

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ханнанова Бориса Хакимжановича "Электрическая поляризация, индуцированная локальными полярными областями фазового расслоения в мультиферроиках $R\text{Mn}_2\text{O}_5$ ($R = \text{Gd}, \text{Bi}$) И $\text{Gd}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ ", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Физика ферроиков, соединений, в которых сосуществуют разные типы порядка: например, магнитного и сегнетоэлектрического, взаимодействующих между собой, привлекает большое внимание, как в фундаментальном, так и в прикладном плане. Особенно актуальными являются исследования мультиферроиков с магнитоэлектрической связью, что позволяет управлять физическими свойствами приложением магнитного или электрического поля. Особенно интересны мультиферроики с сильной связью, в которых температуры магнитного и сегнетоэлектрического упорядочения близки, а электрическая поляризация индуцируется магнитным порядком. Хотя сильная магнитоэлектрическая связь привлекательна с прикладной точки зрения, температуры возникновения магнитного порядка и электрической поляризации очень низки. Поэтому механизмы возникновения электрической поляризации, особенно при больших температурах, привлекает большое внимание, как экспериментаторов, так и теоретиков. В этой связи, научная значимость и актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

Ранние исследования указывали, что в составах ReMn_2O_5 возможно формирование локальных наноразмерных областей с разной концентрацией ионов различной валентности, а именно: Mn^{3+} и Mn^{4+} , т.е. возникновение фазового расслоения. При этом возникает конечная вероятность туннелирования электронов между соседними парами ионов, так называемый двойной обмен, что приводит к ферромагнитным и электродипольным корреляциям и предполагает появление сильной магнитоэлектрической связи при высоких температурах. Последнее обстоятельство и является мотивацией проведенных исследований, одна из целей которых – получение экспериментальных доказательств существования локальных областей.

В качестве конкретных объектов в диссертационной работе были выбраны мультиферроики GdMn_2O_5 , и BiMn_2O_5 , а также замещенный состав $\text{Gd}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$. Поскольку ион Gd^{3+} не обладает орбитальным моментом, он не вызывает локальные искажения решетки, в отличие от немагнитного иона Bi^{3+} . В этом отношении выбор

мультиферроиков для поставленной задачи представляется очень разумным. Такой подход позволяет более отчетливо выявить роль и физические свойства областей фазового расслоения.

Используемые в работе экспериментальные методы – это измерение магнитных и диэлектрических свойств, измерение электрической поляризации, магнитная СВЧ-динамика и рентгеновская дифракция высокого разрешения. Следует отметить измерение гистерезиса электрической поляризации так называемым динамическим методом "Positive Up Negative Down", что позволяет отделить электрическую поляризацию, обусловленную сдвигами ионов, от паразитного вклада локальной проводимости. Ранее этот метод применялся только для упорядоченных сегнетоэлектриков, а в представленной работе он использован для исследований динамически равновесных областей фазового расслоения.

Диссертация организована по классической схеме. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы ее цели и задачи. В первой главе приведен обзор литературных данных по мультиферроикам, где дано подробное и исчерпывающее описание физических механизмов, которые могут привести к формированию областей фазового расслоения, границы которых определяются конкурирующими обменным и электростатическим взаимодействиями. Во второй главе рассмотрены объекты и методы исследования. В следующих главах приводятся результаты экспериментальных исследований.

Итак, что сделано.

Исследования диэлектрических свойств и электрической поляризации в изучаемых мультиферроиках показали наличие частотно-зависимых скачков диэлектрической проницаемости и максимумов электрической проводимости. Также обнаружен целый спектр ферромагнитных резонансов, являющихся откликами магнитной подсистемы на приложенное магнитное поле. Все наблюдаемые эффекты находят убедительное объяснение в рамках предложенной модели локальных полярных областей, обусловленных фазовым расслоением.

Проведенные рентгеноструктурные исследования также свидетельствуют в пользу существования локальных полярных областей, в которых нет центра симметрии. Наблюдались расщепления Брэгговских рефлексов вдоль оси c , вдоль которой предполагается наличие зарядового упорядочения, обусловленное чередованием наноразмерных слоев. Кроме того, наблюдались периодические пики, обусловленные дифракцией на упорядоченной решетке, образованной слоями конечной ширины с периодом $\approx 700 - 800 \text{ \AA}$.

При изучении сегнетоэлектрического упорядочения было обнаружено, что в исследуемых монокристаллах RMn_2O_5 возникает однородное, однодоменное сегнетоэлектрическое состояние с внутренним, знакопеременным, электрическим полем, которое формируется обменной стрикцией, обусловленной чередующимися парами ионов Mn^{3+} - Mn^{4+} . Существенное влияние внешнего поля наблюдается лишь вблизи температуры T_C , когда обменная стрикция исчезает. Установлено, что в мультиферроиках GdMn_2O_5 , $\text{Gd}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ и VtMn_2O_5 сегнетоэлектрическое упорядочение обменно-стрикционной природы возникает лишь ниже температуры Кюри, а электрическая поляризация, наблюдаемая при более высоких температурах, индуцирована локальными полярными областями. Таким образом, показано, что наряду с сегнетоэлектрическим упорядочением обменно-стрикционной природы, существует электрическая поляризация, индуцированная локальными полярными областями, обусловленных фазовым расслоением. Такое состояние интерпретируется автором как "замороженное" супер-параэлектрическое состояние.

Динамически равновесные области формируются внутри матрицы исходного кристалла благодаря наличию зарядового упорядочения и конечной вероятности туннелирования электронов между парами разно-валентных ионов Mn. Эти области, наряду с сегнетоэлектрическим упорядочением обменно-стрикционной природы, определяют температурную эволюцию диэлектрических свойств и электрической поляризации исследуемых соединений.

Приведенные экспериментальные результаты исследований диэлектрической проницаемости, магнитных резонансов, рентгеновской дифракции убедительно свидетельствуют о наличии фазового расслоения с локальными полярными и магнитными свойствами в исследуемых мультиферроиках, что, как мне представляется, является основным физическим результатом представленной диссертации.

Диссертация производит очень хорошее впечатление, написана грамотно, логично построена и аккуратно оформлена, количество опечаток весьма незначительно.

У меня есть несколько вопросов по физике.

1. В рентгеновских спектрах наблюдаются два Брэгговских пика, характеризующих две близкие структуры. Более интенсивный пик автор относит к матрице, а менее интенсивный пик – к локальной области фазового расслоения. Эта область имеет конечную, наноразмерную ширину, а матрица составляет весь кристалл. Однако ширины пиков очень близки, т.е. соответствуют одинаковой длине корреляции. Как это объяснить?
2. Почему "биения", которые обусловлены слоями конечной ширины, несимметричны относительно рефлекса, связанного с локальной областью?

3. Как понять следующее. "... 1D сверхрешетки, состоящие из ферромагнитных слоев диэлектрической исходной ...". Слой обычно трактуется как двумерная структура, т.е. соответствует 2D-решетке.

Все полученные в диссертации результаты являются новыми и интересными, выводы и защищаемые положения обоснованы. Не сомневаюсь, что они будут востребованы научным сообществом. Уровень проведенных исследований высокий, что демонстрирует высокую квалификацию автора. Основные результаты работы опубликованы в рейтинговых журналах, доложены на международных и российских конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Заключение: диссертация Ханнанова Бориса Хакимжановича: "Электрическая поляризация, индуцированная локальными полярными областями фазового расслоения в мультиферроиках $R\text{Mn}_2\text{O}_5$ ($R = \text{Gd}, \text{Bi}$) и $\text{Gd}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ " полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук и соответствует п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – "физика конденсированного состояния".

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Голосовский Игорь Викторович, доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Отделения нейтронных исследований,
ФГБУ «Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б. П. Константинова», Национального
исследовательского центра «Курчатовский Институт», г. Гатчина
05 мая 2019.

