

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 28.04.2023 13:07:53

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физика СВЧ полупроводниковых приборов

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 3

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

76

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	19			
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	76	76	76	76
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

-, *ст.преп., Черных Алексей Владимирович*;-, *ст.преп., Черных Сергей Владимирович*;к.ф.-м.н., *зав.каф., Диденко Сергей Иванович*

Рабочая программа

Физика СВЧ полупроводниковых приборов

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-22-2.plx , утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Целью дисциплины является ознакомление с основами СВЧ техники, принципами передачи, приема, усиления и детектирования СВЧ-сигналов; изучение физических принципов работы СВЧ полупроводниковых приборов; освоение принципов выбора материалов и подходов к расчету конструкций эпитаксиальных структур, используемых для создания СВЧ приборов; изучение конструкций, принципов проектирования и технологии создания СВЧ приборов различного назначения.
-----	--

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.05
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Компьютерные технологии в научных исследованиях	
2.1.2	Технология наногетероструктур	
2.1.3	Физика наноструктур	
2.1.4	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.5	Методы математического моделирования	
2.1.6	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.7	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.1.8	Микросхемотехника	
2.1.9	Планирование научной деятельности	
2.1.10	Приборные структуры на некристаллических материалах	
2.1.11	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках	
2.1.12	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.13	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.14	Перспективные технологии и материалы для поиска новых физических эффектов	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы	
Знать:	
ПК-3-32	Физические принципы измерения характеристик СВЧ полупроводниковых приборов.
ПК-3-31	Физические принципы генерации, усиления, передачи и детектирования СВЧ сигналов.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций	
Знать:	
ПК-2-32	Основные технологические операции создания СВЧ полупроводниковых приборов и их параметры.
ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники	
Знать:	
ПК-4-32	Физические, конструктивные, технологические ограничения при разработке приборов на различных полупроводниковых материалах.
ПК-4-31	Основные параметры и требования к материалам для создания СВЧ приборов различных классов.
ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы	
Знать:	
ПК-3-33	Методы и средства измерения параметров и характеристик СВЧ устройств.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области	
Знать:	
ОПК-2-31	Физические основы работы современных полупроводниковых приборов СВЧ диапазона.

ОПК-2-32 Физические принципы современных методов исследования СВЧ полупроводниковых приборов.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций
Знать:
ПК-2-31 Технологические методы создания полупроводниковых гетероструктур.
ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы
Уметь:
ПК-3-У3 Интерпретировать результаты испытаний опытных партий полупроводниковых СВЧ приборов.
ПК-3-У2 Проводить измерения и испытания полупроводниковых СВЧ приборов.
ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники
Уметь:
ПК-4-У1 Анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники.
ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы
Уметь:
ПК-3-У4 Оформлять протоколы измерений и испытаний опытных партий полупроводниковых СВЧ приборов, оформлять технические отчеты.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У2 Осуществлять экспериментальные исследования характеристик СВЧ полупроводниковых приборов и проводить их анализ.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций
Уметь:
ПК-2-У1 Выбирать параметры технологических процессов при разработке технологических маршрутов создания СВЧ полупроводниковых приборов.
ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы
Уметь:
ПК-3-У1 Производить настройку и калибровку оборудования для проведения испытаний образцов полупроводниковых СВЧ приборов.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У1 Представлять и аргументировано защищать результаты расчетных и экспериментальных работ.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций
Владеть:
ПК-2-В1 Навыками разработки технологических маршрутов создания СВЧ полупроводниковых приборов.
ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники
Владеть:
ПК-4-В1 Навыками разработки СВЧ приборов на различных полупроводниковых материалах.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Владеть:
ОПК-2-В1 Навыками расчета и моделирования характеристик СВЧ полупроводниковых приборов.
ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы
Владеть:
ПК-3-В1 Настройкой необходимого оборудования для проведения испытаний опытных образцов полупроводниковых СВЧ

приборов.

ПК-3-В2 Навыками калибровки измерительного оборудования, находящегося в составе испытательных СВЧ комплексов.

ПК-3-В3 Навыками проведения испытаний опытных партий полупроводниковых СВЧ приборов.

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. Техника СВЧ							
1.1	Способы генерации, передачи, приема и преобразования СВЧ сигналов. Элементы СВЧ устройств и СВЧ схем. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.1Л2.2 Л2.3 Э4 Э6			
1.2	Методы детектирования и измерения СВЧ сигнала. Генераторы и приемники СВЧ излучения. /Лек/	3	2	ПК-3-31 ПК-3-33	Л1.1Л2.2 Л2.3 Э1			
1.3	Практическое занятие №1 "Расчет коэффициентов отражения и передачи для СВЧ четырехполосника. Система S-параметров. Вывод уравнений." /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л2.3 Л1.2Л2.2 Э4		КМ1	
1.4	Самостоятельное изучение методов измерения электрических параметров электронных изделий СВЧ. Подготовка к семинару /Ср/	3	2	ОПК-2-32 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-33	Л1.1Л2.5 Э1 Э4 Э5 Э6 Э7			
1.5	Практическое занятие №2 "Методы и оборудование для измерения основных параметров СВЧ приборов". /Пр/	3	2	ОПК-2-32 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-3-У2	Л1.1Л2.5Л3. 2 Э1		КМ1	
	Раздел 2. Полупроводниковые СВЧ диоды							
2.1	Диоды СВЧ-диапазона. Смесительные, видео-, параметрические, ограничительные и переключательные диоды. Назначение, принцип работы, особенности конструкций и выбор материала. Технологические приемы создания. Устройства на основе диодных структур. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.6 Л2.10			
2.2	p-i-n диод. Расчет поля и потенциала. Вольт-амперная характеристика. Работа на переменном сигнале, эквивалентная схема. /Лек/	3	2	ОПК-2-31	Л1.6Л2.6			
2.3	Проработка лекционного материала. Подготовка к семинару. Изучение основных характеристик и параметров СВЧ диодов различных классов. /Ср/	3	2	ОПК-2-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.7 Л2.10 Э4 Э5 Э6 Э7			

2.4	Практическое занятие №3 "Расчет конструкций и параметров СВЧ диодов различных типов. Расчет эквивалентной схемы и частотных зависимостей полного сопротивления диодов. Технологические схемы изготовления." /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.10Л3 .5		КМ2	
	Раздел 3. СВЧ биполярные транзисторы							
3.1	Кремниевые СВЧ транзисторы. Физические принципы работы и конструкции. Технологические схемы создания. Физические и конструктивные ограничения частотного диапазона. Критерий выбора материала СВЧ БТ. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.5 Л1.6Л2.9 Л2.10 Л2.11 Э2			
3.2	Гетеробиполярный транзистор. Принцип работы. Коэффициенты, характеризующие работу транзистора. /Лек/	3	1	ОПК-2-31	Л1.6Л2.9 Л2.11 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.3	Анизотипный гетеропереход. Современные методы получения гетеропереходов. Поле и потенциал гетероперехода. Модели токопереноса. Коэффициент инжекции гетероэмиттера. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-31	Л1.6Л2.9 Л2.10 Л2.11			
3.4	Практическое занятие №4 "Методы выращивания гетероструктурного эмиттера. Требования к материалу эмиттера. Расчет зонной диаграммы гетеробиполярного транзистора." /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-4-32 ПК-2-31 ПК-4-У1	Л1.6Л2.9 Л2.11		КМ3	
3.5	Практическое занятие №5 "Расчет токов, протекающих в гетеробиполярном транзисторе. Расчет коэффициента инжекции гетероэмиттера, коэффициента переноса и коэффициентов усиления в схеме с общей базой и схеме с общим эмиттером" /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-4-32	Л1.6Л2.9 Л2.11		КМ3	

3.6	Гетеробиполярные транзисторы на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs и Si/SiGe. Технологические особенности получения гетероструктур. Конструкции и технология создания приборных структур. Конструктивные ограничения частотного диапазона. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.7	Методы повышения частотного диапазона гетеробиполярных транзисторов. Транзисторы на горячих электронах. Варизонная база. Создание квазиэлектрических полей в базе транзистора. Транзисторы с проницаемой базой. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.9 Л2.11 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.8	Проработка лекционного материала. Изучение характеристик и основных параметров биполярных транзисторов. /Ср/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-32	Л1.6Л2.7 Э2 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.9	Выполнение домашней работы №1 "Расчет характеристик и проектирование гетеробиполярного транзистора на основе GaAs" /Ср/	3	25	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л2.9 Л2.11Л2.8 Э4			P1
	Раздел 4. Полевые транзисторы СВЧ диапазона							
4.1	Полевой СВЧ транзистор с барьером Шоттки на основе GaAs. Физика работы, конструкция, технология, перспективные материалы. Проблемы повышения частотного диапазона. Переход к технологии селективно-легированных гетеространзисторов. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.10Л3.3 Л3.4 Э4 Э5 Э6 Э7			
4.2	Практическое занятие №6 "Расчет параметров эквивалентной схемы полевого транзистора с барьером Шоттки. Расчет граничной частоты. Влияние конструкции и технологических приемов изготовления на частотные характеристики." /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1	Л1.6 Л2.9 Л2.11Л3.3 Л3.4		КМ4	
4.3	Лабораторная работа №1 "Измерение параметров СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки на основе GaAs" /Лаб/	3	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-У3 ПК-3-У4 ПК-3-В1 ПК-3-В2 ПК-3-В3	Л1.1 Л1.6Л3.2 Э1 Э4			P2

4.4	Принцип модулированного легирования. Подвижность в двумерном электронном газе. Управление зарядом в ДЭГ. Селективно-легированный гетеротранзистор или НЕМТ (high-electron-mobility transistor). /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.3 Л1.6Л2.9 Л2.11Л2.12 Э4 Э5 Э6 Э7			
4.5	НЕМТ. Конструкции и технологические особенности создания транзисторов на гетероструктурах AlGaAs/GaAs, AlGaN/GaN и AlGaO/Ga2O3. Конструкции. Проблемы и перспективы. /Лек/	3	1	ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6Л2.9 Л2.10 Л2.11 Э4 Э5 Э6 Э7			
4.6	Проработка лекционного материала. Изучение типов и характеристик СВЧ полевых транзисторов, основных параметров и технологических особенностей создания. Подготовка к практическим занятиям. /Ср/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6 Л2.9 Л2.11Л2.7 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
4.7	Практическое занятие №7 "Расчет концентрации носителей в двумерном электронном газе. Расчет эквивалентной схемы селективно легированного гетеротранзистора. Расчет граничной частоты. Влияние конструкции и технологии на характеристики прибора" /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1	Л2.9 Л2.11Л2.12 Э4		КМ4	
4.8	Практическое занятие №8 "Подход к выбору конструкции гетероструктуры, расчет конструкции транзистора с высокой подвижностью электронов. Технологические особенности создания транзистора на гетероструктурах AlGaAs/GaAs, AlGaN/GaN и AlGaO/Ga2O3" /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ПК-4-32 ПК-4-У1	Л2.9 Л2.11Л2.12 Э4		КМ4	
4.9	Выполнение домашней работы №2 "Расчет характеристик и проектирование селективно легированного гетеротранзистора на основе GaAs" /Ср/	3	25	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л2.9 Л2.11Л2.12 Э4 Э5 Э6 Э7			Р3

4.10	Лабораторная работа №2 "Измерение шумовых характеристик СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки на основе GaAs" /Лаб/	3	6	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ПК -3-32 ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3 -У2 ПК-3-У3 ПК-3-У4 ПК-3 -В1 ПК-3-В2 ПК-3-В3	Л1.6Л3.2 Э1 Э4			Р4
4.11	Подготовка к контрольной работе № 1 "Расчет характеристик гетеробиполярного и полевого селективно легированного гетеротранзистора на основе GaAs" /Ср/	3	6	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.6 Л2.9 Л2.11Л2.12 Л2.8 Э4		КМ5	
Раздел 5. Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением								
5.1	Туннельные диоды. Резонансно-туннельный диод. Конструкции и технология формирования приборных структур. Принцип работы. Применение. Статические ВАХ, эквивалентная схема. Принцип генерации сигнала. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.6Л2.1 Л2.10 Э4			
5.2	Эквивалентная схема туннельного диода. Влияние конструкции на выходную мощность и частотные характеристики. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.6Л2.1 Э4			
5.3	Практическое занятие №9 "Расчет коэффициента прозрачности двухбарьерной гетероструктуры РТД. Расчет эквивалентных схем туннельных и резонансно-туннельных диодов." /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-4-32	Л1.3 Л1.4		КМ6	
5.4	Приборы работающие на эффекте междолинного перехода электронов. Диод Ганна. Физические принципы работы, требования к материалам, конструкции. Технологические особенности создания. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-32	Л1.6 Э4			
5.5	Диод Ганна. Режимы работы: обогащения заряда, доменный, режим с разрушением домена, ограничения накопления объемного заряда. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-32	Л1.6 Э4			

5.6	Практическое занятие №10 "Расчет конструкций диода Ганна на различных материалах исходя из заданных параметров прибора. Особенности конструкции и технологии приборных структур." /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.6		КМ6	
5.7	Практическое занятие №11 "Расчет токов, протекающих в диоде Ганна в различных рабочих режимах" /Пр/	3	2	ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.6		КМ6	
5.8	Приборы, обладающие отрицательным дифференциальным сопротивлением в динамическом режиме. Лавинно-пролетные диоды. Физика и режимы работы. Основные типы и конструкции. Технологические особенности создания. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-2-32 ПК-3-31 ПК-4-32	Л1.6Л1.1 Л2.10 Э4			
5.9	Основные уравнения для расчета токов в ЛПД. Условия возникновения динамического отрицательного дифференциального сопротивления. /Лек/	3	2	ОПК-2-31 ПК-3-31	Л1.6 Э4			
5.10	Практическое занятие №12 "Расчет конструкций лавинно-пролетных диодов на Si, GaAs, InP и Ge. ЛПД на основе гетероструктур. Подход к выбору материала. Конструкции. Технологические приемы изготовления." /Пр/	3	1	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ПК-3-31 ПК-4-32 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.6Л1.1 Л2.10		КМ6	
5.11	Лабораторная работа №3 "Измерение выходной мощности ЛПД" /Лаб/	3	5	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1 ОПК-2-У2 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-У3 ПК-3-У4 ПК-3-В1 ПК-3-В2 ПК-3-В3	Л1.6Л1.3.2			Р5
5.12	Проработка лекционного материала по теме "Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением" /Ср/	3	6	ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-32	Л2.1 Л1.3 Л2.9 Л2.10Л1.1 Э4 Э5 Э6 Э7			
5.13	Подготовка к контрольной работе № 2 "Расчет характеристик СВЧ приборов с участком отрицательного дифференциального сопротивления" /Ср/	3	6	ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-3-31	Л1.6Л1.1 Э4		КМ7	

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 самостоятельной подготовки к практическим занятиям по разделу "Техника СВЧ"	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-33	<ol style="list-style-type: none"> 1. Частоты электромагнитных волн, относящиеся к СВЧ-диапазону и особенности СВЧ-волн. Принципы передачи СВЧ- сигнала. 2. Способы генерации, передачи, приема и преобразования СВЧ сигналов. 3. Элементы СВЧ устройств и интегральных СВЧ схем. 4. Линии передачи СВЧ колебаний. 5. Генераторы и приемники СВЧ излучений. 6. Передающие и принимающие антенны. 7. Принципы измерения мощности СВЧ. 8. Измерения коэффициента усиления и коэффициента шума. 9. Измерение коэффициента стоячей волны напряжения. 10. Принципы измерения частоты СВЧ колебаний. 11. Современные п/п приборы, работающие в СВЧ-диапазоне. 12. Частотные ограничения для различных п/п приборов. Диоды, биполярные и полевые транзисторы.
КМ2	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по разделу "Полупроводниковые СВЧ диоды"	ОПК-2-31;ПК-2-32;ПК-4-31;ПК-4-32	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диоды СВЧ-диапазона. Смесительные и видео-диоды, особенности конструирования диодов для СВЧ-диапазона. 2. Диоды СВЧ-диапазона. Параметрические диоды, назначение, принцип действия и частотный предел. 3. Диоды СВЧ-диапазона. Ограничительные и переключательные диоды. Особенности конструирования. Принцип действия. 4. Применение диодов Шоттки, принцип действия, токи, протекающие через диод Шоттки. 5. Конструкции диодов Шоттки, предназначенных для СВЧ-диапазона.
КМ3	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по разделу "СВЧ биполярные транзисторы"	ОПК-2-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Биполярные транзисторы СВЧ-диапазона. Особенности конструирования. Требования к конструкции. 2. Связь между горизонтальными и вертикальными размерами БТ с частотным диапазоном работы. 3. Кремниевые СВЧ биполярные транзисторы. Особенности конструкции. Основные частотные ограничения. 4. Особенности конструирования современных мощных Si-БТ для СВЧ-диапазона. 5. Ограничения уровня легирования эмиттерной и базовой областей БТ. 6. БТ из GaAs, необходимость создания гетероэмиттера. Методы роста гетероэмиттера. 7. Типичная конструкция ГБТ на GaAs, технологические приемы их изготовления, эквивалентная схема и рабочий диапазон. 8. Основные соотношения для расчета поля, потенциала и барьерной емкости гетероперехода. 9. Основные токи, протекающие через структуру ГБТ. 10. Частотные характеристики ГБТ и методы повышения частотного диапазона. 11. Особенности конструирования базовой области ГБТ. Технологические приемы. Создание варизонной базы. 12. Коэффициент передачи, граничная и максимальная частота ГБТ - способы их увеличения. 13. Роль различных эффектов, возникающих при работе мощных СВЧ-БТ на их параметры и частотный диапазон. Высокий уровень инжекции. Оттеснение эмиттерного тока. Эффект Кирка. 14. Современные методы получения гетероструктур. Жидкофазная эпитаксия. Молекулярно-пучковая эпитаксия. МОС-гидридная эпитаксия. 15. Конструктивные и технологические ограничения при разработке ГБТ на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs и SiGe.

КМ4	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по разделу "Полевые транзисторы СВЧ диапазона"	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-У1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Полевые кремниевые СВЧ-транзисторы. Особенности конструкции. Основные ограничения. 2. Полевые транзисторы с барьером Шоттки на GaAs. Конструкция и технология изготовления. 3. ВАХ ПТ с БШ из GaAs. Анализ выражения для тока стока и крутизны. 4. Эквивалентная схема ПТБШ из GaAs, анализ элементов и сопоставление с конструкцией. 5. Частотные характеристики ПТ из GaAs с барьером Шоттки. Расчет граничной частоты. Влияние конструкции. Технологические ограничения. 6. Недостатки ПТБШ из GaAs и переход к селективно-легированным ПТ. Методы создания СЛГТ. 7. Селективно-легированные гетеротранзисторы. Двумерный электронный газ. Назначение отдельных слоев СЛГТ. 8. Управление концентрацией носителей заряда в слое ДЭГ с помощью напряжения на затворе. 9. Вольт-амперные характеристики СЛГТ, факторы, определяющие ток стока и крутизну. 10. Необходимость применения различных полупроводниковых соединений в гетеропарах для ГБТ и СЛГТ. 11. Методы роста гетероэпитаксиальных структур ГБТ и СЛГТ. 12. Основные технологические этапы изготовления ГБТ и СЛГТ. 13. Параметры полевого транзистора как четырехполюсника. S-параметры. 14. Однонаправленный коэффициент усиления по мощности. Коэффициент усиления. 15. Максимальная мощность ПТ на GaAs. 16. Принцип измерения выходной мощности GaAs ПТ, коэффициента усиления по мощности и КПД. 17. Устройство измерительного стенда для измерения выходной мощности GaAs ПТ: генератор СВЧ-мощности, аттенбаторы, трансформаторы, термисторы.
-----	---	---	--

КМ5	Контрольная работа № 1 "Расчет характеристик гетеробиполярного и полевого селективно легированного гетеротранзистора на основе GaAs".	ОПК-2-31;ОПК-2-В1	<p>задача 1:</p> <p>Вариант 1. Рассчитать и построить зонную диаграмму гетеробиполярного транзистора с параметрами: Эмиттер - n AlxGa1-xAs x=0,25, легирование кремнием $6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; База - p-GaAs, легированный бериллием до $6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; Коллектор - n-GaAs, легированный кремнием до $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>Вариант 2. Рассчитать коэффициенты $h_{21б}$ и $h_{21э}$ для гетеробиполярного транзистора следующей конструкции: Эмиттер - n AlxGa1-xAs x=0,23, легирование кремнием $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; База - p-GaAs, легированный бериллием до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; Коллектор - n-GaAs, легированный кремнием до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>Вариант 3. Рассчитать ток коллектора для гетеробиполярного транзистора следующей конструкции: Эмиттер - n AlxGa1-xAs x=0,27, легирование кремнием $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; База - p-GaAs, легированный бериллием до $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; Коллектор - n-GaAs, легированный кремнием до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Напряжение эмиттер база 0,6 В, напряжение коллектор-база -20 В.</p> <p>задача 2</p> <p>Вариант 1. Рассчитать и построить зонную диаграмму селективно легированного транзистора с параметрами: Барьерный слой - n AlxGa1-xAs x=0,27, легирование кремнием $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, толщина 500 А; Буферный слой - n-GaAs, нелегированный (фоновую концентрацию донорной примеси принять $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$).</p> <p>Вариант 2. Рассчитать слоевую концентрацию в ДЭГ, напряжение отсечки для селективно легированного транзистора с параметрами: Барьерный слой - n AlxGa1-xAs x=0,27, легирование кремнием $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, толщина 250 А; Буферный слой - n-GaAs, нелегированный (фоновую концентрацию донорной примеси принять $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$).</p> <p>Вариант 3. Рассчитать слоевую концентрацию в ДЭГ для селективно легированного транзистора с параметрами: Барьерный слой - n AlxGa1-xAs x=0,29, легирование кремнием $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, толщина 300 А; Буферный слой - n-GaAs, нелегированный (фоновую концентрацию донорной примеси принять $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$). Напряжение затвор-подложка принять равным - 1.5 В.</p>
-----	---	-------------------	--

КМ6	Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по разделу "Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением"	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-2-32;ПК-3-31;ПК-4-31;ПК-4-32	<ol style="list-style-type: none"> 1. Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением на статической ВАХ. Принцип генерации сигнала. 2. Туннельные диоды, принцип действия, статические ВАХ, эквивалентная схема. Конструкции и технология" 3. Характеристические частоты ТД и способы повышения рабочей частоты. 4. Методы расчета динамических характеристик туннельного диода. 5. Резонансно-туннельный диод. Принцип работы. Применение. Конструкции и технологии создания. 6. Приборы работающие на эффекте междолинного перехода электронов, требования к полупроводниковым материалам. 7. Условия получения избыточной концентрации и основные режимы работы Ганна. Основные особенности каждого режима. 8. Решение уравнения непрерывности и пространственно-временное распределение избыточной концентрации носителей заряда в диоде Ганна. 9. Сравнение режимов работы диода Ганна: накопления избыточного заряда и доменного. 10. Режим ограничения накопления носителей заряда (ОНОЗ). Причины применения указанного режима. 11. Приборы, обладающие отрицательным дифференциальным в динамическом режиме. Принцип генерации сигнала. 12. Лавинно-пролетные диоды. Возможные конструкции и принцип действия. 13. Основные уравнения, описывающие работу ЛПД. 14. Расчет полного дифференциального сопротивления ЛПД. Расчет отдельных составляющих полного сопротивления. 15. Эквивалентная схема и принципы конструирования ЛПД. 16. Расчет сопротивления и выбор материала для базовой области ЛПД. 17. Частота генерации ЛПД. 18. Измерение частоты генерации ЛПД. 19. Принцип измерения выходной мощности ЛПД. 20. Устройство измерительного стенда для измерения выходной ЛПД: ферритовый вентиль, аттенюатор, волномер, СВЧ детектор.
КМ7	Контрольная работа № 2 "Расчет характеристик СВЧ приборов с участком отрицательного дифференциального сопротивления"	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-3-31	<p>задача 1:</p> <p>Вариант 1. Рассчитать частоту сигнала диода Ганна, если концентрация н.з. в образце GaAs составляет $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при условии, что подвижность электронов на положительном участке зависимости $v(E)$ составляет 4200, а на отрицательном $200 \text{ см}^2/(V \cdot c)$.</p> <p>Вариант 2. Найти среднюю скорость электронов в GaAs при величине электрического поля $E = 1 \cdot 10^3 \text{ В/см}$, эффективную массу в L долине принять $0.55m_0$, в Γ долине принять $0.067m_0$, барьер $E_{\Gamma L}$ считать равным $0,29 \text{ эВ}$.</p> <p>Вариант 3. Какой длины необходимо выбрать образец GaAs с концентрацией $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, чтобы обеспечить устойчивую работу в доменном режиме генерации?</p> <p>задача 2:</p> <p>Вариант 1. Рассчитать параметры ЛПД, изготовленного из Si с $p+np+$ переходом при концентрации примеси в n-области $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>Вариант 2. Рассчитать параметры ЛПД, изготовленного из GaAs с барьером Шоттки на основе $np+$ структуры с концентрацией примеси в n-области $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>Вариант 3. Рассчитать параметры ЛПД, изготовленного из InP с $p+np+$ структурой при концентрации примеси в n-области $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.</p>

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
P1	Задание на домашнюю работу №1 "Расчет характеристик и проектирование гетеробиполярного транзистора на основе GaAs"	ОПК-2-31;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-У1;ПК-2-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1;ОПК-2-У1	1. Расчет параметров гетероэмиттера AlGaAs/GaAs 2. Построение зонной диаграммы ГБТ 3. Расчет токов, протекающих в транзисторе 4. Расчет статических коэффициентов 5. Расчет коэффициентов передачи в схеме с ОБ и ОЭ 6. Построение частотных характеристик. Расчет предельных, граничной частот и частоты генерации. 7. Построение эквивалентной схемы. 8. Определение основных параметров гетероструктуры и конструкции транзистора. 9. Разработка технологического маршрута создания транзистора. Выбор методов проведения и режимов технологических операций. 10. Разработка комплекта шаблонов. 11. Выбор корпуса и расчет согласующих цепей. 12. Расчет теплоотвода. 13. Расчет теплоотвода. 14. Разработка технологического маршрута посадки транзистора в корпус.
P2	Лабораторная работа №1 "Измерение параметров СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки на основе GaAs"	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ПК-3-32;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-У3;ПК-3-У4;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ПК-3-В3	Изучение работы СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки на основе GaAs и влияния его конструкции на коэффициент усиления по мощности, выходную мощность и коэффициент полезного действия.
P3	Задание на домашнюю работу №2 "Расчет характеристик и проектирование селективно легированного гетеротранзистора на основе GaAs"	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-У1;ПК-2-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1	1. Расчет энергетической диаграммы на границе n-AlGaAs/GaAs 2. Расчет слоевой концентрации электронов в ДЭГ 3. Расчет тока стока. Построение выходных ВАХ. 4. Расчет крутизны вольт-амперной характеристики. 5. Расчет емкостей сток-затвор и затвор-сток 6. Расчет граничной частоты. 7. Построение эквивалентной схемы. 8. Определение основных параметров гетероструктуры и конструкции транзистора. 9. Разработка технологического маршрута создания транзистора. 10. Разработка комплекта шаблонов. 11. Выбор корпуса и расчет согласующих цепей. 12. Расчет теплоотвода. 13. Расчет теплоотвода. 14. Разработка технологического маршрута посадки транзистора в корпус.
P4	Лабораторная работа №2 "Измерение шумовых характеристик СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки на основе GaAs"	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ПК-3-32;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-У3;ПК-3-У4;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ПК-3-В3	Изучение и измерение шумовых характеристик СВЧ полевого транзистора. Анализ влияния его конструкции и режимов работы на уровень шума. Измерение коэффициента шума.
P5	Лабораторная работа №3 "Измерение выходной мощности ЛПД"	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-У2;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-У3;ПК-3-У4;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ПК-3-В3	Изучить работу лавинно-пролетного диода как генератора СВЧ мощности, измерить выходную мощность ЛПД в зависимости от режимов и частоты СВЧ-колебаний.

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

Экзамен по дисциплине не предусмотрен.

Итоговая оценка складывается из результатов тестирования в течение учебного семестра. Для получения зачета необходимо набрать больше 60% баллов.

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «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;
- б) «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;
- в) «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;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса.

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

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Филонов А. А.	Устройства СВЧ и антенны: учебник	Электронная библиотека	Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2014
Л1.2	Пилипенко А. М.	Основы теории четырехполосников и электрических фильтров: учебное пособие	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2019
Л1.3	Борисенко В. Е.	Нанoeлектроника: теория и практика: учебник	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.4	Шишкин Г. Г., Агеев И. М.	Нанoeлектроника: элементы, приборы, устройства: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.5	Колесников В. Г., Никишин В. И., Сыновров В. Ф., др., Федотов Я. А.	Кремниевые планарные транзисторы	Библиотека МИСиС	М.: Сов.радио, 1973
Л1.6	Зи С. М., Трутко А. Ф.	Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1973

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Баум А. К., Билинский И. Я., Трейс П. П.	Туннельные диоды в схемах промышленной электроники	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Энергия, 1965
Л2.2	Замотринский В. А., Шангина Л. И.	Устройства СВЧ и антенны: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012
Л2.3	Гошин Г. Г.	Устройства СВЧ и антенны: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012
Л2.4	Троян П. Е.	Твердотельная электроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.5	Глазов Г. Н.	Современные технологии и системы автоматизированного измерения на СВЧ: конспект лекций: курс лекций	Электронная библиотека	Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012
Л2.6	Николаевский И. Ф.	Транзисторы и полупроводниковые диоды: монография	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1963
Л2.7	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
Л2.8	Кольцов Г. И.	СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: Разд.: Гетеробиполярные СВЧ-транзисторы: учеб. пособие для студ. спец. 200.200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1998
Л2.9	Ковалев А. Н.	Гетероструктурная нанoeлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009
Л2.10	Ковалев А. Н.	Твердотельная электроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2010
Л2.11	Ковалев А. Н.	Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	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
Л3.2	Кольцов Г. И., Горюнов Н. Н., Юрчук С. Ю.	СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: лаб. практикум для студ. спец. 20.03	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1995
Л3.3	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
Л3.4	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
Л3.5	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

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	ГОСТ 20271.1-91 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров	http://docs.cntd.ru/document/1200016794
----	--	---

Э2	ГОСТ 20003-74. Транзисторы биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров (с Изменениями N 1, 2)	http://docs.cntd.ru/document/gost-20003-74
Э3	ГОСТ 19095-73 Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров (с Изменением N 1)	http://docs.cntd.ru/document/1200015676
Э4	Электронная библиотека МИСиС	http://elibrary.misis.ru/login.php
Э5	Scopus	https://www.scopus.com/
Э6	elibrary.ru	http://elibrary.ru/
Э7	Elsevier	https://www.sciencedirect.com/

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams
П.4	MATLAB
П.5	MATCAD
П.6	CorelDRAW Graphics Suite X4
П.7	AutoCAD
П.8	ОС Linux (Ubuntu) / Windows
П.9	Python

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 "СВЧ-полупроводниковые приборы" 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
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
К-509	Учебная лаборатория/ Лаборатория "Физика полупроводниковых приборов":	измеритель параметров пп Л2-31; анализатор импульсов АИ-1024-95; измеритель мощности МЗ-22А; измеритель RCL E7-21; 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

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Материалы по дисциплине:

- курс лекций (презентации pdf);
 - лекции в видеоформате;
 - типовые вопросы и задачи;
 - задание на выполнение ДЗ;
 - методические указания по выполнению лабораторных работ и ДЗ;
 - рекомендуемая литература,
- приведены на соответствующем курсе на платформе LMS "Canvas".

Дополнительная литература

1. Данилов В.С. Микроэлектроника СВЧ. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2007.
2. Шухостанов А.К. Лавинно-пролетные диоды. Физика, технология, применение. Москва. Издательство «Радио и связь», 1997, стр 208
3. S. M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007
4. Rüdiger Quay. Gallium Nitride Electronics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008
Переводная версия: Р. Куэй. Электроника на основе нитрида галлия. Москва. «Техносфера», 2011,
5. Sigfrid Yngvesson. Microwave Semiconductor Devices. Springer, Boston, MA. 1991.
6. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с.
7. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. Санкт-Петербург. «Лань», 2001
8. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие - 3-е изд., доп. Москва: Техносфера, 2008. – 512 с.
9. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов Издание 2-е, исправленное Москва: Техносфера, 2011. - 800 с.
10. Федоров Н.Д. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. - М.: Радио и связь, 1998.
11. Шур М.С. Современные приборы на основе арсенида галлия. - М.: Мир, 1991.
12. Шур М. Физика полупроводниковых приборов. Москва: Мир, 1992. — 479 с.
13. Кольцов Г.И. СВЧ-приборы и интегральные микросхемы. Раздел: Гетеробиполярные СВЧ-транзисторы. - М.: МИСиС, 1998.
14. Кольцов Г.И. СВЧ-приборы и интегральные микросхемы. Раздел: Полевые транзисторы GaAs с затвором в виде барьера Шоттки. - М.: МИСиС, 1998.
15. Кольцов Г.И. СВЧ-приборы и интегральные микросхемы. Раздел: Расчет параметров селективно легированного гетеротранзистора. - М.: МИСиС, 1998.
16. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов. - Вильнюс: МОКСЛАС, 1989.
17. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. - В 2-х книгах. М.: Мир, 1984.
18. Кольцов Г.И., Горюнов Н.Н., Юрчук С.Ю. СВЧ-приборы и интегральные микросхемы. Лабораторный практикум. - М.: МИСиС, 1995.
19. Тагер, А.С.; Вальд-Перлов, В.М. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. Москва. «Советское радио», 1968, 480 стр
20. Левинштейн М. Е., Пожела Ю. К., Шур М. С. Эффект Ганна. Москва, «Советское радио», 1975, 288 с.
21. Иванов С.Н., Пенин Н.А., Скворцова Н.Е., Соколов Ю.Ф. Физические основы работы полупроводниковых СВЧ диодов. М.: Советское радио, 1965. — 191 с
22. Дзехцер, Г.Б.; Орлов, О.С. P-I-N диоды в широкополосных устройствах СВЧ. Издательство: М.: Советское радио, 200 страниц; 1970 г.
23. Ю.Р. Носов. Полупроводниковые импульсные диоды. Москва. Советское радио. 1965.
24. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах М.: Радио и связь, 1987. — 119 с.
25. Веселов Г.И., Егоров Е.Н., Алехин Ю.Н. и др. Микроэлектронные устройства СВЧ. Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов. — М.: Высшая школа, 1988. — 280 с.
26. Д.В. Ди Лоренцо, Д.Д. Канделуола. Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технология изготовления. Москва. "Радио и связь", 1988.
27. Хауэс М., Морган Д. (ред.) Полупроводниковые приборы в схемах СВЧ Пер. с англ. д.ф.м.н. В.С. Эткин. — М.: Мир, 1979. — 444 с.
28. Ю. В. Завражнов, И. И. Каганова, Е. З. Мазель, А. И. Миркин. Мощные высокочастотные транзисторы Под ред. Е. З. Мазеля. — Москва, издательство Радио и связь, 1985.— 176 с.
29. Проектирование и технология производства мощных СВЧ транзисторов/В. И. Никишин, Б. К. Петров, В. Ф. Сынов и др. —М.: Радио и связь, 1989.— 144 с: ил.

Рекомендуемую литературу можно получить в библиотеке МИСиС, в бумажном и электронном виде на кафедре.