

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ЮФУ801.01.04,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный
университет» по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук

*аттестационное дело №_____,
решение диссертационного
совета от 19.01.2024 г. № 19*

О присуждении Ли Чжэню, гражданину Китая, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика решетки, магнитные и электрофизические свойства наноструктурированных ортоферрита, феррит-граната и феррит-манганита иттербия» по специальности 2.6.6 – «Нанотехнологии и наноматериалы» принята к защите 02.11.2023 г. (протокол заседания № 15) диссертационным советом ЮФУ801.01.04 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» в соответствии с приказами № 229-ОД от 27.09.2022, № 252-ОД от 05.09.2023 г., № 284-ОД от 29.09.2023 г.

Соискатель Ли Чжэню, 1989 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру по направлению 03.04.02 «Физика» и в 2020 году поступил в аспирантуру по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет». В настоящее время является аспирантом физического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Диссертация выполнена в Международном исследовательском институте интеллектуальных материалов и на кафедре теоретической и экспериментальной физики физического факультета федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Научный руководитель – **Абдулвахидов** Камалудин Гаджиевич, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

Официальные оппоненты:

1) **Амиров** Абдулкарим Абдулнатинович, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), заместитель начальника отдела разработки ускорительно-накопительного комплекса Управления по созданию исследовательской установки «СИЛА» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;

2) **Юрасов** Юрий Игоревич, доктор технических наук (специальность 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники), ведущий научный сотрудник, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 12 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, в том числе 4 статьи по теме диссертации.

Наиболее значимые работы:

A1. Li, Zhengyou. Nanostructured $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ and its physical properties / Li. Zhengyou, K. Abdulvakhidov, S. Soldatov, A. Soldatov, S. Otajonov, M. Axmedov, A. Nazarenko, P. Plyaka, B. Abdulvakhidov, V. J. Angadi, et al. // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. - 2023. - Vol. 34, - № 15. - P. 1208.

A2. Abdulvakhidov, K. Structure phase state and physical properties of $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compositions / K. Abdulvakhidov, Zhengyou. Li, B. Abdulvakhidov, A.

Soldatov, S. Otajonov, R. Ergashev, D. Yuldashaliyev, B. Karimov, A. Nazarenko, P. Plyaka, et al. // Applied Physics A. - 2023. - Vol. 129, - № 3. - P. 185.

A3. Li, Zhengyou. Influence of structural defects and crystallite size on physical properties of Yb₃Fe₅O₁₂ / Li. Zhengyou, K. Abdulvakhidov, A. Nazarenko, A. Soldatov, P. Plyaka, Y. Rusalev, A. Manukyan, I. Dmitrenko, M. Sirota // Applied Physics A. - 2022. - Vol. 128, - № 4. - P. 343.

A4. Li, Zhengyou. Influence of mechanical activation on crystal structure and physical properties of YbFeO₃ / Li Zhengyou, K. Abdulvakhidov, B. Abdulvakhidov, A. Soldatov, A. Nazarenko, P. Plyaka, A. Manukyan, V. J. Angadi, S. Shapovalova, M. Sirota, et al. // Applied Physics A. - 2022. - Vol. 128, - № 12. - P. 1075.

На диссертацию и автореферат поступили **ОТЗЫВЫ**:

1. к. ф.-м. н. Амиров А. А. (Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва):

«1) В главе 2.2. Измерительная аппаратура описание экспериментальных подходов описано довольно лаконично и сжато. В частности, можно было бы более подробно остановиться на описании тех экспериментальных установок, которые были непосредственно разработаны в лаборатории и привести структурные схемы измерительных установок.

2) Обозначение единиц измерения на некоторых рисунках по всему объёму диссертации приведено на английском.

3) Не совсем понятен смысл предложения «Постоянная элементарной ячейки имеет резкий скачок при давлении 800 МПа из-за «разрыхления» кристаллической решётки» (см. рис. 9) на странице 31. Является ли формулировка «разрыхления» общепринятой? Если нет, то было бы желательно подробнее разъяснить данную формулировку.

4) В выводах III главы (стр.52) отмечается «1. Характерным для наноструктурированных порошков методом «сверху-вниз» является образование неизометрических частиц, находящихся в метастабильных состояниях.» Это обнаружено непосредственно в результате исследований в данной главе или является неким общим тезисом, поскольку отмечается что «для наноструктурированных порошков». А термин «наноструктурированные порошки является

довольно широким понятием. Вопрос: вывод относится конкретно к объектам исследования или ко всем наноструктурированным порошкам?

5) Единицы измерения намагниченности на кривых намагничивания желательно было представить в единицах $A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$.

6) В работе не приведено объяснения причин наблюдения необратимого характера зависимости магнитодielekтрического эффекта от магнитного поля. (рис.58-59). Какова природа этого явления?

7) В заключение относительного последнего положения «Показано, что для получения достоверных значений коэффициентов $MD(\omega)$ и $MR(\omega)$ наноструктурированных $YbMn_{0.3}Fe_{0.7}O_3$ и $YbMn_{0.5}Fe_{0.5}O_3$ необходима «формовка» доменной структуры при многократном циклировании магнитного поля в экспериментальном интервале $(-H \leftrightarrow +H)$.», хотелось бы понять исходя из каких конкретно результатов оно сделано. Также, было бы желательно избегать частных формулировок как например типа «формовка».

2. д. т. н. Юрасов Ю. И. (ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону):

«1) В работе показаны только вычисления среднеквадратичных отклонений ионов $Yb_3Fe_5O_{12}$. 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 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)?

б) В работе присутствуют грамматические ошибки и неточности»;

3. д. ф.-м. н. Отажонов С. М. (Ферганский государственный университет, г. Фергана): не содержит замечаний;

4. д. т. н. Черепанов В. В. (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»): «1) в автореферате не раскрыт физический смысл силовых постоянных K и причина выбора для их расчёта соотношения (1); 2) в таблицах 9 и 10 автореферата вместо длин связей приведены волновые числа; 3) имеются ошибки грамматического характера»;

5. к. ф.-м. н. Мардасова И. В. (ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»): «Автореферат не лишён ряда недостатков. Имеются грамматические ошибки, пропуски, которые не влияют на значимость проделанной работы»;

6. д. ф.-м. н. Котов Л. Н. (ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина»): «В автореферате имеются ошибки грамматического характера, которые не влияют на содержание работы, которая соответствует заявленной специальности».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Амиров А. А. имеет высокую квалификацию в области физики магнитных свойств и фазовых переходов мультиферроиков, а Юрасов Ю. И. является специалистом в области диэлектрической спектроскопии нелинейных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

***доказано, что при формировании наноструктур методом «сверху-вниз» определяющим факторами являются приложенное внешнее давление и величина сдвиговой деформации, от которых зависят: 1) структурное совершенство,**

- 2) значения параметров элементарных ячеек, 3) размеры наночастиц, 4) диссипативные свойства и динамика кристаллической решетки;

***доказано**, что наноструктурирование YbFO_3 при механоактивации приводит к изменениям длин связей, наклонам кислородных октаэдров FeO_6 и относительному вращению соседних октаэдров. Аналогичные изменения происходят и в додекаэдрах YbO_8 , являющихся составными частями YbFO_3 ;

***доказано**, что в зависимости от x , $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ может существовать в трех стабильных при наноструктурировании различных кристаллографических сингониях: гексагональном, гексагональном + орторомбическом и орторомбическом.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

***применены** комплексные методы анализа экспериментальных данных;

***использованы** компьютерные программы для моделирования кристаллических структур наноструктур, полученных методом «сверху-вниз»;

***применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

***установлено**, что для иттербиевого граната железа характерен критический размер D_{crit} , равный 75 нм, а для ортоферрита иттербия – 50 нм, которым соответствуют максимальные значения коэрцитивного поля $H_{\text{смах}}$ и поля анизотропии H_a ;

***установлено**, что форма кривых магнитодиэлектрического $MD(\omega)$ и магниторезистивного коэффициентов $MR(\omega)$ 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 коллинеарных полях E и H зависит от количества циклов магнитного поля ($-H \leftrightarrow +H$);

***установлено**, что для наноструктурированного YbFeO_3 характерно увеличение всех мод колебаний;

***установлено**, что увеличение x в $\text{YbMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ выше 0.8 сопровождается размытием зависимости $\varepsilon'(T)$, обусловленной увеличением концентрации носителей и переходом от полупроводникового к металлическому типу носителей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

***полученные** экспериментальные данные формирования наноструктур ортоферрита, феррит-граната и феррит-манганита иттербия позволят применять подобные условия наноструктурирования к любым кристаллическим телам;

***установленные** закономерности формирования наноструктур методом «сверху-вниз» позволят в дальнейшем подбирать условия получения функциональных наноструктурированных материалов, находящихся в различных метастабильных условиях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

***теоретическая основа** работы опирается на общепринятые фундаментальные подходы и перспективные методы анализа данных, а также согласуется с экспериментальными данными диссертации;

***установлено** качественное и количественное соответствие результатов, полученных в диссертации, с независимыми результатами, представленными в научных статьях, опубликованных в международных изданиях, для схожих материалов;

***достоверность полученных результатов** подтверждается использованием в исследованиях современного сертифицированного научного оборудования. Сделанные в работе выводы удовлетворяют общепринятым физическим методам и законам. Противоречия сформулированных положений с современными концепциями физики и смежных с ней направлений отсутствуют. Анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки данных. В работе применялись паспортизованные химические высокочистые вещества, материалы и оборудование с лицензионным программным обеспечением. Результаты опубликованы в международных рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus;

***выводы диссертации** обоснованы и не вызывают сомнений.

Личный вклад соискателя состоит в решении задач, обработке и обсуждении полученных результатов. Все основные научные результаты получены лично автором. Непосредственно автором работы самостоятельно проведены магнитные, гальваномагнитные, диэлектрические, рентгендифрактометрические и импеданс-спектроскопические эксперименты и исследования, обработка и анализ данных. Автором написаны и использованы четыре программы для прикладных задач при выполнении исследований. Также автором подготовлены рукописи научных публикаций и диссертации, обобщены результаты и сделаны основные выводы работы.

На заседании 19.01.2024 г. диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», и принял решение присудить Ли Чжэню учёную степень **кандидата физико-математических наук**.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 8 человек, из них 7 докторов наук, участвовавших в заседании, из 10 человек, входящих в состав совета (дополнительных членов в состав совета не вводилось), проголосовали: за – «8», против – «нет», воздержался – «нет».

Председатель заседания
диссертационного совета

ЮФУ801.01.04,

д. ф.-м. н., профессор

Александр Владимирович

Солдатов Александр Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета

ЮФУ801.01.04

Любовь Владимировна

Гуда Любовь Владимировна

19.01.2024 г.

