

## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального 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

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы академический бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Промышленная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

Курс 2 Семестр 4

Учебный план набора 2016 года.

## 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                                       |           |           |           | 28        |           |           |           |           | 28    | часов   |
| 2.  | Лабораторные работы                          |           |           |           | 16        |           |           |           |           | 16    | часов   |
| 3.  | Практические занятия                         |           |           |           | 18        |           |           |           |           | 18    | часов   |
| 4.  | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)    |           |           |           | -         |           |           |           |           | -     | часов   |
| 5.  | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)         |           |           |           | 62        |           |           |           |           | 62    | часов   |
| 6.  | Из них в интерактивной форме                 |           |           |           | 14        |           |           |           |           | 14    | часов   |
| 7.  | Самостоятельная работа студентов (СРС)       |           |           |           | 46        |           |           |           |           | 46    | часов   |
| 8.  | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)             |           |           |           | 108       |           |           |           |           | 108   | часов   |
| 9.  | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена |           |           |           | 36        |           |           |           |           | 36    | часов   |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9)               |           |           |           | 144       |           |           |           |           | 144   | часов   |
|     | (в зачетных единицах)                        |           |           |           | 4         |           |           |           |           | 4     | ЗЕТ     |

Экзамен 4 семестр

Томск 2017

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «11» 01 2017 г., протокол № 77.

#### 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 ПрЭ \_\_\_\_\_ / С.Г. Михальченко

#### Эксперты:

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

Председатель методической  
комиссии кафедры ПрЭ \_\_\_\_\_ / Н.С. Легостаев

## **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.15.1).

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

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: физика конденсированного состояния, схемотехника, нанoeлектроника.

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

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:**

– способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

– способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2).

**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;

– методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

| Вид учебной работы                                    | Всего часов | Семестры   |
|---|-------------|------------|
|   |             | 4          |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                     | <b>62</b>   | <b>62</b>  |
| В том числе:  |             |            |
| Лекции  | 28          | 28         |
| Лабораторные работы                                   | 16          | 16         |
| Практические занятия                                  | 18          | 18         |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                 | <b>82</b>   | <b>82</b>  |
| В том числе:  |             |            |
| Проработка лекционного материала                      | 10          | 10         |
| Подготовка к лабораторным работам                     | 16          | 16         |
| Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2 | 10          | 10         |
| Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2           | 10          | 10         |
| <b>Подготовка и сдача экзамена</b>                    | <b>36</b>   | <b>36</b>  |
| Общая трудоемкость, час                               | <b>144</b>  | <b>144</b> |
| Зачетные Единицы Трудоемкости                         | <b>4</b>    | <b>4</b>   |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

| № п/п        | Наименование раздела дисциплины             | Лекции    | Практические занятия | Лабораторные работы | Самост. работа студента | Всего час  | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|--------------|---|-----------|----------------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------------------------|
| 1.           | Введение, цели и задачи дисциплины          | 1         | -                    | -                   | -                       | 1          | ОПК-1, ПК-2                           |
| 2.           | Физические основы твердотельной электроники | 6         | 2                    | -                   | 7                       | 15         | ОПК-1, ПК-2                           |
| 3.           | Полупроводниковые диоды                     | 4         | 4                    | 8                   | 13                      | 29         | ОПК-1, ПК-2                           |
| 4.           | Биполярные транзисторы (БТ)                 | 10        | 8                    | 4                   | 15                      | 37         | ОПК-1, ПК-2                           |
| 5.           | Полевые транзисторы (ПТ)                    | 4         | 4                    | 4                   | 7                       | 19         | ОПК-1, ПК-2                           |
| 6.           | Тиристоры                                   | 3         | -                    | -                   | 4                       | 7          | ОПК-1, ПК-2                           |
| <b>ИТОГО</b> |   | <b>28</b> | <b>18</b>            | <b>16</b>           | <b>46</b>               | <b>108</b> |                                       |

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

| № п/п | Наименование разделов                       | Содержание разделов   | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, 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-1, ПК-2                           |
| 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 диапа- | 6                   | ОПК-1, ПК-2                           |

|    |                         |  |    |             |
|----|-------------------------|--|----|-------------|
|    |                         | <p>зона рабочих температур полупроводниковых приборов. Полупроводники в электрическом поле.</p> <p>Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.</p> <p>Контакты металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (p-n переход).</p> <p>Контакт металла с полупроводником (M-p/n) – зонная диаграмма. Выпрямляющий и омический контакт. Принцип выпрямления тока на контакте M-p/n по энергетическим диаграммам. ВАХ идеального контакта. Эффект Шоттки. Диод Шоттки. ВАХ реального контакта Шоттки. Распределение электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) на контакте M-p/n и ширина ОПЗ. Емкость диода Шоттки. Эквивалентная схема и модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свойства. 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.</p> <p>Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.</p>                 |    |             |
| 3. | Полупроводниковые диоды | <p>Эквивалентная схема диода. Параметры эквивалентной схемы: дифференциальное сопротивление, сопротивление постоянному току, сопротивление базы, диффузионная и барьерная емкости. Зависимость параметров эквивалентной схемы от частоты (<math>F_{пред}</math>) 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 (<math>f_{max}</math>). Анализ переходных процессов методом заряда.</p> <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> | 4  | ОПК-1, ПК-2 |
| 4. | Биполярные транзисторы  | <p>Схема потоков носителей зарядов в БТ. Внутренние физические параметры БТ: эффективность эмиттера, коэффициент</p>   | 10 | ОПК-1, ПК-2 |

|      |                          |   |   |             |
|------|--------------------------|---|---|-------------|
| (БТ) |                          | <p>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_{расc}</math>, <math>t_{сп}</math>, <math>t_{выкл}</math>, <math>t_{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 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>-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_c</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_c</math>, <math>U_k</math>.</p> |   |             |
| 5.   | Полевые транзисторы (ПТ) | <p>ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, <math>U_{отс}</math>. Причины, приводящие к отсечке тока и приращения 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 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.</p> <p>Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение <math>U_{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.</p> <p>Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроен-</p>   | 4 | ОПК-1, ПК-2 |

|    |           |  |   |             |
|----|-----------|--|---|-------------|
|    |           | ным 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. |   |             |
| 6. | 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.   | 3 | ОПК-1, ПК-2 |

### 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 |
| <b>Предшествующие дисциплины</b> |   |  |   |   |   |   |   |   |
| 1.                               | физика  | +  | + | + | + | + | + | + |
| 2.                               | материалы электронной техники   | +  | + | + | + | + | + | + |
| <b>Последующие дисциплины</b>    |   |  |   |   |   |   |   |   |
| 1.                               | физика конденсированного состояния  | +  | - | + | + | + | + | + |
| 2.                               | схемотехника  | -  | - | + | + | + | + | + |
| 3.                               | нанoeлектроника   | +  | + | + | + | + | + | + |

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

| Перечень компетенций | Виды занятий |    |    |     | Формы контроля   |
|----------------------|--------------|----|----|-----|--|
|                      | Л            | ПЗ | ЛР | СРС |  |
| ОПК-1                | +            | +  | +  | +   | Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу. |
| ПК-2                 | +            | +  | +  | +   | Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу. |

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

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

| Методы | Формы                       | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Лабораторные работы (час) | Всего |
|--------|-----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|-------|
|        | <i>Работа в команде</i>     |              | 4                          | 4                         | 8     |
|        | <i>Опрос на лекциях</i>     | 6            |                            |                           | 6     |
|        | Итого интерактивных занятий | 6            | 4                          | 4                         | 14    |

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика лабораторных работ   | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|---|---------------------|-------------------------|
| 1.    | 3                    | Определение времени восстановления обратного сопротивления диода    | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 2.    | 3                    | Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 3.    | 3                    | Исследование вольт-амперной характеристики полупроводникового диода | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 4.    | 4                    | Биполярные транзисторы: статические характеристики БТ               | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 5.    | 4                    | Биполярные транзисторы: исследование мощного БТ                     | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 6.    | 5                    | Полевые транзисторы   | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы.

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий                                 | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|---|---------------------|-------------------------|
| 1.    | 2                    | Физические основы твердотельной электроники                   | 2                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 2.    | 3                    | Расчет параметров полупроводниковых диодов                    | 2                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 3.    | 4                    | Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора       | 2                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 4.    | 4                    | Расчет внутренних параметров биполярного транзистора          | 1                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 5.    | 4                    | Расчет внешних параметров биполярного транзистора             | 1                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 6.    | 4                    | Эффект Эрли в биполярных транзисторах                         | 1                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 7.    | 4                    | Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора | 1                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 8.    | 5                    | Расчет параметров полевых транзисторов                        | 4                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 9.    | 3                    | КР-1. Расчет параметров полупроводниковых диодов              | 2                   | ОПК-1, ПК-2             |
| 10.   | 4                    | КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов               | 2                   | ОПК-1, ПК-2             |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы (детализация)                           | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК | Контроль выполнения работы     |
|-------|----------------------|---|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1.    | 2-6                  | Проработка лекционного материала и п.7 раздела 5.1                      | 5                   | ОПК-1, ПК-2             | Опрос на лекциях               |
| 2.    | 3-5                  | Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 5                   | ОПК-1, ПК-2             | Отчеты по практическим работам |
| 3.    | 3, 4                 | Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам   | 10                  | ОПК-1, ПК-2             | Результаты контрольных работ   |
| 4.    | 3-5                  | Подготовка к лабораторным работам                                       | 16                  | ОПК-1, ПК-2             | Отчеты по лабораторным работам |
| 4.    | 3, 4                 | Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2                   | 10                  | ОПК-1, ПК-2             | Защита индивидуальных заданий  |

**Тематика индивидуальных заданий:**

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

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено



## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

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 |
|--|--|---|---|------------------|
| Выполнение и защита индивидуальных заданий |  | 15  | 15  | 30               |
| Контрольные работы                         | 10   | 10  |   | 20               |
| Защита лабораторных работ                  |  | 10  | 10  | 20               |
| <b>Итого максимум за период:</b>           | <b>10</b>                                      | <b>35</b>                                   | <b>25</b>   | <b>70</b>        |
| Сдача экзамена (максимум)                  |  |   |   | 30               |
| <b>Нарастающим итогом</b>                  | <b>10</b>                                      | <b>45</b>                                   | <b>70</b>   | <b>100</b>       |

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      |

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)   |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено)       | 65 – 69  | E (посредственно)       |
|                                       | 60 – 64  | F (неудовлетворительно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | Ниже 60 баллов   | F (неудовлетворительно) |

**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. Потoki 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.
43. НЕМТ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.

## **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]. – <https://e.lanbook.com/book/5856>
2. Шангин, А. С. Твердотельные приборы и устройства: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Шангин А. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 156 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/2438>

### **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. (47)
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (29)

### **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**

### **13.1 Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины**

#### **13.1.2 Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 60, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.

#### **13.1.2 Материально-техническое обеспечение для практических занятий**

Для проведения практических (семинарских) занятий используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 30, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью.

#### **13.1.3 Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ**

Для проведения лабораторных занятий используется «Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники», расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 115б. Лаборатория оснащена следующим оборудованием: меловая доска, лабораторный стенд «Физические основы электроники», лабораторный макет «Исследование вольт-амперной характеристики р-п перехо-

да», 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 p-n переходом».

### 13.1.4 Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория, расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 2 этаж, ауд. 217. Состав оборудования: учебная мебель; доска магнито-маркерная.

### 13.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видео увеличителей для удаленного просмотра.

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

## 14. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

### 14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

**Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью**

| Категории студентов                         | Виды дополнительных оценочных средств   | 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                          | Тесты, письменные самостоятельные   | Преимущественно проверка методами,              |

|                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| общемедицинским показателям | работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | исходя из состояния обучающегося на момент проверки |
|-----------------------------|---|---|

### **14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

1. в печатной форме;
2. в печатной форме с увеличенным шрифтом;
3. в форме электронного документа;
4. методом чтения ассистентом задания вслух;
5. предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

1. письменно на бумаге;
2. набор ответов на компьютере;
3. набор ответов с использованием услуг ассистента;
4. представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения 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 обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

### **15. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Без рекомендаций.

**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  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Уровень основной образовательной программы академический бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Промышленная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

Курс 2 Семестр 4

Учебный план набора 2016 года.

Экзамен 4 семестр

**Разработчики:**

Профессор кафедры ФЭ  
Ассистент кафедры ФЭ

\_\_\_\_\_/ П.Е. Троян  
\_\_\_\_\_/ В.В. Каранский

Томск 2017

## 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 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-1 | способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики  | <i>знать</i> методы анализа переходных процессов;<br><i>знать</i> эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем;<br><i>знать</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов;  |
| ПК-2  | способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | <i>уметь</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;<br><i>уметь</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов;<br><i>уметь</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов;<br><i>владеть</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем<br><i>владеть</i> методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов. |

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1 Компетенция ОПК-1

**ОПК-2** способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

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;<br>Практические занятия;<br>Групповые консультации  | Практические занятия;<br>Лабораторные работы;<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа     | Лабораторные работы;   |
| Используемые средства оценивания | Опрос на лекции;<br>Контрольная работа;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Лабораторная работа (защита);<br>Зачет | Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Лабораторная работа (выполнение, оформление)       | Лабораторная работа (защита);<br>Зачет   |

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;<br><i>аргументирует</i> выбор метода анализа переходных процессов;                          | <i>умеет</i> физически анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах с использованием метода заряда;<br><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;<br><i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | <i>знает</i> переходные процессы в полупроводниковых приборах;<br><i>имеет</i> представление о методах анализа переходных процессов;   | <i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br><i>умеет</i> анализировать переходные процессы в полупроводниковых приборах   | <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем<br><i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем                             |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | <i>дает</i> определения основных понятий;<br><i>распознает</i> переходные процессы в полупроводниковых приборах;<br><i>знает</i> основные методы анализа переходных процессов; | <i>умеет</i> работать со справочной литературой;<br><i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы;  | <i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем  |



## 2.2 Компетенция ПК-2

**ПК-2** способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

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> эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем;<br><i>знает</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов | <i>умеет</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов;<br><i>умеет</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов | <i>владеет</i> методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов. |
| <b>Виды занятий</b>                     | Лекции;<br>Практические занятия;<br>Групповые консультации  | Практические занятия;<br>Лабораторные работы;<br>Индивидуальное задание;<br>Самостоятельная работа   | Лабораторные работы;   |
| <b>Используемые средства оценивания</b> | Опрос на лекции;<br>Контрольная работа;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Лабораторная работа (защита);<br>Зачет   | Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Лабораторная работа (выполнение, оформление)   | Лабораторная работа (защита);<br>Зачет   |

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> связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем;<br><i>аргументирует</i> выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем;<br><i>знает</i> эквивалентные схемы приборов электроники и наноэлектроники | <i>умеет</i> математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br><i>умеет выбирать</i> метод расчета основных параметров эквивалентных схем полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br><i>умеет</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов | <i>владеет</i> методиками расчета параметров полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br><i>владеет</i> методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  |   | электроники и наноэлектроники  |   |
| <b>Хорошо<br/>(базовый уровень)</b>              | <i>распознает</i> эквивалентные схемы полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br><i>знает</i> принцип действия основных классов полупроводниковых приборов и основные технические характеристики;<br><i>определяет</i> методы расчета параметров эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; | <i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br><i>умеет рассчитывать</i> основные параметры полупроводниковых приборов и эквивалентных схем замещения;                        | <i>владеет</i> методами экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения |
| <b>Удовлетворительно<br/>(пороговый уровень)</b> | <i>дает</i> определения основных понятий;<br><i>распознает</i> эквивалентные схемы полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники;<br><i>знает</i> принцип действия основных классов полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники   | <i>умеет</i> работать со справочной литературой;<br><i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы;<br><i>умеет производить</i> расчет параметров основных приборов электроники и наноэлектроники | <i>владеет</i> методами экспериментального исследования параметров полупроводниковых приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения                 |

### 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: контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, самостоятельная работа, курсовой проект, экзамен.

#### 3.1 Контрольные работы

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

#### 3.2 Индивидуальные задания

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

#### 3.3 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.

#### 3.4 Темы для самостоятельной работы

1. Физические основы твердотельной электроники.
2. Электронно-дырочный переход.

3. Полупроводниковые диоды.
4. Биполярные транзисторы.
5. Полевые транзисторы.
6. Тиристоры.

### 3.5 Экзамен

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.
43. НЕМТ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.

## **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **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]. – <https://e.lanbook.com/book/5856>
2. Шангин, А. С. Твердотельные приборы и устройства: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Шангин А. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 156 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/2438>

### **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. **(47)**
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. **(29)**

### **4.4 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/>