

## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 2, 3 Семестр 4, 5

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции				44	-				44	часов
2.	Лабораторные работы				16	-				16	часов
3.	Практические занятия				20	-				20	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-	18				18	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				80	18				98	часов
6.	Из них в интерактивной форме				10	-				10	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				64	54				118	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				144	72				216	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена				36	-				36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				180	72				252	часов
	(в зачетных единицах)				5	2				7	ЗЕ

Экзамен 4 семестрДифзачет 5 семестр

Томск 2016

**Лист согласований**

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 06 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от « 30 » 06 2016 г., протокол № 71.

**Разработчики:**

Профессор кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян  
Ассистент кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / В.В. Каранский

**Заведующий кафедрой**

Профессор кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

Декан \_\_\_\_\_ ФЭТ \_\_\_\_\_ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей  
кафедрой \_\_\_\_\_ ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей  
кафедрой \_\_\_\_\_ ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

**Эксперты:**

Председатель методической  
комиссии факультета ФЭТ \_\_\_\_\_ / И.А. Чистоедова

Председатель методической  
комиссии кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / И.А. Чистоедова

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины «Твердотельная электроника» является 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.

**Задачей** изучения дисциплины «Твердотельная электроника» является приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами, и обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально использовать заложенные в них возможности.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Твердотельная электроника» относится к обязательным дисциплинам базовой части (Б1.Б.17.1).

Основой для изучения дисциплины «Твердотельная электроника» являются курсы: физика, материалы электронной техники, физика конденсированного состояния.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: наноэлектроника, проектирование электронной компоненты базы микроэлектроники и микросистемной техники, схемотехника.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих компетенций:**

– способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (**ОПК-2**);

– способностью владеть современными методами расчета и проектированием изделий микроэлектроники и твердотельной электроники, способностью к восприятию, разработки и критической оценки новых способов их проектирования (**ПСК-1**).

**3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр 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 7 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>98</b>	<b>80</b>	<b>18</b>
В том числе:			
Лекции	44	44	-
Лабораторные работы	16	16	-
Практические занятия	20	20	-
Курсовой проект (аудиторная нагрузка)	18	-	18
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>154</b>	<b>100</b>	<b>54</b>
В том числе:			
Проработка лекционного материала	10	10	-
Подготовка к лабораторным работам	12	12	-
Выполнение практических заданий	12	12	-
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	18	18	-
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	8	-
Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	4	-
Выполнение и защита курсового проекта	54	-	54
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36	36	-
Общая трудоемкость, час	<b>252</b>	<b>180</b>	<b>72</b>
Зачетные Единицы	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Курсовой проект	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	1	2	4	ОПК-2, ПСК-1
2.	Физические основы твердотельной электроники	5	2	-	-	10	17	ОПК-2, ПСК-1
3.	Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	4	2	-	-	10	16	ОПК-2, ПСК-1
4.	Электронно-дырочный переход	8	2	4	-	16	32	ОПК-2, ПСК-1
5.	Полупроводниковые диоды	4	2	4	6	15	40	ОПК-2, ПСК-1
6.	Биполярные транзисторы	8	4	4	6	20	42	ОПК-2, ПСК-1
7.	Полевые транзисторы	6	2	4	5	15	37	ОПК-2, ПСК-1
8.	Тиристоры	2	2	-	-	10	14	ОПК-2, ПСК-1
9.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	2	2	-	-	10	14	ОПК-2, ПСК-1
10.	Основы микроэлектроники	4	2	-	-	10	16	ОПК-2, ПСК-1
<b>ИТОГО</b>		<b>44</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>118</b>	<b>216</b>	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудо-ем-кость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК)
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, ПСК-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, ПСК-1
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 свойства.	4	ОПК-2, ПСК-1
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, ПСК-1
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.	4	ОПК-2, ПСК-1

		<p>Классификация диодов. Маркировка диодов. Выпрямительные диоды: определение, основные параметры. Импульсные диоды: определение, специфические характеристики, применение. Диоды с накоплением заряда. Универсальные диоды, СВЧ-диоды.</p> <p>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 оптоэлектроники - фоторезистор, светоизлучающий диод, фотодиод, оптопары, лазеры: устройство, принцип действия, основные параметры, режимы работы, применение.</p> <p>Лавинопролетные диоды, диоды Ганна. Модели полупроводниковых диодов: статическая, зарядоуправляемая.</p>		
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.</p> <p>Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению.</p> <p>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.</p> <p>Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: <math>t_z</math>, <math>t_n</math>, <math>t_{\text{расс}}</math>, <math>t_{\text{сп}}</math>, <math>t_{\text{вкл}}</math>, <math>t_{\text{выкл}}</math>. Описание переходных процессов методом заряда.</p> <p>Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ.</p> <p>Описание БТ как линейного четырехполосника. 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>-параметров.</p> <p>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_b</math>, <math>T</math> и <math>U_k</math>. П-образная и гибридная эквивалентные схемы.</p> <p>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_b</math>, <math>U_k</math>.</p>	8	ОПК-2, ПСК-1
7.	Полевые транзисторы	<p>ПТ с управляющим р-п переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, <math>U_{\text{отс}}</math>. Причины, приводящие к отсечке тока и приращению тока. Процессы в ПТ после отсечки приращения тока. Качественный вид выходных ВАХ. Расчет выходных ВАХ ПТ с управляющим переходом. Передаточная характеристика. Основные характеристики усилительного режима: крутизна, внутреннее сопротивление, коэффициент уси-</p>	6	ОПК-2, ПСК-1

		ления 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 $U_{пор}$ . 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 затворами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разновидности 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.		
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, ПСК-1
9	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.	2	ОПК-2, ПСК-1
10	Основы микроэлектроники	Методы изоляции. Многоэмиттерные и многоколлекторные биполярные транзисторы. Интегральный транзистор. Вертикальный и горизонтальный транзистор.	4	ОПК-2, ПСК-1

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

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Предшествующие дисциплины</b>										
1.	физика	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	материалы электронной техники	-	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>										
1.	нанoeлектроника	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	проектирование электронной компоненты базы микроэлектроники и микросистемной техники	+	-	+	-	+	+	+	-	-
3.	схемотехника	+	-	+	+	+	+	+	+	-

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	КПС	СРС	
ОПК-2	+	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, защита курсового проекта, экзамен
ПСК-1	+	+	+	+	+	Опрос на лекции, отчет по лабораторной работе, отчет по практической работе, защита индивидуального задания, контрольная работа, тест, защита курсового проекта, экзамен

### 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

#### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
	<i>Работа в команде</i>		8	8
	<i>Опрос на лекциях</i>	2		2
	Итого интерактивных занятий	2	8	10

### 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	4	Исследование вольт-амперной характеристики <i>p-n</i> перехода	4	ОПК-2, ПСК-1
2.	5	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода	4	ОПК-2, ПСК-1
3.	5	Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде	4	ОПК-2, ПСК-1
4.	6	Исследование статических характеристик биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПСК-1
5.	6	Определение параметров биполярного транзистора	4	ОПК-2, ПСК-1
6.	7	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i> переходом	4	ОПК-2, ПСК-1

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы на выбор, но выполненные лабораторные работы должны относиться к разным разделам.

### 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК
1.	2	Физические основы твердотельной электроники	2	ОПК-2, ПСК-1
2.	3	Расчет параметров диода Шоттки	2	ОПК-2, ПСК-1
3.	4	Расчет параметров электронно-дырочного перехода	2	ОПК-2, ПСК-1
2.	5	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ОПК-2, ПСК-1
3.	6	Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора	1	ОПК-2, ПСК-1
4.	6	Эффект Эрли в биполярных транзисторах	0,5	ОПК-2, ПСК-1
5.	6	Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора	0,5	ОПК-2, ПСК-1
6.	7	Расчет параметров полевых транзисторов	2	ОПК-2, ПСК-1
7.	8	Расчет параметров тиристоров	2	ОПК-2, ПСК-1
8.	9	Расчет параметров полупроводниковых преобразователей и сенсоров	2	ОПК-2, ПСК-1
9.	4	КР-1. Расчет параметров полупроводника. Расчет параметров электронно-дырочного перехода. Диод Шоттки	2	ОПК-2, ПСК-1
10.	6	КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов	2	ОПК-2, ПСК-1



## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо- емкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК	Контроль выполне- ния работы
1.	1-10	Проработка лекционного материала	10	ОПК-2, ПСК-1	Опрос на лекциях
3.	4-7	Подготовка к лабораторным работам, написание отчетов	12	ОПК-2, ПСК-1	Отчеты по лабора- торным работам
4.	2-10	Выполнение практических заданий	12	ОПК-2, ПСК-1	Отчеты по практиче- ским работам
4.	4-7	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	18	ОПК-2, ПСК-1	Защита индивидуаль- ных заданий
	4, 6	Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	ОПК-2, ПСК-1	Результаты контроль- ных работ
	4, 6	Подготовка к тестам Т-1, Т-2	4	ОПК-2, ПСК-1	Результаты тестов
	4-6	Выполнение и защита курсового проек- та	54	ОПК-2, ПСК-1	Защита курсового проекта
	1-10	Подготовка и сдача экзамена	36	ОПК-2, ПСК-1	Оценка на экзамене

### Тематика индивидуальных заданий:

1. Расчет параметров диодов Шоттки.
2. Расчет параметров полупроводниковых диодов.
3. Расчет параметров биполярных транзисторов.
4. Расчет параметров полевых транзисторов.

### Вопросы для подготовки к экзамену:

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:  $\gamma$ ,  $\alpha_{п}$ ,  $\alpha^*$ .
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  $u$ ,  $z$ ,  $h$  – 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.

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

### 10.1 Цель и задачи курсового проекта

Целями курсового проекта являются: закрепление и углубление знаний по методам расчета основных элементов интегральных схем; освоение методов расчета параметров активных и пассивных элементов интегральных схем; приобретение навыков оформления технической документации в соответствии с требованиями стандартов.

Задание на курсовые проекты предусматривают расчет активных элементов на основе биполярных транзисторов (эпитаксиальных, эпитаксиально-планарных и т.д.) и полевых транзисторов (МДП транзисторов с индуцированным и встроенным каналами, полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом и барьером Шоттки, НЕМТ). Расчеты включают в себя определение основных параметров активных элементов по биполярной и полевой технологии. Часть работ посвящена разработке интегральных диодов и пассивных элементов (конденсаторов, резисторов).

### 10.2 Распределение часов на выполнение курсового проекта

№ п/п	Наименование работы	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК	Форма контроля
<b>аудиторные работа – 18 ч.</b>				
1.	Выдача заданий на курсовой проект. Изложение порядка выполнения. Требования к оформлению и защите курсового проекта. Выдача задания на следующее аудиторное занятие.	2	ОПК-2, ПСК-1	Допуск к выполнению курсового проекта, план проекта
2.	Согласование списка литературных источников и плана обзорной части проекта. Выдача задания на следующее аудиторное занятие.	2	ОПК-2, ПСК-1	Список использованных источников, выполненная обзорная часть проекта
3.	Анализ исходных данных по проекту. Аналитические расчеты. Выдача задания на следующее аудиторное занятие.	4	ОПК-2, ПСК-1	Выполненная практическая часть проекта
4.	Проверка графических материалов проекта. Выдача задания на следующее аудиторное занятие.	4	ОПК-2, ПСК-1	Графический материал проекта
5.	Проверка оформления проекта, предзащита.	2	ОПК-2, ПСК-1	Готовый курсовой проект, презентация
6.	Защита курсового проекта в виде презентации.	4	ОПК-2, ПСК-1	Оценка на защите
<b>самостоятельная работа – 54 ч.</b>				

1.	Подбор и обзор литературы	10	ОПК-2, ПСК-1	Список использованных источников, выполненная обзорная часть проекта
2.	Выполнение необходимых расчетов по проекту	20	ОПК-2, ПСК-1	Выполненная практическая часть проекта
3.	Выполнение необходимых графических работ по проекту	14	ОПК-2, ПСК-1	Графический материал проекта
4.	Полное оформление проекта	10	ОПК-2, ПСК-1	Готовый курсовой проект, презентация

### 10.3 Примерные темы курсовых проектов

1. Расчет МДП-транзистора с индуцированным каналом.
2. Расчет полевого транзистора.
3. Расчет диффузионно-сплавного р-n-p транзистора средней мощности.
4. Расчет дрейфового транзистора.
5. Расчет эпитаксиально-планарного транзистора.
6. Расчет биполярного транзистора.
7. Расчет диффузионного транзистора.
8. Расчет интегрального диода.
9. Расчет стабилитрона.
10. Расчет интегрального диода Шоттки.

## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля дисциплины (семестр 4)

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
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-1	9			9
Выполнение и защита индивидуального задания ИЗ-2			9	9
Контрольная работа КР-1		8		8
Контрольная работа КР-2			8	8
Выполнение и защита лабораторных работ		6	6	12
Выполнение и защита практических заданий	6	6	4	16
Тест Т-1		4		4
Тест Т-2			4	4
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>31</b>	<b>70</b>
Сдача экзамена (максимум)				30
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>15</b>	<b>39</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

В экзаменационных билетах содержится 4 вопроса, из них 3 – теоретических вопроса по лекционным занятиям (по 8 баллов каждый) и 1 – задача (6 баллов).

5) **Таблица 11.2. Балльные оценки для элементов контроля курсового проекта (семестр**

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
Получение задания на курсовой проект	4			<b>4</b>
Подбор и обзор литературы	8			<b>8</b>
Выполнение необходимых расчетов по проекту	4	18		<b>22</b>
Выполнение необходимых графических работ по проекту		6	6	<b>12</b>
Полное оформление проекта, презентация			12	<b>12</b>
Компонент своевременности	4	4	4	<b>12</b>
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>70</b>
Защита проекта (максимум)				<b>30</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>20</b>	<b>48</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

**Таблица 11.3. 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

**Таблица 11.4. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	<b>90 – 100</b>	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	<b>85 – 89</b>	B (очень хорошо)
	<b>75 – 84</b>	C (хорошо)
	<b>70 – 74</b>	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	<b>65 – 69</b>	E (посредственно)
	<b>60 – 64</b>	
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	<b>Ниже 60 баллов</b>	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.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=5856](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5856)

### **12.2 Дополнительная литература**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (48)
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (45)
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. (21)
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. (6)
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (98)
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (88)
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. (4)

### **12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (49)
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (29)
3. Троян П.Е. Микроэлектроника: Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" дистанционной и дневной форм обучения. – Томск: ТУСУР, 2003. – 36 с. (41)

### **12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые 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**

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором. Проведение лабораторных работ по дисциплине «Твердотельная электроника» осуществляется в специализированной лаборатории кафедры ФЭ 1156 «Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники», которая оснащена следующим оборудованием: лабораторный стенд «Физические основы электроники», лабораторный макет «Исследование вольт-амперной характеристики р-п перехода», лабораторный макет «Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода», лабораторный макет «Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде», лабораторный макет «Исследование статических характеристик биполярного транзистора», лабораторный макет «Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом».

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента образования  
(Проректор по учебной работе)

П.Е. Троян

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

—

Направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

—

Профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике»

—

Форма обучения очная

—

Факультет электронной техники (ФЭТ)

—

Кафедра физической электроники (ФЭ)

—

Курс 2, 3 Семестр 4, 5

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Экзамен 4 семестр

Диф. зачет 5 семестр

**Разработчики:**

Профессор кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Ассистент кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

П.Е. Троян

В.В. Каранский

Томск 2016

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Твердотельная электроника» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по учебной дисциплине «Твердотельная электроника» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Твердотельная электроника» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	<i>знать</i> методы анализа переходных процессов; <i>уметь</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; <i>владеть</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПСК-1	способностью владеть современными методами расчета и проектированием изделий микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработки и критической оценки новых способов их проектирования	<i>знать</i> функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей; <i>уметь</i> правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем; <i>владеть</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1 Компетенция ОПК-2

**ОПК-2** способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	<i>знает</i> методы анализа переходных процессов	<i>умеет</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Курсовой проект; Самостоятельная работа	Лабораторные работы; Курсовой проект
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Тест; Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Курсовой проект (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Курсовой проект (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Курсовой проект (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	обладает базовыми общими знаниями	обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	работает при прямом наблюдении

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>понимает</i> связь между переходными процессами и полупроводниковыми приборами; <i>аргументирует</i> выбор метода анализа переходных процессов; <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи; <i>графически иллюстрирует</i> задачу	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> физически анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда; <i>умеет</i> математически описывать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	<i>знает</i> переходные процессы в полупроводниковых приборах; <i>имеет</i> представление о методах анализа переходных процессов; <i>аргументирует</i> выбор решения задачи; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование; <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах	<i>владеет</i> разными способами представлениями информации; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>дает</i> определения основных понятий; <i>распознает</i> переходные процессы в полупроводни-	<i>умеет</i> работать со справочной литературой; <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабора-	<i>владеет</i> терминологией в предметной области знания; <i>владеет</i> навыками практи-



	ковых приборах; <i>знает</i> основные методы анализа переходных процессов; <i>знает</i> основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике	торной работы; <i>умеет</i> представлять результаты своей работы	ческой работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
--	--	---	--

## 2.2 Компетенция ПСК-1

**ПСК-1** способность владеть современными методами расчета и проектированием изделий микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработки и критической оценки новых способов их проектирования

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
<b>Содержание этапов</b>	<i>знает</i> функциональные электрические модели приборов микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники; и методы определения параметров моделей	<i>умеет</i> правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники; обеспечив при этом высокую надежность схем	<i>владеет</i> навыками практической работы с приборами микро- и нанoeлектроники и элементами электронных схем
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Курсовой проект; Самостоятельная работа	Лабораторные работы; Курсовой проект
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Тест; Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Курсовой проект (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Курсовой проект (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Курсовой проект (защита); Лабораторная работа (защита); Экзамен

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2 в п. 2.1.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	<i>понимает</i> разницу между функциональными и электрическими моделями приборов микро- и нанoeлек-	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> математически опи-	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математиче-

	<p>троники и микросистемной техники;  <i>аргументирует</i> выбор метода определения параметров функциональных и электрических моделей;  <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения по определению параметров моделей;  <i>графически иллюстрирует</i> основные зависимости функциональных и электрических моделей</p>	<p>связать связь между параметрами электронной схемы;  <i>умеет выбирать</i> метод расчета основных параметров электронной схемы, обеспечивая при этом высокую надежность электрических схем</p>	<p>ской форме;  <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде;  <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе</p>
<p><b>Хорошо</b>  <b>(базовый уровень)</b></p>	<p><i>распознает</i> функциональные и электрические модели приборов микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники;;  <i>знает</i> принцип действия функциональных и электрических моделей приборов;  <i>определяет</i> методы расчета параметров функциональных и электрических моделей;  <i>составляет</i> план решения задачи</p>	<p><i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;  <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач;  <i>умеет рассчитывать</i> основные параметры электронных схем, обеспечивая при этом высокую надежность схем</p>	<p><i>владеет</i> разными способами представлениями информации;  <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде;  <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем</p>
<p><b>Удовлетворительно</b>  <b>(пороговый уровень)</b></p>	<p><i>дает</i> определения основных понятий;  <i>распознает</i> функциональные и электрические модели приборов микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники;;  <i>знает</i> принцип действия функциональных и электрических моделей приборов микро- и нанoeлектроники и микросистемной техники;</p>	<p><i>умеет</i> работать со справочной литературой;  <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы;  <i>умеет</i> представлять результаты своей работы</p>	<p><i>владеет</i> терминологией в предметной области знания;  <i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем</p>

### 3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

– типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, самостоятельная работа, курсовой проект, экзамен.

#### 3.1 Тестовые задания

1. Контакты металл-полупроводник. Выпрямляющие и омические переходы на контакте металла с полупроводником
2. Электронно-дырочные переходы
3. Биполярный транзистор

#### 3.2 Контрольные работы

1. Расчет параметров полупроводника. Расчет параметров электронно-дырочного перехода. Диод Шоттки
2. Расчет параметров биполярных транзисторов

### **3.3 Индивидуальные задания**

1. Расчет параметров диодов Шоттки.
2. Расчет полупроводниковых диодов.
3. Расчет параметров биполярных транзисторов.
4. Расчет параметров полевых транзисторов.

### **3.4 Лабораторные работы**

1. Исследование вольт-амперной характеристики р-п 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 р-п переходом.

### **3.5 Темы для самостоятельной работы**

1. Физические основы твердотельной электроники.
2. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки.
3. Электронно-дырочный переход.
4. Полупроводниковые диоды.
5. Биполярные транзисторы.
6. Полевые транзисторы.
7. Тиристоры.
8. Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи

### **3.6 Темы курсовых проектов**

1. Расчет МДП-транзистора с индуцированным каналом.
2. Расчет полевого транзистора.
3. Расчет диффузионно-сплавного р-п-р транзистора средней мощности.
4. Расчет дрейфового транзистора.
5. Расчет эпитаксиально-планарного транзистора.
6. Расчет биполярного транзистора.
7. Расчет диффузионного транзистора.
8. Расчет интегрального диода.
9. Расчет стабилитрона.
10. Расчет интегрального диода Шоттки.

### **3.7 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.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

##### **4.1 Основная литература**

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=5856](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5856)

##### **4.2 Дополнительная литература**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (48)
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (45)

3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. (21)
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. (6)
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (98)
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (88)
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. (4)

#### **4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (49)
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (29)
3. Троян П.Е. Микроэлектроника: Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" дистанционной и дневной форм обучения. – Томск: ТУСУР, 2003. - 36 с. (41)