

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:25:07

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)

Физика полупроводниковых приборов

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 7

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	Неделя			
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

ст.преп., Черных Сергей Владимирович

Рабочая программа

Физика полупроводниковых приборов

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 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом 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	Дать обучающимся представление о типах полупроводниковых приборов, физических основах работы, их характеристиках и методах подбора материалов для обеспечения оптимальных характеристик приборов.
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.17
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.2	Материаловедение	
2.1.3	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.4	Металловедение инновационных материалов	
2.1.5	Методы исследования материалов	
2.1.6	Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии	
2.1.7	Метрология и технические измерения функциональных материалов	
2.1.8	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.9	Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике	
2.1.10	Основы материаловедения и методов исследования материалов	
2.1.11	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.12	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.13	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.14	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.15	Разработка новых материалов	
2.1.16	Технология функциональных материалов	
2.1.17	Фазовые равновесия и дефекты структуры	
2.1.18	Физика диэлектриков	
2.1.19	Физика полупроводников	
2.1.20	Введение в квантовую теорию твердого тела	
2.1.21	Дефекты кристаллической решетки	
2.1.22	Компьютеризация эксперимента	
2.1.23	Планирование и организация научно-исследовательской работы	
2.1.24	Планирование научного эксперимента	
2.1.25	Теория поверхностных явлений	
2.1.26	Теория симметрии	
2.1.27	Электроника	
2.1.28	Кристаллография	
2.1.29	Практическая кристаллография	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.2.2	Высокотемпературные материалы	
2.2.3	Композиционные и керамические материалы	
2.2.4	Композиционные материалы	
2.2.5	Компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.2.6	Компьютерное моделирование процессов получения материалов	
2.2.7	Математические методы моделирования физических процессов	
2.2.8	Металловедение сварки	
2.2.9	Методы исследования структур и материалов. Часть 2	
2.2.10	Объемные наноматериалы	
2.2.11	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия	
2.2.12	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.13	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.14	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.15	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

2.2.16	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.17	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.18	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.19	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.20	Специальные сплавы
2.2.21	Структура и свойства функциональных наноматериалов
2.2.22	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы
2.2.23	Функциональные материалы электроники
2.2.24	Экстремальные технологии получения наноматериалов

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способен осуществлять обработку и анализ научно-технической информации и результатов исследований	
Знать:	
ПК-1-33	Методы исследования полупроводниковых структур и приборов различного назначения
ПК-1-34	Методы вычисления параметров полупроводникового материала из характеристик полупроводниковых устройств
ПК-1-31	Физические основы работы полупроводниковых приборов и принципы выбора материалов для их создания
ПК-1-32	Свойства полупроводниковых материалов, определяющие характеристики электронных приборов на их основе
Уметь:	
ПК-1-У3	Осуществлять анализ научно-технической информации в области современных полупроводниковых материалов и приборов на их основе
ПК-1-У2	Вычислять параметры полупроводниковых материалов из характеристик полупроводниковых структур и приборов
ПК-1-У1	Строить зонные диаграммы полупроводниковых структур и устройств
Владеть:	
ПК-1-В1	Методами расчета параметров полупроводниковых структур и приборов на их основе

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. Введение. Типы полупроводниковых приборов							
1.1	Самостоятельное изучение типов и классификации полупроводниковых приборов. Подготовка к лекционному занятию. /Ср/	7	5	ПК-1-31 ПК-1-У3	Л1.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
1.2	Классификация полупроводниковых приборов. Основные полупроводниковые материалы, используемые для их создания. /Лек/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
	Раздел 2. Однопереходные полупроводниковые приборы							
2.1	Энергетическая диаграмма р-п перехода. Уравнение Пуассона для описания распределения поля в р-переходе. Емкость р-п перехода. ВАХ идеального и реального р-п перехода /Лек/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л2.1Л3.1			

2.2	Практическое занятие №1 "Расчет параметров полупроводниковых диодов. Вычисление основных параметров р-п перехода и полупроводника из экспериментальных ВАХ и ВФХ диодов на основе различных материалов" /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-1-34 ПК-1-У2 ПК-1-В1	Л1.1Л3.3Л3.1 Э1			
2.3	Диоды Шоттки. СВЧ диоды: туннельный диоды, диоды Ганна, лавинно-пролетные диоды. Выбор материала, связь параметров материала с характеристиками прибора. /Лек/	7	3	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л2.1 Л2.8Л3.3 Э1 Э4 Э5 Э6 Э7			
2.4	Практическое занятие №2 "Расчет зонной диаграммы барьера Шоттки. Расчет вольт-амперной характеристики. Вычисление основных параметров р-п перехода из экспериментальных ВАХ и ВФХ" /Пр/	7	3	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1	Л1.1			
2.5	Практическое занятие №3 "Энергетические диаграммы гетероструктур" /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-У1	Л1.1 Л1.2Л2.6 Л2.9 Л2.12 Э1			
2.6	Подготовка к контрольной работе №1 «Расчет параметров р-перехода и полупроводникового диода на его основе» /Ср/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-У2 ПК-1-В1	Л3.3 Э1 Э2			
	Раздел 3. Многопереходные полупроводниковые приборы							
3.1	Биполярные транзисторы. Конструкции, материалы и технологии создания. Принцип работы. Схемы включения. Режимы работы. /Лек/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л2.11Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.2	Практическое занятие №4 "Коэффициент инжекции, коэффициент переноса, коэффициент рекомбинации в эмиттерном переходе. Распределение неосновных носителей в биполярном транзисторе. Входные и выходные ВАХ." /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л2.11Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1		КМ1	
3.3	Практическое занятие №5 "Расчет основных параметров и коэффициентов усиления биполярных транзисторов на основе различных материалов с учетом эффектов неидеальности. Расчет выходных ВАХ" /Пр/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1Л2.11Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1			

3.4	Выполнение домашней работы №1 «Расчёт характеристик биполярного транзистора» /Ср/	7	18	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2			
3.5	Практическое занятие №6 "Энергетические диаграммы гетеробиполярных транзисторов на основе различных полупроводниковых материалов (GaAs, GaN, SiGe). Схемы включения." /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1	Л1.1Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1			
3.6	Подготовка к контрольной работе №2 «Расчет параметров биполярного транзистора» /Ср/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1Л3.3			
3.7	Тиристоры. Типы, конструкции, материалы и технология создания. /Лек/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.8	Самостоятельное изучение классификации и конструкций тиристоров /Ср/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У3	Л1.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7			
3.9	Практическое занятие №7 "Расчет вольт-амперных характеристик тиристоров" /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1Л3.3			
	Раздел 4. МДП структуры. Полевые транзисторы							
4.1	Конструкция и принцип работы МДП-транзисторов. Основные параметры. /Лек/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л1.1 Л2.10 Э1			
4.2	Полевые транзисторы с затвором в виде р-п перехода и барьера Шоттки на кремнии и арсениде галлия /Лек/	7	2	ПК-1-31 ПК-1-32	Л1.1Л2.7 Л2.10 Э1			
4.3	Практическое занятие №8 "Расчет идеальных и реальных вольт-фарадных характеристик МДП структуры. Измерение ВФХ МДП. Вычисление параметров диэлектрика, полупроводника и границы раздела из ВФХ" /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 ПК-1-У2	Л1.1Л2.3 Л2.5 Э1 Э2 Э6 Э7			
4.4	Практическое занятие №9 "Расчет ВАХ и рабочих параметров полевых транзисторов на кремнии и арсениде галлия" /Пр/	7	3	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1Л2.10 Э1			
4.5	Подготовка к контрольной работе №3 «Расчет параметров полевых транзисторов» /Ср/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1	Л1.1Л2.4 Л2.5 Л2.10 Э1			
4.6	Выполнение домашней работы №2 «Расчёт характеристик МДП-транзистора» /Ср/	7	18	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.10 Э1			

4.7	Практическое занятие №10 "Построение зонной диаграммы реальной МДП структуры с учетом различных типов поверхностных состояний и заряда, встроенного в диэлектрике." /Пр/	7	4	ПК-1-31 ПК-1-У1	Л1.1Л2.3 Л2.5		КМ1	
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	-----------------	------------------	--	-----	--

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	Перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-1-34;ПК-1-У3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация полупроводниковых приборов. Области применения. Современные полупроводниковые материалы. 2. p-n переход при равновесии. Контактная разность потенциалов. Как зависит контактная разность потенциалов от характеристик материалов? 3. Методы получения p-n перехода: диффузии, ионная имплантация, эпитаксия. 4. Уравнение Пуассона для резкого перехода. Распределение объемного заряда, поля и потенциала в p-n переходе. 5. Барьерная емкость p-n перехода. Несимметричный p-n переход. ВФХ p-n перехода. Методы вычисления параметров прибора и полупроводникового материала из ВФХ. 6. Лавинный пробой p-n перехода. Туннельный пробой p-n перехода. 7. Уравнение Пуассона для линейного перехода. Распределение объемного заряда, поля и потенциала в p-n переходе. Идеальная ВАХ диода 8. Туннельный диод: конструкция, принцип работы, основные параметры, области применения. Диод Ганна: конструкция, принцип работы, основные параметры, основные материалы и области применения. 9. Лавинно-пролетный диод: материалы, конструкция, принцип работы, основные параметры, области применения. 10. Биполярный транзистор. Конструкция. Принцип работы. Схемы включения биполярного транзистора. 11. Входные и выходные ВАХ биполярного транзистора по схеме с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором. 12. Гетеробиполярный транзистор. Тиристоры: типы, принцип работы. Материалы и конструкции. 13. Принцип работы полевых транзисторов с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки 14. ВАХ полевых транзисторов с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки. Материалы и конструкции. Механизм насыщения тока стока транзисторов с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки. 15. Напряжение отсечки полевых транзисторов с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки. 16. Крутизна полевых транзисторов с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки; Полевые транзисторы с барьером Шоттки, работающие в режиме обогащения.

КМ2	Контрольная работа 1 «Расчет параметров р-перехода и полупроводникового диода на его основе»	ПК-1-31;ПК-1-В1;ПК-1-У2	<p>Примеры задач (в варианте 2 задачи):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Электронно-дырочный переход сформирован сплавлением алюминия в кремний n-типа с концентрацией доноров $ND=1e15\text{см}^{-3}$. Концентрацию акцепторов в рекристаллизованной области принять равной $1e19\text{см}^{-3}$. Построить зонную диаграмму р-п перехода при обратном смещении 5 В, рассчитать общую ширину пространственного заряда и соотношение между областями пространственного заряда соответствующих областей при заданном смещении. 2. Равновесная ширина несимметричного р-п перехода, созданного в германии, составляет величину 0,5 мкм, а контактный потенциал равен 0,3 В. Найти концентрацию примеси в слабо- и сильнолегированных областях. 3. Во сколько раз изменится величина контактного потенциала в ассиметричном р-п переходе, изготовленном из кремния, если а) уровень легирования n- и р-областей увеличить в 3 раза; б) уровень легирования n- и р-областей увеличить на 3 порядка. 4. Электронно-дырочный переход создавали ионной имплантацией фосфора в кремниевую пластину марки ЭКДБ-0.5, доза имплантации составляла величину $5e13\text{см}^{-2}$. Чему равно значение контактного потенциала, если принять, что распределение имплантированных ионов аппроксимировано ступенчатым распределением, а глубина перехода $x_j=0,5\text{ мкм}$, считать, что все внедренные ионы электрически активны. 5. В планарном переходе, изготовленном из кремния с удельным сопротивлением n-области 2 Ом.см времени жизни дырок 1мкс и удельным сопротивлением р-области 0,4 Ом.см и временем жизни электронов 5мкс, найти отношение дырочного тока к электронному и плотность тока через переход при прямом смещении 0,25 В. 6. Полупроводниковый диод изготовлен из материала, в котором соотношение диффузионных длин $L_n/L_p=5$, а соотношение удельных электропроводимостей $\sigma_n/\sigma_p=10$. Найти отношение электронного тока к дырочному. 7. Рассчитать диффузионную емкость р-п перехода диаметром 1 мм изготовленного из кремния марки КДБ-1/0.03, если известно, что концентрация примеси в n-области много больше, чем в р-области. На переход подано прямое смещение 0,3 В. 8. Определить барьерную емкость германиевого сплавного диода, работающего при обратном смещении в 2 В, если площадь перехода равна 0,5 см², а удельное сопротивление соответственно n и р-области $n=0,01\text{ Ом.см}$ и $p=1,0\text{ Ом.см}$. 9. Рассчитать и сравнить между собой ток насыщения в германиевом и кремниевом диодах площадью 2 мм² с одинаковыми параметрами р- и n- областей. Концентрация акцепторов $N_a = 1e17\text{ см}^{-3}$, доноров $ND = 1e18\text{ см}^{-3}$. Время жизни носителей заряда одинаково в обеих областях и равно $1e-5\text{ с}$.
-----	----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

КМЗ	Контрольная работа 2 «Расчет параметров биполярного транзистора»	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-В1	<p>Примеры задач (в варианте 2 задачи):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитать и сравнить между собой ток насыщения в германиевом и кремниевом диодах площадью 2 мм^2 с одинаковыми параметрами p- и n- областей. Концентрация акцепторов $N_A = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, доноров $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Время жизни носителей заряда одинаково в обеих областях и равно 10^{-5} с. 2. Германиевый p-n-p транзистор имеет следующие параметры. Ширина квазинейтральной области базы 0.0005 см. Площадь коллекторного перехода 0.085 см^2, время жизни дырок в базе $\tau_p = 20 \text{ мкс}$, время жизни электронов в эмиттере $\tau_n = 0.15 \text{ мкс}$, концентрация примеси в базе $8.1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, в эмиттере и коллекторе $N_A = 5.1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Рассчитать коэффициенты передачи по току в схеме с общей базой и общим эмиттером. 3. Расстояние между переходами сплавного n-p-n транзистора, изготовленного из кремния марки КДБ-1/0.5, равно $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ см}$. Концентрация доноров в эмиттере и коллекторе равна концентрации предельной растворимости фосфора в кремнии. Рассчитать эффективную ширину квазинейтральной базы, если транзистор работает в режиме смещения на эмиттере 0.25 В, на коллекторе -6 В. 4. Чему равна предельная частота коэффициента передачи по току в схеме с общим эмиттером, если предельная частота коэффициента передачи по току в схеме с общей базой равна 15 МГц, а коэффициент передачи по току в статическом режиме 0.985. 5. Вычислить во сколько раз изменится значение коэффициента переноса в базе n-p-n транзистора, изготовленного из кремния, если толщина квазинейтральной области базы 30 мкм, время жизни носителей заряда в ней 300 мкс при повышении частоты до $f = 25 \text{ МГц}$. Чему равен коэффициент переноса на этой частоте? 6. Построить зонную диаграмму и рассчитать параметры биполярного транзистора: База: ГДГ-1, эмиттер/коллектор: ГЭС-0,1; $U_{прБЭ} = 0,1 \text{ В}$; $U_{обрКБ} = 2 \text{ В}$.
-----	------------------------------------------------------------------	-------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

КМ4	Контрольная работа 3 «Расчет параметров полевых транзисторов»	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У2;ПК-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, $N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $t_{ox} = 8 \text{ нм}$ 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 ($N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$). Как она изменится с уменьшением уровня легирования подложки. 5. Определить разницу работ выхода между металлом и полупроводником для МПД структуры Al/SiO₂/Si. $\phi_m = 3.20 \text{ эВ}$, $\chi'(\text{Si/SiO}_2) = 3.25 \text{ эВ}$, $E_g = 1.12 \text{ эВ}$, $N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. 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 $I_D(\text{sat})$ 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.
-----	---------------------------------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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	Задание на домашнюю работу №1 «Расчёт характеристик биполярного транзистора»	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изобразить зонную диаграмму транзистора при равновесии и в рабочей точке; 2. Рассчитать и обозначить на зонной диаграмме ширину обеднённой области коллекторного и эмиттерного переходов, включая части обеднённого слоя в различных областях при равновесии и в рабочей точке; 3. Определить и построить распределения неосновных носителей заряда в различных областях транзистора при равновесии и в рабочей точке; 4. Рассчитать коэффициент эффективности эмиттера, коэффициент переноса через базу, коэффициент рекомбинации в переходе база-эмиттер, коэффициент усиления по схеме с общей базой и коэффициент усиления по схеме с общим эмиттером; 5. Определить напряжение прокола базы; 6. Определить напряжение Эрли; 7. Определить параметры модели Эберса-Молла; 8. Построить малосигнальную эквивалентную схему транзистора и определить её параметры в рабочей точке; 9. Определить граничную и предельные частоты; 10. Построить частотные зависимости коэффициентов усиления.

P2	Задание на домашнюю работу №2 «Расчёт характеристик МДП-транзистора»	ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-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.
----	----------------------------------------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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	Зи С. М., Тругко А. Ф.	Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1973
Л1.2	Ковалев А. Н.	Гетероструктурная наноэлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	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
Л2.2	Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г.	Физика полупроводников	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1977
Л2.3	Киреев П. С.	Физика полупроводников: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1975
Л2.4	Киреев П. С.	Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1969

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.5	Шалимова К. В.	Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1971
Л2.6	Кольцов Г. И.	СВЧ-приборы и интегральные микросхемы: Разд.: Гетеробиполярные СВЧ-транзисторы: учеб. пособие для студ. спец. 200.200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1998
Л2.7	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
Л2.8	Ковалев А. Н., Фоломин П. И.	Твердотельная электроника: Разд.: Контактные явления: Учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1997
Л2.9	Мартынов В. Н., Кольцов Г. И.	Полупроводниковая оптоэлектроника: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направл. 'Электроника и микроэлектроника' и спец. 'Микроэлектроника и полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 1999
Л2.10	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
Л2.11	Ковалев А. Н.	Твердотельная электроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2010
Л2.12	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., Ковалев А. Н., Маняхин Ф. И.	Физика полупроводниковых приборов и интегральных схем: лаб. практикум для студ. спец. 20.20, 20.02, 20.03	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1989
Л3.2	Кольцов Г. И., Горюнов Н. Н., Ладыгин Е. А.	Физика полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем: учеб. пособие по практ. занятиям для студ. спец. 0629, 0604, 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
Л3.3	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		http://elibrary.misis.ru/
Э2		http://lib.misis.ru/elcat.html
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	MS Teams	

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/	

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	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
Читальный зал №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
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.