

## ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Мурзина Дмитрия Валерьевича «Резонансный экваториальный эффект Керра в магнитоплазменных кристаллах на основе пермаллоя», представленную на соискание ученой степени кандидата физика-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Диссертационная работа Мурзина Дмитрия Валерьевича посвящена исследованию магнитных, оптических и магнитооптических свойств одномерных и двумерных магнитоплазменных кристаллов, в качестве магнитного слоя которых используется пермаллой — сплав железа и никеля  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ . Основное внимание автора сосредоточено на экваториальном эффекте Керра, усиленном в исследуемых структурах за счет возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов. **Практический интерес** к подобным магнитоплазменным кристаллам обусловлен возможностью их применения в качестве чувствительных элементов датчиков магнитного поля в геометрии экваториального эффекта Керра. Особое внимание в работе уделяется полевой зависимости магнитооптического эффекта, поскольку она служит передаточной функцией для определения напряженности внешнего магнитного поля по величине регистрируемого экваториального эффекта Керра. Однако величина данной зависимости и её форма определится набором вкладов, таких как процессы перемагничивания магнитоплазменного кристалла во внешнем переменном магнитном поле, максимальное значение магнитооптического эффекта, эффективность возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов и уровень оптических потерь в магнитоплазменном кристалле. Указанные вклады могут варьироваться за счет изменения материала и морфологии магнитоплазменных кристаллов, для достижения оптимальных свойств для конкретных приложений. Таким образом, изучение магнитных, оптических и магнитооптических свойств магнитоплазменных кристаллов на основе магнитно-мягкого пермаллоя является **актуальной** задачей, направленной на нахождение оптимального баланса между

оптическими, магнитными и магнитооптическими характеристиками для наиболее эффективного применения в области детектирования магнитных полей. Кроме того, в отличие от большинства современных исследований, посвященных усилению экваториального эффекта Керра в магнитоплазмонных кристаллах на основе ферромагнитных металлов, в которых для изготовления образцов обычно используют чистые металлы (железо, никель или кобальт), в данной работе впервые демонстрируются магнитные, оптические и магнитооптические свойства одномерных и двумерных магнитоплазмонных кристаллов на основе пермаллоя с различной морфологией, толщиной ферромагнитного слоя и количеством осей решетки, что обуславливает **новизну** представленного исследования.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составил 130 страниц. В тексте содержатся 51 рисунок и 11 таблиц. Библиографический список включает 192 наименования.

В первой главе приведен краткий литературный обзор, в котором приведен анализ изученных магнитных и оптических свойств одномерных и двумерных магнитоплазмонных кристаллов на основе ферромагнитных металлов, а также усиление в данных структурах экваториального эффекта Керра.

Во второй главе представлены протоколы изготовления исследуемых магнитоплазмонных кристаллов, а также методики, использованные для изучения их морфологических, оптических, магнитных и магнитооптических свойств.

В третьей главе содержатся основные оригинальные результаты исследования, а сама глава разделена на три раздела, каждый из которых посвящен изучению свойств одного из изготовленных типов магнитоплазмонных кристаллов. К наиболее важным **оригинальным научным результатам** можно отнести следующие:

1. Установлено, что при перемагничивании вдоль оси легкого намагничивания отдельные элементы профиля одномерных магнитоплазмонных кристаллов выступают в роли дефектов, что позволяет управлять величиной коэрцитивной силы образцов за счет изменения высоты профиля и периода образцов. Показано, что при намагничивании магнитоплазмонных кристаллов, отношение периода к высоте дорожек которых составляет  $320 \text{ нм} / 20 \text{ нм}$ , вдоль оси трудного намагничивания, намагниченность ферромагнитной пленки выстраивается по профилю структуры, что минимизирует поля рассеяния отдельных дорожек, в то время как увеличение высоты профиля и периода сопровождается увеличением вклада, связанного с дипольным взаимодействием между отдельными элементами структуры.
2. Показано, что максимум экваториального эффекта Керра двумерных магнитоплазмонных кристаллов с квадратно упорядоченной решеткой, усиленного за счет возбуждения поверхностных плазмон поляритонов, находится в немонотонной зависимости от фактора заполнения с экстремумом в  $0.89 \%$  при факторах заполнения решетки в диапазоне от  $0.77$  до  $0.66$ .
3. Была предложена и разработана методика изготовления двумерных магнитоплазмонных кристаллов с квадратно упорядоченной решеткой, обладающей разным фактором заполнения. Был описан подход по использованию данной методики для изготовления магнитоплазмонных кристаллов с идентичными спектральными и полевыми зависимостями при перемагничивании образцов в направлениях, сонаправленных с векторами обратной решетки.

В целом, представленная научная работа выполнена на хорошем научном уровне с использованием современного научно-исследовательского оборудования. Текст диссертации логически структурирован и ясен для понимания. Результаты работы были неоднократно представлены автором в виде докладов на всероссийских и международных конференциях, а также вошли в публикации в престижных международных журналах. Все вышесказанное свидетельствует о хорошей **апробации** работы и **достоверности** представленных результатов. Автореферат диссертации полноценно отражает содержание диссертационной работы.

Несмотря на в целом положительное впечатление от работы, в ней присутствует ряд недостатков, таких как:

1. На странице 91 текста диссертационной работы указано на то, что угол падения света  $45^\circ$  был использован для исследования оптических и магнитооптических свойств магнитоплазмонных кристаллов на основе подложек с прямоугольной формой профиля для соблюдения условий наблюдения -2 порядка дифракции в видимом диапазоне длин волн. Однако, согласно данным из работы [157], а также исходя из формул, на которые сделаны ссылки в представленной работе, для данного типа образцов использованный спектральный диапазон и угол падения света соответствуют условиям наблюдения -1 порядка дифракции.
2. На большинстве графиков, кроме Рис. 44 и Рис. 46, не указаны погрешности измеренных или рассчитанных величин. Это создает сложности в понимании доверительных интервалов представленных результатов.
3. В работе присутствуют ошибки технического и стилистического характера. Например, нумерация нечетных страниц работы расположена в правой нижней части печатных листов, а не установлена по центру документа. Кроме того, в тексте

присутствуют и стилистические ошибки, такие как несогласованность текста как, например, в предложении: “Его применение предоставляет широкие возможности магнитоплазмонных кристаллов с требуемой анизотропией магнитных свойств и сбалансированных оптических и магнитооптических свойств среди других ферромагнитных металлов.”.

4. Автор объясняет использование сплава железа и никеля  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  для изготовления образцов, представленных в работе, интересом к изготовлению магнитоплазмонных кристаллов с магнитно-мягкими свойствами, однако в литературном обзоре не уделено достаточного внимания результатам для аналогичных структур на основе более предпочтительного с данной точки зрения материала – супермаллоя, сплава из, примерно, 75 % никеля, 5 % молибдена и 20 % железа.
5. В тексте также не уделено должного внимания зависимостям магнитных, оптических и магнитооптических свойств исследуемых образцов от направления приложенного магнитного поля.

Указанные замечания не умаляют значимости полученных научных результатов.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 — 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения совета по защите диссертаций на соискание ученой степени

кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что Мурзин Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры наноэлектроники Института перспективных технологий и индустриального программирования МИРЭА — Российского технологического университета  
Юрасов Алексей Николаевич



Контактные данные:

Телефон: +7(499)2156565 доб.20564, e-mail: [yurasov@mirea.ru](mailto:yurasov@mirea.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах

Адрес места работы:

119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, РТУ МИРЭА

Телефон: +7(499)2156565, e-mail: [rector@mirea.ru](mailto:rector@mirea.ru)

