**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

# Основы микроэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.01 Радиотехника**
Направленность (профиль): **Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **РЗИ, Кафедра радиоэлектроники и защиты информации**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 3 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 24 | 24 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 18 | 18 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 60 | 60 | часов |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 13 | 13 | часов |
| 6 | Самостоятельная работа | 48 | 48 | часов |
| 7 | Всего (без экзамена) | 108 | 108 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 108 | 108 | часов |
| | | 3.0 | 3.0 | З.Е |

Зачет: 3 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 17789

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 39 от «22» 3 2017 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.01 Радиотехника, утвержденного 06 марта 2015 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

| | | |
|---|---|---|
| профессор каф. ТУ | _____ | В. А. Шалимов |
| Заведующий обеспечивающей каф. ТУ | _____ | Т. Р. Газизов |

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

| | | |
|---|---|---|
| Декан РТФ | _____ | К. Ю. Попова |
| Заведующий выпускающей каф. РЗИ | _____ | А. С. Задорин |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| доцент кафедра ТУ | _____ | А. Н. Булдаков |

Согласована на портале № 17789

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изучение студентами физических эффектов и процессов, лежащих в основе принципов действия полупроводниковых, электровакуумных и оптоэлектронных приборов.

### 1.2. Задачи дисциплины

– В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания, умения и навыки, позволяющие проводить самостоятельный анализ физических эффектов и процессов, определяющих принципы действия основных полупроводниковых и оптоэлектронных приборов, как изучаемых в настоящей дисциплине, так и находящихся за её рамками.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы микроэлектроники» (Б1.В.ДВ.3.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Основы теории цепей, Физика.

Последующими дисциплинами являются: Радиотехнические цепи и сигналы.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-1 способностью выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** В результате изучения дисциплины студент должен знать: - физические явления и эффекты, определяющие принцип действия основных полупроводнико-вых и оптоэлектронных приборов; зонные диаграммы собственных и примесных полупроводников, p-n- перехода, контакта металл- полупроводник и простейшего гетероперехода; -физические процессы, происходящие на границе раздела различных сред; - математическую модель идеализированного p-n- перехода и влияние на ВАХ ширины запре-щённой зоны (материала), температуры и концентрации примесей; - физический смысл основных параметров и основные характеристики электрических контак-тов различного вида в полупроводниковой электронике; - физические процессы в структурах с взаимодействующими p-n- переходами и в структурах металл-диэлектрик-полупроводник; - взаимосвязь между физической реализацией полупроводниковых структур и их моделями, электрическими характеристиками и параметрами; - влияние температуры на физические процессы в структурах и их характеристики; - основные технологические процессы в микроэлектронике; - области применения микроэлектронных приборов и датчиков в науке и технике.

– **уметь** - находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия) в учебной и справочной литературе для оценки их влияния на пара-метры структур; - изображать структуры с различными контактными переходами; - объяснять принцип действия и составлять электрические и математические модели рассматриваемых структур; - объяснять связь физических параметров со статическими характеристиками и параметрами изучаемых структур; - экспериментально определять статические характеристики и параметры различных структур;

– **владеть** - навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; - навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; - навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|

Согласована на портале № 17789

| | | 3 семестр |
|---|---|---|
| Аудиторные занятия (всего) | 60 | 60 |
| Лекции | 24 | 24 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 18 | 18 |
| Из них в интерактивной форме | 13 | 13 |
| Самостоятельная работа (всего) | 48 | 48 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 20 | 20 |
| Проработка лекционного материала | 10 | 10 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 18 | 18 |
| Всего (без экзамена) | 108 | 108 |
| Общая трудоемкость ч | 108 | 108 |
| Зачетные Единицы | 3.0 | 3.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | | | |
| 1 Введение в физику полупроводников | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | ПК-1 |
| 2 Кинетика носителей зарядов в полупроводниках и токи | 1 | 2 | 0 | 3 | 6 | ПК-1 |
| 3 Физические процессы при контакте разнородных материалов (p-n- переход, контакт ме-талл-полупроводник, гетеропереход). | 4 | 4 | 4 | 9 | 21 | ПК-1 |
| 4 Физические процессы в структуре с двумя взаимодействующими переходами и её статические характеристики. | 4 | 4 | 4 | 13 | 25 | ПК-1 |
| 5 Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник и её статические характеристики | 6 | 4 | 4 | 6 | 20 | ПК-1 |
| 6 Отличие реальных электронно-дырочных переходов от идеализированных. | 3 | 0 | 0 | 1 | 4 | ПК-1 |
| 7 Физические основы управления током канала с помощью управляющего | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | ПК-1 |

Согласована на портале № 17789

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| перехода | | | | | | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | 2 | 2 | 4 | 7 | 15 | ПК-1 |
| 9 Гальваномагнитные, термомагнитные термо-электрические явления в полупроводниках | 1 | 2 | 2 | 7 | 12 | ПК-1 |
| Итого за семестр | 24 | 18 | 18 | 48 | 108 | |
| Итого | 24 | 18 | 18 | 48 | 108 | |

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

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

Таблица 5.2 - Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины по лекциям | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 1 Введение в физику полупроводников | Зонная модель твердых тел. Классификация твердых тел (металлы, полупроводники, диэлектрики). Кристаллическая решетка полупроводников. Собственный полупроводник. Энергетическая (зонная) диаграмма собственного полупроводника. Электроны и дырки. Примесные полупроводники. Доноры и акцепторы. Проводимости n- и p-типа. Зонные диа-граммы, уровни доноров и акцепторов. Компенсированные полупроводники. | 1 | ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Кинетика носителей зарядов в полупроводниках и токи | Материалы полупроводниковой и электронной техники и их электрофизические свойства. Структура полупроводников и типы проводимости. Энергетические зоны твёрдого тела. Зонная структура полупроводников. Понятие доноров и ак-цепторов. Влияние примесей на физические свойства полупроводников. Вырожденные и невырожденные полупровод-ники. Концентрация носителей. Рекомбинация носителей. Поверхностная и объёмная рекомбинации. Законы движения носителей заряда в полупроводниках. Уравнения диффузии. Биполярная диффузия. Монополярная диффузия | 1 | ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 3 Физические процессы при контакте разнородных материалов | Классификация переходов. Структура p-n перехода. Поня-тие нейтральности | 4 | ПК-1 |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| (p-n- переход, контакт ме-талл-полупроводник, гетеропереход). | перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии. Анализ перехода в неравновесном состоянии. Статические вольт-амперные характеристики идеального диода. Понятие обратного тока диода. Характеристические со-противления диода. Статические вольт-амперные характеристики реальных диодов. Модуляция сопротивления базы. Переходные характеристики диода. Барьерная ёмкость (ёмкость перехода) диода. Диффузионная ёмкость перехода. Односторонние p-n переходы. Контакты металл-полупроводник. Омические контакты. Выпрямляющие контакты. | | |
| | Итого | 4 | |
| 4 Физические процессы в структуре с двумя взаимодействующими переходами и её статические характеристики. | Физические принципы работы биполярных транзисторов. Эквивалентные схемы биполярных транзисторов. Формулы Молла-Эберса. Идеализированные статические и динамиче-ские параметры биполярных транзисторов. Схемы включе-ния. Зависимость параметров биполярных транзисторов от температуры и режима. Составные биполярные транзисторы | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник и её статические характеристики | МДП-транзисторы с изолированным затвором, встроенным и индуцированным каналами. Принцип работы, основные параметры. Статические вольт-амперные характеристики для каждого типа полевых транзисторов. Эквивалентные схемы полевых транзисторов. | 6 | ПК-1 |
| | Итого | 6 | |
| 6 Отличие реальных электронно-дырочных переходов от идеализированных. | Особенности структур биполярных транзисторов. Методы изоляции отдельных элементов интегральных схем. Назначение скрытого эпитаксиального слоя. Образование паразитных транзисторов при изоляции p-n переходами. Комбинированная изоляция транзисторов. Многоэмиттерные транзисторы. Транзисторы с диодом Шотткки. Диодное включение транзисторов. Модель интегрального биполярного транзистора | 3 | ПК-1 |
| | Итого | 3 | |
| 7 Физические основы управления током канала с помощью | Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Принцип работы, | 2 | ПК-1 |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| управляющего перехода | основные параметры. Статические вольт-амперные характеристики для каждого типа полевых транзисторов. Эквивалентные схемы полевых транзисторов. Основные технологические процессы в микроэлектронике. | | |
| | Итого | 2 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | Оптоэлектронные приборы: светоизлучающие диоды, фотодиоды, оптопары диодные, транзисторные, тиристорные. Принцип работы, основные параметры. Статические вольт-амперные характеристики | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 9 Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках | Эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. | 1 | ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 24 | |

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

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

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | | |
| 1 Основы теории цепей | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Физика | + | | | | | | | + | + |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | | |
| 1 Радиотехнические цепи и сигналы | | + | | | | | + | | |

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

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

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

| | Виды занятий | Формы контроля |
|---|---|---|

Согласована на портале № 17789

| Компетенции | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-1 | + | + | + | + | Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Зачет |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы | Интерактивные практические занятия | Интерактивные лабораторные занятия | Интерактивные лекции | Всего |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| Решение ситуационных задач | 4 | | | 4 |
| Работа в команде | | 4 | 5 | 9 |
| Работа в команде | | | | 0 |
| Итого за семестр: | 4 | 4 | 5 | 13 |
| Итого | 4 | 4 | 5 | 13 |

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 3 Физические процессы при контакте разнородных материалов (p-n- переход, контакт ме-талл-полупроводник, гетеропереход). | Исследования вольт-амперных характеристик полупро-водниковых диодов | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Физические процессы в структуре с двумя взаимодействующими переходами и её статические характеристики. | Исследования вольт-амперных характеристик биполяр-ных транзисторов | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Физические процессы в структуре | Исследования вольт-амперных харак- | 4 | ПК-1 |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| металл-диэлектрик-полупроводник и её статические характеристики | теристик полевых транзисторов с p-n-переходом | | |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | Исследования вольт-амперных характеристик MDP тран-зисторов | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 9 Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках | Исследования вольт-амперных характеристик диодных оптронов | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | |
| 2 Кинетика носителей зарядов в полупроводниках и токи | Расчет величины контактной разности потенциалов (диффузионного потенциала) при изменении концентрации примеси в одной из областей перехода. | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Физические процессы при контакте разнородных материалов (p-n- переход, контакт ме-талл-полупроводник, гетеропереход). | Расчет ширины перехода в зависимости от модуля и полярности приложенного напряжения. | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Физические процессы в структуре с двумя взаимодействующими переходами и её статические характеристики. | Расчет тепловых токов и токов термогенерации в перехо-дах из полупроводниковых материалов с различной шириной запрещенной зоны от температуры | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник и её статические характеристики | Расчет вольт-амперных характеристик идеализированных переходов при различной температуре. | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | Расчет барьерной и диффузионной емкостей перехода. | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 9 Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках | Расчет параметров биполярных транзисторов | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| Итого за семестр | | 18 | |

## 9. Самостоятельная работа

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

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| 1 Введение в физику полупроводников | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-1 | Защита курсовых проектов (работ) |
| | Итого | 1 | | |
| 2 Кинетика носителей зарядов в полупроводниках и токи | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-1 | Отчет по индивидуальному заданию |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Итого | 3 | | |
| 3 Физические процессы при контакте разнородных материалов (p-n- переход, контакт ме-талл-полупроводник, гетеропереход). | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-1 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 4 Физические процессы в структуре с двумя взаимодействующими переходами и её статические характеристики. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-1 | Отчет по лабораторной работе |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 13 | | |
| 5 Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник и её статические характеристики | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-1 | |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Итого | 6 | | |
| 6 Отличие реальных | Проработка лекционного | 1 | ПК-1 | |

Согласована на портале № 17789

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| электронно-дырочных переходов от идеализированных. | материала | | | |
| | Итого | 1 | | |
| 7 Физические основы управления током канала с помощью управляющего перехода | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-1 | |
| | Итого | 1 | | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках. | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-1 | Отчет по лабораторной работе |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 7 | | |
| 9 Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-1 | Отчет по лабораторной работе |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 7 | | |
| Итого за семестр | | 48 | | |
| Итого | | 48 | | |

## 10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| 3 семестр | | | | |
| Опрос на занятиях | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Отчет по индивидуальному заданию | 20 | 20 | 15 | 55 |
| Отчет по лабораторной работе | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Итого максимум за период | 35 | 35 | 30 | 100 |
| Нарастающим итогом | 35 | 70 | 100 | 100 |

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

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

Согласована на портале № 17789

Таблица 11. 2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

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

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

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Легостаев Н.С., Троян П.Е., Четвергов К.В. Микроэлектроника: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 411с. [Электронный ресурс]. - http://www.ie.tusur.ru/docs/mel_grif.zip

2. Физические основы микроэлектроники : Учебное пособие (для автоматизированной технологии обучения) / Н. С. Несмелов, М. М. Славникова, А. А. Широков ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд., испр. и доп. - Томск : ТУСУР, 2007. - 276 с. : ил., табл. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 276. - 520.38 р., 151.28 р (наличие в библиотеке ТУСУР - 187 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники: рекомендовано Министерством образования. – М.: Радио и связь, 1991. – 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 87 экз.)

### 12.3 Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Легостаев Н.С., Четвергов К.В. Микросхемотехника: Руководство к организации самостоя-тельной работы. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 46 с. [Электронный ресурс]. - http://www.ie.tusur.ru/docs/lns/mst.zip

2. Исследование вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

3. Исследование вольтамперных характеристик биполярных транзисторов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

4. Исследование вольтамперных характеристик полевых транзисторов [Электронный ре-

Согласована на портале № 17789

сурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

5. Электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие по проведению практических занятий / Коновалов В.Ф. – Томск: ТУСУР, 2012. – 9 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

### 12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**

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

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

## 12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. Научно-образовательный портал ТУСУР
2. Сайт кафедры ТУ

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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

#### 13.1.1. 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 100, 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, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 2этаж, ауд. 218 . Состав оборудования: Учебная мебель; Доска магнитно-маркерная.

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

Для проведения лабораторных занятий используется учебно-исследовательская лаборатория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 2 этаж, ауд. 218. Состав оборудования: Учебная мебель;лабораторные макеты со сменными лицевыми панелями в количестве 6 шт. лицевых панелей 18шт.

#### 13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 47, 2 этаж, ауд. 218. Состав оборудования: учебная мебель; лабораторные макеты, методические указания .

### 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 ауди-

Согласована на портале № 17789

тория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для 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 общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, 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:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- 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:

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

Согласована на портале № 17789

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.

Согласована на портале № 17789

**Приложение 1**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

# Основы микроэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.01 Радиотехника**
Направленность (профиль): **Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **РЗИ, Кафедра радиоэлектроники и защиты информации**
Курс: **2**
Семестр: **3**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:
- профессор каф. ТУ В. А. Шалимов

Зачет: 3 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 17789

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) 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 дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенций |
|---|---|---|
| ПК-1 | способностью выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ | Должен знать В результате изучения дисциплины студент должен знать: - физические явления и эффекты, определяющие принцип действия основных полупроводнико-вых и оптоэлектронных приборов; зонные диаграммы собственных и примесных полупроводников, p-n-перехода, контакта металл- полупроводник и простейшего гетероперехода; -физические процессы, происходящие на границе раздела различных сред; - математическую модель идеализированного p-n- перехода и влияние на ВАХ ширины запре-щённой зоны (материала), температуры и концентрации примесей; - физический смысл основных параметров и основные характеристики электрических контак-тов различного вида в полупроводниковой электронике; - физические процессы в структурах с взаимодействующими p-n- переходами и в структурах металл-диэлектрик-полупроводник; - взаимосвязь между физической реализацией полупроводниковых структур и их моделями, электрическими характеристиками и параметрами; - влияние температуры на физические процессы в структурах и их характеристики; - основные технологические процессы в микроэлектронике; - области применения микроэлектронных приборов и датчиков в науке и технике. ; Должен уметь - находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия) в учебной и справочной литературе для оценки их влияния на пара-метры структур; - изображать структуры с различными контактными переходами; - объяснять принцип действия и составлять электрические и математические модели рассматриваемых структур; - объяснять связь физиче- |

Согласована на портале № 17789

| | | |
|---|---|---|
| | | ских параметров со статическими характеристиками и параметрами изучаемых структур; - экспериментально определять статические характеристики и параметры различных структур; ; Должен владеть - навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; - навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; - навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур. ; |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций 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 |

## 2 Реализация компетенций

### 2.1 Компетенция ПК-1

ПК-1: способностью выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | Зонную модель твердых тел. Классификацию твердых тел (металлы, полупроводники, диэлектрики). Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. | Находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия). изображать структуры с различными кон- | Навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; навыками составления эквивалентных схем изучаемых |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Материалы полупроводниковой и электронной техники и их электрофизические свойства Классификация переходов. Структура p-n перехода.. Физические принципы работы биполярных транзисторов. Эквивалентные схемы биполярных транзисторов. МДП-транзисторы с изолированным затвором, встроенным и индуцированным каналами. Принцип работы, основные параметры. Особенности структур микроэлектронных биполярных и полевых транзисторов. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Принцип работы, основные параметры. Оптоэлектронные приборы. Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках и выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ. | тактными переходами; объяснять принцип действия и составлять электрические и математические модели рассматриваемых структур; объяснять связь физических параметров со статическими характеристиками и параметрами изучаемых структур; экспериментально определять статические характеристики и параметры различных структур и выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ. | структур; навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ. |
| Виды занятий | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Самостоятельная работа; |
| Используемые средства оценивания | • Отчет по индивидуальному заданию;<br>• Отчет по лаборатор- | • Отчет по индивидуальному заданию;<br>• Отчет по лаборатор- | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Отчет по индивиду- |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ной работе;<br>• Опрос на занятиях;<br>• Зачет; | ной работе;<br>• Опрос на занятиях;<br>• Защита курсовых проектов (работ);<br>• Зачет; | альному заданию;<br>• Защита курсовых проектов (работ);<br>• Зачет; |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • • Зонную модель твердых тел. Классификацию твердых тел (металлы, полупроводники, диэлектрики). Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Материалы полупроводниковой и электронной техники и их электрофизические свойства Классификация переходов. Структура p-n перехода.. Физические принципы работы биполярных транзисторов. Эквивалентные схемы биполярных транзисторов. МДП-транзисторы с изолированным затвором, встроенным и индуцированным каналами. Принцип работы, основные параметры. Особенности структур микроэлектронных биполярных и полевых транзисторов. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Принцип работы, основные параметры. Оптоэлектронные приборы. Гальваномагнитные, термомагнитные термоэлектрические явления в полупроводниках и выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандарт- | • находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия). изображать структуры с различными контактными переходами; объяснять принцип действия и составлять электрические и математические модели рассматриваемых структур; объяснять связь физических параметров со статическими характеристиками и параметрами изучаемых структур; экспериментально определять статические характеристики и параметры различных структур и выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.; | • навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.; |

Согласована на портале № 17789

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ных пакетов прикладных программ.; | | |
| Хорошо (базовый уровень) | • • Основные материалы микроэлектроники, принципы работы полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов, оптоэлектронных приборов и выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам; | • • Находить основные значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия). Экспериментально определять основные статические характеристики и параметры различных структур и выполнять математическое моделирование объектов и процессов с использованием стандартных пакетов прикладных программ.; | • Основными навыками изображения полупроводниковых структур с использованием зонных энергетических диаграмм; навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.; |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • • Имеет представление о основных материалах микроэлектроники, принципах работы полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов, оптоэлектронных приборов и выполняет математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам в составе команды; | • • Имеет представление о основных значениях электрофизических параметров полупроводниковых материалов (кремния, германия, арсенида галлия). Экспериментально определяет основные статические характеристики и параметры различных структур и выполняет математическое моделирование объектов и процессов с использованием стандартных пакетов прикладных программ в составе команды.; | • • Отдельными навыками изображения полупроводниковых структур , навыками составления эквивалентных схем изучаемых структур; навыками работы с типовыми средствами измерений с целью комплексной оценки основных параметров и статических характеристик изучаемых структур в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ в составе команды; |

## 3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

### 3.1 Зачёт

– Полупроводниковые материалы микроэлектроники, полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы, оптоэлектронные приборы.

### 3.2 Темы индивидуальных заданий

– Условные графические обозначения, вольт-амперные характеристики и параметры диодов : плоскостных, точечных, импульсных, стабилитронов, варикапов, светодиодов, фотодиодов, диодных оптронов, туннельных диодов, диодов Шотки, Ганна, переключающих, лавинных.

Согласована на портале № 17789

### 3.3 Темы опросов на занятиях

– Классификация переходов. Структура p-n перехода. Поня-тие нейтральности перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии. Анализ перехода в неравновесном состоянии. Статические вольт-амперные характеристики идеального диода. Понятие обратного тока диода. Характеристические со-противления диода. Статические вольт-амперные характеристики реальных диодов. Модуляция сопротивления базы. Переходные характеристики диода. Барьерная ёмкость (ёмкость перехода) диода. Диффузионная ёмкость перехода. Односторонние p-n переходы. Контакты металл-полупроводник. Омические контакты. Выпрямляющие контакты.

### 3.4 Темы лабораторных работ

– Исследования вольт-амперных характеристик полупро-водниковых диодов
– Исследования вольт-амперных характеристик биполяр-ных транзисторов
– Исследования вольт-амперных характеристик полевых транзисторов с p-n-переходом
– Исследования вольт-амперных характеристик MDP тран-зисторов
– Исследования вольт-амперных характеристик диодных оптронов

### 3.5 Темы курсовых проектов (работ)

– Курсовой проект не предусмотрен

## 4 Методические материалы

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

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы фор-мирования компетенций, согласно п. 12 рабочей программы.

### 4.1. Основная литература

1. Легостаев Н.С., Троян П.Е., Четвергов К.В. Микроэлектроника: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – 411с. [Электронный ресурс]. - http://www.ie.tusur.ru/docs/mel_grif.zip

2. Физические основы микроэлектроники : Учебное пособие (для автоматизированной технологии обучения) / Н. С. Несмелов, М. М. Славникова, А. А. Широков ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд., испр. и доп. - Томск : ТУСУР, 2007. - 276 с. : ил., табл. - (Приоритетные национальные проекты. Образование). - Библиогр.: с. 276. - 520.38 р., 151.28 р (наличие в библиотеке ТУСУР - 187 экз.)

### 4.2. Дополнительная литература

1. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники: рекомендовано Министерством образования. – М.: Радио и связь, 1991. – 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 87 экз.)

### 4.3. Обязательные учебно-методические пособия

1. Легостаев Н.С., Четвергов К.В. Микросхемотехника: Руководство к организации самостоя-тельной работы. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 46 с. [Электронный ресурс]. - http://www.ie.tusur.ru/docs/lns/mst.zip

2. Исследование вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

3. Исследование вольтамперных характеристик биполярных транзисторов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

4. Исследование вольтамперных характеристик полевых транзисторов [Электронный ресурс]: Руководство к лабораторной работе / Коновалов В.Ф., Шалимов В.А. – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

5. Электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие по проведению практических занятий / Коновалов В.Ф. – Томск: ТУСУР, 2012. – 9 с. [Электронный ресурс]. - http://tu.tusur.ru/upload/liblink/elect.rar

Согласована на портале № 17789

### 4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

1. Научно-образовательный портал ТУСУР
2. Сайт кафедры ТУ

Согласована на портале № 17789