

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.243.01, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»,  
МИНОБРНАУКИ РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25.03.2021 № 121

О присуждении **Сахарову Валентину Константиновичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Спин-волновые возбуждения в микроструктурах на основе поликристаллических магнитных плёнок» по специальности 01.04.03 — Радиофизика принята к защите 25 декабря 2020 года (протокол заседания № 117) диссертационным советом Д 212.243.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02.2013 №75/нк; приказы об изменении состава совета от 15.12.2015 № 1598/нк-9, от 28.09.2016 № 1180/нк-52, от 15.02.2017 № 116/нк-38, от 26.01.2018 № 92/нк-50, от 17.04.2018 № 431/нк-26, от 23.11.2018 № 301/нк-66, от 24.09.2019 №873/нк-26.

Соискатель Сахаров Валентин Константинович, 1986 года рождения, в 2008 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». В 2011 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН по специальности 01.04.03 – «Радиофизика». Работает научным сотрудником в Саратовском филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН), Минобрнауки России.

Диссертация выполнена в лаборатории магнитоэлектроники СВЧ (СФ-4) СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Филимонов Юрий Александрович, СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, директор.

Официальные оппоненты:

**Устинов Алексей Борисович**, доктор физико-математических наук (01.04.03), доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кафедра физической электроники и технологии, профессор;

**Калашникова Александра Михайловна**, кандидат физико-математических наук (Doctor, Radboud University, Nijmegen, The Netherlands), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, лаборатория физики ферроиков, исполняющий обязанности ведущего научного сотрудника – заведующий лабораторией,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Институт физики микроструктур РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Фраерманом Андреем Александровичем, доктором физико-математических наук (01.04.07), главным научным сотрудником отдела магнитных наноструктур, указала, что диссертационная работа Сахарова В.К., посвященная актуальной радиофизической задаче по исследованию особенностей спин-волновых возбуждений в магнитных микроструктурах, представляет собой законченную научно-квалификационную работу с высоким уровнем научной новизны и значимости полученных результатов. Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 01.04.03 – «Радиофизика». Автореферат полно и правильно отражает её содержание. Диссертационная работа Сахарова В.К. удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Сахаров Валентин Константинович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 38 работ общим объёмом 9.525 п. л. (авторский вклад 3.84 п. л.), из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 13 работ. Список публикаций также включает 6 статей в сборниках трудов международных конференций и 19

тезисов докладов международных и всероссийских конференций, симпозиумов, семинаров и научных школ. В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Spin waves in meander shaped YIG film: Toward 3D magnonics / **V.K. Sakharov**, E.N. Beginin, Y.V. Khivintsev, A.V. Sadovnikov, A.I. Stognij, Yu.A. Filimonov, S.A. Nikitov // Appl. Phys. Letters. – 2020. – Vol. 117. – 022403, [1-5].

2. Магнитоупругие волны в субмикронных пленках ЖИГ, полученных ионно-лучевым распылением на подложках гадолиний-галлиевого граната / Ю.В. Хивинцев, **В.К. Сахаров**, С.Л. Высоцкий, Ю.А. Филимонов, А.И. Стогний, С.А. Никитов // Журн. техн. физики. – 2018. – Т. 88, вып. 7. – С. 1060-1066.

3. Standing spin waves in magnonic crystals / M. Mruczkiewicz, M. Krawczyk, **V.K. Sakharov**, Yu.V. Khivintsev, Yu.A. Filimonov, S.A. Nikitov // J. Appl. Phys. – 2013. – Vol. 113. – P. 093908, [1-12].

На диссертацию и автореферат поступило 10 положительных отзывов: из МИРЭА – Российского технологического университета от д.ф.-м.н. (01.04.10) Фетисова Ю.К.; из Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН от член-корреспондента РАН, д.ф.-м.н. (01.04.07) Ринкевича А.Б.; из Дальневосточного федерального университета от д.ф.-м.н. (01.04.07) Самардака А.С.; из Ульяновского государственного университета от д.ф.-м.н. (01.04.07) Семенцова Д.И. и д.ф.-м.н. (01.04.05) Елисейевой С.В.; из Калужского филиала ФГБОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана» от д.ф.-м.н. (01.04.11) Шагаева В.В.; из Института естественных наук и математики Уральского федерального университета от д.ф.-м.н. (01.04.11) Курляндской Г.В.; из Московского физико-технического института (национального исследовательского университета) от к.ф.-м.н. (01.04.10) Медникова А.М.; из «Центра Келдыша» (ГК Роскосмос) от к.ф.-м.н. (05.27.01) Матасова М.Д.; из Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина от к.ф.-м.н. (01.04.07) Макарова П.А.; из «НПП «Инжект» от к.ф.-м.н. (05.27.01) Козырева А.А..

В отзывах сделаны замечания об отсутствии в автореферате: подробного объяснения физических причин невзаимности в распространении поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ); описания того, проявляются ли внутренние ПМСВ в эксперименте и каким образом; объяснений характера поведения отклика пермаллоя в спектрах ферромагнитного резонанса, измеренных в зависимости от угла подмагничивания; объяснений несимметричного прохождения ПМСВ в железоиттриевом

гранате (ЖИГ) на кремнии; информации об особенностях метода микромагнитного моделирования и точности полученных расчётов; полного описания магнитных параметров структур ЖИГ/Si, ЖИГ/ГГГ; также сделаны замечания о пробелах в описании выбора параметров получения материалов, структурной и магнитной аттестации образцов и об избыточном употреблении аббревиатур в тексте.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в научной тематике, к которой относится диссертация, что подтверждается наличием публикаций в ведущих рецензируемых научных изданиях, а также отсутствием совместных с соискателем печатных работ. Выбор ведущей организации обусловлен широкой известностью её достижений в области радиофизики, электроники, физики магнитных наноструктур и спинтроники, способностью её сотрудников определить научную и практическую ценность представленной диссертации, что подтверждается наличием публикаций в ведущих рецензируемых научных изданиях. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**установлено**, что интеграция преобразователей спиновых волн на поверхностях субмикронных поликристаллических плёнок ЖИГ, полученных ионно-лучевым распылением на полупроводниковые и диэлектрические подложки, позволяет наблюдать эффекты распространения спиновых и магнитоупругих волн;

**обнаружено**, что спектры ферромагнитного резонанса и коэффициента прохождения ПМСВ в магнитных плёнках на подложках с решёткой из вытравленных канавок с периодом  $P$  и глубиной, превышающей толщину плёнки, демонстрируют эффекты квантования. В конфигурации Лауэ могут проявляться эффекты дискретной дифракции ПМСВ, приводящие к росту потерь ПМСВ с длиной волны  $> P/2$ ;

**установлено**, что в плёнках ЖИГ, полученных ионно-лучевым распылением на подложки кремния со слоем окисла, за счет влияния буферного слоя ЖИГ происходит усиление (на  $\approx 10$  дБ) эффекта невзаимности распространения ПМСВ и формирование дополнительных откликов в спектре ферромагнитного резонанса;

**определено**, что в спектрах ферромагнитного резонанса планарных периодических структур на основе тонких (50 нм) плёнок кобальта и пермаллоя с микронными размерами элементов могут наблюдаться линии поглощения, отвечающие латеральным резонансам спиновых волн в элементах из пермаллоя;

**установлено**, что в плёнках ЖИГ с параметром затухания спиновых волн  $\alpha > 10^{-2}$  эффекты динамического размагничивания и нагрева плёнки СВЧ-мощностью волны сдвигают спектр ПМСВ в область меньших частот, что приводит к качественным отличиям зависимостей амплитуды коэффициента прохождения от входной мощности для различных положений частоты ПМСВ и к необходимости учета этих особенностей при определении порога трёхмагنونного распада ПМСВ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**установлено** влияние буферного слоя в двуслойной поликристаллической плёнке ЖИГ и неоднородности распределения намагниченности по толщине плёнки ЖИГ на невзаимность распространения спиновых волн;

**доказано**, что дисперсионные кривые ПМСВ в длинноволновой области и положение длинноволновой границы ПМСВ в профилированных плёнках на основе ЖИГ могут быть описаны в рамках модели эффективной среды;

**изложены** результаты микромагнитного моделирования спин-волновых возбуждений в двухкомпонентных магнетонных кристаллах на основе кобальта и пермаллоя, а также в плёнках пермаллоя на подложках кремния с периодическим микро-рельефом;

**изучена** возможность квантования спектра ферромагнитного резонанса за счёт формирования аналога «потенциальных ям» полями, наведёнными решёткой из частиц кобальта в плёнке пермаллоя, на которую эта решётка частиц нанесена;

**применительно к проблематике диссертации** эффективно использованы современные методы моделирования спин-волновых возбуждений в магнитных микроструктурах и статических свойств таких структур.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны** способы увеличения невзаимности распространения ПМСВ в поликристаллических плёнках ЖИГ за счёт буферного слоя или неоднородного распределения намагниченности по толщине, которые рекомендуются использовать для построения СВЧ-вентилей, циркуляторов, направленных ответвителей, линий задержки и логических элементов.

**определены** магнитоупругие постоянные и константы магнитострикции изготовленных ионно-лучевым распылением плёнок ЖИГ на кремнии и на гадолиний-галлиевом гранате, и показано формирование гибридных магнитоупругих волн в данных структурах, что даёт возможность использования рассмотренных структур для создания устройств с акустической спиновой накачкой, устройств стрейнтроники;

**предложен** метод управления величиной анизотропного магнитосопротивления за счёт типа микроструктурирования и геометрических размеров элементов планарных периодических микроструктур на основе кобальта и пермаллоя, рекомендуемый к использованию при проектировании датчиков магнитного поля;

полученные в диссертации результаты использовались при выполнении грантов РФФИ (№№ 12-07-31155, 16-02-01073, 16-29-14058, 16-57-00135, 18-57-00008).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**идея работы базируется** на современных теоретических представлениях и экспериментальных результатах в области изучения спин-волновых возбуждений в магнитных микроструктурах;

**использованы** математические методы и подходы численного моделирования (пакеты программ OOMMF и MuMax), которые апробированы и хорошо себя зарекомендовали при проведении научных исследований в радиофизике для изучения спиновой динамики в микроструктурах;

**использовано** современное технологическое и измерительное оборудование, обоснованы условия проведения экспериментов, показана воспроизводимость результатов исследования;

**установлено** качественное и количественное соответствие полученных автором результатов моделирования и экспериментов по изучению особенностей спин-волновых возбуждений в магнитных микроструктурах, и их непротиворечивость известным теоретическим и экспериментальным результатам, опубликованным в отечественных и зарубежных рецензируемых научных изданиях.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты, включенные в диссертацию, получены лично соискателем. Исследуемые в работе структуры изготавливались непосредственно соискателем за исключением этапа нанесения плёнок ЖИГ. Все защищаемые результаты экспериментов получены лично соискателем. Микромагнитное моделирование дисперсионных характеристик в плёнках ЖИГ с неоднородным распределением намагниченности по толщине и в профилированных плёнках ЖИГ, расчёт спектров собственных колебаний в исследуемых структурах проводилось лично соискателем.

Результаты работы рекомендуются к использованию в научных и производственных организациях, занимающихся исследованием физических явлений в магнитных микро- и наноструктурах: в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва и его филиалах в г. Саратове и Фрязино; Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург; Институте фи-

зики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург; Институте физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород; Российском квантовом центре, г. Москва, ОАО «Завод Магнетон», г. Санкт-Петербург, АО «НПП Фаза», г. Ростов-на-Дону, АО «НПП "Исток" им. Шокина», г. Фрязино; а также в высших учебных заведениях, ведущих подготовку специалистов по названному направлению: СГУ имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск и др..

В диссертации решена актуальная задача радиофизики, заключающаяся в определении особенностей спин-волновых возбуждений в интегральных микроструктурах на основе поликристаллических плёнок ЖИГ и ферромагнитных металлов на полупроводниковых подложках, перспективных для создания устройств магноники, в которых в качестве переносчика информации выступают спиновые волны. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 25 марта 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Сахарову В.К. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 20 человек (15 человек находились в месте проведения заседания, 5 человек участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 6 докторов по специальности 01.04.03 – «Радиофизика», участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
Ученый секретарь  
диссертационного совета



Аникин Валерий Михайлович  
Слепченков Михаил Михайлович

25 марта 2021 г.