

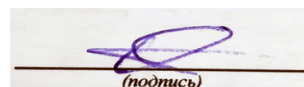
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Фотонные кристаллы»**

Направление подготовки
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль)
«Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5, от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Фотонные кристаллы» является обеспечение на современном уровне приобретения студентами знаний и умений теоретического описания многомерных наносистем систем скалярных, векторных и тензорных полей, уравнений Максвелла, Фурье-анализа.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Фотонные кристаллы» относится к ФТД. Факультативные дисциплины Блока 2. Практика.

Данная дисциплина использует знания, полученные при изучении дисциплин «Электродинамика», «Оптика», «Нанoeлектроника».

Дисциплина «Фотонные кристаллы» создает предпосылки для более глубокого освоения последующих дисциплин: «Физическая кинетика полупроводников», «Нанотехнологии в электронике», «Физика диэлектриков».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
<p>ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.</p>	<p>ИД_ПК-1.1. Умеет строить физические и математические модели процессов, приборов, блоков в области электроники и наноэлектроники.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общие методы и уравнения, описывающие упорядоченные системы наночастиц и подобных модельных образований; - закономерности, возникающие в результате взаимодействия электромагнитного излучения с системой наночастиц и подобных объектов когда расстояния между объектами сравнимо с длиной волны излучения. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сформулировать и решать задачу определения основных физических параметров, таких как коэффициент поглощения, диэлектрической и магнитной проницаемостей. – пользоваться пакетами прикладных программ для расчета физических свойств наноматериалов.
	<p>ИД_ПК-1.2. Обладает навыками компьютерного моделирования.</p>	<p>Владеть навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> – методами решения уравнения Максвелла и методами спектрального анализа Фурье.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение	1	1						
2	Определения	1	3			1		4	
3	Классификация фотонных кристаллов	1	3					4	
4	Методы теоретического исследования фотонных кристаллов	1	8					4	Коллоквиум по теме
5	Теория фотонных запрещенных зон	1	6			2		4	Коллоквиум по теме
6	Изготовление фотонных кристаллов	1	6					4	Коллоквиум по теме
7	Применение фотонных кристаллов	1	2					4	Коллоквиум по теме
8	Проблема получения новых материалов с заданными свойствами Метаматериалы	1	7			1	0,3	3,7	
	Всего		36			4	0,3	31,7	зачет

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение

Особенности физических свойств материалов оптических сред материалов в результате модификации кристаллической структуры

2. Определения

Основные понятия. Определения оптических структур, в зависимости от соотношения между структурными объектами и длиной волны излучения.

3. Классификация фотонных кристаллов.

3.1. Одномерные фотонные кристаллы

3.2 Двумерные фотонные кристаллы

3.3. Трехмерные фотонные кристаллы

3.4. Фотонные кристаллы проводники, диэлектрики, полупроводники и сверхпроводники.

3.5 Резонансные и нерезонансные фотонные кристаллы.

4. Методы теоретического исследования.

4.1. Волновая теория

4.2. Уравнения Максвелла

4.3. Два подхода теоретических исследований: метод временного анализа (решение задач в зависимости от времени) и методов для частотной области (решение задач в зависимости от частоты)

5. Теория фотонных запрещенных зон.

5.1. Для расчета зонных структур используется метод временного анализа

5.2. Для расчета зонных диаграмм используется преобразование Фурье

5.3. Проблема выбора временного шага при аналитическом решении задач.

5.4. Исследование спектра пропускания фотонных кристаллов

5.5. Метод матрицы переноса излучения

6. Изготовление фотонных кристаллов.

6.1. Самопроизвольное формирование фотонных кристаллов.

6.2. Методы травления.

6.3. Голографические методы.

6.4. Методы фотолитографии.

6.5. Комбинированные методы с использованием нанопробирок и нанотрубок.

7. Применение Фотонных кристаллов

7.1. Малосигнальная лазерная генерация с фотонными кристаллами. Низкопороговые и беспороговые лазеры.

7.2. Волноводы на фотонных кристаллах.

7.3. Среды с отрицательным коэффициентом преломления (возможность создания суперлинзы)

7.3. Создание суперпризмы.

7.4. Создание на основе фотонных кристаллов нового класса дисплеев.

7.5. Создание оптической памяти и логических устройств.

7.6. Создание оптических датчиков температуры на основе фотонных кристаллов сверхпроводников.

8. Проблема получения новых материалов с заданными свойствами. Метаматериалы

8.1. Взаимодействие электромагнитного излучения с материалом.

8.2. Метаматериалы с отрицательными индексами

8.3. Перспективы развития метаматериалов.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программа Wolfram Mathematica;
- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader..

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

а) основная литература

1. Астапенко В. А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоники и материалы. Долгопрудный: Интеллект, 2012.

б) дополнительная литература

1. Воробьев Л. Е. Оптические свойства наноструктур. СПб.: Наука, 2001.

2. Воробьев Л. Е. Кинетические и оптические явления в сильных электрических полях в полупроводниках и наноструктурах. СПб.: Наука, 2000.

8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

старший преподаватель кафедры микроэлектроник

и общей физики, кандидат ф.-м.н.

Романов Д.Н.

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Фотонные кристаллы»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

(Проверка сформированности компетенции ПК-1 (индикаторы ИД_ПК-1.1, ИД_ПК-1.2))

Коллоквиум по теме “ Методы теоретического исследования фотонных кристаллов”

1. Что такое фотонный кристалл?
2. Какие виды фотонных запрещенных зон Вы знаете?
3. Какие условия должны быть выполнены для получения полной запрещенной зоны фотонного кристалла?
4. Какие существуют подходы к формированию структуры фотонного кристалла?
5. Чем определяется энергетическое положение фотонной запрещенной зоны и ее ширина?
6. Является ли коллоидный кристалл фотонным кристаллом?
7. Какова структура коллоидных кристаллов, составленных из сферических частиц?
8. Что такое инвертированный опал? В чем преимущества формирования такой структуры?
9. Назовите основные методы получения фотонных кристаллов на основе самоорганизующихся структур? Какие у каждого метода преимущества и недостатки?
10. В чем перспективность методов, основанных на приложении электрического поля при формировании коллоидного кристалла?
11. Зависит ли положение фотонной запрещенной зоны в спектре от угла падения света на образец? Если да, то почему?
12. В чем заключается метод синтеза полистирольных микросфер?

Коллоквиум по теме “ Теория фотонных запрещенных зон”

1. Как выглядят запрещённые зоны одномерных кристаллов?
2. Как выглядят запрещённые зоны двумерных кристаллов?
3. Как выглядят запрещённые зоны трёхмерных кристаллов?

Коллоквиум по теме “Изготовление фотонных кристаллов”

1. В чем заключается суть самопроизвольного формирования фотонных кристаллов?
2. В чем заключается суть методов травления?
3. В чем заключается суть голографических методов?
4. В чем заключается суть методов фотолитографии?

Коллоквиум по теме “ Применение фотонных кристаллов ”

1. СВЧ-методы измерения. Особенности, преимущества и недостатки.
2. Использование фотонных кристаллов для измерения параметров материалов
3. Теоретическое описание взаимодействия СВЧ-волны с одномерным волноводным фотонным кристаллом
4. Метод определения электропроводности металлических слоев с использованием СВЧ фотонных кристаллов
5. Особенности решения обратной задачи

2. Описание процедуры выставления оценки

Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации
(Проверка сформированности компетенции ПК-1 (индикаторы ИД_ПК-1.1, ИД_ПК-1.2))

1. Оптические системы.
2. Нормальная и аномальная дисперсия.
3. Коэффициент преломления.
4. Периодические структуры с изменяемым расстоянием между структурными единицами.
5. Классификация фотонных кристаллов
6. Взаимодействие излучения с фотонными кристаллами
7. Определение спектра пропускания фотонного кристалла.
8. Структуры с отрицательным коэффициентом преломления
9. Сверхпризмы и сверхлинзы.
10. Метаматериалы
11. Применение фотонных кристаллов
12. Резонансные структуры на метаматериалах.
13. Расчет запрещенных зон фотонного кристалла
14. Лаэры на фотонных кристаллах
15. Волноводы на фотонных кристаллах.

По итогам зачёта выставляется одна из оценок: «зачет» или «незачет».

Оценка «зачет» выставляется студенту, который знает основные понятия, теоремы и уравнения, приближенные методы вычислений, умеет воспроизводить ключевые физические принципы и математические приемы, используемые при выводах основных соотношений; владеет навыками решения и выводов основных соотношений, формул и уравнений.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не знает основные понятия, теоремы и уравнения, приближенные методы вычислений, не умеет воспроизводить ключевые физические принципы и математические приемы, используемые при выводах основных соотношений; не владеет навыками решения и выводов основных соотношений, формул и уравнений.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Фотонные кристаллы»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Фотонные кристаллы» являются лекции. Это связано с тем, что в основе раздела лежит специфический математический аппарат, с помощью которого решаются довольно сложные и громоздкие задачи. По ряду тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом используемым в данном разделе.

Для успешного освоения дисциплины очень важно разбор определенного количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы раздела «Фотонные кристаллы». Для решения задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению самостоятельной домашней работе. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с аппаратом квантовой механики и проведения квантово-механических расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде самостоятельной работы. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Фотонные кристаллы» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет и экзамен по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.