

**ОТЗЫВ  
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**Раевского Алексея Сергеевича**

**на диссертационную работу Елисейевой Светланы Вячеславовны  
«Резонансные, поляризационные и динамические эффекты в активных  
фотонно-кристаллических и магнитодипольных структурах»,**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических  
наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

**1. Актуальность диссертации**

В настоящее время одним из наиболее активно развивающихся направлений радиофизики является изучение особенностей протекания электромагнитных (ЭМ) волновых процессов в искусственных средах, к которым относятся рассматриваемые в диссертации Елисейевой С.В. мелкослоистые периодические, фотонно-кристаллические структуры (ФКС), магнитодипольные структуры (МДС) на основе активных (управляемых) материалов. При создании таких сред используются магнетики, полупроводники, сегнетоэлектрики, нанокompозиты, графен. Представляет интерес исследование отражения ЭМ волн (как непрерывное, так и импульсное воздействие) от границы с такими средами, прохождения через них и поглощения, свойства планарных направляющих структур, выполненных на их основе, а также возможность управления указанными свойствами посредством внешних магнитного и (или) электрического полей. Внесение дефектов в ФКС позволяет модифицировать их свойства. В частности, в фотонных запрещённых зонах появляются полосы пропускания, в области дефектов возникает дополнительное поглощение энергии и др.

В результате проводимых исследований выдаются рекомендации по созданию новых композитных сред, на основе которых могут быть созданы функциональные устройства оптического и СВЧ диапазонов с новыми/улучшенными свойствами.

В связи с этим считаю, что диссертационная работа Елисейевой С.В., безусловно, является актуальной и практически востребованной.

## 2. Цель и задачи, решаемые в диссертации

**Целью** диссертации Елисеевой С.В. является исследование особенностей взаимодействия монохроматического и импульсного излучения с периодически плоскостойкими структурами на основе активных (управляемых) сред, а также магнитодипольными структурами для создания композитных материалов с заданными экстремальными свойствами, определения условий наблюдения больших магнитооптических и динамических эффектов, контроля и управления спектральными характеристиками.

**Для достижения поставленной цели** автор произвела классификацию типов геометрии исследуемых структур, в приближении мелкостойкости обосновала применение методики определения эффективных материальных параметров бигиротропной плоскостойкой периодической структуры. Были исследованы свойства поверхностных плазмон-поляритонных волн на границе диэлектрик – металлодиэлектрический композит. Произведён расчёт и анализ дисперсионных соотношений для циркулярно поляризованных волн в ФКС магнит-диэлектрик и полупроводник-диэлектрик, в том числе с нарушениями периодичности (дефектами). Выявлены условия реализации гигантского вращения плоскости поляризации, особенности интенсивного магнитооптического эффекта Керра, интерференционное тепловыделение в резонаторе из намагниченного феррита, помещённого в диэлектрические ФК зеркала. Исследована трансформация временной огибающей гауссова импульса при отражении от одномерной ФКС. Исследован отклик магнитного момента наночастицы, обладающей одноосной анизотропией, на импульсное воздействие магнитного поля.

## 3. Научная новизна и достоверность

### основных выводов и результатов диссертации

**Научная новизна** диссертации заключается в том, что *впервые*:

– в мелкостойком приближении исследовано влияние учёта в разложении дисперсионных членов, пропорциональных малой квадратичной поправке;

– для продольно намагниченной ФКС феррит-диэлектрик продемонстрировано наличие частот, на которых происходит «схлопывание» всех запрещённых зон в спектре собственных циркулярно поляризованных волн;

– показано, что к гигантскому увеличению угла фарадеевского вращения приводит наличие двойного дефекта (инверсии с меньшей диэлектрической проницаемостью и дефекта внедрения);

– продемонстрировано искажение профиля гауссова импульса при отражении и прохождении через ФКС, в том числе с дефектом;

– выявлено, что максимумы отклика магнитного момента системы анизотропных наночастиц на импульс поля разбивают область значений длительности и амплитуды импульса на чередующиеся интервалы, отвечающие перемагничиванию или отсутствию перемагничиванию наночастицы.

**Достоверность результатов** обеспечена применением математических методов, ранее успешно использовавшихся для решения подобных задач, и подтверждена путём сравнения с результатами моделирования и экспериментальными данными, полученными другими авторами.

#### **4. Практическая значимость диссертационной работы**

Исследуемые магнитоактивные мелкослоистые структуры и ФКС на их основе перспективны при создании различных оптоэлектронных устройств, линий передачи, поляризационных и частотных фильтров, модуляторов, замедляющих структур. Наличие в спектре ФКС «магнетик-полупроводник» зон пропускания и непропускания, шириной и расположением которых можно управлять величиной внешнего подмагничивающего поля, даёт возможность использования таких структур при создании различных устройств как СВЧ, так и оптического диапазона – модуляторов, фильтров, переключателей, изоляторов и др. В ФКС с магнитоактивным дефектом внедрения наблюдается значительное усиление эффекта Фарадея, что может быть использовано при создании оптических изоляторов. В ФКС как бездефектных, так и с дефектом инверсии можно эффек-

тивно реализовать управление импульсным излучением. Результаты исследования динамики магнитного момента изолированной наночастицы, ячейки из двух наночастиц и магнитодипольной решётки при воздействии импульсов магнитного поля могут быть использованы при создании устройств магнитной памяти.

## **5. Оценка содержания диссертации, ее завершенности**

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 351 наименования и приложения, изложена на 257 страницах машинописного текста, включая 126 рисунков и 6 таблиц.

Во *Введении* обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель работы, решаемые научные задачи, основные направления исследований, методы исследований, достоверность и обоснованность результатов, их научная новизна и практическая ценность, приведены положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* приведён обзор имеющихся литературных данных по исследованию физических свойств рассматриваемых в диссертации структур и математических подходов к описанию их структурных, волновых и динамических свойств.

Во *второй главе* в длинноволновом приближении рассмотрены дисперсионные и волновые свойства активных мелкослоистых периодических структур, в частности, феррит-диэлектрик и феррит-полупроводник, нанокompозитных сред с металлическими нановключениями, а также одномерного ФКС состоящего из чередующихся слоёв эффективной графеновой среды и чистого кремния.

*Третья глава* посвящена свойствам одномерных ФКС без нарушения периодичности. Рассмотрены структура с бинарным распределением намагниченности феррит-феррит, продольно намагниченная периодическая структура феррит-диэлектрик, одномерные фотонные структуры феррит-полупроводник и диэлектрик-полупроводник.

В *четвёртой главе* рассматриваются спектральные и оптические свойства ФКС с нарушением периодичности. Произведена классификация дефектов в одномерных ФКС. Рассчитаны оптические спектры и распределения поля в ФКС с дефектами инверсии и внедрения, а также образующий резонатор Фабри-Перо одномерный фотонный кристалл с двойным дефектом.

В *пятой главе* рассмотрены поляризационные эффекты в одномерных ФКС. Исследовано гигантское фарадеевское вращение в структуре типа Фабри-Перо с ФК зеркалами. В ФКС, образованной чередующимися слоями намагниченного магнетика и немагнитного диэлектрика, имеющей дефект замещения, исследован интенсивный эффект Керра. Произведён анализ возможности управления тепловыделением, возникающим в поглощающем слое в результате интерференционных эффектов, обусловленных взаимодействием встречных волн.

В *шестой главе* рассмотрено взаимодействие импульсного излучения с ФКС без дефекта и содержащей дефект. Исследовано искажение гауссового импульса при отражении и прохождении через ФК. Для импульсов малой длительности обнаружено разделение на два импульса различной интенсивности.

В *седьмой главе* исследована динамика магнитного момента изолированной наночастицы, ячейки из двух наночастиц и магнитодипольной решётки. Показано, в частности, что ширина параметрических интервалов перемагничивания/неперемагничивания сокращается с возрастанием пикового значения импульса над величиной константы одноосной анизотропии и оказывается заметно больше в случае ступенчатого профиля действующего импульса.

В *Заключении* сформулированы основные результаты, полученные в ходе выполнения работы.

В *Приложении* приведён список публикаций по теме диссертации.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Следует отметить скрупулёзность выполнения исследований. Все численные результаты достаточно глубоко проанализированы. Содержание диссертации изложено последовательно, методически правильно и достаточно полно раскрывает решение поставленных научных задач. Диссертация является завершённым научно-

квалификационным исследованием поставленной научной задачи. Работа написана грамотно. Оформление работы соответствует установленным нормам.

По материалам диссертации опубликованы 40 научных работ, в том числе 32 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 5 статей в журналах, включённых в перечень ВАК, индексируемых в РИНЦ, получены три патента РФ.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

## 6. Замечания и вопросы по работе

### 1. По оформлению работы:

- по-видимому, на стр. 59 в тексте значения частот, где действительная часть эффективной ДП положительная/отрицательная надо поменять местами?
- рис. 2.25, стр. 66, чему соответствуют кривые 4 и 5?
- рис. 2.32, стр.75, в подписи к рисунку – что такое  $\omega_T$  ?
- стр. 76, 3-ий абзац сверху, что понимается под планарной структурой?
- на стр. 81: «при распространении *света* в указанных плёнках» – вроде бы здесь речь должна идти о ЭМВ СВЧ диапазона?
- на стр.82 говорится о ТЕ, ТМ волнах, но не ставится соответствие с приведённой в п.2.1.1 классификацией случаев распространения. В результате направление волнового вектора можно увидеть только из ф. (3.1).
- в п.5.1.1 не понятно, из каких материалов выполнены среды  $N_1$  и  $N_2$ . Здесь же: что такое частота  $\omega_0$ ? Какой используется магнетик? Величина поля подмагничивания?
- на стр. 19 дважды дана ссылка на известную книгу Бреховских Л.М. как на работу Рытова С.М.

### 2. В п.6.1: разделение гауссова импульса на 2 импульса происходит, по-видимому, вследствие того, что вблизи центральной частоты спектра импульса дисперсия меняет знак. Производился ли при этом учёт дисперсии высших порядков, связанной с квадратичным, кубическим членами ряда Тейлора?

3. Стр. 180: используется термин «гауссов пучок». Это не опечатка? Действительно ли учитывалось пространственное распределение поля по гауссову закону? На этой же странице: «осуществить *волноводное* распространение», «степень проникновения электромагнитного поля в *волновод*». Что понимается под волноводом?
4. Автор диссертации имеет 3 патента, но в тексте диссертации о них ничего не говорится. При этом о применениях полученных результатов говорится слишком обобщённо (неконкретно).
5. Некоторые эффекты даны без физического пояснения, например, стр. 61, почему «...для толстых плёнок наблюдаются осцилляции коэффициента отражения, амплитуда которых растёт с увеличением размера включений». А период осцилляций не меняется?
6. Для ФКС: не сказано, какие ограничения накладываются на абсолютные значения толщин слоёв (учитывается ли размывание границ из-за диффузии и др. эффекты)?

## **ВЫВОДЫ**

1. Диссертационная работа Елисеевой С.В. посвящена актуальной теме и является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, содержащей решение важной научной проблемы – исследованию особенностей взаимодействия монохроматического и импульсного излучения с периодически плоскостойкими структурами на основе активных (управляемых) сред, а также магнитодипольными структурами для создания композитных материалов с заданными экстремальными свойствами.

2. Указанные в данном отзыве недостатки имеют частный характер и не снижают в целом положительной оценки работы.

Исходя из вышеизложенного, считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ (включая п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»), предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует заявленной научной специальности, а ее автор – Елисеева Светлана

Вячеславовна – заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

**Официальный оппонент,**

Заведующий кафедрой «Физика и техника оптической связи»

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ),

доктор физико-математических наук, профессор  
01.04.03 – радиофизика

А.С. Раевский

08 июня 2020 г.

Раевский Алексей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, тел.: +7(831) 436-82-33, (8)950-34-68-791

E-mail: raevsky\_as@mail.ru

Подпись заверяю:

Учёный секретарь Учёного совета НГТУ

к.т.н., доцент



И.Н. Мерзляков