

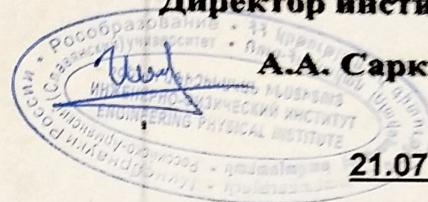
**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с
государственными требованиями к
минимуму содержания и уровню
подготовки выпускников по
направлению **11.03.03**
Конструирование и технология
электронных средств и Положением
«Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

А.А. Саркисян



21.07.2023

Инженерно-физический институт

Кафедра: Технология материалов и структур электронной техники

Автор: Доцент, к.т.н., Геворкян Владимир Арамович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.05.01 Полупроводниковые приборы

Направление: **11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»**

ЕРЕВАН 2023

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины

В курсе «Полупроводниковые приборы» изучаются контакт металл-полупроводник, электронно-дырочный переход, переходы Шоттки, полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, МДП-транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом.

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

Данная дисциплина взаимосвязана с такими дисциплинами как: Материалы и компоненты электронных средств, физические основы микроэлектроники, схемотехника электронных средств.

1.3. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Студент должен:

знать основы по предметам: математического анализа, векторного анализа, дифференциальных уравнений, по общим курсам физики: электричество и магнетизм, оптика, атомная физика, физические основы микроэлектроники.

уметь применять свои знания для решения задач по данному предмету

владеть навыками применения интегрального и дифференциального исчисления, однородных дифференциальных уравнений

1.4. Предварительное условие для прохождения (дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Общий курс физики, атомная физика, математический анализ, векторный анализ, дифференциальные уравнения, физические основы микроэлектроники.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины

Содержание дисциплины направлено на ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в различных твердотельных приборах дискретного и интегрального исполнения.

Цель преподавания дисциплины: ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в различных твердотельных приборах дискретного и интегрального исполнения.

Учебная задача: ознакомить студентов с принципами работы полупроводниковых приборов и с возможностями применения этих знаний в практических исследованиях,

привить студентам навыки теоретического анализа при решении практических задач и проведения физического практикума по электронике.

2.2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

После изучения дисциплины студент должен:

- **знать** принципы действия, конструктивно-технологические особенности, основные характеристики и параметры приборов твердотельной электроники;
- **уметь** правильно выбирать приборы твердотельной электроники для применения в радиоэлектронной аппаратуре, использовать стандартную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения физических величин;
- **иметь** представление об основных путях развития элементной базы электронной техники;
- **владеть** модельным, математическим и компьютерным инструментарием расчета простейших характеристик и параметров приборов твердотельной электроники.

2.3. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)

2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	108
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	52
1.1.1. Лекции	34
1.1.2. Практические занятия	18
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	56
1.2.1. Подготовка к практическим занятиям	56
Итоговый контроль	Зачет

2.3.2. *Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы*

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. (ак. часов)
1	2=3+4	3	4
<u>Введение.</u>	1	1	-
<u>Раздел 1. Контактные явления в полупроводниках.</u>	18	18	-
Тема 1.1. Контакт метал-полупроводник.	2	2	-
Тема 1.2. Выпрямление на контакте металл-полупроводник.	2	2	-
Тема 1.3. Контакт электронного и дырочного полупроводников.	3	3	-
Тема 1.4. Выпрямление на р-п переходе.	3	3	-
Тема 1.5. Расчет вольтамперной характеристики р-п перехода.	2	2	-
Тема 1.6. Физический смысл тока насыщения р-п перехода.	2	2	-
Тема 1.7. Пробой р-п передода.	2	2	-
Тема 1.8. Переход Шоттки	1	1	
Тема 1.9. Гетеропереходы.	1	1	
<u>Раздел 2. Полупроводниковые диоды.</u>	3	3	
Тема 2.1. Полупроводниковые диоды.	2	2	
Тема 2.2. Диоды Шоттки.	1	1	
<u>Раздел 3. Физические принципы работы транзисторов.</u>	9	9	-
Тема 3.1. Принцип работы биполярного транзистора	2	2	-
Тема 3.2. Параметры биполярного транзистора.	2	2	-
Тема 3.3. Полевые транзисторы.	2	2	-
Тема 3.4. МДП транзисторы.	3	3	-
<u>Раздел 4. Фотовольтаический эффект в р-п переходе</u>	3	3	
Тема 4.1. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Взаимодействие оптического излучения с полупроводником. Прямые разрешенные переходы.	3	3	-
<u>Раздел 5. Темы практических занятий</u>	18	-	18
Материалы, используемые в производстве микроселектронных компонент (диэлектрики, проводящие, полупроводниковые).	3	-	3
Четерёхзонный метод измерения величины поверхностного сопротивления полупроводниковых и проводящих плёнок.	3	-	3
Измерение физических параметров эпитаксиальных слоёв с	4	-	4

помощью шар-шлифа.			
Измерение температурной зависимости электропроводности различных металлов и полупроводников.	4	-	4
Исследование вольт-амперных характеристик Ge и Si диодов.	4	-	4
ИТОГО	52	34	18

2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1.

Введение.

Раздел 1. Контактные явления в полупроводниках.

Тема 1.1. Контакт метал-полупроводник. ([1] гл.6, [2] гл.8, [3] гл.2)

Тема 1.2. Выпрямление на контакте металл-полупроводник. ([1] гл.6, [2] гл.8, [3] гл.2)

Тема 1.3. Контакт электронного и дырочного полупроводников. ([1] гл.18, [3] гл.2)

Тема 1.4. Выпрямление на р-п переходе. ([1] гл.18, [3] гл.2)

Тема 1.5. Расчет вольтамперной характеристики р-п перехода. ([1] гл.18, [3] гл.2)

Тема 1.6. Физический смысл тока насыщения р-п перехода. ([1] гл.18, [3] гл.2)

Тема 1.7. Пробой р-п передода. ([1] гл.18, [3] гл.2)

Тема 1.8. Переход Шоттки. ([1] гл.6, [2] гл.8, [3] гл.2)

Тема 1.9. Гетеропереходы. ([1] гл.8, [3] гл.2)

Раздел 2. Полупроводниковые диоды.

Тема 2.1. Полупроводниковые диоды. ([2] гл.4, [3] гл.4)

Тема 2.2. Диоды Шоттки. ([2] гл.4, [3] гл.4)

Раздел 3. Физические принципы работы транзисторов.

Тема 3.1. Принцип работы биполярного транзистора. ([2] гл.6, [3] гл.5)

Тема 3.2. Параметры биполярного транзистора. ([2] гл.6, [3] гл.5)

Тема 3.3. Полевые транзисторы. ([2] гл.7, [3] гл.6)

Тема 3.4. МДП транзисторы. ([2] гл.10, [3] гл.6)

Раздел 4. Фотовольтаический эффект в р-п переходе

Тема 4.1. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Взаимодействие оптического излучения с полупроводником. Прямые разрешенные переходы. ([1] гл.18, [3] гл.2)

2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Лабораторные установки физического практикума Кафедры технологии материалов и структур электронной техники
- Учебные методические пособия к практическим занятиям

2.5. Распределение весов по модуля и формам контроля

Формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Веса форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Веса оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/контроля	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Контрольная работа						1					
Практическая работа			1								
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей											
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей									1		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей											
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей											
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля											1
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)											
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

3. Теоретический блок

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебники

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1990.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1984.
3. В.А. Гуртов. Твердотельная электроника. – ПетрГУ 2004.
4. И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники. – Москва 2001.
5. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Наука, 1978.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1976.
7. Кардона П.Ю. Основы полупроводников. – М.: Мир, 2003.
8. Sah C.T. Fundamentals of solid-state electronics / C.T. Sah. World Scientific, 1991.
9. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов. / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. 6-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2002.

3.1.2. Учебные пособия

1. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.П. Неизвестный, В.А. Гридчин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
2. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие. / В.И. Гаман. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000.

3.1.3. Кратки конспект лекций (краткие аннотации по каждой теме)

Введение.

Раздел 1. Контактные явления в полупроводниках.

Тема 1.1. Контакт метал-полупроводник. В данном разделе рассматривается контакт металла с полупроводником при разных значениях термодинамической работы выхода. Рассчитывается контактная разность потенциалов между металлом и полупроводником. Определяется закон изменения энергетических зон и выводится выражение для определения толщины обедненного слоя. Выводится выражение для емкости контакта металл-полупроводник.

Тема 1.2. Выпрямление на контакте металл-полупроводник. В данном разделе рассматривается контакт металла с полупроводником n-типа проводимости. Выводится выражение для смещения квазиуровней Ферми при подключении внешнего напряжения. Определяется плотность тока при различной полярности внешнего напряжения. Определяется зависимость толщины объемного заряда от величины и направления внешнего напряжения.

Тема 1.3. Контакт электронного и дырочного полупроводников. В данном разделе дается краткая информация о технологических способах получения p-n переходов. Определяется контактная разность потенциалов и закон изменения энергетических зон. Определяется зависимость толщины объемного заряда от степени легирования n- и p- областей. Выводится выражение для емкости p-n перехода.

Тема 1.4. Выпрямление на p-n переходе. Рассматривается p-n переход к которому прикладывается внешнее напряжение разной полярности. Качественно описывается зависимость тока от направления и величины приложенного внешнего напряжения.

Тема 1.5. Расчет вольтамперной характеристики p-n перехода. В данном разделе рассматривается диффузионная теория выпрямления p-n перехода. Описываются допущения при которых верна диффузионная теория выпрямления p-n перехода. Выводятся выражения для вольтамперной характеристики диода и тока насыщения.

Тема 1.6. Физический смысл тока насыщения p-n перехода. В данном разделе дается физическое объяснение тока насыщения диода. Показывается, что ток насыщения обусловлен

тепловой генерацией неосновных носителей в р- и п- областях. Рассматривается влияние температуры и степени легирования на ток насыщения.

Тема 1.7. Пробой р-п перехода. В данном разделе рассматриваются четыре типа пробоя в р-п переходе: туннельный, лавинный, тепловой и поверхностный. Описываются физические процессы приводящие к возникновению пробоя.

Тема 1.8. Переход Шоттки. ([1] гл.6, [2] гл.8, [3] гл.2)

Барьер Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода.

Тема 1.9. Гетеропереходы. ([1] гл.8, [3] гл.2)

Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотопные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.

Раздел 2. Полупроводниковые диоды.

Тема 2.1. Полупроводниковые диоды. ([2] гл.4, [3] гл.4)

Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п-переходе. Влияние поверхностных состояний на вольт амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.

Тема 2.2. Диоды Шоттки. ([2] гл.4, [3] гл.4)

Классификация полупроводниковых диодов. Диоды Шоттки.

Раздел 3. Физические принципы работы транзисторов.

Тема 3.1. Принцип работы биполярного транзистора. В данном разделе рассматривается принцип работы биполярного транзистора типа п-р-п с общей базой. Дается объяснение механизмам токопрохождения через эмиттерные и коллекторные цепи.

Тема 3.2. Параметры биполярного транзистора. В данном разделе дается определение основных параметров транзистора. Определяется зависимость коэффициента усиления по току от внутренних параметров транзистора: эффективности эмиттера, коэффициента переноса и эффективности коллектора. Выводятся выражения для этих параметров и анализируется зависимость коэффициента усиления по току от параметров транзистора – от толщины базовой области и проводимости п- и р- областей. Показывается, что в схеме с общей базой усиления по току не происходит. Анализируются выходные характеристики транзистора, показывающие зависимость коллекторного тока от коллекторного напряжения.

Тема 3.3. Полевые транзисторы. В данном разделе рассматривается структура современного полевого транзистора. Отдельно рассматривается принцип действия полевого транзистора и его статические характеристики.

Тема 3.4. МДП транзисторы. В данном разделе рассматривается реальная структура МДП транзистора с п-каналом и принцип его работы.

Раздел 4. Фотовольтаический эффект в р-п переходе

Тема 4.1. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Взаимодействие оптического излучения с полупроводником. Прямые разрешенные переходы. В данном разделе рассматриваются физические явления приводящие к возникновению фотовольтаического эффекта в р-п переходе. Выводится общее выражение для вольтамперной характеристики освещенного фотодиода. Рассматриваются разные схемы включения фотодиодов – как фотоприемник и как преобразователь энергии.

4. Практический блок

4.1. Практические занятия

1. Материалы, используемые в производстве микроэлектронных компонентов (диэлектрики, проводящие, полупроводниковые).
2. Четырёхзонный метод измерения величины поверхностного сопротивления полупроводниковых и проводящих плёнок.
3. Измерение физических параметров эпитаксиальных слоёв с помощью шар-шлифа.
4. Измерение температурной зависимости электропроводности различных металлов и полупроводников.
5. Исследование вольт-амперных характеристик Ge и Si диодов.

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Задачники (практикумы)

1. Специальный физический практикум, под ред. А.А. Харламова, ч. 2, изд. 3, Издательство Московского университета, 1977

5. Материалы по оценке и контролю знаний

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

Билет 1

1. Контакт металл-полупроводник
 - Контактная разность потенциалов
 - Определение толщины обедненного слоя и закона искривления зон
 - Емкость контакта металл-полупроводник
2. Пробой р-п перехода. Типы пробоев.

Билет 2

1. Выпрямление на контакте металл-полупроводник
 - Определение изменения квазиуровня Ферми
 - Вольт-амперная характеристика контакта металл-полупроводник
2. Принцип работы биполярного транзистора

5.2. Перечень экзаменационных вопросов

- 1) Контакт метал-полупроводник.
- 2) Выпрямление на контакте металл-полупроводник.
- 3) Контакт электронного и дырочного полупроводников.
- 4) Выпрямление на р-п переходе.
- 5) Расчет вольтамперной характеристики р-п перехода.
- 6) Физический смысл тока насыщения р-п перехода.
- 7) Пробой р-п передода.
- 8) Переход Шоттки.

- 9) Гетеропереходы.
- 10) Полупроводниковые диоды.
- 11) Диоды Шоттки.
- 12) Принцип работы биполярного транзистора.
- 13) Параметры биполярного транзистора.
- 14) Полевые транзисторы.
- 15) МДП транзисторы.
- 16) Фотовольтаический эффект в р-п переходе.
- 17) Взаимодействие оптического излучения с полупроводником. Прямые разрешенные переходы.

5.3. Образцы экзаменационных билетов

Билет 1

1. Электронно-дырочный (р-п) переход
2. Структура, принцип действия и схема включения биполярного транзистора.
3. Фотовольтаический эффект в р-п переходе.

6. Методический блок

6.1. Методика преподавания, обоснование выбора данной методики

Преподавание данного курса основывается на:

- Проведение лекционных занятий согласно тематическому плану.
- Контроль усвоенного материала
- Организацию самостоятельной работы студентов.