

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Гапочки Алексея Михайловича на тему: «Пространственная спин-модулированная структура и сверхтонкие взаимодействия в мультиферроиках $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ ($x = 0.05, 0.10, 0.15$), AgFeO_2 и CuCrO_2 » по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа, выполненная А.М. Гапочка, является актуальным исследованием методами мессбауэровской спектроскопии особенностей пространственной спин-модулированной структуры и сверхтонких электрических и магнитных взаимодействий ядер ^{57}Fe в мультиферроиках I рода – $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ ($x = 0.05, 0.10, 0.15$) и II рода – AgFeO_2 и CuCrO_2 , в широких областях температур, включающих температуры магнитных фазовых переходов.

Современное развитие микроэлектроники требует создания новых материалов с широким диапазоном физических свойств. В настоящее время значительный интерес исследователей вызывает класс материалов, которые получили название мультиферроики. Эти вещества обладают одновременно двумя или более параметрами порядка. Наибольший интерес представляют мультиферроики, проявляющие одновременно магнитное и электрическое упорядочение (магнитные сегнетоэлектрики). Современные исследования ряда мультиферроиков указывают на перспективность таких материалов для создания сенсоров магнитного поля, устройств записи/считывания информации, устройств спинтроники, СВЧ и других приборов. Поэтому задача синтеза и исследования свойств мультиферроиков является современной и актуальной.

В настоящее время многие исследователи интересуются мультиферроиками как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Одним из наиболее перспективных мультиферроиков является феррит висмута BiFeO_3 , относящийся к мультиферроикам I-го рода. В значительной мере это связано с его рекордно высокими температурами сегнетоэлектрического и антиферромагнитного фазовых переходов (T_N и T_C намного выше комнатной температуры). Однако магнитоэлектрические взаимодействия в объемных образцах чистого BiFeO_3 невелики. Это обусловлено наличием в BiFeO_3 пространственной спин-модулированной структуры (ПСМС) циклоидного типа, обнаруженной методом нейтронографии. Несмотря на большое число работ, посвященных исследованию феррита висмута и соединений на его основе, целый ряд вопросов, касающихся этих материалов, остается открытым. Прежде всего, нерешенной остается проблема обнаружения и исследования ПСМС, присутствующей в чистом феррите висмута и ферритах на его основе, различными экспериментальными методами. Как отмечается во многих работах, разрушение ПСМС в феррите BiFeO_3 приводит к усилению магнитоэлектрического эффекта и спонтанной намагниченности, вызванной слабым ферромагнетизмом. Этот эффект наблюдается, например, при замещении трехвалентных ионов Bi редкоземельными и щелочноземельными ионами или замещения атомов Fe 3d-атомами. Исследование влияния замещения трехвалентных ионов железа трехвалентными 3d-атомами в системах $\text{BiFe}_{1-x}\text{A}_x\text{O}_3$ ($\text{A} = 3d\text{-атом}$) на существование ПСМС в этих перовскитах, а также на локальные магнитные и валентные состояния ионов железа в присутствии ПСМС все еще слабо изученны и является актуальной задачей для понимания физических свойств мультиферроиков и поиска новых перспективных материалов на основе BiFeO_3 .

Мультиферроики II рода, содержащие переходные металлы, привлекают внимание разнообразием функциональных характеристик и служат примером систем, для которых характерно проявление конкурирующих обменных взаимодействий, нередко приводящих к фрустрированным состояниям магнитной подсистемы. К таким мультиферроикам относятся оксидные фазы AMO_2 ($\text{A} = \text{Cu}, \text{Ag}$ и $\text{M} = \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$), обладающие слоистой кристаллической структурой. Состояния спиновой структуры и их температурные

изменения в мультиферроиках II рода вследствие конкуренции между различными взаимодействиями далеки от тривиальных. До сих пор многие вопросы, связанные с особенностями магнитной и электронной структур, а также сверхтонких взаимодействий в мультиферроиках II рода остаются открытыми.

Важными методами при исследовании мультиферроика BiFeO_3 и ферритов на его основе, а также оксидных фаз AMO_2 ($A = \text{Cu, Ag}$ и $M = \text{Cr, Fe, Co, Ni}$) являются экспериментальные методы, которые позволяют обнаруживать существование ПСМС, ее разрушение при замещении ионов висмута или железа другими ионами. Такими методами являются метод нейтронографии, ядерного магнитного резонанса, мессбауэровской спектроскопии и метод возмущенных угловых гамма-гамма корреляций.

Научная новизна представленной диссертации определяется выбором метода исследования. В данной работе использовались методы мессбауэровской спектроскопии. Проведены детальные исследования ПСМС, локальных электрических и магнитных сверхтонких взаимодействий ядер ^{57}Fe в замещенных мультиферроиках I рода – $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ ($x = 0.05, 0.10, 0.15$), и мультиферроиках II рода – AgFeO_2 и CuCrO_2 , в областях температур, включающих температуры магнитных фазовых переходов. Необходимо отметить, что впервые мессбауэровские спектры ядер ^{57}Fe в исследованных мультиферроиках расшифрованы в рамках моделей ПСМС (модели ангармонической спиновой модуляции и модели волны спиновой плотности), отражающих специфику их кристаллической, электронной и магнитной структур, что позволило получить и проанализировать температурные зависимости величин, описывающих ангармоничность ПСМС и анизотропию сверхтонкого магнитного поля на ядрах ^{57}Fe , а также установить степень влияния примесных атомов Co на особенности ПСМС и сверхтонкие параметры мессбауэровского спектра феррита висмута BiFeO_3 .

В результате впервые проведенного анализа мессбауэровских спектров образцов получен ряд интересных и важных результатов. 1. Во всех исследованных мультиферроиках градиент электрического поля на ядрах ^{57}Fe положителен и наряду с локализованными зарядами обусловлен электрическими дипольными моментами окружающих ионов. 2. Анизотропия сверхтонкого магнитного поля на ядрах ^{57}Fe во всех исследованных мультиферроиках связана не только с дипольным вкладом от локализованных магнитных моментов атомов кристаллической решетки, но и с вкладом от электронов собственного атома, возникающего из-за эффектов ковалентности. 3. Спин-орбитальное взаимодействие атомов Co в мультиферроиках системы $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ оказывает определяющее влияние на величину и знак константы магнитной анизотропии, причем роль этого взаимодействия растет с увеличением содержания Co. 4. Неколлинеарная ПСМС для всех исследованных мультиферроиков и коллинеарная волна спиновой плотности для AgFeO_2 проявляют высокую степень ангармоничности. Замещение атомов Fe на атомы Co в BiFeO_3 приводит к изменению типа магнитной анизотропии с "легкая ось" на "легкая плоскость" и увеличению параметра ангармонизма спиновой волны. Эти данные чрезвычайно важны для физических представлений о пространственной спин-модулированной структуре и сверхтонких электрических и магнитных взаимодействиях мультиферроиках 1-го и 2-го рода и могут служить основой для дальнейших теоретических разработок в области физики твердого тела. Полученные результаты мессбауэровских исследований мультиферроиков позволяют также дополнить информацию, необходимую для понимания природы свойств, определяющих практическое применение этих соединений.

Содержание автореферата дает основание заключить, что диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» (по физико-математическим наукам) и удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а соискатель Гапочка Алексей Михайлович заслуживает присуждения ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Профессор, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, кафедра наноэлектроники, ФГБОУ «МИРЭА-Российский технологический университет».

Покатилов Вячеслав Серафимович

(подпись,

Адрес места работы: 119454 Москва, проспект Вернадского, 78.

тел.: 8 (495) 434-91-43

e-mail: pokatilov@mirea.ru

Подпись сотрудника Покатилова Вячеслав Серафимовича

Заместит
Управ