

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики им. Л.В.
Киренского Сибирского отделения Российской
академии наук - обособленного подразделения
ФИЦ КНЦ СО РАН

д.ф.-м.н. Д.А. Балаев

« 31 » октября 2023 г.



Отзыв

ведущей организации на диссертацию Семука Евгения Юрьевича «Ферромагнитный резонанс в пленках висмут-замещенных ферритов-гранатов», представляемую к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Семука Е.Ю. посвящена экспериментальному исследованию методом ферромагнитного резонанса однослойных и многослойных пленок ферритов граната с целью определения степени неоднородности структуры ламинированной пленки по её толщине, магнитной анизотропии, фиксации магнитоупругих колебаний и регистрации модификаций СВЧ спектров при облучении пленок линейно поляризованным светом.

Актуальность темы выполненной работы и её связь с планами соответствующих отраслей науки

Пленки феррит граната имеют, с одной стороны, широкий спектр уже реализованных практических приложений в электронике и технике СВЧ, а также в качестве компонент одномерных магнитофотонных кристаллов. С другой стороны, они обладают высоким потенциалом для будущих устройств, функционирование которых основано на модификациях магнитной анизотропии, определяющих магнитоупругие взаимодействия, фотомагнитные и нелинейные оптические эффекты. Метод жидкофазной эпитаксии и реактивное ионно-лучевое распыление являются базовыми для синтеза. Указанные области применения используют различные магнитные параметры от магнитных структур (однослойных пленок или отдельных слоев). Метод ферромагнитного резонанса является наиболее пригодным для характеристики как с точки зрения простоты реализации, так и количества одновременно измеряемых параметров (намагниченность насыщения, поле перпендикулярной анизотропии, поле анизотропии в плоскости). Отдельно стоит отметить способность метода идентифицировать степень однородности синтезируемых структур.

Исходя из всего рассмотренного, актуальность проведенных в настоящей работе исследований не вызывает сомнения. Тема диссертационной работы Семук Е.Ю. тесно связана с одним из приоритетных направлений Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 годы (Распоряжение Правительства РФ № 3684-р от 31.12.2020г.), а именно пунктом «1.3.2.3. Физика магнитных явлений, магнитные материалы и структуры, спинтроника», и в полной мере соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 января 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Структура и содержание работы

Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка используемых источников из 123 наименований. Общий объем диссертации составляет 164 страниц, включая 39 рисунков и 7 таблиц.

Во введении дана общая характеристика диссертации: обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава

Дано описание кристаллической структуры граната, отражающее зависимость в распределении по позициям анионных пустот от выбранного для катионного замещения элемента. Представлены вклады плотности полной энергии магнитного материала и демонстрируются возможности метода ферромагнитного резонанса в определении магнитных параметров с учетом перечисленных вкладов в полную энергию. Отдельно отмечается ширина линии кривой ферромагнитного резонанса как идентификационная характеристика для анизотропных материалов.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию серии эпитаксиальных пленок $(\text{BiLuCa})_3(\text{FeGe})_5\text{O}_{12}$, варьирование состава которых осуществлялось через изменение температуры синтеза. Сопоставление экспериментальных резонансных полей и расчетных при различных углах между нормалью и приложенным магнитным полем позволило установить величины эффективных полей одноосной и кубической анизотропии, а также тип анизотропии. Вид регистрируемого СВЧ спектра поглощения демонстрирует наличие двух эффективных магнитных слоев в ряде пленок этой серии.

В третьей главе представлены результаты исследования серии пленок висмут замещенного феррит граната, синтезированных методом реактивного

ионно-лучевого распыления. Пленки серии отличались составом, количеством слоев и подложкой. Были измерены зависимости резонансного поля при изменении положения пленки как по азимутальному углу, так и по полярному углу. Представлены угловые зависимости ширины линии кривой СВЧ поглощения от полярного угла. Экспериментальные и расчетные угловые зависимости позволили установить влияние подложки на магнитные параметры, регистрировать «выход» намагниченности из плоскости пленки при соблюдении определенных технологических условий, формирование перпендикулярной анизотропии в одном из слоев двухслойной системы под влиянием второго.

Четвертая глава представляет результаты исследования эпитаксиальных пленок феррит граната с катионным замещением методом низкополевого ферромагнитного резонанса как без дополнительного внешнего воздействия, так при облучении линейно поляризованным светом.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Материал в диссертации, в целом, изложен четко и ясно, работа хорошо структурирована и оформлена. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Публикации в рецензируемых научных изданиях отражают содержание работы. Выводы по диссертации являются полными, логичными и обоснованными.

Новизна исследования и полученных результатов

Большинство результатов работы являются новыми и получены впервые с использованием современных методов регистрации магнитных параметров (намагниченности, поле анизотропии) статическими и динамическими методами, подкрепленными данными структурных исследований. Так, впервые предложена модель на примере висмут замещенных пленок феррит граната, синтезированных методом реактивного ионно-лучевого распыления, описывающая ориентационные зависимости ширины линии СВЧ кривой поглощения и учитывающая формирование неоднородной структуры пленки. Обнаружены модуляции кривой ферромагнитного резонанса обусловленные резонансом стоячих мод поперечных упругих колебаний. Отдельно стоит отметить, экспериментальное обнаружение модификации спектров ФМР пленки состава $(\text{BiY})_3(\text{FeSc})_5\text{O}_{12}$ при облучении линейно поляризованным светом.

Значимость результатов для науки и производства

Полученные Е.Ю. Семуком результаты представляют несомненный научный и практический интерес. Представляемая работа существенно расширяет сведения об особенностях формирования магнитной анизотропии в феррит гранатовых пленках и слоистых структурах, включающих их. Полученные данные о влиянии облучения эпитаксиальных пленок на параметры магнитоупругих колебаний в системе пленка-подложка и модификациях частотных спектров ФМР

могут быть использованы при построении теории, описывающей распространение волн намагниченности по толщине анизотропной пленки.

Результаты работы могут быть использованы для решения прикладных задач в области микроэлектроники и магнитоэлектроники сверхвысоких частот, наноэлектроники, техники магнитной записи информации и спиновой электроники. Результаты работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских организациях и университетах, специализирующихся в области синтеза и исследований новых магнитных пленочных материалов, а также на предприятиях, работающих в области радиотехники и радиоэлектроники.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Сформулированный в диссертации научные положения, выводы и заключения основываются на научных результатах, полученных на базе современного экспериментального оборудования с использованием корректных и обоснованных теоретических моделей, методов и алгоритмов расчета. Достоверность результатов работы подтверждается их внутренней непротиворечивостью, воспроизводимостью, а также согласием с экспериментальными и теоретическими данными других авторов. Результаты, представленные в диссертации, были апробированы на различных международных и российских конференциях.

Результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 9 статьях, среди которых работы в ведущих российских («ЖЭТФ», «ЖТФ», «Письма в ЖЭТФ») и зарубежных (Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Journal of Physics: Conference Series) журналах. Новизна предложенных технических и программных решений подтверждена 1 патентом на изобретение.

Вопросы и замечания

По существу диссертационной работы необходимо сделать следующие замечания.

1. В главах 2, 3 и 4 приводятся данные измерений, полученных из рентгеноструктурного анализа, с помощью растрового электронного микроскопа и статических магнитных измерений. Но эти значимые для трактовки результатов работы величины не сопровождаются ни одной регистрируемой кривой намагничивания и ни одной дифрактограммой.

2. Во второй главе, описывающий результаты исследования эпитаксиальных пленок феррит гранатов методом ферромагнитного резонанса, представлен спектр ФМР образца №4. Автор работы описывает экспериментальную кривую и анализирует её без учета нескольких линий возбуждения, которые регистрируются для каждого из двух выделенных полевых диапазонов.

3. В разделе, посвященном исследованию висмут замещенных феррит гранатов методом низкочастотного ферромагнитного резонанса, отсутствует ясное описание технических характеристик измерительной установки, представленная схема измерительной ячейки также не позволяют их оценить. Также отсутствуют сравнение с результатами, полученными в этой области другими научными группами. По этой причине сложно объективно оценить достоинства и преимущества выполненных исследований.

4. В работе встречаются множественные опечатки, которые весьма значительно затрудняют понимание высказанной автором идеи. Например, стр. 49 «... ЖИГ с полированной релаксации в бездефектном ЖИГ...», стр. 60 «... анализ зависимости частоты ФМР от угла между магнитным полем и нормалью...» при измерении на фиксированной частоте, стр. 67 «... интенсивность слоя...» и т.д.

Заключение

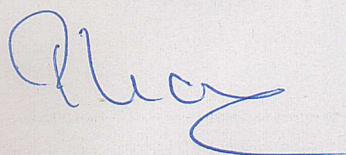
Высказанные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой завершенную, научно-квалификационную работу, вносящую заметный вклад в развитие актуального научного направления, связанного с изучением свойств ферритов гранатов с катионным замещением и возможностей их применения в качестве магнитных компонентов СВЧ-устройств. Новые научные результаты, полученные диссертантом, позволили выявить особенности формирования магнитной анизотропии в пленках феррит гранатов. По совокупности полученных результатов работа может быть квалифицирована как новое научное достижение в области физики конденсированного состояния.

Диссертация Евгения Юрьевича Семука удовлетворяет критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор Семук Евгений Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

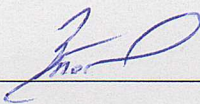
Доклад Е.Ю. Семука по материалам диссертационной работы был заслушан и обсуждался на семинаре отдела «Физика магнитных явлений» ИФ СО РАН 31 октября 2023г., протокол № 4.

Отзыв подготовили

д.ф.-м.н., главный научный сотрудник
лаб. Физика магнитных пленок
Исхаков Рауф Садыкович



Подпись Р.С. Исхакова заверяю
ученый секретарь ИФ СО РАН,
к.ф.-м.н.

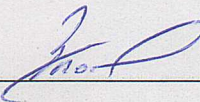


А.О. Злотников

к.ф.-м.н., заведующий лабораторией
научного приборостроения
Боев Никита Михайлович



Подпись Н.М. Боева заверяю
ученый секретарь ИФ СО РАН,
к.ф.-м.н.

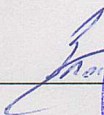


А.О. Злотников

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник
лаб. Физика магнитных пленок
Важенина Ирина Георгиевна



Подпись И.Г. Важениной заверяю
ученый секретарь ИФ СО РАН,
к.ф.-м.н.



А.О. Злотников

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Семука Евгения Юрьевича, выполненной на
тему

«Ферромагнитный резонанс в пленках висмут-замещенных ферритов-гранатов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.8 – Физика конденсированного состояния

	Полное наименование организации	Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
	Сокращенное наименование организации	ИФ СО РАН
	Организационно-правовая форма организации	бюджетное учреждение
	Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
	Местонахождения	г. Красноярск, Российская Федерация
	Почтовый адрес организации	Россия, 660036 г. Красноярск Академгородок, 50, строение № 38
	Телефон организации	+7(391) 243-26-35, +7(391) 243-89-23 (факс)
	Адрес электронной почты организации	dir@iph.krasn.ru
	Адрес официального сайта организации в сети Интернет	http://kirensky.ru/ru
0	Руководитель организации	Балаев Дмитрий Александрович д. ф.-м. н.
1	Наименование профильного структурного подразделения, занимающегося проблематикой диссертации	Отдел физики магнитных явлений Лаборатория физики магнитных пленок
2	Сведения о лице, утверждающем отзыв ведущей организации	Балаев Дмитрий Александрович Директор ИФ СО РАН, д. ф.-м. н.
3	Сведения о составителе отзыва из ведущей организации	Исхаков Рауф Садыкович, главный научный сотрудник лаборатории физики магнитных пленок ИФ СО РАН, доктор физико-математических наук, профессор

		<p>Боев Никита Михайлович, заведующий лабораторией научного приборостроения ИФ СО РАН, кандидат физико-математических наук</p> <p>Важенина Ирина Георгиевна, старший научный сотрудник лаборатории физики магнитных пленок ИФ СО РАН, кандидат физико-математических наук</p>
4		<p>Список основных публикаций работников организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Столяр С. В., Ли О. А., Николаева Е. Д., Боев Н. М., Воротынов А. М., Великанов Д. А., Исхаков Р. С., Пьянков В. Ф., Князев Ю. В., Баюков О. А., Шохрина А. О., Молокеев М. С., Васильев А. Д., Нагрев магнитных порошков в режиме ферромагнитного резонанса на частоте 8.9 GHz// ФТТ. – 2023. Т.65, №6. – С.1006-1013. DOI: 10.21883/FTT.2023.06.55658.21Н 2. Важенина И. Г., Столяр С. В., Тюменцева А. В., Волочаев М. Н., Исхаков Р. С., Комогорцев С. В., Пьянков В. Ф., Николаева Е. Д., Исследование магнитных наночастиц оксида железа, покрытых оксидом кремния, методом ферромагнитного резонанса// ФТТ. – 2023. Т.65, №6. – С. 923-927. DOI: 10.21883/FTT.2023.06.55644.01Н 3. Melnikov G. Yu., Vazhenina I. G., Iskhakov R. S., Boev N.M., Komogortsev S.V., Svalov A.V., Kurlyndskaya G.V., Magnetic properties of FeNi/Cu-based lithographic rectangular multilayered elements for magnetoimpedance applications// Sensors. - 2023. - Vol. 23, Is. 13. – P. 6165. DOI 10.3390/s23136165 4. Izotov A. V., Belyaev B. A., Boev N. M., [et al.] Ferromagnetic resonance line broadening and shift effect in nanocrystalline thin magnetic films: Relation with crystalline and magnetic structure// J. Alloy. Compd. - 2022. - Vol. 900. - P. 163416, DOI 10.1016/j.jallcom.2021.163416 5. Vazhenina I. G., Stolyar S. V., Yakovchuk V. Yu., Iskhakov R. S., Spin-wave resonance of exchange-coupled three-layers FeNi/Cu/FeNi planar structures// Physics of the Solid State. – 2022. Vol. 64, Is. 14. – P. 2334-2343. DOI: 10.21883/PSS.2022.14.54336.170 6. Важенина И. Г., Исхаков Р. С., Яковчук В. Ю., Особенности угловых зависимостей параметров спектров ферромагнитного и спин-волнового резонанса магнитных пленок// Физика металлов и металловедение. - 2022. Т. 123, № 11. - С. 1153-1160. DOI: 10.31857/S0015323022601192 7. Важенина И. Г., Столяр С. В., Яковчук В. Ю., Рауцкий М. В., Исхаков Р. С., Температурные зависимости межслойной обменной константы трехслойных пленок FeNi/Dy/FeNi, исследованные динамическим методом// Письма в Журнал технической физики. - 2022. Т. 48, № 10. - С. 8-11. DOI: 10.21883/PJTF.2022.10.52548.19135 8. Komogortsev S. V., Vazhenina I. G., Kleshnina S. A., Iskhakov R. S., Lepalovskij V. N., Pasyukova A. A., Svalov A. V., Advanced Characterization of FeNi-Based Films for the Development of Magnetic Field Sensors with Tailored Functional Parameters// Sensors. – 2022. Vol. 22, Is. 9. – P. 3324. DOI: 10.3390/s22093324 9. Balaev D. A., Stolyar S. V., Knyazev Y. V., Yaroslavtsev R. N., Pankrats A. I., Vorotynov A. M., Krasikov A. A., Velikanov D. A., Bayukov O. A., Ladygina V. P., Iskhakov R. S., Role of the surface effects and interparticle magnetic interactions in the temperature evolution of magnetic resonance spectra of ferrihydrite nanoparticle

ensembles//Results in Physics. – 2022.Vol. 35. – P. 105340.DOI: 10.1016/j.rinp.2022.105340

10. Stolyar S. V., Yakovchuk V. Y., Vazhenina I. G., Iskhakov R. S., Study of Surface Anisotropy of the Interface of Two-layer DyCo/FeNi Films by the Spin-wave Resonance Method// Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2021.DOI: 10.1007/s10948-021-06001-x

11. Важенина И. Г., Столяр С. В., Яковчук В. Ю., Исхаков Р. С., Спин-волновой резонанс в обменно-связанных трехслойных FeNi/Cu/FeNi планарных структурах// Физика твердого тела. – 2021. Т. 63, № 12. – С. 2106-2115.DOI: 10.21883/FTT.2021.12.51671.170

12. Stolyar S. V., Yaroslavtsev R. N., Chekanova L. A., Rautskii M. V., Bayukov O. A., Cheremiskina E. V., Nemtsev I. V., Volochaev M. N., Iskhakov R. S., Ferromagnetic resonance in iron tubes deposited on a copper grid//Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2020.Vol. 511. – P. 166979. DOI: 10.1016/j.jmmm.2020.166979

13. Stolyar S. V., Balaev D. A., Ladygina V. P., Pankrats A. I., Yaroslavtsev R. N., Velikanov D. A., Iskhakov R. S., Ferromagnetic Resonance Study of Biogenic Ferrihydrite Nanoparticles: Spin-Glass State of Surface Spins//JETP Letters. – 2020.Vol. 111, Is. 3. – P. 183-187. DOI: 10.1134/S0021364020030145

14. Komogortsev S. V., Krainova G. S., Il'in N. V., Plotnikov V. S., Chekanova L. A., Nemtsev I. V., Yurkin G. Y., Iskhakov R. S., Yatmanov D. A., Features of the Ferromagnetic Resonance of Amorphous FeSiBNbCu Ribbons with Different Compositions//Inorganic Materials: Applied Research. – 2020.Vol. 11, Is. 1. – P. 177-180. DOI: 10.1134/S2075113320010219

15. Комогорцев С. В., Крайнова Г. С., Ильин Н. В., Плотников В. С., Чеканова Л. А., Немцев И. В., Юркин Г. Ю., Исхаков Р. С., Ятманов Д. А., Особенности ферромагнитного резонанса лент аморфных сплавов FeSiBNbCu различного состава//Материаловедение. – 2019. № 7. – С. 8-11.DOI: 10.31044/1684-579X-2019-0-7-8-11

«31» октября 2023 г.

Директор ИФ СО РАН,
доктор физико-математических наук



Д. А. Балаев