

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:26

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Полевые полупроводниковые приборы

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180

в том числе:

аудиторные занятия 68

самостоятельная работа 58

часов на контроль 54

Формы контроля в семестрах:

экзамен 7

курсовая работа 7

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 7 (4.1) | | Итого | |
|---|-----------|-----|-------|-----|
| | Неделя 18 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Лабораторные | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Контактная работа | 68 | 68 | 68 | 68 |
| Сам. работа | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Часы на контроль | 54 | 54 | 54 | 54 |
| Итого | 180 | 180 | 180 | 180 |

Программу составил(и):

-, *ст.преп., Черных Сергей Владимирович*;- , *ст.преп., Черных Алексей Владимирович*

Рабочая программа

Полевые полупроводниковые приборы

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ШЭ и ФШ

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|---|
| 1.1 | Целью освоения дисциплины является изучение студентами физики, лежащей в основе работы полевых полупроводниковых приборов, конструкций, а также их характеристик, режимов работы и факторов, ограничивающих их эксплуатационные характеристики. |
|-----|---|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.03 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Биполярные полупроводниковые приборы | |
| 2.1.2 | Квантовая и оптическая электроника | |
| 2.1.3 | Материаловедение полупроводников и диэлектриков | |
| 2.1.4 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности | |
| 2.1.5 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности | |
| 2.1.6 | Технология материалов электронной техники | |
| 2.1.7 | Физика диэлектриков | |
| 2.1.8 | Физика конденсированного состояния | |
| 2.1.9 | Физика магнитных явлений | |
| 2.1.10 | Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике | |
| 2.1.11 | Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике | |
| 2.1.12 | Статистическая физика | |
| 2.1.13 | Физические свойства кристаллов | |
| 2.1.14 | Электроника | |
| 2.1.15 | Математическая статистика и анализ данных | |
| 2.1.16 | Методы математической физики | |
| 2.1.17 | Практическая кристаллография | |
| 2.1.18 | Физика | |
| 2.1.19 | Физическая химия | |
| 2.1.20 | Электротехника | |
| 2.1.21 | Математика | |
| 2.1.22 | Органическая химия | |
| 2.1.23 | Химия | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Вакуумная и плазменная электроника | |
| 2.2.2 | Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике | |
| 2.2.3 | Магнитные измерения | |
| 2.2.4 | Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики | |
| 2.2.5 | Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники | |
| 2.2.6 | Нормы и правила оформления ВКР | |
| 2.2.7 | Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики | |
| 2.2.8 | Основы радиационной стойкости изделий электронной техники | |
| 2.2.9 | Основы технологии электронной компонентной базы | |
| 2.2.10 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.11 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.12 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.13 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.14 | Приборы квантовой и оптической электроники | |
| 2.2.15 | Процессы вакуумной и плазменной электроники | |
| 2.2.16 | Светоизлучающие полупроводниковые приборы | |
| 2.2.17 | Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики | |
| 2.2.18 | Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом | |
| 2.2.19 | Элементы и устройства магнитоэлектроники | |

| 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ |
|--|
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Знать: |
| ОПК-2-33 Методы вычисления параметров материала и прибора из его характеристик. |
| ОПК-2-32 Физические принципы испытаний и измерений опытных образцов изделий электронной техники. |
| ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники |
| Знать: |
| ПК-5-31 Основные классы полевых полупроводниковых приборов и уметь разрабатывать технические описания на них. |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Знать: |
| ОПК-2-34 Методы обработки результатов измерений. |
| ОПК-2-31 Методы и средства измерений и экспериментальных исследований характеристик опытных образцов изделий электронной техники. |
| ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности |
| Знать: |
| ОПК-1-32 Физические принципы и ограничения при конструировании полупроводниковых приборов. |
| ОПК-1-31 Физические законы и принципы, лежащие в основе работы полупроводниковых приборов. |
| ОПК-5: Способен демонстрировать практические навыки для решения задач и реализации проектов, в области, соответствующей профилю подготовки, применять знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Знать: |
| ОПК-5-31 Принципы конструирования полевых приборов различных классов, физические, технологические и экономические ограничения при их разработке. |
| ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники |
| Уметь: |
| ПК-5-У1 Составлять протоколы измерений и испытаний опытных образцов изделий электронной техники. |
| ОПК-5: Способен демонстрировать практические навыки для решения задач и реализации проектов, в области, соответствующей профилю подготовки, применять знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Уметь: |
| ОПК-5-У1 Разрабатывать конструкции полевых полупроводниковых приборов. |
| ОПК-5-У2 Ставить задачи в области разработки полевых полупроводниковых приборов. |
| ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники |
| Уметь: |
| ПК-5-У2 Составлять технический отчет по результатам расчетов, моделирования и измерений опытных образцов изделий электронной техники. |
| ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности |
| Уметь: |
| ОПК-1-У1 Применять методы расчета параметров и характеристик полупроводниковых приборов. |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Уметь: |
| ОПК-2-У1 Производить настройку и калибровку оборудования для проведения измерений и испытаний опытных партий |

| |
|--|
| полевых полупроводниковых приборов. |
| ОПК-2-У3 Интерпретировать результаты испытаний опытных партий полупроводниковых диодов Шоттки, МДП структур и полевых транзисторов. |
| ОПК-2-У2 Проводить измерения и испытания опытных образцов изделий электронной техники. |
| ОПК-5: Способен демонстрировать практические навыки для решения задач и реализации проектов, в области, соответствующей профилю подготовки, применять знание экономических, организационных и управленческих вопросов, таких как: управление проектами, рисками и изменениями |
| Владеть: |
| ОПК-5-В1 Навыками разработки различных классов полевых полупроводниковых приборов. |
| ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники |
| Владеть: |
| ПК-5-В1 Методами характеристики полупроводниковых приборов. |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Владеть: |
| ОПК-2-В2 Навыками статистической обработки экспериментальных данных. |
| ОПК-2-В1 Навыками калибровки и настройки измерительного оборудования, находящегося в составе измерительных комплексов. |
| ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности |
| Владеть: |
| ОПК-1-В1 Навыками расчета физических параметров и характеристик полупроводниковых приборов. |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Владеть: |
| ОПК-2-В5 Навыками работы на персональном компьютере на уровне уверенного пользователя, применять специализированное программное обеспечение. |
| ОПК-2-В4 Начальными навыками моделирования характеристик полупроводниковых приборов. |
| ОПК-2-В3 Навыками работы в современных математических пакетах и программах для численного анализа экспериментальных данных и научной графики. |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|------------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. МДП-транзисторы | | | | | | | |
| 1.1 | Зонные диаграммы идеальной МДП-структуры при различных смещениях. Образование инверсного слоя. Пороговое напряжение. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.5 Л2.7 Л2.13 Э1 | | | |
| 1.2 | Влияние разницы работ выхода между металлом и полупроводником. Напряжение плоских зон. Идеальная ВФХ МДП-структур. Частотная зависимость ВФХ. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.5 Л2.7 Л2.13 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|--|--|--|--|--|
| 1.3 | Эффекты неидеальности в МДП-структурах: заряд в окисле, заряд поверхностных состояний. Реальная ВФХ. Влияние технологических факторов. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.13 Э1 | | | |
| 1.4 | Практическое занятие №1. Построение зонных диаграмм идеальных МДП-структур при различных смещениях. Расчет порогового напряжения, напряжения плоских зон и емкости идеальной МДП-структуры. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л1.2Л2.13Л3 .7 Э1 | | | |
| 1.5 | Практическое занятие №2. Расчет порогового напряжения, напряжения плоских зон и емкости МДП-структур с учетом эффектов неидеальности. ВФХ реальной МДП структуры. Влияние технологических особенностей создания. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.13Л3 .7 Э1 | | | |
| 1.6 | Подготовка к лабораторной работе №1 "Исследование вольт-фарадных характеристик структур металл-диэлектрик полупроводник". /Ср/ | 7 | 4 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-5-31 | Л2.7 Л1.2 Л2.13Л2.1 Л2.3Л3.4 Л3.7 | | | |
| 1.7 | Лабораторная работа №1 "Исследование вольт-фарадных характеристик структур металл-диэлектрик полупроводник". /Лаб/ | 7 | 5 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ОПК-2-В3 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-В1 | Л2.7 Л1.2 Л2.13Л2.1 Л2.3Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 1.8 | Конструкция и принцип работы МДП-транзисторов. Основные параметры. Технологические особенности создания. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ПК-5-31 | Л1.2Л2.13 Э1 Э3 | | | |
| 1.9 | Идеальная ВАХ МДП-транзистора. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.13 Э1 | | | |
| 1.10 | Частотные характеристики МДП-транзистора. Малосигнальная эквивалентная схема. Конструктивные и технологические ограничения частотного диапазона. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.13Л3 .7 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---|---|--|---|--|--|--|
| 1.11 | Эффекты неидеальности в МДП транзисторах. /Лек/ | 7 | 4 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 | Л1.2Л2.13 Э1 | | | |
| 1.12 | Практическое занятие №3. Изучение ВАХ МДП-транзисторов. Расчет конструкции МДП ПТ и их основных параметров. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 | Л1.2Л2.13Л3 .7 Э1 | | | |
| 1.13 | Практическое занятие №4. Расчет частотных характеристик и параметров эквивалентной схемы МДП транзисторов. Конструктивные и технологические ограничения частотного диапазона. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 | Л1.2Л2.13Л3 .7 Э1 | | | |
| 1.14 | Подготовка к контрольной работе №1 «Расчет параметров МДП-транзисторов». /Ср/ | 7 | 3 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л1.2Л2.13Л3 .2 Л3.7 Э1 Э2 | | | |
| 1.15 | Подготовка к лабораторной работе №2 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых МДП-транзисторов". /Ср/ | 7 | 5 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-5-31 | Л1.2 Л2.13Л2.1 Л2.3 Л2.14Л3.4 Л3.7 Э1 Э2 | | | |
| 1.16 | Лабораторная работа №2 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых МДП-транзисторов". /Лаб/ | 7 | 6 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ОПК-2-В3 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-В1 | Л1.2 Л2.13Л2.1 Л2.3 Л2.14Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 1.17 | Изучение литературы по разделу, выполнение и оформление расчетно-графической работы №1 «Расчёт конструкции и характеристик МДП-транзистора» /Ср/ | 7 | 7 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-2-В3 ОПК-2-В4 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-5-В1 | Л1.2Л2.7 Л2.13Л3.2 Л3.7 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |
| Раздел 2. Диоды Шоттки | | | | | | | | |
| 2.1 | Конструкция и принцип работы диодов с контактом Шоттки. ВАХ. Эффект Шоттки. Влияние поверхностных состояний. Сравнение с р-п переходом. /Лек/ | 7 | 4 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ПК-5-31 | Л1.2 Л1.3Л2.4 Л2.12 Л2.13Л3.6 Э1 Э2 Э3 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|--|---|--|--|--|
| 2.2 | Практическое занятие №5. "Расчет характеристик и основных параметров диодов Шоттки. Конструкции и технологические особенности формирования". /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 | Л1.2Л2.4 Л2.12 Л2.13Л3.6 Э1 Э2 | | | |
| 2.3 | Изучение литературы по разделу, подготовка к контрольной работе №2 «Расчет параметров диодов Шоттки». /Ср/ | 7 | 3 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 | Л1.2Л2.4 Л2.12 Л2.13Л3.6 Э1 Э2 | | | |
| | Раздел 3. Полевые транзисторы с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки | | | | | | | |
| 3.1 | Принципы работы полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Основные параметры полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Конструкции, технологические схемы создания. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ПК-5-31 | Л1.2Л2.11 Л2.13Л3.7 Э1 Э3 | | | |
| 3.2 | Идеальная ВАХ для полевого транзистора с управляющим р-п переходом. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 | Л1.2Л2.11 Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 3.3 | Эффекты неидеальности в полевых транзисторах с управляющим р-п переходом. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 | Л1.2 Э1 | | | |
| 3.4 | Практическое занятие №6. Изучение ВАХ полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Расчет конструкций и основных параметров ПТ с р-п переходом. /Пр/ | 7 | 1 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 3.5 | Частотные характеристики полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Малосигнальная эквивалентная схема. Конструктивные и технологические ограничения частотного диапазона. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.11 Э1 | | | |
| 3.6 | Полевые транзисторы с затвором Шоттки. Конструкции и технологии создания. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.2 Л2.11 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|--|---|--|--|----|
| 3.7 | Практическое занятие №7. Расчет частотных характеристик и параметров эквивалентной схемы полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Конструктивные и технологические ограничения частотного диапазона. /Пр/ | 7 | 1 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 ПК-5-31 | Л1.2Л2.11 Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 3.8 | Практическое занятие №8. Изучение влияния эффектов неидеальности на характеристики и основные параметры полупроводниковых транзисторов с управляющим р-п переходом. /Пр/ | 7 | 1 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 | Л1.2Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 3.9 | Практическое занятие №9. Изучение характеристик полевых транзисторов с затвором Шоттки. Конструкции и технологии создания. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 | Л1.2 Л2.11Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 3.10 | Подготовка к лабораторной работе №3 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки". /Ср/ | 7 | 4 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-5-31 | Л1.2 Л2.11Л2.1 Л2.3 Л2.14Л3.4 Л3.7 Э1 Э2 | | | |
| 3.11 | Лабораторная работа №6 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки". /Лаб/ | 7 | 6 | ОПК-1-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-33 ОПК-2-34 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ОПК-2-У3 ОПК-2-В1 ОПК-2-В2 ОПК-2-В3 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-В1 | Л1.2Л2.1 Л2.3 Л2.14Л3.4 Л3.7 Э1 | | | Р4 |
| 3.12 | Изучение литературы по разделу, подготовка к контрольной работе №3 «Расчет параметров транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки» /Ср/ | 7 | 3 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 | Л1.2 Л2.11Л2.13Л3.4 Л3.7 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |

| | | | | | | | | |
|--|---|---|----|--|---|--|--|--|
| 3.13 | Выполнение и оформление расчетно-графической работы №2 «Расчет характеристик полевого транзистора с барьером Шоттки» /Ср/ | 7 | 7 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-2-В3 ОПК-2-В4 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-5-В1 | Л1.2 Л2.11Л2.13Л 3.4 Л3.7 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |
| Раздел 4. Транзисторы с высокой подвижностью электронов | | | | | | | | |
| 4.1 | Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов. Конструкции и технология создания. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ПК-5-31 | Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.9 Э1 Э3 | | | |
| 4.2 | Практическое занятие №10 Изучение характеристик полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов. Расчет конструкций и параметров. /Пр/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-5-31 | Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.9Л3.4 Л3.7 Э1 | | | |
| 4.3 | Изучение литературы по разделу. /Ср/ | 7 | 1 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.4 Л1.5Л2.9 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |
| Раздел 5. Биполярные транзисторы с изолированным затвором | | | | | | | | |
| 5.1 | Биполярные транзисторы с изолированным затвором. /Лек/ | 7 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 ПК-5-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.6 Л2.13 Э1 Э3 | | | |
| 5.2 | Изучение литературы по разделу. /Ср/ | 7 | 1 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-5-31 | Л1.1 Л1.2Л3.6 Э1 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |
| 5.3 | Выполнение курсовой работы «Проектирование биполярного транзистора». /Ср/ | 7 | 20 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-2-В3 ОПК-2-В4 ОПК-2-В5 ОПК-5-31 ОПК-5-У1 ОПК-5-У2 ОПК-5-В1 | Л2.6 Л1.2Л2.2 Л2.8 Л2.10 Л2.13 Л3.6Л2.14 Л3.2 Л3.3 Л3.5 Э1 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7 | | | |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|
|--------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|

| | | | |
|-----|---|---|--|
| КМ1 | Вопросы для подготовки к экзамену и практическим занятиям (7 семестр) | ОПК-5-31;ОПК-2-33;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ПК-5-31 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Зонная диаграмма барьера Шоттки при нулевом, обратном и прямом смещении. 2. Токи в барьере Шоттки при прямом и обратном смещении. 3. Эффект понижения высоты барьера Шоттки и его влияние на ток обратный насыщения диода Шоттки. 4. Влияние поверхностных состояний на характеристики диодов с барьером Шоттки. 5. Прямые и обратные ВАХ диодов на основе р-п перехода и барьера Шоттки, причины различия. 6. Механизмы токопереноса в диоде Шоттки. 7. Различие в характеристиках переключения диодов на основе р-п перехода и барьера Шоттки. 8. Омические контакты; 9. Принцип работы полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. 10. ВАХ полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. 11. Механизм насыщения тока стока транзисторов с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. 12. Напряжение отсечки полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. 13. Крутизна полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. 14. Полевые транзисторы с барьером Шоттки, работающие в режиме обогащения. 15. Эффект насыщения дрейфовой скорости носителей в полевых транзисторах с управляющим переходом. 16. Эффект модуляции длины канала в полевых транзисторах с управляющим переходом. 17. Пробой полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. 18. Малосигнальная эквивалентная схема полевого транзистора с р-п переходом. 19. Частотные ограничения полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. 20. Зонная диаграмма МДП структуры при различных смещениях. 21. Возникновение инверсионного слоя в МДП структуре. 22. Обедненный слой в МДП структуре, причины наличия максимальной ширины; 23. Разница работ выхода между металлом и полупроводником в МДП структуре (на примере Al, n- и р-поликремния). 24. Напряжение плоских зон. 25. Пороговое напряжение. 26. Высокочастотные, низкочастотные и импульсные ВФХ МДП структур на основе кремния n и р-типа. 27. Влияние зарядов в окисле и поверхностных состояний на ВФХ МДП структур. 28. Структура и принцип работы МДП транзисторов (р- и n-канальные). 29. ВАХ МДП транзистора (линейная область, область насыщения). 30. Механизм насыщения тока стока МДП транзистора. 31. Эффект модуляции длины канала в МДП транзисторах, эффект насыщения дрейфовой скорости носителей, подпороговые эффекты. 32. Эффект насыщения дрейфовой скорости носителей в МДП транзисторах. модуляция длины канала, эффект насыщения дрейфовой скорости носителей, подпороговые эффекты. 33. Подпороговые характеристики МДП транзисторов. 34. Пробой полевых МДП транзисторов. 35. Малосигнальная эквивалентная схема МДП транзистора. 36. Частотные ограничения МДП транзистора. 37. Транзисторы с высокой подвижностью электронов. 38. Мощные полевые транзисторы: основные параметры, требования к конструкции. 39. СВЧ полевые транзисторы: основные параметры, требования к конструкции. 40. Биполярные транзисторы с изолированным затвором. |
|-----|---|---|--|

| | | | |
|-----|---|-------------------------------------|---|
| КМ2 | Контрольная работа 1 «Расчет параметров МДП-транзисторов» (7 сем) | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <p>Примеры задач (в варианте 2 задачи):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить разницу работ выхода между металлом и полупроводником и пороговое напряжение для МДП структуры при 300 К со следующими параметрами: р⁺-поликремниевый затвор, $NA = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $t_{ox} = 8 \text{ нм}$ и $Q_{ss} = 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. 2. Диоды с р-n переходом и барьером Шоттки имеют одинаковую площадь и прямой ток 0.5 мА. Обратный ток насыщения диода с барьером Шоттки составляет $5 \cdot 10^{-7} \text{ А}$. Разница в напряжении прямого смещения составляет 0.30 В. Определить обратный ток насыщения диода с р-n переходом. 3. Кремниевый n-канальный МДП-транзистор имеет следующие параметры: $\mu_n = 420 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, толщина окисла $t_{ox} = 18 \text{ нм}$, длина канала $L = 1.2 \text{ мкм}$, ширина канала $W = 24 \text{ мкм}$, пороговое напряжение $V_T = 0.4 \text{ В}$. Транзистор находится в режиме насыщения при напряжении затвор-исток $V_{GS} = 1.5 \text{ В}$. Определить граничную частоту прибора. 4. Найти максимальную ширину обедненной области в МДП-структуре на кремнии р-типа ($NA = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$). Как она изменится с уменьшением уровня легирования подложки. 5. Определить разницу работ выхода между металлом и полупроводником для МПД структуры Al/SiO₂/Si. $\phi_m = 3.20 \text{ эВ}$, $\chi'(\text{Si/SiO}_2) = 3.25 \text{ эВ}$, $E_g = 1.12 \text{ эВ}$, $NA = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. 6. n-канальный МДП транзистор имеет следующие параметры: $\mu_n = 650 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $t_{ox} = 8 \text{ нм}$, $W/L = 12$ и $V_T = 0.40 \text{ В}$. Транзистор находится в режиме насыщения. Найти ток стока при следующих напряжениях затвор-исток: (а) $V_{GS} = 0.8 \text{ В}$, (б) $V_{GS} = 1.2 \text{ В}$, (в) $V_{GS} = 1.6 \text{ В}$. 7. Кремниевый n-канальный МДП-транзистор имеет следующие параметры: $\mu_n = 650 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, длина канала $L = 4 \text{ мкм}$, $V_T = 1 \text{ В}$ и $V_{GS} = 3 \text{ В}$. Определить граничную частоту прибора. 8. n-канальный МДП транзистор имеет следующие параметры: ширина канала $W = 6 \text{ мкм}$, длина канала $L = 1.5 \text{ мкм}$ и толщина оксида $t_{ox} = 8 \text{ нм}$. В режиме насыщения ток стока $I_{D(sat)}$ составляет 0.132 мА при напряжении затвор-исток $V_{GS} = 1.0 \text{ В}$ и 0.295 мА при $V_{GS} = 1.25 \text{ В}$. Определить подвижность электронов и пороговое напряжение. |
| КМ3 | Контрольная работа 2 «Расчет параметров диодов Шоттки» (7 сем) | ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <p>Примеры задач (в варианте 1 задача):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить для контакта Шоттки на основе Cr ($\phi_m = 4.5 \text{ эВ}$) к Si ($\chi = 4.01 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) при 300 К идеальную высоту барьера и контактную разность потенциалов. 2. Определить для контакта Шоттки на основе Cr ($\phi_m = 4.5 \text{ эВ}$) к Si ($\chi = 4.01 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) при 300 К максимальную напряженность электрического поля и удельную ёмкость перехода при обратном смещении 5 В. 3. Определить для контакта Шоттки на основе Pd ($\phi_m = 5.12 \text{ эВ}$) к GaAs ($\chi = 4.07 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) при 300 К идеальную высоту барьера и контактную разность потенциалов. 4. Определить для контакта Шоттки на основе Pd ($\phi_m = 5.12 \text{ эВ}$) к GaAs ($\chi = 4.07 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) при 300 К максимальную напряженность электрического поля и удельную ёмкость перехода при обратном смещении 5 В. 5. Определить для контакта Шоттки на основе вольфрама ($\phi_m = 4.55 \text{ эВ}$) к GaAs ($\chi = 4.07 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) при 300 К следующие параметры: (а) идеальную высоту барьера, (б) контактную разность потенциалов, (в) максимальную напряженность электрического поля при нулевом смещении. 6. Найти уменьшение высоты барьера при обратном смещении 1 и 5 В для контакта Шоттки на основе вольфрама ($\phi_m = 4.55 \text{ эВ}$) к Si ($\chi = 4.01 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$). 7. Найти уменьшение высоты барьера и положение максимума высоты барьера для контакта Шоттки на основе Cr ($\phi_m = 4.5 \text{ эВ}$) к Si ($\chi = 4.01 \text{ эВ}$) n-типа ($ND = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$). Максимальную напряженность электрического поля E_{max} принять равной $6.98 \cdot 10^4 \text{ В/см}$. 8. Обратный ток насыщения р-n-перехода составляет $1 \cdot 10^{-14} \text{ А}$, а барьера Шоттки - $1 \cdot 10^{-9} \text{ А}$. Определить, какое прямое смещение нужно подать на диоды для получение тока в 100 А. |

| | | | |
|-----|---|--|---|
| КМ4 | Контрольная работа 3 «Расчет параметров транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки» (7 сем) | ОПК-5-31;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <p>Примеры задач (в варианте 2 задачи):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Кремниевый n-канальный транзистор ($T = 300 \text{ K}$) имеет уровень легирования затворной области $N_A = 1e18 \text{ см}^{-3}$ и уровень легирования канала $N_D = 2e16 \text{ см}^{-3}$. Определить металлургическую ширину канала a, если напряжение отсечки V_P составляет 2.5 В. 2. Кремниевый p-канальный транзистор ($T = 300 \text{ K}$) имеет уровень легирования затворной области $N_D = 1e18 \text{ см}^{-3}$ и уровень легирования канала $N_A = 1e16 \text{ см}^{-3}$. Определить напряжение отсечки V_P, если металлургическая ширина канала a составляет 0.4 мкм. 3. Найти максимальный ток стока $I_D(\text{sat})$ кремниевого n-канального транзистора с p-n переходом при напряжении затвористок $V_{GS} = 0$, если $N_A = 1e18 \text{ см}^{-3}$, $N_D = 1e16 \text{ см}^{-3}$, металлургическая ширина канала a составляет 0.4 мкм, длина канала $L = 5 \text{ мкм}$, ширина канала $W = 50 \text{ мкм}$, подвижность электронов $\mu_n = 900 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. 4. Определить максимальную крутизну кремниевого n-канального транзистора с p-n переходом при напряжении затвористок $V_{GS} = 0$, если $N_A = 1e18 \text{ см}^{-3}$, $N_D = 1e16 \text{ см}^{-3}$, металлургическая ширина канала a составляет 0.4 мкм, длина канала $L = 5 \text{ мкм}$, ширина канала $W = 50 \text{ мкм}$, подвижность электронов $\mu_n = 900 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. 5. В n-канальном GaAs транзисторе с барьером Шоттки высота барьера ϕ_{Bn} составляет 0.85 эВ. Уровень легирования канала $N_D = 5e15 \text{ см}^{-3}$, а толщина канала a составляет 0.4 мкм. Определить внутреннее напряжение отсечки и пороговое напряжение. 6. В n-канальном GaAs транзисторе с барьером Шоттки высота барьера ϕ_{Bn} составляет 0.89 В. Уровень легирования канала $N_D = 2e15 \text{ см}^{-3}$. Определить толщину канала, необходимую для достижения порогового напряжения $V_T = + 0.25 \text{ В}$. 7. В n-канальном GaAs транзисторе с барьером Шоттки высота барьера ϕ_{Bn} составляет 0.85 В, уровень легирования канала $N_D = 5e15 \text{ см}^{-3}$, толщина канала a составляет 0.4 мкм, $\mu_n = 7000 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, длина канала $L = 0.8 \text{ мкм}$ и ширина канала $W = 25 \text{ мкм}$. Определить ток стока насыщения $I_D(\text{sat})$. |
|-----|---|--|---|

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
|------------|--|--|---|
| Р1 | Лабораторная работа №1 "Исследование вольт-фарадных характеристик структур металл-диэлектрик полупроводник". | ОПК-5-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-33;ОПК-2-34;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-У3;ОПК-2-В1;ОПК-2-В2;ОПК-2-В3;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1 | Измерение вольт-фарадных характеристик структур металл-диэлектрик полупроводник, анализ полученных характеристик и расчет параметров полупроводника, диэлектрика и границы раздела. |
| Р2 | Лабораторная работа №2 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых МДП-транзисторов". | ОПК-5-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-33;ОПК-2-34;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-У3;ОПК-2-В1;ОПК-2-В2;ОПК-2-В3;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1 | Измерение статических выходных вольт-амперных характеристик полевых МДП-транзисторов различного типа, их анализ и построение проходных характеристик, построение зависимостей крутизны от напряжения на затворе, выбор рабочей точки. |

| | | | |
|----|---|--|---|
| P3 | Задание на расчетно-графическую работу 1 «Расчёт конструкции и характеристик МДП-транзистора» (7 семестр) | ОПК-5-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-2-В3;ОПК-2-В4;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Построить зонную диаграмму МДП-структуры при равновесии (до и после контакта); 2. Построить распределения носителей заряда, электрического поля и потенциала при равновесии; 3. Определить напряжение плоских зон, построить зонную диаграмму МДП-структуры, распределения носителей заряда, электрического поля и потенциала при напряжении плоских зон; 4. Определить пороговое напряжение, построить зонную диаграмму МДП-структуры, распределения носителей заряда, электрического поля и потенциала при пороговом напряжении; 5. Рассчитать и построить низко- и высокочастотные ВФХ МДП-структуры. 6. Рассчитать зависимость напряжения стока насыщения от напряжения на затворе. 7. Рассчитать и построить теоретические вольтамперные характеристики транзистора. 8. Рассчитать крутизну вольтамперной характеристики. 9. Определить граничную частоту транзистора. 10. Построить малосигнальную эквивалентную схему транзистора. |
| P4 | Лабораторная работа №3 "Изучение статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки" | ОПК-5-31;ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-33;ОПК-2-34;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ОПК-2-У3;ОПК-2-В1;ОПК-2-В2;ОПК-2-В3;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-В1 | Измерение статических выходных вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки различного типа, их анализ и построение проходных характеристик, построение зависимостей крутизны от напряжения на затворе, выбор рабочей точки. |
| P5 | Задание на расчетно-графическую работу 2 «Расчет характеристик полевого транзистора с барьером Шоттки» (7 семестр) | ОПК-5-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-2-В3;ОПК-2-В4;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить уровень легирования подложки и глубину канала, обеспечивающие заданное пороговое напряжение. 2. Определить высоту контакта Шоттки и контактную разность потенциалов; 3. Изобразить равновесную зонную диаграмму, распределение электрического поля и потенциала контакта Шоттки (с учетом эффекта Шоттки); 4. Изобразить зонную диаграмму, распределение электрического поля и потенциала контакта Шоттки при пороговом напряжении смещения (с учетом эффекта Шоттки); 5. Изобразить распределение электрического поля и потенциала при пороговом напряжении (с учетом эффекта Шоттки); 6. Определить обратный ток насыщения контакта Шоттки; 7. Рассчитать и построить теоретические вольтамперные характеристики транзистора. 8. Рассчитать крутизну вольтамперной характеристики. 9. Определить граничную частоту транзистора. 10. Построить малосигнальную эквивалентную схему транзистора. |

| | | | |
|----|---|--|--|
| Р6 | Задание на курсовую работу «Проектирование биполярного транзистора» | ОПК-5-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-У2;ОПК-5-В1;ОПК-2-В3;ОПК-2-В4;ОПК-2-В5;ОПК-1-31;ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | <p>Курсовая работа имеет индивидуальное задание для каждого студента с общей тематикой «Проектирование биполярного транзистора». В качестве исходных данных для конструирования транзистора задаются только основные параметры, определяемые назначением транзистора. Остальные параметры являются производными от основных.</p> <p>Расчет и конструирование транзистора проводятся методами последовательного приближения в три этапа в следующей последовательности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Предварительные расчеты и конструирование макета с учетом технологических возможностей его реального воплощения. 2. Уточнения и корректировка макета для обеспечения всей совокупности заданных параметров и выбор конструкции транзистора. 3. Составление полной эквивалентной схемы и расчет параметров сконструированного транзистора. <p>Варианты заданий на курсовую работу:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Маломощный СВЧ-транзистор, предназначенный для работы в выходных каскадах промежуточной частоты телевизоров. $I_{кб0}=0.5\text{мкА}$, $h_{21э}=80$ ($U_{кэ}=1\text{В}$, $I_э=10\text{мА}$), $f_{гр}=800\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=300\text{мВт}$, $S_{к}=3\text{пФ}$, $U_{кб\text{ макс}}=20\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=30,0\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$. 2) Мощный транзистор, средней частоты, предназначенный для работы в схемах кадровой развертки телевизоров. $I_{кб0}=60\text{мкА}$, $h_{21э}=45$, $f_{гр}=20\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=10\text{Вт}$, $U_{кэ\text{ макс}}=100\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=0.5\text{А}$, $t_{j\text{ акс}}=500\text{С}$. 3) Высокочастотный транзистор средней мощности, предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=20\text{мкА}$, $h_{21э}=60$, $f_{гр}=200\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.9\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=400\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=150\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$. 4) Маломощный СВЧ-транзистор, предназначенный для работы в выходных каскадах промежуточной частоты телевизоров. $I_{кб0}=0.6\text{мкА}$, $h_{21э}=60$ ($U_{кэ}=2\text{В}$, $I_э=20\text{мА}$), $f_{гр}=700\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=400\text{мВт}$, $S_{к}=5\text{пФ}$, $U_{кб\text{ макс}}=25\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=30,0\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$. 5) Высокочастотный транзистор средней мощности, предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=30\text{мкА}$, $h_{21э}=60$, $f_{гр}=250\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.7\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=300\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=100\text{мА}$, $t_{j\text{ акс}}=600\text{С}$. 6) Мощный транзистор, средней частоты, предназначенный для работы в схемах кадровой развертки телевизоров. $I_{кб0}=50\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=30\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=10\text{Вт}$, $U_{кэ\text{ макс}}=150\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=0.6\text{А}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$. 7) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников радиотелеуправления. $I_{кб0}<3\text{мкА}$, $h_{21э}>40$, $f_{гр}>300\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=25\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=25\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=400\text{С}$. 8) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников дециметрового диапазона. $I_{кб0}<5\text{мкА}$, $h_{21э}>70$, $f_{гр}>800\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=12\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=7\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=400\text{С}$. 9) Мощный транзистор средней частоты, предназначенный для работы в схемах кадровой развертки телевизоров. $I_{кб0}=50\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=30\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=8\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=200\text{В}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$. 10) Высокочастотный транзистор средней мощности, предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=20\text{мкА}$, $h_{21э}=40$, $f_{гр}=300\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.9\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=400\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=0.8\text{А}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$. 11) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников дециметрового диапазона. $I_{кб0}<5\text{мкА}$, $h_{21э}>50$, $f_{гр}>900\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=10\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=12\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=400\text{С}$. 12) Мощный транзистор, средней частоты, предназначенный для работы в схемах кадровой развертки телевизоров. $I_{кб0}=60\text{мкА}$, $h_{21э}=45$, $f_{гр}=20\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=10\text{Вт}$, $U_{кэ\text{ макс}}=100\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=0.5\text{А}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$. 13) Высокочастотный транзистор средней мощности, |
|----|---|--|--|

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=20\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=100\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.8\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=200\text{В}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$.</p> <p>14) Мощный СВЧ-транзистор для оконечных каскадов передающих устройств в аппаратуре связи. $I_{кб0}=40\text{мкА}$, $h_{21э}=30$, $f_{гр}=900\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=3.5\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=60\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=500\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$.</p> <p>15) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников дециметрового диапазона. $I_{кб0}<3\text{мкА}$, $h_{21э}>50$, $f_{гр}>800\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=15\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=15\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=400\text{С}$.</p> <p>16) Мощный транзистор, средней частоты, предназначенный для работы в схемах кадровой развертки телевизоров. $I_{кб0}=50\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=100\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=15\text{Вт}$, $U_{кэ\text{ макс}}=80\text{В}$. $I_{к\text{ макс}}=1.0\text{А}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>17) Высокочастотный транзистор средней мощности, предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=20\text{мкА}$, $h_{21э}=40$, $f_{гр}=130\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.9\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=250\text{В}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>18) Мощный СВЧ-транзистор для оконечных каскадов передающих устройств в аппаратах связи. $I_{кб0}=30\text{мкА}$, $h_{21э}=40$, $f_{гр}=850\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=4.0\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=50\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=300\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>19) Маломощный СВЧ-транзистор, предназначенный для работы в выходных каскадах промежуточной частоты телевизоров. $I_{кб0}=0.7\text{мкА}$, $h_{21э}=60$ ($U_{кэ}=1\text{В}$, $I_{э}=8\text{мА}$), $f_{гр}=850\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=400\text{мВт}$, $S_{к}=5\text{пФ}$, $U_{кб\text{ макс}}=15\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=40,0\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>20) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников радиотелеуправления. $I_{кб0}<5\text{мкА}$, $h_{21э}>50$, $f_{гр}>400\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=30\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=20\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>21) Мощный СВЧ-транзистор для оконечных каскадов передающих устройств в аппаратуре связи. $I_{кб0}=30\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=850\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=3.0\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=70\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=400\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>22) Высокочастотный транзистор средней мощности, предназначенный для использования в операционных усилителях, видеоусилителях, генераторах разверток выходных каскадов. $I_{кб0}=25\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=110\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=0.6\text{Вт}$, $U_{кб\text{ макс}}=200\text{В}$, $t_{j\text{ макс}}=500\text{С}$.</p> <p>23) Мощный СВЧ-транзистор для оконечных каскадов передающих устройств в аппаратуре связи. $I_{кб0}=20\text{мкА}$, $h_{21э}=50$, $f_{гр}=750\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=3.0\text{Вт}$, $U_{кэ\text{ макс}}=40\text{В}$. $I_{к\text{ макс}}=400\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$.</p> <p>24) Маломощный СВЧ-транзистор, предназначенный для работы в выходных каскадах промежуточной частоты телевизоров. $I_{кб0}=0.5\text{мкА}$, $h_{21э}=40$ ($U_{кэ}=2\text{В}$, $I_{э}=6\text{мА}$), $f_{гр}=800\text{МГц}$, $P_{к\text{ макс}}=300\text{мВт}$, $S_{к}=3\text{пФ}$, $U_{кб\text{ макс}}=10\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=30,0\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=400\text{С}$.</p> <p>25) Маломощный высокочастотный транзистор для приемников радиотелеуправления. $I_{кб0}<4\text{мкА}$, $h_{21э}>40$, $f_{гр}>300\text{МГц}$, $U_{кэ\text{ макс}}=40\text{В}$, $I_{к\text{ макс}}=30\text{мА}$, $t_{j\text{ макс}}=600\text{С}$.</p> |
|--|--|---|

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и одной задачи. Задачи в билетах являются типовыми и подобные задачи обучающийся решает по ходу выполнения текущих работ дисциплины.

Билеты хранятся на кафедре.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- 1) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- 2) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- 3) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- 4) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы;
- 5) «неявка» – обучающийся на экзамен не явился.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|---|------------------------|--------------------------|
| Л1.1 | Белоус А. И., Ефименко С. А., Турцевич А. С. | Полупроводниковая силовая электроника | Электронная библиотека | Москва: Техносфера, 2013 |
| Л1.2 | Зи С. М., Трутко А. Ф. | Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ. | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1973 |
| Л1.3 | Кольцов Г. И. | СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: Разд.: Гетеробиполярные СВЧ-транзисторы: учеб. пособие для студ. спец. 200.200 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1998 |
| Л1.4 | Ковалев А. Н. | Гетероструктурная нанoeлектроника: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2009 |
| Л1.5 | Ковалев А. Н. | Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------|---|------------------------|--|
| Л2.1 | Попов В. С. | Электротехнические измерения и приборы | Электронная библиотека | Москва, Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1963 |
| Л2.2 | Николаевский И. Ф. | Транзисторы и полупроводниковые диоды: монография | Электронная библиотека | Москва: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1963 |
| Л2.3 | Горбунова Т. С. | Измерения, испытания и контроль. Методы и средства: учебное пособие | Электронная библиотека | Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2012 |
| Л2.4 | Ханефт А. В. | Ионные и электронные процессы и контактные явления в широкозонных полупроводниках: электронное учебное пособие: учебное пособие | Электронная библиотека | Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2014 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|---|------------------------|------------------------|
| Л2.5 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1977 |
| Л2.6 | Колесников В. Г., Никишин В. И., Сыдоров В. Ф., др., Федотов Я. А. | Кремниевые планарные транзисторы | Библиотека МИСиС | М.: Сов.радио, 1973 |
| Л2.7 | Киреев П. С. | Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1969 |
| Л2.8 | Наумкина Л. Г. | Полупроводниковые приборы и физические основы их работы | Библиотека МИСиС | , 2005 |
| Л2.9 | Кольцов Г. И. | СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: Разд.: Расчет параметров селективно легированного гетеротранзистора: учеб. пособие для студ. спец. 200.200 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1998 |
| Л2.10 | Кольцов Г. И., Мадоян С. Г., Ладыгин Е. А. | Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем. Разд.: Расчет и технология планарных полупроводниковых приборов: Учеб. пособие для курсового проектирования | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1978 |
| Л2.11 | Кольцов Г. И. | СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: Разд.: Полевые транзисторы GaAs с затвором в виде барьера Шоттки: учеб. пособие для студ. спец. 200.200 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1998 |
| Л2.12 | Ковалев А. Н., Фоломин П. И. | Твердотельная электроника: Разд.: Контактные явления: Учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1997 |
| Л2.13 | Ковалев А. Н. | Твердотельная электроника: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2010 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|---|------------------------|------------------------|
| Л3.1 | Горюнов Н. Н., Клейман А. Ю., Комков Н. Н., др., Горюнов Н. Н. | Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1972 |
| Л3.2 | Кольцов Г. И., Диденко С. И., Орлова М. Н. | Теория и расчет полупроводниковых приборов. Твердотельная электроника: лаб. практикум | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2010 |
| Л3.3 | Ладыгин Е. А., Курносков А. И., Савков Г. Н., Мельников А. Л., Ладыгин Е. А. | Технология полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Основные процессы планарной технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.02, 20.03 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1989 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|---|------------------|------------------------|
| ЛЗ.4 | Кольцов Г. И., Горюнов Н. Н., Диденко С. И. | Теория и расчет полупроводниковых приборов и интегральных схем: Разд.: Полевые транзисторы: Лаб. практикум для студ. спец. 2001 и напр. 5507: Ч.2: Лаб. работы 7-10 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |
| ЛЗ.5 | Кольцов Г. И., Мадоян С. Г., Диденко С. И., Ладыгин Е. А. | Теория и расчет полупроводниковых приборов и интегральных схем: Метод. указания к курсовому проектированию для студ. спец. 2001 напр. 5507 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |
| ЛЗ.6 | Кольцов Г. И., Диденко С. И., Орлова М. Н. | Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов: сб. задач | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |
| ЛЗ.7 | Диденко С. И., Астахов В. П., Барышников Ф. М., др. | Физические основы электроники. Полевые приборы: лаб. практикум др. | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2016 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|---|---|
| Э1 | | http://lib.misis.ru/elcat.html |
| Э2 | | http://elibrary.misis.ru/ |
| Э3 | ГОСТ Р 57436-2017 Приборы полупроводниковые. Термины и определения | http://docs.cntd.ru/document/1200144924 |
| Э4 | elibrary.ru | http://elibrary.ru/ |
| Э5 | Springer | https://link.springer.com/ |
| Э6 | Web of Science | https://apps.webofknowledge.com |
| Э7 | Scopus | https://www.scopus.com/ |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|---|
| П.1 | Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr |
| П.2 | Microsoft Office |
| П.3 | LMS Canvas |
| П.4 | MATLAB |
| П.5 | MATCAD |
| П.6 | CorelDRAW Graphics Suite X4 |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|------|--|
| И.1 | Научные журналы и статьи |
| И.2 | http://elibrary.ru/ |
| И.3 | https://link.springer.com/ |
| И.4 | Web of Science https://apps.webofknowledge.com |
| И.5 | Scopus https://www.scopus.com/ |
| И.6 | Elsevier https://www.sciencedirect.com/ |
| И.7 | Курс "Физика полупроводниковых приборов" на платформе LMS Canvas |
| И.8 | https://lms.misis.ru |
| И.9 | Электронная библиотека МИСиС |
| И.10 | http://elibrary.misis.ru/ |
| И.11 | Электронная библиотека издательство "Лань" |
| И.12 | https://e.lanbook.co |
| И.13 | Единое окно доступа к образовательным ресурсам |
| И.14 | https://window.edu.ru |

| 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ | | |
|--|--|--|
| Ауд. | Назначение | Оснащение |
| К-509 | Лаборатория | измеритель параметров пп Л2-31; анализатор импульсов АИ-1024-95; измеритель мощности МЗ-22А; измеритель RCL Е7-21; автоматизированный лабораторный стенд МЭ - ВФ; междисциплинарная лабораторная платформа с комплектом ПО NI ELVIS II+ (4 шт.); платы для изучения аналоговых элементов информационно-измерительной техники (5шт.); плата "Аналоговая электроника"; плата "Силовая электроника"(2 шт.); ноутбуки с ПО для проведения лабораторных работ 4 шт.; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |
| Читальный зал электронных ресурсов | | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Физика полупроводниковых приборов» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, блок-схемы измерительной установки, программы исследования и методических указаний по выполнению лабораторной работы. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.