

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Учреждения образования

«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»



В. А. Богуш

24 ноября 2025 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации – Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», на диссертационную работу АРТЮХА Евгения Александровича «Электротранспортные и гальваномагнитные свойства $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Е. А. Артюха содержит результаты выполненного им экспериментального исследования и моделирования закономерностей влияния состава и структуры твердых растворов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, полученных методом твердофазных реакций, на их электротранспортные и гальваномагнитные свойства. Эти исследования представляют фундаментальный научный интерес для понимания механизмов переноса носителей заряда в таких материалах и их взаимосвязи со структурой, и фазовым составом. Высокая степень спиновой поляризации свободных носителей заряда в них и температура Кюри (~ 415 K) выше комнатной делают их перспективными для спинтроники.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и физико-математической отрасли наук. Область исследований соответствует п.2 Элементный и фазовый состав, структура (строение) и физические свойства конденсированных сред (систем) и п.4. Химические связи в конденсированных средах. Свойства конденсированных сред с дефектами структуры названного паспорта.

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Текст диссертации включает введение, общую характеристику работы, обзорную главу и четыре главы с материалами выполненного исследования, заключение, библиографический список использованных источников (145 наименований в библиографическом списке и 16 печатных работ автора), 2 приложения, в которых представлен Акт внедрения результатов НИР в учебный процесс и Справка о назначении стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым на

2025 год. Общий объем диссертации 147 страниц. Изложение результатов в диссертации и автореферате сделано на русском языке и исчерпывающе проиллюстрировано (67 рисунков). Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание самой диссертации.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Научный вклад соискателя заключается в установлении взаимосвязи состава и структуры поликристаллических твердых растворов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, полученных методом твердофазных реакций, с их электротранспортными и гальваномагнитными свойствами. К наиболее значимым результатам работы, отличающимся научной новизной, следует отнести следующие:

2.1. Обнаружено, что поверхность зерен поликристаллического $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ обеднена Fe и O и при увеличении степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo состав поверхности зерен приближается к стехиометрическому соотношению $\text{Sr/Fe/Mo/O} = 2/1/1/6$, что влияет на электротранспортные и гальваномагнитные свойства этого материала.

2.2. Обнаружено наличие и определена величина потенциальных барьеров на границах зерен в поликристаллическом $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ и установлено, что уменьшение удельного электросопротивления этого материала при увеличении степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo на поверхности зерен в нем связано с туннелированием электронов через эти барьеры и определяется снижением их высоты и ширины и увеличением площади контакта между зернами.

2.3. Установлено, что под действием внешнего магнитного поля происходит уменьшение высоты и ширины потенциальных барьеров между кристаллическими зернами в $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ и увеличение эффективной площади контакта между зернами, что влияет на температурные зависимости удельного электросопротивления этого материала.

2.4. Идентифицированы доминирующие механизмы рассеяния электронов проводимости в поликристаллическом $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ – рассеяние на границах зерен при 5-75 К и рассеяние на фононах при 75-300 К.

2.5. Разработана модель, описывающая зависимость степени спиновой поляризации электронов проводимости в $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ от температуры и от степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Соискателю может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния за полученные новые научно обоснованные результаты, среди которых наиболее значимыми являются следующие:

3.1. Обнаружение у поверхности зерен в поликристаллических твердых растворах $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ обеднения атомами Fe и O, приводящего к образованию потенциальных барьеров на межзеренных границах, и определение их высоты в зависимости от степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo.

3.2. Установление доминирующих механизмов рассеяния электронов проводимости в поликристаллическом $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ – рассеяние на границах зерен при 5 – 75 К, а в диапазоне температур 75 – 300 К рассеяние на фононах с дополнительным вкладом электрон-магнонного рассеяния в условиях воздействия внешнего магнитного поля.

3.3. Разработанную модель, описывающую линейное убывание степени спиновой поляризации электронов проводимости в твердых растворах $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с ростом температуры и ее линейное возрастание с увеличением степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo, что наряду с полученными экспериментальными данными по степени спиновой поляризации электронов и значениями удельного электросопротивления этого материала может быть использовано при создании новых элементов сенсорики и спинтроники.

Названные результаты вносят вклад в физику конденсированного состояния в части получения новых знаний о взаимосвязи состава и структуры поликристаллических металлоксидных твердых растворов с их электронными свойствами.

4. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Представленную к защите диссертацию отличает выбор актуального с научной точки зрения объекта исследования – поликристаллические твердые растворы $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, обладающие определенными перспективами для применения в магнитной сенсорике и спинтронике.

Обширный экспериментальный материал, полученный с использованием современных методов анализа твердых тел, его обстоятельный анализ и предложенные соискателем оригинальные модельные представления обладают новизной. Это подтверждают публикации соискателя в престижных международных научных журналах. Они признаны мировым научным сообществом и обеспечивают приоритет Республики Беларусь в синтезе и исследовании оксидных композитов.

Таким образом, полностью выполнены требования к кандидатским диссертациям, регламентированные п.20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, поскольку диссертация содержит новые научные результаты по одному из актуальных направлений научных исследований. Научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата физико-математических наук.

5. Рекомендации по практическому применению результатов работы

Диссертация содержит результаты, носящие фундаментальный характер в области физики конденсированного состояния. Их применение ориентировано в первую очередь на продвижение знаний о закономерностях взаимосвязи

состава и структуры поликристаллических твердых растворов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с их электротранспортными и гальваномагнитными свойствами. Развитые модельные представления и полученные экспериментальные данные могут быть использованы для дальнейших работ в области физики конденсированного состояния, а также в учебном процессе при подготовке специалистов с высшим образованием в области микро- и нанoeлектроники, о чем свидетельствует приложенный к диссертации Акт внедрения в учебный процесс в БГУИР.

Прикладной потенциал результатов диссертационного исследования состоит в возможности разрабатывать и изготавливать новые элементы магнитной сенсорики и спинтроники на предприятиях электронной промышленности Республики Беларусь, таких как ОАО «Интеграл», ОАО «Планар», МНИРМ.

6. Замечания по работе

6.1. Синтезированный и исследованный материал – $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, в диссертации называется то двойным перовскитом (Введение, п.1 Заключения), то твердыми растворами $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ (Цель, задачи, объект и предмет исследования; Положение 4, вынесенное на защиту; п.4 Заключения), то поликристаллической керамикой $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ (Научная новизна; Положения 1, 2 и 3, вынесенные на защиту). Даже принимая во внимание тот факт, что все эти названия закономерно относятся к указанному материалу, следовало бы остановиться на использовании одного из них.

6.2. Интерпретируя результаты резистивных измерений, целесообразно говорить не о потенциальных барьерах на поверхности зерен, а о межзеренных потенциальных барьерах, поскольку на протекание тока влияют барьеры на поверхности соседних контактирующих зерен.

6.3. В методической Главе 2 не приведено описание методик анализа изготовленных образцов сканирующей электронной микроскопией и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией, хотя по их результатам в Главе 3 сделан очень важный вывод о том, что *“область зерна вблизи поверхности обеднена Fe и O и по составу близка к диэлектрическому соединению SrMoO_4 , и, таким образом, служит потенциальным барьером для электронов проводимости”*.

6.4. Полученные данные по величине удельного электросопротивления и спиновой поляризации электронов следовало бы сравнить с опубликованными данными других исследователей.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют общей положительной оценки диссертационной работы.

7. Заключение

Диссертация «Электротранспортные и гальваномагнитные свойства $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ », представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, подготовлена на актуальную тему, содержит принципиально новые научные результаты и полностью отвечает требованиям Положения о

присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь. Ее автор – АРТЮХ Евгений Александрович, заслуживает присуждения искомой ученой степени по названной специальности за новые научно обоснованные результаты, отмеченные в п.3 данного отзыва.

Согласно приказу ректора Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники В. А. Богуша №348-о от 12.11.2025 данный отзыв рассмотрен и принят на расширенном заседании кафедры микро- и наноэлектроники 24 ноября 2025 года, протокол № 6, на котором соискатель Е. А. Артюх выступил с докладом и квалифицированно ответил на заданные ему вопросы. В заседании участвовали 3 доктора наук, 4 кандидата наук, а также другие сотрудники кафедры микро- и наноэлектроники и НИЧ БГУИР. Результаты открытого голосования участников заседания, имеющих ученые степени: «за» – 7, «против» – нет, «воздержался» – нет.

Председательствующий на заседании
заместитель заведующего кафедрой
микро- и наноэлектроники
кандидат технических наук, доцент



А. А. Степанов

Эксперт по диссертации
профессор кафедры микро- и наноэлектроники
доктор физико-математических наук, профессор



В. Е. Борисенко

Ученый секретарь на заседании
доцент кафедры микро- и наноэлектроники
кандидат технических наук, доцент



Д. А. Котов