

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Полупроводниковая электроника БЗ.Б.13

Направление подготовки: 011800.62 - Радиоп физика

Профиль подготовки: Физика ионосферы и распространения радиоволн, радиоастрономия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Таюрская Г.В.

**Рецензент(ы):**

Масленникова Ю.С.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Шерстюков О. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань

2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Таюрская Г.В. Кафедра радиофизики Отделение радиофизики и информационных систем, Galina.Tajrsc@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины Б3.Б.13. "Полупроводниковая электроника" являются знакомство с физическими принципами работы современных полупроводниковых приборов, действие которых основано на свойствах контакта металл-полупроводник, p-n перехода, гетероперехода, структуры металл-диэлектрик-полупроводник; выработке умения математически описывать физические процессы, лежащие в основе действия полупроводниковых приборов различного назначения и на основе полученных соотношений рассчитывать их параметры. В курсе излагаются физика полупроводников, физика электрических переходов, рассматриваются физические процессы, математические модели, параметры и характеристики полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов, элементы интегральных схем на биполярных и полевых транзисторах, особенности их применения в аналоговой и цифровой микросхемотехнике.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.13 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Дисциплина Б3.Б13. "Полупроводниковая электроника" входит в профессиональный цикл (блок Б3) бакалавров по направлению 011800.62- "Радиофизика Телекоммуникации" и является обязательной для изучения.

Изучение данной дисциплины базируется на подготовке по физике и математике в рамках Государственного стандарта общего образования, дисциплин подготовки бакалавров по направлению 011800.62 - "Радиофизика Телекоммуникации": Б2.Б.10 "дифференциальные уравнения", Б3.Б.1 "методы математической физики", Б2.В1 "электричество и магнетизм", Б3.Б1 "основы радиоэлектроники".

Дисциплина служит основой для последующего изучения дисциплин курса общей физики Б3.ДВ10 "Импульсная и цифровая электроника", Б3.ДВ3 "Цифровые устройства", Б3.ДВ2 "Микропроцессоры в информационных системах".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-11 (общекультурные компетенции)	способностью собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным, научным, социальным и этическим проблемам;
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии;
ОК-4 (общекультурные компетенции)	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности;
ОК-6 (общекультурные компетенции)	способностью работать самостоятельно и в коллективе, способность к культуре социальных отношений);

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач;
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки;
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования);
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники;
ПК-9 (профессиональные компетенции)	способностью к проведению занятий в учебных лабораториях вузов;

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- принцип действия важнейших полупроводниковых приборов (прежде всего диодов, биполярных и полевых транзисторов, интегральных структур);
- математические модели полупроводниковых приборов с целью определения их характеристик и основных параметров, а также построение эквивалентных схем для различных режимов работы;
- элементы интегральных схем на биполярных и полевых транзисторах.

2. должен уметь:

- математически описывать физические процессы, происходящие в электрических переходах;
- строить математические модели полупроводниковых приборов различного назначения, на основе которых рассчитывать их параметры и строить эквивалентные схемы для различных режимов и частотных диапазонов их работы;
- на основе анализа особенностей полупроводниковых приборов правильно выбирать элементную базу для построения радиотехнических устройств.

3. должен владеть:

- методами анализа и синтеза радиоэлектронных устройств с учетом особенностей работы полупроводниковых приборов в различных режимах и частотных диапазонах их применения.
- навыками работы с учебной и научной литературой.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- к решению задач анализа и синтеза радиоэлектронных устройств на современной элементной базе
- эксплуатировать современную радиоэлектронную аппаратуру и оборудование
- работать с современными образовательными и информационными технологиями

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 5 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в физику полупроводников.	5	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Рекомбинация носителей.	5	2	2	0	0	
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	5	3	2	0	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	5	4	2	0	0	домашнее задание
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	5	5	2	2	0	тестирование домашнее задание
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	5	6	2	2	0	коллоквиум домашнее задание
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	5	7	2	2	0	тестирование домашнее задание
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	5	8	2	2	0	домашнее задание
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	5	9	2	2	0	домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	5	10	2	2	0	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	5	11	2	2	0	домашнее задание
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	5	12	2	2	0	тестирование домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	5	13	2	2	0	домашнее задание
14.	Тема 14. Составные транзисторы.	5	14	2	2	0	тестирование домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	5	15	2	2	0	тестирование домашнее задание
16.	Тема 16. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	5	16	2	2	0	коллоквиум домашнее задание
17.	Тема 17. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.	5	17	2	2	0	домашнее задание тестирование
18.	Тема 18. Особенности применения твердотельных элементов в аналоговой микросхемотехнике.	5	18	2	2	0	домашнее задание
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	экзамен
	Итого			36	28	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение в физику полупроводников.

#### лекционное занятие (2 часа(ов)):

Энергетические уровни твердого тела. Зонная структура полупроводников и типы проводимости. Законы распределения носителей в зонах полупроводника. Концентрация носителей в собственном и примесном полупроводниках. Подвижность носителей. Электропроводность

## **Тема 2. Рекомбинация носителей.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Равновесное и неравновесное состояние. Время жизни. Поверх-ностная рекомбинация. Рекомбинация на при-месных центрах

## **Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Кинетика носителей. Эффект поля.

## **Тема 4. Электрические переходы.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Разновидности электрических переходов. Классификация p-n переходов. Структура p-n перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии.

## **Тема 5. Анализ p-n перехода в неравновесном состоянии.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

p-n переход в неравновесном состоянии. Контакт металл-полупроводник. Гетеропереходы.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 6. Полупроводниковые диоды.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Анализ идеализированного диода. Решение диффузионного уравнения. Вольтамперная характеристика идеализированного диода. Характеристические сопротивления.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 7. Обратная характеристика реального диода.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Виды пробоя перехода. Прямая характеристика реального диода. Работа диода при высоком уровне инжекции. Эквивалентные схемы диода при обратном и прямом включениях по постоянному току.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Эквивалентные схемы диода по переменному току. Типы диодов: силовые диоды, стабилитроны, импульсные диоды, диоды Шоттки, варикапы.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 9. Биполярный транзистор.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Принцип работы. Способы включения транзистора. Распределение носителей в базе. Эффект модуляции толщины базы и его следствия.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.**

### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Модель Молла- Эберса. Семейства выходных и входных характеристик транзистора. Эквивалентная схема транзистора для постоянных составляющих.

### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Решение задач.

## **Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Эквивалентная схема для переменных составляющих. Коэффициент передачи эмиттерного тока. Дифференциальные сопротивления эмиттерного и коллекторного переходов. Коэффициент обратной связи по напряжению. Объемное сопротивление базы.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Барьерные и диффузионные емкости транзистора. Коэффициенты инжекции и переноса. Коэффициент передачи тока. Предельная и граничная частота. Максимальная частота генерации.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Эквивалентная схема ОЭ для постоянных составляющих. Статические и динамические параметры транзистора. Эквивалентная схема для переменных составляющих.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 14. Составные транзисторы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Транзистор, включенный по схеме с общим коллектором. Дрейфовые транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 15. Полевые транзисторы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Классификация полевых транзисторов. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом. Принцип действия. Статические характеристики и параметры полевых транзисторов. Эквивалентная схема. МДП-транзисторы. Статические характеристики и параметры Эквивалентная схема МДП-транзистора.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 16. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Интегральные п-р-п транзисторы: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы; супербета транзисторы: транзисторы с барьером Шоттки. Особенности цифровых ИС на биполярных транзисторах.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 17. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Интегральные схемы на п-МОП-транзисторах. КМОП- структуры. Статические и динамические запоминающие устройства п-МОП-транзисторах. Энергонезависимые постоянные запоминающие

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**Тема 18. Особенности применения твердотельных элементов в аналоговой микросхемотехнике.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**



Аналоговые интегральные структуры. Усилительные каскады на биполярных и полевых транзисторах. Статический режим усилительного каскада. Задание режима по постоянному току и его стабилизация. Общий анализ. Анализ усилительного каскада по переменному току. Добротность усилительного каскада.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	5	3	подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	5	4	подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	5	5	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	5	6	подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	5	7	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	5	8	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	5	9	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	5	10	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	5	11	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	5	12	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	5	13	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
14.	Тема 14. Составные транзисторы.	5	14	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	5	15	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
16.	Тема 16. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	5	16	подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
17.	Тема 17. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.	5	17	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
18.	Тема 18. Особенности применения твердотельных элементов в аналоговой микросхемотехнике.	5	18	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
Итого					44	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Дисциплина нацелена на формирование общекультурных и профессиональных компетенций:

ПК-1 - способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач;

ПК-2 - способность применять на практике базовые профессиональные навыки;

ПК-3 - способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;

ПК-5 - способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки);

ОК-1 - способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук;

а также

ПК-6 - способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);

ПК-8 - способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований;

ОК-3 - способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Введение в физику полупроводников.**

### **Тема 2. Рекомбинация носителей.**

### **Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Найти собственную концентрацию кремния при  $T_0 = 300\text{K}$ . Во сколько раз изменится собственная концентрация свободных носителей заряда в кремнии, если температура увеличится на  $500\text{C}$ ? Ширина запрещенной зоны для кремния  $E_g = 1,1\text{ В}$ . Эффективные плотности состояний для кремния  $N_v = 1,02 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ ,  $N_c = 2,8 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ .

### **Тема 4. Электрические переходы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: . Имеется германиевый p-n-переход с концентрацией  $N_d = 10^3\text{ Na}$ , причем на каждые 108 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить равновесную высоту потенциального барьера при температуре  $T = 300\text{K}$  (концентрации атомов  $N$  и ионизированных атомов  $n_i$  принять равными  $4,4 \cdot 10^{22}$  и  $2,5 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$  соответственно).

### **Тема 5. Анализ p-n перехода в неравновесном состоянии.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Кремниевый p-n переход имеет данные: концентрация акцепторной примеси  $N_a = 2 \cdot 10^{16}\text{ см}^{-3}$ , концентрация донорной примеси  $N_d = 10^{19}\text{ см}^{-3}$ , диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ . Определить равновесную ширину и высоту потенциального барьера, а также удельные сопротивления  $n$  и  $p$  областей. Как изменится высота потенциального барьера при увеличении температуры на  $30\text{K}$ ?  $N_c = 2,8 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ ,  $N_v = 1,02 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ .

тестирование , примерные вопросы:

Выбрать и обосновать правильный ответ: В неравновесном состоянии эквивалентное время жизни избыточных носителей определяется 1) временем жизни основных носителей; 2) временем рассасывания избыточных носителей; 3) временем жизни неосновных носителей; 4) временем накопления избыточных носителей .

### **Тема 6. Полупроводниковые диоды.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: В идеальном p-n переходе обратный ток насыщения  $I_0 = 10^{-14}\text{ A}$  при  $T = 300\text{K}$  и  $I_0 = 10^{-9}\text{ A}$  при  $T = 1250\text{C}$ . Определить, в каком случае напряжение на p-n переходе будет меньше и на сколько, если прямой ток равен  $1\text{ mA}$ .

коллоквиум , примерные вопросы:

Ответить на вопросы и обосновать ответы: 1) где располагаются валентные уровни донорной и акцепторной примеси? ; 2) где располагается уровень Ферми (в собственном полупроводнике, полупроводнике p- и n-типа?) 3) Что влияет на подвижность носителей?

### **Тема 7. Обратная характеристика реального диода.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Определить, во сколько раз изменится дифференциальное сопротивление и сопротивление по постоянному току полупроводникового диода с изменением температуры окружающей среды от  $270\text{C}$  до  $600\text{C}$  при прямом напряжении  $0,5\text{ В}$ .

тестирование , примерные вопросы:

Равновесная ширина ступенчатого p-n-перехода с увеличением высоты потенциального барьера в 4 раза 1) уменьшается в 4 раза; 2) уменьшается в 2 раза; 3) не изменяется; 4) увеличивается в 2 раза.

### **Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Определить дифференциальное сопротивление коллекторного перехода для германиевого n-p-n транзистора, если  $N_a=10^{15}$  см<sup>-3</sup>,  $w=30$  мкм,  $U_k=5$  В,  $I_{\alpha}=1$  мА,  $L=0,1$  мм, диэлектрическая проницаемость германия  $\epsilon=16$ ,  $\mu \approx 1$ ,  $I_{\alpha}=1$  мА.

### **Тема 9. Биполярный транзистор.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Определить диффузионную емкость и дифференциальное сопротивление германиевого диода, работающего при  $T=300$  К и напряжении  $U=0,25$  В. Обратный ток  $I_0=10$  мкА, диффузионная длина электронов  $L_n=0,1$  см, подвижность электронов  $\mu_n=0,39$  м<sup>2</sup>/Вс, толщина базы  $w=10$ -4 см. Как изменятся дифференциальное сопротивление и диффузионная емкость диода при увеличении температуры на 60 К?

### **Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Транзистор включен по схеме с общей базой. Определить сопротивление эмиттерного перехода при  $T=300$  К, если  $I_{\alpha}=2$  мА. Как изменится сопротивление эмиттерного перехода, если температура увеличится на 30 К?

### **Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Высокочастотный транзистор на частоте  $f_{изм}=20$  МГц имеет модуль коэффициента передачи  $h_{21э}=6$ . статический коэффициент тока базы  $h_{21э}=50$ . Найти частоту, на которой модуль коэффициента передачи тока эмиттера уменьшается в 2 раза по сравнению со статическим коэффициентом тока эмиттера.

### **Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: На низких частотах коэффициент передачи тока эмиттера транзистора  $h_{21б}=-0,9$ , его предельная частота  $f_{\alpha}=1,1$  МГц. Определить: а) модуль коэффициента передачи тока эмиттера на частоте 2 МГц; б) частоту, на которой модуль коэффициента передачи тока эмиттера уменьшится до значения 0,5.

тестирование , примерные вопросы:

Модуляция толщины базы сопровождается изменением заряда дырок в базе. Это приводит 1) к возникновению конечного дифференциального сопротивления коллекторного перехода; 2) к возникновению диффузионной емкости коллекторного перехода; 3) к возникновению внутренней обратной связи по напряжению; 4) к возникновению частотных свойств транзистора. Выбрать и обосновать правильный ответ.

### **Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Транзистор имеет  $h$  ? коэффициенты:  $h_{11э}=2$  кОм,  $h_{12э}=5,9 \cdot 10^{-4}$ ,  $h_{21э}=60$ ,  $h_{22э}=40$  мкСм. Найти  $h$  ? коэффициенты для схемы с общей базой и общим эмиттером. Составить схему составного транзистора ОЭ на двух одинаковых транзисторах и найти  $h_{11э}$  и  $h_{21э}$  ? коэффициенты.

### **Тема 14. Составные транзисторы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Транзистор имеет  $h_{FE}$  коэффициенты:  $h_{11б}=50\text{Ом}$ ,  $h_{12б}=5\cdot 10^{-4}$ ,  $h_{21э}=100$ ,  $h_{22б}=0,8\text{мкСм}$ . Построить схему составного транзистора ОЭ на двух одинаковых транзисторах и найти  $h_{11э}$  и  $h_{21э}$  коэффициенты. Найти собственные параметры для одного транзистора, включенного по схеме с ОЭ.

тестирование , примерные вопросы:

Дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера в цепь коллектора ( $\alpha$ ) с ростом подвижности носителей 1) уменьшается; 2) увеличивается; 3) от подвижности носителей не зависит. Выбрать и обосновать правильный ответ.

### Тема 15. Полевые транзисторы.

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: Удельная проводимость канала n-типа полевого транзистора  $\mu_n=20\text{См/м}$  и толщина канала  $d=6\text{мкм}$  при напряжении  $U_{зи}=0$ . Найти напряжение отсечки  $U_{зиотс}$ , считая, что подвижность электронов  $\mu_n=0,13\text{ м}^2/\text{Вс}$ , а относительная диэлектрическая постоянная кремния  $\epsilon_r=12$ .

тестирование , примерные вопросы:

Для полевого транзистора с управляющим p-n переходом и n-каналом, включенным по схеме с общим истоком, полярность напряжения на затворе ( $U_{зи}$ ) и на стоке ( $U_{си}$ ) относительно земли должна удовлетворять соотношениям 1)  $U_{зи} > 0$ ,  $U_{си} > 0$ ; 2)  $U_{зи} > 0$ ,  $U_{си} < 0$ ; 3)  $U_{зи} < 0$ ,  $U_{си} < 0$ ; 4)  $U_{зи} < 0$ ,  $U_{си} > 0$ .

### Тема 16. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: В МДП- транзисторе с каналом n- типа ширина затвора  $0,8\text{ мм}$ , длина канала  $L=5\text{ мкм}$ , толщина слоя диэлектрической изоляции (оксидного)  $d=150\text{нм}$ , подвижность электронов в канале  $\mu_n=0,02\text{ м}^2/\text{Вс}$ , относительная диэлектрическая проницаемость оксидной пленки  $\epsilon_r=3,7$ , крутизна характеристики транзистора в пологой области стоковой ВАХ  $S=5,6\text{мА/В}$ , Определить емкость затвора и предельную частоту

коллективум , примерные вопросы:

Для какого типа проводимости базы транзистор характеризуется более высоким коэффициентом усиления и большим быстродействием? 1) дырочный тип проводимости; 2) электронный тип проводимости; 3) от типа проводимости базы не зависит. Выбрать и обосновать правильный ответ.

### Тема 17. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: У некоторого полевого транзистора с управляющим p-n переходом  $I_{снач}=2\text{мА}$ ,  $U_{зиотс}=4\text{В}$ . Определить какой ток будет протекать при обратном напряжении смещения затвор-исток, равном  $1\text{В}$ .

тестирование , примерные вопросы:

Дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода с ростом тока эмиттера 1) уменьшается; 2) увеличивается; 3) не изменяется. Выбрать и обосновать правильный ответ.

### Тема 18. Особенности применения твердотельных элементов в аналоговой микросхемотехнике.

домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагаются 2 задачи: 1) определение статических и динамических характеристик полевого транзистора. 2) расчет простейших схем с применением биполярных или полевых транзисторов.

### Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Билет N1.

1. Энергетические уровни твердого тела. Зонная структура полупроводников и типы проводимости.

2. Анализ идеализированного диода. Решение диффузионного уравнения. Вольтамперная характеристика идеализированного диода.

#### Билет N2.

1. Концентрация носителей в собственном и примесном полупроводниках.
2. Классификация p-n переходов. Структура p-n . Анализ перехода в равновесном состоянии.

#### Билет N3.

1. Рекомбинация носителей. Равновесное и неравновесное состояние. Время жизни.
2. Анализ p-n перехода в неравновесном состоянии.

#### Билет N4.

1. Законы движения носителей в полупроводниках.
2. Характеристические сопротивления. Барьерная и диффузионная емкости диода. Эквивалентная схема диода по переменному току.

#### Билет N5.

1. Эффект поля.
2. Прямая характеристика реального диода. Работа диода при высоком уровне инжекции. Эквивалентная схема диода при прямом включении по постоянному току.

### 7.1. Основная литература:

1. Электронные приборы и устройства: Учебник / Ф.А. Ткаченко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2011. - 682 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004658-7, 2000 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=209952>

ЭБС "Знаниум"

2. Ревич Ю.В. Занимательная электроника. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2009. - 412 с. - ISBN 978-5-9775-0411-9. <http://znanium.com/bookread.php?book=350692>

ЭБС "Знаниум"

3. Физические основы электроники: Учебное пособие / В.В. Умрихин; Уником Сервис. - М.: Альфа-М: НИЦ Инфра-М, 2012. - 304 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Технологический сервис). (переплет) ISBN 978-5-98281-306-0, 1000 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=316836>

ЭБС "Знаниум"

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по курсу "Твердотельная электроника" / Г. В. Таюрская, П. А. Корчагин .? Казань : [Казан. гос. ун-т], 2006 .? ; 20 кол. экз.55

2. Основы микроэлектроники : учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко .? Издание 2-е, переработанное и дополненное .? Москва : Лаборатория Базовых Знаний, 2004 .? 488 с. : ил. ; 22 см. ? (Технический университет) (Электроника) .? Библиогр.: с.488 .? ISBN 5-93208-045-0, 3000. кол. экз.-18

### 7.3. Интернет-ресурсы:

КнигаФонд - <http://www.knigafund.ru>

Популярно об электронике - <http://www.radiokot.ru>

Сайт кафедры радиофизики - <http://radiosys.ksu.ru>

ЭБС БиблиоРоссика - <http://bibliorossica.com/>

ЭБС Знаниум - <http://znanium.com/>

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Полупроводниковая электроника" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с учетом рекомендаций ПрООП ВПО по направлению и профилю подготовки Радиофизика

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Физика ионосферы и распространения радиоволн, радиоастрономия .

Автор(ы):

Таюрская Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Масленникова Ю.С. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.