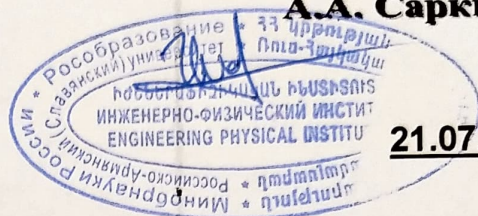


**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с
государственными требованиями к
минимуму содержания и уровню
подготовки выпускников по
направлению **11.03.02**
Инфокоммуникационные технологии и
системы связи 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.04.02 Основы физики полупроводников

Направление: 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

1. Аннотация

1. Аннотация

1.1. Выписка из ФГОС ВПО РФ по минимальным требованиям к дисциплине

В результате изучения курса лекций по предмету «физические основы электроники» обучающийся должен:

знать физические эффекты и процессы, лежащие в основе принципов действия полупроводниковых приборов

уметь определять параметры электронных приборов по их статическим параметрам

владеть навыками экспериментального определения статических характеристик и параметров различных электронных приборов и их компьютерного исследования по электрическим моделям

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

Данная дисциплина взаимосвязана с такими дисциплинами как: химия радиоматериалов, оптические телекоммуникационные системы, оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства.

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

уметь применять свои знания для решения задач по данному предмету

владеть навыками применения интегрального и дифференциального исчисления для решения 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.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины

В курсе излагаются основы зонной теории твердых тел; на ее основе производится классификация твердых тел. Подробно излагается статистика электронов и дырок в полупроводниках, рассматриваются особенности электронных свойств сильно легированных, аморфных и некристаллических полупроводников. На основе уравнения Больцмана подробно изучаются кинетические явления в полупроводниках. В курсе изучаются также явления переноса в твердых телах, контактные явления в полупроводниках, контакт металл-полупроводник и металл-диэлектрик полупроводник (МДП), электронно-дырочный переход, изотипные и анизотипные гетеропереходы, полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МДП-транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом, полупроводниковые излучатели и фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи – принципы действия и характеристики.

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

Учебная задача: ознакомить студентов с основами теории электронных и оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах, 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 твердотельной электронике.

Основные методы проведения занятий: лекции, практические занятия, лабораторные работы и виртуальные иллюстрации.

Список литературы: содержит 21 наименование книг и монографий отечественных и зарубежных авторов; этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий, обеспечить целостность обучения.

Краткое содержание курса: основы зонной теории; классификация твёрдых тел; электронные состояния, связанные с примесями и дефектами; статистика электронов в кристаллах; собственные, примесные и сильнолегированные полупроводники; аморфные твёрдые тела; некристаллические полупроводники, равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках; кинетические явления в полупроводниках; поверхностные электронные состояния; эффект поля; фотоэлектрические и акустоэлектронные явления; оптика полупроводников; электронно-дырочный переход, контакт металл-полупроводник;

полупроводниковые диоды; биполярные транзисторы; тиристоры; МДП-транзисторы; полевые транзисторы с управляющим переходом; полупроводниковые излучатели и фотоприемники.

3. 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.

4. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	180
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	102
1.1.1. Лекции	68
1.1.2. Практические занятия	18
1.1.3. Лабораторные работы	16
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	78
1.2.1. Подготовка к экзаменам	54
1.2.2. Устный опрос	14
1.2.3. Подготовка к лабораторным работам	10
Итоговый контроль	экзамен

6. Содержание дисциплины

6.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
<i>1</i>	2	3	4	5
МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ	9	9	-	-
Введение	1	1	-	-
Раздел 1. Основы зонной теории.	6	6	-	-
Классификация твёрдых тел	6	6	-	-
<i>Тема 1.1. Основные приближения зонной теории</i>	2	2	-	-
<i>Тема 1.2. Импульс электрона в кристалле</i>	2	2	-	-
<i>Тема 1.3. Эффективная масса электронов в кристалле</i>	2	2	-	-
Раздел 2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами.	2	2	-	-
<i>Тема 2.1. Локализованные состояния</i>	3	2	-	-
МОДУЛЬ 2. РАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА	10	6	2	2
Раздел 3. Статистика электронов в кристаллах	8	4	2	2
<i>Тема 3.1. Функция плотности состояния и её вычисление</i>	1	2	-	-
<i>Тема 3.2. Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми</i>	5	2	2	2
Раздел 4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники	2	2	-	-
<i>Тема 4.1. Структура аморфных полупроводников</i>	2	2	-	-
МОДУЛЬ 3. НЕРАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА	11	3	4	4
Раздел 5. Равновесные и неравновесные электроны	14	6	4	4
<i>Тема 5.1. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми</i>	8	2	2	4
<i>Тема 5.2. Типы процессов рекомбинации</i>	2	2	-	-
<i>Тема 5.3. Уравнение непрерывности</i>	4	2	2	-
МОДУЛЬ 4. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА	28	10	10	8
Раздел 6. Кинетические явления в полупроводниках	22	8	6	6
<i>Тема 6.1. Кинетическое уравнение Больцмана</i>	2	2	-	-
<i>Тема 6.2. Удельная проводимость полупроводника</i>	10	2	4	2
<i>Тема 6.3. Эффект Холла</i>	6	2	2	2
<i>Тема 6.4. Термоэлектрические явления</i>	4	2	-	2

Раздел 7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля	13	7	4	2
<i>Тема 7.1 Происхождение поверхностных состояний</i>	2	2	-	-
<i>Тема 7.2. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации</i>	5	3	2	-
<i>Тема 7.3. Фотопроводимость</i>	6	2	2	2
МОДУЛЬ 5. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	14	10	2	2
Раздел 8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления	6	4	2	-
<i>Тема 8.1. Фотопроводимость и фото-ЭДС в однородных полупроводниках</i>	4	2	2	-
<i>Тема 8.2. Взаимодействие упругих волн с электронами</i>	2	2	-	-
Раздел 9. Оптические свойства полупроводников	8	6	-	2
<i>Тема 9.1. Дисперсия</i>	2	2		
<i>Тема 9.2. Фундаментальное поглощение света полупроводниками</i>	4	2	-	2
<i>Тема 9.3. Понятие об экситоне</i>	2	2	-	-
МОДУЛЬ 6. КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ	22	22		
Раздел 10. Электронно-дырочный переход	13	13		
<i>Тема 10.1. Электронно-дырочный (p-n) переход</i>	3	3		
<i>Тема 10.2. Прямое и обратное включение p-n-перехода</i>	3	3		
<i>Тема 10.3. Переходы на основе контакта металл-полупроводник</i>	3	3		
<i>Тема 10.4. Гетеропереходы</i>	4	4		
Раздел 11. Полупроводниковые диоды	9	9		
<i>Тема 11.1. Основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы</i>	3	3		
<i>Тема 11.2. Барьерная и диффузионная емкости диода</i>	3	3		
<i>Тема 11.3. Классификация полупроводниковых диодов</i>	3	3		
МОДУЛЬ 7. ТРАНЗИСТОРЫ И ДРУГИЕ ПРИБОРЫ	8	8		
Раздел 12. Биполярные транзисторы	4	4		
<i>Тема 12.1. Структура, принцип действия</i>	1	1		
<i>Тема 12.2. Статические характеристики транзистора</i>	1	1		
<i>Тема 12.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы</i>	1	1		
<i>Тема 12.4. Работа транзистора с нагрузкой</i>	1	1		
Раздел 13. МДП-транзисторы	4	4		
<i>Тема 13.1. Эффект электрического поля в полупроводниках</i>	1	1		
<i>Тема 13.2. Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора</i>	1	1		
<i>Тема 13.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП-транзистора</i>	2	2	2	2

ИТОГО	102	68	18	16
--------------	------------	-----------	-----------	-----------

6.2 Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики полупроводников и полупроводниковой электроники. Классификация изделий твердотельной электроники. Полупроводниковые приборы как основные элементы микроэлектроники. Роль материалов в развитии элементной базы электронной техники. ([1] гл.1; [2] гл.1)

Раздел 1. Основы зонной теории. Классификация твёрдых тел

Тема 1.1. Основные приближения зонной теории

Основные приближения зонной теории: адиабатическое, одноэлектронное. Модель сильно связанных электронов. Волновое уравнение для электрона в периодическом потенциальном поле. Приближенное решение вблизи границы зоны Бриллюэна. Теорема Блоха. Функции Блоха. ([1] гл. 3,1-4)

Тема 1.2. Импульс электрона в кристалле

Импульс электрона в кристалле. Схема приведенных зон. Причины возникновения энергетической щели. Число уровней в зоне. Металлы диэлектрики и полупроводники. Строение поверхности Ферми. ([1] гл. 3,5-6)

Тема 1.3. Эффективная масса электронов в кристалле

Электроны и дырки. Эффективная масса электронов в кристалле. Формы изоэнергетических поверхностей. Стандартная зона, одноэллипсоидная и многодолинные модели. Особенности зонной структуры некоторых полупроводников. ([1] гл. 3,7-9)

Раздел 2. Электронные состояния, связанные с примесями и дефектами

Тема 2.1. Локализованные состояния

Локализация состояний. Водородоподобные состояния. Глубокие уровни. Многозарядные примесные центры. Сильное легирование. Поверхностные и граничные состояния. Уровни Тамма. ([1] гл. 4, § 7; гл. 10, § 1)

МОДУЛЬ 2. РАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА

Раздел 3. Статистика электронов в кристаллах. Собственные, примесные и сильнолегированные полупроводники

Тема 3.1. Функция плотности состояния и её вычисление

Функция плотности состояния и её вычисление. Функция распределения Ферми для зонных и примесных состояний. Общее выражение для концентрации носителей заряда. Интегралы Ферми. Случай сильного вырождения. ([1] гл. 5, §§ 2-5)

Тема 3.2. Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми

Связь между концентрацией носителей заряда и энергией Ферми в металлах и сильнолегированных полупроводниках. Уровень химпотенциала и температурная зависимость концентраций электронов и дырок в собственном и примесном полупроводнике. Влияние компенсации примесей. ([1] гл. 5, §§ 6, 9,13,14,15)

Раздел 4. Аморфные твёрдые тела. Некристаллические полупроводники

Тема 4.1. Структура аморфных полупроводников

Структура аморфных твёрдых тел. Энергетический спектр некристаллических твёрдых тел. Модели Лифшица и Андерсона. Некристаллические полупроводники. Прыжковая проводимость. ([1] гл.19)

МОДУЛЬ 3. НЕРАВНОВЕСНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА

Раздел 5. Равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках

Тема 5.1. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми

Основные полупроводниковые материалы. Собственная и примесная проводимость. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни Ферми. ([1] гл.7, §§ 1,5)

Тема 5.2. Типы процессов рекомбинации

Типы процессов рекомбинации. Рекомбинация зона-зона. Рекомбинация через локальные состояния. Уровни прилипания. Оже-рекомбинация. Поверхностная рекомбинация. Время жизни неравновесных носителей. ([1] гл. 9, §§ 1,2,3,4)

Тема 5.3. Уравнение непрерывности

Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. ([1] гл.7, §§ 3,8)

МОДУЛЬ 4. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

Раздел 6. Кинетические явления в полупроводниках

Тема 6.1. Кинетическое уравнение Больцмана

Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Неравновесная функция распределения. ([1] гл.13, §§ 3,5,6,7)

Тема 6.2. Удельная проводимость полупроводника

Удельная проводимость полупроводника. Механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности. ([1] гл.13, 7; гл. 14, §§ 3,4,5)

Тема 6.3. Эффект Холла

Эффект Холла и магнетосопротивление. ([1] гл.13, § 7)

Тема 6.4. Термоэлектрические явления

Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Томсона и Пельтье), теплопроводность полупроводников. ([1] гл.13, § 7)

Раздел 7. Поверхностные электронные состояния. Эффект поля.

Фотопроводимость

Тема 7.1 Происхождение поверхностных состояний

Происхождение поверхностных состояний. Уровни Тамма. Влияние поверхностного потенциала на электропроводность. ([1] гл.10, §§ 1,2)

Тема 7.2. Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации

Эффект поля. Скорость поверхностной рекомбинации. Влияние поверхностной рекомбинации на проводимость, индуцированную излучением. ([1] гл.10, §§ 3,5)

Тема 7.3. Фотопроводимость

Стационарная фотопроводимость. Затухание фотопроводимости в тонких пластинах. ([1] гл.10, § 6)

МОДУЛЬ 5. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Раздел 8. Фотоэлектрические и акустоэлектронные явления

Тема 8.1. Фото-ЭДС в однородных полупроводниках

Возникновение фото-ЭДС в однородных полупроводниках. Вентильная фото-ЭДС. Вентильные фотоэлементы и детекторы излучений. ([1] гл.12, §§ 1,2,3,4)

Тема 8.2. Взаимодействие упругих волн с электронами

Взаимодействие фононов и электронов. Взаимодействие упругих волн с электронами. Упругие волны в пьезодиэлектриках и пьезоэлектрических полупроводниках.

Электронное поглощение и усиление ультразвуковых волн. Акусто - электрический эффект. ([1] гл.15, §§ 2,3,4,5)

Раздел 9. Оптика полупроводников

Тема 9.1. Дисперсия

Дисперсия. Классическая теория взаимодействия света со связанными зарядами. Условия Крамерса-Кронига. Поглощение света свободными носителями заряда. Плазменное отражение света. ([1], гл.18, §§ 1,3)

Тема 9.2. Фундаментальное поглощение света полупроводниками

Фундаментальное поглощение света полупроводниками. Межзонные переходы. Необходимость квантового рассмотрения. Прямые и непрямые межзонные переходы: основные представления, дисперсионные соотношения. ([1] гл.18, §§ 4,5,7)

Тема 9.3. Экситонное поглощение

Понятие об экситоне. Экситонное поглощение света. Поглощение света с участием локализованных состояний. Влияние внешних полей на дисперсию оптических коэффициентов. ([1] гл.17, § 7; гл. 18, §§ 2,10)

МОДУЛЬ 6. КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Раздел 10. Электронно-дырочный переход, контакт металл-полупроводник

Тема 10.1. Электронно-дырочный (p-n) переход

Электронно-дырочный (p-n) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в p-n-переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. ([1] гл.18, §§ 1,2)

Тема 10.2. Прямое и обратное включение p-n-перехода

Прямое и обратное включение p-n-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Формула Шокли. Методы формирования и классификация p-n-переходов. ([1] гл.18, § 2)

Тема 10.3. Переходы на основе контакта металл-полупроводник

Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника. Барьер Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. ([1] гл.6, §§ 1,3,4,5,6; [2] гл.8, §§2,3,4)

Тема 10.4. Гетеропереходы.

Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотопные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах. ([1] гл.8, § 5)

Раздел 11. Полупроводниковые диоды

Тема 11.1. Основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы

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. ([2] гл.3, §§ 3,4)

Тема 11.2. Барьерная и диффузионная емкости диода

Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов. ([2] гл.3, §§ 6,7)

Тема 11.3. Классификация полупроводниковых диодов

Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны, диоды Шоттки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение. ([2] гл.4, § 5)

МОДУЛЬ 7. ТРАНЗИСТОРЫ И ДРУГИЕ ПРИБОРЫ

Раздел 12. Биполярные транзисторы

Тема 12.1. Структура, принцип действия

Структура, принцип действия, схемы включения транзистора. Энергетическая диаграмма при нормальном включении. Коэффициенты передачи токов эмиттера и базы. ([2] гл.6, § 2)

Тема 12.2. Статические характеристики транзистора

Статические характеристики транзистора. Системы статических характеристик. Модель Эберса-Молла. Входные и выходные характеристики, характеристики передачи

транзистора в схеме с общей базой и общим эмиттером. Сущность эффекта Эрли. Влияние температуры на статические характеристики. ([2] гл.6, §§ 4,5)

Тема 12.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы

Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Физические схемы и собственные параметры. Параметры транзистора как линейного четырехполюсника. Зависимость малосигнальных параметров от постоянной составляющей тока на входе и напряжения на выходе. Частотные параметры транзистора. ([2] гл.6, §§ 3,4)

Тема 12.4. Работа транзистора с нагрузкой

Работа транзистора с нагрузкой. Нагрузочная характеристика. Активный режим работы. Работа транзистора на импульсах. Переходные процессы в транзисторе. ([2] гл.6, §§ 5,6)

Раздел 13. МДП-транзисторы

Тема 13.1. Эффект электрического поля в полупроводниках

Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП- структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур. ([2] гл.8, §§ 1,2,3,4; гл. 9, § 2)

Тема 13.2. Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора

Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Перекрытие канала. Напряжение насыщения. Уравнения ВАХ для крутой и пологой частей характеристик. Характеристики передачи. Влияние температуры на статические характеристики. ([2] гл.10,1,2,3,4)

Тема 13.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП-транзистора

Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП-транзистора. Частотные свойства. Переходные процессы в МДП-транзисторе при работе в качестве электронного ключа. Приборы с зарядовой связью (ПЗС). ([2] гл.10, §§ 1,2,3,4)

6.3. Экзаменационные вопросы

1. Введение. Исторический обзор физики полупроводников. Определение полупроводника.

2. Уравнение Шредингера для кристалла. Зонное приближение.
3. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Квазиимпульс.
4. Зоны Бриллюэна.
5. Возможные значения квазиимпульса, условие Борна-Кармана.
6. Энергетические зоны.
7. Метод сильно связанных электронов.
8. Механизм образования энергетических зон. Закон дисперсии.
9. Заполнение энергетических зон - металлы, полупроводники.
10. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля.
11. Эффективная масса носителей заряда. Понятие дырки.
12. Зонная структура некоторых полупроводников (Si, Ge, GaAs, InSb).
13. Метод эффективной массы.
14. Примесные состояния в полупроводниках. Глубокие примеси.
15. Квантование энергии в сильном магнитном поле. Уровни Ландау.
16. Плотность квантовых состояний в энергетических зонах.
17. Функция распределения Ферми – Дирака.
18. Степень заполнения примесных уровней.
19. Концентрация электронов и дырок в зонах.
20. Концентрация электронов и дырок в невырожденном и в вырожденном полупроводниках.
21. Собственный полупроводник.
22. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и от температуры для невырожденного полупроводника.
23. Компенсированные полупроводники.
24. Кинетическое уравнение Больцмана.
25. Время релаксации.
26. Неравновесная функция распределения.
27. Удельная проводимость полупроводника.
28. Механизмы рассеяния электронов в полупроводниках. Оценка эффективного сечения рассеяния. Зависимость подвижности от температуры.
29. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводника.
30. Эффект Холла.
31. Магнитосопротивление полупроводников.
32. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.

33. Теплопроводность полупроводников.
34. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми.
35. Биполярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда.
36. Монополярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда, время релаксации Максвелла.
37. Механизмы рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
38. Уравнение непрерывности. Диффузионные и дрейфовые токи.
39. Соотношения Эйнштейна.
40. Диффузия и дрейф неравновесных носителей в случае монополярной генерации.
41. Диффузия и дрейф неосновных носителей заряда в примесном полупроводнике.
42. Эффект поля в полупроводниках.
43. Термоэлектронная эмиссия из полупроводника, термодинамическая работа выхода, электронное сродство.
44. Контактная разность потенциалов.
45. Контакт металл – полупроводник, диодная теория выпрямления.
46. Контакт электронного и дырочного полупроводников, образование р-п перехода. Ширина области объемного заряда и барьерная емкость р-п перехода.
47. Выпрямление тока на р-п переходе, диодная теория.
48. Пробой р-п перехода.
49. Туннельный диод.
50. Импульсные свойства р-п переходов.
51. Принцип работы биполярного транзистора.
52. Параметры и выходные характеристики транзистора.
53. Принцип работы полевого транзисторов. Выходные характеристики.

7.3 Примерные темы лабораторных работ

1. Определение теплоемкости полупроводников.
2. Изучение магнитных свойств твердых тел.
3. Изучение вольт-амперных характеристик р-п- переходов.
4. Эффект Холла.
5. Определение времени жизни неосновных носителей.
6. Определение диффузионной длины неосновных носителей.
7. Изучение полевых транзисторов.
8. Изучение температурной зависимости сопротивления проводящих материалов.
9. Изучение фотопроводимости полупроводников.

10. Изучение поглощения света в полупроводниках.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Рекомендуемая литература

а) Базовый учебник

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1990.

б) Основная литература

2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1984.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Наука, 1978.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1976.
5. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И.П., Карпенко И.В., Миронов А.Г. Сборник задач по физике полупроводников. – М.: Наука, 1987.
6. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов. – М.: Наука, 1975.
7. Кардона П.Ю. Основы полупроводников. – М.: Мир, 2003.
8. Sah С.Т. Fundamentals of solid-state electronics / С.Т. Sah. World Scientific, 1991.
9. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: учебное пособие. / В.И. Гаман. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000.
10. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов. / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. 6-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2002.
11. Гуртов В.А. Сборник задач по микроэлектронике / В.А. Гуртов, О.Н. Ивашенков. – Петрозаводск: 1999.
12. Драгунов В.П. Основы нанозлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.П. Неизвестный, В.А. Гридчин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.

в) Дополнительная литература

13. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П., Громов И.С. Элементы твердотельной электроники. – Изд. Саратовского ун-та, 1985.
14. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / пер. с исп. под ред. Терехова В.А. – М.: Высшая школа, 1991.
15. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники. – М.: Радио и связь, 1991.
16. Батушев В.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980.
17. Викулин И.Н., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и

связь, 1990.

18. Шур М. Физика полупроводников / пер. с англ. под ред. Биленко Ю.Д., Видро В.Л. – М.: Мир, 1990.
19. Гуртов В.А. Полевые транзисторы со структурой металл - диэлектрик - полупроводник / В.А. Гуртов. – Петрозаводск: 1984.

в) Другие источники

20. <http://dssp.petrso.ru/book/main.shtml>
21. <http://www.cn.ru/referat/catalog/419/67241>

7.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Лабораторные установки физического практикума Кафедры технологии материалов и структур электронной техники
- Учебные методические пособия к лабораторным работам
- Вычислительная техника
- Проектор
- Слайдоскоп