



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра общей и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан Физического факультета Н.М. Буднев
«20» апреля 2023г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля) Б1.О.19 Твердотельная электроника

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки Электроника и нанoeлектроника

Квалификация выпускника бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
общей и экспериментальной физики
Протокол № 7 от «31» января 2023 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н.
А.А. Гаврилюк

Иркутск 2023 г.

Содержание

I.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ):	3
II.	МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО	3
III.	ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
IV.	СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ	6
4.1.	Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	6
4.2.	План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	13
4.3.	Содержание учебного материала	1
4.3.1.	Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	4
4.3.2.	Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	5
	Б) ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
	6.1. УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ:	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
	6.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА:	14
III.	ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	15
V.	ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	16

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ):

Целью дисциплины «Твердотельная электроника» ознакомление студентов с физическими и технологическими основами твердотельной электроники, такими как диоды, МДП-транзисторы, биполярные транзисторы, тиристоры, сенсорные устройства и преобразователи и т.д. В результате изучения курса студенты должны иметь представления о физических закономерностях, положенных в основу действия приборов твердотельной электроники, об основных устройствах, используемых в современной электронике, способах их применения. На основании полученных знаний студенты должны уметь правильно использовать различные режимы работы устройств твердотельной электроники для получения необходимых выходных сигналов.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Твердотельная электроника» входит в модуль **Б1.О.19**, относящийся к обязательной части цикла Б1 основной образовательной программы по направлению: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника.**

Дисциплина «Твердотельная электроника» опирается на математическую дисциплину «Математический анализ», школьные дисциплины «Физика» и «Химия».

Освоение дисциплины необходимо для освоения курсов «Физика конденсированного состояния», «Квантовая и оптическая электроника».

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1 Выявляет естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, предлагает экспериментальные методы их решения	Знать: экспериментальные методы. Уметь: Выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, предлагает экспериментальные методы их решения. Владеть: Навыками предложения экспериментальных методов решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности.
	ОПК-2.2 Самостоятельно проводит экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники	Знать: правила проведения экспериментальных исследований по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники Уметь: Самостоятельно проводить экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники Владеть: Навыками проведения экспериментальных исследований по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники.
	ОПК-2.3 Использует приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде	Знать: приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде Уметь: обрабатывать и представлять экспериментальные результаты в удобном для их анализа и интерпретации виде. Владеть: способностью использовать приемы

		обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде
--	--	--

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часов, в том числе 87 часов контактной работы.

Из них реализуется с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий 0 часов.

Из них 0 часов – практическая подготовка.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися		Консультация		
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	1.1.Неравновесные носители заряда. Объёмный заряд в полупроводниках с неоднородной концентрацией носителей	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос

	заряда.								
2.	1.2.Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
3.	1.3.Искривление энергетических зон.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
4.	2.1.Электронно-дырочный (р-п) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в р-п- переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
5.	2.2. Прямое и обратное включение р-п-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
6.	2.3.Формула Шокли. Методы формирования и классификация р-п-переходов.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
7.	2.4.Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
8.	2.5.Барьер Шотки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
9.	2.6.Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование

	инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.								
10.	3.1. Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n-переходе.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
11.	3.2. Влияние поверхностных состояний на вольт амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
12.	3.3. Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
13.	3.4. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.	6	3	0	1	1		0	Экспресс-опрос. Собеседование
14.	3.5. Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабилсторы, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
15.	3.6. Эффект Ганна. Диод Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.	6	3	0	1	1		0	Экспресс-опрос. Собеседование
16.	4.1. Структура, принцип действия, схемы включения транзистора. Энергетическая диаграмма при нормальном включении. Коэффициенты передачи токов эмиттера и базы. Пробой транзистора.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос

17.	4.2.Статические характеристики транзистора. Системы статических характеристик. Модель Эберса-Молла. Входные и выходные характеристики, характеристики передачи транзистора в схеме с общей базой и общим эмитером. Сущность эффекта Эрли. Влияние температуры на статические характеристики.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
18.	4.3.Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Физические схемы и собственные параметры. Параметры транзистора как линейного четырехполюсника. Зависимость малосигнальных параметров от постоянной составляющей тока на входе и напряжения на выходе. Частотные параметры транзистора.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
19.	4.4.Работа транзистора с нагрузкой. Нагрузочная характеристика. Активный режим работы. Работа транзистора на импульсах. Переходные процессы в транзисторе.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
20.	4.5.Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур. Конструктивно-технологические особенности мощных транзисторов. Биполярные транзисторы как элементы интегральных микросхем.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
21.	5.1.Структура и принцип действия диодного тиристора. Энергетические диаграммы.	6	7	0	2	2		2	Экспресс-опрос

	Открытое и закрытое состояние. Вольт-амперная характеристика. Суммарный коэффициент передачи тока тиристорной структуры. Пробой тиристора. Диодный тиристор с зашунтированным эмиттерным переходом.								
22.	5.2.Триодный тиристор. Принцип управления. Условие переключения. Симметричный тиристор. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тиристоров.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
23.	6.1.Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
24.	6.2.Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Перекрытие канала. Напряжение насыщения. Уравнения ВАХ для крутой и пологой частей характеристик. Характеристики передачи. Влияние температуры на статические характеристики. Пробой транзистора.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
25.	6.3.Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП- транзистора.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос

	Частотные свойства. Переходные процессы в МДП- транзисторе при работе в качестве электронного ключа.								
26.	6.4.Конструктивно-технологические разновидности транзисторов. Эффекты короткого канала в МДП-транзисторах. Зависимость порогового напряжения от длины канала и напряжения на стоке. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
27.	7.1.Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия. Статические выходные характеристики и характеристики передачи. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Разновидности полевых транзисторов.	6	7	0	2	2		2	Экспресс-опрос
28.	7.2.Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ.	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос
29.	8.1.Полупроводниковые излучатели. Инжекционная электролюминесценция. Явление вынужденного излучения в полупроводниках. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели, инжекционные лазеры: принцип действия и основные	6	5	0	1	1		2	Экспресс-опрос

	свойства.								
30.	8.2.Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.	6	7	0	2	2		2	Экспресс-опрос
31.	8.3. Оптопары.	6	6	0	1	1		3	Экспресс-опрос
32.	9.1.Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.	6	6	0	1	1		3	Экспресс-опрос
33.	9.2.Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы).	6	6	0	1	1		3	Экспресс-опрос
34.	10.1. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.	6	6	0	1	1		3	Экспресс-опрос
35.	10.2. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.	6	6	0	1	1		2	Экспресс-опрос
Экзамен		6							
Итого часов			144	0	38	38	0	31	37

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	1.1.Неравновесные носители заряда. Объёмный заряд в полупроводниках с неоднородной концентрацией носителей заряда.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	1.2.Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	1.3.Искривление энергетических зон.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	2.1.Электронно-дырочный (р-п) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в р-п- переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	2.2. Прямое и обратное включение р-п- перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	2.3.Формула Шокли. Методы формирования и классификация p-n-переходов.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	2.4.Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	2.5.Барьер Шотки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	2.6.Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	3.1. Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п-переходе.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	3.2. Влияние поверхностных состояний на вольт амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	3.3. Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема.			2		Из списка основной и дополнительной литературы.
6	3.4. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	3.5.Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабисторы, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	3.6.Эффект Ганна. Диод Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	4.1. Пробой транзистора.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	4.2. Влияние температуры на статические характеристики.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	4.3. Частотные параметры транзистора.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	4.5.Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	5.1. Пробой тиристора.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	5.2. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тириستоров.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	6.1. Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	6.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП-транзистора. Частотные свойства. Переходные процессы в МДП-транзисторе при работе в качестве электронного ключа.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоёмкость (час.)		
6	6.4. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	7.1. Разновидности полевых транзисторов.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	7.2. Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	8.2. Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	8.3. Оптопары.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	9.1. Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	9.2. Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы).	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	10.1. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
6	10.2. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	Из списка основной и дополнительной литературы.
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				68		
Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час)				-		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Основные сведения о полупроводниках. Явления переноса в твёрдых телах.

1.1. Неравновесные носители заряда. Объёмный заряд в полупроводниках с неоднородной концентрацией носителей заряда.

1.2. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.

1.3. Искривление энергетических зон.

Раздел 2. Контактные явления в полупроводниках.

2.1. Электронно-дырочный (p-n) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в p-n-переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов.

2.2. Прямое и обратное включение p-n-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.

2.3. Формула Шокли. Методы формирования и классификация p-n-переходов.

2.4. Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника.

2.5. Барьер Шотки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта.

2.6. Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.

Раздел 3. Полупроводниковые диоды.

3.1. Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n-переходе.

3.2. Влияние поверхностных состояний на вольт-амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.

3.3. Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема.

3.4. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.

3.5. Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабилитроны, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.

3.6. Эффект Ганна. Диод Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.

Раздел 4. Биполярные транзисторы.

4.1. Структура, принцип действия, схемы включения транзистора. Энергетическая диаграмма при нормальном включении. Коэффициенты передачи токов эмиттера и базы. Пробой транзистора.

4.2. Статические характеристики транзистора. Системы статических характеристик. Модель Эберса-Молла. Входные и выходные характеристики, характеристики передачи транзистора в схеме с общей базой и общим эмиттером. Сущность эффекта Эрли. Влияние температуры на статические характеристики.

4.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Физические схемы и собственные параметры. Параметры транзистора как линейного четырехполюсника. Зависимость малосигнальных параметров от постоянной составляющей тока на входе и напряжения на выходе. Частотные параметры транзистора.

4.4. Работа транзистора с нагрузкой. Нагрузочная характеристика. Активный режим

работы. Работа транзистора на импульсах. Переходные процессы в транзисторе.

4.5. Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур. Конструктивно-технологические особенности мощных транзисторов. Биполярные транзисторы как элементы интегральных микросхем.

Раздел 5. Тиристоры.

5.1. Структура и принцип действия диодного тиристора. Энергетические диаграммы. Открытое и закрытое состояние. Вольт-амперная характеристика. Суммарный коэффициент передачи тока тиристорной структуры. Пробой тиристора. Диодный тиристор с зашунтированным эмиттерным переходом.

5.2. Триодный тиристор. Принцип управления. Условие переключения. Симметричный тиристор. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тиристортов.

Раздел 6. МДП-транзисторы.

6.1. Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.

6.2. Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Перекрытие канала. Напряжение насыщения. Уравнения ВАХ для крутой и пологой частей характеристик. Характеристики передачи. Влияние температуры на статические характеристики. Пробой транзистора.

6.3. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП- транзистора. Частотные свойства. Переходные процессы в МДП- транзисторе при работе в качестве электронного ключа.

6.4. Конструктивно-технологические разновидности транзисторов. Эффекты короткого канала в МДП- транзисторах. Зависимость порогового напряжения от длины канала и напряжения на стоке. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Раздел 7. Полевые транзисторы с управляющим переходом.

7.1. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия. Статические выходные характеристики и характеристики передачи. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Разновидности полевых транзисторов.

7.2. Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ.

Раздел 8. Полупроводниковые излучатели и фотоприемники.

8.1. Полупроводниковые излучатели. Инжекционная электролюминесценция. Явление вынужденного излучения в полупроводниках. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели, инжекционные лазеры: принцип действия и основные свойства.

8.2. Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.

8.3. Оптопары.

Раздел 9. Полупроводниковые резисторы и преобразователи.

9.1. Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.

9.2. Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы).

Раздел 10. Сведения по надежности полупроводниковых приборов.

10.1. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов,

вероятность безопасной работы. Показатели надежности.

10.2. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 1 Разделы 1.1-1.4	Решение и разбор задач по теме.	3	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
2.	Тема 2 Разделы 2.1-2..6	Решение и разбор задач по теме.	6	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
3.	Тема 3 Разделы 3.1-3.6	Решение и разбор задач по теме.	6	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
4.	Тема 4 Разделы 4.1-4.5	Проверка знаний по пройденной теме	5	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
5.	Тема 5 Разделы 5.1-5.2	Решение и разбор задач по теме.	3	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
6.	Тема 6 Разделы 6.1-6.4	Решение и разбор задач по теме.	4	Письменный текущий контроль	ОПК-2

7.	Тема 7 Разделы 7.1-7.2	Решение и разбор задач по теме.	3	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
8.	Тема 8 Разделы 8.1-8.3	Проверка знаний по пройденной теме	4	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
9.	Тема 9 Разделы 9.1-9.2	Решение и разбор задач по теме.	2	Письменный текущий контроль.	ОПК-2
10.	Тема 10 Разделы 10.1-10.2	Решение и разбор задач по теме.	2	Письменный текущий контроль.	ОПК-2

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1. 1	1.1.Неравновесные носители заряда. Объёмный заряд в полупроводниках с неоднородной концентрацией носителей заряда.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
2. 2	1.2.Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям,	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

		выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		
3. 3	1.3.Искривление энергетических зон.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
4. 4	2.1.Электронно-дырочный (р-п) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в р-п- переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
5. 5	2.2. Прямое и обратное включение р-п- перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
6. 6	2.3.Формула Шокли. Методы формирования и классификация р-п- переходов.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
7. 7	2.4.Переходы на основе контакта металл-полупроводник.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям,	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

	Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника.	выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		
8. 8	2.5.Барьер Шотки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
9. 9	2.6.Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
10. 0	3.1.Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n-переходе.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
11. 1	3.2.Влияние поверхностных состояний на вольт амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
12. 2	3.3.Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям,	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

	схема.	выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.		
13. 3	3.4. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
14. 4	3.5.Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабилитроны, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
15. 5	3.6.Эффект Ганна. Диод Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
16.	4.1. Пробой транзистора.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

		вопросы.		
17.	4.2. Влияние температуры на статические характеристики.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
18.	4.3. Частотные параметры транзистора.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
19.	4.5. Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
20.	5.1. Пробой тиристора.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
21.	5.2. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тиристорных структур.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

22.	6.1.Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
23.	6.3.Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП- транзистора. Частотные свойства. Переходные процессы в МДП- транзисторе при работе в качестве электронного ключа.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
24.	6.4. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
25.	7.1. Разновидности полевых транзисторов.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
26.	7.2. Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

27.	8.2.Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
28.	8.3. Оптопары.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
29.	9.1.Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
30.	9.2.Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы).	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
31.	10.1. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3

32.	10.2. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-2.	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3
-----	--	---	--------	---------------------------------

4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя (научного руководителя (консультанта)), в ходе которой студент активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи. В процессе проведения самостоятельной работы формируются компетенция ПК-5.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы по темам дисциплины

1. Явления переноса в твёрдых телах
2. Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах
3. Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабисторы, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.
4. Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур. Конструктивно-технологические особенности мощных транзисторов. Биполярные транзисторы как элементы интегральных микросхем.
5. Триодный тиристор. Принцип управления. Условие переключения. Симметричный тиристор. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тиристоров.
6. Конструктивно-технологические разновидности транзисторов. Эффекты короткого канала в МДП- транзисторах. Зависимость порогового напряжения от длины канала и напряжения на стоке. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).
7. Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ.
8. Полупроводниковые излучатели. Инжекционная электролюминесценция. Явление вынужденного излучения в полупроводниках. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели, инжекционные лазеры: принцип действия и основные свойства.
9. Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы),.
10. Основные положения и понятия теории надежности.
 - 10.1 Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.
 - 10.2 Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Не предусматривается.

I. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Лебедев, А.И. Физика полупроводниковых приборов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2008. — 488 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2244>

2. Барыбин, А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2008. — 424 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2105>

б) дополнительная литература

1. Троян, П.Е. Твердотельная электроника. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ГУСУР, 2008. — 330 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/4966>

2. Дьяконов, В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 1: Приборы общего назначения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2013. — 600 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/9121>

3. Дьяконов, В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 2: Приборы специального назначения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2013. — 576 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/9122>

в) программное обеспечение

программа тестирования знаний по основным разделам дисциплины

г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы:

1. Книгафонд - библиотека онлайн чтения. www.knigafund.ru

2. ЭБС "Издательство Лань" <http://e.lanbook.com/>

Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Мультимедийный проектор, принтер, ксерокс, ноутбук.

Программное обеспечение:

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

Технические и электронные средства:

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области физики низкоразмерных структур.

I. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВО, в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Интерактивные формы работы на учебных занятиях предусматривают активную позицию студентов при изучении материала, например, самостоятельно подготовить дополнение к теме и вынести его на обсуждение, провести дискуссию, включить элементы собственных научных исследований и сделать краткую презентацию своих выступлений на научных конференциях. Все это формирует способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в области исследований магнитного состояния вещества.

На практических занятиях студенты используют авторские задачи. По материалам наблюдений они приобретают исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям, после получения базового образования и формируют компетенцию готовности выявить естественнонаучную сущность проблем, компетенцию готовности использовать методы теоретической и экспериментальной физики в профессиональной деятельности для изучения магнитных веществ.

Программа основана на использовании современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционные, научно-исследовательской направленности и т. п.

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1.	Лекция	Вводная лекция, информационная лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи.
3.	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

V. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

Оценочные материалы для входного контроля:

Проводится опрос на первом занятии.

Оценочные материалы текущего контроля:

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения.

Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации:

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Разработчик:

 _____ к.ф.-м.н., доцент Зубрицкий С.М

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики
«31» января 2023 г.

Протокол № 7

Зав. кафедрой  _____ д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)
Физический факультет
Кафедра Общей и экспериментальной физики

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине Б1.О.19 Твердотельная электроника
направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
направленность (профиль) Электроника и наноэлектроника

Иркутск, 2023

Одобен
УМК физического факультета
Протокол № 38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев



Разработан в соответствии с приказом от 19 сентября 2017 г. № 927 об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 электроника и нанoeлектроника

Разработчик:

к.ф.-м.н., доцент Зубрицкий С.М

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Наименование дисциплины (модуля) Б1.О.19 Твердотельная электроника

Направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленности (профили) подготовки Электроника и наноэлектроника

Квалификация выпускника бакалавр

Форма обучения очная

1. Компетенции (индикаторы компетенций), формируемые в процессе изучения дисциплины (курс 3 семестр б):

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1 Выявляет естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, предлагает экспериментальные методы их решения	<p>Знать: экспериментальные методы.</p> <p>Уметь: Выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, предлагает экспериментальные методы их решения.</p> <p>Владеть: Навыками предложения экспериментальных методов решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности.</p>
	ОПК-2.2 Самостоятельно проводит экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники	<p>Знать: правила проведения экспериментальных исследований по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники</p> <p>Уметь: Самостоятельно проводить экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники</p> <p>Владеть: Навыками проведения экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники.</p>
	ОПК-2.3 Использует приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде	<p>Знать: приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде</p> <p>Уметь: обрабатывать и представлять экспериментальные результаты в удобном для их анализа и интерпретации</p>

		<p>виде.</p> <p>Владеть:</p> <p>способностью использовать приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде</p>
--	--	--

2. Текущий контроль

Программа оценивания контролируемой компетенции ОПК - 3

Тема или раздел дисциплины	Формируемый признак компетенции	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС	
				ТК	ПА
Основные сведения о полупроводниках.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос. Контрольная работа.	
Контактные явления в полупроводниках.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос. Контрольная работа.	
Полупроводниковые диоды.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос. Контрольная работа.	
Биполярные транзисторы.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.	
Тиристоры.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.	
МДП – транзисторы.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Устный опрос.	

Полевые транзисторы с управляющим переходом.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.
Полупроводниковые излучатели и фотоприемники.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.
Полупроводниковые резисторы и преобразователи.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.
Сведения по надежности полупроводниковых приборов.	ОПК - 3	Оценка за выполненное задание	Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»; «не зачтено» - оценка «неудовлетворительно».	Письменный опрос.

3.3 Оценочные материалы (средства), обеспечивающие диагностику сформированности компетенций (или индикаторов компетенций), заявленных в рабочей программе дисциплины (модуля)

В этом разделе могут быть представлены зачётно-экзаменационные материалы, содержащие комплекты вопросов (заданий) для зачёта и экзаменационных билетов для экзамена, а также критерии формирования оценок. Решением кафедры в состав экзаменационных билетов для экзамена или заданий к зачёту вместо вопросов, задач/заданий, могут включаться тесты и иные КИМ, применение которых позволит оценить уровни сформированности компетенций у студентов.

Обратите внимание! Данный раздел содержит только тот материал, который используется автором при проведении промежуточной аттестации (зачет или экзамен) по дисциплине (модулю) и указан в его рабочей программе.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

«Иркутский
государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)
Факультет/институт _____

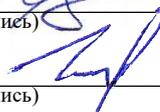
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина

Направление подготовки

1. Работа транзистора с нагрузкой.
2. Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.
3. Соотношение Эйнштейна. Искривление энергетических зон.

Педагогический работник _____ (подпись)  С.М. Зубрицкий

Заведующий кафедрой _____ (подпись)  А.А. Гаврилук

«31» января 2023 г.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если верно отвечает на 3 вопроса;
- оценка «хорошо» - правильный ответ на 2 вопроса и общий ответ на 1 вопрос;
- оценка «удовлетворительно» - общий ответ на заданные вопросы, отсутствие конкретики при понимании механизмов, лежащих в основе;
- оценка «неудовлетворительно» - полное отсутствие понимания общих базовых механизмов.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Иркутский государственный
 университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)
Физический факультет

Вопросы для собеседования

1. Классификация изделий твердотельной электроники. Полупроводниковые приборы как основные элементы микроэлектроники.
2. Неравновесные носители заряда. Объёмный заряд в полупроводниках с неоднородной концентрацией носителей заряда.
3. Уравнение непрерывности.
4. Соотношение Эйнштейна. Искривление энергетических зон.
5. Электронно-дырочный (p-n) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в p-n-переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов.
6. Прямое и обратное включение p-n-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Формула Шокли.
7. Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника.
8. Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.
9. Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы.
10. Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n-переходе. Влияние поверхностных состояний на вольт-амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой.
12. Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.
13. Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства.
14. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабисторы, диоды Шоттки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.
15. Энергетическая структура зоны проводимости GaAs. Эффект Ганна. Диод Ганна. Вольтамперная характеристика диода Ганна.
16. Физические основы работы биполярного транзистора. Схема токопереноса в биполярном p-n-p транзисторе. Коэффициенты инжекции, переноса, передачи тока эмиттера к коллектору.
17. Входные и выходные статические характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой и общим эмиттером. Сущность эффекта Эрли..

18. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Параметры транзистора как линейного четырехполюсника.
19. Модель Эберса-Молла..
20. Работа транзистора с нагрузкой. Нагрузочная характеристика. Активный режим работы.
21. Частотные свойства биполярных транзисторов и способы их улучшения.
22. Структура и принцип действия диодного тиристора. Энергетические диаграммы. Открытое и закрытое состояние. Вольт-амперная характеристика. Суммарный коэффициент передачи тока тиристорной структуры. Пробой тиристора. Диодный тиристор с зашунтированным эмиттерным переходом.
23. Триодный тиристор. Принцип управления. Условие переключения..
24. Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная МДП- структура. Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.
25. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Перекрытие канала. Напряжение насыщения.
26. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).
27. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия. Статические выходные характеристики и характеристики передачи.
28. Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шоттки (ПТШ). Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ. Принцип действия при работе в режимах обогащения и обеднения канала.
29. Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы,
30. Фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры. Оптопары.
31. Полупроводниковые датчики (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.
32. Гальваномагнитные приборы (преобразователи Холла, магнитодиоды, магнитотранзисторы).
33. Тензоэлектрические приборы (тензорезисторы, тензодиоды) : принцип действия и основные свойства.
33. Сенсорные устройства и преобразователи.
34. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.

Педагогический работник _____ С.М. Зубрицкий
(подпись)

Заведующий кафедрой _____ А.А. Гаврилюк
(подпись)

«31» января 2023 г.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если верно отвечает на 3 вопроса;
- оценка «хорошо» - правильный ответ на 2 вопроса и общий ответ на 1 вопрос;
- оценка «удовлетворительно» - общий ответ на заданные вопросы, отсутствие конкретики при понимании механизмов, лежащих в основе;
- оценка «неудовлетворительно» - полное отсутствие понимания общих базовых механизмов.