

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:

Физика узкощелевых полупроводников и полуметаллов

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки:
04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:
общий

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, общепрофессиональные спецкурсы по выбору, курс предназначен для студентов факультета наук о материалах **4-го года обучения (7-й семестр)**, курс является обязательным по выбору

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

Математический анализ

Обыкновенные дифференциальные уравнения

Общая физика

Введение в физику твердого тела и физика полупроводников

3. Результаты обучения по дисциплине:

Знать: основные теоретические положения $k \cdot p$ метода и методику расчета энергетического спектра носителей заряда в его рамках, зонные структуры основных узкощелевых полупроводников и полуметаллов, иметь представление об оптических и фотоэлектрических свойствах этих материалов и направлениях их практического применения;

Уметь: проводить расчеты концентраций носителей заряда, положения уровня Ферми и эффективной массы носителей заряда в рамках неквадратичных законов дисперсии, анализировать результаты исследования электронных и оптических свойств узкощелевых материалов и использовать их для экспериментального определения основных параметров электронного и фононного спектра в этих материалов;

4. Объем дисциплины составляет 2 з.е. (72 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
	7				
Общая трудоёмкость, акад. Часов	72				72
Аудиторная работа:	36				36
Лекции, акад. Часов	36				36
Семинары, акад. Часов					
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов	36				36
Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)	Зач.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР УЗКОЩЕЛЕВЫХ ВЕЩЕСТВ

(лекции - 20 часов)

Приближенные методы решения одноэлектронного уравнения Шредингера для электрона в кристалле (обзор). Генезис энергетического спектра узкощелевых материалов. Структурно-электронный переход Пайерлса. Классификация и основные свойства узкощелевых полупроводников и полуметаллов. Области практического применения узкощелевых материалов.

k·p-метод расчета энергетического спектра узкощелевых материалов. Закон дисперсии носителей заряда в однозонном приближении. Правила сумм.

Метод Левдина построения энергетического спектра узкощелевых веществ. Двухзонное приближение. Изотропный спектр Лэкса и сопоставление его со спектром релятивистской частицы. Анализ спектра Лэкса, расчет параметров энергетического спектра в рамках спектра Лэкса.

Энергетический спектр реальных веществ. Учет симметрии волновых функций и релятивистских поправок к спектру. Релятивистские уравнения Паули и Дирака. Спин-орбитальное взаимодействие.

Изотропный спектр Кейна (закон дисперсии без учета релятивистских поправок). Прямой и инверсный спектры Кейна. Учет спин-орбитального расщепления в спектре Кейна. Закон дисперсии Кейна с учетом релятивистских поправок. Роль релятивистских поправок в формировании спектра полупроводниковых соединений A^3B^5 , A^2B^6 и сплавов на их основе.

Закон дисперсии носителей заряда в полупроводниках A^4B^6 в двухзонном приближении. Шестизонные модели спектра Диммока и Мартинеза для полупроводников A^4B^6 и сплавов на их основе. Перестройка спектра при изменении состава сплавов и под давлением. Переходы металл-диэлектрик, индуцированные внешними воздействиями в узкощелевых полупроводниках.

2. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

(лекции - 16 часов)

Оптические характеристики полупроводников. Спектры пропускания, отражения и поглощения света. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.

Собственное поглощение света (прямые и непрямые переходы). Влияние легирования на положение края собственного поглощения в полупроводниках. Влияние внешних воздействий (температуры, всестороннего и одноосного сжатия, электрического и магнитного полей) на спектры собственного поглощения. Магнитооптические явления.

Экситонное и примесное поглощение света. Поглощение света свободными носителями заряда. Внутризонное поглощение. Фононное поглощение света.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в p-n-переходе. Элемент солнечной батареи.

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)

Список контрольных вопросов

1. Зонные структуры металлов, полуметаллов, полупроводников и диэлектриков.
2. Структурно-электронный переход Пайерлса.
3. Особенности электронной структуры основных узкощелевых материалов.
4. Основные предположения и параметры **k·p**-метода расчета энергетического спектра.
5. Правила сумм. Влияние удаленных зон на параметры носителей заряда в зоне проводимости и в валентной зоне.
6. Сравнение спектра Лэкса со спектром релятивистской частицы.
7. Расчет концентрации носителей заряда и циклотронной эффективной массы в рамках закона дисперсии Лэкса.
8. Возможные зонные схемы в рамках спектра Кейна.
9. Учет релятивистских поправок в рамках **k·p**-метода.
10. Расчет зависимости циклотронной эффективной массы от энергии электрона в рамках закона дисперсии Кейна.

11. Диаграмма перестройки электронной структуры сплавов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$.
12. Особенности модифицированного закона дисперсии Кейна для полупроводников A^4B^6 .
13. Форма изоэнергетических поверхностей в рамках закона дисперсии Диммока.
14. Перестройка электронной структуры сплавов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ при изменении состава и под давлением.
15. Коэффициенты отражения и пропускания и их связь с коэффициентом поглощения света.
16. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
17. Определение ширины запрещенной зоны по спектрам собственного поглощения света.
18. Эффект Бурштейна-Мосса.
19. Собственное поглощение света в полупроводнике в квантующем магнитном поле.
20. Определение параметров полупроводника по спектру экситонного поглощения света.
21. Спектр поглощения света в полупроводнике с мелким донорным уровнем.
22. Спектры собственной и примесной фотопроводимости.
23. Определение параметров неравновесных носителей заряда при исследовании фотопроводимости.
24. Влияние ширины запрещенной зоны на эффективность преобразования энергии в элементе солнечной батареи на основе p-n-перехода.

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. Классификация и основные свойства узкощелевых материалов.
2. Структурно-электронный переход Пайерлса.
3. $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ -метод расчета энергетического спектра полупроводников.
4. Однозонное приближение. Правило сумм.
5. Метод Левдина построения энергетического спектра узкощелевых веществ. Двухзонное приближение.
6. Изотропный спектр Лэкса. Анализ спектра Лэкса.
7. Энергетический спектр реальных веществ (учет симметрии волновых функций).
8. Релятивистские поправки к спектру и их учет в рамках $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ -метода.
9. Спин-орбитальное взаимодействие в атомах и кристалле.
10. Изотропный спектр Кейна (закон дисперсии без учета релятивистских поправок).
11. Учет спин-орбитального взаимодействия в спектре Кейна ($\mathbf{k}=0$).
12. Прямой спектр Кейна для полупроводников A^3B^5 .
13. Инверсный спектр Кейна для полупроводников A^2B^6 .
14. Роль релятивистских поправок H_{mv} и H_D в спектре Кейна. Зонная структура полупроводников A^3B^5 и A^2B^6 .
15. Закон дисперсии носителей заряда в полупроводниках A^4B^6 в двухзонном приближении.
16. Закон дисперсии Диммока в полупроводниках A^4B^6 .
17. Перестройка электронного спектра узкощелевых полупроводников при изменении состава сплавов и под давлением.
18. Оптические характеристики полупроводников.
19. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
20. Собственное поглощение света (прямые переходы).
21. Собственное поглощение света (непрямые переходы).
22. Влияние легирования на положение края собственного поглощения.
23. Влияние температуры и давления на спектры собственного поглощения.
24. Влияние электрического и магнитного полей на спектры собственного поглощения.
25. Магнитооптические явления.
26. Экситонное поглощение света.
27. Примесное поглощение света.
28. Поглощение света свободными носителями заряда, внутризонное поглощение.

29. Фононное поглощение света.
30. Фотопроводимость, релаксация фотопроводимости.
31. Стационарная фотопроводимость.
32. Эффект Дембера.
33. Фотоэлектромагнитный эффект.
34. Фотовольтаический эффект в р-п-переходе. Элемент солнечной батареи.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. И.М. Цидильковский. Зонная структура полупроводников. Москва, Наука, 1978.
2. И.М. Цидильковский. Бесщелевые полупроводники – новый класс веществ, Москва, Наука, 1986.
3. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. Москва, Наука, 1990.
4. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. Москва, Энергоатомиздат, 1985; С.-Петербург, Лань, 2010.
5. М. Грундман. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения. Москва, Физматлит, 2012.

Дополнительная литература

1. Дж. Каллуэй. Теория энергетической зонной структуры. Москва, Мир, 1969.
2. Ф. Бассани, Дж. Пастори-Паравичини. Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах. Москва, Наука, 1982.
3. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. Москва, Мир, 1976.
4. Ж. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. Москва, Мир, 1973.

Методические указания

Е.П. Скипетров. Физика полупроводников. Учебно-методическое пособие. Москва, ВКНМ, 1997.

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

Не требуется

7.3. 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.

9. Разработчик (разработчики) программы.

д.ф.-м.н., проф. Е.П. Скипетров