

**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.05.02. Оптика 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**

г. Магас, 2025

Цели и задачи дисциплины ее место в учебном процессе

1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины «Оптика полупроводников» является: формирование у студентов 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 общеобразовательной части профессионального цикла Б1.В.ДВ.05.02

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 общекультурных и профессиональных компетенций:

УК-6 – способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

ПК-1 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

знать: методы и приемы решения задач по основам физики полупроводников;

иметь представление об основных принципах, лежащих в основе физики полупроводников;

уметь: приводить к формальному виду условия реальных физических задач;

использовать общие решения математических задач для поиска решения физических задач; использовать при работе справочную и учебную литературу; находить другие необходимые источники информации и работать с ними.

владеть:- методами расчета и применять методы дифференциального исчисления для решения физических задач.

-экспериментальными методиками изучения физических свойств веществ.

4.Содержание и структура дисциплины

4.1 Содержание разделов дисциплины

№.п	Наименование тем	Всего часов	Л	ЛЗ	ПР	ИР	СР	Ин акт
1	Спектр отражения и спектр поглощения. Собственное поглощение при прямых переходах.	11	2		4		5	8л
2	Собственное поглощение при непрямых переходах. Собственное поглощение сильно легированного полупроводника.	11	3		4		4	
3	Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника.	10	2		4		4	
4	Экситонное поглощение. Поглощение собственными носителями заряда.	10	2		4		4	
5	Примесное поглощение. Решеточное поглощение.	10	2		4		4	
6	Типы люминесценции.	8	2		4		2	
7	Мономолекулярное сечение твердых тел.	8	2		4		4	
8	Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.	14	2		4	4	4	6л пр 16
9	Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.	14	2		4	4	4	
10	Спонтанное и вынужденное	15	3		4	4	4	

	излучение атома. Стимулированное излучение твердых тел.							
11	Внутренний фотоэффект.	14	2		4	4	4	
12	Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.	14	2		4	4	4	
13	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда.	18	2		4	6	6	
14	Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-н переходах и на барьере Шотки.	21	3		6	6	6	
15	Внешний фотоэффект.	10	2		2	4	2	
16	ИТОГО	178	33		48	36	61	30

4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.9 зачетных единиц (178 часов)

Виды занятий	Всего часов
Общая трудоемкость	178 /4
Аудиторные занятия	66 /1.83
7 семестр	
Лекции (Л)	15 / 0.41
Практические занятия (ПР)	30 / 0.83
Индивидуальные работы (ИР)	36 / 1
Самостоятельная работа (СР)	27 / 0.75
Консультация	1
Итоговая форма контроля (по ЛР и ПР.)	аттестация (2)
Итоговая форма контроля лекционного курса	зачет (1ч.)
3 семестр	
Лекции (Л)	18 / 0.5
Практические занятия (ПР)	18 / 0.5

Индивидуальные работы (ИР)	36 / 1
Самостоятельная работа (СР)	36 / 1
Консультация	3
Итоговая форма контроля (по ЛР и ПР.)	
Итоговая форма контроля лекционного курса	экзамен (1 ч.)

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 «ОПТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ ».

Поглощение света полупроводниками.

Спектр отражения и спектр поглощения. Собственное поглощение при прямых переходах. Собственное поглощение при непрямых 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. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-н переходах и на барьере Шотки. Внешний фотоэффект.

4.3 Лабораторные работы

- 1.Определение температуры вырождения примесного полупроводника.
- 2..Влияние концентрации примеси и температуры на свойства полупроводника.
- 3..Изучение упруго оптического эффекта в кристаллах.
- 4..Исследование термоэлектродвижущей силы в полупроводниках
- 5.Изучение эффекта Холла в полупроводниках.
- 6.Изучение вольтамперных и люкс- амперных характеристик фотоэлемента.
- 7.Изучение фотопроводимости полупроводников и определение релаксационного времени жизни фотоносителей.
- 7.Изучение энергетической структуры полупроводника с помощью внешнего фотоэффекта

4.4 Практические занятия

Семинарские и практические занятия по спецкурсу «Оптические явления в полупроводниках»(2 курс, 3 семестр).

№.п.	Наименование тем	Всего часов
1	Спектр отражения и спектр поглощения. Собственное поглощение при прямых переходах.	2
2	Собственное поглощение при непрямыx переходах. Собственное поглощение сильно легированного полупроводника.	2
3	Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника.	2
4	Экситонное поглощение. Поглощение собственными носителями заряда.	2
5	Примесное поглощение. Решеточное поглощение.	2
6	Типы люминесценции.	2
7	Мономолекулярное сечение твердых тел.	2
8	Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.	2
9	Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.	2
10	Спонтанное и вынужденное излучение атома. Стимулированное излучение твердых тел.	2

11	Внутренний фотоэффект.	2
12	Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.	2
13	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда.	2
14	Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-н переходах и на барьере Шотки.	2
15	Внешний фотоэффект.	2
16	ИТОГО	30

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 «ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ».

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 аттестация		
1	Спектр отражения и спектр поглощения.	4	устный опрос
2	Собственное поглощение при прямых переходах.	4	устный опрос
3	Собственное поглощение при не прямых переходах.	4	устный опрос
4	Собственное поглощение сильно легированного полупроводника.	4	устный опрос
5	Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводника.	4	устный опрос
6	Экситонное поглощение.	4	устный опрос
7	Поглощение собственными носителями заряда	4	устный опрос
8	Примесное поглощение.	4	устный опрос
9	Решеточное поглощение.	4	устный опрос
10	Типы люминесценции.	2	устный опрос
11	Мономолекулярное сечение твердых тел.	4	устный опрос
12	Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах зона проводимости - валентная зона	4	устный опрос
13	Рекомбинационное излучение		

	полупроводников при непрямых переходах зона проводимости - валентная зона		
14	Рекомбинационное излучение в сильно леггированных полупроводниках		
15	Экситонная рекомбинаци		
	2 аттестация		
16	Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.	4	устный опрос
17	Излучательные переходы « зона – уровень примеси		
18	Излучательные переходы в полупроводниках с донорными и акцепторными примесями		
19	Релаксация люминесценции		
20	Температурное тушение люминесценции		
21	Спонтанное и вынужденное излучение атома.	4	устный опрос
22	Стимулированное излучение твердых тел.	4	устный опрос
23	Внутренний фотоэффект	4	устный опрос
24	Фотопроводимость.	4	устный опрос
25	Релаксация фотопроводимости.	4	устный опрос
26	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда.	4	устный опрос
27	. Эффект Дембера.	2	устный опрос
28	Фотоэлектромагнитный эффект.	4	устный опрос
29	Фотовольтаический эффект в р-н переходах и на барьере Шотки.	4	устный опрос
30	Фотодиоды с барьером Шотки и их применение.		

4. Образовательные технологии

5.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

СЕМЕСТР	ВИД ЗАНЯТИЯ (Л, ПР, ЛР)	ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ
	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 оптическим явлениям в полупроводниках для студентов 4 курса (8-семестр).

№	Содержание темы
1	Спектр отражения полупроводников
2	Спектр поглощения полупроводников
3	Коэффициент поглощения полупроводников при наличии в поглощающих центров.
4	Законы сохранения выполняющиеся при взаимодействии электрона с электромагнитным излучением.
5	Прямые переходы
6	Собственное поглощение при прямых переходах
7	« Запрещенные» прямые переходы
8	Непрямые переходы
	Собственное поглощение при непрямых переходах.
9	Влияние легирования на край собственного поглощения полупроводников
10	Собственное поглощение сильно легированного полупроводника.
11	Собственное поглощение аморфного полупроводника.
12	Влияние температуры на собственное поглощение полупроводника.
13	Влияние давления на собственное поглощение полупроводника.
14	Влияние сильного электрического поля на собственное поглощение полупроводника.
15	Влияние магнитного поля на собственное поглощение полупроводника.
16	Экситон. Энергия экситона.

17	Экситонное поглощение.
18	Экситонные ионы.
19	Внутризонные переходы с нарушением правил отбора.
20	Поглощение собственными носителями заряда
21	Зависимость коэффициента поглощения свободными носителями заряда от длины волны
22	Примесное поглощение.
23	Энергетические уровни примесных центров возбуждения.
24	Решеточное поглощение.
25	Оптические и акустические ветви колебаний кристаллической решетки полупроводников.
26	Типы люминесценции.
27	Мономолекулярное сечение твердых тел.
28	Сдвиг Франка – Кондома в излучении твердых тел.
29	Виды рекомбинации электронно- дырочных пар в возбужденном полупроводнике.
30	Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах зона проводимости - валентная зона.
31	Рекомбинационное излучение полупроводников при не прямых переходах зона проводимости - валентная зона.
32	Рекомбинационное излучение в сильно легированных полупроводниках.
33	Экситонная рекомбинация
34	Излучение свободного экситона в полупроводниках с прямыми и непрямыми зонами.
35	Связанные экситоны
34	Рекомбинационное излучение в полупроводниках с примесями и дефектами.
35	Излучательные переходы при нейтрализации ионизированных доноров и акцепторов.
36	Излучательные переходы « зона – уровень примеси»
37	Излучательная рекомбинация в полупроводниках с низкой концентрацией примесей.
38	Излучательные переходы в полупроводниках с донорными и акцепторными примесями.
39	Влияние расположения примесей в кристаллической структуре полупроводника на спектр излучения.
40	Релаксация люминесценции
41	Мономолекулярное и бимолекулярное рекомбинационное свечение.
42	Температурное тушение люминесценции
43	Механизм температурного тушения мономолекулярного свечения, когда поглощение и излучение происходит в одном центре

44	Спонтанное излучение атома.
45	Вынужденное излучение атома
46	Условие наблюдения индуцированного излучения атома.
47	Способ создания атомной или молекулярной среды с отрицательным поглощением
48	Стимулированное излучение твердых тел.
49	Рубиновый лазер.
50	Излучающие полупроводниковые диоды.
51	Создание инверсной заселенности в полупроводниках фотовозбуждением и облучением пучком электронов
52	Внутренний фотоэффект
53	Фотопроводимость.
54	Примесная фотопроводимость
55	Релаксация фотопроводимости.
56	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузия носителей заряда.
57	. Эффект Дембера.
58	Фотоэлектромагнитный эффект.
59	Фотовольтаический эффект в р-н переходах и на барьере Шотки.
60	Фотодиоды с барьером Шотки и их применение.

6.2 ГРАФИК РЕЙТИНГОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

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

5		аттестация		аттестация	зачет
---	--	------------	--	------------	-------

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА «ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ».

7.1 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОСТРАЦИИ ПО КУРСУ «ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ».

ПЕРЕЧЕНЬ НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ

1. Схема поглощения и отражения
2. Схема прямых и не прямых переходов при поглощении света.
3. Схема экситонного поглощения.
4. Типы люминесценции.
5. Схема спонтанного и вынужденного излучения атома.
6. Схема рекомбинационного излучения полупроводников при фундаментальных переходах.
7. Принцип работы полупроводникового лазера.

ЛИТЕРАТУРА К СПЕЦКУРСУ «ОПТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

7.2 Основная

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников С-пБ.. «Лань», 2013 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» Нанофизика и наноэлектроника»Нижний Новгород. ФТП. 2012 г.
6. 8. А.И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М. Физмат лит. 2005

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 1978г.
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 1975г.
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. А. А. Харламов. Специальный физический практикум, 2.МГУ. 1977г.
13. Г.Вайнс. Физика гальваномических полупроводниковых приборов и их применение М. 1974г.
14. Т.Д. Надтока, З.А, Исмаилов. Сборник задач на явления переноса в полупроводниках. Грозный 1979г.
15. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В. Карпенко, А.Г.Миронов Сборник задач по физике полупроводников М. 1987
16. Полупроводники – сегнетоэлектрики. Под. редакцией Грекова А.А. РГУ.1986 г., 1976г.
17. Полупроводники – сегнетоэлектрики. Под. редакцией Грекова А.А. РГУ. 1976г.

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

Рабочая программа дисциплины «Оптика полупроводников» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 7 августа 2020 г. № 914

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