

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



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
**Твердотельная электроника Б2.ДВ.2**

Направление подготовки: 090900.62 - Информационная безопасность

Профиль подготовки: Информационная безопасность автоматизированных систем

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Таюрская Г.В.

**Рецензент(ы):**

Шерстюков О.Н.

**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 6168414

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 ЕН.В2 "Твердотельная 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.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б2.ДВ.2 Общепрофессиональный" основной образовательной программы 090900.62 Информационная безопасность и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Дисциплина ЕН.В2 "Твердотельная электроника" входит в профессиональный цикл (блок ЕН) бакалавров по направлению 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 090900.62 - "Информационная безопасность": ЕН.Ф.7 "математика (мат анализ)", ЕН.Р.1 "физика", ЕН.Ф.5 "Теория комплексного переменного", ДН(М).Р.6 "основы радиоэлектроники".

Дисциплина служит основой для последующего изучения дисциплин курса ДН(М). В2 "функциональная электроника", ДН(М). В2 "физическая электроника", ДН(М).В6 "импульсная и цифровая схемотехника".

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач;
ПК-3 (профессиональные компетенции)	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-3 (общекультурные компетенции)	способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки;

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки);
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований;

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Дисциплина ЕН.В2 "Твердотельная электроника" входит в профессиональный цикл (блок ЕН) бакалавров по направлению 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 090900.62 - "Информационная безопасность": ЕН.Ф.7 "математика (мат анализ)", ЕН.Р.1 "физика", ЕН.Ф.5 "Теория комплексного переменного", ДН(М).Р.6 "основы радиоэлектроники".

Дисциплина служит основой для последующего изучения дисциплин курса ДН(М). В2 "функциональная электроника", ДН(М). В2 "физическая электроника", ДН(М).В6 "импульсная и цифровая схемотехника" .

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 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 6 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.	6	1	2	2	0	домашнее задание
2.	Тема 2. Рекомбинация носителей.	6	2	2	2	0	домашнее задание
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	6	3	2	2	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	6	4	2	4	0	домашнее задание тестирование
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	6	5	2	4	0	коллоквиум домашнее задание
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	6	6	2	2	0	домашнее задание
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	6	7	2	2	0	контрольная работа домашнее задание
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	6	8	2	2	0	домашнее задание
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	6	9	2	4	0	домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	6	10	2	4	0	коллоквиум 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.	6	11	2	2	0	тестирование домашнее задание
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	6	12	2	4	0	домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	6	13	2	4	0	контрольная работа домашнее задание
14.	Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.	6	14	2	2	0	домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	6	15	2	4	0	тестирование домашнее задание
16.	Тема 16. МДП-транзисторы.	6	16	2	4	0	домашнее задание
17.	Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	6	17	2	4	0	контрольная работа домашнее задание
18.	Тема 18. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.	6	18	2	2	0	коллоквиум
	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	экзамен
	Итого			36	54	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение в физику полупроводников.

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

Введение в физику полупроводников. 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. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

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

Рекомбинация носителей. Равновесное и неравновесное состояние. Время жизни. Поверхностная рекомбинация. Рекомбинация на примесных центрах. Законы движения носителей в полупроводниках. Кинетика носителей. Эффект поля. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

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

Законы движения носителей в полупроводниках. Кинетика носителей. Эффект поля. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

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

Электрические переходы. Разновидности электрических переходов. Классификация p-n переходов. Структура p-n перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии. (2 час.)

### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

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

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

Анализ p-n перехода в неравновесном состоянии. Контакт металл-полупроводник. Гетеропереходы. (2 час.)

### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

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

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

Полупроводниковые диоды. Анализ идеализированного диода. Решение диффузионного уравнения. Вольтамперная характеристика идеализированного диода. Характеристические сопротивления. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

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

Обратная характеристика реального диода. Виды пробоя перехода. Прямая характеристика реального диода. Работа диода при высоком уровне инжекции. Эквивалентные схемы диода при обратном и прямом включениях по постоянному току. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

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

Барьерная и диффузионная емкости диода. Эквивалентные схемы диода по переменному току. Типы диодов: силовые диоды, стабилитроны, импульсные диоды, диоды Шоттки, варикапы. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

## **Тема 9. Биполярный транзистор.**

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

Биполярный транзистор. Принцип работы. Способы включения транзистора. Распределение носителей в базе. Эффект модуляции толщины базы и его следствия. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Статические характеристики транзистора ОБ. Модель Молла- Эберса. Семейства выходных и входных характеристик транзистора. Эквивалентная схема транзистора для постоянных составляющих. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Динамические параметры транзистора ОБ. Барьерные и диффузионные емкости транзистора. Коэффициенты инжекции и переноса. Коэффициент передачи тока. Предельная и граничная частота. Максимальная частота генерации. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Динамические параметры транзистора ОБ. Барьерные и диффузионные емкости транзистора. Коэффициенты инжекции и переноса. Коэффициент передачи тока. Предельная и граничная частота. Максимальная частота генерации. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

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

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером. Эквивалентная схема ОЭ для постоянных составляющих. Статические и динамические параметры транзистора. Эквивалентная схема для переменных составляющих. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

**Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Составные транзисторы. Транзистор, включенный по схеме с общим коллектором. Дрейфовые транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

**Тема 15. Полевые транзисторы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Полевые транзисторы. Классификация полевых транзисторов. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом. Принцип действия. Статические характеристики и параметры полевых транзисторов. Эквивалентная схема. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)

**Тема 16. МДП-транзисторы.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

МДП-транзисторы. Статические характеристики и параметры Эквивалентная схема МДП-транзистора. (2 час.)

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Решение задач. (2 час.)



## Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.

### лекционное занятие (2 часа(ов)):

Транзисторы полупроводниковых интегральных схем. Интегральные n-p-n транзисторы: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы; супербета транзисторы: транзисторы с барьером Шоттки. Особенности цифровых ИС на биполярных транзисторах. (2 час.)

### практическое занятие (4 часа(ов)):

Решение задач. (2 час.)

## Тема 18. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.

### лекционное занятие (2 часа(ов)):

Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах: интегральные схемы на n-МОП-транзисторах. КМОП- структуры. Статические и динамические запоминающие устройства n-МОП-транзисторах. Энергонезависимые постоянные запоминающие устройства. (2 час.)

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

Решение задач. (2 час.)

## 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
1.	Тема 1. Введение в физику полупроводников.	6	1	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
2.	Тема 2. Рекомбинация носителей.	6	2	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	6	3	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	6	4	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	2	тестирование
5.	Тема 5. Анализ p-n перехода в неравновесном состоянии.	6	5	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	6	6	подготовка домашнего задания	5	домашнее задание
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	6	7	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	6	8	подготовка домашнего задания	5	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	6	9	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	6	10	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	6	11	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	2	тестирование
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	6	12	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	6	13	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
14.	Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.	6	14	подготовка домашнего задания	5	домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	6	15	подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к тестированию	2	тестирование
	Итого				63	

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

Используются следующие формы учебной работы: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации. Материалы курса лекций, список контрольных вопросов, задания для практических занятий и самостоятельной работы имеются в электронном варианте.

Консультации проводятся в обозначенное в расписании время и в режиме "online".

### 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.

домашнее задание, 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 2. Рекомбинация носителей.**

домашнее задание , 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 3. Законы движения носителей в полупроводниках.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Выбрать и обосновать правильный ответ: Важнейшей особенностью эффекта поля в примесных полупроводниках является режим обогащения приповерхностного слоя 1) основными носителями; 2) неосновными носителями; 3) ионами доноров; 4) ионами акцепторов.

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

домашнее задание , примерные вопросы:

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  $N_v = 1,02 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ ,  $N_c = 2,8 \cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$ .

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

домашнее задание , примерные вопросы:

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).

коллоквиум , примерные вопросы:

Получить формулы для расчета высоты потенциального барьера и ширины p-n перехода в равновесном состоянии. как они изменятся в неравновесном состоянии

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

домашнее задание , примерные вопросы:

Определить, во сколько раз изменится дифференциальное сопротивление полупроводникового диода с изменением температуры окружающей среды от  $270\text{C}$  до  $600\text{C}$  при прямом напряжении  $0,5\text{В}$ .

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

домашнее задание , примерные вопросы:

Определить, во сколько раз изменится дифференциальное сопротивление полупроводникового диода при изменении прямого напряжения от  $0,4$  до  $0,5\text{В}$  при неизменной температуре окружающей среды  $T = 300\text{K}$ .

контрольная работа , примерные вопросы:

Предлагаются 2 задачи: 1) на зонную структуру полупроводника; 2) электронно-дырочный переход в равновесном и неравновесном состояниях.

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

домашнее задание , примерные вопросы:

Найти барьерную емкость германиевого диода, если удельное сопротивление p-области  $\rho_p = 3,5\text{ Ом}\cdot\text{см}$ , высота потенциального барьера  $\Delta\phi_0 = 0,35\text{В}$ , приложенное обратное напряжение  $U_{обр} = 5\text{В}$  и площадь поперечного сечения перехода  $S = 1\text{мм}^2$ . Подвижность дырок в германии  $\mu_p = 0,19\text{ м}^2/\text{с}$ , диэлектрическая проницаемость германия  $\epsilon = 16$ .

## Тема 9. Биполярный транзистор.

домашнее задание , примерные вопросы:

. Выбрать и обосновать правильный ответ: модуляция толщины базы влияет на ту долю инжектированных электронов , которые доходят до коллектора.. 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.

## Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.

домашнее задание , примерные вопросы:

Принцип работы биполярного транзистора. Получить аналитически характеристики транзистора при включении с общей базой, используя его математическую модель.

коллоквиум , примерные вопросы:

Транзистор n-p-n включен по схеме ОБ 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,  $I_э=1$ мА,  $L=0,1$ мм, диэлектрическая проницаемость германия  $\epsilon=16$ ,  $\mu \approx 1$ ,  $I_э=1$ мА.

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

домашнее задание , примерные вопросы:

11 Транзистор n-p-n включен по схеме ОБ 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,  $I_э=1$ мА,  $L=0,1$ мм, диэлектрическая проницаемость германия  $\epsilon=16$ ,  $\mu \approx 1$ ,  $I_э=1$ мА.

тестирование , примерные вопросы:

Переходные и частотные свойства биполярного транзистора лучше 1) в схеме ОЭ; 2) в схеме ОБ; 3) в схеме ОК; 4) не зависят от схем включения транзисторов.

## Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.

домашнее задание , примерные вопросы:

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

домашнее задание , примерные вопросы:

Высокочастотный транзистор на частоте  $f_{изм}=20$ МГц имеет модуль коэффициента передачи  $|\beta_{h21э}|=6$ . 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.

контрольная работа , примерные вопросы:

Предлагаются 2 задачи: 1) определение статических и динамических параметров диода; 2) биполярный транзистор составной транзистор.

## Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.

домашнее задание , примерные вопросы:

14 Составной транзистор состоит из двух одинаковых транзисторов. Известны  $h$  ? коэффициенты для одного из транзисторов:  $h_{11б}=20$ Ом,  $h_{12б}=8 \cdot 10^{-4}$ ,  $h_{21б}=-0,98$ ,

## Тема 15. Полевые транзисторы.

домашнее задание , примерные вопросы:

Удельная проводимость канала n-типа полевого транзистора  $\sigma=5$ См/м и толщина канала  $w=6$ мкм при напряжении  $U_{зи}=0$ . Найти напряжение отсечки  $U_{зиотс}$ , если подвижность электронов  $\mu_n=0,13$ м<sup>2</sup>/Вс, а относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon=12$ . Найти максимальную крутизну и минимальное сопротивление канала, если  $I_{снач}=1$ мА.

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. МДП-транзисторы.

## **Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.**

## **Тема 18. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.**

## **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. 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 - <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=316836> Электронный ресурс.
2. Твердотельная электроника: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" /В. Гуртов.-2-е, доп.изд.-Москва: Техносфера, 2007,- 406с: ил кол. экз -40.
3. Щука, А. А. Электроника / А.А. Щука. ? 2-е изд., перераб. и доп. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2008. ? 751 с.: ил. ? (Учебная литература для вузов). - ISBN 978-5-9775-0160-6 - <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=350420> Электронный ресурс.

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. [Текст] Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. И доп. М - лаборатория базовых знаний 2005г. - 488с.
2. Материаловедение и технологии электроники: Учебное пособие / В.И. Капустин, А.С. Сигов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 427 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-008966008966

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Воронков Э.Н. Твердотельная электроника DOC - М.: МЭИ, 2002. - 181 с. ♦371.39 МБ

Гуртов В.А.Твердотельная электроника PDF - М.: Техносфера, 2008. - 512 с. - ISBN: 978-5-94836-187-1 (3-е изд., доп.)

Автор: Ульрих ШШумахер Название: Полупроводниковая электроника - Издательство: www.infineon.com Год: 2004 Формат: pdf Размер: 102,63 МВ Для сайта: MirKnig.com

Гусев В.А. Твердотельная электроника СНМ - М.: СевНТУ, 2004. - 635 с. - ISBN 966-7473-70-8. ♦4538.11 МБ

Троян П.Е. Твердотельная электроника PDF - Учебное пособие. Томск.: ТУСУР, 2006. ? 330 с. ♦622.90 МБ

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

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

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "КнигаФонд", доступ к которой предоставлен студентам. Электронно-библиотечная система "КнигаФонд" реализует легальное хранение, распространение и защиту цифрового контента учебно-методической литературы для вузов с условием обязательного соблюдения авторских и смежных прав. КнигаФонд обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям новых ФГОС ВПО.

мультимедийная аудитория

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 090900.62 "Информационная безопасность" и профилю подготовки Информационная безопасность автоматизированных систем .

Автор(ы):

Таюрская Г.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Шерстюков О.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.