

**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 15 ноября 2024 г., № 12

**О присуждении Шайхулову Тимур Айратовичу, гражданину России,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Создание и исследование свойств  
эпитаксиальных пленок манганита лантана и гетероструктур на их основе»  
принята к защите 6 сентября 2024, протокол № 7, 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 Рособнадзора 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 Шайхулов Тимур Айратович, 1993 года рождения, в 2017 году  
Шайхулов Тимур Айратович окончил Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Московский  
государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ имени  
Н.Э. Баумана) по специальности «Техническая физика» с присвоением  
квалификации «магистр».

С октября 2018 г. по сентябрь 2022 г. Шайхулов Тимур Айратович обучался  
в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова  
Российской академии наук по специальности 01.04.07 – «Физика  
конденсированного состояния». Справка о сдаче кандидатских экзаменов  
выдана в 2024 году Отделом аспирантуры, докторантуры и стажировки  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

В настоящее время работает в лаб. № 230 «Магنونной 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 №233 «Физических основ  
функциональной тонкопленочной оксидной электроники» ФГБУН Институт  
радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

**Научный руководитель – Овсянников Геннадий Александрович,**  
доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник  
лаборатории Физических основ функциональной тонкопленочной оксидной  
электроники (лаборатория № 233) Федерального государственного бюджетного



учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

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

**Мария Александровна Морозова** - доктор физико-математических наук профессор кафедры нелинейной физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского.»

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", **в своем положительном отзыве**, подписанном Юсуповым Романом Валерьевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой квантовой электроники и радиоспектроскопии института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", и утвержденном первым проректором – проректором по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», профессором, доктором физико-математических наук, Таюрским Дмитрием Альбертовичем, **указала**, что диссертация Шайхулова Тимура Айратовича «Создание и исследование свойств эпитаксиальных пленок манганита лантана и гетероструктур на их основе» является завершенным научным трудом и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Шайхулов Т.Д., **достоин** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния».

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В формулировке первого защищаемого положения, на наш взгляд, требуется четкое обозначение направления генерируемого в условиях ферромагнитного резонанса (спиновой накачки) спинового тока по отношению к гетероструктуре.

2. Насколько обоснованным и физичным, на взгляд автора, является использование такой макроскопической характеристики, как объемное удельное сопротивление, для описания свойств граничного (интерфейсного) слоя в гетероструктурах  $\text{SrIrO}_3$  и  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  во втором защищаемом положении и разделе 4.2?

3. В формулировке третьего защищаемого положения не указывается явно, зависимости поля одноосной магнитной анизотропии *от какой величины* имеют немонотонный характер.

4. Диссертация содержит довольно большое количество рентгеновских дифрактограмм синтезированных эпитаксиальных структур, однако ни в главе 1



(стр. 1-17), ни в главе 2 (стр. 42-43) не приведена необходимая для понимания представленных данных информация о симметрии и величине постоянной (постоянных) кристаллической решетки объемных равновесных манганита  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  и подложки  $\text{NdGaO}_3$ .

5. При обсуждении магнитной доменной структуры тонких пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  и ее эволюции с изменением толщины (стр. 45-47) сильно не хватает данных по магнитным свойствам этих пленок: ферромагнитны они или нет, какова форма кривых перемагничивания и какова магнитная анизотропия. Без принятия таких данных в рассмотрение трактовка результатов по магнитно-силовой микроскопии (МСМ) не представляется однозначной, поскольку вся информация, доступная для МСМ – это контраст в величине перпендикулярной компоненты намагниченности.

6. В разделе 2.3 (стр. 47) автором представлены зависимости констант одноосной и кубической магнитной анизотропии пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  от их толщины. Однако, на наш взгляд, недостаточно подробно описано, как эти величины были получены: не приведены спектры ФМР, их ориентационные зависимости с соответствующими аппроксимациями. Читателю предлагается принять на веру эти величины, что для экспериментаторов непривычно и затруднительно.

7. Обозначение кристаллографического направления [100] на панелях а и б рисунка 20 неверно, должно быть [001].

8. На рисунке 21 отсутствуют значения величин приложенного электрического поля для трех кривых, а в подписи отсутствует соотношение с цветами кривых.

9. Отсылки к панелям а-в рисунка 22 в тексте на стр. 59 не согласуются с данными, представленными на рисунке.

10. На рисунке 35 (стр. 76) по оси абсцисс вместо ожидаемого магнитного поля показана температура.

По результатам диссертационного исследования **опубликованы** 22 научные работы, в том числе: 6 статей – в журналах, вошедших в Перечень изданий, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ, 9 статей – в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, 7 работ – в трудах международных и российских конференций.

#### Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Demidov V.V. Observation of ferromagnetism in a thin  $\text{SrIrO}_3$  film contacting with a  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  film / V.V. Demidov, N.V. Andreev, T.A. Shaikhulov, G.A. Ovsyannikov // Journal of magnetism and magnetic material –2020. – V. 497. – P. 165979.

2. Ovsyannikov G.A. Magnetism at an iridate/manganite interface: Influence of strong spin-orbit interaction / G.A. Ovsyannikov, T.A. Shaikhulov, K.L. Stankevich, Yu. Khaydukov, N.V. Andreev // Phys. Rev. B. – 2020. – V. 102, № 14. – P. 144401.

3. Ovsyannikov G.A. Spin current and spin waves at a platinum/yttrium iron garnet interface: impact of microwave power and temperature / G.A. Ovsyannikov, K.Y. Constantinian, K.L. Stankevich, T.A. Shaikhulov, A.A. Klimov // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2021.–V.54, № 36. – P. 365002.



4. Atsarkin V. A. Temperature dependence of pure spin current and spin-mixing conductance in the ferromagnetic—normal metal structure / V.A. Atsarkin, I.V. Borisenko, V.V. Demidov, T.A. Shaikhulov // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2018. – V. 51. – P. 245002.

5. Шайхулов, Т.А. Магнитные и резистивные свойства гетероструктур манганит/иридат / Т.А. Шайхулов, Г.А. Овсянников, В.В. Демидов, Н.В. Андреев // *Журнал экспериментальной и теоретической физики.* – 2019. – Т.156, № 1. – С. 135-139.

6. Ацаркин, В. А. Влияние намагниченности на эффективность спиновой накачки в двухслойной структуре ферромагнетик-нормальный металл / В.А. Ацаркин, В.В. Демидов, Т.А. Шайхулов // *Журнал экспериментальной и теоретической физики.* – 2020. – Т. 157, № 2. – С. 272-280.

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

На автореферат диссертации поступили отзывы из:

- Из Института физических проблем имени П. Л. Капицы РАН от к.ф.м.н., старшего научного сотрудника Дровосекова А.Б. Отзыв положительный.
- Из ИПТИ РТУ МИРЭА от к.ф.м.н., старшего научного сотрудника Бурякова А.М. Отзыв положительный. (замечания: На рисунке 1 представлены зависимости магнитно-силового отклика от толщины тонких пленок LSMO. В частности, на рисунке 1а показано, что для пленки толщиной 30 нм сигнал отсутствует. В методике магнитно-силовой микроскопии контрастность изображения определяется коэрцитивным полем зонда, который может переключать исследуемый слой. Возможно отсутствие сигнала связано с низким коэрцитивным полем для данной толщины пленки, что подтверждается данными на рисунке 2. Следовало бы более подробно рассмотреть причины отсутствия сигнала для пленки толщиной 30 нм, учитывая особенности МСМ и возможного влияния зона. К сожалению, возможно из-за краткости изложения в автореферате не представлен механизм генерации спинового тока в гетероструктуре SIO/LSMO что затрудняет полное понимание физического процесса лежащего в основе работы. Так же на рисунке 8 отсутствуют значения оси ФМР.
- Из ЦМН МФТИ от д.ф.м.н., главного научного сотрудника, директора центра перспективных методов мезофизики и нанотехнологий Столярова В.С. Отзыв положительный (замечания: небрежность оформления картинок).
- Из ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева от к.ф.м.н., Морозова А.В, Отзыв положительный (замечания: качество представленных рисунков в тексте).

**Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:**  
**Владимира Игоревича Белотелова-** доктора физико-математических наук, профессора РАН, доцента кафедры фотоники и физики микроволн Физического



факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, является руководителем группы «Магнитоплазмоника и сверхбыстрый магнетизм» Российского квантового центра. Владимир Игоревич хорошо известен своими научными исследованиями в области нанофотоники, магнитооптики, плазмоники и сверхбыстрого магнетизма. Полученные ученым результаты в области магнитоплазмоники и сверхбыстрого магнетизма имеют как важное фундаментальное, так и огромное практическое значение, поскольку могут радикальным образом изменить концепции конструирования оптических компонент различных устройств и тем самым привести к революции в информационно-телекоммуникационных и сенсорных технологиях.

**Марии Александровны Морозовой**- доктора физико-математических наук, профессора кафедры нелинейной физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского.» Мария Александровна является высококвалифицированным специалистом в области волновых явлений в магнитных материалах и многослойных ферромагнитных структурах.

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 автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" известно своими работами в области магнитного резонанса. Многочисленные работы его сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:** Обнаружен ряд новых физических эффектов. В гетероструктурах  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  в режиме ферромагнитного резонанса на частотах 2.6 ГГц и 9.6 ГГц возникает спиновый ток. В структурах  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{SrIrO}_3$  образуется граничный слой с низким удельным сопротивлением. Величина удельного сопротивления для гетероструктуры  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  равна  $\rho_1 = 5 \cdot 10^{-6}$  Ом·см, величина удельного сопротивления для гетероструктуры  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{SrIrO}_3$  равна  $\rho_1 = 6 \cdot 10^{-5}$  Ом·см. Для пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ , выращенных на монокристаллических подложках  $\text{NdGaO}_3$  с ориентацией (110), в диапазоне толщин до 150 нм зависимости поля магнитной одноосной анизотропии имеют немонотонное поведение с максимум магнитного поля  $H_u = 147$  Э поля при 75 нм. Ферромагнитное упорядочение слоя  $\text{SrIrO}_3$  в гетероструктуре  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  возникает при температурах ниже 60 К.



**Теоретическая значимость исследования:** Впервые обнаружена генерация спинового тока в гетероструктуре  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ , обнаружено магнитное упорядочение в пленке иридата, которая являлась верхней частью гетероструктуры  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ . Полученные в работе научные результаты могут быть в дальнейшем использованы при разработке и конструировании элементной базы спинтроники на основе исследованных наноструктур. Обнаруженные в рамках настоящей работы зависимости сопротивления от подаваемого напряжения для пленки  $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{MnO}_3$ , выращенной на пьезоэлектрической подложке  $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  могут быть использованы при создании логических элементов и элементов памяти в устройствах спинтроники.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:** полученные в работе научные результаты могут быть в дальнейшем использованы при разработке и конструировании элементной базы спинтроники на основе исследованных наноструктур. Обнаруженная в рамках настоящей работы зависимость сопротивления от подаваемого напряжения для пленки  $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{MnO}_3$ , выращенной на пьезоэлектрической подложке  $\text{PbMg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  могут быть использованы при создании логических элементов и элементов памяти в устройствах спинтроники.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** Для изучения магнитных свойств эпитаксиальных пленок и гетероструктур использовались хорошо отлаженные методы ферромагнитного резонанса и магнитно-силовой микроскопии. Для исследования электронных транспортных свойств использовались методы резистивных измерений.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается их воспроизводимостью, согласованностью с результатами других авторов, использованием современного оборудования и стандартных математических методов обработки данных.

Основные результаты диссертационного исследования были опубликованы в ведущих международных и российских журналах, а также апробированы на специализированных международных и отечественных конференциях.

**Личный вклад соискателя состоит в том, что** автор разработал и оптимизировал метод синтеза тонких пленок, провел измерения спинового тока и ферромагнитного резонанса на гетероструктуре, включенной в микроплосковую линию, измерил резистивные характеристики пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ,  $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{MnO}_3$ . Автором была проведена обработка и интерпретация результатов эволюции доменной структуры в пленках  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  и зависимости магнитных анизотропий в пленках  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ . Автор провел расчет экспериментальной зависимости проводимости границы гетероструктур  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  и  $\text{Pt}/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ .



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

На заседании 15 ноября 2024 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, развивающей представление о магнитных и транспортных свойствах эпитаксиальных пленок  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ,  $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{MnO}_3$  и гетероструктур  $\text{SrIrO}_3/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ ,  $\text{Pt}/\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  присудить Шайхулову Т.А. 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 13 человек, из которых 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – все, 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

«15» ноября 2024 г.

