

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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 диссертации специальности и отрасли науки, по которой она представлена к защите

Диссертация Артюха Е.А. посвящена исследованию влияния степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo двойного перовскита $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ на микроструктурные характеристики, электротранспортные и магниторезистивные свойства материала.

Диссертационная работа полностью соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и отрасли – физико-математические науки, что подтверждается: объектом исследования, предметом исследования, представленными в работе методами исследования и анализом полученных результатов и расчетов на основе известных теоретических моделей. Полученные результаты также отвечают требованиям отрасли физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

2. Актуальность темы диссертации

Актуальность диссертационного исследования электротранспортных и магниторезистивных свойств двойного перовскита $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ определяется значительной ролью степени сверхструктурного упорядочения катионов Fe/Mo в формировании его функциональных характеристик. Высокое значение температуры Кюри, заметный магниторезистивный эффект и 100%-я степень спиновой поляризации делают данный материал одним из наиболее перспективных объектов современной физики конденсированного состояния и спинтроники. Изучение взаимосвязи между степенью упорядочения и транспортными, магнитными и магниторезистивными свойствами $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ имеет не только фундаментальное значение для понимания природы электронных свойств сложных оксидных систем, но и практическую значимость для разработки новых материалов спинтроники и магнитной сенсорики. Возможность целенаправленного управления структурой и, как следствие, функциональными параметрами данного соединения открывает путь к созданию устройств нового поколения, что подтверждает высокую

актуальность проведённого исследования и вносит значимый вклад в развитие данного научного направления.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

На основании углубленного изучения физических свойств твёрдых растворов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ были выявлены закономерности влияния сверхструктурного упорядочения Fe/Mo на функциональные характеристики материала. Полученные результаты могут быть использованы при разработке моделей, обеспечивающих возможность целенаправленного синтеза материалов с заранее определёнными электротранспортными свойствами и заданным спиновым состоянием, что имеет важное значение для дальнейшего развития физики конденсированного состояния и практических приложений в области спинтроники и магнитной электроники.

К новым научным результатам, полученным в рамках исследования, можно отнести следующее:

- установлено, что на границах зерен поликристаллической керамики $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ существует слой с составом, отличающимся от состава объема зерна, служащий потенциальным барьером для электронов проводимости при низких ($T < 75$ K) температурах;
- показано, что стехиометрический состав поверхности зерен поликристаллической керамики $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ зависит от степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo и приближается к составу объема зерна при уменьшении концентрации антиструктурных дефектов;
- определены параметры потенциальных барьеров на поверхности зерен, и показано, что увеличение степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, как и увеличение индукции внешнего магнитного поля, приводит к уменьшению высоты и ширины этих потенциальных барьеров;
- для $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с различной степенью сверхструктурного упорядочения Fe/Mo в широком диапазоне температур (5 – 300 K) установлены механизмы рассеяния электронов проводимости;
- представлена математическая модель, которая позволяет оценить степень спиновой поляризации электронов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ в зависимости от температуры и степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo.

Степень новизны результатов исследования и научных положений, выносимых на защиту, подтверждается публикациями в ведущих рецензируемых изданиях и докладами на научных конференциях, что свидетельствует о высокой оценке работы со стороны научного сообщества.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы и положения, выносимые на защиту, сформулированные в диссертации, обобщают полученные соискателем результаты. Обоснованность выводов диссертации подтверждается большим количеством публикаций полученных результатов в периодических изданиях, а также сравнением полученных результатов с публикациями других авторов.

Достоверность представленных в диссертации результатов обеспечивается применением современных методов исследования, широко апробированных в физике конденсированного состояния, их корректной реализацией, а также согласованностью данных, полученных различными методами.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость диссертационного исследования заключается в установлении влияния степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo на электротранспортные, магнитные и магниторезистивные свойства $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, определении параметров потенциальных барьеров на границах зерен полученной поликристаллической керамики, а также оценке влияния внешнего магнитного поля на параметры этих барьеров. Полученные результаты обладают фундаментальным характером и расширяют представления о влиянии магнитного поля и структурного упорядочения в сложных оксидных системах на их свойства.

Практическая значимость работы заключается в оптимизации методики формирования твердых растворов $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с заданной степенью сверхструктурного упорядочения Fe/Mo, а также разработке модели, позволяющей количественно оценивать степень спиновой поляризации электронов проводимости в двойном перовските $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$. Использование полученных данных позволяет синтезировать $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с требуемым значением спиновой поляризации, что важно при создании новых типов устройств спинтроники и магнитных сенсоров.

Экономическая значимость работы заключается в возможности создания более энергоэффективных устройств спинтроники, таких как инжекторы спин-поляризованных электронов, спиновые транзисторы и спиновые вентили, а также сенсоров магнитного поля.

Социальная значимость полученных результатов заключается в расширении научных представлений в физике твёрдого тела и в содействии развитию спинтроники как одного из перспективных направлений современной

науки и технологий. Полученные результаты могут быть использованы при подготовке новых научных кадров Республики Беларусь, что подтверждается актом внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» на кафедре микро- и наноэлектроники в качестве материалов лекционного курса по дисциплине «Современные проблемы физики конденсированных сред» для магистрантов по специальности 7-06-0701-01 «Нанотехнологии и наноматериалы».

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертационного исследования опубликовано 16 работ: 8 статей в рецензируемых научных журналах, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; 5 статей в сборниках материалов конференций и 3 тезиса докладов на международных и республиканских конференциях.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Тексты автореферата и диссертации оформлены в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь. Диссертация содержит введение, общую характеристику работы, пять глав с выводами по каждой из них, заключение, библиографический список и два приложения. Размер диссертации не превышает рекомендуемые ВАК РБ объемы. Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации.

8. Замечания по диссертационной работе

1. На основе результатов дифрактометрии и энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа автор установил, что микроструктура зерна имеет ядро состава $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ и обедненную железом и кислородом оболочку близкую по составу к SrMoO_4 , тем не менее, нет никаких результатов и предположений относительно локализации избыточных атомов железа и кислорода (обогащено ли ядро растворенными атомами железа и кислорода или присутствует выделение фаз оксида железа).

2. Известно, что магнитные и электрические свойства перовскита $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ зависят как от степени сверхструктурного упорядочения, так и от содержания кислорода в решетке. Для более точного расчета параметров (особенно из анализа намагниченности) желательно было бы сделать оценку степени содержания кислорода δ , хотя как правильно отмечает автор, при

одинаковой температуре отжига оно будет близко для всех исследуемых образцов.

3. На основании энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа показано, что с повышением степени сверхструктурного упорядочения состав элементов вблизи поверхности зерен стремится к стехиометрическому $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, вместе с тем рассчитанные по модели флуктуационно-индуцированного туннелирования значения ширины диэлектрического барьера изменяются весьма незначительно. Этот факт нуждается в комментариях.

4. В диссертации не указывается, чем обоснован выбор использования уравнения плоскости в форме, описанной выражением (5.10) для аппроксимации зависимостей степени спиновой поляризации $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ от температуры и степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo (рисунок 5.12, страница 117 диссертации).

5. В диссертации отмечаются отдельные опечатки, неточности. Например, описываемая на стр. 81, модель Мотта предполагает, что при понижении температуры длина прыжка не уменьшается, а возрастает.

Отмеченные выше недочёты не оказывают влияния на основные положения и выводы диссертации и не снижают значимости достигнутых научных результатов.

9. Соответствие научной квалификации соискателя учёной степени, на которую он претендует

Полученные соискателем научные результаты, представленные в диссертации, указывают на то, что он является сформировавшимся специалистом высокой квалификации. Уровень полученных результатов, их новизна и актуальность подтверждают соответствие квалификации автора степени кандидата физико-математических наук.

10. Заключение

Диссертация Артюха Евгения Александровича «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, представляет собой завершённую, самостоятельно выполненную работу, отвечающую установленным требованиям ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук и соответствующую Положению о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь. Автором получены новые научно обоснованные результаты, обладающие как теоретической новизной, так и практической, экономической и

социальной значимостью. Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что Артюх Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за полученные новые результаты, состоящие в:

1) Установлении особенностей структурно-фазового состава поликристаллической керамики $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, полученной методом твердофазной реакции, состоящих в формировании на поверхности зерен обеднённого железом и кислородом диэлектрического слоя, служащего потенциальным барьером для электронов проводимости, фазовый состав которого приближается к стехиометрическому соединению $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ с повышением степени сверхструктурного упорядочения катионов Fe/Mo.

2) Выявлении закономерностей транспорта носителей заряда в поликристаллической керамике $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ со степенью сверхструктурного упорядочения Fe/Mo, заключающихся в доминировании при высоких температурах (75-300 К) электрон-фононного и электрон-магнонного рассеяния носителей заряда, в то время как при низких температурах (5-75 К) основным механизмом рассеяния становится туннелирование через потенциальные барьеры на поверхности зерен, при этом повышение степени сверхструктурного упорядочения Fe/Mo с 57 до 92% приводит к уменьшению высоты потенциального барьера.

3) Разработке модельных представлений, устанавливающих взаимосвязь степени спиновой поляризации электронов, температуры и степени сверхструктурного упорядочения катионов Fe/Mo в керамике $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$.

Совокупность полученных результатов вносит вклад в развитие физики конденсированного состояния, формируя новые подходы к исследованию многокомпонентных магнитных полупроводников с упорядоченной структурой двойного перовскита, обладающих высоким потенциалом для использования в нанoeлектронике, спинтронике и магнитосенсорике.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры физики твердого тела и нанотехнологий Белорусского государственного университета



Свито И. А.