

ОТЗЫВ

официального оппонента Бессонова Владимира Дмитриевича на диссертационную работу Семука Евгения Юрьевича «**Ферромагнитный резонанс в плёнках висмут-замещённых ферритов-гранатов**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированных состояний

Плёнки висмут замещённого железо-иттриевого граната используются для магнито-оптических эффектов и устройств на их основе. Ферромагнитный резонанс связан с низкоэнергетичными колебаниями намагниченности. Два этих разных явления могут быть объединены при возбуждении светом динамической намагниченности – что является одной из самых перспективных тем в современные науки, что делает тему диссертации Евгения Юрьевича **актуальной**.

Научная новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений. Автору удалось показать возможность управления направлением намагниченности в плёнках висмут замещённых феррит гранатов с помощью модуляции различных вкладов магнитной анизотропии.

Достоверность результатов не вызывает сомнений, так как ферромагнитный резонанс является хорошо развитым методом с хорошо развитой теорией. Полученные результаты в основном хорошо описываются теорией и объяснены с физической точки зрения. Полученные результаты не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и списка опубликованных работ по теме диссертации. Работа изложена на 163 страницах, включая 41 рисунок, 7 таблиц и 128 наименований цитированной литературы. Материалы исследований опубликованы в 9 статьях журналах их списка ВАК.

В введении показана актуальность темы и дан краткий экскурс в ранние исследования.

В первой главе описывается физика ферромагнитного резонанса и даны описания необходимых для понимания диссертации свойств ферритов гранатов.

Во второй главе рассказывается про изучения свойств двухслойных плёнок граната. Показан разный знак одноосной анизотропии для двух разных линий, которые связываются с разными магнитными слоями в плёнке. Результаты теоретический описаны Отдельно хочется отметить частотные зависимости от полярного угла для двухслойной плёнки. При внимательном рассмотрении видно, что две моды пересекаются по частоте при угле около 60

град. Пересечение мод – один из способов управления магнитными колебаниями в современных устройствах и их прототипах.

В третьей главе рассмотрены элементы магнитофотонных кристаллов в виде плёнок висмут замещённых иттриевых гранатов на различных оптических подложках. Показаны методы управления выходом направления намагниченностью через структуру подложки и напряжения, вызванные ей. Важный результат, что не все результаты можно описать кубической магнитокристаллической анизотропией, и необходимо учитывать вклад гексагональной анизотропии. Приведён интересный результат о затухании магнитной динамики как взаимодействия различных магнитных мод.

В четвёртой главе приведены полевые зависимости частоты ферромагнитного резонанса. Показано, что низкочастотные результаты не описываются теоретическими методами и связаны с неучтённым вкладом магнитной доменной структуры. Отдельный интерес представляют результаты о гибридизации магнитных и фононных мод. Магнитоупругие колебания являются перспективным направлением для развития магноники. Важным результатом является изучение подавления гибридизации магнитных и упругих колебаний под действием света. Отдельным плюсом хочется вынести выделение вкладов фотоиндуцированных процессов путём нагрева образца и сравнение результатов. С экспериментальной точки зрения это прекрасный результат, который не всегда приводится в научных работах.

Несмотря на хорошие экспериментальные результаты, теоретическое описание, наличие научной новизны, хотелось бы отметить ряд недостатков, требующих дополнительного обсуждения:

1. В разделе 3.4 обсуждаются результаты магнито-силовой микроскопии из которых делаются выводы о кристаллической симметрии плёнок в их плоскости. Однако МСМ говорит о распределении плотности магнитного потока на поверхности. Как из этих данных сделаны выводы о симметрии кристаллической структуры не понятно.

Также не хватает описания метода. В какой геометрии была намагничена игла?

2. В разделе (3.5) обсуждается анизотропия ширины линий ФМР. При этом утверждается что эта анизотропия не может следовать из свойств материала и связана с взаимодействием двух магнитных слоёв с разными параметрами. Угловая зависимость ширины линии ФМР в самом деле не следует из уравнения (1.40) Ландау-Лифшица-Гилберта, однако следует из более общего уравнения (1.39) Ландау-Лифшица с затухающим членом. В затухающий член входит внутреннее

поле, в котором есть вклад от магнитокристаллической кубической анизотропии. Влияние этого вклада на ширину линии в работе не рассмотрено.

3. В разделе 4.3 на рисунке 4.3 показаны зависимости, которые не описываются уравнением (4.4). В случае оси трудного в плоскости плёнки намагничивания перегиб на кривой ФМР обычно происходит при поле анизотропии, однако отсутствие гистерезиса намагниченности не позволяет это подтвердить, несмотря на то, что СКВИД магнитометр есть в используемых методах. Гистерезис намагниченности – интегральная характеристика, которая дополняет исследование как доменной структуры, которое является более «локальной» методикой в размере обзора объектива микроскопа. Это могло бы дать ответы на те приближения, которые указаны при исследовании доменной структуры и объяснения из них полевой зависимости ширины линии ФМР.

Также не приведён расчёт поля перегиба по уравнению (4.4). Это могло бы объяснить наличие ФМР при низких значениях напряжённости внешнего магнитного поля при направлении поля по оси лёгкого намагничивания в плоскости плёнки.

4. В разделе 4.6 на рисунке 4.6 приведены изображения магнитной доменной структуры. Однако не описана методика, как была получена эта доменная структура. Если это геометрия Фарадея, то непонятно почему поле прикладывалось в плоскости плёнки. И при этом сохранялась возможность наблюдения доменной структуры. Ведь геометрия Фарадея чувствительна только к намагниченности выходящей из плоскости плёнки.

Эффект Коттона-Мутона не подходит для регистрации магнитных доменов, так как он чётен по направлению магнитного поля.

Возможно это экваториальный или меридиональный магнито-оптический эффект Керра, который чувствителен к намагниченности лежащей в плоскости плёнки. Однако это не указано в тексте.

5. В разделе 4.7.4 на странице 128 сказано про распределение динамической намагниченности по толщине: «...можно предположить, что эта зависимость описывается функцией Гаусса». Однако известно, что в случае закреплённых или частично закреплённых спинов на поверхности плёнки эта зависимость описывается гармоническим законом. Это не меняет тех качественных выводов, которые делаются для магнитоупругих взаимодействий, однако физический неверно.

Узнать, закреплены ли спины на поверхности можно из измерений спин-волнового резонанса, что возможно, при использовании векторного анализатора электрических

цепей, как это делалось при измерений ФМР с частотной развёрткой. Однако в тексте не сказано, если ли в данной измерительной ячейки возможность фиксировать моды СВР и ставился ли такой эксперимент.

6. В разделе 4.8.2. не хватает описания измерений температуры освещённых и неосвещённых образцов. Не понятно какие температуры взяты для рисунка 4.13 и 4.14.

В целом диссертация подтверждает высокую квалификацию Семука Евгения Юрьевича и соответствует критериям, определённым в п. п. 9 – 14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 №335, от 02.08.2016 №748, от 29.05.2017 №650, от 28.08.2017 №1024). Считаю, что Семук Евгений Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений, старший научный сотрудник лаборатории перспективных магнитных материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Бессонов Владимир Дмитриевич

8 ноября 2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7-343-374-37-43, +7-91224-65079

e-mail: bessonov@imp.uran.ru

Адрес места работы:

620137, г. Екатеринбург,

ул. Софьи Ковалевской, 18

Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН



Подпись И.Ю. Арапова
Заведующий сектором ИФМ УрО РАН
20 23 г.