

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10.10.2025 г. № 11
о присуждении Бондареву Илье Александровичу,
гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Влияние магнитного поля на латеральный фотовольтаический эффект в гибридных структурах $\text{Fe}/\text{SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn}/\text{SiO}_2/\text{n-Si}$ » по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 20.06.2025 г. (протокол заседания №8) диссертационным советом 24.1.228.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), 660036 Красноярск, Академгородок, д. 50, приказ Минобрнауки № 1513/нк от 25.11.2016 г.

Соискатель Бондарев Илья Александрович, 05 марта 1993 года рождения, в 2021 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», по профилю 01.04.11 «Физика магнитных явлений». Работает младшим научным сотрудником в лаборатории радиоспектроскопии и спиновой электроники Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории радиоспектроскопии и спиновой электроники Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН.

Научный руководитель – *Волков Никита Валентинович*, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по общим вопросам Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Телегин Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией магнитных полупроводников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук;
Терещенко Олег Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией физики и технологии гетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН) в своем положительном отзыве, подписанным Грузневым Дмитрием Вячеславовичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лабораторией технологии полупроводников и диэлектриков, утвержденном исполняющий обязанности директора Сараниным Александром Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, член-корреспондентом РАН, указала, что диссертационная работа И. А. Бондарева является законченным исследованием, выполненном на высоком научно-техническом уровне и вносящим весомый вклад в развитие новых электронных устройств на основе гибридных структур, работа которых основана на комплексном использовании их фото- и магнитотранспортных свойств.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ.

1. Volkov, N.V. Magnetic field-driven lateral photovoltaic effect in the Fe/SiO₂/p-Si hybrid structure with the Schottky barrier / N.V. Volkov, M.V. Rautskii, A.S. Tarasov, I.A. Yakovlev, I.A. Bondarev, A.V. Lukyanenko, S.N. Varnakov, S.G. Ovchinnikov // Phys. E. – 2018. – Vol. 101. – P. 201–207.

2. Volkov, N.V. Magneto-transport phenomena in metal/SiO₂/n(p)-Si hybrid structures / N.V. Volkov, A.S. Tarasov, M.V. Rautskii, A.V. Lukyanenko, I.A. Bondarev, S.N. Varnakov, S.G. Ovchinnikov // J. Magn. Magn. Mater. – 2018. – Vol. 451. – P. 143–158.

3. Bondarev, I.A. Lateral photovoltaic effect in silicon-based hybrid structures under external magnetic field / I.A. Bondarev, M.V. Rautskii, N.V. Volkov, A.V. Lukyanenko, I.A. Yakovlev, S.N. Varnakov, A.S. Tarasov // Mater. Sci. Semicond. Process. – 2023. – Vol. 167. – P. 107786.

4. Bondarev, I.A. Magnetic field sensitive diffusion-driven photovoltaic effect in Mn/SiO₂/n-Si / I.A. Bondarev, M.V. Rautskii, N.V. Volkov, A.V. Lukyanenko, I.A. Yakovlev, S.N. Varnakov, A.S. Tarasov // Mater. Sci. Semicond. Process. – 2025. – Vol. 188. – P. 109237.

5. Bondarev, I.A. Study of the photovoltage in Mn/SiO₂/n-Si MOS structure at cryogenic temperatures / I.A. Bondarev, M.V. Rautskii, I.A. Yakovlev, M.N. Volochaev, A.V. Lukyanenko, A.S. Tarasov, N.V. Volkov // Semiconductors. – 2019. – Vol. 53. – P. 1954–1958.

6. Volkov, N.V. Magnetotransport phenomena and spin accumulation in MIS structures / N.V. Volkov, A.S. Tarasov, D.A. Smolyakov, A.O. Gustaitsev, M.V. Rautskii, A.V. Lukyanenko, M.N. Volochaev, S.N. Varnakov, I.A. Yakovlev, S.G. Ovchinnikov // AIP Adv. – 2017. – Vol. 7. – P. 015206.

7. Smolyakov, D.A. Influence of metal magnetic state and metal-insulator-semiconductor structure composition on magnetoimpedance effect caused by interface states / D.A. Smolyakov, A.S. Tarasov, I.A. Yakovlev, A.N. Masyugin, M.N. Volochaev, I.A. Bondarev, N.N. Kosyrev, N.V. Volkov // Thin Solid Films. – 2019. – Vol. 671. – P. 18–21.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация (ИАПУ ДВО РАН). Отзыв положительный. Замечания:

1. Автором диссертации на 33-й странице вводится такой параметр как LPV и при этом он никак не расшифровывается. Хотя измерению этого параметра посвящена значительная часть работы. 2. Для более качественного сравнительного анализа экспериментальных данных для пленок разных металлов, автору работы стоило бы использовать подложки полупроводника одного типа проводимости, а также пленки металлов одинаковой толщины. 3. Отсутствует обсуждение свойств проводимости кремния в низкотемпературной области, хотя там наблюдаются критические переходы, связанные с примесными центрами, что для проводимого исследования весьма важно. 4. Зависимость LPV для Mn/SiO₂/n-Si (Рис.36) объясняется образованием фазы силицида марганца, обладающей ферромагнитными свойствами. Однако, на снимке просвечивающей микроскопии (Рис.19(b)) отмечается образование только фазы оксида марганца. Почему MnSi не наблюдается просвечивающей микроскопией? 5. При обсуждении магнитооптических свойств структуры Mn/SiO₂/Si, к сожалению, не используется петля гистерезиса, приведенная на рис. 41. Кроме того, было бы полезно сравнить ее с петлей гистерезиса структуры MnSi/Si. 6. ПЭМ изображения демонстрируют наличие оксидов марганца (Рис.19(b)), которые могут быть и полупроводниками, причем магнитными. Однако, в обсуждении магнитные свойства оксида марганца не рассматриваются. 7. Для зависимости LPV для Mn/SiO₂/n-Si (Рис.28) отсутствует объяснение максимума LPV в области 500-600 нм. Можно ли говорить о проявлении полупроводниковых свойств оксида марганца, у которого ширина запрещенной зоны 1.5 эВ?

К.ф.-м.н. Телегин Андрей Владимирович – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания:

1. В работе упоминается образование ферромагнитной фазы MnSi на границе раздела структуры Mn/SiO₂/n-Si, что используется для интерпретации данных низкополевого гистерезиса ЛФЭ. Однако прямых доказательств (например, данных РФЭС или ПЭМ с элементным анализом именно для этой конкретной структуры или образца) такого образования не приведено. Данные по отдельно выращенной пленке MnSi можно рассматривать только как косвенные доказательства. 2. Механизм влияния магнитного поля через сдвиг энергетических уровней по-

верхностных состояний, безусловно, интересен. Однако он описан только качественно. Было бы полезно видеть более глубокое теоретическое обоснование или оценку величины этого сдвига в рамках известных моделей (например, с учетом зеемановского расщепления). 3. В выводах упоминается, что сила Лоренца не может объяснить все низкотемпературные особенности, но детальный количественный вклад разных механизмов (сила Лоренца, сдвиг уровней, влияние магнитного порядка) в полевую зависимость ЛФЭ в различных температурных режимах не приведен. 4. В работе нет исследований зависимости ЛФЭ от формы (профиля) или размера светового пятна, геометрии освещения и поляризации излучения, отсутствуют оценки глубины скин-слоя в металле, что является важным для контроля механизмов ЛФЭ. 5. Хотя в работе изучаются ферромагнитные материалы (Fe), анализ ограничивается макроскопическими магнитными свойствами без обсуждения спин-поляризованного транспорта. Упоминание «спин-зависимого рассеяния» носит гипотетический характер без экспериментального подтверждения. Такой неучет спин-зависимых и поляризационных (п. 4) эффектов ограничивает полноту исследования ЛФЭ. 6. В тексте встречаются опечатки и стилистические ошибки.

Д.ф.-м.н., проф., Терещенко Олег Евгеньевич – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания:

1. Наблюдаемая низкополевая особенность в виде двух пиков предположительно объяснена влиянием ферромагнитного упорядочения плёнки железа на фотовольтаический эффект. Для большей убедительности и выявления относительного влияния внешнего магнитного поля и магнитного слоя, было бы резонно изготовить гетероструктуру с металлом, создающим близкий по величине барьер Шоттки, но не обладающим магнитными свойствами. Все ли плёнки получались магнитными? И, если нет, каковы были отличия в фотовольтаических измерениях? 2. Вывод о том, что для качественного описания экспериментальных данных необходимо учитывать зависимость глубины поглощения фотонов, является очевидным, однако, вероятно, правильнее рассматривать и учитывать относительную зависимость глубины поглощения, длины диффузии неосновных носителей, ширины ОПЗ, толщины образца. 3. Первое предложение второго пункта основных ре-

зультатов является правильным, но, скорее всего, это утверждение можно приписать самому Хендрику Лоренцу. 4. В некоторых случаях фотонапряжение нормировано на удельную мощность оптического излучения, а в других – нет. Это затрудняет сравнение графиков из разных разделов. 5. Обидная опечатка в п. 2 «Основные научные положения»: «...приводит с существенному...». 6. Нарушена синхронизация страниц «содержания» и текста. Диссертация имеет пустые страницы и большие пробелы.

К.ф.-м.н. Деревянко Михаил Сергеевич; к.ф.-м.н. Букреев Дмитрий Александрович. Отзыв положительный. Замечания:

1. В тексте встречаются опечатки (напр. стр. 15 «контатами» вместо «контактами»; стр. 5 «фотогенрированных» вместо «фотогенерированных»), а также лишние запятые, усложняющие восприятие текста. 2. Отсутствует единообразие в использовании англо- и русскоязычных сокращений (LPV, TPV, ЛФЭ, ЛФН).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами и реализуемых в ведущей организации, тематике представленной диссертационной работы, наличием публикаций и высоких достижений в соответствующей области исследований.

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном соискателем исследовании:

- Впервые исследован эффект латерального фотонапряжения в структурах металл/SiO₂/p(n)-Si в низкотемпературном диапазоне ($T < 40$ K).
- Установлено, что в исследованных структурах (с низким значением барьера Шоттки) фотовольтаический эффект в основном определяется диффузией неравновесных носителей заряда.
- Продемонстрировано, что зависимость фотовольтаического эффекта от длины волны излучения может быть качественно описана при учёте глубины поглощения света и квантовой эффективности подложки.
- Показана роль электронных состояний, локализованных вблизи границы раздела SiO₂/Si, в транспорте фотовозбуждённых носителей заряда. Эти состояния влияют на рекомбинацию неравновесных носителей посредством захвата и эмиссии фото-

возбуждённых электронов, что приводит к появлению особенностей на температурных и спектральных зависимостях фотовольтаического эффекта.

– Установлено наличие нетривиального влияния магнитного поля на фотовольтаический эффект при $T < 30$ К. Высказано предположение, что это влияние выражается в смещении энергетических уровней поверхностных состояний, участвующих в транспорте фотогенерированных носителей заряда. При этом в области низкотемпературных максимумов фотонапряжения величина фотовольтаического эффекта под действием магнитного поля может изменяться в несколько раз.

– Обнаружена корреляция между магнитными свойствами металлической плёнки и полевыми зависимостями фотонапряжения в структуре Fe/SiO₂/p-Si, что указывает на влияние магнитного состояния плёнки железа на фотонапряжение. Выявлены особенности поведения полевой зависимости латерального фотонапряжения в структуре Mn/SiO₂/p-Si, которые предположительно обусловлены наличием ферромагнитного моносилицида марганца, формирующегося на границе раздела SiO₂/Si.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что результаты проведённых исследований предоставляют новую информацию о транспорте фотогенерированных носителей заряда в гибридных структурах, и, в частности, о механизмах влияния магнитного поля на фотовольтаический эффект.

Значение результатов исследования для практики обусловлено тем, что полученные данные помогают сформировать представление о преимуществах/недостатках использования различных материалов в качестве фотовольтаических устройств, а также позволяют оптимизировать значения длины волны и мощности оптического излучения при проектировании устройств на основе фотовольтаического эффекта.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных технологий синтеза образцов и использованием высокоточного измерительного оборудования. Полученные в ходе работы результаты не противоречат литературным данным и соответствуют современным физическим представлениям.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики исследования фотовольтаического эффекта в гибридных структурах Fe/SiO₂/p-Si и Mn/SiO₂/n-Si, проведении экспериментов, а также в обработке и интерпретации полученных

данных. Все результаты, представленные в диссертации, получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 10.10.2025 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержит решение научной задачи, имеющей значение для развития физики магнитных явлений, соответствует критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, и принял решение присудить Бондареву И. А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 19, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 24.1.228.01

д.ф.-м.н., академик РАН

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.1.228.01

д.ф.-м.н., с.н.с



Шабанов Василий
Филиппович

Втюрин Александр
Николаевич

10 октября 2025 года