

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. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Полупроводниковая электроника БЗ.Б.13

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Телекоммуникационные системы и информационные технологии

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 6109217

Казань  
2017

## 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	Устный опрос Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	5	4	2	0	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	5	5	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	5	6	2	2	0	Коллоквиум Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	5	7	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	5	8	2	2	0	Письменное 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	
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	5	9	2	2	0	Письменное домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	5	10	2	2	0	Письменное домашнее задание
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	5	11	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	5	12	2	2	0	Письменное домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	5	13	2	2	0	Письменное домашнее задание
14.	Тема 14. Составные транзисторы. Т	5	14	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	5	15	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
16.	Тема 16. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	5	16	2	2	0	Коллоквиум Письменное домашнее задание
17.	Тема 17. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.	5	17	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
18.	Тема 18. Особенности применения твердотельных элементов в аналоговой микросхемотехнике.	5	18	2	2	0	Письменное 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	
	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. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация на примесных центрах. З

##### 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 р-п переходов. Структура р-п перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии.

##### Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.

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

р-п 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. Т**

**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 p-p-n 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 n-МОП-транзисторах. КМОП- структуры. Статические и динамические запоминающие устройства n-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 p-n 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

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
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	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	1	тестирование
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	5	12	подготовка домашнего задания	3	домашнее задание
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. Т	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  $\varphi_z = 1,1\text{ В}$ . 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  $10^8$  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 p и n 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  $I_0=10^{-14}$ А при  $T=300$ К и  $I_0=10^{-9}$ А при  $T=1250$ С. Определить, в каком случае напряжение на p-n переходе будет меньше и на сколько, если прямой ток равен 1мА.

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 270С до 600С при прямом напряжении 0,5В.

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:

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  $w=10$ -4см. Как изменятся дифференциальное сопротивление и диффузионная емкость диода при увеличении температуры на 60К?

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

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,  $I_{\beta}=1$ мА,  $L=0,1$ мм, диэлектрическая проницаемость германия  $\epsilon=16$ ,  $\epsilon \approx 1$ ,  $I_{\beta}=1$ мА.

### **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  $I_{\beta}=2$ мА. Как изменится сопротивление эмиттерного перехода, если температура увеличится на 30К?

### **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  $h_{21\beta}=6$ . статический коэффициент тока базы  $h_{21\beta}=50$ . Найти частоту, на которой модуль коэффициента передачи тока эмиттера уменьшается в 2 раза по сравнению со статическим коэффициентом тока эмиттера.

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 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.

### 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. Т

домашнее задание , примерные вопросы:

Транзистор имеет  $h$  ? коэффициенты:  $h_{11б} = 50$  Ом,  $h_{12б} = 5 \cdot 10^{-4}$ ,  $h_{21э} = 100$ ,  $h_{22б} = 0,8$  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  $\mu = 20$  См/м и толщина канала  $\mu = 6$  мкм при напряжении  $U_{зи} = 0$ . Найти напряжение отсечки  $U_{зиотс}$ , считая, что подвижность электронов  $\mu_n = 0,13$  м<sup>2</sup>/Вс, а относительная диэлектрическая постоянная кремния  $\epsilon = 12$ .

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 мм, длина канала  $L = 5$  мкм, толщина слоя диэлектрической изоляции (оксидного)  $d = 150$  нм, подвижность электронов в канале  $\mu_n = 0,02$  м<sup>2</sup>/Вс, относительная диэлектрическая проницаемость оксидной пленки  $\epsilon = 3,7$ , крутизна характеристики транзистора в пологой области стоковой ВАХ  $S = 5,6$  мА/В, Определить емкость затвора и предельную частоту

коллоквиум , 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  $I_{снач} = 2$  мА,  $U_{зиотс} = 4$  В. Определить какой ток будет протекать при обратном напряжении смещения затвор-исток, равном 1 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) определении статических и динамических 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 Телекоммуникационные системы и информационные технологии .

Автор(ы):

Таюрская Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Масленникова Ю.С. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.