

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Физики Твёрдого тела  
наименование кафедры

АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ

**Оптические таммовские состояния на границе двух одномерных**  
наименование темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

**магнитофотонных кристаллов**

студента 4 курса 4051 группы

Направления (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
код и наименование направления (специальности)

Институт физики

наименование факультета, института, колледжа

Казакова Тимура Сергеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель (руководитель)

Д.ф.н., профессор

должность, уч. степень, уч.  
звание



подпись, дата

15.06.2022

Названов В. Ф.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

Д.ф.н., профессор

должность, уч. степень, уч.  
звание



подпись, дата

15.06.2022

Скрипаль А.В.

инициалы, фамилия

Саратов 2022

## **Введение. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** На сегодняшний день одной из наиболее интенсивно развивающихся областей науки является направление по созданию и исследованию фотонных кристаллов – искусственных периодических структур с периодом, сравнимым с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. По аналогии с реальными кристаллами, в фотонных кристаллах существуют разрешенные и запрещенные для распространения электромагнитного излучения частотные области, называемые фотонными запрещёнными зонами [1].

При рассмотрении одномерных периодических структур, называемых одномерными фотонными кристаллами, на границе фотонного кристалла возможна локализация электрического поля при контакте фотонного кристалла с однородным слоем, характеризующимся отрицательной диэлектрической проницаемостью (проводящая среда на частотах ниже плазменной) или отрицательной магнитной проницаемостью (магнитная среда на частоте в окрестности ферромагнитного резонанса). Такая локализация электрического поля трактуется как поверхностное таммовское состояние в фотонном кристалле.

### **Научная новизна.**

В настоящей работе впервые проведено компьютерное моделирование спектров отражения одномерных магнитофотонных кристаллов с дефектом чередования магнитных и немагнитных слоев.

**Проблема работы** – обнаружение оптических таммовских состояний на границе двух одномерных магнитофотонных кристаллов

## Основное содержание работы

В первой главе приведено определение фотонных кристаллов, рассмотрены основные типы фотонных кристаллов, основные методы изготовления одно-, двух- и трехмерных ФК, а также основные методы расчета спектров отражения (краткий анализ).

Фотонный кристалл (ФК) — материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления в одномерных, двухмерных или трехмерных пространственных направлениях.

Отличительная особенность фотонных кристаллов (ФК) — наличие пространственного периодического изменения показателя преломления.

Фотонные кристаллы бывают: одномерные, двумерные и трехмерные.

Одномерные ФК – это ФК, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в одном пространственном направлении.

Двухмерные ФК – это ФК, в которых коэффициент преломления периодически изменяется в двух пространственных направлениях.

Любая неоднородность в фотонном кристалле (например, отсутствие одного или нескольких квадратов на рисунке) называется дефектом фотонного кристалла. В таких областях часто сосредотачивается электромагнитное поле.

В 1932 году Таммом было предсказано новое квантовое явление — локализация электрона вблизи поверхности кристалла.

В системе двух сопряженных фотонных кристаллов, наличие таммовского состояния можно экспериментально обнаружить по пику коэффициента прохождения через образец.

На частоте, соответствующей таммовскому состоянию, наблюдается узкий пик коэффициента прохождения, связанный с туннелированием света через таммовское состояние.

Вторая глава работы посвящена моделированию спектральной зависимости коэффициента прохождения (отражения) излучения через систему двух одномерных диэлектрических фотонных кристаллов с помощью характеристических матриц. В качестве первого фотонного кристалла использовался материал, в котором диэлектрическая проницаемость первого слоя равна единице, а второго слоя – равна четырем. Толщина первого слоя равна 157 нм, ширина второго слоя равна - 91 нм.

В качестве второго ФК использовался материал, в котором диэлектрическая проницаемость первого слоя равна 4, а второго слоя равна 2. Толщина первого слоя равна 79 нм, ширина второго равна 111 нм.

После проводился расчёт спектра отражения для системы 2-х сопряженных ФК.

Наблюдаемый в эксперименте характерный пик прохождения согласуется с предсказаниями теории, связывающей этот пик с существованием поверхностных состояний.

Положение полосы зависит от толщины дефектного слоя. В первом случае толщина дефектного слоя равна 50 нм.

Во втором случае толщина дефектного слоя составила 25 нм.

Для третьего измерения выбрана ширина дефектного слоя, равная 2 нм. Если рассмотреть спектр пропускания системы 2-х сопряженных ФК при различных значениях ширины дефектного слоя то видно, что, положение полосы зависит от толщины дефектного слоя, благодаря чему можно изменять расположение спектрального пика коэффициента прохождения в широком диапазоне.

Третья глава работы посвящена моделированию спектру пропускания магнитофотонного кристалла, состоящего из одномерной периодической диэлектрической структуры с “дефектным” магнитооптическим слоем.

В качестве однородного фотонного кристалла использовалась периодическая структура оксида титана  $\text{TiO}_2$  и оксида кремния  $\text{SiO}_2$ .

Параметры слоев:

Показатель преломления слоя оксида титана  $\text{TiO}_2$  равен  $n = 2.168$ , толщина слоя равна 64 нм;

Показатель преломления слоя оксида кремния  $\text{SiO}_2$  равен  $n=1.58$ , толщина равна  $90\text{нм}$ ;

В качестве дефектного слоя использовался слой из висмута, показатель преломления которого равен  $2.36$ , а толщина  $295\text{ нм}$ .

Моделирование спектра пропускания магнитофотонного кристалла, состоящего из одномерной периодической диэлектрической структуры с “дефектным” магнитооптическим слоем дало результат из которого я сделал следующий выбор:

В результате эксперимента видно, что вместо одного пика пропускания наблюдаются дефектные полосы, положение которых зависит от толщины магнитного слоя. Это происходит благодаря добавлению магнитного дефектного слоя.

Четвертая глава работы посвящена моделированию спектра пропускания сопряженной одномерной структуры, состоящей из диэлектрического фотонного кристалла и магнитофотонного кристалла на основе диэлектрического и магнитооптического ( $\text{Bi:YIG}$ ) слоев (с демонстрацией существования таммовского поверхностного состояния).

В качестве диэлектрического фотонного кристалла использовалась периодическая структура со следующими параметрами:

Толщина слоя оксида титана  $\text{TiO}_2$  равна  $90\text{нм}$ ;

Толщина слоя оксида кремния  $\text{SiO}_2$  равна 132нм;

После моделирования пропускания ФК( $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ )  $\times 6$  был полученра пропускания.

В качестве магнитофотонного кристалла использовалась периодическая структура ( $\text{Bi:YIG/SiO}_2$ ) $\times 5$ .

Показатель преломления слоя висмута  $\text{Bi:YIG}$  равен  $n = 2.36$ , толщина слоя равна 82нм;

Толщина слоя оксида кремния  $\text{SiO}_2$  равна 132нм;

После моделировался спектор пропускания ФК( $\text{Bi:YIG/SiO}_2$ ) $\times 5$ .

В результате моделирования системы сопряженных ФК был получен последующий результат.

Наблюдаемый в эксперименте характерный пик прохождения согласуется с предсказаниями теории, связывающей этот пик с существованием поверхностных состояний.

Пятая глава работы посвящена моделированию спектра пропускания одномерного магнитофотонного кристалла с дефектами чередования магнитных и немагнитных слоев -  $(\text{MN})(\text{NM})(\text{MN})$ .

В качестве первого и третьего фотонных кристаллов представлена структура чередования магнитных и немагнитных слоев

В качестве магнитных слоев использовалась структура слоя висмута Bi:YIG с толщиной равной 195 нм.

В качестве немагнитных слоев использовалась структура SiO<sub>2</sub> с толщиной равной 187 нм.

Моделирование спектра пропускания магнитофотонного кристалла с дефектом чередования магнитных и немагнитных слоев дало результат, приведенный на рис.5.3.

Наблюдаемый в эксперименте характерный пик прохождения согласуется с предсказаниями теории, связывающей этот пик с существованием поверхностных состояний.

### **Заключение. Основные результаты работы.**

В ходе данной работы были получены следующие результаты:

1. Рассмотрены классификация, свойства и применение фотонных кристаллов. Кратко рассмотрены методы расчета спектров отражения одномерных фотонных кристаллов, при этом основное внимание уделено матричному методу расчета.
2. Рассмотрены оптические таммовские поверхностные состояния в системе двух сопряженных фотонных кристаллов. В ходе компьютерного моделирования было показано, что положение пика



коэффициента прохождения зависит от толщины дефектного слоя, благодаря чему мы можем изменять расположение спектрального пика коэффициента прохождения в широком диапазоне.

3. Представлены результаты компьютерного моделирования спектральной зависимости коэффициента прохождения излучения через систему двух одномерных диэлектрических фотонных кристаллов с помощью характеристических матриц. Моделирование проводилось с использованием пакета программ MathCAD.

4. Представлены результаты компьютерного моделирования спектра пропускания магнитофотонного кристалла, состоящего из одномерной периодической диэлектрической структуры с “дефектным” магнитооптическим слоем. Исследуемая структура имеет вид  $((\text{TiO}_2/\text{SiO}_2) \times 4/\text{Bi:YIG}/(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2) \times 4)$ , где Bi:YIG – дефектный магнитооптический слой, а  $(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)$  – диэлектрическая структура. Наблюдаемый в эксперименте характерный пик прохождения согласуется с предсказаниями теории, связывающей этот пик с существованием поверхностных состояний.

5. Представлены результаты компьютерного моделирования спектра пропускания сопряженной одномерной структуры, состоящей из диэлектрического фотонного кристалла и магнитофотонного кристалла на основе диэлектрического и магнитооптического слоев. Исследуемая структура имеет вид  $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2) \times 6 / (\text{Bi:YIG}/\text{SiO}_2) \times 5$

6. Представлены результаты компьютерного моделирования спектра пропускания одномерного магнитофотонного кристалла с дефектом чередования магнитных и немагнитных слоев  $-(\text{MN})(\text{NM})(\text{MN})$ . Исследуемая структура имеет вид  $((\text{Bi:YIG}/\text{SiO}_2) * 6 / (\text{SiO}_2/\text{Bi:YIG}) * 4 / (\text{Bi:YIG}/\text{SiO}_2) * 6)$

#### **Список использованной литературы:**

1. Названов В.Ф. Фотонные кристаллы в примерах и задачах. - Саратов: изд-во ООО «Новый ветер», 2015.-144с.
2. Дж. Пендри, Д. Смит. В поисках суперлинзы // В мире науки. — 2006. — № 11.).

3. А. М. Мерзликин, А. П. Виноградов, М. Иноуе, А. Б. Грановский. Эффект «суперпризмы» в одномерном магнитофонном кристалле // Физика твердого тела. Т. 50. — 2008. — № 5. — С. 838–842.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. –М.: Наука, 1970. 855 с.
5. Виноградов А.П и др. Поверхностные состояния в фотонных кристаллах.//Успехи физических наук. 2010.Том 180. №3. Стр.249 -263.
6. Mitsuteru Inoue. Magnetophotonic Crystals// Mater.Res Soc.Symp.Proc.Vol.834.2005.
7. Белотелов В.И., Звездин А.К. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы.- М.: Бюро Квантум, 2006.

