

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бондарева Ильи Александровича
«Влияние магнитного поля на латеральный фотовольтаический эффект в гибридных
структурах Fe/SiO₂/p-Si и Mn/SiO₂/n-Si»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Диссертация И. А. Бондарева посвящена исследованию различных механизмов влияния магнитного поля на фотоиндуцированный транспорт носителей заряда в гибридных структурах металл/диэлектрик/полупроводник. Решение поставленной задачи необходимо для выяснения понимания механизмов транспорта фотогенерированных носителей заряда в МДП структурах и влияния магнитного поля и магнитных свойств металла на фотовольтаический эффект, что и определяет **актуальность работы**.

Научная новизна работы соискателя состоит, прежде всего, в установлении корреляции между магнитными, оптическими и транспортными свойствами исследуемых структур.

О достоверности результатов можно судить по сопоставлению экспериментальных данных, полученных различными методами, а также совпадению данных, полученных соискателем, с данными других исследователей. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на российских и международных конференциях и опубликованы в ведущих отечественных журналах.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 119 страниц и включает 44 рисунка, 1 таблицу и 90 библиографических наименований.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность, сформулированы основные цели исследования. Обозначена научная новизна и практическая ценность работы, приводятся положения и результаты, выносимые автором на защиту.

Первая глава является литературным обзором, в котором рассмотрены основные виды фотоэффектов. Особое внимание уделено латеральному фотовольтаическому эффекту в гибридных структурах металл/диэлектрик/полупроводник. Приведён обзор научных работ, посвящённых влиянию различных элементов гибридных структур на латеральный фотовольтаический эффект. Рассмотрены механизмы влияния магнитного поля на латеральный фотовольтаический эффект в гибридных структурах.

Вх. № 287-03/6224/48
от 11.09.2025 г.

Во второй главе описана технология подготовки образцов для исследования фотовольтаического эффекта в гибридных структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$. Приводятся характеристики экспериментальной установки. Выполнен учёт термоэлектрических эффектов на измеряемые в эксперименте величины.

Третья глава посвящена обсуждению результатов исследования латерального и поперечного фотовольтаического эффекта в гибридных структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$. Рассмотрены механизмы генерации фотовольтаических эффектов, отклик фотонапряжения на изменение таких параметров как магнитное поле, длина волны, температура и мощность излучения. Особое внимание уделено механизмам влияния магнитного поля на транспорт фотогенерированных носителей заряда.

В первом разделе главы обсуждаются механизмы возникновения ЛФЭ, и экспериментальные зависимости фотонапряжения в структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$ от длины волны оптического излучения. В разделе также разбирается общий механизм влияния магнитного поля на ЛФЭ и приводятся результаты моделирования латерального фотонапряжения (LPV) в структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$.

Второй раздел посвящён анализу комплексного влияния мощности излучения и магнитного поля на фотонапряжение. Обсуждается связь ЛФЭ с магнитным упорядочением в структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$.

В третьем разделе рассматриваются температурные зависимости фотонапряжения. Приводятся данные, подтверждающие наличие поверхностных состояний в структурах $\text{Fe/SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn/SiO}_2/\text{n-Si}$, локализованных на границе раздела SiO_2/Si . Обсуждаются механизмы влияния поверхностных состояний на ЛФЭ, и на магнитный отклик фотонапряжения.

В заключении сформулированы основные результаты исследования и выводы.

Из вышесказанного следует, что автором выполнен большой объём исследовательских работ и получен ряд новых результатов. Работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием современных методов физических исследований. Достоверность полученных результатов следует из высокого экспериментального уровня, на котором проводились исследования, воспроизводимости результатов и их соответствия данным, полученным другими исследователями.

Материалы диссертации опубликованы. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Хотя в целом работа написана обстоятельно и четко, по диссертации можно сделать следующие 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 пленки 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 результатов является правильным, но, скорее всего, это утверждение можно приписать самому Хендрику Лоренцу. Мелкие замечания:
- 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.

Отмеченные недостатки не затрагивают основных выводов и защищаемых положений диссертации и не снижают хорошее впечатление от работы. Рассматриваемая диссертация «Влияние магнитного поля на латеральный фотовольтаический эффект в гибридных структурах $\text{Fe}/\text{SiO}_2/\text{p-Si}$ и $\text{Mn}/\text{SiO}_2/\text{n-Si}$ » является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком уровне. Особенно хотелось бы отметить умение автора И. А. Бондарева сочетать экспериментальную работу, выполняемую на высоком уровне, с последующей математической обработкой данных, наблюдавшихся в экспериментах. Практическая значимость работы обусловлена выбором исследуемых материалов и предоставленной новой информацией о транспорте фотогенерированных носителей заряда в гибридных структурах.

Совокупность представленных результатов и сформулированных автором выводов позволяют сделать вывод, что диссертационная работа «Влияние магнитного поля на латеральный фотовольтаический эффект в гибридных структурах Fe/SiO₂/p-Si и Mn/SiO₂/n-Si» И. А. Бондарева соответствует требованиям установленным пп. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Бондарев Илья Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор РАН, 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 (ИФП СО РАН), Терещенко Олег Евгеньевич.

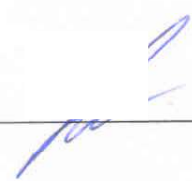
«11» сентября 2025 г.

Ученый секретарь ИФП СО РАН
кандидат физико-математических наук





О.Е. Терещенко



С.А. Аржанникова

Сведения об официальном оппоненте

Ф.И.О.: Терещенко Олег Евгеньевич.

Учёная степень и шифр специальности: доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Учёное звание: профессор.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН), лаборатория физики и технологии гетероструктур.

Должность: ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией физики и технологии гетероструктур.

Почтовый адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13

E-mail: teresh@isp.nsc.ru

Тел.: +7 (383) 330-78-83

Список работ по теме диссертации за последние пять лет (2021-2025):

1. O. E. Tereshchenko, V. V. Bakin, S. A. Stepanov, V. A. Golyashov, A. S. Mikaeva, D. A. Kustov, V. S. Rusetsky, S. A. Rozhkov, H. E. Scheibler, A. Yu. Demin. Direct Spin-Imaging Detector Based on Freestanding Magnetic Nanomembranes // Phys. Rev. Lett. – 2025. – V.134. – P. 157002.
2. V. S. Rusetsky, V. A. Golyashov, A. V. Mironov, A. Y. Demin, O. E. Tereshchenko. Photoemission properties of a multialkali photocathode // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2021. – V. 57. – №. 5. – P. 505-510.
3. D. A. Estyunin, E. F. Schwier, S. Kumar, K. Shimada, K. Kokh, O. E. Tereshchenko, A. M. Shikin. Features and applications of the energy shift of the topological surface state // Physical Review B. – 2022. – V. 105. – №. 12. – P. 125303.
4. V. S. Rusetsky, V. A. Golyashov, S. V. Eremeev, D. A. Kustov, I. P. Rusinov, T. S. Shamirzaev, O. E. Tereshchenko. New spin-polarized electron source based on alkali antimonide photocathode // Physical Review Letters. – 2022. – V. 129. – №. 16. – P. 166802.
5. V. S. Rusetsky, V. A. Golyashov, D. A. Kustov, A. V. Mironov, A. Y. Demin, O. E. Tereshchenko. Photoemission and Injection Properties of Combined Multialkali and III–V NEA Photodiodes: Spin-polarized Source and Spin-detector // Proceedings of the 24th International Spin Symposium (SPIN2021). – 2022. – P. 021207.

6. V. A. Golyashov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko. Transport properties of $(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{Te}_3$ topological insulator crystals with lateral pn junction // *Physical Review Materials*. – 2023. – V. 7. – №. 12. – P. 124204.
7. D. A. Glazkova, D. A. Estyunin, A. S. Tarasov, N. N. Kosyrev, V. A. Komarov, G. S. Patrin, V. A. Golyashov, O. E. Tereshchenko, K. A. Kokh, A. V. Koroleva, A. M. Shikin. Investigation of Surface Magnetism in Systems Based on MnBi_2Te_4 Using the Magneto-Optical Kerr Effect // *Crystallography Reports*. – 2024. – V. 69. – №. 1. – P. 79-84.
8. I. I. Klimovskikh, S. V. Ereemeev, D. A. Estyunin, S. O. Filnov, K. Shimada, V. A. Golyashov, N. Yu. Solovova, O. E. Tereshchenko, K. A. Kokh, A. S. Frolov, A. I. Sergeev, V. S. Stolyarov, V. Mikšić Trontl, L. Petaccia, G. Di Santo, M. Tallarida, J. Dai, S. Blanco-Canosa, T. Valla, A. M. Shikin, E. V. Chulkov. Interfacing two-dimensional and magnetic topological insulators: Bi bilayer on MnBi_2Te_4 -family materials // *Materials Today Advances*. – 2024. – V. 23. – P. 100511.
9. A. M. Shikin, D. A. Estyunin, N. L. Zaitsev, T. P. Estyunina, A. V. Eryzhenkov, A. G. Rybkin, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, T. Iwata, K. Kuroda, K. Miyamoto, T. Okuda, K. Shimada, A. V. Tarasov. Spin texture tunability in $\text{Mn}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Bi}_2\text{Te}_4$ through varying Ge concentration // *Physical Review B*. – 2025. – V. 111. – №. 11. – P. 115158.
10. O. E. Tereshchenko, S. A. Pshenichnyuk, N. L. Asfandiarov, R. G. Rakhmееv, V. A. Golyashov, V. S. Rusetsky, V. V. Bakin, H. E. Shaibler, S. A. Rozhkov D. A. Kustov. Semiconductor Sources and Spin-Polarized Electron Detectors in Studies of Resonant Electron Scattering // *Instruments and Experimental Techniques*. – 2025. – V. 68. – №. 1. – P. 70-77.

Доктор физико-математических наук, профессор РАН, 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, Терещенко Олег Евгеньевич.

«11» сентября 2025г.

Ученый секретарь ИФП СО РАН
кандидат физико-математических наук



О.Е. Терещенко

С.А. Аржанникова