

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор

_____ Хагуров Т.А.



_____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.02 ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРО - И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Направление подготовки 03.04.02 Физика

Направленность Информационные процессы и системы

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

Квалификация выпускника магистр

Краснодар 2019

Рабочая программа дисциплины «Полупроводниковая микро- и наноэлектроника» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль) "Информационные процессы и системы"

Программу составил:
Л.Р. Григорьян, доцент


_____ *подпись*

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры физики и информационных систем
протокол № 20 «21» мая 2019 г.
Заведующий кафедрой (разработчика)

Богатов Н.М.
фамилия, инициалы


_____ *подпись*

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета
Физико-технический факультет
протокол № 11 «21» мая 2019 г.
Председатель УМК факультета

Богатов Н.М.
фамилия, инициалы


_____ *подпись*

Рецензенты:

Шапошникова Т.Л., зав. кафедрой физики ФГБОУ ВО КубГТУ

Половодов Ю.А., Генеральный директор ООО «КПК»

1 Цели и задачи изучения дисциплины.

1.1 Цель освоения дисциплины.

Целью учебной дисциплины «Полупроводниковая микро- и наноэлектроника» является выработка у магистров компетенций, включающих систему взглядов на представление о физических основах (принципах) работы современных полупроводниковых приборов, действие которых основано на свойствах контакта металл-полупроводник, р-п перехода, гетероперехода, структуры металл-диэлектрик-полупроводник, более сложных (транзисторных) структур, включающих названные, однородных структур с междолинным переносом и других.

1.2 Задачи дисциплины

Основные задачи дисциплины являются:

- показать связь основных, выполняемых полупроводниковыми приборами функций (преобразование, перестройка, усиление, переключение, генерация сигналов и др.) с фундаментальными (вольт-амперной, вольт-фарадной и др.) физическими характеристиками полупроводниковых структур;
- показать фундаментальную роль энергетического спектра полупроводниковой структуры в реализации её приборных характеристик;
- особое внимание уделить связи параметров конкретных приборов (детекторных, параметрических, настроечных, туннельных, лавинно-пролётных и др. диодов, биполярных, гетеробиполярных и полевых транзисторов) со свойствами материала, конструкцией и технологией прибора;
- показать пути улучшения параметров (особенно повышения рабочих частот, эффективности приборов, уровня выходной мощности, диапазона рабочих температур и т.д.) на основе использования новых материалов и новых технологий.

1.3 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Полупроводниковая микро- и наноэлектроника» по направлению подготовки Информационные процессы и системы 03.04.02 Физика (квалификация (степень) "магистр") относится к учебному циклу Б1.В.ДВ.01.02 дисциплин по выбору. Дисциплина предназначена для подготовки магистров к практической работе в области исследований, технологий и эксплуатации полупроводниковых приборов как элементной базы вычислительной техники. Основное внимание уделяется изучению физических процессов в полупроводниковых приборах, методам их исследования и анализа.

Программа дисциплины «Полупроводниковая микро- и наноэлектроника» согласуется со всеми учебными программами базовой и вариативной частей учебного плана.

Дисциплина «Полупроводниковая микро- и наноэлектроника» предназначена для подготовки магистров к практической работе в области исследований, технологий и эксплуатации приборов и технологий.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций: **ОПК-6, ПК-1.**

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-6	Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	измерения и анализа наиболее важных характеристик диодов и транзисторов, (с учётом практики лабораторных работ по курсу), простейших расчётов параметров приборов, подбора материала и конструкции для достижения необходимых параметров, принципы действия важнейших полупроводниковых приборов; связь параметров приборов со свойствами материала, физическими процессами в полупроводниковых структурах, их конструкцией и технологией изготовления; пути улучшения параметров за счёт использования новых материалов (новых соединений, твёрдых растворов, гетероструктур и сверхрешёток на их основе);	обладать способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности, самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (в соответствии с профилем магистерской программы) и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимым и для решения научно-исследовательских задач методами физических исследований в сфере процессов получения, передачи и обработки информации и владеть компьютерными методами моделирования физических явлений; методами автоматизации и физического эксперимента

2.	ПК-1	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	Основные методы и методики решения прикладных задач в технике и технологиях решаемые с использованием знаний физики, технологий работы полупроводниковой электроники	обладать способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности	свободно владеть знаниями для постановки задачи и методики ее решения в процессе научно-исследовательской деятельности с использованием знаний физики и информационных технологий
----	------	---	--	--	---

2 Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач.ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)	
		1	-
Контактная работа, в том числе:	70,3	70,3	
Аудиторные занятия (всего):	70	70	
Занятия лекционного типа	14	14	-
Лабораторные занятия	56	56	-
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)	-	-	-
	-	-	-
Иная контактная работа:	0,3	0,3	
Контроль самостоятельной работы (КСР)	-	-	
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3	
Самостоятельная работа, в том числе:	74	74	
Курсовая работа	-	-	-
Проработка учебного (теоретического) материала	30	30	-
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	24	24	-
Реферат	-	-	-
Подготовка к текущему контролю	20	20	-
Контроль:	35,7	35,7	
Подготовка к экзамену	35,7	35,7	
Общая трудоёмкость	час.	180	180
	в том числе контактная	70,3	70,3

	работа			
	зач. ед	5	5	

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.
Разделы дисциплины, изучаемые в 1 семестре (для магистров ОФО):

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СРС
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение. Потенциальный барьер в р-п-переходах. Протекание тока в р-п-переходе.	6,5	0,5	-		6
2	ВАХ р-п перехода	10,5	0,5	-	4	6
3	ВАХ р-п перехода в специальных случаях	4	1	-		3
4	Диод при высоких обратных напряжениях (лавинный, туннельный и тепловой пробой).	3	1	-		2
5	Туннельный механизм пробоя р-п-перехода. Туннельный диод. Вольт-амперная характеристика.	9	1	-	4	4
6	Гетеропереходы и варизонные структуры.	2,5	0,5	-		2
7	Контакт металл-полупроводник, его энергетическая диаграмма	7,5	0,5	-	4	3
8	Р-п-переход на переменном токе.	5	1	-		4
9	Методы исследования полупроводников.	3	1	-		2
10	Биполярные транзисторы. Принцип действия.	13,5	0,5	-	8	5
11	Особенности характеристики биполярных транзисторов.	3,5	0,5	-		3
12	Транзистор как активный элемент цепи переменного тока.	13	1	-	8	4
13	Основные физические механизмы возникновения шумов.	4	1	-		3
14	Биполярный транзистор в режиме насыщения.	11	1	-	8	2
15	Планарная технология - основа массового производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	4	1	-		3
16	Динисторы, тиристоры и другие приборы с многослойной структурой	7	1	-	4	2

17	Эффект поля в полупроводниках. МОП-конденсатор, его вольт-фарадные характеристики. Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Приборы с зарядовой связью.	12	1	-	8	3
18	Полупроводниковые СВЧ-приборы, их применение для усиления и генерации СВЧ-колебаний.	4		-		4
19	Классификация приборов полупроводниковой оптоэлектроники.	3		-		3
20	Фотовольтаические приемники (фотодиоды).	6		-	4	2
21	Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.	4		-		4
22	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.	2		-		2
23	Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	6		-	4	2
Итого по дисциплине:			14	-	56	74

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Введение. Потенциальный барьер в р-п-переходах. Протекание тока в р-п-переходе.	Введение в дисциплину. Классификация полупроводниковых приборов Распределение электрического поля и потенциала в резких и плавных р-п-переходах, контактная разность потенциалов. Влияние напряжения смещения на толщину области пространственного заряда. Инжекция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика тонкого р-п-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры на характеристики диодов, максимальная рабочая температура. Влияние конечной толщины базы на величину тока насыщения (диод с тонкой базой).	Ответы на контрольные вопросы (КВ) / выполнение лабораторной работы (ЛР)
2	ВАХ р-п перехода.	Вольт-амперная характеристика р-п-перехода в случае генерации и рекомбинации носителей в области пространственного заряда (модель Са-	КВ / ЛР

		Нойса-Шокли) при прямом и обратном смещении.	
3	ВАХ р-n перехода в специальных случаях	Вольт-амперная характеристика р-n-перехода при высоком уровне инжекции (учет эффектов модуляции проводимости и рекомбинации в сильном тянущем электрическом поле). Вольт-амперная характеристика р-i-n-диода.	КВ / ЛР
4	Диод при высоких обратных напряжениях (лавинный, туннельный и тепловой пробой).	Ударная ионизация и лавинный механизм пробоя. Коэффициенты ударной ионизации, их связь с зонной структурой полупроводника и зависимость от напряженности электрического поля. Коэффициенты умножения. Методы определения коэффициентов ударной ионизации. Влияние температуры на напряжение лавинного пробоя. Пробой неплоского р-n-перехода. Микроплазмы. Методы защиты р-n-переходов от пробоя (охранные кольца, фаски). Стабилитроны, их основные характеристики.	КВ / ЛР
5	Туннельный механизм пробоя р-n-перехода. Туннельный диод. Вольт-амперная характеристика.	Вероятность туннелирования электрона из валентной зоны в зону проводимости в сильном электрическом поле. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики при туннельном пробое р-n-перехода. Влияние температуры на напряжение туннельного пробоя. Вольт-амперная характеристика туннельного диода. Туннелирование с участием фононов и примесей в непрямозонных полупроводниках. Туннельная спектроскопия. Избыточные токи в туннельных диодах. Выбор материалов и уровня легирования туннельных диодов. Обращенные диоды. Параметр нелинейности вольт-амперной характеристики обращенного диода. Быстродействие приборов, использующих туннельный эффект, и их применение в СВЧ-электронике.	КВ / ЛР
6	Гетеропереходы и варизонные структуры.	Энергетическая диаграмма гетероперехода. Факторы, влияющие на величину разрыва зон. Односторонний характер инжекции в гетеропереходе. Подбор гетеропереходных пар. Одиночные квантовые ямы и сверхрешетки, качественное описание их электронного спектра. Приборы на основе этих структур: резонансно-туннельный диод.	КВ / ЛР
7	Контакт металл-полупроводник, его	Барьер Шоттки и факторы, определяющие его высоту. Вольт-амперная характеристика	КВ / ЛР

	энергетическая диаграмма	барьера Шоттки (модель термоэлектронной эмиссии). Термополевая и полевая эмиссия. Создание омических контактов. Быстродействие диодов Шоттки.	
8	P-n-переход на переменном токе.	Реакция тонкого p-n-перехода на малый переменный сигнал. Зарядовая (барьерная) емкость p-n-перехода, ее зависимость от напряжения. Емкостная спектроскопия полупроводников. Варикапы и варакторы, их применение. Диффузионная емкость. Импульсные характеристики диодов. Переходные процессы при включении и выключении тока и напряжения на диоде. Время восстановления и его связь с характеристиками неравновесных носителей. Послеинжекционная э.д.с. Диоды с накоплением заряда.	КВ / ЛР
9	Методы исследования полупроводников	Метод емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) и его применение для определения параметров рекомбинационных центров в полупроводниках	КВ / ЛР
10	Биполярные транзисторы.	Принцип действия. Коэффициент усиления транзистора по току, его связь с коэффициентом инжекции эмиттера и коэффициентом переноса носителей через базу. Дрейфовые транзисторы. Влияние генерационно-рекомбинационных токов и модуляции проводимости базы на характеристики транзисторов. Эффект "сжатия" эмиттерного тока. Эффект Эрли. Оптимизация характеристик транзистора путем выбора конструкции, уровня и профиля легирования.	КВ / ЛР
11	Особенности характеристики биполярных транзисторов.	Транзистор при высоком напряжении на коллекторе, условия пробоя в схемах с общей базой и общим эмиттером. Высокочастотные свойства и быстродействие транзисторов.	КВ / ЛР
12	Транзистор как активный элемент цепи переменного тока.	Схемы включения транзистора. h-параметры транзистора при малом уровне сигнала, их связь с конструкцией транзистора. Эквивалентная схема транзистора на низкой частоте.	КВ / ЛР
13	Основные физические механизмы возникновения шумов.	Шумы в полупроводниках и полупроводниковых приборах (тепловой, дробовой, избыточный, поверхностный). Оптимизация схем на биполярных транзисторах по уровню шума.	КВ / ЛР
14	Биполярный транзистор в режиме насыщения.	Работа биполярного транзистора в режиме насыщения. Особенности схемотехники современных цифровых интегральных схем	КВ / ЛР

		на биполярных транзисторах (ТТЛ, ТТЛШ, И2Л).	
15	Планарная технология - основа массового производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	Основные составляющие планарной технологии: фотолитография, плазменное травление, технология локальной диффузии, ионная имплантация. Методы изоляции элементов в интегральных схемах.	КВ / ЛР
16	Динисторы, тиристоры и другие приборы с многослойной структурой	Вольт-амперная характеристика динистора, тиристора и факторы, ее определяющие. Тиристор с "закороченным" катодом. Запираемые тиристоры. Фототиристоры. Времена включения и выключения тиристоров. Симистор.	КВ / ЛР
17	Эффект поля в полупроводниках. МОП-конденсатор, его вольт-фарадные характеристики. Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Приборы с зарядовой связью.	Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Вольт-амперная характеристика полевого транзистора с МОП-структурой. Полевые транзисторы с коротким каналом. Быстродействие полевых транзисторов и пути его дальнейшего повышения (эффект всплеска скорости, баллистический перенос, НЕМТ-транзисторы). Применение МОП-транзисторов в интегральных схемах. КМОП-структуры. Конструкции полевых транзисторов для энергонезависимых постоянных запоминающих устройств (структура с "плавающим" затвором, МНОП-структура). Флэш-память. Полевые транзисторы с р-п-переходом и барьером Шоттки, их устройство и принцип работы. Шумы в полевых транзисторах. Принцип осуществления зарядовой связи. Эффективность переноса. Структуры с поверхностным и объемным каналом. Функциональные применения ПЗС в цифровых, аналоговых устройствах, устройствах формирования изображений. Шумы в приборах с зарядовой связью.	КВ / ЛР
18	Полупроводниковые СВЧ-приборы, их применение для усиления и генерации СВЧ-колебаний.	Методы получения отрицательной дифференциальной проводимости. Приборы, основанные на эффекте междолинного переноса электронов (эффекте Ганна). Разогрев электронов в сильном электрическом поле. Флуктуационная неустойчивость и образование доменов. Критерий Крёмера. Диод Ганна, режимы его работы, частота генерации. Физические процессы,	КВ / ЛР

		ограничивающие максимальную частоту генерации. Генерация СВЧ-колебаний с помощью лавинно-пролетных и инжекционно-пролетных диодов. Конструкция диодов. Вольт-амперная характеристика структуры металл-полупроводник-металл в режиме прокола. Импеданс диодов на высокой частоте и механизм формирования отрицательной дифференциальной проводимости. Факторы, ограничивающие к.п.д. и максимальную рабочую частоту генераторов на лавинно-пролетных диодах. Туннельно-пролетные диоды.	
19	Классификация приборов полупроводниковой оптоэлектроники	Механизмы поглощения электромагнитного излучения в полупроводниках. Фотоприемники, основанные на явлении собственной и примесной фотопроводимости (фотосопротивления). Вольт-ваттовая чувствительность. Шумы в фотоприемниках, пороговая чувствительность, обнаружительная способность. Режим ограничения фоном в инфракрасных фотоприемниках. Спектральные характеристики. Быстродействие. ИК-фотоприемники с блокированной примесной зоной (ВВ). Фотоприемники на переходах между уровнями размерного квантования в сверхрешетках (QWIP	КВ / ЛР
20	Фотовольтаические приемники (фотодиоды).	Квантовая эффективность и спектральные характеристики. Лавинные фотодиоды. Шумы и быстродействие лавинных фотодиодов, их связь с конструкцией и характеристиками полупроводника. Фототранзисторы.	КВ / ЛР
21	Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.	Принцип действия. Нагрузочные вольт-амперные характеристики. К.п.д. преобразователя и его зависимость от ширины запрещенной зоны полупроводника и температуры.	КВ / ЛР
22	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.	Принципы действия. Дрейфовый детектор, его энергетическое разрешение и быстродействие.	КВ / ЛР
23	Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	Излучательная рекомбинация в полупроводниках, механизмы излучательной рекомбинации. Внутренний квантовый выход излучения. Внешний квантовый выход и его связь с конструкцией светодиодов. Инфракрасные светодиоды. Белые светодиоды. Инжекционные полупроводниковые лазеры.	КВ / ЛР

		Условие возникновения вынужденного излучения. Применение гетероструктур, квантовых ям и квантовых точек для улучшения характеристик полупроводниковых лазеров.	
--	--	--	--

2.3.2 Занятия семинарского типа

Согласно учебному плану семинарского занятия по данной дисциплине не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные работы

№ ЛР	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Исследование вольт-амперная характеристика р-п-перехода.	Исследование вольт-амперная характеристика диода, сравнительный анализ ВАХ различных диодов.	Защита отчета, ответы на вопросы
2	Исследование туннельного диода.	ВАХ туннельного диода. ВАХ стабилитрона.	Защита отчета, ответы на вопросы
3	Исследование контакта металл-полупроводник.	ВАХ контакта металл-полупроводник. ВАХ различных по типу диодов Шотки.	Защита отчета, ответы на вопросы
4	Исследование биполярных транзисторов.	ВАХ биполярного транзистора.	Защита отчета, ответы на вопросы
5	Исследование схем включения транзистора в цепи переменного тока.	ВАХ транзистора в схеме с общей базой, коллектором и эмиттером.	Защита отчета, ответы на вопросы
6	Исследование тиристора.	ВАХ тиристора. Схема включения в ключевом режиме.	Защита отчета, ответы на вопросы
7	Исследование МОП-конденсатора и полевого транзистора.	ВАХ МОП конденсатора. ВАХ полевого транзистора. Схема включения полевого транзистора.	Защита отчета, ответы на вопросы
8	Исследование фотодиоды.	ВАХ фотодиода. Основные	Защита

		характеристики ВАХ фотодиода. КПД фотодиода.	отчета, ответы на вопросы
9	Исследование светодиодов.	ВАХ светодиодов. Фотоэлектрические характеристики фотодиодов.	Защита отчета, ответы на вопросы

Лабораторные работы выполняются в специализированном оборудовании в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ у магистров формируются и оцениваются требуемые ФГОС и ООП по направлению **03.04.02 Физика** профиль " Информационные процессы и системы" компетенции: ОПК-6, ПК-1

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Рекомендуется следующий график и календарный план самостоятельной работы студентов по учебным неделям (12 недель):

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Потенциальный барьер в широком р-п переходах.	1. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71742 2. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 312 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/5261 3. Бурбаева, Н.В. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 168 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2126 .
2	Стабилитроны с лазерной подгонкой параметров.	
3	Лазеры на гетеропереходах.	
4	Применение диодов Шоттки.	
5	Новые полупроводниковые материалы в изготовлении биполярных транзисторов.	
6	Мощные и сверхмощные транзисторы в цепях переменного тока.	
7	Схемотехники гибридных интегральных схем.	
8	Технология СБИС.	
9	Схемотехника КМОП.	
10	Схемотехника СВЧ-приборы.	
11	КПД солнечных элементов и пути его увеличения.	
12	Применение полупроводниковых лазеров.	

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины используются следующие методы:

- лекции;
- опрос;
- индивидуальные практические задания;
- публичная защита лабораторных работ;
- консультации преподавателей;
- самостоятельная работа студентов (изучение теоретического материала, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение домашних работ и индивидуальных типовых расчетов, подготовка к опросу и зачету).

Для проведения лекционных занятий могут использоваться мультимедийные средства воспроизведения активного содержания, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемого материала, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также формировании профессиональных компетенций. Эффективное обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем.

Сопровождение самостоятельной работы студентов также организовано в следующих формах:

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и осуществляемое путем подготовки индивидуальных докладов;
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Основные образовательные технологии, используемые в учебном процессе:

- лекции с проблемным изложением;
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем и разрешение проблем;
- компьютерные занятия в режимах взаимодействия «преподаватель – студент», «студент – преподаватель», «студент – студент»;

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях:

- технология развития критического мышления;
- лекции с проблемным изложением;
- изучение и закрепление нового материала (использование вопросов, Сократический диалог);
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем («Займи позицию (шкала мнений)», проективные техники, «Один – вдвоем – все вместе», «Смени позицию», «Дискуссия в стиле телевизионного ток-шоу», дебаты, симпозиум);
- разрешение проблем («Дерево решений», «Мозговой штурм», «Анализ казусов»);
- творческие задания;

- работа в малых группах;
- технология компьютерного моделирования численных расчетов.

Проведение всех занятий лабораторного практикума предусмотрено в классе снабженном всем необходимым оборудованием и компьютерами для эффективного выполнения соответствующих лабораторных работ.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы студент предоставляет и защищает выполненную работу, причем в беседе с преподавателем должен продемонстрировать знание как теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе, так и необходимых для практической реализации работы компьютерных технологий.

Дополнительная форма контроля эффективности усвоения материала и приобретения практических навыков заключается в открытой интерактивной защите лабораторной работы на устном выступлении перед аудиторией сокурсников.

Сопровождение самостоятельной работы студентов также организовано в следующих формах:

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и путем подготовки докладов;
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

текущий контроль: ответы на контрольные вопросы по выполняемым лабораторным работам практикума; проверка самостоятельно выполненных заданий. Ответы на контрольные и дополнительные вопросы по соответствующим разделам дисциплины.

итоговый контроль: зачет, экзамен.

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации

В процессе подготовки и ответов на контрольные вопросы формируются и оцениваются все требуемые ФГОС и ООП для направления 03.04.02 Физика (профиль " Информационные процессы и системы") компетенции: ОПК-6, ПК-1.

Ниже приводятся примеры контрольных вопросов для разделов рабочей программы.

1. Какими зарядами создается запирающий слой p-n перехода и внутреннее электрическое поле перехода?
2. Какие элементы периодической системы Д.И. Менделеева относят к полупроводникам?
3. Как влияют примеси на свойства полупроводников?
4. Как влияет t_0 на проводимости полупроводников?
5. Какие типы полупроводниковых приборов вы знаете?
6. Объясните на примере особенности маркировки диодов.
7. Назовите основные параметры полупроводниковых диодов?
8. Как называется напряжение при котором диод становится проводящим?
9. Определите и сравните RCT и RДИФ по характеристикам.

10. Какие существуют виды пробоя р-п перехода?
 11. Какими зарядами создается запирающий слой р-п перехода и внутреннее электрическое поле перехода?
 12. Назначение туннельного диода, его принцип действия.
 13. Как называется полупроводниковый прибор, предназначенный для использования в качестве ёмкости, управляемой обратным напряжением УОБР?
 14. Модель Шоттки. Условия существования модели Шоттки.
 15. Влияние поверхности эффектов на процесс формирования вольт-амперной характеристики контакта металл-полупроводник.
 16. В чем отличие экспериментальной и теоретической зависимостей тока от напряжения в контакте металл-полупроводник.
 17. Определение высоты барьера по спектральной характеристике фотоэффекта перехода металл-полупроводник.
 18. Расчет высоты барьера контакта металл-полупроводник.
 19. Диоды Шоттки в интегральных схемах.
 20. Теория метода определения высоты барьера.
 21. В чем отличие статических и динамических характеристик кон-
 22. такта металл-полупроводник.
 23. Объясните принцип действия биполярного транзистора. Каковы физические причины прохождения тока эмиттера к коллектору?
 24. При каком соотношении напряжений на базе и коллекторе транзистор работает в активном режиме?
 25. Что такое коэффициент передачи эмиттерного тока? От чего он зависит?
 26. При каком соотношении напряжений на базе и коллекторе транзистор работает в режиме: насыщения, отсечки, инверсном?
 27. Назовите системы малосигнальных параметров транзистора, их преимущества и недостатки.
 28. Нарисуйте три схемы включения транзистора.
 29. Объясните особенности входных и выходных характеристик для схем: ОБ и ОЭ. Укажите на них области, соответствующие основным режимам работы транзистора.
 30. Каков физический смысл каждого h -параметра транзистора? Как они определяются по характеристикам?
 31. Может ли тиристор работать в режиме динистора?
 32. Что будет происходить с тиристором при питании его анодной цепи от источника переменного тока?
 33. Может ли тиристор использоваться как ячейка памяти?
 34. Какие преимущества дает применение тиристоров взамен электромагнитных реле?
 35. Какими способами можно произвести выключение тиристора?
- Нарисовать и объяснить устройство МДП-транзистора со встроенным каналом.
36. Параметры полевого транзистора и определение их по характеристикам.
 37. Особенности полевых транзисторов МДП - типа.
 38. Поясните физический смысл основных параметров МДП-транзистора: пороговое напряжение, крутизна стока - затворной характеристики, внутреннее сопротивление, коэффициент усиления по напряжению.
 39. Нарисуйте и поясните эквивалентную схему полевого транзистора для малого сигнала для низких и высоких частот.
 40. Что означает предельная частота крутизны и почему крутизна полевого транзистора зависит от частоты?
 41. Какие физические и конструктивно – технологические параметры полевого транзистора определяют его частотные свойства?
 42. На каком явлении основано действие фотодиода?

43. Нарисуйте схему включения фотодиода и его вольт-амперные характеристики.
44. Что такое чувствительность фотодиодов?
45. Что такое темновой ток?
46. Что такое фотодиодный режим работы?
47. Приведите вольт-амперные характеристики для фотодиодного режима работы.
48. Что такое фотогальванический режим работы?
49. Приведите энергетические характеристики фотодиодов.
50. Механизм излучения света в светодиоде(с рассмотрением зонной диаграммы р-п-перехода).
51. Что такое внутренняя и внешняя квантовая эффективность? Способы их увеличения.
52. Материалы для изготовления светодиодов.
53. Конструкция светодиодов.
54. Особенности светодиодов на гетеропереходах.
55. От чего зависит эффективность ввода излучения в волокно?

4.2 Фонд оценочных средств для проведения итоговой аттестации

4.2.1 Вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине «Полупроводниковая микро- и нанoeлектроника» для направления подготовки: 03.04.02 Физика

1. Классификация полупроводниковых приборов.
2. Потенциальный барьер в р-п-переходах. Протекание тока в р-п-переходе.
3. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода при прямом и обратном смещении.
4. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода при высоком уровне инжекции.
5. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.
6. Туннельный механизм пробоя р-п-перехода.
7. Гетеропереходы и варизонные структуры.
8. Контакт металл-полупроводник.
9. Р-п-переход на переменном токе.
10. Метод емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS).
11. Биполярные транзисторы.
12. Транзистор при высоком напряжении на коллекторе. Высокочастотные свойства и быстродействие транзисторов.
13. Схемы включения транзистора в цепи переменного тока.
14. Основные физические механизмы возникновения шумов.
15. Работа биполярного транзистора в режиме насыщения. Схемотехники ТТЛ, ТТЛШ, И2Л.
16. Планарная технология.
17. Динисторы, тиристоры и другие приборы с многослойной структурой
18. Эффект поля в полупроводниках. МОП-конденсатор. Полевые транзисторы. Приборы с зарядовой связью.
19. КМОП технология.
20. Полупроводниковые СВЧ-приборы.
21. Классификация приборов полупроводниковой оптоэлектроники.
22. Фотовольтаические приемники.
23. Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.
24. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.
25. Светодиоды и полупроводниковые лазеры.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

- при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;
- при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;
- при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень нормативных правовых актов, основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

5.1 Нормативные правовые акты.

Нет

5.2 Основная литература:

1. Ищенко, А.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля [Электронный ресурс] : монография / А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, Л.А. Асланов. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2011. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5271>
2. Акципетров, О.А. Нелинейная оптика кремния и кремниевых наноструктур [Электронный ресурс] : монография / О.А. Акципетров, И.М. Баранова, К.Н. Евтюхов. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 544 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5255>
3. Заводинский, В.Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2013. — 176 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59650>
4. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 312 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5261>
5. Бурбаева, Н.В. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 168 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2126>

5.3 Дополнительная литература:

1. Барыбин, А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. — 424 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2105>
2. Лебедев, Александр Иванович Полупроводниковая микро- и наноэлектроника: /А. И. Лебедев -М.: ФИЗМАТЛИТ , 2008
3. Шалимова, Клавдия Васильевна Физика полупроводников: учебник /К. В. Шалимова Изд. 4-е, стер. -СПб. [и др.]: Лань, 2010
4. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учебник-монография /под ред. Р. Келсалла, А. Хамли, М. Геогегана ; пер. с англ. А. Д. Калашникова - Долгопрудный: Интеллект, 2011
5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. СПб.: КОРОНА, 2007. 320 с.
6. В. И. Старосельский. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника микроэлектроники. М.: Высшее образование. 2009.
7. М. Шур. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника. В 2-х книгах. М., Мир, 1992.
8. С. Зи. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника. В 2-х книгах. М., Мир, 1984.
9. М. Шур. Современные приборы на основе арсенида галлия. Изд-во Мир, М., 1991.
10. Э.Х. Родерик. Контакты металл-полупроводник.- М.: Радио и связь, 1982.
11. Пасынков В.В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. СПб. [и др.]: Лань, 2006. 479 с.
12. Бурбаева Н.В., Днепровская Т. С. Сборник задач по полупроводниковой электронике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 167 с.
13. В.И. Гаман. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника. 2-ое перераб. и доп. издание. Томск, 2000 - 425 с.

5.4 Периодические издания:

Нет.

6 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. Журнал: Компоненты и технологии <http://www.kit-e.ru>
2. Журнал: Электронные компоненты <http://www.elcomdesign.ru>
3. Журнал физика и техника полупроводников <http://journals.ioffe.ru>

7 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

На самостоятельную работу магистров, согласно требованиям ФГОС ВО по направлению 03.04.02 Физика (профиль: «Информационные процессы и системы»), отводится около 50 % времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы студентов может быть организовано в следующих формах:

- составлением индивидуальных планов самостоятельной работы каждого из студентов с указанием темы и видов занятий, форм и сроков представления результатов;
- проведением консультаций (индивидуальных или групповых), в том числе с применением дистанционной среды обучения.

Критерий оценки эффективности самостоятельной работы студентов формируется в ходе промежуточного контроля процесса выполнения заданий и осуществляется на основе различных способов взаимодействия.

В соответствии с этим при проведении оперативного контроля могут

использоваться контрольные вопросы как к выполняемым работам лабораторного практикума, так и к соответствующим разделам основной дисциплины.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

8 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1 Перечень информационных технологий.

1. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
2. Использование электронных презентаций при проведении практических занятий.

8.2 Перечень необходимого программного обеспечения.

Программный продукт	Договор/лицензия
ОС MS Windows 7	Дог. № 77-АЭФ/223-ФЗ/2017 от 03.11.2017
Офисное приложение MS Office 7	Дог. № 77-АЭФ/223-ФЗ/2017 от 03.11.2017
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition	Контракт №69-АЭФ/223-ФЗ от 11.09.2017

8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru/>)

9 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1	2	3
1	Лекционные занятия	Лекционная аудитория №132С, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным обеспечением (ПО).
2	Семинарские занятия	Рабочим планом не предусмотрены.
3	Лабораторные занятия	Аудитория №132С оснащенная дисплейным классом.
4	Курсовое проектирование	Рабочим планом не предусмотрены.
5	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория №132С оснащенная дисплейным классом.
6	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория №132С оснащенная дисплейным классом.

7	Самостоятельная работа	Кабинет для самостоятельной работы №132С, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.
---	------------------------	--