

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ
Зам. декана ФНМ по учебной
работе
_____/А.В. Кнотько /
«__» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Оптика твердого тела и фотоника

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки:

04.04.02 Химия, физика и механика материалов

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

Фундаментальное материаловедение

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Методической комиссией факультета наук о материалах
(протокол №_____, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от _____20__ г.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: Вариативная часть, профессиональная подготовка, спецкурс по выбору студентов, курс предназначен для студентов магистратуры факультета наук о материалах **1-го года обучения (2-й семестр)**, курс является обязательным

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):

Дисциплины и модули профессиональной подготовки бакалавриата

3. Результаты обучения по дисциплине:

Знать: теоретические основы оптики твердого тела и фотоники; основные методы, применяемые для решения научно-исследовательских задач по оптике твердого тела и фотонике

Уметь: применять знания и терминологию дисциплины в профессиональной деятельности и в повседневной жизненной практике

Владеть: навыками использования основных законов и принципов оптики твердого тела и фотоники в важнейших практических приложениях; навыками применения основных методов оптики твердого тела и фотоники для решения научно-исследовательских задач

4. Объем дисциплины составляет 1 з.е. (36 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	2				
Общая трудоёмкость, акад. Часов	36				36
Аудиторная работа:	24				24
Лекции, акад. Часов	16				16
Семинары, акад. Часов	8				8
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. Часов	12				12
Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)	Зач.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

I. ОПТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА (4 ч. лекции, 2 ч. семинары)

Тема 1. Электромагнитная природа света

Уравнения Максвелла. Свойства электромагнитных волн.

Тема 2. Отражение, преломление, поглощение, рассеяние

Отражение и преломление света. Формулы Френеля.

Поглощение света. Закон Бугера. Комплексный коэффициент преломления.

Рассеяние света в мутной среде. Формула Рэлея. Рассеяние Ми. Молекулярное рассеяние.

Тема 3. Оптическая анизотропия

Распространение света в оптически анизотропных кристаллах. Фазовая и лучевая скорости.

Оптическая ось первого и второго рода. Одноосные и двухосные кристаллы. Оптическая индикатриса. Лучевой эллипсоид. Уравнение волновых нормалей Френеля.

Тема 4. Дисперсия

Электронная теория дисперсии. Взаимосвязь дисперсии и поглощения (соотношения Крамерса-Кронига). Нормальная и аномальная дисперсия. Дисперсия в газах и конденсированных средах. Формула Лоренц-Лорентса. Групповая скорость света в диспергирующей среде.

Тема 5. Электро- и магнитооптика

Естественная оптическая активность. Электрооптические явления. Магнитооптические явления при прохождении света сквозь намагниченное вещество и при отражении от него.

Тема 6. Оптика проводящих материалов

Понятие о твердотельной плазме. Продольные колебания в твердотельной плазме (плазмоны). Плазменная частота. Распространение электромагнитных волн в твердотельной плазме. Комплексная электрическая проницаемость. Нормальный и аномальный скин-эффект.

Тема 7. Нелинейная оптика

Нелинейная восприимчивость первого порядка: выпрямление света, генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Нелинейная восприимчивость второго порядка в центросимметричных кристаллах. Генерация третьей гармоники. Эффект самофокусировки.

Тема 8. Люминесценция

Понятие о люминесценции. Виды люминесценции. Неорганические кристаллофосфоры. Роль основания, активатора и сенситизатора в процессе внутрицентральной люминесценции. Концентрационное тушение. Кинетика внутрицентральной и рекомбинационной люминесценции. Наноразмерные кристаллофосфоры. Квантовые точки.

Тема 9. Свойства и характеристики сцинтилляторов

Понятие о сцинтилляторах, их основные типы и требования к их свойствам. Особенности наносцинтилляторов.

Тема 10. Лазерная генерация

Двухуровневая система в поле световой волны. Вынужденное излучение. Создание инверсной заселенности в трехуровневой системе. Принципы конструкции лазерного генератора. Свойства лазерного излучения.

II. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ (4 ч. лекции, 2 ч. семинары)

Тема 11. Понятие о фотонике и фотонных кристаллах

Понятие фотонного кристалла (ФК). Возможные применения ФК.

Тема 12. Фотонная зонная структура

Основы теории ФК: одномерный случай. Специфика трехмерных ФК. Оптические свойства ФК.

Тема 13. Синтез ФК

Методы синтеза двумерных и трехмерных фотонных кристаллов. Синтез коллоидных кристаллов. Темплатные методы синтеза инвертированных опалов.

Тема 14. Особенности структуры ФК типа опала и инвертированного опала

Особенности реальной структуры опалов и инвертированных опалов. Влияние несовершенств реальной структуры опалов и инвертированных опалов на их оптические свойства. Методы исследования дефектов структуры опалов и инвертированных опалов.

III. АКТИВНЫЕ ФК (4 ч. лекции, 2 ч. семинары)

Тема 15. Люминесцентные ФК

Методы синтеза люминесцентных ФК. Расчет угловой плотности оптических состояний. Экспериментальное изучение диаграмм направленности люминесценции.

Тема 16. Резонансные структуры активных центров

Принципы управления коэффициентом преломления с помощью поглощающих примесей. Методы синтеза структур с периодически распределенными центрами поглощения или излучения. Дифракция света на структурах с периодическим распределением центров поглощения. Эффекты каналирования света в окрестностях полосы поглощения и создание микросветоводных структур для целей разделения света по длинам волн.

Тема 17. Лазерная генерация в ФК

Возможности реализации различных механизмов лазерной генерации в фотонных кристаллах: генерация в оптическом резонаторе, генерация в сильно рассеивающей среде и генерация с распределенной обратной связью за счет брэгговских отражений.

IV. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФК, МАГНИТНЫЕ ФК И МЕТАМАТЕРИАЛЫ (4 ч. лекции, 2 ч. семинары)

Тема 18. Металлические ФК

Генерация плазмон-поляритонных волн (ППВ) на периодически структурированной поверхности проводника и их наблюдение. Особенность Вуда.

Синтез металлических ФК.

Тема 19. Магнитофотонные кристаллы

Пространственные модуляторы света на основе эффекта Фарадея. Возможности усиления эффекта Керра с помощью фотоннокристаллических структур. Экспериментальное наблюдение усиления магнитооптических эффектов в магнитных средах с субмикронной периодичностью структуры.

Тема 20. Метаматериалы

Понятие о метаматериалах. Специфика метаматериалов и их возможные применения. Синтез метаматериалов.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Для текущего контроля успеваемости проводятся периодические опросы, одна проверочная (самостоятельная) работа по оптике твердого тела и один коллоквиум по фотонным кристаллам.

Примеры вопросов, выносимых на проверочную работу по оптике твердого тела:

1. Вывести формулы Френеля для напряженностей полей отраженного от границы раздела и преломленного лучей.
2. Вывести формулы для коэффициентов отражения и пропускания при нормальном падении света на границу раздела двух сред.
3. Доказать на примере одноосного кристалла, что уравнение оптической индикатрисы и уравнение волновых нормалей Френеля приводят к одинаковым выражениям для фазовых скоростей обыкновенной и необыкновенной световых волн, нормали которых направлены под углом φ к оптической оси.
4. Воспроизвести вывод формулы Лоренц-Лорентса. Рассчитать оптическую поляризуемость молекул воды ($\alpha = ?$), зная, что $n = 1.33$.
5. Изложить теорию, связывающую эффект Фарадея с недиагональными членами тензора диэлектрической проницаемости намагниченной среды.
6. Перечислить параметры, характеризующие свойства сцинтилляторов, объяснить их смысл, дать соответствующие определения.
7. Изложить микроскопическую теорию нелинейного вклада в показатель преломления для кристалла с кубической нелинейностью.
8. Типы и характеристики твердотельных лазеров (включая полупроводниковые).

Примеры тем, выносимых на коллоквиум:

1. Понятие о фотонике и фотонных кристаллах (ФК).
2. Фотонная зонная структура.
3. Синтез ФК.
4. Особенности структуры опаловых ФК.
5. Люминесцентные ФК и резонансные структуры активных центров.

6. Лазерная генерация в ФК.
7. Металлические ФК.
8. Магнитофотонные кристаллы.
9. Усиление взаимодействия света с веществом в фотоннокристаллических структурах.
10. Метаматериалы.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

1. Уравнения Максвелла. Свойства электромагнитных волн.
2. Отражение и преломление света. Формулы Френеля.
3. Поглощение света. Закон Бугера. Комплексный коэффициент преломления. Рассеяние света в мутной среде. Формула Рэлея. Рассеяние Ми.
4. Распространение света в оптически анизотропных кристаллах. Оптическая индикатриса. Лучевой эллипсоид. Уравнение волновых нормалей Френеля.
5. Электронная теория дисперсии. Взаимосвязь дисперсии и поглощения. Дисперсия в газах и конденсированных средах. Формула Лоренц-Лорентса. Групповая скорость света в диспергирующей среде.
6. Естественная оптическая активность. Электрооптические явления. Магнитооптические явления при прохождении света сквозь намагниченное вещество и при отражении от него.
7. Понятие о твердотельной плазме. Продольные колебания в твердотельной плазме (плазмоны). Плазменная частота.
8. Распространение электромагнитных волн в твердотельной плазме. Комплексная электрическая проницаемость. Нормальный и аномальный скин-эффект.
9. Нелинейная восприимчивость первого порядка: выпрямление света, генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма.
10. Нелинейная восприимчивость второго порядка в центросимметричных кристаллах. Генерация третьей гармоники. Эффект самофокусировки.
11. Понятие о люминесценции. Виды люминесценции. Неорганические кристаллофосфоры. Роль основания, активатора и сенсibilизатора в процессе внутрицентральной люминесценции. Наноразмерные кристаллофосфоры. Квантовые точки.
12. Кинетика внутрицентральной и рекомбинационной люминесценции.
13. Понятие о сцинтилляторах, их основные типы и требования к их свойствам. Особенности наносцинтилляторов.
14. Двухуровневая система в поле световой волны. Вынужденное излучение. Создание инверсной заселенности в трехуровневой системе. Принципы конструкции лазерного генератора. Свойства лазерного излучения.
15. Понятие фотонного кристалла. Возможные применения фотонных кристаллов.
16. Основы теории ФК: одномерный случай. Специфика трехмерных ФК. Оптические свойства ФК.
17. Методы синтеза двумерных и трехмерных фотонных кристаллов. Синтез коллоидных кристаллов. Темплатные методы синтеза инвертированных опалов. Синтез металлических фотонных кристаллов.
18. Особенности реальной структуры опалов и инвертированных опалов. Влияние несовершенств реальной структуры опалов и инвертированных опалов на их оптические свойства.
19. Методы исследования дефектов структуры опалов и инвертированных опалов.
20. Методы синтеза люминесцентных ФК. Расчет угловой плотности оптических состояний. Экспериментальное изучение диаграмм направленности люминесценции.
21. Принципы управления коэффициентом преломления с помощью поглощающих примесей. Методы синтеза структур с периодически распределенными центрами поглощения или излучения. Дифракция света на структурах с периодическим распределением центров

поглощения.

22. Эффекты каналирования света в структурах с периодически распределенными центрами поглощения и создание микросветоводных структур для целей разделения света по длинам волн.
23. Возможности реализации различных механизмов лазерной генерации в фотонных кристаллах: генерация в оптическом резонаторе, генерация в сильно рассеивающей среде и генерация с распределенной обратной связью за счет брэгговских отражений.
24. Генерация плазмон-поляритонных волн на периодически структурированной поверхности проводника и их наблюдение. Особенность Вуда.
25. Пространственные модуляторы света на основе эффекта Фарадея. Возможности усиления эффекта Керра с помощью фотоннокристаллических структур. Экспериментальное наблюдение усиления магнитооптических эффектов в магнитных средах с субмикронной периодичностью структуры.
26. Понятие о метаматериалах. Специфика метаматериалов и их возможные применения. Синтез метаматериалов.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. Н.М. Годжаев. Оптика. М.: Высшая школа, 1977.
2. В.А. Алешкевич. Оптика. М.: Физматлит, 2010.
3. В.Ф. Шабанов, С.Я. Ветров, А.В. Шабанов. Оптика реальных фотонных кристаллов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005.

Дополнительная литература

1. О.А. Василенко. Оптические явления в твердом теле. М.: РХТУ, 2004. С. 51-57.
2. А.К. Звездин, В.А. Котов. Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988.
3. Л.В. Тарасов. Лазеры и их применение. М.: ЛИБРОКОМ, 2010.
4. Л.В. Тарасов. Изд. 2: Четырнадцать лекций о лазерах. М.: ЛИБРОКОМ, 2011

6.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)

Не требуется

6.3. Описание материально-технического обеспечения.

аудитория с доской, компьютерный проектор

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

7. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.-м.н., С.О.Климонский