Межгосударственная образовательная организация
высшего образования
«Российско-Армянский университет»

Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.05 Физика гетеропереходов

Автор (ы) _кандидат физ.-мат. наук, Маргарян Нарек Бабикович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Магистерская программа: Квантовая и оптическая электроника

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

В курсе излагаются основы зонной теории гетеропереходов, модели зонной диаграммы идеального и неидеального гетеропереходов, вычисляются параметры гетеропереходов, излагаются механизмы прохождения тока, рассматриваются плавные гетеропереходы и переходы металл-полупроводник, их фотоэлектрические свойства, применение гетеропереходов и структур на их основе для создания приёмников излучения, светоизлучающих диодов, транзисторов и т.д.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

4 академических кредита / 144 часа. Форма итогового контроля — экзамен.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Фотоэлектрические п/п-ые приборы, П/п-ая наноэлектроника, Излучательная рекомбинация в п/п-ах.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ОПК-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения	ОПК-1.1	Демонстрирует понимание тенденций и перспектив развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники в профессиональной сфере деятельности;

	и оценивать эффективность сделанного выбора	ОПК-1.2	Использует передовой отечественный и зарубежный опыт для решения научно-исследовательских задач в профессиональной деятельности.
ОПК-2	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы	ОПК-2.1	Демонстрирует понимание методов синтеза и исследований моделей объектов в профессиональной сфере деятельности;
		ОПК-2.2	Обосновывает задачи исследований и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования;
		ОПК-2.3	Выполняет методологический анализ научного исследования и его результатов.

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в контакте двух разнородных полупроводников и с возможностями их применения в электронике.

Учебная задача: ознакомить студентов с основами теории электронных и оптических явлений в полупроводниковых гетероструктурах, с принципами работы полупроводниковых приборов на их основе и с возможностями применения этих знаний в практических исследованиях.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**
		1

		сем
1	**2**	**3**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**144**	**144**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**16**	**16**
1.1.1. Лекции	**10**	**10**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**6**	**6**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**92**	**92**
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен 36**	**Экзамен 36**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	**2=3+4+5+6+7**	**3**	**4**
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА			
Раздел 1. Основы зонной теории гетеропереходов.	3	2	1
Тема 1.1. Методы модификации зонной структуры полупроводников			
Тема 1.2. Электронные состояния			
Тема 1.3. Плавные гетеропереходы			
Раздел 2. Модели гетеропереходов	4	2	2
Тема 2.1. Классификация гетеропереходов			
Тема 2.2. Зонная диаграмма			
Тема 2.3. Ход потенциала			
Тема 2.4. Роль диполей			
Тема 2.5. Контакт металл-полупроводник как гетеропереход			
ТОКИ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ			
Раздел 3. Механизмы прохождения тока	3	2	1
Тема 3.1. Токи в гомопереходе			
Тема 3.2. Эмиссионный ток			
Тема 3.3. Емкостные свойства			
Тема 3.4. Неидеальный гетеропереход			
ТОКИ В КОНТАКТЕ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК			

Раздел 4. Эмиссионный ток	3	2	1
Тема 4.1 Эмиссионный ток из полупроводника в металл			
Тема 4.2. Диодная теория			
Тема 4.3. Диффузионный ток			
ПРИБОРЫ			
Раздел 5. Электронные и оптоэлектронные приборы	3	2	1
Тема 5.1. Особенности использования плавных гетеропереходов в приборах			
Тема 5.2. Гетероприборы			
Тема 5.3. Излучающие диоды			
Тема 5.4. Приёмники			
Тема 5.5. Наноструктуры			
ИТОГО	16	10	6

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА

Введение.

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики гетеропереходов. Классификация неоднородных полупроводников и гетеропереходов. Полупроводниковые гетеропары. Роль материалов в развитии физики гетеропереходов. ([1], гл.1;)

Раздел 1. Основы зонной теории гетеропереходов.

Тема 1.1. Методы модификации зонной структуры полупроводников

Твердые растворы полупроводников, особенности их зонного энергетического спектра. Неоднородные полупроводники и гомоструктуры. ([7], гл.1;)

Тема 1.2. Электронные состояния

Электронные состояния в гетеропереходе, зонная структура гетероперехода. ([7], гл.1;)

Тема 1.3. Плавные гетеропереходы

Плавные гетеропереходы (варизонные полупроводники) ([1], гл.1)

Раздел 2. Модели гетеропереходов

Тема 2.1. Классификация гетеропереходов

Идеальный гетеропереход, неидеальный гетеропереход, гетеропереход с промежуточным слоем ([1], гл.1)

Тема 2.2. Зонная диаграмма

Построение энергетической диаграммы гетероструктуры ([1], гл.1,)

Тема 2.3. Ход потенциала

Расчет потенциала в резком гетеропереходе в приближении Шоттки. Анизотипный гетеропереход. ([1], гл.1;)

Тема 2.4. Роль диполей

Диполи на границе раздела гетероперехода ([1], гл.1)

Тема 2.5. Контакт металл-полупроводник как гетеропереход

Энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник ([1], гл.1)

ТОКИ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ

Раздел 3. Механизмы прохождения тока

Тема 3.1. Токи в гомопереходе

Составляющие тока в структуре с $p-n$ переходом. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции носителей в $p-n$ - гетероструктуре. ([1], гл.2)

Тема 3.2. Эмиссионный ток

Токи надбарьерной эмиссии идеального $p-n$ гетероперехода ([1], гл.2)

Тема 3.3. Емкостные свойства

Емкость и вольт-фарадная характеристика идеального гетероперехода ([1], гл.2)

Тема 3.4. Неидеальный гетеропереход

Особенности токопрохождения в неидеальном гетеропереходе, туннелирование через пичок, токи через состояния на границе раздела. ([1], гл.2)

ТОКИ В КОНТАКТЕ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК

Раздел 4. Эмиссионный ток

Тема 4.1 Эмиссионный ток из полупроводника в металл

Механизм надбарьерной эмиссии ([1], гл.3)

Тема 4.2. Диодная теория

Диодная теория выпрямления, емкость запорного контакта ([1], гл.3)

Тема 4.3. Диффузионный ток

Диффузионная теория выпрямления. Вольт-амперная характеристика реального контакта МП ([1], гл.3)

ПРИБОРЫ

Раздел 5. Электронные и оптоэлектронные приборы

Тема 5.1. Особенности использования плавных гетеропереходов в приборах

Приборные структуры с варизонными слоями ([1], гл.4)

Тема 5.2. Гетероприборы

Гетероструктуры в полупроводниковой электронике ([1], гл.4)

Тема 5.3. Излучающие диоды

Светодиоды и лазеры на гетероперехродах ([1], гл.4)

Тема 5.4. Приемники

Приемники электромагнитного излучения на гетероструктурах ([1], гл.4)

Тема 5.5. Наноструктуры

Квантовые ямы и сверхрешетки на основе гетероструктур ([5], гл.2;)

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Практические занятия направлены на закрепление теоретических знаний и развитие умений анализировать энергетические диаграммы, рассчитывать параметры гетеропереходов, а также разбираться в токовых механизмах и особенностях приборных реализаций на гетероструктурах.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Мультимедийное оборудование для лекций и практических занятий

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
Вид учебной работы/контроля	**М1[1]**	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								

[1] Учебный Модуль

Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. Теоретический блок ***(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)***

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. Баев А.А. "Фотоника: Учебник для вузов", 2020
2. Saleh B., Teich M. "Fundamentals of Photonics", Wiley, 2019

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

1. Карпов В.Н. "Фотонные интегральные схемы", 2018

4. Фонды оценочных средств ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Планы практических занятий

№	Тема практического занятия	Цель и содержание
1	Твердые растворы и зонные	Классификация гетероструктур. Определение положения

	диаграммы	зон. Построение зонной схемы.
2	Идеальные и неидеальные гетеропереходы	Зонная диаграмма с учетом различий в ширине запрещённой зоны и вакуумных уровнях.
3	Плавные переходы и расчёт потенциала	Применение моделей Шоттки, расчет потенциального барьера, рассмотрение варизонных структур.
4	Токоперенос в гетеропереходах	Составляющие тока, инжекция, эмиссионные токи. Расчет и графики.
5	Металл–полупроводник: токи и диаграммы	Энергетическая диаграмма, расчёт токов и емкости. ВАХ.
6	Приборы на гетеропереходах	Светодиоды, фотоприемники, квантовые ямы – функциональные схемы и особенности.

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Учебно-методические пособия;

1. В. И. Ильин, С. Ф. Мусихин, А. Я. Шик. Варизонные полупроводники и гетероструктуры, Санкт-Петербург, «Наука», 2000.
2. Б. Л. Шарма, Р. К. Пурохит, Полупроводниковые гетеропереходы,М., Сов.Радио, 1979
3. Ф. Милнс, Д. Фойхт, Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник, Мир, М., 1975.
4. Х. Кейси, М. Паниш, Лазеры на гетероструктурах, т.2, Мир,М., 1981
5. Основы наноэлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.П. Неизвестный, В.А. Гридчин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры, под.ред. Л.Ченга и К. Плога, Изд. Мир, 1989.
7. Э. М. Казарян, С. Г. Петросян, Физические основы полупроводниковой наноэлектроники, Изд-во РАУ, Ереван, 2005

4.3. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

[1] Постройте энергетическую диаграмму идеального гетероперехода AlGaAs/GaAs.

[2] Приведите и объясните физическую модель плавного гетероперехода.

[3] Выполните расчёт высоты потенциального барьера в резком гетеропереходе с учетом эффекта Шоттки.

[4] Опишите различия токопереноса в гомопереходе и гетеропереходе.

[5] Постройте ВАХ для диффузионного механизма выпрямления в контакте металл–n-полупроводник.

[6] Объясните влияние диполей на границе гетероперехода на энергетическую диаграмму.

[7] Проведите сравнительный анализ токов через идеальный и неидеальный гетеропереход.

[8] Исследуйте влияние варизонного слоя на характеристики светодиода.

[9] Определите преимущества квантовой ямы в излучающих приборах.

[10] Охарактеризуйте сверхрешетки и условия их формирования.

4.4. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Контрольная работа (вариант 1)

Задание 1. Постройте энергетическую диаграмму гетероперехода с учетом выравнивания уровней Ферми и учёта контактных потенциалов.

Задание 2. Расчитайте ток надбарьерной эмиссии для заданного значения высоты барьера и температуры.

Задание 3. Проведите сравнительный анализ токов через идеальный и неидеальный гетеропереход

Задание 4. Выполните расчёт высоты потенциального барьера в резком гетеропереходе с учетом эффекта Шоттки.

Задание 5. Определите преимущества квантовой ямы в излучающих приборах.

4.5. Перечень экзаменационных вопросов

1. Твердые растворы полупроводников, особенности их зонного энергетического спектра. Неоднородные полупроводники и гомоструктуры.
2. Электронные состояния в гетеропереходе, зонная структура гетероперехода.
3. Плавные гетропереходы (варизонные полупроводники).
4. Идеальный гетеропереход, неидеальный гетеропереход, гетеропереход с промежуточным слоем.
5. Построение энергетической диаграммы гетероструктуры.
6. Расчет потенциала в резком гетеропереходе в приближении Шоттки. Анизотипный гетеропереход.
7. Диполи на границе раздела гетероперехода.
8. Энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник.
9. Составляющие тока в структуре с $p-n$ переходом. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции носителей в $p-n$ - гетероструктуре.
10. Токи надбарьерной эмиссии идеального $p-n$ гетероперехода
11. Емкость и вольт-фарадная характеристика идеального гетероперехода

12. Особенности токопрохождения с неидеальнои гетеропереходе, туннелирование через пичок, токи через состояния на границе раздела
13. Механизм надбарьерной эмиссии
14. Диодная теория выпрямления,емкость запорного контакта
15. Диффузионная теория выпрямления. Вольт-амперная характеристика реального контакта МП
16. Приборные структуры с варизонными слоями
17. Гетероструктуры в полупроводниковой электронике
18. Светодиоды и лазеры на гетероперехродах
19. Премники электромагнитного издлучения на гетероструктурах
20. Квантовые ямы и сверхрешетки на основе гетероструктур

4.6. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Физика гетропереходов
(магистратура II-ой курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Электронные состояния в гетропереходе, зонная структура гетроперехода.
2. Энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник.

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.