

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Макоеда Игоря Ивановича

«Спин-зарядовые упорядоченные состояния и магнитоэлектрические взаимодействия в мультиферроиках со структурой шпинели и перовскита», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Макоеда Игоря Ивановича посвящена установлению закономерностей формирования и взаимодействия упорядоченных спиновых и зарядовых состояний в мультиферроиках со структурой шпинели и перовскита, содержащих редкоземельные элементы.

Актуальность работы связана с развитием научного направления в физике конденсированного состояния – разработке научных и технологических основ прогнозирования и синтеза новых металлооксидных материалов со структурой шпинели и перовскита, содержащих в составе редкоземельные элементы. Изменение свойств твердых растворов со структурой шпинели и перовскита, обусловленное частичным изовалентным замещением катионов катионами редкоземельных металлов, создает условия для получения функциональных материалов, перспективных для использования при разработке, создании и эксплуатации уникального оборудования и современных устройств гражданского и специального назначения нового поколения. Исследованные материалы представляют научный интерес как модельные объекты, а результаты экспериментальных и теоретических исследований могут найти применение при решении актуальных задач материаловедения при разработке и синтезе новых материалов, используемых в качестве элементной базы электроники.

Тематика исследований соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь: направлению №8 «Многофункциональные материалы и технологии», перечня Приоритетных направлений научных исследований на 2016–2020 гг., утвержденного постановлением № 190 Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г.; направлению №3 «Новые многофункциональные материалы, специальные материалы с заданными свойствами», перечня Приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016 – 2020 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 22.04. 2015 г. № 166); направлению – 4. «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы», перечня Приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021 – 2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г., №156).

Основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем при выполнении НИР в рамках республиканских комплексных программ «Кристаллофизика», «Кристаллические и молекулярные структуры», утвержденных Постановлениями Президиума Национальной Академии наук Беларуси, проектов, финансируемых Фондом фундаментальных исследований Республики Беларусь.

По теме исследований опубликовано 2 монографии, 41 научная рецензируемая работа, входящая в перечень ВАК и БД Scopus, Web of Science. Подготовлены, апробированы и утверждены в установленном порядке 20 актов внедрения в учебный процесс.

Макоед Игорь Иванович обеспечивает преподавание учебных дисциплин: «Механика», «Молекулярная физика», «Термодинамика и статистическая физика», «Теоретическая физика». Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры общей и теоретической физики физико-математического факультета Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина в курсах лабораторных и лекционных занятий по дисциплинам «Физика твердого тела», «Моделирование физических процессов», «Экспериментальная физика». Игорь Иванович являлся научным руководителем магистрантов по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

В 2019 г. Макоеду Игорю Ивановичу была присуждена премия имени профессора С.Г. Кондратени, присуждаемая Советом Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина по результатам достижений в области естественно-научных исследований – за результаты исследования по вопросам получения и изучения физических свойств магнитоупорядоченных ионных кристаллов со структурой шпинели, граната и перовскита.

Научная квалификация Макоеда И.И. соответствует требованиям, предъявляемым к квалификации доктора физико-математических наук. Работа соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Считаю, что Макоеду Игорю Ивановичу может быть присуждена ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния за следующие научные результаты:

1. За концептуальное развитие актуального научного направления в физике конденсированного состояния, состоящее в разработке научных и технологических основ синтеза мультиферроиков со структурой шпинели и перовскита, содержащих в составе редкоземельные элементы, которые позволили расширить функциональные возможности новых материалов с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

2. Установленные закономерности структурного, частотного и температурного изменения динамики кристаллической решетки, диэлектрических и оптических свойств твердых растворов  $\text{Bi}_{0,9}\text{R}_{0,1}\text{FeO}_3$  (R – La, Nd, Sm, Gd, Dy, Er) и  $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ , которые являются основой для выбора оптимальных составов при синтезе новых материалов с заданными диэлектрическими и оптическими свойствами.

3. Разработку математической модели на основе данных аппроксимации линейными (относительно величины радиуса R-катиона) функциями значений резонансных частот, сил осцилляторов и коэффициентов затухания, полученных при деконволюции экспериментальных оптических и рамановских спектров твердых растворов  $\text{Bi}_{0,9}\text{R}_{0,1}\text{FeO}_3$  (R – La, Nd, Gd, Dy, Er), которая достоверно описывает формы оптических и рамановских спектров изоструктурных твердых растворов, содержащих в составе ионы редкоземельных элементов, суммой лоренцевских невзаимодействующих квазигармонических осцилляторов.

4. Установление закономерностей влияния типа и степени катионного замещения на магнитные свойства образцов со структурой перовскита, корреляции величин коэрцитивных полей и значений остаточных удельных намагниченностей с вариациями значений длин межионных связей и величин валентных углов, приводящие к изменениям условий косвенных, через кислород, обменных антиферромагнитных взаимодействий и магнитоэлектрических взаимодействий, наблюдаемых при магнитных фазовых переходах, связанных с подавлением и возникновением спиновой циклоиды в магнитном поле.

5. Установление закономерностей изменения абсолютных величин характеристик магнито- и электрокалорического эффектов, наблюдаемых при температурах фазовых переходов, обусловленных спиновой переориентацией и диэлектрической поляризацией в мультикалорике  $\text{BiFeO}_3$ .

6. Установление закономерностей изменения абсолютных величин характеристик магнитокалорического эффекта, наблюдаемого при температурах фазовых переходов, обусловленных спиновой переориентацией в твердых растворах  $\text{Bi}_{0,9}\text{R}_{0,1}\text{FeO}_3$  (R – La, Nd, Sm, Gd, Dy, Er) и  $\text{La}_{0,5}\text{R}_{0,5}\text{FeO}_3$  (R – Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er) при переходе «слабый ферромагнетик – парамагнетик» в диапазоне температур от 590 К до 640 К и от 750 К до 850 К (750 - 850) К соответственно. Полученные данные подтверждают возможность практического использования магнитокалорического эффекта при создании высокотемпературных термомагнитных предохранителей для защиты элементов электрических цепей.

7. Экспериментальное обнаружение явления перемагничивания в магнитном поле 0,86Тл в твердом растворе  $\text{Bi}_{0,75}\text{Sm}_{0,25}\text{FeO}_3$ , приводящее при тем-

пературе 4,4 К к эффекту полной компенсации антиферромагнитно упорядоченных спиновых магнитных моментов катионов  $\text{Sm}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , соответствующее данным расчетов из первых принципов зонной структуры, карт распределений зарядовой и спиновой плотностей, согласно которым зона проводимости в  $\text{Bi}_{0,75}\text{Sm}_{0,25}\text{FeO}_3$  образована  $3d$ -состояниями электронов железа со спиновым магнитным моментом, направленным антипараллельно направлению спиновых магнитных моментов электронов, связанных с  $4f$ -состояниями самария. Данный эффект может быть использован в устройствах хранения, обработки и передачи информации в виде фильтра для электронов с определенной ориентацией спина.

доктор физико-математических наук, профессор  
профессор кафедры физики твердого тела  
и наноматериалов Белорусского  
государственного университета

  
В.М. Анищик

