

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**



УТВЕРЖДАЮ  
Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1сбсfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Твердотельная электроника**

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**

Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**

Курс: **2**

Семестр: **4**

Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	44	44	часов
2	Практические занятия	20	20	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	80	80	часов
5	Самостоятельная работа	64	64	часов
6	Всего (без экзамена)	144	144	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 4 семестр

Томск 2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчики:

д.т.н., профессор каф. ФЭ \_\_\_\_\_

П. Е. Троян

ассистент каф. ФЭ \_\_\_\_\_

В. В. Каранский

Заведующий обеспечивающей каф.  
ФЭ \_\_\_\_\_

П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_

А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.  
ПрЭ \_\_\_\_\_

С. Г. Михальченко

Эксперты:

Профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ) \_\_\_\_\_

Н. С. Легостаев

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) \_\_\_\_\_

И. А. Чистоедова

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

приобретение знаний по физическим основам действия полупроводниковых приборов, их электрическим характеристикам для статического и динамического режимов работы, реакции приборов на внешние воздействия, представлению приборов в виде электрических моделей, методам экспериментального определения параметров моделей.

### 1.2. Задачи дисциплины

- приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами
- обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально использовать заложенные в них возможности.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Твердотельная электроника» (Б1.Б.13) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Материалы электронной техники, Физика.

Последующими дисциплинами являются: Нанoeлектроника, Схемотехника.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей методы анализа переходных процессов
- **уметь** производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда экспериментально определять параметры твердотельных приборов
- **владеть** навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
Аудиторные занятия (всего)	80	80
Лекции	44	44
Практические занятия	20	20
Лабораторные работы	16	16

Самостоятельная работа (всего)	64	64
Подготовка к контрольным работам	8	8
Выполнение индивидуальных заданий	12	12
Оформление отчетов по лабораторным работам	12	12
Подготовка к лабораторным работам	4	4
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	18	18
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	5.0

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр						
1 Введение, цели и задачи дисциплины	1	0	0	1	2	ОПК-2, ПК-1
2 Физические основы твердотельной электроники	5	2	0	3	10	ОПК-2, ПК-1
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	4	2	0	3	9	ОПК-2, ПК-1
4 Электронно-дырочный переход	8	2	4	7	21	ОПК-2, ПК-1
5 Полупроводниковые диоды	4	4	4	17	29	ОПК-2, ПК-1
6 Биполярные транзисторы	8	4	4	17	33	ОПК-2, ПК-1
7 Полевые транзисторы	6	2	4	7	19	ОПК-2, ПК-1
8 Тиристоры	2	2	0	3	7	ОПК-2, ПК-1
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	2	2	0	3	7	ОПК-2, ПК-1
10 Основы микроэлектроники	4	0	0	3	7	ОПК-2, ПК-1
Итого за семестр	44	20	16	64	144	
Итого	44	20	16	64	144	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			

1 Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Полупроводниковые приборы, как элементы электронных цепей (схем). Понятия, определения: электронные устройства, компоненты (пассивные и активные), полупроводниковые приборы. Основные разновидности полупроводниковых приборов по выполняемым функциям и технологии. Основные разделы курса лекций. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники. Список рекомендуемой литературы.	1	ОПК-2, ПК-1
	Итого	1	
2 Физические основы твердотельной электроники	Фундаментальная система уравнений – основа аналитического описания свойств полупроводниковых приборов. Аналитические выражения и физический смысл уравнений Пуассона, полного тока и непрерывности. Собственные и примесные полупроводники и их электропроводность. Компенсированные полупроводники. Зонная диаграмма этих материалов. Концентрация свободных носителей в собственном и примесном полупроводниках. Положение уровня Ферми в них. Зависимость концентрации свободных носителей от температуры. Физическое обоснование диапазона рабочих температур полупроводниковых приборов. Полупроводники в электрическом поле. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.	5	ОПК-2, ПК-1
	Итого	5	
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Контакт металла с полупроводником (М-п/п) – зонная диаграмма. Выпрямляющий и омический контакт. Принцип выпрямления тока на контакте М-п/п по энергетическим диаграммам. ВАХ идеального контакта. Эффект Шоттки. Диод Шоттки. ВАХ реального контакта Шоттки. Распределение электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) на контакте М-п/п и ширина ОПЗ. Емкость диода Шоттки. Эквивалентная схема и модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свой-	4	ОПК-2, ПК-1

	ства.		
	Итого	4	
4 Электронно-дырочный переход	Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП). Определение ЭДП. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП. Инжекция и экстракция носителей. Концентрация неосновных носителей заряда у границ ЭДП. Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.	8	ОПК-2, ПК-1
	Итого	8	
5 Полупроводниковые диоды	Эквивалентная схема диода. Параметры эквивалентной схемы: дифференциальное сопротивление, сопротивление постоянному току, сопротивление базы, диффузионная и барьерная емкости. Зависимость параметров эквивалентной схемы от частоты для диодов с толстой и тонкой базами. Эквивалентная схема диода для высоких частот. Переходные процессы в диодах: включение и переключение для низкого уровня инжекции; включение и отключение для высокого уровня инжекции; эффекты накопления и рассасывания неосновных носителей в базе диода. Понятие низких, средних и высоких частот. Зависимость выпрямляющих свойств диода от частоты ( $f_{max}$ ). Анализ переходных процессов методом заряда. Классификация диодов. Маркировка диодов. Выпрямительные диоды: определение, основные параметры. Импульсные диоды: определение, специфические характеристики, применение. Диоды с накоплением заряда. Универсальные диоды, СВЧ-диоды. Стабилитроны: принцип действия, схема включения, основные параметры, последовательно-параллельное включение. Туннельные диоды: принцип действия по энергетическим диаграммам, параметры, эквивалентная схема, применение. Обращенные диоды: принцип действия, применение. Варикапы: принцип действия, основные параметры. Приборы	4	ОПК-2, ПК-1

	оптоэлектроники - фоторезистор, светоизлучающий диод, фотодиод, оптопары, лазеры: устройство, принцип действия, основные параметры, режимы работы, применение. Лавинопролетные диоды, диоды Ганна. Модели полупроводниковых диодов: статическая, зарядоуправляемая.		
	Итого	4	
6 Биполярные транзисторы	<p>Схема потоков носителей зарядов в БТ. Внутренние физические параметры БТ: эффективность эмиттера, коэффициент переноса, эффективность коллектора. Внешние параметры БТ: коэффициент передачи тока эмиттера, коэффициент передачи тока базы. Связь между внутренними и внешними параметрами в БТ. Статические параметры трех режимов работы БТ. Явление в БТ при больших токах. Эффект модуляции базы (эффект Эрли) и его следствия. Пробой БТ. Особенности пробоя БТ в схеме с ОЭ. Статические характеристики БТ в схеме с ОБ и ОЭ. Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению. Усилительные свойства БТ в схемах с ОБ, ОЭ и ОК. Частотные параметры БТ: предельная частота коэффициента передачи тока эмиттера, предельная частота коэффициента передачи тока базы, граничная частота, максимальная частота генерации. Зависимость эффективности эмиттера, коэффициента переноса, коэффициентов передачи тока эмиттера и тока базы от частоты. Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: <math>t_z</math>, <math>t_n</math>, <math>t_{расс}</math>, <math>t_{сп}</math>, <math>t_{вкл}</math>, <math>t_{выкл}</math>. Описание переходных процессов методом заряда. Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ. Описание БТ как линейного четырехполюсника. Система <math>u</math>-, <math>z</math>- и <math>h</math>- параметров. Схемы замещения БТ в <math>u</math>-, <math>z</math>- и <math>h</math>-параметрах. Переход от одной системы параметров к другой. Смысл <math>h</math>-параметров. Взаимосвязь <math>h</math>-параметров с физическими параметрами БТ. Расчет <math>h</math>-параметров по физическим параметрам БТ и наоборот. Методы определения <math>h</math>-</p>	8	ОПК-2, ПК-1

	<p>параметров. Физическая эквивалентная схема БТ. Эквивалентная схема БТ с ОБ и ОЭ для низких частот. Эквивалентная схема БТ для высоких частот. Параметры эквивалентной схемы БТ. Зависимость параметров БТ от <math>I_{\text{э}}</math>, <math>T</math> и <math>U_{\text{к}}</math>. П-образная и гибридная эквивалентные схемы. Мощные БТ. Составной транзистор (транзистор Дарлингтона). Лавинный транзистор. Однопереходный транзистор. Инжекционный транзистор. IGBT-транзистор. Модели БТ: Эберса-Молла, зарядоуправляемая. Шумы в БТ: определение шума, виды шумов, их зависимость от частоты, <math>I_{\text{э}}</math>, <math>U_{\text{к}}</math>.</p>		
	Итого	8	
7 Полевые транзисторы	<p>ПТ с управляющим р-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, УОТС. Причины, приводящие к отсечке тока и приращению тока. Процессы в ПТ после отсечки приращению тока. Качественный вид выходных ВАХ. Расчет выходных ВАХ ПТ с управляющим переходом. Передаточная характеристика. Основные характеристики усилительного режима: крутизна, внутреннее сопротивление, коэффициент усиления по напряжению. Эквивалентная схема ПТ с управляющим переходом. Граничная частота, критерий граничной частоты. Схемы замещения для НЧ и ВЧ для трех схем включения ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение <math>U_{\text{пор}}</math>. Качественный вид входных и выходных ВАХ МДП-транзистора. Передаточная характеристика. Расчет выходных статических характеристик. Основные параметры усилительного и ключевого режимов работы. Переходные процессы. Комплементарная пара. Эквивалентная схема. Модели МДП-транзистора: динамическая модель малого и большого сигналов. Статическая и динамическая модель мощных ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом. Устройство, принцип действия, эквивалентная схема. Семейство выходных статических характеристик. Передаточные характеристики. Отличие транзистора со встроенным каналом от прибора с индуцированным каналом. Транзисторы с n-каналами и самосовмещенными затво-</p>	6	ОПК-2, ПК-1



	рами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разнообразности полевых транзисторных структур СБИС. Особенности полевых транзисторов с управляющими переходами в интегральном исполнении. Паразитная связь между элементами через полуизолирующую подложку. Интегральные схемы на ПТШ на основе арсенида галлия. НЕМТ-транзисторы.		
	Итого	6	
8 Тиристоры	Общие сведения о тиристорах. Классификация и условно-графические обозначения тиристоров. Устройство и принцип действия диодного тиристора. Триодный незапираемый тиристор. Триодный запираемый тиристор. Симметричные тиристоры. Эффекты $dU/dt$ и $dI/dt$ . Основные параметры тиристоров. Маркировка тиристоров.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
10 Основы микроэлектроники	Методы изоляции. Многоэмиттерные и многоколлекторные биполярные транзисторы. Интегральный транзистор. Вертикальный и горизонтальный транзистор.	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		44	

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Предшествующие дисциплины</b>										
1 Материалы электронной техники		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Физика		+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Последующие дисциплины</b>										
1 Нанозлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Схемотехника	+		+	+	+	+	+	+	+	+

#### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Защита отчета, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию

#### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

#### 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
4 Электронно-дырочный переход	Исследование вольт-амперной характеристики р-n перехода	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
5 Полупроводниковые диоды	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
6 Биполярные транзисторы	Исследование статических характеристик биполярного транзистора Определение параметров биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	
7 Полевые транзисторы	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим р-n переходом	4	ОПК-2, ПК-1
	Итого	4	

Итого за семестр		16	
------------------	--	----	--

### 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Физические основы твердотельной электроники	Физические основы твердотельной электроники	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Расчет параметров диода Шоттки	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
4 Электронно-дырочный переход	Расчет параметров электронно-дырочного перехода	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
5 Полупроводниковые диоды	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ОПК-2, ПК-1
	Контрольная работа №1. Расчет параметров полупроводниковых приборов.	2	
	Итого	4	
6 Биполярные транзисторы	Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистораЭффект Эрли в биполярных транзисторахОпределение малосигнальных параметров биполярного транзистора	2	ОПК-2, ПК-1
	Контрольная работа № 2. Расчет параметров биполярного транзистора	2	
	Итого	4	
7 Полевые транзисторы	Расчет параметров полевых транзисторов	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
8 Тиристоры	Расчет параметров тиристоров	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров	2	ОПК-2, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		20	

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
-------------------	-----------------------------	-----------------	-------------------------	----------------

4 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Тест
	Итого	1		
2 Физические основы твердотельной электроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
4 Электронно-дырочный переход	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Итого	7		
5 Полупроводниковые диоды	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	6		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	17		
6 Биполярные транзисторы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	1		

	Подготовка к лабораторным работам	1		те, Отчет по практическому занятию, Тест
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	6		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	17		
7 Полевые транзисторы	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к лабораторным работам	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	3		
	Итого	7		
8 Тиристоры	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
9 Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
10 Основы микроэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-2, ПК-1	Конспект самоподготовки, Отчет по практическому занятию, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
Итого за семестр		64		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		100		

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
4 семестр				
Защита отчета		10	10	20
Контрольная работа		10	10	20
Отчет по индивидуальному заданию		12	12	24
Тест	2	2	2	6
Итого максимум за период	2	34	34	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	2	36	70	100

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
65 - 69		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **12.1. Основная литература**

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб. [Электронный ресурс]: Лань, 2013. – 560 с. — Режим доступа: [http://lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=68&pl1\\_id=937](http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=937) (дата обращения: 05.11.2018).

### **12.2. Дополнительная литература**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.)

2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

3. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 57 экз.)

4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 98 экз.)

### **12.3. Учебно-методические пособия**

#### **12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 49 экз.)

2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 29 экз.)

#### **12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

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

##### **Для лиц с нарушениями зрения:**

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

##### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

##### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### **12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: <http://www.ph4s.ru/>

2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>

3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>

4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

### **13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

#### **13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, те-

кущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### **13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

### **13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115б ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные стенды: «Исследование ВАХ р-п перехода», «Исследование вольёмкостной характеристики р-п пе-рехода» - (2 шт.), «Исследование статистических характеристик полевого транзистора со встроенным р-п переходом» (2 шт.), «Исследование статистических характеристик биполярного транзистора» (2 шт.), «Исследование переходных процессов в полупроводниковом диоде», «Физические основы электроники»;

- Источник питания Б5-31;
- Вольтметр В7-22А (2 шт.);
- Осциллограф С1-118А;
- Осциллограф АСК-1021;
- Генератор Г5-15;
- Измеритель Л2-42 (2 шт.);
- Персональный компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Windows XP

### **13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.



Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### **13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## **14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### **14.1.1. Тестовые задания**

1. При  $T=0$  К все уровни...

1. валентной зоны не заняты, а уровни зоны проводимости заполнены;

2. валентной зоны и зоны проводимости не заняты;

3. валентной зоны и зоны проводимости заполнены;

4. валентной зоны заполнены, а уровни зоны проводимости не заняты.

2. Носители в вырожденных полупроводниках подчиняются статистике...

1. Ферми-Дирака;

2. Бозе-Эйнштейна;

3. Максвелла-Больцмана;

4. Больцмана.

3. Подвижность электронов в полупроводниках...

1. всегда меньше подвижности дырок;

2. может быть, как меньше подвижности дырок, так и больше;

3. всегда больше подвижности дырок;

4. равна подвижности дырок.

4. Эффект односторонней проводимости диода Шоттки отражен на эквивалентной схеме...

1. омическим сопротивлением базы;

2. дифференциальным сопротивлением;

3. сопротивлением растекания;

4. емкостью плоского конденсатора, одной из обкладок которой является металл, а второй (воображаемой) обкладкой является изменяющаяся граница ОПЗ.

5. Электроны, прошедшие в металл, создают на его поверхности отрицательный заряд, а в приповерхностном слое проводника нескомпенсированные ионизованные доноры формируют по-

ложительный заряд, в результате этого процесса между металлом и полупроводником возникает...

1. внутреннее электрическое поле;
2. внешнее электрическое поле;
3. магнитное поле;
4. градиент концентрации.
6. Областью пространственного заряда называется область на контакте, где...

1. в металле повышена концентрация электронов;
2. в металле понижена концентрация электронов;
3. в полупроводнике понижена концентрация электронов;
4. в полупроводнике повышена концентрация электронов.

7. Диод Шоттки – это полупроводниковый прибор на основе контакта металл-полупроводник, принцип действия которого основан на явлении...

1. фотоэлектронной эмиссии;
2. вторичной эмиссии;
3. автоэлектронной эмиссии;
4. термоэлектронной эмиссии.

8. Явление перехода основных носителей заряда через ОПЗ р-п перехода в область, в область, где они становятся неосновными, называется...

1. инжекция неосновных носителей заряда;
2. инжекция основных носителей заряда;
3. экстракция неосновных носителей заряда;
4. экстракция основных носителей заряда.

9. Какой ток возникает из-за загрязнения поверхности полупроводника и может существенно влиять на обратную ветвь ВАХ при достаточно больших обратных напряжениях?

1. ток тепловой генерации;
2. канальный ток;
3. ток утечки;
4. ток насыщения.

10. Усилительные, генераторные и переключательные свойства биполярного транзистора обусловлены явлениями...

1. инжекции неосновных и экстракции основных носителей зарядов;
2. инжекции основных и экстракции неосновных носителей зарядов;
3. инжекции и экстракции основных носителей зарядов;
4. инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов.

11. Активный режим работы биполярного транзистора осуществляется тогда, когда...

1. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении;
2. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении;
3. эмиттерный переход смещен в обратном направлении, коллекторный в прямом.
4. эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном.

12. Из ниже перечисленных параметров биполярного транзистора к числу внешних параметров не относится...

1. статический коэффициент передачи тока эмиттера;
2. дифференциальный коэффициент передачи тока эмиттера;
3. коэффициент передачи тока базы;
4. эффективность коллектора.

13. На данном рисунке приведено условно-графическое обозначение...

1. гетеробиполярного транзистора;
2. инжекционного транзистора;
3. однопереходного транзистора;
4. лавинного транзистора.

14. Тиристор – это...

1. полупроводниковый прибор с тремя или более р-п переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением;
2. полупроводниковый прибор с двумя или более р-п переходами, на вольтамперной харак-

- теристике которого имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением;
3. полупроводниковый прибор с тремя или более р-п переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательной проводимостью;
  4. полупроводниковый прибор с двумя или более р-п переходами, на вольтамперной характеристике которого имеется участок с отрицательной проводимостью.
15. В открытом состоянии сопротивление тиристора...
1. высоко, и через него протекает большой ток;
  2. высоко, и через него протекает малый ток;
  3. мало, и через него протекает малый ток;
  4. мало, и через него протекает большой ток.
16. В транзисторах с управляющим р-п переходом в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой...
1. противоположен типу электропроводности истока;
  2. противоположен типу электропроводности стока;
  3. совпадает с типом электропроводности в канале;
  4. противоположен типу электропроводности канала.
17. В транзисторах с изолированным затвором между металлическим затвором и проводящим каналом расположен тонкий слой...
1. диэлектрика;
  2. металла;
  3. полупроводника с противоположенным типом проводимости, чем в канале;
  4. полупроводника с таким же типом проводимости, что и в канале.
18. Режим работы полевого транзистора с управляющим р-п переходом без перекрытия канала называется...
1. режимом отсечки;
  2. линейным режимом;
  3. режимом насыщения;
  4. активным режимом.
19. Для получения высокой крутизны необходимо иметь канал...
1. с большой длиной и малой шириной;
  2. с большой длиной и большой шириной;
  3. с малой длиной и малой шириной;
  4. с малой длиной и большой шириной.
20. При работе транзистора в качестве датчика температуры обычно используют схему включения...
1. с общим коллектором и отключенным эмиттером;
  2. с общей базой;
  3. с общим эмиттером и отключенной базой;
  4. с общим коллектором.

#### **14.1.2. Экзаменационные вопросы**

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
3. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
4. Контакт металл-полупроводник.
5. Диод Шоттки.
6. Омические контакты.
7. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
8. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны.
9. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
10. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
11. Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия.
12. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.

13. Классификация диодов.
14. Выпрямительные диоды.
15. Варикапы.
16. Стабилитрон.
17. Туннельный диод.
18. Фотодиод.
19. Светодиод.
20. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
21. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
22. Схема потоков носителей в БТ.
23. Внутренние параметры БТ:  $\gamma$ ,  $\alpha_P$ ,  $\alpha^*$ .
24. Внешние параметры БТ:  $\alpha$ ,  $\beta$ .
25. Статические характеристики БТ.
26. Усилительные свойства БТ.
27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система  $y$ ,  $z$ ,  $h$  – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Однопереходный транзистор.
33. Инжекционный транзистор.
34. Шумы в БТ.
35. Модель Эберса–Молла.
36. Классификация и маркировка БТ.
37. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
38. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
39. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
40. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. Методы изоляции.
50. Многоэмиттерный и многоколлекторный БТ.
51. Вертикальный и горизонтальный транзистор.

#### **14.1.3. Темы контрольных работ**

1. Расчет параметров полупроводниковых приборов.
2. Расчет параметров биполярного транзистора.

#### **14.1.4. Темы опросов на занятиях**

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Контакт металл-полупроводник.
3. Диод Шоттки.
4. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
5. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
6. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
7. Классификация диодов.
8. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
9. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
10. Внутренние параметры БТ:  $\gamma$ ,  $\alpha_P$ ,  $\alpha^*$ .
11. Внешние параметры БТ:  $\alpha$ ,  $\beta$ .
12. Статические характеристики БТ.

13. Эквивалентная схема БТ.
14. БТ как четырехполюсник. Система  $u, z, h$  – параметров.
15. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
16. Тиристоры.

#### 14.1.5. Темы индивидуальных заданий

1. Расчет параметров полупроводниковых диодов.
2. Расчет параметров биполярных транзисторов.

#### 14.1.6. Вопросы на самоподготовку

1. Магнетоэлектроника.
2. Приборы на эффекте Ганна.
3. Кривоэлектроника.
4. Хемотроника.
5. Приборы с зарядовой связью.

#### 14.1.7. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Физические основы твердотельной электроники

Расчет параметров диода Шоттки

Расчет параметров электронно-дырочного перехода

Расчет параметров полупроводниковых диодов

Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора

Эффект Эрли в биполярных транзисторах

Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора

Расчет параметров полевых транзисторов

Расчет параметров тиристоров

Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров

#### 14.1.8. Темы лабораторных работ

1. Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода
2. Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода
3. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде
4. Исследование статических характеристик биполярного транзистора
5. Определение параметров биполярного транзистора
6. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом

### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету,	Преимущественно проверка методами исходя из состояния

### **14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**

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

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.