



**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 И.М. Буднев  
«31» марта 2022г.

**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 № 33 от «31» марта 2022 г.

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

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 6 от «24» марта 2022 г.

**Зав.кафедрой:** д.ф.-м.н.  
А.А.Гаврилюк

Иркутск 2022г.

## Содержание

<b>I.</b>	<b>ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ):.....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО .....</b>	<b>3</b>
<b>III.</b>	<b>ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>IV.</b>	<b>СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>6</b>
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
	<b>Б) ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ .....</b>	<b>ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.</b>
	<b>6.1. УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: .....</b>	<b>ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.</b>
	<b>6.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА:.....</b>	<b>14</b>
<b>III.</b>	<b>ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>15</b>
<b>V.</b>	<b>ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....</b>	<b>16</b>

## 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/п	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				
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие	Консультация		
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.ФормулаШокли. 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.БарьерШотки. 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 стабисторы, 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 тириستоров.	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
<b>Экзамен</b>		<b>6</b>							
<b>Итого часов</b>			<b>144</b>	<b>0</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>0</b>	<b>31</b>	<b>37</b>

#### 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.ФормулаШокли. 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.БарьерШотки. 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. Вольт-амперная 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. Вольт-амперная 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. Оптипары.

### **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.ФормулаШокли. 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.БарьерШотки. 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](http://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.

<b>№ п/п</b>	<b>Виды учебной работы</b>	<b>Образовательные технологии</b>
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 «24» марта 2022 г.

Протокол № 6

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, 2022

Одобен  
УМК физического факультета  
Протокол № 33 от «31» марта 2022 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	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 наноэлектроники	Знать: правила проведения экспериментальных исследований по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники Уметь: Самостоятельно проводить экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники Владеть: Навыками проведения экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и наноэлектроники.
	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

		<p>виде.</p> <p><b>Владеть:</b></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

«24»марта 2022 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 Шотки, 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)

«24»марта 2022 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.