

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Учреждения образования

Белорусский государственный  
университет информатики и  
радиоэлектроники»



В. А. Богущ

18 июня 2024 г.

### ОТЗЫВ

оппонирующей организации – Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», на диссертационную работу ЛАНОВСКОГО Романа Андреевича «Магнитное упорядочение в твердых растворах  $Sr_{1-x}Y_xCoO_{3-\delta}$  и  $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Ni_yO_{3-\gamma}$  со структурой типа перовскита», 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 Р. А. Лановского содержит результаты выполненного им комплексного исследования, включающего синтез слоистых перовскитов  $Sr_{1-x}Y_xCoO_{3-\delta}$  ( $0,05 \leq x \leq 0,35$ ) и анион-дефицитных кобальтитов со структурой перовскита с двойным замещением  $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Ni_yO_{3-\gamma}$  ( $0,1 \leq x \leq 0,5$ ;  $0,05 \leq y \leq 0,25$ ) и определение влияния особенностей их состава и структуры на магнитные и электротранспортные свойства. Названные материалы представляют фундаментальный научный интерес для понимания механизмов магнитного упорядочения в многокомпонентных материалах со структурой перовскита, что актуально для оценки возможностей их применения в устройствах магнитной и электронной обработки информации, предназначенных для использования при повышенных температурах и радиационном воздействии.

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) названного паспорта.

Диссертационная работа оформлена 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 (122 наименования), список публикаций соискателя (13 научных работ) и одно приложение, в котором представлен Акт внедрения результатов в учебный процесс. Общий объем диссертации 121 страница. Изложение результатов дано грамотным научным русским языком и исчерпывающе

проиллюстрировано (45 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 многокомпонентных твердых растворов со структурой перовскита с их магнитными и электротранспортными свойствами, обобщенной в предложенных механизмах магнитного упорядочения в таких структурах. К наиболее значимым результатам работы, отличающимся существенной научной новизной, следует отнести следующие:

2.1. Установлено, что кристаллическая структура твердых растворов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  при увеличении концентрации атомов Y, замещающих Sr, меняется от тетрагональной ( $I4/mmm$ ) к моноклинной ( $A2/m$ ) с двумя различными сверхструктурами:  $4\sqrt{2}a_p \times 2\sqrt{2}a_p \times 4a_p$  ниже температуры магнитного упорядочения и  $2\sqrt{2}a_p \times 2\sqrt{2}a_p \times 4a_p$  выше этой температуры. В диапазоне концентраций  $0,05 \leq x \leq 0,35$  материал характеризуется антиферромагнитной структурой G-типа, объясненной конкуренцией между магнитными взаимодействиями различного знака и наличием магнитной анизотропии.

2.2. Впервые синтезированы твердые растворы перовскитов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_{3-y}$ , у которых замещающие друг друга атомы находятся сразу в двух подрешетках, а именно в подрешетке La и подрешетке Co. Установлено, что эти растворы имеют моноклинную кристаллическую решетку ( $I2/a$ ), в которой по мере увеличения степени замещения La атомами Sr степень моноклинных искажений уменьшается. По мнению соискателя это приводит к увеличению перекрытия  $d$ - и  $p$ -орбиталей ионов  $\text{Co}^{3+}$  и  $\text{O}^{2-}$ , что в свою очередь ведет к формированию ферромагнитного сверхобмена, отражаясь на магнитных свойствах данных материалов.

2.3. Для твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_{3-y}$  обнаружено существование некоторой критической концентрации замещающих La атомов Sr ( $x = 0,18 - 0,20$ ), ниже которой этот материал имеет свойства спинового кластерного стекла с полупроводниковым типом проводимости, а выше которого свойства ферромагнетика с металлическим типом проводимости.

## **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. Установленное изменение кристаллической решетки твердых растворов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  от тетрагональной к моноклинной при увеличении концентрации атомов Y, в дальнейшем сопровождающееся возрастанием моноклинных искажений решетки и увеличением намагниченности материала, достигающих максимума при  $x = 0,2$ .

3.2. Модель перехода парамагнетик  $\rightarrow$  ферромагнетик  $\rightarrow$  антиферромагнетик в твердых растворах  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  при  $x > 0,2$ , полагающая, что он является следствием орбитального разупорядочения в анион-дефицитных слоях  $\text{CoO}_{4+\gamma}$ , вызванного уменьшением объема элементарной ячейки, приводящим к разрушению в этих слоях неколлинеарной магнитной структуры.

3.3. Синтез твердых растворов перовскитов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_{3-\gamma}$ , у которых замещающие друг друга атомы находятся сразу в двух подрешетках, а именно в подрешетке La и подрешетке Co, для которых установлено, что эти материалы имеют моноклинную кристаллическую решетку, в которой по мере увеличения количества атомов La, замещенного Sr, степень моноклинных искажений уменьшается, приводя к увеличению перекрытия  $d$ - и  $p$ -орбиталей ионов  $\text{Co}^{3+}$  и  $\text{O}^{2-}$ , достигая максимума при  $x = 0,5$ , что в свою очередь ведет к формированию ферромагнитного сверхобмена, отражаясь на магнитных свойствах этих материалов.

3.4. Обнаружение для твердых растворов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_{3-\gamma}$  некоторой критической концентрации замещающих La атомов Sr ( $x = 0,18 - 0,2$ ), ниже которой этот материал имеет свойства спинового кластерного стекла с полупроводниковым типом проводимости, а выше которого свойства ферромагнетика с металлическим типом проводимости, а замещение Co на антиферромагнитно взаимодействующие атомы Ni приводит к снижению намагниченности этих твердых растворов.

Совокупность названных результатов является существенным вкладом в физику конденсированного состояния в части понимания взаимосвязи кристаллической структуры и магнитных свойств многокомпонентных твердых растворов с решеткой перовскита.

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

Представленную к защите диссертацию отличает выбор актуального с научной точки зрения объекта исследования – многокомпонентные твердые растворы со структурой перовскита, проявляющие магнитные свойства.

Обширный экспериментальный материал, полученный с использованием современных методов анализа твердых тел, его обстоятельный анализ и предложенные соискателем оригинальные модели обладают новизной на мировом уровне. Это подтверждают публикации соискателя в престижных международных научных журналах и ссылки на них. Они признаны мировым научным сообществом и обеспечивают приоритет Республики Беларусь в исследовании магнитных свойств твердых тел.

Проведенная проверка диссертации на корректность использования заимствованных материалов с использованием программного ресурса «Антиплагиат» показала, что оригинальность материала составляет 74 %, самоцитирования – 11 %, цитирования – 12 %, заимствования – 3 %.

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 практическое применение ориентировано в первую очередь на развитие знаний о закономерностях взаимосвязи кристаллической структуры и магнитных свойств твердых тел, что предполагает их использование в научных организациях НАН Беларуси и в университетах при проведении исследований и подготовке высококвалифицированных специалистов в этом направлении. Подтверждением этому служит приложенный к диссертации Акт внедрения в учебный процесс на кафедре физики и инженерных дисциплин Военной академии Республики Беларусь. Кроме этого, синтезированные и исследованные материалы представляют интерес для опробования в устройствах магнитной и электронной обработки информации, предназначенных для использования при повышенных температурах и радиационном воздействии.

## 6. Замечания по работе

6.1. В диссертации часто используется термин “упорядочение” – магнитное упорядочение, орбитальное упорядочение, упорядочение катионов, упорядочение кислородных вакансий, однако отсутствуют пояснения о каких именно изменениях и каких конкретно характеристиках идет речь.

6.2. Рассматривая температурные зависимости удельного электрического сопротивления синтезированных материалов, следовало бы не ограничиваться общими предположениями “о слабой локализации носителей заряда из-за структурного или магнитного беспорядка или процессами рассеяния носителей заряда на границах зерен”, а привлечь известные представления о рассеянии на фононах, а также на нейтральных и примесных центрах.

6.3. Отсутствует оценка возможности создания пленочных структур из исследованных материалов, что ограничивает рассмотрение перспектив их практического использования в конкретных устройствах.

6.4. При представлении количественных характеристик с дробными значениями в диссертации и автореферате использована десятичная точка, вместо общепринятой в русскоязычной литературе десятичной запятой.

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

## 7. Заключение

Диссертация «Магнитное упорядочение в твердых растворах  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_{3-\gamma}$  со структурой типа перовскита», 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 – ЛАНОВСКИЙ Роман Андреевич, 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 №92-о от 04.06.2024 данный отзыв рассмотрен и принят на расширенном заседании кафедры микро- и нанoeлектроники 17 июня 2024 года, протокол №15, на котором соискатель Р. А. Лановский выступил с докладом и квалифицированно ответил на заданные ему вопросы. В заседании участвовали 3 доктора наук, 5 кандидатов наук, а также другие сотрудники кафедры микро- и нанoeлектроники и НИЧ БГУИР. Результаты открытого голосования участников заседания, имеющих ученые степени: «за» - 8, «против» - нет, «воздержался» - нет.

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



А. А. Степанов

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



В. Е. Борисенко

Ученый секретарь на заседании  
старший преподаватель  
кафедры микро- и нанoeлектроники



О. М. Чернаусик