

Таврический национальный университет имени В. И. Вернадского

МИХАЙЛОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИСЛАВОВНА



УДК 537.6

**ОДНОМЕРНЫЕ МАГНИТОФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ С
МОДИФИЦИРОВАННЫМ МАГНИТОАКТИВНЫМ СЛОЕМ**

01.04.11 Физика магнитных явлений

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук**

Симферополь – 2014

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Таврическом национальном университете имени В. И. Вернадского, г. Симферополь

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор
Бержанский Владимир Наумович,
Таврический национальный университет имени
В. И. Вернадского, г. Симферополь,
заведующий кафедрой экспериментальной физики

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
Любчанский Игорь Леонидович,
Донецкий физико-технический институт
имени А.А. Галкина НАН Украины, г. Донецк
ведущий научный сотрудник

доктор физ.-мат. наук, профессор
Беляева Алла Ивановна,
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков
профессор кафедры общей и
экспериментальной физики

Защита состоится «05» декабря 2014 г. в 12.00 часов на заседании специализированного учёного совета Д 52.051.02 в Таврическом национальном университете имени В. И. Вернадского по адресу: 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таврического национального университета имени В. И. Вернадского по адресу: 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, 4. На сайте:
<http://science.crimea.edu/zashita/mikhailova/index.html>

Отзывы на автореферат просим присылать по адресу: Учёному секретарю Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, 4.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2014 г.

Учёный секретарь
специализированного учёного
совета Д 52.051.02, кандидат
физ.-мат. наук



А.Ф. Рыбась

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертационная работа посвящена исследованию актуальных вопросов магнитооптики тонких и наноразмерных плёнок висмут-замещённых ферритов-гранатов (bismuth-substituted iron garnet – Bi:IG) и одномерных магнитофотонных кристаллов (one-dimensional magnetophotonic crystals – 1D-MPC) на их основе. 1D-MPC вызывают значительный интерес как искусственные наноструктурированные среды для создания микроминиатюрных устройств оптоэлектроники, систем отображения, хранения и передачи информации, магнитной голографии, сенсоров [1].

Современная история фотонных кристаллов (photonic crystal – PC) началась с работ Е. Яблуновича [2], в которых впервые введён в научный обиход термин «фотонный кристалл», сформулирована концепция фотонной запрещённой зоны (photonic band gap – PBG) и проведена аналогия между свойствами PC и кристаллических материалов. PC представляет собой пространственно неоднородную структуру, характеризующуюся периодическим изменением диэлектрической проницаемости ε с периодом, допускающую брэгговскую дифракцию света. Периодичность изменения ε создают в одной, двух, или трёх пространственных координатах, формируя, одно-, двух- или трёхмерные PC (1D-, 2D- или 3D-PC, соответственно). За счёт явлений интерференции и дифракции при определённых параметрах структуры (геометрических размерах и оптических свойствах составляющих элементов) в некотором фиксированном диапазоне формируется PBG, в пределах которой распространение света подавлено во всех («полная» PBG) или в некоторых избранных направлениях («неполная» PBG, или псевдо-PBG, или стоп-зона). Растущий интерес к уникальным свойствам PC и магнитооптическим (МО) свойствам плёнок Bi:IG, получаемых методами вакуумного осаждения из паровой фазы послужил основанием к созданию группой японских исследователей первых структур магнитофотонных кристаллов (magnetophotonic crystals – MPC), PC содержащих магнитные материалы [3].

Сегодня создано целое направление магнитооптики, магнитофотоника, которое занимается разработкой новых идей и МО устройств на основе MPC. Большинство устройств сконструировано на использовании МО эффектов Фарадея и Керра, возникающих во входящих в MPC ферритмагнитных Bi:IG и усиленной структурой за счёт явлений интерференции и дифракции. Наибольшие достижения по увеличению интенсивностей эффектов Фарадея и Керра были получены именно для 1D-MPC [1]. На основе 1D-MPC с Bi:IG созданы МО пространственные модуляторы света с высокой скоростью переключения (несколько ГГц) [1], макеты матрицы отдельных пикселей для МО дисплея с низкими полями управления [4], полутонный и пространственно-фазовый модуляторы [1] и устройства для МО памяти [5]. Основной проблемой проектирования структур 1D-MPC для различных применений является увеличение МО добротности и нахождение оптимального соотношения величины угла поворота плоскости поляризации и интенсивности света, распространяющегося через кристалл. Решение данной проблемы усложняется особенностями синтеза плёнок ферритов-гранатов с высоким содержанием Bi, имеющих высокие значения углов фарадеевского и керровского

вращений. Свойства наноразмерных плёнок $V_i: IG$ существенно зависят от условий синтеза, типа подложки и характеристик интерфейса. Качество структуры в целом будет зависеть от качества выполнения и свойств её структурных элементов.

Таким образом, поиск новых типов структур 1D-MPC и технологий их создания на основе магнитных плёнок многокомпонентных $V_i: IG$ с оптимальными оптическими и МО свойствами является важной практической и теоретической задачей современной магнитооптики и магнитофотоники. Актуальность данной работы состоит в разработке 1D-MPC нового типа на основе многокомпонентных $V_i: IG$ и в выявлении особенностей МО эффектов, возникающих в магнитоактивных слоях и структурах 1D-MPC.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнена на кафедре экспериментальной физики в сотрудничестве с Отделом функциональных материалов и волоконной оптики Таврического национального университета имени В.И. Вернадского в рамках следующих научно-технических и научно-исследовательских работ по проектам Министерства образования и науки Украины: «Взаимодействие электромагнитных полей различных диапазонов с магнитными монокристаллами, микро- и наноструктурами» (№ госрегистрации 0112U000449); «Статистические и динамические эффекты в магнитоупорядоченных кристаллах и структурах» (№ 0113U004207); «Синтез многослойных тонкопленочных структур для одномерных магнитофотонных кристаллов» (№ 0109U007293); «Плазмонные магнитофотонные кристаллы на основе тонкопленочных многослойных гетероструктур для нанофотоники» (№ 0113U004422).

Цель и задачи исследования. *Цель* данной работы состоит в разработке 1D-MPC с магнитоактивным слоем из многокомпонентных $V_i: IG$ и оптимальными оптическими и МО параметрами и выявление особенностей МО эффектов, возникающих в магнитных слоях и структурах 1D-MPC. Для достижения данной цели в рамках диссертации поставлены и решаются следующие *задачи*:

1. Исследование оптических и МО свойств плёнок многокомпонентных $V_i: IG$ для структурных элементов 1D-MPC в зависимости от условий синтеза.
2. Исследование структуры переходного слоя «плёнка – подложка» и магнитных фазовых состояний в наноразмерных однослойных и двухслойных плёнках $V_i: IG$, синтезированных на ионно-обработанных подложках.
3. Решение уравнений Максвелла для 1D-MPC с магнитоактивным слоем из многокомпонентных $V_i: IG$, определение оптимальных оптических и МО параметров магнитоактивных слоёв и конфигураций 1D-MPC.
4. Выявление особенностей линейных по намагниченности МО эффектов в 1D-MPC с магнитоактивным слоем из многокомпонентных $V_i: IG$ в полярной геометрии, сравнение теоретических расчётов и экспериментальных данных.

Объект и предмет исследования. *Объект*: тонкие и наноразмерные плёнки многокомпонентных $V_i: IG$ и 1D-MPC на их основе. *Предмет*: эффекты взаимодействия электромагнитных полей оптического и ближнего инфракрасного диапазона с магнитными плёнками $V_i: IG$ и 1D-MPC на их основе.

Методы исследования. Основными методами определения влияния условий кристаллизации, материала и ионной обработки подложки на состав и свойства тонких и наноразмерных плёнок Bi:IG и исследования свойств 1D-MPC являются методы МО и оптической спектроскопии. Для моделирования структуры и свойств 1D-MPC использован метод матриц переноса 4×4 решения основных электродинамических уравнений Максвелла с тензорами диэлектрической проницаемости функциональных слоёв 1D-MPC. Решение уравнений Максвелла и аппроксимация экспериментальных зависимостей оптических и МО спектров реализованы с использованием численных методов.

Научная новизна результатов, выносимых на защиту, состоит в следующем:

1. Впервые для создания структур 1D-MPC с негранатовыми немагнитными слоями и высоким содержанием Bi предложен модифицированный магнитоактивный слой, состоящий из Bi:IG с низким (буферный слой) и высоким (основной магнитоактивный слой) содержанием Bi .
2. Впервые МО методами идентифицированы структура переходного слоя «плёнка – подложка» и магнитные фазовые переходы (МФП) в наноразмерных плёнках Bi:IG и структурах на их основе. Обнаружены магнитное упорядочение и МО активность в плёнках толщиной несколько элементарных ячеек.
3. В результате модельных расчётов и исследований свойств полученных структур 1D-MPC на основе модифицированных слоёв впервые определены эффективные конфигурации 1D-MPC с максимальными значениями угла поворота плоскости поляризации, добротности и коэффициентов усиления МО эффектов. Полученные значения фарадеевского вращения превосходят в 2-3 раза известные экспериментальные и теоретические результаты для структур 1D-MPC микрорезонаторного типа с негранатовыми немагнитными слоями.
4. Впервые экспериментально и теоретически исследованы спектральные зависимости эффекта магнитного кругового дихроизма (Magnetic circular dichroism – MCD) микрорезонаторных структур 1D-MPC. В результате моделирования свойств рассмотрено влияние MCD в магнитоактивном слое на асимметрию форм резонансных пиков спектров МО эффектов микрорезонаторных 1D-MPC.

Достоверность результатов подтверждается воспроизводимостью полученных экспериментальных зависимостей и их соответствием теоретическим обоснованиям и расчётам. Основные результаты согласуются с экспериментальными и теоретическими данными, полученными ведущими зарубежными, украинскими и российскими научными группами в данной области.

Практическая значимость полученных результатов. Полученные в работе теоретические и экспериментальные результаты показали, что характеристики МО устройств магнитооптики и магнитофотоники – вращателей и переключателей, созданных на основе 1D-MPC с плёнками Bi:IG – можно значительно улучшить, используя в структурах 1D-MPC модифицированный магнитоактивный слой. Уникальные свойства наноразмерных слоёв Bi:IG могут быть задействованы в устройствах плазмоники и спинтроники (для создания спиновых токов и вентилях).

Личный вклад автора диссертационной работы. Соискатель в составе авторского коллектива принимал участие в постановке целей и задач исследования, обработке и интерпретации экспериментальных результатов, представленных в диссертации и публикациях [1-28], в написании текстов и подготовке научных статей [1-6], представлял доклады на конференциях и семинарах. Соискатель проводил измерения оптических спектров пропускания плёнок и структур 1D-MPC. Все расчёты спектральных характеристик плёнок Bi: IG и многослойных структур на их основе, были выполнены автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации. Результаты работы были представлены на следующих международных конференциях, семинарах и симпозиумах: Международные конференции “Oxide Materials for Electronic Engineering” [7, 8, 18], V Международная конференция молодых учёных “Low Temperature Physics” [9], XIV Международная конференция “Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems” [10], 6-я Международная конференция “Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers” [11], Международные конференции “Functional Materials” [12-15, 24, 25, 28], Украинско-японской конференции по вопросам научно-промышленного сотрудничества [16], Научный международный симпозиум “Magnetics and Optics Research International Symposium” [17, 22], IV-я и V-я Международные научные конференции «Функциональная база наноэлектроники» [19, 23], Симпозиум “Advanced Electromagnetics Symposium” [20], международном научно-практическом форуме «Наука и бизнес – основа развития экономики» [21], III-я Международная научная конференция «Функциональная компонентная база микро-, опто- и наноэлектроники» [26], Международный семинар для молодых учёных “Optics, Photonics and Metamaterials” [27]. Представление результатов на Международной конференции “Functional Materials – 2011” [24] отмечено дипломом за лучший доклад молодых учёных.

По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ, в том числе 6 статей в реферируемых и международных журналах, 22 статьи в сборниках трудов и тезисов международных конференций, семинаров, симпозиумов и научно-практических форумов.

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, благодарностей, списка использованных источников и двух приложений. Общий объем диссертации составляет 147 страниц машинописного текста, включая 53 рисунка и 9 таблиц. Список использованных источников содержит 140 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснованы актуальность темы, новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и задачи исследований, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел диссертации носит обзорный характер. Рассмотрены особенности синтеза Bi:IG и их основные свойства. Существенное внимание уделено 1D-MPC на основе прозрачных плёнок Bi:IG .

Параграф 1.1 состоит из двух частей. В *первой части* описана кристаллическая структура и приведён анализ основных методов синтеза поликристаллических и монокристаллических плёнок Bi:IG . Получение Bi:IG со значительным или полным замещением Bi в виде гранатовой фазы возможно только методами вакуумного осаждения из паровой фазы при строгом соблюдении оптимальных режимов синтеза [6]. Существенно на формирование гранатовой фазы влияет материал подложки. Основная проблема, требующая применений новых способов и технологий синтеза, состоит в получении стехиометрических образцов Bi:IG со значительным или полным замещением Bi на экономически выгодных для серийного производства негранатовых слоях, стеклянных или кварцевых подложках. Во *второй части* представлены магнитная структура, оптические и МО свойства Bi:IG . Чистый Bi:IG – двухподрешёточный ферримагнетик (FIM). В случае заполнения додекаэдрических позиций магнитными ионами структура феррита-граната содержит три магнитные подрешётки. Спины внутри подрешёток сонаправлены, намагниченность октаэдрической a -подрешётки \mathbf{M}_a параллельна намагниченности додекаэдрической c -подрешётки \mathbf{M}_c и противоположна намагниченности тетраэдрической d -подрешётки \mathbf{M}_d . Наличие магнитного поля и намагниченности в феррите-гранате приводят к различию распространения право и лево циркулярно поляризованных (соответственно, right circular polarized – RCP и left circular polarized – LCP) компонент света и МО эффектам. МО эффект Фарадея наблюдается при прохождении через магнитную среду и заключается в повороте плоскости поляризации линейно поляризованной волны, распространяющейся вдоль вектора намагниченности среды. При наличии поглощения возникает эффект MCD, который заключается в различии поглощения LCP α^- и RCP α^+ компонент – $\Delta\alpha$. Полярный эффект Керра возникает при отражении волны от намагниченной в плоскости падения света среды и заключаются во вращении плоскости поляризации и появлении эллиптичности отражённой волны.

В **параграфе 1.2** изложены основные свойства и критерии эффективности существующих 1D-MPC разного типа. Обычно 1D-MPC формируют прозрачные магнитные и немагнитные слои с максимальным контрастом диэлектрической постоянной ε . Наиболее широко известны микрорезонаторные $[\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2]^m/\text{Bi:YIG}/[\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5]^m$ или периодические $[\text{SiO}_2/\text{Bi:YIG}]^m$ [1] 1D-MPC, где Bi:YIG – поликристаллическая плёнка Bi:IG с содержанием Bi меньше или около 1 ат./ф.е. Другим примером 1D-MPC являются микрорезонаторные $[\text{BiIG}/\text{YIG}]^m/\text{BiIG}^4/[\text{YIG}/\text{BiIG}]^m$ [7] и периодические $[\text{BiIG}/\text{GGG}]^m$ [8] полностью гранатовые структуры на основе монокристаллических плёнок BiIG . 1D-MPC формируют новые спектральные зависимости МО эффектов. При этом происходит

их усиление по сравнению с тонкими плёнками в окрестности краёв PBG и находящихся в центре PBG резонансных длин волн λ_R (для микрорезонаторных 1D-MPC). Рекордные значения усиления МО эффектов и угла поворота плоскости поляризации получены для 1D-MPC с микрорезонаторной структурой. Для оценки эффективности 1D-MPC для различных применений используют МО добротность (или МО фактор качества) [1, 7, 8]:

$$Q = 2 \cdot |\Theta_F| / \alpha [^\circ], \quad \text{или} \quad (1)$$

$$F = K_t \cdot \sin(2 \cdot \Theta_F) [\%], \quad (2)$$

где Θ_F – удельное FR 1D-MPC, определённое нормированием на суммарную толщину

магнитоактивных слоёв h_M , $\alpha = -\frac{\ln(K_t)}{h_M}$ – коэффициент поглощения 1D-MPC.

В параграфе 1.3 представлены выводы первого раздела, определяющие цели и задачи диссертационной работы.

Второй раздел посвящен методам и условиям синтеза и характеристики свойств исследуемых в диссертационной работе плёнок Bi:IG и многослойных структур 1D-MPC на их основе.

В параграфе 2.1 подробно изложены все стадии получения образцов тонких и наноразмерных плёнок Bi:IG и структур 1D-MPC. В первой части рассмотрено получение висмутсодержащих гранатовых мишеней. Во второй части приведены оптимальные режимы и способы синтеза плёнок Bi:IG. Оптимальными для применений в 1D-MPC оказались плёнки составов $\text{Bi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12}$ (M1), $\text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (M2) и $\text{Bi}_{1,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Ga}_{0,5}\text{O}_{12}$ (M3), которые получены методом ионно-лучевого распыления (reactive ion beam sputtering – RIBS) в Ar-O смеси на холодные подложки с последующей кристаллизацией в воздухе при атмосферном давлении и температуре 680 °C в течение 15 - 20 минут. На основе ферритов-гранатов M1, M2 и M3 возможно создание модифицированных магнитоактивных слоёв с высоким содержанием Bi и разными магнитными и МО параметрами для структур 1D-MPC, содержащих негранатовые слои диоксидов кремния SiO_2 и титана TiO_2 . Для получения таких слоёв используется двухэтапная технология синтеза. На слой SiO_2 , кварцевую или ситалловую подложку наносится буферный слой (подслой) состава с меньшим содержанием Bi M1. Затем после отжига и кристаллизации буферного слоя проводится напыление, отжиг и кристаллизация слоя с высоким содержанием Bi M2 или M3. С целью исследования свойств модифицированных слоёв были синтезированы образцы однослойных M1, M2, M3, двухслойных M1/M2 и трехслойных $\text{SiO}_2/\text{M1}/\text{M2}$ плёнок на подложках GGG или КМЦГГГ с ориентацией (111) и плёнки M1 различной толщины на подложках из ситалла или плавленого кварца. Влияние скорости нагрева при отжиге исследовалось на образцах Bi:IG, кристаллизованных со скоростями нагрева $\sim 2^\circ/\text{мин}$ (тип А) и $\sim 40^\circ/\text{мин}$ (тип В).

Для идентификации структуры переходного слоя «плёнка – подложка» были получены две серии плёнок с толщинами от 92,8 до 1,5 нм, распылённых с мишени состава $\text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (M2) и синтезированных на подложках GGG ориентации (111). Предварительно подложки были обработаны низко-энергетической плазмой Ar и плотностью тока $1 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ (плёнки I типа) или пучком ионов Ar с энергией

1 кэВ и плотностью тока $2,5 \text{ мА} \cdot \text{см}^{-2}$ (плёнки II типа). На основе плёнки с толщиной 8,2 нм II типа созданы двухслойные структуры общей толщиной от 8,7 до 11,2 нм. Верхний слой структуры представляет собой слой граната, который распылён и синтезирован с мишени того же состава M2.

В *третьей части* представлены методы и условия синтеза образцов 1D-MPC. Всего в работе рассмотрено 13 образцов 1D-MPC периодической и микрорезонаторной структуры с обычными и модифицированными магнитоактивными слоями на подложках GGG ориентации (111) или плавленого кварца марки КУ-1. Основным методом получения магнитных слоёв и некоторых структур 1D-MPC является RIBS. Диэлектрические слои 9 микрорезонаторных 1D-MPC с количеством пар слоёв в зеркалах Брэгга (Bragg Mirrors – BM) $m = 4, 7$ изготовлены методом электронно-лучевого испарения с применением оптического контроля толщины в процессе напыления.

Параграф 2.2 содержит описание методов исследований оптических, МО и магнитных свойств плёнок Vi: IG и многослойных структур на их основе. Параграф состоит из четырёх частей. В *первой части* описаны экспериментальные установки для измерения оптических спектров пропускания и отражения, изложены методики определения показателя преломления n , поглощения α и толщины h тонких плёнок по спектрам пропускания. Во *второй части* приведено описание установок для измерения спектральных зависимостей фарадеевского вращения (Faraday rotation – FR), MCD и магнитооптических петель гистерезиса (Faraday hysteresis loops – FHL). По измеренным на длине волны 655 нм FHL определялись тип магнитной анизотропии, коэрцитивная сила H_C , напряжённость магнитного поля насыщения H_S , температуры Кюри T_C и компенсации T_{comp} плёнок и структур 1D-MPC. Величина MCD $\Delta\alpha$ в эксперименте определялась как

$$\Delta\alpha = [(\Gamma^+ - \Gamma) / (\Gamma^+ + \Gamma)] / h \text{ (см}^{-1}\text{)}, \quad (3)$$

где Γ^+ и Γ – интенсивности право и лево циркулярно поляризованного света; h – толщина плёнок без учёта немагнитного при комнатной температуре переходного слоя. Измеренные значения MCD $\Delta\alpha$ имеют противоположный истинным значениям MCD $\Delta\alpha$ знак.

Третья часть посвящена феноменологическому и микроскопическому описанию МО эффектов, возникающих в Vi: IG. Компоненты тензора диэлектрической проницаемости $\hat{\varepsilon}_M$ могут быть связаны с экспериментально определяемыми величинами в случае нормального прохождения света через магнитную плёнку Vi: IG [9]:

$$\varepsilon'_{xx} = n^2 - \kappa^2, \quad \varepsilon''_{xx} = 2 \cdot n \cdot \kappa, \quad (4)$$

$$\varepsilon'_{xy} = (-\lambda/\pi) \cdot \left(n \Theta_F + \frac{1}{4} \kappa \Delta\alpha \right), \quad \varepsilon''_{xy} = (-\lambda/\pi) \cdot \left(\Theta_F \kappa - \frac{1}{4} n \Delta\alpha \right), \quad (5)$$

где λ – длина волны света в вакууме, n – показатель преломления, κ – коэффициент затухания, Θ_F – удельный угол FR, $\Delta\alpha$ – MCD. Для λ выше 500 нм, где поглощение Vi: YIG мало, следующие приближения уравнений (5) могут быть использованы

$$\varepsilon'_{xy} = -\lambda n \Theta_F / \pi, \quad \varepsilon''_{xy} = \lambda n \Delta\alpha / \pi. \quad (6)$$

Для λ ниже 500 нм приближения (6) не выполняются, но можно говорить о качественном совпадении форм линий $\varepsilon'_{xy}(\lambda)$ и $\varepsilon''_{xy}(\lambda)$ и измеряемых спектральных зависимостей $\Theta_F(\lambda)$ и $\Delta\alpha(\lambda)$. Согласно рассмотренной модели электро-дипольных переходов с диамагнитной формой линией [9] спектры $\Theta_F(\lambda)$ и $\Delta\alpha(\lambda)$ Vi: IG формируют 3 МО активных перехода, резонансные частоты и интенсивности которых зависят от концентрации Vi и Fe. Благодаря этому плёнки Vi: IG с высоким содержанием Vi становятся идеальными объектами для исследований структуры переходного слоя «плёнка – подложка» методами МО спектроскопии.

В *четвёртой части* кратко изложен метод решения основных электродинамических уравнений Максвелла для многослойной структуры – метод матриц переноса [10]. Уравнения Максвелла для диэлектрических сред (магнитной и немагнитной) в оптическом диапазоне частот записываются в виде:

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = i\omega\mu_0 \mathbf{H}(\mathbf{r}, t), \quad \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = -i\omega\varepsilon_0 \varepsilon \mathbf{E}(\mathbf{r}, t), \quad (7)$$

где $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ и $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ – вектора магнитного и электрического полей электромагнитной волны, \mathbf{r} – радиус-вектор, t – время, ε_0 и μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума. Для представления уравнений (7) в матричной форме вводится вектор состояния, компонентами которого являются проекции векторов электрического и магнитного полей

$$\mathbf{F} = (e_x, e_y, h_x, h_y), \quad (8)$$

где $e_x = \varepsilon_0 E_x$, $e_y = \varepsilon_0 E_y$, $h_x = \mu_0 H_x / c$, $h_y = \mu_0 H_y / c$, c – скорость света в вакууме. Для магнитного и немагнитного слоя записываются матрицы переноса, связывающие компоненты электромагнитного поля на границах этих слоёв. За счёт условий непрерывности для векторов состояний на границах разделов сред в рассматриваемой системе формируется уравнение, численное решение которого определяет коэффициенты пропускания K_t и отражения K_r , углы FR Θ_F и KR Θ_K 1D-MPC. При этом рассматривается, что ТМ поляризованный свет падает перпендикулярно поверхности 1D-MPC. Спектральная зависимость MCD 1D-MPC вычислялась как

$$\Delta A = -\frac{(K_t^+ - K_t^-)}{(K_t^+ + K_t^-)}, \quad (9)$$

где K_t^+ и K_t^- – коэффициенты пропускания RCP и LCP волн, соответственно.

В **параграфе 2.3** представлены выводы второго раздела.

Третий раздел содержит результаты исследований свойств магнитоактивных слоёв для 1D-MPC. Особое внимание уделено влиянию на свойства плёнок скорости нагрева при кристаллизационном отжиге, материала и ионной обработки подложки.

В **параграфе 3.1** описываются характеристики плёнок и модифицированных слоёв Vi: IG. В *первой части* обсуждается кристаллическое качество и стехиометрия получаемых плёнок Vi: IG. Для модифицированного слоя M1/M2, предлагаемого в качестве магнитного дефекта 1D-MPC и кристаллизованного на SiO₂, слой M2 имеет параметр решётки $a = 1,2620$ нм и монокристаллическое качество, слой M1 – поликристаллический. Во *второй части* приведены спектры K_t для плёнок Vi: IG, кристаллизованных с разными скоростями нагрева и на подложках с разной ионной

обработкой. Обсуждаются спектральные зависимости оптических постоянных МО активных слоёв М1, М2 и М3, полученных в результате расчёта спектров K_t . В *третьей части* приведены зависимости угла FR Θ_F от температуры кристаллизационного отжига T_a для составов ферритов-гранатов М1 и М2, FHL и используемые для расчётов свойств 1D-MPC спектральные зависимости удельного угла FR и MCD МО активных слоёв М1, М2 и М3. Полученные данные расчётов оптических спектров и МО спектры подтверждают происходящие «красный сдвиг» и увеличение интенсивности оптических и МО переходов с ростом содержания Vi. Исследования MCD и FR в плёнках М1 разной толщины на подложках из оптического ситалла показали, что формирование гранатовой фазы М1 происходит при толщинах плёнок больших 60 нм. Данный факт ограничивает толщины используемого буферного слоя в модифицированном слое 1D-MPC.

В **параграфе 3.2** представлены результаты исследований влияния ионной обработки подложек на МО свойства наноразмерных плёнок Vi: IG и структур на их основе. МО методами исследованы структуры переходных слоёв «плёнка – подложка» и магнитных фазовых переходов (МФП). Параграф состоит из двух частей.

В *первой части* приведены спектры MCD в диапазоне длин волн λ от 270 до 850 нм и FR на $\lambda = 655$ нм для полученных на обработанных ионно-лучевым методом подложках двух серий плёнок М2 I и II типов. Спектры MCD плёнок I и II типов в исследуемом диапазоне толщин (по крайней мере для $h > 5,8$ нм) имеют форму, типичную для Vi: IG с большим содержанием Vi: два пика противоположных знаков и точка пересечения с осью длин волн (далее будем называть её «точкой нуля», $A = 0$). Положение и амплитуда коротковолнового (λ_{shw} и A_{shw}) и длинноволнового (λ_{lw} и A_{lw}) пиков, а также значения длин волн точки нуля λ_{zp} зависят от резонансных частот, полуширины и интенсивности (плотности активных ионов и силы осцилляторов) МО переходов. МО свойства плёнок I и II типов с h больше 12 нм изменяются незначительно. Размерные эффекты (значительные изменения МО и магнитных свойств плёнок) наблюдаются при толщинах меньше критической $h_{cr} \approx 11$ нм. На рис. 1 представлены спектры MCD плёнок I или II типа с $h = 8,7, 5,8$ и $2,9$ нм. В случае плёнок II типа при $h_{cr} \approx 11$ нм происходит инверсия знаков МО эффектов, а в спектрах плёнок с $h = 8,7, 5,8$ и $2,9$ нм появляются признаки диамагнитного разбавления d -подрешётки феррита-граната. В сравнении со спектрами MCD плёнок I типа в спектрах MCD плёнок II типа возникает уширение коротковолнового пика в окрестности 320 нм и изгиб длинноволнового пика в окрестности 425 нм. Происходящее с уменьшением толщины диамагнитное разбавление приводит к инверсии знака MCD плёнок II типа. Относительное изменение значений намагниченностей a - и d -подрешёток феррита-граната являются причиной их переориентации во внешнем магнитном поле, так называемого, спин-переориентационного МФП из одной FIM фазы в другую (ФП типа «порядок – порядок») [11]. Рис. 2 демонстрирует изменения интенсивности МО эффектов Θ_F и A_{lw} и наблюдаемые магнитные фазовые состояния при увеличении толщины плёнок I и II типа от 1,5 до 23,2 нм и температуре $T = 300$ К.

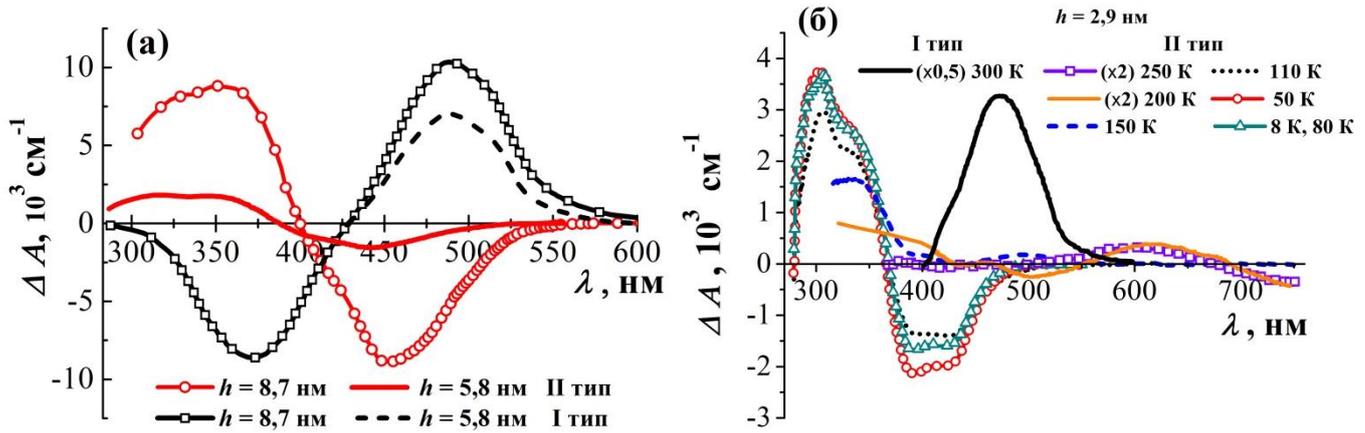


Рис. 1. Спектральные зависимости MCD ΔA плёнок M2 толщиной 8,7 и 5,8 нм I и II типов при температуре $T = 300$ К (а) и толщиной 2,9 нм I типа при $T = 300$ К и II типа при разных T (б). Значения сигнала MCD ΔA на рис. (б) для плёнки II типа при $T = 200$ и 250 К увеличены в два раза.

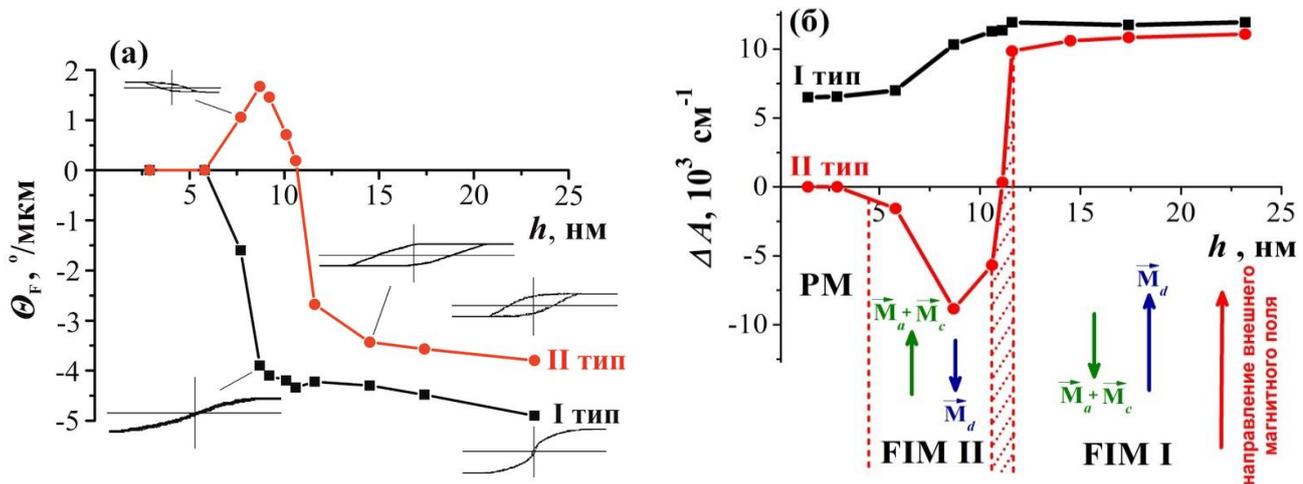


Рис. 2. Зависимости удельного угла FR Θ_F (а) и амплитуды длинноволнового пика спектров MCD A_{lw} наноразмерных плёнок M2 I и II типа от их толщины h , полученные при полях насыщения H_s и $T = 300$ К. На вставках рис. (а) показаны FNL некоторых плёнок (в разных шкалах). На рис. (б) приведена и магнитная фазовая диаграмма плёнок II типа.

Для плёнок II типа толщиной 5,8 нм (рис. 1 и 2) слабая МО активность наблюдается при 300 К. Для плёнок толщиной меньше 5,8 нм МО активность отсутствует. При толщинах менее 5 нм в таких плёнках происходит ФП типа «порядок – беспорядок» из FIM состояния в парамагнитный (PM), при этом температура этого ФП снижается при уменьшении толщины. При уменьшении толщины плёнок II типа до 1,5 нм одновременно с изменениями интенсивности происходит «синий сдвиг» частоты МО переходов и спектров MCD (рис. 3). Для плёнок I типа, синтезированных на подложках с минимальной ионной обработкой, МО активность и FIM упорядочение при 300 К наблюдается во всем исследуемом диапазоне толщин, вплоть до 1,5 нм. Для них слабо выражен «синий сдвиг» и отсутствует инверсия знака МО спектров, хотя при толщинах меньше $h_{cr} \approx 11$ нм наблюдается слабое уменьшение интенсивности МО переходов и амплитуды пиков в спектрах MCD.

Плѐнки II типа имеют «левые» FHL и перпендикулярную анизотропию ($K_s = 0,8 - 0,9$) при $h < h_{cr}$ и «правые» FHL при $h > h_{cr}$ (рис. 2, а). Зависимость коэрцитивной силы H_C от толщины для плѐнок II типа имеет максимум в окрестности $h_{cr} = 11$ нм, характерный для температурных зависимостей H_C в окрестности T_{comp} . Плѐнки I типа характеризуются «правыми» FHL и плоскостной или частично плоскостной магнитной анизотропией во всѐм диапазоне толщин, как и толстые ($h \geq 100$ нм) плѐнки Bi:IG. С уменьшением h плѐнок I типа H_s увеличивается 4-5 раз по сравнению с толстыми плѐнками и составляет 4,5 кЭ для наноразмерных плѐнок.

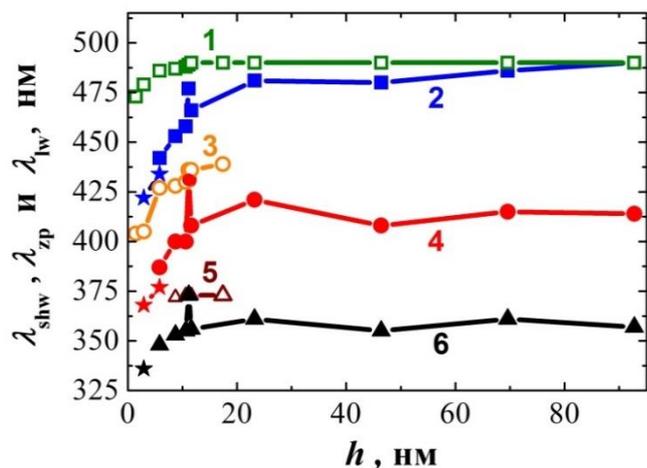


Рис. 3. «Синий сдвиг» особых точек спектров MCD: длинноволновых пиков λ_{lw} (линии 1 и 2), коротковолновых пиков λ_{shw} (линии 5 и 6) и точек нуля λ_{zp} (линии 3 и 4) при изменении толщины плѐнок M2 I и II типа, соответственно, и температуре $T = 300$ К. Соответствующие координаты для плѐнок II типа толщиной 5,8 и 2,9 нм при 8 К показаны звѐздами.

Отличие свойств плѐнок двух серий связано с влиянием ионной обработки поверхности подложки GGG на формирование переходного слоя «плѐнка – подложка». Обработка поверхности пучком Ag с энергией 1 кэВ (плѐнки II типа) приводит к образованию аморфного слоя на поверхности GGG толщиной несколько нанометров. Как результат, в процессе кристаллизационного отжига образуется плѐнка феррита-граната с общим составом $(BiGdY)_3(FeGa)_5O_{12}$ и неоднородным распределением элементов по толщине. Состав плѐнок I типа соответствует составу мишени M2 и его изменение при уменьшении толщины незначительно.

Во второй части показано, что контролируруемую инверсию знаков МО эффектов можно реализовать посредством создания двухслойных структур M2 II типа / M2, состоящих из плѐнок с разными знаками МО эффектов. Нижний слой структуры представляет собой пленку M2 II типа толщиной 8,2 нм и имеет положительный Θ_F , «левую» FHL и $T_C \approx 100$ °С. Верхний «тонкий» слой толщиной от 0,5 до 3 нм имеет отрицательный знак Θ_F и $T_C > 400$ °С. Инверсия знака МО эффектов возникает в двухслойной структуре с $h = (8,2 + 0,5)$ нм в больших полях ($H \geq 4$ кЭ) при $T_{comp} \approx 40$ °С, а в малых полях (до 300 Э) – при более высоких T . Как и в случае плѐнок II типа инверсия знака МО эффектов связана со СПМФП, который происходит в окрестности суммарной толщины структуры $h_{cr} = 10,6$ нм. СПМФП связан с изменением интегрального содержания ионов Bi^{3+} и Fe^{3+} в структуре при нанесении и кристаллизации верхнего слоя или возникновением между слоями антиферромагнитного обменного взаимодействия. В первом случае инверсия суммарной намагниченности происходит во всѐм объеме структуры, во втором – только в нижнем слое.

В параграфе 3.3 представлены выводы третьего раздела.

В четвёртом разделе предложены и исследованы периодические и микрорезонаторные 1D-MPC на основе диоксидов SiO_2 и TiO_2 и модифицированного магнитоактивного слоя – двухслойной феррито-гранатовой плёнки M1/M2 или M1/M3.

Параграф 4.1 описывает оптические и МО свойства 1D-MPC периодической структуры с модифицированным магнитоактивным слоем M1/M2: $\text{M2/SiO}_2/[\text{M1/M2/SiO}_2]^4$, полученный на подложке GGG. На экспериментальном и рассчитанном без учёта влияния подложки и поглощения слоёв спектрах K_t (рис. 4, а) присутствуют три PBG с центрами λ_0 на 484, 745 и 1575 нм. Вторая PBG с $\lambda_0 = 745$ нм выражена менее чётко. Периодические структуры подобного типа отличаются сложностью синтеза и невысокой эффективностью усиления МО эффектов: максимальное значение в исследуемом диапазоне длин волн $\Theta_F = -3,7^\circ$ ($-6,7^\circ/\text{мкм}$) наблюдается для $\lambda = 710$ нм (рис. 4, б). Усиление эффекта Фарадея t в сравнении со слоем M1/M2 для этой λ составляет 2,6 раз; МО добротности (1) и (2) – $Q = 8,1$ и $F = 5,15$. FHL для $\lambda = 655$ нм (рис. 4, в) 1D-MPC свидетельствует об анизотропии типа «лёгкая плоскость» составляющих магнитных слоёв и наличии обменных связей между ними.

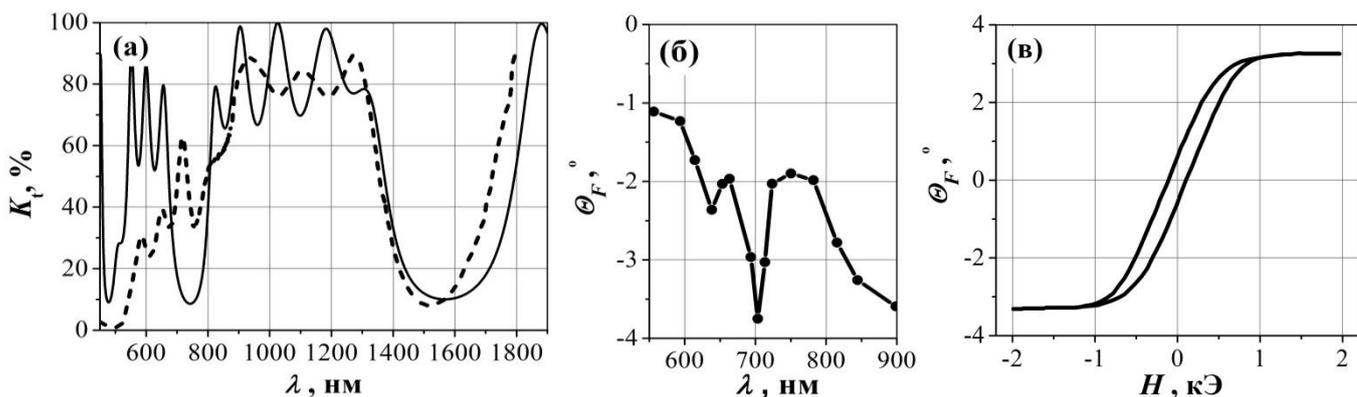


Рис. 4. Спектральные зависимости коэффициента пропускания K_t (а, эксперимент – пунктирная линия, теория – сплошная линия) и угла FR Θ_F (б) и FHL на $\lambda = 655$ нм (в) 1D-MPC периодической структуры $\text{GGG}(111)/\text{M2/SiO}_2/[\text{M1/M2/SiO}_2]^4$: суммарная толщина магнитных слоёв $h_M = 1172$ нм; общая толщина слоёв $D = 1602$ нм.

В параграфе 4.2 представлены результаты оптимизации и исследований свойств 1D-MPC микрорезонаторной структуры с модифицированным магнитоактивным слоем и негранатовыми ВМ $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^m$. Параграф состоит из трёх частей.

В первой части с целью определения эффективности микрорезонаторных 1D-MPC на основе модифицированного магнитного слоя проведено моделирование различных конфигураций 1D-MPC с общей формулой $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^m/\text{M}/[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]^m$, где M – однослойная или двухслойная магнитная плёнка:

- M_{BiL} с низким содержанием Вi и оптической толщиной $l_M = \lambda_0/2$ (MPC1);
- $\text{M}_{\text{BiL}}/\text{M}_{\text{BiH}}$ с $l_M = \lambda_0/2$ (MPC2), где M_{BiH} – слой с высоким содержанием Вi;
- $\text{M}_{\text{BiL}}/\text{M}_{\text{BiH}}$ с $l_M = \lambda_0$ (MPC3).

На рис. 5 (а и б) приведено сравнение добротностей Q (1) MPC1, MPC2 и MPC3 при разном поглощении основного МО активного слоя в зависимости от числа пар диэлектрических слоёв в ВМ m на резонансной длине волны λ_R , совпадающей с центром PBG λ_0 , $\lambda_0 = \lambda_R$. Зависимость добротности F от m (2) имеет аналогичный характер. Максимальные значения Q_{\max}^i и F_{\max}^i соответствуют оптимальным числам m_{opt}^i (i – индекс 1D-MPC: $i = 1$ для MPC1, $i = 2$ для MPC2, $i = 3$ для MPC3) и удовлетворяют условиям: $Q_{\max}^1 < Q_{\max}^2 < Q_{\max}^3$ и $F_{\max}^1 < F_{\max}^2 < F_{\max}^3$. Увеличение оптической толщины магнитоактивного слоя от $\lambda_0/2$ до λ_0 приводит к уменьшению m_{opt}^i без уменьшения значения Q_{\max} или F_{\max} . Эффективность 1D-MPC с модифицированным магнитным слоем зависит от соотношения добротностей магнитных слоёв $f = Q_{\text{Вил}} / Q_{\text{Вин}}$. Добротность 1D-MPC при $f < 1$ уменьшает основной магнитоактивный слой и применение модифицированного слоя в данном случае не выгодно. Добротность 1D-MPC с $m \leq m_{\text{opt}}$ понижает использование подложки с высоким показателем преломления. На добротность 1D-MPC с $m \geq m_{\text{opt}}$ наличие подложки не влияет.

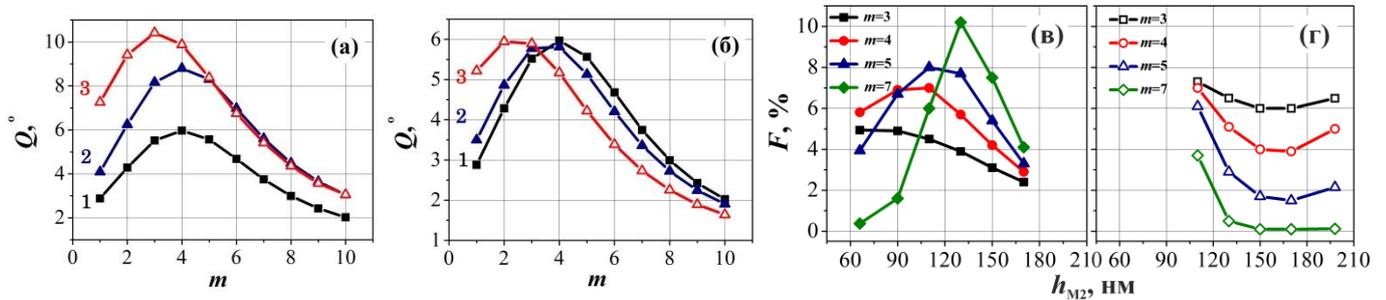


Рис. 5. Добротность Q MPC1 (1), MPC2 (2) и MPC3 (3) со слоем M1/BIG на подложке из GGG в зависимости от числа пар слоёв в ВМ m при $f = 2,1$ (а) и $f = 1,05$ (б) и добротность F 1D-MPC со слоем M1/M2 на подложке из плавленного кварца в зависимости от толщины основного магнитоактивного слоя M2 h_{M2} на резонансных длинах волн λ_{R1} (г) и λ_{R2} (в).

Исследование эффективности 1D-MPC в зависимости от толщины магнитоактивного слоя h_M при других равных параметрах слоёв структуры показало, что добротность микрорезонаторных 1D-MPC с модифицированным слоем может быть увеличена за счёт использования конфигураций 1D-MPC с оптической толщиной магнитного слоя $\lambda_0/2 < l_M < \lambda_0$ или $\lambda_0 < l_M < 3\lambda_0/2$ и двумя резонансными пиками внутри PBG на λ_{R1} и λ_{R2} (при $\lambda_0 \neq \lambda_R$). Оптимальными являются 1D-MPC с наибольшей добротностью на λ_{R1} и λ_{R2} и $l_M \approx 3\lambda_0/4$ или $5\lambda_0/4$. На рис. 5 (в, г) представлены зависимости добротности F на λ_{R1} и λ_{R2} от l_M при изменении l_M от $\lambda_0/2$ до λ_0 .

Во второй части рассмотрено формирование спектральных зависимостей эффекта Фарадея, полярного эффекта Керра и MCD, а так же особенности распространения RCP и LCP света в микрорезонаторных 1D-MPC в зависимости от компонент ε'_{xy} и ε''_{xy} магнитоактивных слоёв. Показано, что наличие разности поглощения RCP и LCP компонент $\Delta\alpha$ в магнитоактивном слое приводит к асимметрии форм линий резонансных пиков. Приведены зависимости углов FR и

KR и MCD для 1D-MPC от соотношения $r = \varepsilon'_{xy}/\varepsilon''_{xy}$ основного магнитоактивного слоя и числа m . Для случаев, представленных на рис. 4.6: (a)-(d) – эффект двулучепреломления $\Delta n_{\pm} \neq 0$, $\Delta\alpha = 0$ и резонансные пики пропускания равной амплитуды расположены на разных длинах волн $\lambda_{R+} \neq \lambda_{R-}$; (e)-(h) – $\Delta n_{\pm} = 0$, $\Delta\alpha \neq 0$ и резонансные пики пропускания разной амплитуды расположены на одной длине волны $\lambda_{R+} = \lambda_{R-}$, (i)-(m) – $\Delta n_{\pm} \neq 0$ и $\Delta\alpha \neq 0$, резонансные пики пропускания разной амплитуды расположены на разных длинах волн $\lambda_{R+} \neq \lambda_{R-}$.

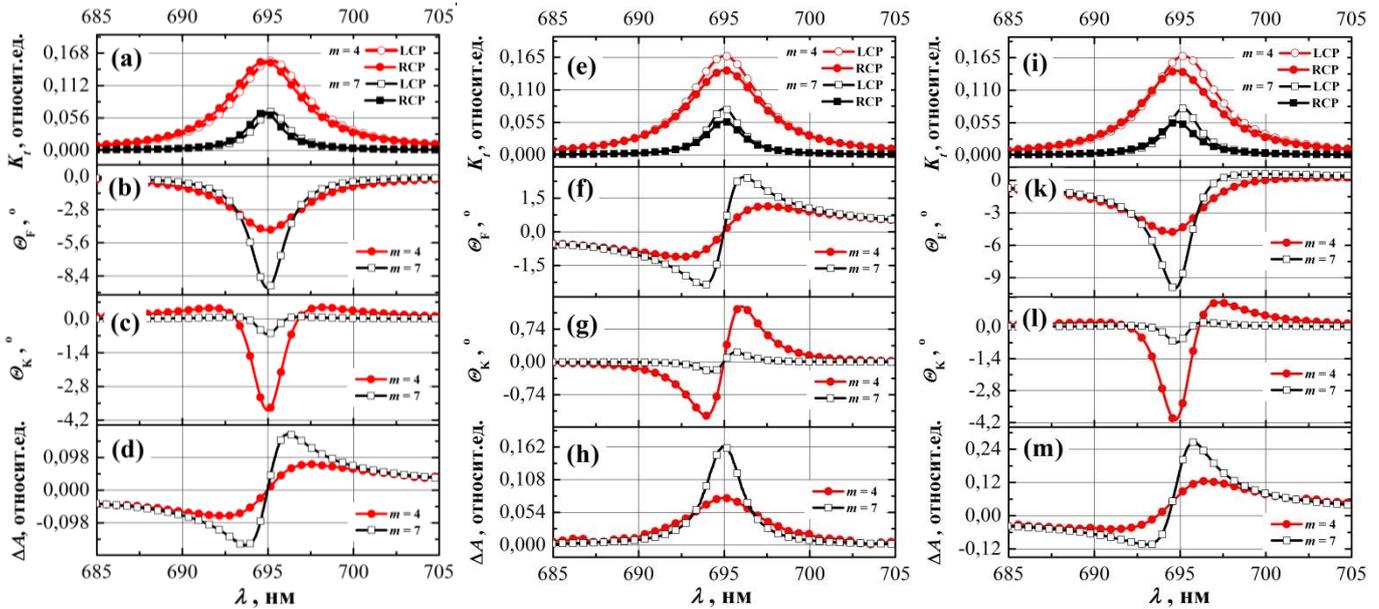


Рис. 6. Спектры коэффициентов пропускания RCP K_{t+} и LCP K_{t-} компонент, углов FR θ_F и KR θ_K и MCD модельного 1D-MPC $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^m/\text{M1}/[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]^m$ на подложке из плавленного кварца с $m = 4$ и 7 в окрестности $\lambda_R = 695$ нм; отношение компонент $\hat{\varepsilon}_M$ слоя M1 $r = \varepsilon'_{xy}/\varepsilon''_{xy} = 0,5$. Значения K_{t+} and K_{t-} для 1D-MPC с $m = 7$ увеличены в 20 раз.

В *третьей части* рассматриваются оптические и МО свойства синтезированных микрорезонаторных 1D-MPC.

Спектральные характеристики 1D-MPC $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^5/\text{M}/[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]^5$ ($\text{M} = \text{M1}$, M1/M2 и M1/M3) на подложках из GGG демонстрируют наибольшую эффективность структур со слоем M1/M2 ($1 < f < 2$). Слой M1/M3 в 1D-MPC показал большее оптическое поглощение. МО добротности и усиление эффекта Фарадея данных 1D-MPC со слоем M1 и M1/M2 соответственно составили $Q = 5,3^\circ$, $F = 2,6\%$, $t = 21$ и $Q = 11^\circ$, $F = 4,3\%$, $t = 13$. Представленные на рис. 7 FHL 1D-MPC указывают на то, что 1D-MPC различного типа магнитной анизотропии могут быть реализованы в зависимости от состава магнитного слоя.

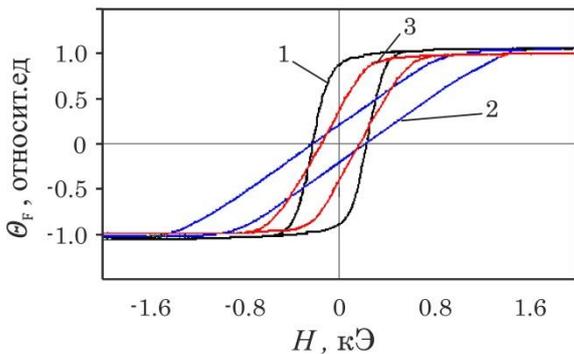


Рис. 7. FHL 1D-MPC $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^5/\text{M}/[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]^5$ со слоями M1 (1), M1/M2 (2) и M1/M3 (3).

Полученные 1D-МРС со слоем М1 характеризуется анизотропией типа «лёгкая ось», со слоем М1/М2 – «лёгкая плоскость». 1D-МРС со слоем М1/М3 имеет промежуточные значения магнитных характеристик.

Рекордные значения угла FR и MO добротности были достигнуты для микрорезонаторных 1D-МРС $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^m/\text{M1}/\text{M2}/[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]^m$ на подложках из плавленого кварца с $l_M \approx 5\lambda_0/4$ и $m = 7$ $\Theta_F = -20,6^\circ$ ($-66^\circ/\mu\text{км}$) и с $m = 4$ $Q = 15,1^\circ$ на $\lambda \approx 625$ нм. Наибольшее усиление эффекта Фарадея $t = 44$ – для 1D-МРС с $l_M \approx 3\lambda_0/5$ и $m = 7$ $\lambda \approx 731$ нм. Данные показатели обусловлены распределением интенсивности электромагнитного поля световой волны внутри 1D-МРС. Как было отмечено ранее для таких конфигураций 1D-МРС, внутри PBG возникают два резонансных пика с длинами волн λ_{R1} и λ_{R2} (рис. 8, 9 и 10).

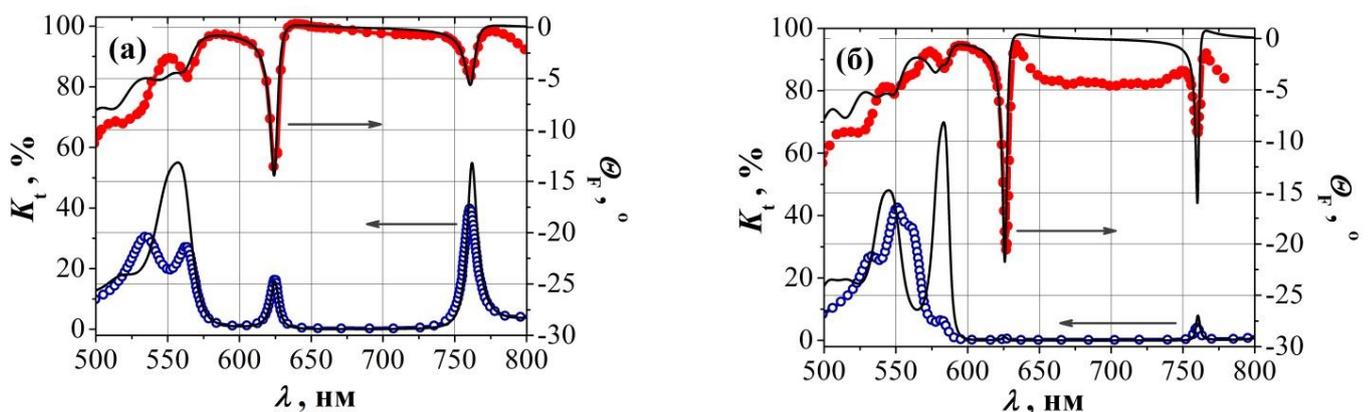


Рис. 8 Экспериментальные (линия и символы) и рассчитанные (линия) спектры коэффициента пропускания K_t и угла FR Θ_F 1D-МРС с $m = 4$ (а) и 7 (б) и оптической толщиной слоя М1/М2 $\lambda_0 < (l_M \approx 5\lambda_0/4) < 3\lambda_0/2$.

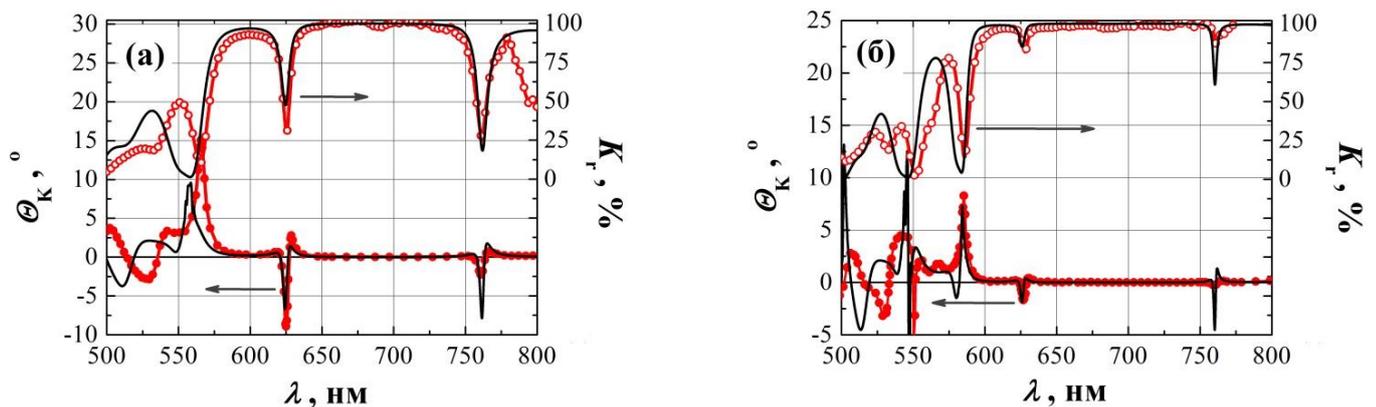


Рис. 9. Экспериментальные (линия и символы) и рассчитанные (линия) спектры коэффициента отражения K_r и угла KR Θ_K 1D-МРС с $m = 4$ (а) и с $m = 7$ (б) и оптической толщиной слоя М1/М2 $\lambda_0 < (l_M \approx 5\lambda_0/4) < 3\lambda_0/2$.

В спектрах Θ_F 1D-МРС с $m = 4$ в окрестности λ_{R1} формируется область λ с положительным значениям Θ_F (рис. 8, а), а с $m = 7$ – плато в PBG между λ_{R1} и λ_{R2} . Асимметрия резонансных пиков и наличие отрицательных значений Θ_F является следствием наличия существенного MCD в магнитном слое. Отношение r для М1 и М2 на λ_{R1} в структуре 1D-МРС принимает соответственно значения 0,24 и 0,28.

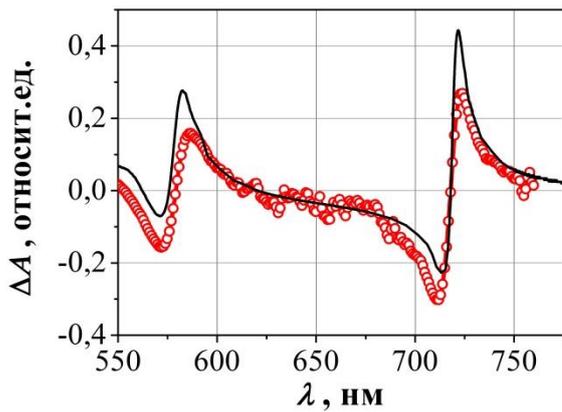


Рис. 10. Экспериментальные (линия и символы) и рассчитанные (линия) спектры MCD 1D-MPC с $m = 4$ и оптической толщиной слоя M1/M2 $\lambda_0 < (l_M \approx 3\lambda_0/5) < 3\lambda_0/2$.

Возможными факторами, влияющими на возникновение «эффекта плато», являются образование дополнительных локализованных состояний света и нелинейные эффекты. Спектры угла полярного KR демонстрируют наличие основного отрицательного пика на λ_R и два дополнительных положительных пика в его окрестности. Максимальные значения угла KR $\Theta_K = -8,9^\circ$ получены для 1D-MPC с $l_M \approx 5\lambda_0/4$ и $m = 4$. Экспериментальные (линия и символы) и рассчитанные (линия) спектры MCD для 1D-MPC с $m = 4$ и со слоем оптической толщины $\lambda_0 < (l_M \approx 3\lambda_0/5) < 3\lambda_0/2$ представлены на рис. 10. Резонансные пики MCD S-образной формы формируются в окрестности λ_{R1} и λ_{R2} .

В параграфе 4.3 представлены выводы четвертой главы.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы, в которой **впервые**:

1. Предложены, оптимизированы и исследованы оптические и МО свойства 1D-MPC на основе диоксидов SiO_2 и TiO_2 с модифицированным магнитоактивным слоем – двухслойной феррит-гранатовой плёнкой с низким (1 ат./ф.е., буферный слой) и высоким (1,5-3 ат./ф.е., основной магнитоактивный слой) содержанием Vi .
2. Экспериментально показано, что периодические 1D-MPC с модифицированным магнитоактивным слоем являются недостаточно эффективными для усиления МО эффектов.
3. Моделирование оптических и МО свойств микрорезонаторных 1D-MPC показало, что использование модифицированного слоя приводит к увеличению МО фактора качества 1D-MPC, если соотношение МО добротностей составляющих плёнок ферритов-гранатов с низким и высоким содержанием Vi $Q_{\text{ViH}}/Q_{\text{ViL}} > 1$. Определены эффективные конфигурации 1D-MPC с модифицированным магнитоактивным слоем и максимальными значениями угла поворота плоскости поляризации, добротности и усиления МО эффектов. Показано, что асимметрия форм резонансных пиков спектров МО эффектов в микрорезонаторных 1D-MPC связаны с наличием магнитного кругового дихроизма в модифицированном магнитоактивном слое.
4. Предложенные и синтезированные конфигурации микрорезонаторных 1D-MPC с модифицированным магнитоактивным слоем $\text{Vi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12}/\text{Vi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ оптической толщины $l_M \approx 5\lambda_0/4$ на $\lambda_{R1} \approx 625$ нм продемонстрировали рекордные значения при $m = 7$ угла фарадеевского вращения $\Theta_F = -20,6^\circ$ ($-66^\circ/\text{мкм}$) и при $m = 4$ МО добротности $Q = 15,1^\circ$ и угла керровского вращения $\Theta_K = -8,9^\circ$. Наибольшее усиление эффекта Фарадея $t = 44$ получено для 1D-MPC с $l_M \approx 3\lambda_0/5$ и $m = 7$. Данные значение Θ_F превосходят в 2-3 раза известные экспериментальные и теоретические результаты для структур 1D-

МРС на основе негранатовых слоёв. Экспериментально показано, что в зависимости от состава магнитного слоя 1D-МРС могут иметь различную величину и тип магнитной анизотропии.

5. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных спектральных зависимостей эффекта магнитного кругового дихроизма микрорезонаторных структур 1D-МРС и показано, что S-образная форма резонансных пиков является следствием различия резонансных условий для право и лево циркулярно поляризованных компонент. Показано, что усиление эффекта Фарадея внутри фотонной запрещённой зоны в 1D-МРС с модифицированным магнитоактивным слоем и числом пар слоёв в зеркалах Брэгга $m = 7$ не может быть интерпретировано в рамках рассматриваемой модели многослойных структур с магнитными плёнками Vi: IG.
6. В результате исследований оптических и МО свойств плёнок многокомпонентных Vi: IG для структурных элементов 1D-МРС показано, что оптимальные оптические и МО характеристики плёнок ферритов-гранатов, полученных методом ионно-лучевого распыления в Ar-O смеси на холодные подложки с последующей кристаллизацией, могут быть достигнуты при использовании низких скоростей кристаллизационного отжига. Оптимальная толщина буферного слоя в двухслойной структуре должна быть не меньше толщины $\lambda_0/4n$.
7. Методами МО спектроскопии произведена идентификация структуры переходных слоёв «плёнка – подложка» и МФП в плёнках $\text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ толщиной от 92,8 до 1,5 нм. Обнаружено, что при уменьшении толщины наноразмерных плёнок, синтезированных на подложках с высокоэнергетической ионной обработкой и с максимально нарушенным поверхностным слоем, происходит «синий сдвиг», уменьшение интенсивностей и инверсия знаков МО эффектов при достижении критической толщины $h_{\text{cr}} = 11$ нм. С уменьшением толщины данных плёнок при температуре $T = 300$ К происходят два МФП: спин-переориентационный переход из одной ферримагнитной фазы в другую при $h_{\text{cr}} = 11$ нм и переход в парамагнитное состояние при $h \approx 5$ нм. Происходящие МФП объясняются замещением Bi^{3+} и Fe^{3+} ионами Ga^{3+} и Gd^{3+} из нарушенного поверхностного слоя подложки и образованием градиентного распределения элементов по толщине плёнки. Установлено, что для наноразмерных плёнок, синтезированных на подложках с низкоэнергетической ионной обработкой и с минимально нарушенным поверхностным слоем, МО активность и FIM упорядочение наблюдается во всём исследованном диапазоне толщин. В таких плёнках слабо выражен «синий сдвиг» и отсутствует инверсия знака МО спектров, а состав соответствует составу мишени. Впервые обнаружены магнитное упорядочение и магнитооптическая активность в плёнках толщиной несколько элементарных ячеек.
8. В исследованных двухслойных наноструктурах обнаружены эффект управляемого инвертирования знака МО эффектов и СПМФП в «толстом» нижнем слое $(\text{BiGdY})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ ($h = 8,2$ нм) при контакте с «тонким» верхним слоем стехиометрического состава $\text{Bi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($h = 0,5-3$ нм). Предложены, концентрационный и обменный механизмы спин-переориентационного МФП.

Список цитируемой литературы

1. Inoue M. Magnetophotonic Crystals: Experimental Realization and Applications / M. Inoue, A. V. Baryshev, T. Goto [et al.] ; M. Inoue et al. (eds.) // Magnetophotonics. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 163.
2. Yablonovitch E. Photonic band-gap structures / E. Yablonovitch // JOSA B. – 1993. – Vol. 10, Issue 2. – P. 283.
3. Magneto-optical properties of one-dimensional photonic crystals composed of magnetic and dielectric layers / M. Inoue, K. Arai, T. Fujii, M. Abe // J. Appl. Phys. – 1998. – Vol. 98. – No. 11. – P. 6768(1-3).
4. Grishin A. M. Low field driven latching-type $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}/\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ magneto-optical display / A. M. Grishin, S. I. Khartsev, S. Bonetti // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol. 88, No. 24. – 242504.
5. Пат. 2001194639 Япония, МПК7 G02F1/09. Magneto-optical body / Inoue M., Fujii T., Takayama A., [et al.]. № 20000232020 ; заявл. 31.07.00 ; опубл. 19.07.01.
6. New magneto-optical garnet $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ / T. Okuda, T. Katayama, K. Satoh, [et al.] ; eds. H. L. Huang & P. C. Kuo // Fifth Symposium on Magnetism and Magnetic Materials “Recent Advances in Magnetism and Magnetic Materials” : Proceedings. – P. 61-76.
7. Kahl S. Bismuth iron garnet film for magneto-optical photonic crystals : doct. diss. condensed matter physics / S. Kahl. – Stockholm, 2004. – 133 p.
8. Khartsev S. I. $[\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}/\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}]^m$ magneto-optical photonic crystals / S. I. Khartsev and A. M. Grishin // Appl. Phys. Letters. – 2005. – Vol. 87. – P. 122504.
9. Dionne G. F. Magnetic Oxids / G. F. Dionne. – New York : Springer Science + Business Media, LLC, 2009. – 466 p.
10. Theoretical analysis of optical and magneto-optical properties of one-dimensional magnetophotonic crystals / H. Kato, T. Matsushita, A. Takayama, [et al.] // J. App. Phys. – 2003. – Vol. 93, No 7. – P. 3906.
11. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках / К. П. Белов, А. К. Звездин, А. М. Кадомцева, Р. З. Левитин. – Москва : Наука, 1979. – 318 с.

Список печатных работ по теме диссертации

Статьи в реферируемых и международных журналах:

1. Modification of Bi: YIG film properties by substrate surface ion pre-treatment / A. N. Shaposhnikov, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, V. N. Berzhansky, T. V. Mikhailova, V. A. Kotov, D. E. Balabanov, I. V. Sharay, O. Y. Salyuk, M. Vasiliev, V. O. Golub // Materials Research Bulletin. – 2014. – Vol. 55. – P. 19.
2. Magneto-optics of nanoscale Bi:YIG films / V. Berzhansky, T. Mikhailova, A. Shaposhnikov, A. Prokopov, A. Karavainikov, V. Kotov, D. Balabanov, and V. Burkov // Appl. Opt. – 2013. – Vol. 52. – P. 6599.
3. The Effect of Faraday Rotation Enhancement in Nanolayered Structures of Bi-substituted Iron Garnets / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, T. V. Mikhailova, N. F. Kharchenko, I. N. Lukienko, Yu. N. Kharchenko, O. V. Miloslavskaya, V. A. Kotov and V. I. Belotelov // Solid State Phenomena. – 2013. – Vol. 200. – P. 233.

4. Microcavity One-Dimensional Magnetophotonic Crystals with Double Layer Iron Garnet / V. N. Berzhansky, T. V. *Mikhailova*, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, I. N. Lukienko, Yu. N. Kharchenko, O. V. Miloslavskaya, N. F. Kharchenko // J. Magn. Soc. Jpn. – 2012. – Vol. 36, No 1_2. – P. 42.
 5. One-dimensional magnetophotonic crystals based on double-layer Bi-substituted iron garnet films / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, T. V. *Mikhailova*, E. Y. Semuk, M. I. Sharipova, T. V. Dolgova, A. A. Fedyanin, V. A. Kotov, V. O. Golub // Mat.-wiss. u. Werkstofftech. – 2011. – Vol. 42, No 1. – P. 19.
 6. Synthesis and properties of substituted ferrite-garnets films for one-dimensional magnetophotonic crystals / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, E. T. Milyukova, T. V. *Mikhailova*, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov // Functional materials. – Vol. 17, No 1. – 2010. – P. 120.
- Тезисы в трудах международных конференций:***
7. Temperature Dependence of Faraday Rotation in Microcavity 1D-MPC with Compensation Temperature / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, T. V. *Mikhailova*, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, M. F. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya and Yu. M. Kharchenko // Intern. Conf. on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE-2014), Lviv, Ukraine, May 26-30, 2014 : proceedings. – P. 215.
 8. Optical and Magneto-Optical Responses of 1D-MPC with Double Layer Iron Garnet Films in Transmission and Reflection / V. N. Berzhansky, T. V. *Mikhailova*, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, Yu. M. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, M. F. Kharchenko, V. O. Golub // Intern. Conf. on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE-2014), Lviv, Ukraine, May 26-30, 2014 : proceedings. – P. 199.
 9. Faraday Rotation of the Microcavity One-dimensional Magnetic Photonic Crystals with Magneto-active Layers Having the Temperature Poin of Magnetic Compensation / V. Sydorenko, Yu. Kharchenko, T. V. *Mikhailova*, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov // V International Conference of Young Scientist “Low Temperature Physics”, June 2-6, Kharkov, Ukraine, 2014 : Conference Program & Abstracts book. – P. 92.
 10. Design and Realization of Microcavity One-Dimensional Magnetophotonic Crystals with Double Layer Iron Garnet / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, T. V. *Mikhailova*, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, M. F. Kharchenko, I. M. Lukienko, Y. N. Kharchenko, O. V. Miloslavskaya // XIV International Conference “Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems”, Ivano-Frankivsk, 20-25, May, 2013 : Materials. – P. 299.
 11. Magneto-Optical Spectra of Microcavity One-Dimensional Magnetophotonic Crystals with Double Layer Bismuth-Substituted Iron Garnet / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, T. V. *Mikhailova*, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, Yu. M. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, M. F. Kharchenko // 6th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL’2013, Sudak, Ukraine, 9-13, September, 2013: Proceedings. – P. 82.

12. Microcavity 1D-MPC: Making the Best Structures / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, *T. V. Mikhailova*, Yu. M. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, M. F. Kharchenko, O. Y. Salyuk / International Conference “Functional materials-2013” (ICFM'2013), Ukraine, Crimea, Yalta, Haspra, 29 September – 5 October 2013 : Abstracts. – P. 212.
13. Faraday and Kerr Effects in Microcavity 1D-MPCs with Double Layer Bi: YIG Films / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, *T. V. Mikhailova*, Yu. M. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, M. F. Kharchenko, V. O. Golub // International Conference “Functional materials-2013” (ICFM'2013), Ukraine, Crimea, Yalta, Haspra, 29 September – 5 October 2013 : Abstracts. – P. 213.
14. Magnetic Circular Dichroism in Microcavity 1D-MPC with Double Layer Iron Garnet / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, *T. V. Mikhailova*, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, Yu. M. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, M. F. Kharchenko // International Conference “Functional materials-2013” (ICFM'2013), Ukraine, Crimea, Yalta, Haspra, 29 September – 5 October 2013 : Abstracts. – P. 214.
15. Morphology of Bi: YIG Films Crystallized at Different Heating Rates / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, *T. V. Mikhailova*, V. G. Baryakhtar, I. V. Sharay, V. O. Golub, O. Y. Salyuk // International Conference “Functional materials-2013” (ICFM'2013), Ukraine, Crimea, Yalta, Haspra, 29 September – 5 October 2013 : Abstracts. – P. 215.
16. Magneto-Optical Materials and Sensors / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. R. Prokopov, V. G. Vishnevskii, G. D. Basiladze, A. I. Dolgov, A. V. Karavainikov, *T. V. Mikhailova*, A. S. Nedviga, F. N. Pankov, N. V. Lugovs`kyy // International Ukrainian-Japanese Conference on Scientific and Industrial Cooperation, Ukraine, Odessa, 24-25, October, 2013 : Proceedings. – P. 13.
17. Plasmonic magnetophotonic crystals / N. E. Khokhlov, V. I. Belotelov, D. A. Bykov, V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, *T. V. Mikhailova*, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, Yu. M. Kharchenko // Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS 2013) : book of abstracts, Omiya, Japan, Dec. 2-5, 2013. – P. 52-53.
18. The effect of FR enhancement in reactive ion beam sputtered Bi, Gd, Al-substituted iron garnets: Bi₂O₃ nanocomposite films / V. Berzhansky, A. Shaposhnikov, A. Karavainikov, A. Prokopov, *T. Mikhailova*, I. Lukienko, Yu. Kharchenko, O. Miloslavskaya and N. Kharchenko // Intern. Conf. on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE-2012), Lviv, Ukraine, September 3–7, 2012 : proceedings. – P. 257.
19. Магнітооптичні ефекти в двохшарових нанорозмірних структурах ферритів-гранатів / А. Н. Шапошников, А. Р. Прокопов, А. В. Каравайников, В. Н. Бержанський, *Т. В. Михайлова*, В. А. Котов, В. І. Белотелов // V-я Междунар. науч. конф. «Функциональная база наноэлектроники» : сб. науч. тр. – Харьков : ХНУРЭ, 2012. – С. 173.
20. MCD Effect in ultrathin Bi: YIG films intended for magnetophotonic crystals / V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, *T. V. Mikhailova*, A. R. Prokopov,

- A. V. Karavainikov, V. A. Kotov, V. G. Shavrov, L. N. Alyab'eva, V. I. Burkov, D. E. Balabanov, and A. S. Baturin // Advanced Electromagnetics Symposium (AES 2012), Paris-France, 16-19 April, 2012 : edited by Said Zouhli and Xavier Begaud – P. 31.
- 21.** Тонкие и сверхтонкие плёнки для магнитооптических устройств приёма и обработки информации / В. Н. Бержанский, В. Г. Вишневецкий, А. С. Недвига, Т. В. Михайлова, А. В. Каравайников, А. Р. Прокопов, А. Н. Шапошников // Міжнародний науково-практичний форум «Наука і бізнес – основа розвитку економіки», Дніпропетровськ, 11-12 жовтня 2012 : Тези доповідей. – С. 114.
- 22.** Microcavity One-Dimensional Magnetophotonic Crystal with Double-Layer Iron Garnet / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, T. V. Mikhailova // Magnetics and Optics Research International Symposium 2011 (MORIS 2011), Nijmegen, The Netherlands, 21-24 June 2011 : Book of abstracts. – P. 158.
- 23.** Магнитооптические свойства тонких и сверхтонких плёнок ферритов-гранатов / Т. В. Михайлова, В. Н. Бержанский, А. Н. Шапошников, А. Р. Прокопов, А. В. Каравайников, В. А. Котов, Л. Н. Алябьева, В. И. Бурков, Д. Е. Балабанов, А. С. Батурин // IV-я Международная научная конференция «ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ», Харьков-Кацивели, 30 сентября - 3 октября, 2011 : сб. науч. тр. – С. 226.
- 24.** Giant Faraday Effect in Microcavity 1D-MPC with Double Layer Bi: YIG Films / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, T. V. Mikhailova, Yu. N. Kharchenko, I. M. Lukienko, O. V. Miloslavskaya, N. F. Kharchenko // International Conference “Functional materials” (ICFM'2011), Ukraine, Crimea, Partenit, 3-8 October 2011 : Abstracts. – P. 177.
- 25.** Magnetic Circular Dichroism of Thin and Ultrathin Iron Garnet Films / T. V. Mikhailova, V. N. Berzhansky, A. N. Shaposhnikov, A. R. Prokopov, A. V. Karavainikov, V. A. Kotov, L. N. Alyab'eva, V. I. Burkov, D. E. Balabanov, A. S. Baturin // International Conference “Functional materials” (ICFM'2011), Ukraine, Crimea, Partenit, 3-8 October 2011 : Abstracts. – P. 186.
- 26.** Магнитофотонные кристаллы на основе двухслойных плёнок замещённых ферритов-гранатов / В. Н. Бержанский, А. В. Каравайников, Т. В. Михайлова, А. Р. Прокопов, А. Н. Шапошников, В. А. Котов, М. И. Шарипова, Т. В. Долгова, А. А. Федянин // III-я Международная научная конференция «ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА МИКРО-, ОПТО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ», Харьков-Кацивели, 2010 : сб. науч. тр. – С. 115.
- 27.** Berzhansky V. N. Ferrite garnet films $Y_{3-x-y}Bi_xR_yFe_{5-z}M_zO_{12}$ (R = Gd, Lu; M = Ga, Al) for creation one dimensional magnetophotonic crystals / V. N. Berzhansky, T. V. Mikhailova // International Young Scientist Workshop on “Optics, Photonics and Metamaterials” (ОРАМ 2009), September 25-27, Kharkov, Ukraine, 2009. – P. 65.
- 28.** Preparation and properties of magneto-optical films $Y_{3-x-y}Bi_xR_yFe_{5-z}M_zO_{12}$ for one-dimensional magneto-photonic crystals / V. N. Berzhansky, A. V. Karavainikov, E. T. Milyukova, A. R. Prokopov, T. V. Mikhailova, A. N. Shaposhnikov // International Conference “Functional Materials” (ICFM – 2009), Crimea, Partenit, 5-10 October 2009 : Abstracts. – P. 196.

АННОТАЦИЯ

Михайлова Т.В. Одномерные магнитофотонные кристаллы с модифицированным магнитоактивным слоем. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений. – Таврический национальный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, 2014.

Диссертационная работа посвящена исследованию актуальных вопросов магнитооптики тонких и наноразмерных плёнок висмут-замещённых ферритов-гранатов (Vi: IG) и одномерных магнитофотонных кристаллов (1D-MPC) на их основе. Впервые для создания структур 1D-MPC с негранатовыми немагнитными слоями (SiO_2 и TiO_2) и высоким содержанием Vi предложен модифицированный магнитоактивный слой, состоящий из Vi: IG с низким (буферный слой) и высоким (основной магнитоактивный слой) содержанием Vi. В результате модельных расчётов и исследований свойств полученных периодических и микрорезонаторных структур 1D-MPC с предложенным магнитным слоем определены эффективные конфигурации 1D-MPC с максимальными значениями угла поворота плоскости поляризации, добротности и усиления МО эффектов. Синтезированные оптимальные конфигурации микрорезонаторных 1D-MPC с модифицированным магнитоактивным слоем $\text{Vi}_{1,0}\text{Y}_{0,5}\text{Gd}_{1,5}\text{Fe}_{4,2}\text{Al}_{0,8}\text{O}_{12}/\text{Vi}_{2,8}\text{Y}_{0,2}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и зеркалами Брэгга $[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]^m$ имеют оптическую толщину магнитного слоя $l_M \approx 5\lambda_0/4$ (λ_0 – центр фотонной запрещённой зоны зеркал Брэгга), максимальную МО добротность $Q = 15,1^\circ$ и угол керровского вращения $\Theta_K = -8,9^\circ$ на длине волны $\lambda = 625$ нм при $m = 4$ и максимальный угол фарадеевского вращения $\Theta_F = -20,6^\circ$ ($-66^\circ/\text{мкм}$) на $\lambda = 625$ нм при $m = 7$. Наибольшее усиление эффекта Фарадея 1D-MPC в сравнении с магнитным слоем $t = 44$ получено для 1D-MPC с $l_M \approx 3\lambda_0/5$ и $m = 7$ на $\lambda = 731$ нм.

Рассмотрены особенности линейных по намагниченности МО эффектов в 1D-MPC с модифицированным магнитоактивным слоем в полярной геометрии. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных спектральных зависимостей эффекта магнитного кругового дихроизма микрорезонаторных структур 1D-MPC и показано, что S-образная форма резонансных пиков является следствием различия резонансных условий для право и лево циркулярно поляризованных компонент. В результате моделирования свойств рассмотрено влияние магнитного кругового дихроизма в магнитоактивном слое на асимметрию форм резонансных пиков спектров МО эффектов микрорезонаторных 1D-MPC.

Впервые МО методами исследованы структуры переходных слоёв «плёнка – подложка» и магнитные фазовые состояния в наноразмерных плёнках Vi: IG и структурах на их основе. Обнаружено, что при уменьшении толщины h наноразмерных плёнок, синтезированных на подложках с высокоэнергетической ионной обработкой и с максимально нарушенным поверхностным слоем, происходит «синий сдвиг», уменьшение интенсивностей и инверсия знаков МО эффектов при достижении критической толщины $h_{cr} = 11$ нм. С уменьшением толщины данных плёнок при температуре $T = 300$ К происходят два магнитных фазовых перехода (МФП): спин-переориентационный МФП из одной

ферромагнитной фазы в другую при $h_{cr} = 11$ нм и МФП в парамагнитное состояние при $h \approx 5$ нм. Происходящие МФП объясняются замещением Bi^{3+} и Fe^{3+} ионами Ga^{3+} и Gd^{3+} из нарушенного поверхностного слоя подложки гадолиний галиевого граната и образованием градиентного распределения элементов по толщине плёнки. Впервые обнаружены магнитное упорядочение и магнитооптическая активность в плёнках толщиной несколько элементарных ячеек.

Ключевые слова: висмут-замещённые ферриты-гранаты, одномерные магнитофотонные кристаллы, эффект Фарадея, полярный эффект Керра, магнитный круговой дихроизм, магнитооптическая добротность, магнитные фазовые переходы.

Подписано в печать 24.10.2014. Формат 60x90/16.
Бумага печатная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0.9
Тираж 100 экз. Заказ № 180-А

Информационно-издательский отдел
Таврического национального университета имени В.И. Вернадского
295007, г. Симферополь, пр. академика Вернадского, 4.