Б1.Б.13.1

**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**
«30» 09 2016 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

# ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**Уровень основной образовательной программы** бакалавриат

**Направления подготовки** **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

**Профиль** Квантовая и оптическая электроника

**Форма обучения** очная

**Факультет** электронной техники (ФЭТ)

**Кафедра** электронных приборов (ЭП)

**Курс** 3 **Семестр** 5

**Учебный план набора 2013 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 | | | | | 18 | | | | 18 | часов |
| 2. | Лабораторные работы | | | | | 18 | | | | 18 | часов |
| 3. | Практические занятия | | | | | 18 | | | | 18 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | | | - | | | | - | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | | | 54 | | | | 54 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | | | | | 48 | | | | 48 | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | | | 54 | | | | 54 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | | | 108 | | | | 108 | часов |
| 9. | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | | | - | | | | - | часов |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | | | 108 | | | | 108 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | | | 3 | | | | 3 | ЗЕТ |

**Зачет** 5 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 10683

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

**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 электронных приборов от « 08 » 09 2016 г., протокол № 73.

**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 ЭП _____ / С.М. Шандаров

Зав. выпускающей кафедрой ЭП _____ / С.М. Шандаров

**Эксперты:**
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ЭП _____ / Л.Н. Орликов



Согласована на портале № 10683

## 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

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базовой части (Б1.Б.13.1) образовательной программы по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

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, наноэлектроника.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (**ПК-1**);

– способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники 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.



Согласована на портале № 10683

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___3___ зачетные единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестр |
|---|---|---|
| | | 5 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | **54** | **54** |
| В том числе: | - | |
| Лекции | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 18 | 18 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа (всего)** | **54** | **54** |
| В том числе: | - | |
| Проработка лекционного материала | 10 | 10 |
| Подготовка к лабораторным работам | 12 | 12 |
| Выполнение практических заданий | 8 | 8 |
| Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2 | 16 | 16 |
| Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2 | 8 | 8 |
| Общая трудоемкость, час | **108** | **108** |
| Зачетные Единицы Трудоемкости | **3** | **3** |

## 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 | ПК-1, ПК-2 |
| 2. | Физические основы твердотельной электроники | 3 | 4 | - | 3 | 10 | ПК-1, ПК-2 |
| 3. | Полупроводниковые диоды | 2 | 4 | 6 | 18 | 30 | ПК-1, ПК-2 |
| 4. | Биполярные транзисторы (БТ) | 6 | 8 | 8 | 22 | 44 | ПК-1, ПК-2 |
| 5. | Полевые транзисторы (ПТ) | 3 | 2 | 4 | 7 | 16 | ПК-1, ПК-2 |
| 6. | Тиристоры | 2 | - | - | 2 | 4 | ПК-1, ПК-2 |
| 7. | Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи | 1 | - | - | 2 | 3 | ПК-1, ПК-2 |
| | **ИТОГО** | **18** | **18** | **18** | **54** | **108** | |

### 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 | ПК-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.<br>Собственные и примесные полупроводники и их электропроводность. Компенсированные полупроводники. Зонная диаграмма этих материалов. Концентрация свободных носителей в собственном и примесном полупроводниках. Положение | 3 | ПК-1, ПК-2 |

Согласована на портале № 10683

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | уровня Ферми в них. Зависимость концентрации свободных носителей от температуры. Физическое обоснование диапазона рабочих температур полупроводниковых приборов. Полупроводники в электрическом поле.<br>Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полевая ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.<br>Контакты металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (p-n переход).<br>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.<br>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.<br>Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП. | | |
| 3. | 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 ($F_{пред}$) 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.<br>Классификация диодов. Маркировка диодов. Выпрямительные диоды: определение, основные параметры. Импульсные диоды: определение, специфические характеристики, применение. Диоды с накоплением заряда. Универсальные диоды, СВЧ-диоды.<br>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.<br>Лавинопролетные диоды, диоды Ганна. Модели полупроводниковых диодов: статическая, зарядоуправляемая. | 2 | ПК-1, ПК-2 |



Согласована на портале № 10683

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4. | Биполярные транзисторы (БТ) | 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.<br>Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению.<br>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.<br>Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: $t_э$, $t_н$, $t_{расс}$, $t_{сп}$, $t_{вкл}$, $t_{выкл}$. Описание переходных процессов методом заряда.<br>Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ.<br>Описание БТ как линейного четырехполюсника. Система y-, z- и h- параметров. Схемы замещения БТ в y-, z- и h-параметрах. Переход от одной системы параметров к другой. Смысл h-параметров. Взаимосвязь h-параметров с физическими параметрами БТ. Расчет h-параметров по физическим параметрам БТ и наоборот. Методы определения h-параметров.<br>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 $I_э$, T и $U_к$. П-образная и гибридная эквивалентные схемы.<br>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, $I_Э$, $U_к$. | 6 | ПК-1, ПК-2 |
| 5. | Полевые транзисторы (ПТ) | ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, $U_{ОТС}$. 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.<br>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 | 3 | ПК-1, ПК-2 |



Согласована на портале № 10683

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | модель мощных ПТ.<br>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.<br>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. | 2 | ПК-1, ПК-2 |
| 7. | Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи | Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры. | 1 | ПК-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 |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | | | |
| 1. | физика | + | + | + | + | + | + | + |
| 2. | материалы электронной техники | + | + | + | + | + | + | + |
| **Последующие дисциплины** | | | | | | | | |
| 1. | физика конденсированного состояния | + | - | + | + | + | + | + |
| 2. | схемотехника | - | - | + | + | + | + | + |
| 3. | наноэлектроника | + | + | + | + | + | + | + |

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

| Перечень компетенций | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Л | ПЗ | ЛР | СРС | |
| ПК-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

| Формы / Методы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Лабораторные работы (час) | Всего |
|---|---|---|---|---|
| *Работа в команде* | - | 18 | 18 | 36 |
| *Опрос на лекциях* | 12 | - | - | 12 |
| Итого интерактивных занятий | 12 | 18 | 18 | 48 |



Согласована на портале № 10683

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика лабораторных работ | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 3 | Определение времени восстановления обратного сопротивления диода | 4,5 | ПК-1, ПК-2 |
| 2. | 3 | Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода | 4,5 | ПК-1, ПК-2 |
| 3. | 3 | Исследование вольт-амперной характеристики полупроводникового диода | 4,5 | ПК-1, ПК-2 |
| 4. | 4 | Биполярные транзисторы: статические характеристики БТ | 4,5 | ПК-1, ПК-2 |
| 5. | 4 | Биполярные транзисторы: исследование мощного БТ | 4,5 | ПК-1, ПК-2 |
| 6. | 5 | Полевые транзисторы | 4,5 | ПК-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 | ПК-1, ПК-2 |
| 2. | 3 | Расчет параметров полупроводниковых диодов | 2 | ПК-1, ПК-2 |
| 3. | 4 | Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора | 2 | ПК-1, ПК-2 |
| 4. | 4 | Расчет внутренних параметров биполярного транзистора | 1 | ПК-1, ПК-2 |
| 5. | 4 | Расчет внешних параметров биполярного транзистора | 1 | ПК-1, ПК-2 |
| 6. | 4 | Эффект Эрли в биполярных транзисторах | 1 | ПК-1, ПК-2 |
| 7. | 4 | Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора | 1 | ПК-1, ПК-2 |
| 8. | 5 | Расчет параметров полевых транзисторов | 4 | ПК-1, ПК-2 |
| 9. | 3 | КР-1. Расчет параметров полупроводниковых диодов | 2 | ПК-1, ПК-2 |
| 10. | 4 | КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов | 2 | ПК-1, ПК-2 |



Согласована на портале № 10683

## 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 | 10 | ПК-1, ПК-2 | Опрос на лекциях |
| 2. | **3-5** | Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 8 | ПК-1, ПК-2 | Отчеты по практическим работам |
| 3. | **3, 4** | Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам | 8 | ПК-1, ПК-2 | Результаты контрольных работ |
| 4. | **3-5** | Подготовка к лабораторным работам | 12 | ПК-1, ПК-2 | Отчеты по лабораторным работам |
| 4. | **3, 4** | Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2 | 16 | ПК-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 | 10 | 10 | | **20** |
| Контрольные работы | 10 | | 10 | **20** |
| Защита лабораторных работ | | 10 | 10 | **20** |
| Отчеты по практическим занятиям | 10 | 8 | 10 | **28** |
| Компонент своевременности | 2 | 2 | 2 | **6** |
| Посещение занятий | 2 | 2 | 2 | **6** |
| **Итого максимум за период:** | **34** | **32** | **34** | **100** |
| **Нарастающим итогом** | **34** | **76** | **100** | **100** |

**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** | |
| | **60 – 64** | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | **Ниже 60 баллов** | F (неудовлетворительно) |



Согласована на портале № 10683

**Вопросы для подготовки к зачету:**

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 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. HEMT.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.



Согласована на портале № 10683

## 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://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&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. **(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

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором. Проведение лабораторных работ по дисциплине «Твердотельная электроника» осуществляется в специализированной лаборатории кафедры ФЭ 115б «Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники», которая оснащена следующим оборудованием: лабораторный стенд «Физические основы электроники», лабораторный макет «Исследование вольт-амперной характеристики p-n 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 p-n переходом».



Согласована на портале № 10683

Согласована на портале № 10683

**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**
«30» 09 2016 г.

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**Уровень основной образовательной программы** бакалавриат

**Направления подготовки** **11.03.04** «Электроника и наноэлектроника»

**Профиль** Квантовая и оптическая электроника

**Форма обучения** очная

**Факультет** электронной техники (ФЭТ)

**Кафедра** электронных приборов (ЭП)

**Курс** 3 **Семестр** 5

**Учебный план набора 2013 года.**

**Зачет** 5 **семестр**

**Разработчик:**
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян
Ассистент кафедры ФЭ _____ / В.В. Каранский

Томск 2016



Согласована на портале № 10683

# 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 |
|---|---|---|
| ПК-1 | способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования | *знать* методы анализа переходных процессов;<br>*уметь* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;<br>*владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем |
| 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 | *знать* эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем;<br>*знать* устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов;<br>*уметь* производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов;<br>*уметь* экспериментально определять параметры твердотельных приборов;<br>*владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем |

# 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

## 2.1 Компетенция ПК-1

**ПК-1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования**

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** | *знает* методы анализа переходных процессов | *умеет* анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда | *владеет* 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>Практическое задание (защита);<br>Контрольная работа;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Лабораторная работа (защита); | Практическое задание (выполнение, оформление);<br>Индивидуальное задание (выполнение, оформление);<br>Лабораторная работа (выполнение, оформление) | Лабораторная работа (защита);<br>Зачет |



Согласована на портале № 10683

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 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 |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | 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 |
| **Хорошо (базовый уровень)** | 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 |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | 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 |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | *понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br>*определяет* экспериментальными методами параметры эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники;<br>*физически аргументирует* выбор и план решения задачи;<br>*графически иллюстрирует* задачу | *свободно применяет* методы решения нетиповых задач;<br>*умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов;<br>*умеет* использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования устройств и установок электроники и наноэлектроники;<br>умеет строить простейшие математические и физические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники | *свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме;<br>*способен организовать* работу в междисциплинарной команде;<br>*демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе;<br>*классифицирует* устройства и установки электроники и наноэлектроники по их функциональному назначению |
| **Хорошо (базовый уровень)** | *распознает* эквивалентные схемы устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br>*знает* принцип действия | *самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br>*применяет* методы решения нетиповых задач; | *владеет* разными способами представлениями информации;<br>*способен организовать* работу в междисциплинарной команде; |



Согласована на портале № 10683

Согласована на портале № 10683

| | | | |
|---|---|---|---|
| | основных классов устройств электроники и наноэлектроники;<br>*составляет* план решения задачи | *умеет строить* простейшие физические и математические модели приборов электроники и наноэлектроники | *способен классифицировать* приборы и устройства электроники и наноэлектроники и элементы интегральных схем |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | *дает* определения основных понятий;<br>*распознает* эквивалентные схемы основных устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;<br>*знает* принцип действия основных классов приборов электроники и наноэлектроники | *умеет* работать со справочной литературой;<br>*использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы;<br>*умеет* представлять результаты своей работы | *владеет* терминологией в предметной области знания;<br>*владеет* навыками практической работы с приборами электроники и наноэлектроники 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 |
|---|---|---|---|
| **Содержание этапов** | *знает* эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем;<br>*знает* устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов | *умеет* производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов;<br>*умеет* экспериментально определять параметры твердотельных приборов | *владеет* 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>Курсовой проект;<br>Самостоятельная работа | Лабораторные работы; |
| **Используемые средства оценивания** | Опрос на лекции;<br>Практическое задание (защита);<br>Контрольная работа;<br>Индивидуальное задание (защита);<br>Лабораторная работа (защита);<br>Зачет | Практическое задание (выполнение, оформление);<br>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.



Согласована на портале № 10683

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | *понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем;<br>*аргументирует* выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем;<br>*физически аргументирует* выбор и план решения задачи;<br>*графически иллюстрирует* задачу | *свободно применяет* методы решения нетиповых задач;<br>*умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов;<br>*умеет выбирать* метод расчета основных параметров эквивалентных схем полупроводниковых приборов | *свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме;<br>*способен организовать* работу в междисциплинарной команде;<br>*демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе |
| **Хорошо (базовый уровень)** | *распознает* эквивалентные схемы полупроводниковых приборов;<br>*знает* принцип действия основных классов полупроводниковых приборов и основные технические характеристики;<br>*определяет* методы расчета параметров эквивалентных схем;<br>*составляет* план решения задачи | *самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование;<br>*применяет* методы решения нетиповых задач;<br>*умеет рассчитывать* основные параметры полупроводниковых приборов и эквивалентных схем замещения | *владеет* разными способами представлениями информации;<br>*способен организовать* работу в междисциплинарной команде;<br>*способен классифицировать* полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | *дает* определения основных понятий;<br>*распознает* эквивалентные схемы полупроводниковых приборов;<br>*знает* принцип действия основных классов полупроводниковых приборов | *умеет* работать со справочной литературой;<br>*использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы;<br>*умеет* представлять результаты своей работы | *владеет* терминологией в предметной области знания;<br>*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем |

## 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 p-n перехода.
2. Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода.



Согласована на портале № 10683

3. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде.
4. Исследование статических характеристик биполярного транзистора.
5. Определение параметров биполярного транзистора.
6. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом.

### 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.
7. Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи

### 3.5 Зачет

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 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.



Согласована на портале № 10683

41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
43. HEMT.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.

## 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://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&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. **(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/

Согласована на портале № 10683