

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Макоеда Игоря Ивановича «Спин-зарядовые упорядоченные состояния и магнитоэлектрические взаимодействия в мультиферроиках со структурой шпинели и перовскита», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Разработка научных основ создания новых функциональных материалов с заданными физическими свойствами является одним из приоритетных направлений физики конденсированного состояния. Активный поиск, целенаправленный и регулируемый процесс синтеза материалов с сильным взаимодействием спиновых и зарядовых степеней свободы и управляемой вариативностью различных физических параметров расширяет перспективы использования этих материалов в новых технологиях. Диссертационное исследование Макоеда И.И. направлено на установление закономерностей формирования упорядоченных спиновых и зарядовых состояний в материалах-мультиферроиках со структурой шпинели и перовскита, содержащих редкоземельные элементы. Использование метода холодного прессования при высоких давлениях позволяет получать новые структурные модификации материалов, физические свойства которых могут значительно отличаться от аналогов, получаемых традиционными способами. Результаты этого исследования представляют несомненный интерес как с научной, так и с практической точек зрения.

При выполнении диссертационной работы использованы современная приборная база и экспериментальное оборудование, обеспечивающее высокую точность измерений и воспроизводимость экспериментальных результатов, что обуславливает их достоверность. Выводы и рекомендации диссертационной работы сделаны с учётом современных представлений о кристаллической структуре и физических свойствах исследуемых материалов. Все полученные данные сопоставлялись с результатами исследований других авторов, работающих в области изоструктурных материалов-мультиферроиков со структурой шпинели и перовскита. Научная значимость и обоснованность выводов диссертационной работы подтверждается публикациями диссертанта в рецензируемых специализированных журналах с высоким уровнем цитирования.

Исследованные материалы представляют научной интерес как модельные объекты для экспериментальных и теоретических работ, результаты которых перспективны для решения актуальных задач материаловедения при разработке и синтезе новых материалов для элементной базы электроники. Это и представляет практическую значимость полученных результатов диссертационной работы.

К наиболее важным результатам диссертационной работы можно отнести следующие:

1. Разработка методики синтеза широкого круга оксидных функциональных материалов посредством твердофазных реакций в сочетании с холодным прессованием под давлением 4 ГПа, включая  $\text{Ni}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{Fe}_{1,95}\text{R}_{0,05}\text{O}_4$  (R – La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er),  $\text{La}_{0,5}\text{R}_{0,5}\text{FeO}_3$  (R – La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er),

$\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$  ( $x = 0; 0,05; 0,1$ ; R – La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Lu) и определение их структурных параметров;

2. Установление взаимосвязи между изменением структурных характеристик, диэлектрических и магнитных свойств материалов  $\text{La}_{0,5}\text{R}_{0,5}\text{FeO}_3$  и  $\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$ ;
3. Разработка математической модели для описания спектров коэффициента отражения и комбинационного рассеяния твердых растворов  $\text{Bi}_{0,9}\text{R}_{0,1}\text{FeO}_3$  (R – La, Nd, Gd, Dy, Er);
4. Анализ особенностей электронных свойств и спиновой плотности  $\text{Bi}_{0,75}\text{Sm}_{0,25}\text{FeO}_3$  с помощью теоретических расчетов из первых принципов, указывающий на формирование слабого ферромагнитного состояния.

Отдельно можно отметить, что результаты математического моделирования спектров коэффициента отражения и комбинационного рассеяния света могут использоваться при аттестации изоструктурных соединений и твердых растворов с помощью оптической спектроскопии, а также предварительного прогнозирования физических свойств новых материалов на этапе подготовки их синтеза.

Результаты диссертационной работы были использованы при выполнении научно-исследовательских работ в рамках республиканских комплексных программ «Кристаллофизика», «Кристаллические и молекулярные структуры», утвержденных постановлениями Президиума Национальной академии наук Беларуси, проектов, финансируемых Фондом фундаментальных исследований Республики Беларусь. Эффективность использования результатов диссертационной работы в курсах лабораторных и лекционных занятий по дисциплинам «Физика твердого тела», «Моделирование физических процессов», «Экспериментальная физика» подтверждается многочисленными актами внедрения результатов НИР в образовательный процесс на кафедре общей и теоретической физики Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина.

Автореферат диссертационной работы достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты исследований прошли апробацию на республиканских и международных конференциях, семинарах и симпозиумах и опубликованы в 88 научных работах. Автореферат написан ясным научным языком, структурирован, содержит информативный иллюстративный материал и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РБ. Отмечая в целом высокий научный уровень, стиль изложения, точность формулировок и качество иллюстративного материала диссертационной работы Макоеда И.И., хотелось бы отметить ряд незначительных замечаний:

1. На рисунке 2б автореферата представлены зависимости кристаллохимических характеристик от величины радиуса катиона редкоземельного элемента, в том числе октаэдрического искажения (S), однако в подписи к рисунку и тексте отсутствует выражение для определения S.
2. На рис. 3, 4., иллюстрирующие частотные зависимости диэлектрических функций твердых растворов  $\text{Bi}_{0,9}\text{R}_{0,1}\text{FeO}_3$ , наблюдается заметное систематическое уменьшение величины  $\epsilon_1$  в пределе низких частот (1 Гц).

Представляет интерес проанализировать взаимосвязь между максимальными (экспериментальными и расчетными) значениями  $\epsilon_1$  при низких частотах и ионным радиусом R-элемента, однако данная взаимосвязь в автореферате не обсуждается.

3. На рис. 11 представлены экспериментальные (а) и модельные (б) температурные зависимости величин удельных намагниченностей твердых растворов  $\text{La}_{0,5}\text{R}_{0,5}\text{FeO}_3$ . Было бы полезно также построить зависимости максимальных значений удельной намагниченности (при 500 К) от ионного радиуса R элемента, что наглядно бы продемонстрировало взаимосвязь между структурными особенностями и магнитными свойствами.
4. В автореферате не отражены результаты анализа обратных эффектов, которые представляют интерес при исследовании калорических свойств материалов.
5. В тексте автореферата присутствуют незначительные неточности и опечатки.

В целом, указанные замечания не ставят под сомнение основные положения и выводы диссертационной работы. Представленная Макоедом И.И. диссертационная работа является законченным исследованием и выполнена на высоком научном уровне. Актуальность темы исследования, постановка задач, положения, выносимые на защиту, высокая научная и практическая значимость результатов экспериментального и теоретического исследования свидетельствуют о ее полном соответствии критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Автор диссертации Макоед И.И. является высококвалифицированным специалистом в области физики конденсированного состояния и несомненно достоин присуждения искомой степени по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Козленко Денис Петрович,  
Доктор физико-математических наук,  
начальник научно-экспериментального отдела  
нейтронных исследований конденсированных  
сред Лаборатории нейронной физики им. И.М.  
Франка Объединенного института ядерных  
исследований.

Почтовый адрес: 141980, г. Дубна, ул. Жолио-  
Кюри, д. 6,

Тел.: 8 49621-63783

E-mail: [denk@nf.jinr.ru](mailto:denk@nf.jinr.ru)

« *AS* » 04 2026 г.



*AS*

Д.П. Козленко

Подпись Козленко Д.П. удостоверено  
Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ

*М. Золотарев М.Ф.*

А.Ю. Незванов