

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

_____/ Матиев А. Х.
от « 12 » 03 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

_____/ Кульбужев Б. С.
от « 14 » 03 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.05.01. Физика полупроводников

(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки – **03.04.02 Физика**
(код, наименование)

Направленность: **Физика полупроводников**

Квалификация выпускника – **Магистр**

Форма обучения **Очная**

Цели и задачи дисциплины ее место в учебном процессе

1. Цель преподавания дисциплины

Целью дисциплины «Физика полупроводников» является: формирование у магистров основных понятий, принципов физики полупроводников, навыков практического применения знаний к решению физических задач по физике полупроводников.

Задачи дисциплины:

получить представление о полупроводниках; применять на практике знание физических законов к решению учебных, научных и научно-технических задач; самостоятельно ставить и решать физические задачи.

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина относится к блоку дисциплины по выбору профессионального цикла Б1. В.ДВ.05.01

Связь с предшествующими дисциплинами.

Данный курс опирается на такие дисциплины, как высшая математика, общая физика.

Связь с последующими дисциплинами

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин: физика конденсированного состояния вещества; физика полупроводниковых приборов; физика и технология полупроводниковых материалов; низкоразмерные полупроводниковые структуры.

3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

Дисциплина нацелена на формирование универсальных, общеобразовательных и профессиональных компетенций:

3.1 Универсальные компетенции (УК) и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции

Самоорганизация и саморазвитие	УК-6. Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1. Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные), целесообразно их использует;	
		УК-6.2. Определяет образовательные потребности и способы совершенствования (в том числе профессиональной) деятельности на основе самооценки;	
		УК-6.3. Выбирает и реализует с использованием инструментов непрерывного образования возможности развития профессиональных компетенций и социальных компетенций;	
		УК-6.4. Выстраивает гибкую профессиональную траекторию с учетом требований профессиональной деятельности, динамично изменяющихся требований рынка труда, стратегии личного развития.	

3.2. Профессиональные компетенции (ПК) и индикаторы их достижения

Наименование категории (группы) профессиональных компетенций	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора* достижения профессиональной компетенции
Научно-исследовательская деятельность	ПК-1 Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ИДК_{ПК1.1} Умеет самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теоретической и экспериментальной физики; подбирать математический аппарат и самостоятельно решать различные задачи научных исследований, используя стандартные алгоритмы решения; объяснять (выявлять и строить) типичные модели решения поставленной задачи исследования; оценивать изменения в выбранной области исследования в связи с новыми данными, полученными из различных источников
		ИДК_{ПК1.2} Способен находить необходимые справочные материалы из информационных источников, как отечественных, так и зарубежных; производить оценочные расчеты эффективности эксперимента

		ИДК _{ПК1.3} Владеет: навыками работы на современной аппаратуре и оборудовании для выполнения физических исследований в области физики конденсированного состояния; навыками и методами анализа результатов эксперимента и физических моделей; методами планирования, организации и проведения научных исследований.
--	--	---

4.Содержание и структура дисциплины

4.1 Содержание разделов дисциплины

1 семестр

№. п.	Наименование тем	Всего часов	Л	ЛЗ	ПР	Инд раб	СР	Ин АЧ
1	Отличительные физические признаки полупроводников. Полупроводники, Металлы и диэлектрики.	11	2	4		1	4	8л.
2	Энергетический спектр электрона в полупроводнике. Зона проводимости и валентная зона.	9	4			1	4	
3	Уравнение Шредингера для кристаллов. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация Одноэлектронное приближение.	7	2			1	4	
4	Приближение сильно связанных электронов.	7	2			1	4	
5	Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна.	14	2	6		2	4	

6	Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны	6	2			2	2	
7	Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителей заряда.	7	2			2	4	
8	Элементарная теория примесных состояний	8	2	4			2	
9	Колебание одноатомной линейной цепочки. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.	8	2			2	4	
10	Колебание двухатомной линейной цепочки. Колебание атомов трехмерной решетки	10	4			2	4	8л. пр 6
11	Статистика фононов. Теплоемкость кристаллической решетки	12	2	6			4	
12	Тепловое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.	6	2			2	2	
13	Плотность квантовых состояний. Функция Ферми-Дирака.	8	2	4			2	
14	Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака. Примесные и собственные полупроводники.	12	4	4		2	2	
15	Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации.	8	4			2	2	

	Эффективное сечение рассеяния.							
16	Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях..	9	4			2	3	
17	Рассеяние на тепловых колебаниях решетки	5	2			1	2	
18	Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.	11	4	4		1	2	
19	ИТОГО	162	48	32		27	55	

2 семестр

№. п.	Наименование тем	Всего часов	Л	ЛЗ	ПР	ИР	СР
1	Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная световая генерация носителей заряда...	5	2	4			3
2	Монополярная световая генерация. Максвелловское время релаксации	5	2				4
3	Виды рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки	5	4	4			2
4	Уравнение непрерывности. ..	5	2	4			2

5	Диффузия и дрейфовые токи. Соотношение Эйнштейна	5	2				4
6	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости	5	2				2
7	Природа поверхностных уровней. Теория слоя пространственного заряда. Эффект поля. Поверхностная рекомбинация.	5	2				4
8	Спектр отражения и спектр поглощения.	5	2				4
9	Собственное поглощение при прямых переходах. Собственное поглощение при не прямых переходах.	5	2				4
10	Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника	5	2	4			4
11	Экситонное поглощение. Поглощение собственными носителями заряда	5	2	4			4
12	Примесное поглощение. Решеточное поглощение	5	4	2			4
13	Типы люминесценции. Мономолекулярное сечение твердых тел.	5	4				4
14	Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных	5	4	4			4

	переходах						
15	Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение твердых тел.	5		4			2
16	Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. иа носителей заряда.	5	4				4
17	Релаксация фотопроводимости.	5	2	4			2
18	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии Эффект Дембера.	5	4				4
19	ИТОГО	126	48	34		27	17

4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц (288 часов)

Виды занятий	Всего часов
Общая трудоемкость	288/8
Аудиторные занятия	162/4,
1 семестр	
Лекции (Л)	48/ 1.3
Практические занятия (ЛР,ПР,СЗ)	32/0,89
Индивидуальные работы (ИР)	27
Самостоятельная работа (СР)	55/1.52
Консультация	2
Итоговая форма контроля (по ЛР и ПР.)	
Итоговая форма контроля лекционного курса	экзамен (1)
2 семестр	

Лекции (Л)	48/ 1.3
Практические занятия (ЛР,ПР,СЗ)	34/0,94
Индивидуальные работы (ИР)	27
Самостоятельная работа (СР)	17/1.5
Консультация	2
Итоговая форма контроля (по ЛР и ПР.)	аттестация
Итоговая форма контроля лекционного курса	Экзамен

Форма итогового контроля.

Формой итогового контроля по лекциям является устный экзамен. К экзамену допускаются студенты, получившие зачет по семинарским занятиям и по практикуму. Устный экзамен проходит по билетам, каждый из которых содержит два вопроса. Каждый вопрос содержит один пункт программы курса или его часть. Для получения зачета по семинарским занятиям студент обязан решить не менее двух письменных контрольных работ, выполнить все домашние задания и успешно выступить на семинаре. Для получения зачета по лабораторному практикуму студент должен выполнить все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом т.е. девять работ.

ПРОГРАММА КУРСА «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».

Введение. Отличительные физические признаки полупроводников. Полупроводники, Металлы и диэлектрики. Модельные представления о механизме электропроводности примесных и собственных полупроводников. Энергетический спектр электрона в полупроводнике. Зона проводимости и валентная зона. Ширина запрещенной зоны в полупроводниках. Представление о дырках.

Основы зонной теории полупроводников

Уравнение Шредингера для кристаллов. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация. Одноэлектронное приближение. Приближение сильно связанных электронов. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Возможное заполнение электронных состояний валентной зоны. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителей заряда. Циклотронный резонанс. Зонная структура некоторых полупроводников. Метод эффективной массы. Элементарная теория примесных состояний.

Колебание атомов кристаллической решетки.

Колебание одноатомной линейной цепочки. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты. Колебание

двухатомной линейной цепочки. Колебание атомов трехмерной решетки. Статистика фононов. Теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.

Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Плотность квантовых состояний. Функция Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака. Примесные и собственные полупроводники. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью. Примесные зоны.

Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках

Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Эффективное сечение рассеяния. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.

Кинетические явления в полупроводниках.

Неравновесная функция распределения. Удельная проводимость полупроводников. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников. Эффект Ганна. Ударная ионизация.

Генерация и рекомбинация носителей заряда.

Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная световая генерация носителей заряда. Монополярная световая генерация. Максвелловское время релаксации. Виды рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через рекомбинационные ловушки.

Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.

Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейфовые токи.

Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.

Поверхностные явления в полупроводниках

Природа поверхностных уровней. Теория слоя пространственного заряда. Эффект поля. Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.

Поглощение света полупроводниками.

Спектр отражения и спектр поглощения. Собственное поглощение при прямых переходах. Собственное поглощение при не прямых переходах. Собственное поглощение сильно легированного полупроводника. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника.

Экситонное поглощение. Поглощение собственными носителями заряда. Примесное поглощение. Решеточное поглощение.

Люминесценция полупроводников.

Типы люминесценции. Мономолекулярное сечение твердых тел. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение твердых тел.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда. Эффект Дембера.

4.3 Лабораторные работы

1. Определены типы электропроводности полупроводников.
2. Определение ширины запрещенной зоны собственного полупроводника.
3. Расчет температурной зависимости ширины запрещенной зоны собственного полупроводника.
4. Расчет температурной зависимости электронов и дырок в собственном полупроводнике.
5. Расчет температурной зависимости уровня Ферми собственного полупроводника.
6. Расчет температурной зависимости уровня Ферми донорного полупроводника.
7. Расчет температурной зависимости уровня Ферми акцепторного полупроводника.
8. Изучение температурной зависимости удельного сопротивления металлов и полупроводников
9. Изучение эффекта Холла
10. Изучение теплопроводности веществ
11. Изучение фотоэлектрических свойств полупроводников
12. Изучение внешнего фотоэффекта

4.4 Практические занятия

Семинарские и практические занятия по дисциплине «Физика полупроводников».

Практические занятия 1 курс, 1 и 2 семестр

1. Глубокие примесные уровни в полупроводниках 7.23 (7)

2. Частично компенсированные полупроводники.
3. Дефекты в полупроводниках.
4. Изменение концентрации электронов и σ при освещении.
5. Рекомбинация носителей заряда 46, 47, 48, 53 (7)
6. Уровни прилипания, дефекты в полупроводниках и их влияние на процессы рекомбинации 49, 50, 51, 52 (7)
7. Диффузия электронов и дырки в невырожденных полупроводниках 60, 61, 56, 66. (7)
8. Определение неравновесной концентрации носителей заряда при неоднородной генерации.
9. Диффузия электронов и дырок в невырожденных полупроводниках. 62, 63, 64. (7)
10. Эффект Дембера 75, 76, 78 (7)
11. Диффузия электронов и дырок в полупроводниках во внешнем электрическом поле 81, 82, 85, 86, 88. (7)
12. Диффузия носителей заряда в магнитном поле. 95, 96, 97. (7)
13. Объемный заряд в приповерхностном слое полупроводника 103, 104, 105, 106, 107. (7)
14. Потенциал в приповерхностном слое полупроводника 103, 104, 105, 106, 107. (7)
15. Работа выхода носителей заряда из полупроводника 108, 109, 110. (7)
Фото – э.д.с. в полупроводниках 147, 148, 149, 151, 152 (7)
16. Оптические свойства полупроводников 154, 155, 156, 157, 158 (7)

Литература к практическим занятиям

1. П.С. Киреев . Физика полупроводников М. 1969.
2. Г.Вайнс . Физика гальваномических полупроводниковых приборов и их применение М. 1974г.
3. А.В. Рисанов. Электромагнитные процессы на поверхности полупроводника М. 1971г.
4. Ж.Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М. 1972
5. Т.Д. Надтока , З.А, Исмаилов. Сборник задач на явления переноса в полупроводниках. Грозный 1979г.
6. И.М. Цидильковский. Электроны и дырки в полупроводниках. М. 1972
7. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В. Карпенко, А.Г.Миронов Сборник задач по физике полупроводников М. 1987

4.5 Курсовой проект

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».

1. Релаксация фотопроводности полупроводников.
2. Изучение энергетического спектра полупроводника с помощью внешнего фотоэффекта
3. Фотоэффект в высокоомных полупроводниках.
4. Фотоэлемент как преобразователь световой энергии в электрическую.
5. Время релаксации неравновесных зарядов в полупроводниках
6. Влияние рассеяния носителей заряда на нейтральных примесях на величину подвижности в полупроводниках.
7. Влияние рассеяния носителей заряда на ионах примеси на величину подвижности в высокоомном полупроводнике ZnS.
8. Влияние рассеяния носителей заряда на акустических и оптических фононах на величину подвижности в твердых телах..
9. Упругооптический эффект в кристаллах.
10. Изучение физических свойств полупроводниковых термисторов.
11. Терморезисторы и их практическое применение.
12. Изучение физических свойств симметричных стабилитронов.
13. Изучение физических свойств варикапов.
14. Термоэлектродвижущая сила в полупроводниковых материалах.
15. Теплопроводность собственных полупроводников.
16. Теплопроводность примесных полупроводников

4.6 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПОДГОТОВКИ К ПРОМЕЖУТОЧНОМУ КОНТРОЛЮ.

№	Содержание темы	Часы СРС	Форма контроля
1	Плотность квантовых состояний	2	устный опрос
2	. Функция Ферми-Дирака.	2	устный опрос
3	Степень заполнения примесных уровней.	2	устный опрос
4	Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака.	2	устный опрос
5	Примесные и собственные полупроводники.	2	устный опрос
6	Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника.	2	устный опрос
7	Примесные зоны.	2	устный опрос
8	Кинетическое уравнение Больцмана.	2	устный опрос

9	Равновесное состояние.	2	устный опрос
10	Время релаксации.	2	устный опрос
11	Эффективное сечение рассеяния	2	устный опрос
12	Типы центров рассеяния.	2	устный опрос
13	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	1	устный опрос
14	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	1	устный опрос
15	Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.	1	устный опрос
16	Неравновесная функция распределения.	1	устный опрос
17	Удельная проводимость полупроводников.	1	устный опрос
18	Зависимость подвижность носителей заряда от температуры.	1	устный опрос
19	Эффект Холла.	1	устный опрос
20	Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.	1	устный опрос
21	Магниторезистивный эффект.	1	устный опрос
22	Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников.	1	устный опрос
23	Эффект Ганна.	1	
24	Ударная ионизация.	1	

4. Образовательные технологии

5.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

СЕМЕСТР	ВИД ЗАНЯТИЯ (Л, ПР, ЛР)	ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ
1 И 2	Л	Презентации	8

	ПР	Презентации, обучающее тестирование	4
	ЛР		
ИТОГО:			12

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.

6.1 Контрольные вопросы по физике полупроводников для магистров 1 курса (1 -семестр).

1. Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
2. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
3. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников.
4. Элементарная теория электропроводности.
5. Уравнение Шредингера для кристалла.
6. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
7. Одноэлектронное приближение
8. Приближение сильно связанных электронов.
9. Число состояния электронов в энергетической зоне.
10. Квазиимпульс электрона в кристалле.
11. Зоны Бриллюэна.
12. Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
13. Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
14. Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
15. Эффективная масса носителей заряда.
16. Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главных оси тензора эквивалентны.
17. Циклотронный резонанс.
18. Колебание одноатомной линейной цепочки.
19. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.
20. Колебания двухатомной линейной цепочки.
21. Колебания атомов трехмерной решетки.
22. Статистика фононов.
23. Теплоемкость кристаллической решетки.
24. Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.

25. Плотность квантовых состояний.
26. Функция распределения Ферми-Дирака.
27. Степень заполнения примесных уровней.
28. Концентрация электронов и дырок в зонах.
29. Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
30. Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
31. Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
32. Собственный полупроводник.
33. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
34. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ($N_a = 0$).
35. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ($N_d = 0$).
36. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
37. Примесные зоны.
38. Механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках.
39. Кинетическое уравнение Больцмана.
40. Равновесное состояние системы носителей заряда в полупроводнике.
41. Время релаксации.
42. Рассеяние на ионах примесей.
43. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.
44. Рассеяния на тепловых колебаниях решетки
45. Неравновесная функция распределения.
46. Удельная проводимость полупроводников.
47. Зависимость подвижность носителей заряда от температуры.
48. Эффект Холла.
49. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.
50. Магниторезистивный эффект.
51. Термоэлектрические явления.
52. Теплопроводность полупроводников.
53. Эффект Ганна.
54. Ударная ионизация.

6.2 Контрольные вопросы по физике полупроводников для магистров 1 курса (2 -семестр).

1. Равновесные и неравновесные носители заряда.
2. Биполярная световая генерация носителей заряда.
3. Монополярная световая генерация.

4. Максвелловское время релаксации.
5. Виды рекомбинации.
6. Межзонная излучательная рекомбинация.
7. Межзонная ударная рекомбинация.
8. Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки.
9. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через рекомбинационные ловушки.
10. Уравнение непрерывности.
11. Диффузия и дрейфовые токи.
12. Соотношение Эйнштейна.
13. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.
14. Природа поверхностных уровней.
15. Теория слоя пространственного заряда.
16. Эффект поля.
17. Поверхностная рекомбинация.
18. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
19. Спектр отражения и спектр поглощения.
20. Собственное поглощение при прямых переходах.
21. Собственное поглощение при не прямых переходах.
22. Собственное поглощение сильно легированного полупроводника.
23. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника.
24. Экситонное поглощение.
25. Поглощение собственными носителями заряда.
26. Примесное поглощение.
27. Решеточное поглощение.
28. Типы люминесценции.
29. Мономолекулярное сечение твердых тел.
30. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.
31. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.
32. Спонтанное и вынужденное излучение атома.
33. Стимулированное излучение твердых тел.
34. Внутренний фотоэффект.
35. Фотопроводимость.
36. Релаксация фотопроводимости.
37. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда.
38. Эффект Дембера.
39. Фотоэлектромагнитный эффект.
40. Фотоэффект в p-n переходе.
41. Фотоэффект на барьере Шотки.

42. Внешний фотоэффект

6.3 График рейтинговых мероприятий

1 семестр

№ семестра	месяц				
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь
5	Лекции.				
5		коллоквиум			экзамен
	Практические занятия.				
5		аттестация		аттестация	
	Лабораторные занятия				
5		аттестация		аттестация	

2 семестр

№ семестра	месяц				
	февраль	март	апрель	май	июнь
5	Лекции.				
5		коллоквиум			экзамен
	Практические занятия.				
5		аттестация		аттестация	
	Лабораторные занятия				
5		аттестация		аттестация	

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА « ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».

7.1 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ПО КУРСУ «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».

ПЕРЕЧЕНЬ НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ

1. Схема зависимости функции распределения Ферми-Дирака и Больцмана от энергии носителей.
2. Схема процессов генерации и рекомбинации фотоносителей.
3. Схема прямых и непрямых переходов.
4. Схема зависимости энергии Ферми от температуры.
5. Схема фотовольтаического эффекта.
6. Схема магнитодиодного эффекта.
7. Схема конструкции полупроводникового лазера.

ЛИТЕРАТУРА К СПЕЦКУРСУ « ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

7.2 Основная

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников М. «Лань», 2010 г
2. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. «Лань», 2008 г.
3. Г.Г. Зегря, В.И. Перель Основы физики полупроводников. Физматгиз. 2009 г.
4. О.Б. Гусев, А.Н. Поддубный, А.А. Прокофьев, И.Н. Ясиевич. Излучение кремниевых нанокристаллов. Международная конференция «Кремний – «012. Санкт – Петербург. ФТП. 2013, том 47, выпуск 2.
5. В.В.Румянцев, С.В. морозов, К.Е. Кудрявцев, В.И. Гавриленко, Д.В. Козлов. Особенности примесной фотопроводимости в кремнии легированном бором.XVI симпозиум» Нанозифизика и нанозлектроника»Нижний Новгород. ФТП. 2012 г.

7.3 Дополнительная

1. В.И. Фистуль Введение в физику полупроводников М. Изд. Высшая школа. 1978г.
2. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. Физматиздат 1967г.
3. Г.Дж. Гольдсмит. Задачи по физике твердого тела М. 1976.
4. В.М. Фридкин. Сегнетоэлектрики - полупроводники М. «Наука» 1976г.
5. В.Л. Бонч - Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников М. «Наука» 1977г.
6. Л.С. Стилбанс. Физика полупроводников. М. Изд. «Сов. радио» 1967г.
7. П.С. Киреев. Физика полупроводников. Изд. Высшая школа 1969г.
8. К.Зеегер. Физика полупроводников М. «Мир» 1977г.
9. И.М. Цидильковский. Электроны и дырки в полупроводниках. М. 1972
- 10.Ж.Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М. 1972
- 11.А.В.Рисанов. Электромагнитные процессы на поверхности полупроводника М. 1971г.

12. Усанов Д.А. Явления переноса в структурах с туннельно- тонкими полупроводниковыми слоями. Издательство Саратовского Государственного Университета. 1996 г.
13. А. А. Харламов. Специальный физический практикум, 2. МГУ. 1977г.
14. Г. Вайнс. Физика гальваномических полупроводниковых приборов и их применение М. 1974г.
15. Т.Д. Надтока, З.А, Исмаилов. Сборник задач на явления переноса в полупроводниках. Грозный 1979г.
16. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В. Карпенко, А.Г.Миронов Сборник задач по физике полупроводников М. 1987
17. Полупроводники – сегнетоэлектрики. Под. редакцией Грекова А.А. РГУ. 1986 г., 1976г.
18. Полупроводники – сегнетоэлектрики. Под. редакцией Грекова А.А. РГУ. 1976г.
19. Кордова Ю.П. Основы физики полупроводников. Пол. Редакцией Захарчени Б.П. М.»Физматлит». 2002г.

7.4 Периодические издания

1. Известия РАН .Серия физическая.
2. Физика и техника полупроводников
3. Физика твердого тела
4. Оптика и спектроскопия
5. Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки

7.5 Методические указания к лабораторным работам

Лабораторные работы не предусмотрены по рабочей программе

7.6 Методические указания к практическим занятиям

Практические занятия обеспечены методическими указаниями

7.7 Программное обеспечение современных информационно – коммуникационных технологий (**лицензионное**)

Программное обеспечение выбрано в соответствии с каталогом лицензионных программных продуктов, используемых в университете

1. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
2. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
3. Программный продукт «Антивирус Касперского».
4. Программный продукт MAPLE.
5. Программный продукт Fine Reader 7.0 Professional Edition.
6. Программный продукт MATCAD.

7.8 Интернет ресурсы

[http: // www,ph4s,ru/book_ph_poluprovodnik.html](http://www.ph4s.ru/book_ph_poluprovodnik.html)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерный класс, оргтехника, теле- и аудиоаппаратура (всё – в стандартной комплектации для лабораторных занятий и самостоятельной работы); доступ к сети Интернет (во время самостоятельной подготовки и на лабораторных занятиях).

В лаборатории «Физика полупроводников» имеются следующие посадочные места:

Рабочее место преподавателя-1

Доска-1

Лабораторных столов -12

Стульев -12

Посад. мест 12

Лабораторные установки :

а)производства объединения «Росучприбор»:

1. Установка для изучения электропроводности металлов и полупроводников.ФПК-07.
2. Установка для изучения р-п переходаФПК-06
3. Установка для изучения эффекта Холла в полупроводниках ФПК-08.
4. Установка для изучения внешнего фотоэффекта ФПК-10.
- 5.Установка для определения типа проводимости полупроводников.
- 6.Установкадля изучения термоэлектрического эффекта.

б)Автоматизированные лабораторные стенды производства «ФБГОУ ВО Пензенский государственный университет» для изучения свойств материалов и элементов электронной техники. Стенды представляют собой измерительные системы, выполненные на базе персональных компьютеров .Стенды предназначены для проведения следующих исследований:

- 1.Автоматизированные лабораторный стенд для исследования свойств сегнетоэлектрических материалов
- 2.Автоматизированные лабораторный стенд для исследования свойств полупроводниковых структур методом вольт-фарадных характеристик
- 3.Автоматизированные лабораторный стенд для исследования свойств полупроводниковых материалов электронной техники методом эффект Холла
- 4.Автоматизированные лабораторный стенд для исследования магнитных свойств материалов электронной техники
- 5.Автоматизированные лабораторный стенд для исследования свойств однокомпонентных и многокомпонентных проводниковых материалов электронной техники

Рабочая программа дисциплины «Физика полупроводников» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 7 августа 2020 г. N 891

Программу составил: профессор кафедры «Физика» Р.М. Магомадов

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»
Протокол № 8 от « 11 » марта 2025 года

Программа одобрена Учебно-методическим советом физико-математического факультета
Протокол № 7 от « 13 » марта 2025 года