируемым режимам (например, выбору параметров дискретизации или критериев установления стационарности решения) могло бы быть уделено несколько больше внимания, что повысило бы полноту методического раздела.
2. В главе 2 при анализе ортогональных сочленений основное внимание уделено модовым преобразованиям, однако влияние магнитостатического профиля в области сопряжения приводится преимущественно в качественном виде. Более подробное обсуждение структуры внутреннего поля позволило бы глубже связать наблюдаемые эффекты с геометрией неоднородности.
3. В разделе, посвящённом передаче спиновых волн между взаимно ортогональными волноводами (глава 3), некоторые особенности потерь и механизмов отражения в трёхмерной конфигурации могли бы быть рассмотрены более детально. Это позволило бы дополнить картину условий устойчивой межплоскостной передачи.
4. В главе 4, где анализируются структуры с функциональными покрытиями, экспериментальная часть представлена достаточно кратко. Несмотря на соответствие моделированию, расширение набора экспериментальных измерений или более детальное их обсуждение усилило бы убедительность выводов.

Указанные замечания ни в коем случае не принижают общего положительного впечатления от диссертационной работы.

В итоге считаю, что диссертационная работа Мартышкина Александра Александровича представляет собой решение актуальных задач радиофизики, связанных с исследованием процессов распространения и управляемой трансформации спиновых волн в нерегулярных ферромагнитных структурах на основе сочленённых тонкоплёночных магнонных микроволноводов. Полученные автором результаты имеют научную и практическую значимость для разработки элементов магнонных линий передачи, ответвителей и систем частотно-пространственной селекции сигнала. Диссертационная работа полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика. Автореферат правильно отражает ее содержание.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, включая *Physical Review Applied*, *Applied Physics Letters*, *AIP Advances*, Журнал технической физики и другие издания,

рекомендованные ВАК при Минобрнауки России и индексируемые в международных базах данных Web of Science и Scopus. Полученные результаты неоднократно апробированы на международных и всероссийских научных конференциях. Кроме того, автором получены патенты и зарегистрированы программы для ЭВМ, связанные с исследуемой тематикой, что подтверждает не только научную новизну выполненной работы, но и её практическую значимость.

Достоверность результатов диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается совокупностью используемых автором подходов и методик. Во-первых, исследование базируется на применении современных и общепринятых теоретических и экспериментальных методов радиофизики, включая микроволновые измерения с использованием векторного анализатора цепей, оптическую спектроскопию мандельштам-бриллюэновского рассеяния, а также микромагнитное моделирование на основе приближений, корректных для тонкоплёночных ферромагнитных структур. Во-вторых, в работе проведено сопоставление результатов численного моделирования и экспериментальных данных, что позволило верифицировать выявленные закономерности распространения спиновых волн в нерегулярных волноводных структурах. Полученные численные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями, что подтверждает корректность выбранных моделей и используемых граничных условий. В-третьих, отдельные результаты диссертации прошли широкую апробацию на российских и международных научных конференциях, а основные положения опубликованы в ведущих рецензируемых журналах. Это свидетельствует о признании научным сообществом корректности методики и значимости полученных выводов.

С учётом вышесказанного считаю, что диссертационная работа Мартышкина Александра Александровича вносит вклад в развитие современных представлений о распространении спиновых волн в нерегулярных поперечно-ограниченных ферромагнитных структурах на основе сочленённых тонкоплёночных микроволноводов и раскрывает новые механизмы управления спин-волновым сигналом в областях геометрических и магнитостатических неоднородностей, включая режимы локализации и направленного ответвления. 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:

Ведущий научный сотрудник лаборатории антиферромагнитной спинтроники федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, доктор физико-математических наук (1.3.12), доцент



Сафин Ансар Ризаевич

«24» ноября 2025 г.

Почтовый адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр. 7

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

телефон: +7-906-065-60-45

e-mail: arsaфин@gmail.com

Подпись Сафина А.Р. заверяю

Ученый секретарь ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН



И.И. Чусов