

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Ли Чжэню «Динамика решетки, магнитные и электрофизические свойства наноструктурированных ортоферрита, феррит-граната и феррит-манганита иттербия», представленную в диссертационный совет ЮФУ 801.01.04 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. – «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасль науки – физико-математические).

Диссертационная работа Ли Чжэню «Динамика решетки, магнитные и электрофизические свойства наноструктурированных ортоферрита, феррит-граната и феррит-манганита иттербия» посвящена актуальной теме – получению и установлению связи структуры и свойств иттербиевых мультиферроиков комплексными методами. Эти мультиферроики являются перспективными материалами для практического применения в качестве интеллектуальных устройств, датчиков для обнаружения газов, катализаторов для окисления или восстановления загрязняющих газов, применения в качестве электродных материалов в твердооксидных топливных элементах, в спинтронике следующего поколения и устройствах памяти и магнитной записи.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 136 страниц основного текста, 60 рисунков, 20 таблиц, из 19 страниц списка литературы и 2 страницы авторских публикаций.

Работа хорошо апробирована. Ее основные результаты были представлены на международных и российских конференциях и семинарах, опубликованы в 8 научных трудах, 4 из которых в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus. Публикации соискателя соответствуют изложенному материалу. Диссертация соответствует

паспорту специальности специальности 2.6.6. – «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасль науки – физико-математические). Ее автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации и адекватно отражает полученные в работе результаты.

Во введении соискателем обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи, определен объект исследования, отмечены новизна и практическая ценность полученных результатов. Изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит литературный обзор по теме исследования. Приведены данные о кристаллической структуре, электрофизических и оптических свойствах, фазовых переходах ортоферритов, феррит-гранатов и манганитов иттербия, а также других редкоземельных мультиферроиков. Описан спин-ориентационный фазовый переход первого и второго рода ортоферритов. Представлены сведения о влиянии замещения Mn в $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ на пространственную группу симметрии и физические свойства.

Во второй главе изложена методика получения образцов исследуемых материалов и их наноструктурирования, а также экспериментальные методы их изучения. Все изученные составы получены твердофазным методом, проведены рентгено-фазовые и электронно-микроскопические исследования, результаты которых представлены в диссертации. При выполнении диссертации для наноструктурирования составов разработана и применена установка с наковальнями Бриджмена.

Третья глава посвящена характеристике кристаллической структуры образцов $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$, $\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и YbFeO_3 электронно - микроскопическим и рентгено-структурным методами. Приведены графики зависимости параметров элементарных ячеек от концентрации допантов, определены плотности структурных дефектов всех составов.

Далее в диссертации рассмотрены кристаллохимические аспекты, а именно, рассчитаны углы поворотов и наклонов кислородных октаэдров и длины связей октаэдров и додекаэдров ортоферрита YbFeO_3 до и после

наноструктурирования. Рассчитаны длины связей и валентные углы гексагональной и длины связей додекаэдров орторомбической фаз $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ до и после наноструктурирования.

В четвертой главе изучены диссипативные и динамические свойства составов. Методом импедансной спектроскопии показано, что характер релаксации свойств составов недебаевский, а релаксация обусловлена максвелл-вагнеровской поляризацией и термически активирована. Рассчитаны энергии активации из уравнения Аррениуса, соответствующие границам зерен и объему зерна. По изломам на зависимостях $\ln\tau_m(T^{-1})$ оценены температуры магнитных фазовых переходов.

В диссертации изучены оптические спектры поглощения, по которым определена ширина запрещенной зоны E_g каждого состава и ее зависимость от структурных и химических дефектов. Дана интерпретация аномалии, обнаруживаемой левее E_g на зависимости функции Кубелка-Мунка $(E \cdot F(R_\infty))^2$ от энергии. Обнаружен немонотонный характер изменения E_g YbFeO_3 с ростом давления механоактивации, а E_g $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ с ростом x растет.

Из ИК- спектров $\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ установлена коррелированная обратно пропорциональная связь между размерами наночастиц и волновыми числами. Обнаружено, что после наноструктурирования при давлении 1 ГПа моды деформационных и валентных колебаний октаэдра и додекаэдра ортоферрита YbFeO_3 , растут.

Диссертантом проведен детальный анализ зависимостей силовых констант $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ от концентрации допирующего элемента и давления механоактивации.

Далее в диссертации изучены диэлектрические спектры стартовых и наноструктурированных составов в широком интервале температур. Диссертантом обнаружено, что для наноструктурированных образцов YbFeO_3 наблюдается более плавный и размытый рост ϵ' с ростом температуры. Аномалии диэлектрических спектров гексагональной фазы, сосуществующих гексагональной и орторомбической фаз и ортомбической

фазы $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ отнесены к максвелл –вагнеровской релаксации. В $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ выше $x= 0.8$ наблюдается размытие зависимости $\varepsilon'(T)$, обусловленное увеличением концентрации носителей и переходом от полупроводникового типа носителей к металлическому типу носителей.

Пятая глава посвящена магнитным и гальваномагнитным свойствам составов. Диссертантом проведен детальный анализ магнитных свойств $\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, определен критический размер частиц, равный 75 нм, при котором коэрцитивное поле H_c имеет максимальное значение. Используя закон приближения намагниченности к насыщению, найдены константы и поле анизотропии.

Аппроксимация кривой $M(H)$ YbFeO_3 проведена путем подбора статистических подгоночных параметров, найден второй критический размер частиц, равный 50 нм. Изучены магнитные свойства макроскопического и наноструктурированного $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$.

Обнаружено, что зависимости g - фактора и ΔH ЭПР-спектров YbFeO_3 и $\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ от размеров наночастиц аналогичны зависимостям H_c и M_r от размеров наночастиц.

На переменном токе измерены магнитодиэлектрические $MD(\omega)$ и магниторезистивные коэффициенты $MR(\omega)$ наноструктурированных $\text{YbMn}_{0.3}\text{Fe}_{0.7}\text{O}_3$ и $\text{YbMn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_3$ в скрещенных и параллельных полях E и H , и обнаружено, что форма кривых во многом зависит от количества циклов магнитного поля $(-H \leftrightarrow +H)$. Показано, что в этих составах магниторезистивность является источником магнитодиэлектрического коэффициента $MD(\omega)$.

В **заключительной части** диссертации суммированы основные результаты.

Таким образом, в ходе выполнения диссертационной работы автором синтезированы функциональные материалы, обладающие магнитными и диэлектрическими свойствами. Методом «сверху-вниз» получены составы нанометрового масштаба кристаллитов. Используя комплексные методы

изучена структура, диэлектрические, оптические и магнитные свойства. В целом работа оставляет хорошие впечатления.

Однако диссертация и автореферат не лишена ряда недостатков.

1. В работе показаны только вычисления среднеквадратичных отклонений ионов $\text{Yb}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$. Проводились ли вычисления среднеквадратичных отклонений для двух других составов?
2. В работе достаточно хорошо приведено исследование материалов методом диэлектрической спектроскопии и приведены соответствующие зависимости, показывающие релаксационное поведение диэлектрической проницаемости, в том числе и диаграммы Коула-Коула, но при этом ни в обзоре литературы, ни в самой работе не проведен сравнительный анализ применимости данных моделей к полученным в работе зависимостям.
3. В таблице 15 содержание колонок 3,5, 7 не совпадает с надписью таблицы.
4. В таблице 16 приведены волновые числа вместо длин длинных и коротких связей. Данный недостаток повторяется и в автореферате.
5. Что означает концентрационный интервал $x = 0.5-0.6$ (см. рис. 6 в автореферате и рис.17 в диссертации)?
6. В работе присутствуют грамматические ошибки и не точности.

Заключение

Тематика и содержание диссертации соответствует формуле специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы. Диссертационное исследование Ли Чжэню выполнено на высоком научном уровне и отвечает критериям раздела 2 Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки), а соискатель Ли Чжэню заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки).

27.12.2023 г.

Согласен на обработку персональных данных.

344006, Российская Федерация,

г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41

Тел. 89282267249

e-mail: yusomp@ya.ru



Юрасов Юрий Игоревич

д.т.н. (специальность 05.27.06 Технология и

оборудование для производства

полупроводников, материалов и приборов

электронной техники), Заместитель

директора по научной работе

Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки «Федеральный

исследовательский центр Южный научный

центр Российской академии наук»

(ЮНЦ РАН)