О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Масюгина Альберта Николаевича "Магнитоэлектрический эффект в пленках цериевого и висмутового феррита граната с редкоземельным замещением", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. физика конденсированного состояния

Одной из актуальных научных проблем в настоящее время является получение новых материалов для функциональной микро и нано электроники, а также сред для плотной записи информации. В связи с этим наблюдается особый интерес к материалам, объединенными в класс мультиферроиков, которые обладают одновременно магнитным и электрическим упорядочениями, что позволяет создавать различные структуры с возможностью управления как магнитными так электрическими характеристиками.

В диссертационной работе А.Н. Масюгина приведены результаты исследований магнитоэлектрических эффектов (МЭ) в пленочных материалах висмутового и цериевого ферритов гранатов с редкоземельным замещением. Несмотря на то, что мультиферроики на данный момент широко исследуются, и в литературе имеется немало информации в этом направлении, до сих пор остаются неясными механизмы, обуславливающие различные МЭ в мультиферроиках с малой намагниченностью и проявляющихся в области комнатных температур. Выбранные для исследования материалы относятся к такого рода мультифероикам. В связи с этим диссертационная работа А.Н. Масюгина является **актуальной**, а поставленные в ней задачи **своевременны и целесообразны.**

Научная и практическая значимость полученных в работе результатов связана с выяснением механизма МЭ взаимодействия, а именно с нарушением центра инверсии в результате эпитаксиальных напряжений пленки на подложке, синтезированных при высоких температурах. Линейный МЭ вызван полярным смещением ионов в додекаэдрических узлах при синтезе пленок и флексомагнитоэлектрическим эффектом. Наличие МЭ эффекта расширяет потенциальные возможности микроэлектроники, например, для создания устройств МЭМС и НЭМС, датчиков визуализации вихревых токов и магнитных с высоким разрешением, увеличения плотности записи.

Привлекает внимание логичная последовательность, поставленных автором научных задач, использование разнообразных экспериментальных методов и теоретических моделей. Результаты, полученные А. Н. Масюгиным, являются оригинальными и взаимосвязанными. Автор впервые исследовал пленки $Nd_1Bi_2Fe_5O_{12}$(450нм)/$Nd_2Bi_1Fe_4Ga_1O_{12}$(90нм) на стеклянной подложке и $Nd_{0.5}Bi_{2.5}Fe_5O_{12}$(450нм) на монокристаллической подложке GGG с обнаружением магнитострикции и электрострикции. В работе впервые исследована релаксация электрической поляризации, получены температурные и полевые зависимости деформации пленок, выявлен линейный ЕН и квадратичный $ЕН^2$ магнитоэлектрический эффект.

Поставленные цели автором достигнуты, получен ряд новых и, несомненно, важных результатов, которые нашли отражение в диссертации и представлены в научных положениях, выносимых на защиту. **Новизна исследования** относится к следующим результатам:

1. В пленках железоиттриевого граната с висмутом и редкоземельным замещением установлен температурный максимум магнитострикции и электрострикции.
2. Установлена смена знака магнитострикции в области комнатных температур.
3. Обнаружен гистерезис электрической поляризации, а также рост электроемкости от магнитного поля.
4. Установлено наличие двух типов магнитоэлектрических эффектов от магнитного поля: линейного и квадратичного.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Она основана на данных, полученных с использованием наиболее надежных современных экспериментальных методов исследования: тензометрии на основе датчиков ZFLA-3-11, высокочувствительных электрометров для определения поляризационного тока, импедансной спектрометрии в широкой области частот, ИК-спектроскопии. Предложенные модели и качественное согласие с экспериментальными данными подтверждают механизм наблюдаемых эффектов.

Надежность апробации результатов исследований, представленных в диссертации, подтверждается докладами и их обсуждениями на международных и российских конференциях, а также публикациями в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных журналах.

Вместе с тем следует высказать следующие вопросы и замечания.

1. Для объяснения электрической поляризации в висмутсодержащих ферритовых гранатах предлагается обменно-стрикционный механизм. Для полевой зависимости величины поляризации используется подгоночная функция, в которой присутствуют линейный и квадратичный слагаемые внешнего магнитного поля. Но почему-то не учитывается собственный магнитный момент пленки. В работе отсутствуют данные по намагниченности исследуемых образцов. Ведь известно, что в феррит-гранатовых пленках наблюдаются особенности в магнитооптических свойствах вблизи точки компенсации и возможно, ее наличие может отразиться и на электрической поляризации.

2. Не совсем ясен выбор образцов, содержащих примесь Се. Авторы обосновывают это тем, что выбранные образцы с Се позволят выяснить роль ионов висмута в магнитоэлектрическом взаимодействии ферритов- гранатов с редкоземельными элементами (глава 4). Но в выводах этой главы об этом ничего не сказано.

3. Стр. 36. Приводится такое утверждение: «Использование двухслойной пленки позволяет переключать направление магнитного момента и модулировать значение угла вращения в магнитном поле [84]». Но это можно осуществить и на однослойных пленках. Тогда непонятно, зачем создавать двухслойную структуру?

Кроме того, следует привести более мелкие замечание по тексту диссертации.

В подписи к рисунку рис.2.2 указаны ссылки на кривые под номерами a, b, c, d. Но на самом рисунке кривые обозначены значениями температур. Это усложняет восприятие. То же самое относится и к рис. 2.4.

Рис. 2.10 Частота обозначена английской буквой w, а не греческой ω, как принято.

В выводах на стр. 59: «Найден гистерезис электрической поляризации в моно и поликристаллических пленках…». Нужно указать, в каких пленках.

Рис.3.11. Приведена вставка к рисунку. Но никаких пояснений к ней нет.

На стр. 54, рис. 2.15(а) приведены кривые λ(H) при разных температурах, которые отличаются цветом. Приведены обозначения температур точками разного цвета. Но из-за качества светопередачи при печатании цвета точек различить сложно и поэтому, понять, какая кривая относится к указанной температуре затруднительно.

Следует подчеркнуть, что замечания не затрагивают основного содержания работы, не дают повода сомневаться в справедливости выводов, сделанных в диссертационной работе.

Содержание **автореферата соответствует" основным идеям и выводам диссертации.**

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к дальнейшему использованию в других академических учреждениях при исследованиях транспортных и магнитоэлектрических явлений, например, в ИФ им. Х.И. Амирханова ДагНЦ РАН, ИФ твердого тела РАН, ФТИ РАН им. Иоффе, ИФ им. Л.В. Киренского СО РАН, ИФ металлов УрО РАН, Южном федеральном университете, Московском инженерно-физическом институте, МГУ, УрФУ, СФУ.

Диссертационная работа Масюгина Альберта Николаевича ***соответствует требованиям ВАК России***, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а А. Н. Масюгин ***заслуживает присуждения*** искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Чжан Анатолий Владимирович, д.ф.-м. н. по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений, зав. кафедрой физики ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», avchz@mail.ru

адрес: 660049, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», пр.Мира 90, г. Красноярск.

_____/Чжан А.В.

Подпись
заверяю канцелярия ФГБОУ ВО
«Красноярский ГАУ»

Сведения об официальном оппоненте

Чжан Анатолий Владимирович
e-mail: avchz@mail.ru
тел. 8(391)227 36 09
Ученая степень: доктор физико- математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений
Ученое звание: доцент
Место работы: ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
Должность: зав. кафедрой физики

Список трудов за последние 5 лет

1. A.V. Chzhan, S.A. Podorozhnyak, S.M. Zharkov, S.A. Gromilov, G.S. Patrin. Induced magnetic anisotropy of Co-P thin films obtained by electroless deposition Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2021,V. 537, P. 168129.
2. Pogrebna A., Barsaume S., Subkhangulov R.R., Rasing T., Kimel A.V., Telegin A.V., Sukhorukov Y.P., Chzhan A.V. Spectral tunability of laser-induced spin dynamics in the ferromagnetic semiconductor $CdCr_2 Se_4$. Physical Review b. 2018. V. 98. № 21. P. 214427.
3. G. S. Patrin, Ya. G. Shiyan, A. V. Chzhan and S. A. Podorozhnyak. Influence of interface anisotropy on ferromagnetic resonance in CoP/(NiP)am/CoP films. Materials Research Express 8 (2021) 056102, p.1-6
4. Chzhan A.V., Podorozhnyak s.A., Patrin G.S., Volochaev M.N., Bondarenko G.N. Effect of the ph of solutions on the coercivity and microstructure of chemically deposited cop films. Physics of the Solid State. 2017. v. 59. № 7. p. 1440-1445.
5. Chzhan A.V., Podorozhnyak S.A., Krayukhin I.N., Patrin G.S., Mal'tsev v.k. Allotropic modifications of cobalt upon chemical deposition. Physics of the Solid State. 2021. V. 63. № 1. P. 42-46.
6. Onufrienok V.V., Chzhan A.V., Bondarenko G.V., Yurkin G.Y. Transition of metastable pyrrhotites to a stable phase state. Inorganic Materials. 2020. т. 56. № 9. с. 898-902.
7. Chzhan A.V., Podorozhnyak S.A., Patrin G.S., Rudenko R.Y., Onufrienok V.V. Influence of solution acidity on growth kinetics, structure and magnetic properties of Co-P films, obtained by chemical deposition. Journal of Physics: conference series. VII euro-asian symposium "Trends in magnetism". 2019.p. 012116
8. Chzhan A.V., Podorozhnyak S.A., Shahov A.N., Patrin G.S., Velikanov D.A. Thickness dependences of coercivity in three layer films obtained by chemical deposition Journal of physics: conference series. VII euro-asian symposium "trends in magnetism". 2019. p. 012118.
9. Онуфриенок В.В., Чжан А.В., Сакаш И.Ю. Возможные типы упорядочения катионных вакансий в структурах типа NiAs. :Журнал Сибирского федерального университета. Серия: математика и физика. 2018. т. 11. № 5. с. 561-568.
10. Podorozhnyak S.A., Chzhan A.V., Maltsev V.K., Krayuhin I.N., Patrin G.S., Sakash I.YU. Structural changes of Co caused a change of the solution pH during chemical deposition. Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. 2020. V. 13. № 4. P. 451-458.
11. Подорожняк С.А., Чжан А.В., Патрин Г.С. Способ получения аморфных пленок Co-P на диэлектрической подложке. Патент на изобретение RU 2630162 c1, 05.09.2017.

_____ / А. В. Чжан

Список верен
Проректор по науке
Красноярского ГАУ
к.т.н., доцент _____ /В. Л. Бопп