

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.01,  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова  
Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени  
кандидата наук.**

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 12 декабря 2025 г., № 4

**О присуждении Федорову Андрею Сергеевичу, гражданину России,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Магнитооптические и микроволновые свойства пленок и гетероструктур на основе висмут- и тулий-замещенных ферритов со структурой граната» принята к защите 10 октября 2025, протокол № 11, диссертационным советом 24.1.111.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) (125009, Москва, ул. Моховая, д.11, корп.7) (приказ Рособрнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Федоров Андрей Сергеевич, 1997 года рождения, в 2021 году Федоров Андрей Сергеевич окончил с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации «Магистр». С сентября 2021 г. по август 2025 г. Федоров А.С. обучался в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2025 г. учебным управлением Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время работает в лаб. № 230 «Лаборатории магнотронной спинтроники» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) в должности младшего научного сотрудника.

Работа выполнена в лаборатории исследования свойств магнитных и оптических микро- и наноструктур (лаб. 191) и лаборатории магнотронной спинтроники (лаб. 230) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН).

**Научный руководитель:** Логунов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории исследования свойств магнитных и оптических микро- и наноструктур (лаб. 191) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

**Белотелов Владимир Игоревич**, доктор физико-математических наук, профессор РАН, доцент кафедры нанофотоники Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

**Садовников Александр Владимирович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), **в своем положительном отзыве**, подписанный д.ф.-м.н. А.Н. Юрасовым (Заместитель заведующего кафедрой нанoeлектроники РТУ МИРЭА) и д.ф.-м.н. Л.Ю. Фетисовым (Заместитель заведующего кафедрой нанoeлектроники РТУ МИРЭА), и утвержденном первым проректором РТУ МИРЭА д.х.н. Н.И. Прокоповым, **указала**, что диссертация Федорова Андрея Сергеевича «Магнитооптические и микроволновые свойства пленок и гетероструктур на основе висмут- и тулий-замещенных ферритов со структурой граната» является завершенным научным трудом и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – А.С. Федоров, **достоин** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния». В отзыве отмечено, что диссертационная работа А.С. Федорова выполнена на высоком уровне и представляет собой завершенный научный труд, результаты которого обладают новизной и существенной практической значимостью. Автореферат диссертации в полном объеме отражает ее материал. Научные положения и выводы изложены корректно, лаконично и соответствуют содержанию исследования.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В представленной работе расчет температурных зависимостей намагниченности многоподрешеточных ферритов-гранатов выполнен на базе теории молекулярного поля с использованием программного обеспечения диссертанта. Вместе с тем, в диссертации отсутствует сравнительный анализ результатов, полученных с помощью разработанной программы, с данными, получаемыми при использовании альтернативных методов численного моделирования магнитных свойств и общедоступных программных комплексов.

2. В работе отмечено, что для регистрации ориентационных зависимостей ферромагнитного резонанса была разработана методика, предусматривающая модификацию штатного гониометра спектрометра Bruker ER-200 путем оснащения его шаговым двигателем с микроконтроллером и драйвером для

автоматизации процесса вращения образца. Однако детальное описание разработанной методики отсутствует: не приведены технические параметры используемого шагового двигателя (разрешение шага, точность позиционирования, диапазон рабочих углов), характеристики системы управления. Кроме того, не проведено сравнение предложенной модификации с существующими коммерческими системами автоматизированного позиционирования для ФМР-измерений, что затрудняет оценку технических преимуществ, воспроизводимости и универсальности разработанного решения по сравнению с известными аналогами.

3. В работе установлено, что в структуре Bi:IG/GGG/SiO<sub>2</sub> происходит диффузия ионов галлия (Ga<sup>3+</sup>) и гадолиния (Gd<sup>3+</sup>) из буферного слоя GGG в объем пленки Bi:IG, что приводит к изменению магнитных и магнитооптических свойств приграничного слоя. Однако в диссертации не раскрыт в явном виде физический механизм наблюдаемой диффузии, не обсуждается природа диффузионных процессов

4. В диссертации не приведен расчет удельной величины эффекта Фарадея для исследуемых структур. Отсутствие количественных значений удельного вращения эффекта Фарадея для синтезированных пленок Bi:IG различных толщин и составов не позволяет в полной мере оценить качество синтезированных структур.

5. В названии диссертационной работы указано, что были исследованы микроволновые свойства плёнок. В тоже время среди положений, выносимых на защиту, результаты этих исследований в явном виде не фигурируют, что является не совсем корректным.

По материалам диссертации опубликованы 13 научных работ, в том числе: 8 – в журналах, входящих в международные и российские реферативные базы данных и системы цитирования Scopus, Web of Science, РИНЦ и в перечень изданий, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ, 2 – патента на программу, 3 – в трудах международных и российских конференций.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Logunov M.V., Safonov S.S., **Fedorov A.S.**, Danilova A.A., Moiseev N.V., Safin A.R., Nikitov S.A., Kirilyuk A. Domain Wall Motion Across Magnetic and Spin Compensation Points in Magnetic Garnets // *Physical Review Applied*. - 2021. – Vol. 15. – No. 6. – P. 064024.

2. **Федоров А.С.**, Демидов В.В., Никитов С.А., Логунов М.В. Регистрация и анализ ориентационных зависимостей ферромагнитного резонанса // *Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*. – 2025. – Т.17. – № 4. – С. 403–408. (**Fedorov A.S.**, Demidov V.V., Nikitov S.A., Logunov M.V. Measurements and analysis of ferromagnetic resonance's orientation dependencies // *Radioelektronika, nanosistemy, informacionnye tehnologii*. – 2025. – Vol.17 – No. 4. – P. 403–408e.)

3. **Федоров А.С.**, Никитов С.А., Логунов М.В. Магнитооптические свойства гетероструктуры BiIG/GGG/SiO<sub>2</sub> в окрестности точки компенсации магнитного момента // *Радиотехника и электроника*. – 2025. – Т. 70 – № 7. – С. 694–698.

4. Федоров А.С., Демидов В.В., Логунов М.В. Высокое гироманнитное отношение в тулий-содержащих ферритах-гранатах // Письма в ЖЭТФ. – 2025. – Т. 122. – № 8. (Fedorov A.S., Demidov V.V., Logunov M.V. High gyromagnetic ratio in thulium-containing iron garnets // JETP Letters. – 2025. – Vol. 122. – No. 8.)

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На **автореферат** диссертации поступили положительные отзывы из:

1) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» от д.ф.-м.н. Р.М. Вахитова Замечания: 1. Что обозначает на странице 13 в подписи к Рис. 3 символ  $h$ : толщину плёнки или что-то другое? Это обозначение встречается единожды в тексте. 2. На странице 13 сказано, что плёнки  $\text{Bi:IG}$  демонстрируют высокую однородность магнитооптических параметров, и что это имеет значение для методики формирования пленок большой площади. Какими размерами обладают плёнки «большой площади»? Какая площадь у исследуемых в работе плёнок? 3. Есть ли у автора теоретическое обоснование незначительного изменения энергии диамагнитных переходов в поликристаллических пленках ферритов-гранатов с высоким содержанием висмута?

2) Саратовского физико-технического института - филиала Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (СарФТИ НИЯУ МИФИ) от д.ф.-м.н. Ю.Б. Кудасова Замечания: 1. Автор недостаточно подробно обсуждает вопрос о причине расщепления линии ФМР в пленках  $\text{TmBiGa:IG}$ . 2. Не вполне понятно предположение о формировании двух структур с различным содержанием галлия в подрешетках железа. Казалось бы, при диффузии галлия из подложки в пленку должно возникать непрерывное распределение степени замещения (например, по толщине).

3) Института физики микроструктур РАН - филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук" (ИФМ РАН) от д.ф.-м.н. А.А. Фраермана Замечания: 1. отсутствие, хотя бы краткого, описания метода получения пленок ферритов гранатов. 2. употребление термина "диамагнитные переходы" требует пояснения и затрудняет понимание физического смысла полученных автором результатов

4) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН) от д.ф.-м.н. А.П. Носова Замечания: 1. Важным выводом работы является обнаружение интерфейсного слоя  $\text{Bi:YIG/GGG}$  за счет диффузии ионов  $\text{Gd}^{3+}$  и  $\text{Ga}^{3+}$  из слоя  $\text{GGG}$  (страница 17 автореферата, строка 8 сверху). Между тем, в тексте автореферата этот важный вывод только констатируется, страница 12 автореферата, строки 11-12 сверху, но не обосновывается. На основании каких экспериментальных данных сделано это заключение? 2. Положительным моментом оформления автореферата является наличие точек, соответствующих экспериментальным данным на всех рисунках. Только на Рис.4, страница 14, символы для экспериментальных

данных приведены только для зависимости, выделенной желтым цветом, а на зависимости, выделенной зеленым цветом (данные для эффекта Фарадея) они почему-то отсутствуют. 3. В автореферате имеются неудачные словосочетания и формулировки. Так, на странице 12, строка 9 сверху «...с различным вхождением ионов  $\text{Bi}$  в кристаллическую структуру...», страница 14, строка 7 сверху «...величина гиромагнитного отношения испытывает экстремум...», страница 16, строка 7 сверху «...сочетание... параметров ферритов-гранатов... придает перспективы для их применений...».

5) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» от д.ф.-м.н. И.Л. Любчанского – замечаний нет

### **Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:**

**Белотелов Владимир Игоревич**, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 – «Радиофизика»), доцент кафедры нанофотоники Физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова является известным специалистом в области магнитооптики, наноплазмоники, ферромагнитного резонанса и сверхбыстрого магнетизма.

**Садовников Александр Владимирович**, кандидат физико-математических наук (по специальностям 01.04.03 «Радиофизика» и 01.04.05 «Оптика»), доцент кафедры физики открытых систем Саратовского национального исследовательского университета имени Н.Г. Чернышевского является специалистом в области магноники, магнитооптики, нелинейной динамики микроволновых процессов.

Официальные оппоненты широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» известно своими разработками и исследованиями в области магнитных материалов и гетероструктур, а также спинтроники, магнитооптики. Многочисленные работы сотрудников МИРЭА в области физики конденсированного состояния и магнитных явлений свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты диссертации по данной специальности.

**Диссертационный совет** отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана методика регистрации спектров магнитного циркулярного дихроизма с последующим восстановлением спектров эффекта Фарадея путем применения соотношения Крамерса-Кронига, что позволило исследовать магнитооптические свойства пленок висмут-замещенных ферритов-гранатов  $\text{Bi:IG}$  предельно малых толщин, вплоть до одного периода кристаллической решетки. Обнаружен интерфейсный слой  $\text{Bi:IG/GGG}$  эффективной толщиной до 10 нм, формирующийся из-за диффузии ионов  $\text{Gd}^{3+}$  и  $\text{Ga}^{3+}$  из подложки, что приводит к снижению температуры Нееля и возникновению точки компенсации магнитного момента в наноразмерных

пленках. Установлено скачкообразное изменение энергии диамагнитных переходов при переходе через точку компенсации магнитного момента. Экспериментально продемонстрировано, что замещение ионов  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Ga}^{3+}$  на уровне 1.6-2.2 формульных единиц в ферритах-гранатах  $\text{TmBiGa:IG}$  приводит к 3-5-кратному увеличению эффективного гиромагнитного отношения. Впервые обнаружена экспериментально и подтверждена теоретически возможность достижения высокого гиромагнитного отношения в ферримагнетиках без точек компенсации магнитного и углового моментов.

**Теоретическая значимость исследования:** В диссертационной работе установлено, что в процессе синтеза поликристаллических пленок висмут-замещенных ферритов-гранатов наблюдается диффузия ионов на границе раздела с парамагнитным гранатом, что приводит, в частности, к формированию точки компенсации магнитного момента. Данные результаты расширяют представления о свойствах пленок в области интерфейса и могут быть применены при создании устройств спинтроники и спин-фотоники. Выполненное исследование диамагнитных переходов в феррите-гранате с различным содержанием ионов  $\text{Bi}$  и  $\text{Ga}$  позволило определить вклады магнитных подрешеток в магнитооптические эффекты и предсказывать их поведение в широком температурном интервале. Продemonстрирована возможность существенного (в 3-5 раз) повышения эффективного гиромагнитного отношения в тулий-содержащих ферритах-гранатах при замещении части ионов железа ионами галлия, что создает новые возможности для контроля свойств ферритов-гранатов и увеличения быстродействия устройств спинтроники и спин-фотоники на их основе.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:** Полученные в диссертационной работе данные о вкладах магнитных подрешеток в магнитооптические эффекты могут быть использованы для оптимизации состава ферритов-гранатов с целью повышения эффективности их использования в устройствах магнитооптической записи и обработки информации, в перспективных устройствах спин-фотоники. Продemonстрированный эффект получения высокого эффективного гиромагнитного отношения в тулий-содержащих ферритах-гранатах, не имеющих точки компенсации углового момента, может быть использован при разработке быстродействующих устройств спинтроники и спин-фотоники, так как скорость динамических процессов в магнетиках (скорость доменных границ, частота колебаний вектора намагниченности) пропорциональна гиромагнитному отношению, и его повышение – ключевой фактор повышения быстродействия устройств спинтроники на базе магнитных материалов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для исследования магнитных и динамических свойств пленок ферритов-гранатов использованы методы ферромагнитного резонанса для объемного резонатора и для микрополосковой линии. Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждаются воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов и их согласованием с теоретическими расчетами, опубликованными в рецензируемых журналах. Надежность полученных результатов обеспечивается использованием оптимальных режимов

работы экспериментальных установок, использованием апробированных экспериментальных методик и применением современной приборной базы.

**Достоверность** основных положений и выводов диссертационной работы подтверждаются воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов и их согласованием с теоретическими расчетами, опубликованными в рецензируемых журналах. Надежность полученных результатов обеспечивается использованием оптимальных режимов работы экспериментальных установок, апробированных методик и применением современной приборной базы.

**Личный вклад соискателя.** Экспериментальные и теоретические исследования проведены автором лично либо совместно с соавторами работ, опубликованных по теме диссертации. Автор участвовал в планировании, постановке экспериментов и обсуждении полученных результатов.

Диссертация соответствует шифру специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» по пунктам 1, 2 и 4.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы А.С. Федоров дал аргументированные ответы.

На заседании 12 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение: за научное исследование, развивающее представления о магнитооптических и микроволновых свойствах пленок и гетероструктур  $V_i$ -,  $T_m$ -замещенных ферритов-гранатов, имеющей значение для развития фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния, спинтроники и спинфотоники, присудить А.С. Федорову ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 14 человек, из которых 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук, академик РАН

С.А. Никитов

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор физико-математических наук

И.Е. Кузнецова



«12» декабря 2025 г.