

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего 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
Твердотельная электроника Б1.В.ДВ.3

Направление подготовки: 10.03.01 - Информационная безопасность

Профиль подготовки: 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 6123018

Казань
2018

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, р-п 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 "Б1.В.ДВ.3 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 10.03.01 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
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук;
ПК-1! (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач;
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование;
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки)

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
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 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 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	Письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Рекомбинация носителей.	6	2	2	2	0	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	6	3	2	2	0	Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	6	4	2	4	0	Письменное домашнее задание Тестирование
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	6	5	2	4	0	Коллоквиум Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Полупроводниковые диоды.	6	6	2	2	0	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Обратная характеристика реального диода.	6	7	2	2	0	Контрольная работа Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	6	8	2	2	0	Письменное домашнее задание
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	6	9	2	4	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	
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	6	10	2	4	0	Коллоквиум Письменное домашнее задание
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	6	11	2	2	0	Тестирование Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	6	12	2	4	0	Письменное домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	6	13	2	4	0	Контрольная работа Письменное домашнее задание
14.	Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.	6	14	2	2	0	Письменное домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	6	15	2	4	0	Тестирование Письменное домашнее задание
16.	Тема 16. МДП-транзисторы.	6	16	2	4	0	Письменное домашнее задание
17.	Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	6	17	2	4	0	Контрольная работа Письменное 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)):

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)):

Механизм рекомбинации. Непосредственная рекомбинация. Равновесное и неравновесное состояние. Время жизни. Рекомбинация на примесных центрах. Поверхностная рекомбинация.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Решение задач. (2 час.)

Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Кинетика носителей. Биполярная диффузия. Монополярная диффузия. Комбинированное движение. Эффект поля.

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	письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Рекомбинация носителей.	6	2	подготовка домашнего задания	4	письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Законы движения носителей в полупроводниках.	6	3	подготовка домашнего задания	4	письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Электрические переходы.	6	4	подготовка домашнего задания	2	письменное домашнее задание
				подготовка к тестированию	2	тестирование

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.	6	5	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	1	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	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	1	контрольная работа
8.	Тема 8. Барьерная и диффузионная емкости диода.	6	8	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
9.	Тема 9. Биполярный транзистор.	6	9	подготовка домашнего задания	2	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
10.	Тема 10. Статические характеристики транзистора ОБ.	6	10	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
				подготовка к коллоквиуму	1	коллоквиум
11.	Тема 11. Малосигнальная эквивалентная схема и статические параметры транзистора ОБ.	6	11	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				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
12.	Тема 12. Динамические параметры транзистора ОБ.	6	12	подготовка домашнего задания	2	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
13.	Тема 13. Характеристики и параметры транзистора при включении с общим эмиттером.	6	13	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	2	контрольная работа
14.	Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.	6	14	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
15.	Тема 15. Полевые транзисторы.	6	15	подготовка домашнего задания	1	письменное домашнее задание
				подготовка домашнего задания	1	домашнее задание
				подготовка к тестированию	2	тестирование
16.	Тема 16. МДП-транзисторы.	6	16	подготовка домашнего задания	3	письменное домашнее задание
17.	Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.	6	17	подготовка домашнего задания	2	письменное домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	1	контрольная работа
18.	Тема 18. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.	6	18	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
	Итого				72	

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.

письменное 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 500C ? 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 2. Рекомбинация носителей.

письменное 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 3. Законы движения носителей в полупроводниках.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Вывести основные уравнения непрерывности , характеризующие движения носителей в полупроводниках и получить частные случаи.

Тема 4. Электрические переходы.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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 30K ? $N_c = 2,8 \cdot 10^{19}\text{см}^{-3}$, $N_v = 1,02 \cdot 10^{19}\text{см}^{-3}$.

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 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:

Ответить на вопросы: Как изменяется высота потенциального барьера и ширина p-n перехода при прямом и обратном включении. Контакт металл -полупроводник.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

Тема 6. Полупроводниковые диоды.

домашнее задание , примерные вопросы:

Определить, во сколько раз изменится дифференциальное сопротивление полупроводникового диода с изменением температуры окружающей среды от 270С до 600С при прямом напряжении 0,5В.

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 0,5В 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.

письменное 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.

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 $\epsilon=16$.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

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.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

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:

Получить аналитические выражения для идеализированных статических характеристик и опстроить для схемы с ОБ, используя модель Молла -Эберса. Рассмотреть и построить реальные характеристики.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Транзистор n - p - n включен по схеме ОБ Определить дифференциальное сопротивление коллекторного перехода для германиевого n - p - n транзистора, если $N_a=10^{15}\text{ см}^{-3}$, $w=30\text{мкм}$, $U_k=5\text{В}$, $I_\beta=1\text{мА}$, $L=0,1\text{мм}$, диэлектрическая проницаемость германия $\epsilon=16$, $\mu \approx 1$, $I_\beta=1\text{мА}$.

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 $N_A=10^{15} \text{ см}^{-3}$, $w=30 \text{ мкм}$, $U_k=5 \text{ В}$, $I_{\text{э}}=1 \text{ мА}$, $L=0,1 \text{ мм}$, диэлектрическая проницаемость германия $\epsilon=16$, $\mu \approx 1$, $I_{\text{э}}=1 \text{ мА}$.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

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:

Получить расчетные соотношения для динамических параметров транзистора для схемы включения с ОБ.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Предлагается решить 3 задачи. Пример задачи: На низких частотах коэффициент передачи тока эмиттера транзистора $h_{21\text{б}}=0,9$, его предельная частота $f_{\alpha}=1,1 \text{ МГц}$. 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:

Высокочастотный транзистор на частоте $f_{\text{изм}}=20 \text{ МГц}$ имеет модуль коэффициента передачи $|h_{21\text{э}}|=6$. статический коэффициент тока базы $h_{21\text{э}}=50$. 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.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

Тема 14. Составные транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.

домашнее задание , примерные вопросы:

Получить формулы для расчета коэффициента передачи тока эмиттера и входного сопротивления для составного транзистора.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

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

Тема 15. Полевые транзисторы.

домашнее задание , примерные вопросы:

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

письменное 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 $\epsilon = 3,7$, крутизна характеристики транзистора в пологой области стоковой ВАХ $S = 5,6 \text{ мА/В}$, Определить емкость затвора и предельную частоту тестирования , 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.

письменное 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 $\epsilon = 3,7$, крутизна характеристики транзистора в пологой области стоковой ВАХ $S = 5,6 \text{ мА/В}$, Определить емкость затвора и предельную частоту

Тема 17. Транзисторы полупроводниковых интегральных схем.

контрольная работа , примерные вопросы:

Предлагаются 2 задачи: 1) полевой транзистор с управляющим p-n переходом, 2) МДП-транзисторы.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Рассмотреть особенности работы базовые элементы интегральных транзисторов: многоэмиттерные транзисторы, многоколлекторные транзисторы, транзисторы с диодом Шоттки.

Тема 18. Элементы интегральных схем на МОП-транзисторах.

коллоквиум , примерные вопросы:

Базовые элементы интегральных логических схем на МДП-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. Таюрская Г.В., Масленникова Ю.С. Полупроводниковая электроника / Г.В. Таюрская, Ю.С. Масленникова - Казань: Казан. ун-т, 2015. - 262 с. Электронная версия . Публикация доступна в электронном каталоге НБ КФУ и по прямой ссылке http://libweb.kpfu.ru/cbooks/06-IPh//06-_42_A5-000999.pdf.

2. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие ? Электрон. дан. ? Москва : Физматлит, 2012. ? 312 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5261>.

3. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : Учебное пособие для вузов / Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. - 2-изд., дополн. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785991201803.html>

Авторы Игумнов Д.В., Костюнина Г.П.

Издательство Горячая линия - Телеком

Год издания 2011

Прототип Электронное издание на основе: Основы полупроводниковой электроники. Учебное пособие для вузов. - 2-изд., дополн. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 394 с: ил. - ISBN 978-5-9912-0180-

7.2. Дополнительная литература:

1. Кольцов, Г.И. Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов. Сборник задач [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.И. Кольцов, С.И. Диденко, М.Н. Орлова. ? Электрон. дан. ? Москва : МИСИС, 2012. ? 78 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47460>.

2. Физика полупроводниковых приборов. [Электронный ресурс] / Лебедев А. И. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785922109956.html>

Авторы Лебедев А. И.

Издательство Физматлит

Год издания 2008

Прототип Электронное издание на основе: Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6.

3. Полупроводниковая электроника [Электронный ресурс] / Коллектив авторов; глав. ред. Мовчан Д.А. - М. : ДМК Пресс, 2015. - (Серия 'Схемотехника'). - <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785970603123.html>

Авторы Коллектив авторов; глав. ред. Мовчан Д.А.

Издательство ДМК-пресс

Год издания 2015

Прототип Электронное издание на основе: Полупроводниковая электроника. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 592 с.: илл. - (Серия 'Схемотехника'). - ISBN 978-5-97060-312-3.

4. Кольцов, Г.И. Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов. Сборник задач [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.И. Кольцов, С.И. Диденко, М.Н. Орлова. ? Электрон. дан. ? Москва : МИСИС, 2012. ? 78 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47460>.

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 МБ Для сайта: MirKnig.com

Гусев В.А. Твердотельная электроника CHM - 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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента" , доступ к которой предоставлен студентам. Электронная библиотечная система "Консультант студента" предоставляет полнотекстовый доступ к современной учебной литературе по основным дисциплинам, изучаемым в медицинских вузах (представлены издания как чисто медицинского профиля, так и по естественным, точным и общественным наукам). ЭБС предоставляет вузу наиболее полные комплекты необходимой литературы в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов с соблюдением авторских и смежных прав.

мультимедийная аудитория

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 10.03.01 "Информационная безопасность" и профилю подготовки Безопасность автоматизированных систем .

Автор(ы):

Таюрская Г.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Шерстюков О.Н. _____

"__" _____ 201__ г.