

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и цифровому развитию

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Алексей Александрович Короновский



_____ марта _____ 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Губанов Владислав Андреевич** «Управление свойствами спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магنونных микроволноводов и магنونных кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика, выполненной на кафедре физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ от 29 декабря 2018 года № 245 – Д.

Тема диссертационной работы переутверждена приказом ректора СГУ от 14 июня 2022 года №78 – Д.

Соискатель **Губанов Владислав Андреевич** окончил в 2018 году федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению 03.04.03 «Радиофизика» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации соискатель обучается в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Радиофизика», работает младшим научным сотрудником лаборатории «Магнитные метаматериалы»

научно-исследовательского института механики и физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Справка о сданных кандидатских экзаменах № 10-2023 выдана 21.03.2023 федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель – **Садовников Александр Владимирович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденный приказом ректора от 29 декабря 2018 года № 245–Д, представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном научном семинаре кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ и других образовательных учреждений высшего образования и научных организаций.

На заседании присутствовали:

1. Москаленко Ольга Игоревна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
2. Павлов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
3. Глухова Ольга Евгеньевна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующая кафедрой радиотехники и электродинамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
4. Филимонов Юрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», директор СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;

5. Тихонов Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры инноватики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
6. Караваев Анатолий Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
7. Бегинин Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой нелинейной физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
8. Садовников Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
9. Слепченков Михаил Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
10. Савин Дмитрий Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
11. Шешукова Светлана Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
12. Матвеев Олег Валерьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Магнитные метаматериалы» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
13. Грачев Андрей Андреевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Магнитные метаматериалы» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
14. Адилова Асель Булатовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

15. Титов Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
16. Шунаев Владислав Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
17. Сахаров Валентин Константинович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории «Магнитоэлектроники СВЧ» СФ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
18. Бессонов Владимир Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории магнитных полупроводников Института физики металлов им. Михеева УрО РАН.

Рецензенты диссертации:

Тихонов Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры инноватики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», представил положительный отзыв.

Бегинин Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой нелинейной физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации **Губанова Владислава Андреевича** «Управление свойствами спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магнонных микроволноводов и магнонных кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

В диссертационной работе Губанова В.А. проведено выявление закономерностей изменения спектра спин-волновых возбуждений в продольно-нерегулярных структурах при локальном нагреве и при возбуждении спиновых волн (СВ) на частотах, соответствующих брэгговским запрещенным зонам. Объектами исследования являются волноведущие структуры двух типов: 1) структуры на основе магнонных микроволноводов; 2) структуры на основе

системы связанных магнитных кристаллов разной ширины и одинакового периода.

Научная новизна результатов исследования.

В диссертации впервые получены следующие научные результаты:

- Выявлены механизмы трансформации пространственного распределения динамической намагниченности, обусловленные прохождением спин-волнового сигнала через область с изменяющейся намагниченностью насыщения типа «магнитная яма», созданной в тонкопленочном ферритовом микроволноводе в результате локального лазерного нагрева.
- Показано, что путём изменения величины нагрева и диаметра лазерного пятна, сфокусированного на поверхности тонкопленочного ферритового волновода, можно изменять параметры области «магнитной ямы», что приводит к изменению длины волны и пространственного распределения амплитуды СВ внутри области неоднородности. Выявлен эффект трансформации спектра мощности выходного сигнала, который проявляется в появлении частотной полосы не пропускания спин-волнового сигнала в диапазоне возбуждения поверхностных магнитостатических волн.
- Предложен способ управления свойствами СВ при помощи локального лазерного нагрева, за счет которого реализуется режим частотной фильтрации выходного сигнала вследствие интерференции ширинных мод СВ в области выходной секции микроволновода.
- Продемонстрирован способ управления свойствами распространяющихся СВ путем локального лазерного нагрева области с неоднородной намагниченностью, созданной в результате проявления эффекта анизотропии формы продольно-нерегулярной волноведущей структуры при касательном намагничивании. Показано влияние изменения намагниченности насыщения в области с неоднородным распределением внутреннего магнитного поля в «U-образном» микроволноводе на коэффициент передачи СВ.

- Определены возможные режимы трансформации типов волн, возникающие при возбуждении и распространении СВ в продольно-нерегулярной «U-образной» структуре. Выявлено, что изменению направления распространения СВ на 180° сопутствует трансформация типа магнитоэлектрических волн: «поверхностная-обратная объемная-поверхностная» либо «обратная объемная-поверхностная-обратная объемная».
- Установлено, что при прохождении СВ через «U-образный» микроволновод эффективность преобразования «поверхностная-обратная объемная-поверхностная» увеличивается при изменении угла намагничивания структуры ϕ в диапазоне $-15^\circ < \phi < 15^\circ$, что приводит к изменению мощности выходного сигнала. При этом, угол $\phi = 0^\circ$ соответствует случаю возбуждения поверхностной магнитоэлектрической волны.
- Выявлено, что в тонкопленочных параллельно ориентированных магнетонно-кристаллических микроволноводах, расположенных на одной подложке гадоллиний галлиевого граната, при вариации ширины одного из магнетонных кристаллов наблюдается эффективная связь ширинных мод спиновых волн при соотношении ширин $w_2/w_1 = 5/2$.
- В зависимости от возбуждаемого магнетонного кристалла реализуются режимы узкополосной фильтрации спин-волнового сигнала, частотные диапазоны которых совпадают с частотным положением Брегговских запрещенных зон возбуждаемых магнетонных кристаллов. Показано, что данный эффект приводит к реализации режима направленного ответвления спин-волнового сигнала.

Научная и практическая значимость

Рассмотренные в работе нерегулярные структуры на основе магнетонных микроволнопроводов и магнетонных кристаллов являются перспективным материалом для создания класса устройств обработки информации, таких как системы демультиплексирования с частотно-пространственной селективностью,

направленные ответители, делители, фильтры и ключи СВЧ-сигнала, управляемых одновременно магнитным полем и локальным лазерным излучением. Научная значимость решения обозначенной проблемы состоит в расширении функционального диапазона магнетронных устройств за счет предложенных в работе новых способов управления спин-волновыми сигналами.

Результаты диссертации использовались при выполнении научных проектов, поддержанных грантами РФФИ (18-79-00198, 20-79-10191) и РФФИ (18-29-27026, 18-37-00482, 18-37-20005, 19-29-03034, 19-37-80004, 20-37-90020), а также в рамках стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП-563.2022.3).

Ценность научных работ соискателя, лежащих в основе его диссертации, определяется тем, что полученные результаты вносят большой вклад в развитие научного направления, связанного с изучением характера распространения спиновых волн в волноведущих системах при введении дополнительных параметров управления (наведение локального лазерного излучения), а разработанные методы и подходы могут найти практическое применение при создании новых устройств обработки и хранения информации на принципах магноники.

Личный вклад автора. Защищаемые результаты и положения диссертационной работы получены соискателем лично. Все приводимые в диссертации результаты микромагнитного моделирования получены лично соискателем. Экспериментальные исследования генерации и распространения спиновых волн в магнетронных микроволноводах и магнетронных кристаллах были выполнены совместно с научным руководителем, а также работниками лаборатории «Магнитные метаматериалы» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим соответствием данных микромагнитного

моделирования и данных экспериментов, выполненных с помощью микроволновой спектроскопии и Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии. При этом, для получения результатов использовались методы исследования, учитывающие специфику исследуемых магнонных микроструктур. Достоверность также подтверждается отсутствием противоречий с известными работами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях и симпозиумах: VII Euro-Asian symposium «Trends in Magnetism» (Екатеринбург, 2019); VIII Euro-Asian symposium «Trends in Magnetism» (Казань, 2022) Международный симпозиум «Нанопизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, 2019, 2021); Всероссийская конференция молодых учёных «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (Саратов, 2017-2022 гг.); Международная школа-конференция «Хаотические автоколебания и образование структур» (ХАОС-2018) (Саратов, 2018).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 6 статей в центральных реферируемых научных журналах, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Sadovnikov A.V., **Gubanov V.A.**, Sheshukova S.E., Sharaevskii Y.P., Nikitov S.A. Spin-Wave Drop Filter Based on Asymmetric Side-Coupled Magnonic Crystals // Physical Review Applied, 9(5), 051002 (2018).
2. **Губанов В.А.**, Мартышкин А.А., Шешукова С.Е., Садовников А.В. Управление свойствами спин-волнового транспорта в полукольцевом магнонном микроволноводе // Журнал технической физики, 89(11), 1726–1731 (2019).
3. **Gubanov V.A.**, Sheshukova S.E., Nikitov S.A., Sadovnikov A.V., Multimode unidirectional spin-wave coupling in array of non-identical magnonic crystals close to band gap frequencies // Journal of Physics D: Applied Physics, 54, 245001 (2021).

4. **Губанов В.А.**, Шешукова С.Е., Садовников А.В. Латеральный спин-волновой транспорт в системе неидентичных магнотно-кристаллических микроволноводов // Физика Твердого тела, 63(9), 1330–1334 (2021)
5. **Gubanov V.A.**, Kruglyak V.V., Sheshukova S.E., Bessonov V.D., Nikitov S.A., Sadovnikov A.V. Frequency-selective spin-wave propagation in magnonic waveguide with a local laser-heated region // Physical Review B, 107(2), 024427 (2023).
6. **Губанов В.А.**, Кругляк В.В., Садовников А.В. Управление режимами распространения спиновой волны в волноводе из железо-иттриевого граната посредством локального лазерного нагрева // Известия РАН. Серия физическая, 87(3), 417-421 (2023).

Итоговое заключение. Диссертационная работа «Управление свойствами спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магнотных микроволноводов и магнотных кристаллов» Губанова Владислава Андреевича является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи радиофизики, направленной на изучение особенностей распространения спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магнотных микроволноводов при создании области «магнитная яма» и магнотных кристаллов. Основные положения диссертации полно отражены в научных публикациях в рецензируемых журналах с высоким значением импакт-фактора. Тема и содержание диссертации полностью соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Управление свойствами спиновых волн в нерегулярных структурах на основе магнотных микроволноводов и магнотных кристаллов» Губанова Владислава Андреевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. –

Радиофизика как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского». Присутствовало на заседании 6 докторов наук и 12 кандидатов наук по профилю диссертации (физико-математические науки).

Результаты открытого голосования: «за» - 18 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет (протокол заседания кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» № 7 от 30 марта 2023 г.).

Председательствующий
доктор физико-математических наук,
доцент, профессор кафедры физики открытых систем
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Москаленко Ольга Игоревна

Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83,
Институт физики,
Кафедра физики открытых систем.
Тел.: +7 (8452)51-72-06
E-mail: o.i.moskalenko@gmail.com

