**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

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

**УТВЕРЖДАЮ**
**Проректор по учебной работе**
_____ **П.Е. Троян**
«15» _____06_____ 2016 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**Физические основы микро- и наноэлектроники**

**Уровень основной образовательной программы** ___ **бакалавриат**

**Направление(я) подготовки бакалавра 11.03.03** Конструирование и технология электронных средств

**Направленность (Профиль) программы** Проектирование и технология радиоэлектронных средств, Конструирование и технология наноэлектронных средств, Технология электронных средств

**Форма обучения** очная

**Факультет** радиоконструкторский (РКФ)

**Кафедра** Конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры (КИПР), Конструирования узлов и деталей РЭА, Радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ)

**Курс** 2 **Семестр** 3

**Учебный план набора** 2015 **года и последующих лет.**

**Распределение рабочего времени:**

| № | Виды учебной работы | Семестр3 | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Лекции | 28 | 28 | часов |
| 2. | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 3. | Практические занятия | 28 | 28 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | Не предусмотрено | Не предусмотрено | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | 72 | 72 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | 20 | 20 | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | 108 | 108 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | 180 | 180 | часов |
| 9. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | 180 | 180 | часов |
| | (в зачетных единицах) | 5 | 5 | ЗЕТ |

**Зачет** с оценкой 3-ий семестр

**Экзамен** не предусмотрен

**Томск 2015**

Согласована на портале № 6985

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 185 от «24» 5 2016 г.



**Лист согласований**

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта 1333 высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.03. Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата), утвержденного 12 ноября 2015г.

рассмотрена и утверждена на заседании кафедры КУДР «_24_» _мая_ 2016 г., протокол № __185.

Разработчики _____доцент каф.КУДР_____ _____ __М.М. Славникова_
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. кафедрой ____ _____ _____ __А.Г. Лощилов__
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

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

Декан___РКФ_____ _____ ___Д.В.Озёркин___
(название факультета) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. профилирующей
кафедрой__КИПР_____ _____ __Д.В.Озеркин ___
(название кафедры) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей
кафедрой __КУДР_____ _____ __А.Г. Лощилов _____
(название кафедры) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей
кафедрой _РЭТЭМ_____ _____ ___В.И.Туев_____
(название кафедры) (подпись) (Ф.И.О.)

Эксперты:

___каф КУДР___ _доцент____ _____ Романовский М.Н.
(место работы) (занимаемая должность) (подпись) (Ф.И.О.)

__Кафедра КИПР_ доцент_____ _____ А.А.Чернышёв
(место работы) (занимаемая должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Согласована на портале № 6985

**1.Цели и задачи дисциплины:**

Целью преподавания дисциплины является подготовка бакалавров в области физических основ микро- и наноэлектроники, физики твердого тела и обеспечения функционирования компонентов электронных средств.

При этом основными задачами дисциплины являются:

- получение необходимых знаний по физико-химическим и теоретическим основам полупроводниковой электроники;
- получение необходимых знаний по методам расчета основных параметров и характеристик полупроводников и компонентов электронных средств.

**2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физические основы микро- и наноэлектроники» относится к числу дисциплин базовой части профессионального цикла ООП. «Физические основы микро- и наноэлектроники» как учебная дисциплина в системе подготовки бакалавров по направлению 11.03.03. связана с дисциплинами учебного плана: «Математика», «Физика», «Химия». Знания и навыки, полученные при изучении этой дисциплины, используются в последующих дисциплинах профессионального цикла: «Физика полупроводниковых структур», «Основы конструирования электронных средств», «Материалы и компоненты электронных средств», «Интегральные устройства радиоэлектроники», «Выпускная квалификационная работа»

**3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1.Способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК – 2);

В результате изучения дисциплины студент должен:

***Знать:*** Основы физики твердого тела, основы контактных явлений в полупроводниках и металлах, методы исследования свойств полупроводников и приборов на их основе.

***Уметь:*** применять методы и средства измерения физических величин. Рационально использовать полупроводники и приборы на их основе при разработке РЭА с учетом влияния окружающей среды и условий эксплуатации.

***Владеть:*** методами экспериментального исследования свойств полупроводников и приборов на их основе.

**4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет _____4_____ зачетных единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | 72 | | | 72 | |
| В том числе: | - | - | - | - | - |
| Лекции | 28 | | | 28 | |
| Лабораторные работы (ЛР) | 16 | | | 16 | |
| Практические занятия (ПЗ) | 28 | | | 28 | |
| Семинары (С) | - | | | | - |
| Коллоквиумы (К) | - | | | | - |
| Курсовой проект/(работа) (аудиторная нагрузка) | - | | | | - |

Согласована на портале № 6985

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Другие виды аудиторной работы* | | | | | |
| **Самостоятельная работа (всего)** | 108 | | | 108 | |
| В том числе: | - | - | - | - | - |
| Курсовой проект (работа) (самостоятельная работа) | - | | | | - |
| Расчетно-графические работы | - | | | | - |
| Реферат | - | | | | - |
| *Другие виды самостоятельной работы* | | | | | |
| Проработка лекционного материала | 20 | | | 20 | |
| Подготовка к практическим занятиям | 14 | | | 14 | |
| Подготовка к лабораторным занятиям | 16 | | | 16 | |
| Самостоятельное изучение тем теоретической части | 22 | | | 22 | |
| Подготовка к экзамену | 36 | | | 36 | |
| Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен) | | | | | |
| Общая трудоемкость час | 180 | | | 180 | |
| Зачетные Единицы Трудоемкости | 5 | | | 5 | |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Лекции | Лаборат. занятия | Практич. занятия. | Самост. работа студента | Всего час. (без экзам) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Вводная часть | 2 | - | - | 1 | 3 | ОПК-2 |
| 2. | Элементы физики твердого тела | 3 | - | 8 | 3 | 14 | ОПК-2 |
| 3. | Физика полупроводников | 4 | 4 | 4 | 5 | 17 | ОПК-2 |
| 4. | Электропроводность твердых тел | 5 | 4 | 6 | 7 | 22 | ОПК-2 |
| 5. | Контактные явления | 5 | 4 | 4 | 5 | 18 | ОПК-2 |
| 6. | Поверхностные явления в полупроводниках | 4 | - | 2 | 3 | 9 | ОПК-2 |
| 7. | Гальваномагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления в полупроводниках | 1 | 4 | 2 | 4 | 11 | ОПК-2 |
| 8. | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 2 | - | 2 | 1 | 5 | ОПК-2 |
| 9. | Физические основы наноэлектроники | 2 | - | - | 1 | 3 | ОПК-2 |

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

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудо-ем-кость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Вводная часть | Цели и задачи дисциплины. История развития твердотельной электроники. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники. Физические ограничения быстродействия и миниатюризации | 2 | ОПК-2 |
| 2. | Элементы физики твердого тела | Тепловые колебания в твердых телах. Понятие о фононах. Статистический подход для описания свойств твердых тел. Понятие о функциях распределения и функциях плотности состояний. Фермионы и бозоны. . Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Энергия Ферми. Вырожденное и невырожденное состояния. Элементы зонной теории твердого тела. Электрон в периодическом потенциальном поле. Эффективная масса носителей заряда. Зонная структура диэлектриков, | 3 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 6985

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | полупроводников, металлов. | | |
| 3 | Физика полупроводников | Собственная и примесная проводимость полупроводников. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Температурная зависимость равновесной концентрации носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Скорость_рекомбинации и время жизни носителей заряда. Излучательная рекомбинация. Основные полупроводники, применяемые в микроэлектронике (кремний, германий, арсенид галлия), их свойства. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Коэффициент диффузии носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и биполярная диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. | 4 | ОПК-2 |
| 4 | Электропроводность твердых тел | Влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Уравнения Ланжевена. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние. Рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Температурные зависимости подвижности и концентрации носителей заряда в металлах. Температурная зависимость удельной проводимости металлов. Основные механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников. Эффекты сильного поля. Типы вольтамперных характеристик в полупроводниках. ВАХ S и N типа. Эффект Ганна. Понятие о доменах. СВЧ-генераторы на эффекте Ганна. | 5 | ОПК-2 |
| 5. | Контактные явления | Работа выхода электронов из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состояниях. Приконтактные слои обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шоттки. Толщина обедненного слоя. Распределение потенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n переход, его энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Обедненный слой, электрические поля в обедненном слое. Резкий и плавный p-n переходы. Толщина обедненного слоя. Контактная разность потенциалов. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой). Полупроводниковые приборы на основе p-n перехода. Выпрямительные диоды. Туннельный диод. | 5 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 6985

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Энергетические диаграммы, принцип действия. | | |
| 6. | Поверхностные явления в полупроводниках | Поверхностные состояния в полупроводнике. Поверхностная рекомбинация. Приповерхностный слой объемного заряда. Поверхностная проводимость. Эффект поля.<br>МДП-структуры. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. ВАХ этих приборов. МДП (МОП)-транзисторы. Идеальная МДП-структура. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. ВАХ МДП-транзистора. Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Роль поверхностных состояний. Разновидности МОП-транзисторов. | 4 | ОПК-2 |
| 7. | Гальваномагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления | Движение носителей заряда при наличии магнитного поля. Магнетосопротивление, эффект Холла и его применения. Эффект Эттингсгаузена. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона, области их применения. | 1 | ОПК-2 |
| 8. | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Спектры испускания и поглощения. Типы центров поглощения в полупроводниках. Понятие об экситонах. Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотопроводимость при импульсном освещении. Фотоэлектрические эффекты. Устройство, принцип действия, основные характеристики фоторезистора, фотодиода, фотоэлемента, фототранзистора. | 2 | ОПК-2 |
| 9. | Физические основы наноэлектроники | Квантовые размерные структуры. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Наноструктуры и элементы наноэлектроники. Проблемы одноэлектроники. | 2 | ОПК-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 из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | | | | | |
| 1. | Математика | | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2. | Физика | | + | + | + | + | | + | + | + |
| 3. | Химия | | + | + | | + | | | | |
| **Последующие дисциплины** | | | | | | | | | | |
| 1. | Основы конструирования электронных средств | | | | | + | + | | + | + |
| 2. | Физика полупроводниковых структур | | | | + | + | + | | + | + |
| 3. | Интегральные устройства радиоэлектроники | | | + | + | + | + | | | |
| 4. | Материалы и компоненты электронных средств | | + | + | + | | | + | + | |
| 5. | Выпускная квалификационная работа | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Согласована на портале № 6985

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

| Перечень компетенций | Виды занятий | | | | Формы контроля по всем видам занятий *(примеры)* |
|---|---|---|---|---|---|
| | Л | Лаб | Пр. | СРС | |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Опрос на лекции, отчет по практической работе |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Устный ответ на лекции, опрос на практике, выполнение заданий на практике |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Отчет по лабораторной работе, отчет по практике |

Л – лекция, Пр – практические и семинарские занятия, Лаб – лабораторные работы, СРС – самостоятельная работа студента.

## 6. Методы и формы организации обучения

**Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах (пример)**

| Методы / Формы | Лекции (час) | Практические/ семинарские занятия (час) | Лабораторные занятия (час) | Всего |
|---|---|---|---|---|
| Работа в команде | | 4 | 8 | 12 |
| Решение ситуационных задач | | 4 | | 4 |
| Пресс-конференция | 4 | | | 2 |
| Итого интерактивных занятий | 4 | 8 | 8 | 20 |

Примечание.
1. «Работа в команде» происходит при коллективном решении задачи на лабораторных работах № 1 и № 4и на практических занятиях № 7и № 9
2 . «Решение ситуационной задачи» происходит на практических занятиях №6 и №9
3. « Пресс-конференция» используется для обсуждения вопросов, связанных с реализацией определенных свойств p-n переходов для создания полупроводниковых диодов и при реализации эффекта поля для создания полевых транзисторов с изолированным затвором (разделы лекционного курса №5 и №6)

## 7. Лабораторный практикум

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Наименование лабораторных работ | Трудо-емкость (час.) | Компе-тенции |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 3 | Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации | 4 | ОПК-2 |
| 2. | 8 | Изучение фотопроводимости полупроводников и определение релаксационного времени жизни носителей заряда | 4 | ОПК-2 |
| 3. | 4 | Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектроники | 4 | ОПК-2 |
| 4. | 6 | Изучение свойств структур металл-диэлектрик-полупроводник | 4 | ОПК-2 |

## 8. Практические занятия (семинары)

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Тематика практических занятий (семинаров) | Трудо-емкость (час.) | Компе-тенции |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2 | Элементы зонной теории твердых тел | 4 | ОПК-2 |

Согласована на портале № 6985

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2. | 3 | Статистика электронов и дырок в полупроводниках | 4 | ОПК-2 |
| 3. | 4 | Электропроводность твердых тел | 2 | ОПК-2 |
| 4 | 4 | Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях | 2 | ОПК-2 |
| 5. | 3 | Генерация и рекомбинация носителей заряда | 2 | ОПК-2 |
| 6. | 3 | Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках | 2 | ОПК-2 |
| 7. | 5 | Контакт металл-полупроводник | 2 | ОПК-2 |
| 8. | 5 | Физические явления в p-n переходе | 4 | ОПК-2 |
| 9. | 6 | Поверхностные явления в полупроводниках | 2 | ОПК-2 |
| 10. | 7 | Гальваномагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления в полупроводниках | 2 | ОПК-2 |
| 11 | 8 | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 2 | ОПК-2 |

## 9. Самостоятельная работа

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Виды самостоятельной работы *(детализация)* | Трудо-емкость (час.) | Компе-тенции | Контроль выполнения работы (Опрос, тест, дом.задание, и т.д) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 1 - 9 | Проработка лекционного материала | 20 | ОПК-2 | Опрос на занятиях |
| 2. | 2 - 8 | Подготовка к практическим занятиям | 14 | ОПК-2 | Решение задач, опрос на занятиях |
| 3. | 3,4,6,8 | Подготовка к лабораторным занятиям | 16 | ОПК-2 | Опрос-допуск до работы. Отчет по лаб.работе |
| 4. | 5 | Самостоятельное изучение тем теоретической части курса: «Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Эффект Шоттки, Функциональные возможности полупроводниковых диодов» | 22 | ОПК-2 | Проверка отчета по индивидуальному заданию (задачи по теме «Контактные и поверхностные явления в полупроводниках ») |
| 5. | | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Оценка на экзамене |

## 10. Примерная тематика курсовых проектов (работ) не предусмотрено.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Осуществляется в соответствии с **Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов** (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно- рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает **текущий** контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга (раздел 8) и **итоговый** контроль.

**Правила формирования пятибалльных оценок** за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

Согласована на портале № 6985

$$КТх\big|_{x=1,2} = \frac{(Сумма_баллов,_набранная_к_КТх)*5}{Требуемая_сумма_баллов_по_балльной_раскладке}.$$

**Итоговый контроль освоения** дисциплины осуществляется на экзамене по традиционной пятибалльной шкале. Обязательным условием перед сдачей экзамена является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ, сдача контрольных работ.

**Экзаменационный билет** содержит 10 тестовых заданий. Каждое полностью правильно выполненное задание оценивается в 3 балла, частично правильно выполненное задание оценивается в 2 балла, неправильно выполненное задание оценивается в 0,5 балла. Максимальная экзаменационная оценка составляет 30 баллов. Экзаменационная составляющая менее 10 баллов – несдача экзамена, требует повторной пересдачи экзамена в установленном порядке.

**Таблица 11.1** Балльные оценки для элементов контроля.

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1КТ с начала семестра | Максимальный балл на период между 1КТ и 2 КТ | Максимальный балл на период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| Тестовый контроль | 7 | 7 | 12 | 26 |
| Активность работы на практических занятиях | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Выполнение и защита результатов лабораторных работ | - | 6 | 6 | 12 |
| Проработка раздела, выносимого на самостоятельное изучение | | 8 | | 8 |
| Компонент своевременности | 2 | 2 | 2 | 6 |
| Посещение занятий | 2 | 2 | 2 | 6 |
| Итого максимум за период | 11 | 31 | 28 | 70 |
| Сдача экзамена (максимум) | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 11 | 42 | 70 | 100 |

**Формирование итоговой суммы баллов** осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и экзаменационной составляющих (до 30 баллов).

**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)** |
|---|---|---|

Согласована на портале № 6985

| | | |
|---|---|---|
| 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) |

Преобразование суммы баллов в традиционную оценку и в международную буквенную оценку происходит один раз в конце семестра после подведения итогов изучения дисциплины - успешной сдачи экзамена.

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

### 12.1 Основная литература

1. Несмелов Н. С., Славникова М. М., Широков А. А. "Физические основы микроэлектроники (конспект лекций)": Учебное пособие для вузов – ТУСУР, Томск, 2007.- 276 с. (189 экз.)
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 406 с. (57 экз.)
3. Епифанов Г. И. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов. - Спб. Лань, 2011. - 288с. 978-5-8114-1001-9ISBN. Электронный учебник: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников: 4-е изд., стер., - Спб. Лань, 2010. 384с.

978-5-8114-0922-8ISBN. Электронный учебник:

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648

### 12.2 Дополнительная литература

1. С. Зи "Физика полупроводниковых приборов".- М., Мир, 1984, 1 том (450 с.), 2 том (450 с.). (14 экз.)

2. Драгунов ВП., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники:учебное пособие для вузов – М.:Физматкнига, 2006. – 494 с.(30 экз.)

3. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А.,Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005. -446 с. (20 экз)

4. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность": Учебное пособие для вузов – М. ВШ, 1986. - 464 с. (52 экз.)

5. М. Херман "Полупроводниковые сверхрешетки".- М., Мир, 1989.- 238 с.(5 экз.)

### 12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

Согласована на портале № 6985

**Методические указания по выполнению лабораторных работ, проведению практических занятий и выполнению самостоятельной работы студентов**

1. Исследование эффекта ганна: Руководство к лабораторной работе по курсу « Физические основы мик- ро- и наноэлектроники» для студентов специальности «Конструирование и производство радиоэлектронных средств» / Славникова М. М. - 2015. 11 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5074, свободный.
2. Исследование температурной зависимости электропро- водности германия: Руководство к лабораторной работе по курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники» для студентов специальностей 211000 / Славникова М. М. - 2015. 11 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5073, свободный.
3. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости: Руководство к лабораторной работе по курсу « Физические основы микро- и наноэлектроники» для студентов специальности «Конструирование и производство радиоэлектронных средств» / Романовский М. Н., Славникова М. М. - 2015. 7 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5075, свободный.
4. Физические основы микро- и наноэлектроники: Учебное пособие / Славникова М. М. - 2014. 232 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/4737, свободный.
5. Физические основы микро- и наноэлектроники: Сборник задач и методические указания по проведению практических занятий / Славникова М. М., Несмелов Н. С. - 2015. 32 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5641, свободный.

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

не требуются

**13. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения лекций по дисциплине используется ПК с проектором. Лабораторные занятия осуществляются в лаборатории «Физических основ микроэлектроники» кафедры КУДР.

Согласована на портале № 6985

ПРИЛОЖЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П.Е. Троян
«___» _____ 2016 г.

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

**Уровень высшего образования** бакалавриат
**Направление подготовки** 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств
**Профили**: Конструирование и технология радиоэлектронных средств;
Технология электронных средств;
Конструирование и технология наноэлектронных средств;

**Форма обучения** Очная
**Факультет** радиоконструкторский (РКФ)
**Кафедра** Конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

**Курс** 2 **Семестр** 3

**Учебный план набора 2015 года и последующих лет**
Зачет – 3 (третий) семестр

Разработчики:

доцент каф. КУДР
_____ Славникова М.М.,
д.ф.-м.н., профессор каф. КУДР
_____ С.Г. Еханин

Заведующий кафедрой КУДР
_____ А.Г. Лощилов
(подпись)

Томск 2016

Согласована на портале № 6985

# 1 Введение

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

В таблице 1.1 приведен перечень закрепленных за дисциплиной компетенций.

Таблица 1.1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции |
|---|---|---|
| ОПК-2 | Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат. | **Знать**: Основы физики твердого тела, основы контактных явлений и процессов, протекающих под действием электромагнитных полей, в полупроводниках, металлах и гетероструктурах; методы исследования свойств полупроводниковых структур и приборов на их основе.<br>**Уметь:** выявлять естественнонаучные закономерности, применять физико-математические методы при исследовании полупроводниковых структур. Рационально использовать полупроводники и приборы на их основе при разработке ЭА с учетом влияния окружающей среды и условий эксплуатации.<br>**Владеть:** физико-математическими методами исследования свойств полупроводников и приборов на их основе. |

## 2 РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

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

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции у студентов, применяемые для этого 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 | Основы физики твердого тела, основы контактных явлений и процессов, протекающих под действием электромагнитного поля, в полупроводниках, металлах и гетероструктурах; методы исследования свойств полупроводниковых структур и приборов на их основе. | Выявлять естественнонаучные закономерности, применять физико-математические методы при исследовании полупроводниковых структур. Рационально использовать полупроводники и приборы на их основе при разработке ЭА с учетом влияния окружающей среды и условий эксплуатации. | физико-математическими методами исследования свойств полупроводников и приборов на их основе. |
| Виды занятий | Лекции;<br>Практические занятия<br>Групповые консультации | Лабораторные работы.<br>Выполнение домашнего | Лабораторные работы, |

Согласована на портале № 6985

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | задания.<br>Самостоятельная работа студентов. | консультации |
| Используемые средства | Оценка конспектов лекций, тест, выполнение домашнего задания. | Оформление отчетности и защита лабораторных работ.<br>Оформление и защита домашнего задания.<br>Оценка конспекта самостоятельной работы. | Защита лабораторных работ; защита самостоятельного задания |

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 теоретическими знаниями в области исследования полупроводниковых структур с пониманием границ применимости. | Обладает практическими умениями, необходимыми для самостоятельного решения задач повышенной сложности. | Владеет навыками измерения, анализа исследуемых характеристик и моделирования физических процессов полупроводниковых структур. |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает практическими умениями, необходимыми для решения типовых задач в области исследования. | Владеет терминологией, основами измерения, анализа и моделирования процессов в полупроводниковых структурах. |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач | Может эффективно работать под наблюдением преподавателя. |

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

Таблица 2.3– Показатели и критерии оценивания компетенции у студентов на этапах освоения

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | Может анализировать связи между различными физическими понятиями и моделями, представляет способы и результаты использования различных физико- | Умеет решать задачи повышенной сложности, корректно выражать и аргументированно обосновывать результаты. | Самостоятельно подбирает и готовит для эксперимента необходимое оборудование. Владеет разными способами представления |

Согласована на портале № 6985

| | | | |
|---|---|---|---|
| | математических моделей полупроводниковых структур. Обосновывает выбор метода и план решения задачи. | | результатов в графической, математической форме, в форме физических моделей. |
| Хорошо (базовый уровень) | Понимает связи между различными физическими понятиями, имеет представление о физико-математических моделях в данной области знаний, аргументирует выбор метода решения задачи, составляет план решения и графически иллюстрирует задачу. | Умеет решать типовые задачи математически выражать и с физической точки зрения аргументировать результаты анализа экспериментальных и теоретических исследований полупроводниковых структур. | Самостоятельно работает на исследовательских установках. Может интерпретировать и иллюстрировать полученные экспериментальные и теоретические результаты. |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Дает определения основных понятий, воспроизводит основные физические факты, идеи; знает основные алгоритмы решения типовых задач. | Распознает различные типы полупроводниковых приборов. Умеет работать со справочной литературой. Умеет объяснить результаты своей работы. | Правильно использует приборы, указанные в описании лабораторной работы, понимает терминологию и сущность процессов. |

**3 ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

- *темы для тестового опроса*,
- *темы лабораторных работ*,
- *темы теоретической части курса, вынесенные на самостоятельное изучение студентами*,
- *темы заданий на самостоятельную работу*,
- *вопросы для самоконтроля к практическим занятиям*
- *экзаменационные вопросы*,

## Темы для тестового опроса

1. Явления переноса, возникающие в среде при наличии электрических, тепловых и магнитных полей.
2. Зонные диаграммы диэлектриков, полупроводников и металлов. Уточнение зонной модели, энергетическая зонная структура германия и кремния. Эффективная масса.
3. Контактная разность потенциалов. Распределение потенциала в *p*-*n*–переходе.
4. Ширина области объемного заряда. Барьерная емкость *p*-*n*–перехода.
5. Процессы, протекающие в обратно-смещенном *p*-*n*–переходе. Виды и механизмы пробоя.
5. Функциональные возможности полупроводниковых диодов
6. Структура транзисторов и выполняемые ими функции.
7. Выражения для переменных токов в транзисторе. Эквивалентная схема транзистора.
8. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с *p*-*n* – переходом в качестве затвора.
9. Эквивалентная схема и частотные свойства МДП-транзистора.

Согласована на портале № 6985

10. Наногетероструктуры, функциональные возможности устройств с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, точками.

## Темы лабораторных работ:

1. Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации
2. Изучение фотопроводимости полупроводников и определение релаксационного времени жизни носителей заряда
3. Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектроники
4. Изучение свойств структур металл-диэлектрик-полупроводник

## Темы теоретической части курса, вынесенные на самостоятельное изучение студентами:

1. Технологии создания электрических контактов.
2. Функциональные возможности полупроводниковых диодов.
3. Технологические процессы, используемые при производстве электронно-дырочных переходов.

## Вопросы для самоконтроля к практическим занятиям

1. Какова природа электропроводности твердых веществ?
2. Чем обусловлена электропроводность собственного полупроводника?
3. С какой целью в полупроводник вводят примеси?
4. Как влияют на электропроводность полупроводника донорные и акцепторные примеси?
5. Объясните, что такое дырки? Каково их движение в полупроводнике при отсутствии и под действием разности потенциалов?
6. Объясните отличие собственного и примесного полупроводников?
7. Какие носители заряда являются основными и неосновными в полупроводниках *n*- и *p*-типов? Почему? Каким соотношением связаны их равновесные концентрации?
8. Объясните причины возникновения диффузионного и дрейфового токов в полупроводнике.
9. Что такое *p*-*n*-переход? Как он формируется?
10. Объясните с физической точки зрения вентильные свойства *p*-*n*-перехода.
11. Изобразите и поясните зонные диаграммы p-nперехода в равновесном состоянии и при приложении прямого и обратного напряжения.
12. Покажите отличия между вольт-амперными характеристиками (ВАХ) кремниевого и германиевого диодов.
13. Приведите типовые значения для прямого и обратного сопротивления этих диодов. Как определить данные параметры по ВАХ?
14. Перечислите параметры, определяемые по ВАХ реального диода. Как они определяются?
15. Изобразите ВАХ идеализированного *p*-*n*-перехода. Сравните идеальную и реальную вольт-амперные характеристики диода.
16. Приведите ВАХ диода для разных рабочих температур?
17. Чем обусловлен обратный ток в диоде и как он зависит от температуры и обратного напряжения?

Согласована на портале № 6985

18. Охарактеризуйте виды пробоя *p-n*-перехода.

19. Приведите схемы замещения диодов и их аппроксимированные вольт-амперные характеристики.

20. Как определяются параметры элементов в схемах замещения? Дайте рекомендации по применению схем.

21. Какова область применения выпрямительных диодов? Перечислите и поясните основные параметры и их значения для выпрямительных диодов.

22. В каких случаях целесообразно применение импульсных диодов? Почему?

23. Поясните с помощью временных диаграмм процесс запирания диода в импульсных схемах. Перечислите основные параметры импульсных диодов.

23. Нарисуйте ВАХ стабилитрона. Почему такие диоды называют стабилитронами? Перечислите и поясните основные параметры стабилитронов и их типовые значения. Привести схему простейшего параметрического стабилизатора со стабилитроном.
Пояснить принцип действия.

24. Какой полупроводниковый диод называют стабистором? Почему? Как стабистор включается в электрическую цепь?

25. Какие полупроводниковые диоды называются варикапами? Приведите схему включения варикапа, поясните принцип действия.

26. Какие полупроводниковые приборы называют диодами Шоттки. Укажите область их применения, достоинства и недостатки.

27. Укажите область применения, достоинства и недостатки,
ВАХ туннельного диода.

28. По каким параметрам выбираются диоды на практике?

29. Опишите систему обозначений полупроводниковых диодов.

Студент должен *уметь* объяснять устройство и принцип работы полупроводниковых приборов, определять параметры полупроводниковых приборов по их характеристикам.

## Вопросы к экзамену

1. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.
2. Рекомбинация носителей заряда. Виды рекомбинации.
3. Генерация носителей заряда. Виды генерации.
4. Закон действующих масс.
5. Зонная энергетическая диаграмма запирающего контакта металл- полупроводник p-типа проводимости в равновесном состоянии.
6. Диффузионная длина и подвижность носителей заряда.
7. Как влияет ширина запрещенной зоны на вид ВАХ p-n перехода.
8. Механизм образования области пространственного заряда электронно-дырочного перехода.
9. Математическое выражение для полного дырочного тока в полупроводнике.
10. На несимметричный $n^+$-p переход подано обратное напряжение . Объяснить, какая составляющая тока будет наибольшей в этих условиях.
11. Представьте и поясните зонную диаграмму компенсированного дырочного полупроводника.
12. Объяснить зависимость электропроводности дырочного полупроводника от температуры.
13. Охарактеризовать тепловой пробой p-n перехода.
14. Эффект Ганна. В чем заключается и в каких полупроводниках наблюдается.
15. Изобразить и пояснить зонную диаграмму вырожденного полупроводника.
16. Классификация p-n переходов. Для чего используются p-n переходы в электронике.
17. Функции распределения микрочастиц по энергетическим состояниям.
18. Контактная разность потенциалов p-n перехода.

Согласована на портале № 6985

19. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
20. Основные и неосновные носители заряда. Каким соотношением связаны их равновесные концентрации.
21. Эффекты сильного поля.
22. ВАХ диода в диффузионном приближении.
23. Температурная зависимость уровня Ферми в акцепторных полупроводниках.
24. Условие электронейтральности вырожденного полупроводника n-типа проводимости.
25. Примесные уровни в полупроводнике.
26. ВАХ p-n перехода в диодном приближении.
27. Уравнение непрерывности.
28. Природа обратного тока в p-n переходе.
29. Эффект Френкеля.
30. Механизмы рассеяния носителей заряда.
31. Вырожденные и невырожденные состояния.
32. Зонная диаграмма p-n перехода при обратном напряжении.
33. Генерация носителей заряда. Виды генерации.
34. ВАХ p-n перехода с учетом генерации и рекомбинации носителей заряда.
35. Зарядная емкость p-n перехода.
36. Понятие о фононах.
37. Зонная диаграмма контакта металл-полупроводник.
38. Поверхностные состояния.
39. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
40. Какова природа обратного тока p-n перехода.
41. Диффузионный и дрейфовый ток в p-n переходе.
42. Лавинный пробой p-n перехода.
43. Соотношение Эйнштейна.
44. ВАХ диода Шоттки.
45. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.
46. Биполярные транзисторы. Постоянные токи.
47. Биполярные транзисторы. Сущность усиления.
48. Коэффициент передачи по току биполярного транзистора.
49. Схемы включения биполярного транзистора.
50. Эквивалентная схема биполярного транзистора.
51. Полевые транзисторы. Принцип действия.
52. Статические характеристики полевого транзистора с p-n переходом в качестве затвора.
53. Статические характеристики полевого транзистора с изолированным затвором.
54. Преимущества и недостатки полевых транзисторов.
55. Наногетероструктуры, функциональные возможности устройств с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, точками.

## **4 Методические материалы к ФОС,** определяющие процедуры оценивания

1. На самостоятельное изучение переносятся разделы, касающиеся технологии электрических контактов, функциональные возможности полупроводниковых диодов, технологические процессы, используемые при производстве электронно-дырочных переходов.

Например, при изучении студент должен познакомиться с существующими технологическими приемами, используемыми для создания контактов между металлом и полупроводником, между двумя полупроводниками одного типа электропроводности, между полупроводниками с разным типом электропроводности с одинаковой шириной запрещенной зоны и с различными значениями ширины запрещенной зоны (гетеропереходы). Знакомясь с технологией, студенту

Согласована на портале № 6985

нужно будет узнать, где в технике находят применение те или иные контакты, какой из технологических приемов следует использовать для решения поставленной задачи.
2. В качестве средства оценки усвоения материала – выступление на практическом занятии или реферат.
3. Для лучшего усвоения материала на практических занятиях предлагается решать задачи по различным разделам курса. Например, задача из раздела «Генерация и рекомбинация носителей заряда». Предлагается вычислить при Т= 10 К концентрацию электронов случае их монополярной генерации в германии с примесью сурьмы (дана концентрация примесных атомов и энергия ионизации). Приведена эффективная плотность состояний в зоне проводимости при заданной температуре. Для решения этой задачи нужно знать материал нескольких предыдущих разделов. Что такое «генерация», что значит «монополярная» генерация, в каком случае она может наблюдаться в полупроводниках. Выяснив все это, необходимо определить тип проводимости полупроводника и в каком температурном интервале он находится (область слабой ионизации примеси, область истощения и т. п.). После выяснения всего перечисленного можно будет приступить непосредственно к решению задачи.
4. В качестве средства оценки используются контрольные работы. Контрольные работы проводятся на каждом третьем практическом занятии. Поэтому в контрольную работу включаются обычно задачи из нескольких разделов. После проверки на занятии выясняется, решение каких задач вызвало затруднение, что было не понятно.
5. В конце семестра, когда прочитаны основные разделы курса, студентам предлагаются индивидуальные самостоятельные задания. Для выполнения задания нужно знать механизмы электропроводности полупроводников, теорию электронно-дырочных переходов, зависимость тока p-n перехода от приложенного напряжения, влияние внешних факторов на вольтамперную характеристику, пробой p-n перехода. Построение энергетической диаграммы p-n перехода с учетом степени легирования электронной и дырочной областей при различных приложенных напряжениях часто вызывает затруднение у студентов.
6. Защита заданий проводится в небольших группах. Основной докладчик рассказывает о своей работе, подчеркивает особенности рассчитанной структуры, отвечает на вопросы. При этом сразу можно сделать вывод, кто самостоятельно выполнил работу, и оценить усвоение материала. Возбуждение интереса проявляется тогда, когда у студента получаются задания. Выполнение заданий учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие любого фрагмента заданий. Это способствует развитию общекультурных и профессиональных компетенций и вырабатывает навык грамотного изложения результатов работы и их защиты перед комиссией.
Оценка усвоения проводится и на защите лабораторных работ. Во время выполнения лабораторных работ студенты учатся работать в коллективе, совершенствуют свои лидерские качества.

Возбуждению интереса на лабораторном практикуме способствует наглядность процесса, возможность познакомиться с оборудованием, свободный доступ к методическим материалам. Обсуждение (защита) работ в виде мини-конференций реализует педагогический прием «дебаты». У студента появляется смелость держаться перед аудиторией, происходит переосмысление работы.

## Примеры тестовых вопросов

Предусмотрены три уровня сложности заданий.
***<u>Первый уровень сложности (оценивается на «удовлетворительно»)</u>***

А) Какой пробой опасен для p-n- перехода?
*а) тепловой;* *в) тот и другой;*
*б) электрический;* *г) пробой любого вида неопасен.*
Б) Принцип действия варикапа, физическое описание.

Согласована на портале № 6985

***Второй уровень сложности (оценивается на «хорошо»)***

А) Какие диоды используются для генерации электрических колебаний:

*а) туннельные;*
*б) импульсные;*
*в) стабилитроны.*
*г) для генерации электрических колебаний диоды не используются.*

Б) По названию полупроводниковых диодов в схеме «Классификация полупроводниковых диодов» в отведённых квадратах нарисуйте условно-графическое обозначение соответствующих диодов (см. рис. 1).

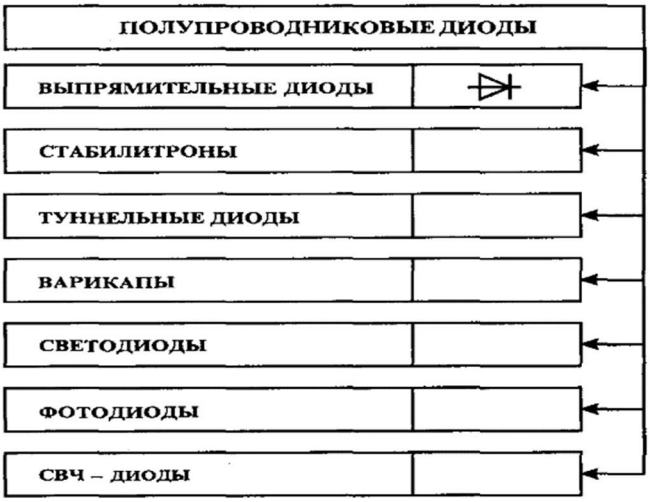


*Рис. 1. Классификация полупроводниковых приборов*

***Третий уровень сложности (оценивается на «отлично»)***

А) У какого транзистора входное сопротивление максимальное:

*а) у биполярного;*
*б) у полевого с затвором в виде p-n–перехода;*
*в) у МДП–транзистора;*
*г) у транзистора типа p-n-p.*

Б) По вольтамперной характеристике выпрямительного диода, изображённой на рис. 2, определите сопротивление диода по постоянному току при включении тока в прямом и обратном направлении, если к диоду приложено напряжение $U_{пр} = 0{,}5$ В и $U_{обр} = -50$ В.

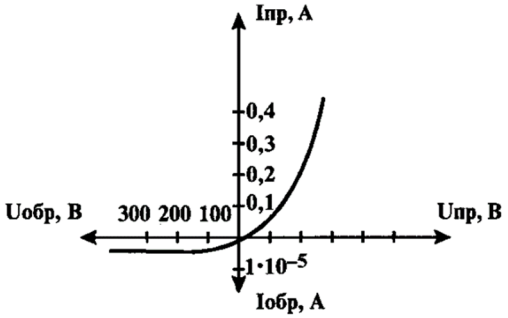


*Рис. 2 Вольт-амперная характеристика диода*

## Пример билета, предлагаемого на экзамене

Согласована на портале № 6985

1.Электрические переходы.

2. Электронно-дырочный переход.

3. По исходным данным рассчитать, построить и объяснить зависимости ширины области пространственного заряда, емкости и тока от напряжения. Напряжение изменять в диапазоне от плюс 0,3 В до пробоя. Для рассчитываемого p-n перехода построить энергетическую зонную диаграмму в равновесном состоянии.

Первый вопрос рассчитан на пороговый уровень усвоения. Предполагается, что студент должен рассказать, что такое «электрический переход», какие типы электрических переходов существуют, где их можно использовать в электронике, какие технологические приемы используются для создания таких переходов.

Второй вопрос является более сложным и рассчитан на продвинутый уровень усвоения. Студент должен объяснить классификацию p-n переходов (резкие, плавные, симметричные, несимметричные и т.п.). Рассказать, как образуется электронно-дырочный переход, какими свойствами обладает, как на свойства влияет температура окружающей среды, концентрация примеси в n- и p- областях, ширина запрещенной зоны полупроводников. Для изготовления каких полупроводниковых приборов можно использовать такой переход.

Третий вопрос рассчитан на высокий уровень усвоения. Чтобы выполнить это задание, студент должен хорошо знать практически все разделы лекционного курса. По заданным значениям удельного сопротивления необходимо определить концентрацию основных носителей заряда, а затем – концентрацию неосновных носителей, т.е. нужно знать связь удельного сопротивления с концентрацией примеси, уметь определять концентрацию неосновных носителей заряда. В задании сказано, что зависимости нужно рассчитывать, изменяя напряжение до пробоя p-n перехода. Следовательно, придется выяснить, что такое «пробой электронно-дырочного перехода», какие виды пробоя переходов существуют, какой из видов пробоя будет наблюдаться в рассчитываемом переходе. Для расчета зависимости ширины области пространственного заряда и емкости p-n перехода придется найти контактную разность потенциалов. Только после выяснения всего перечисленного можно будет рассчитать нужные зависимости.

Построение энергетической зонной диаграммы возможно после определения глубины залегания уровней Ферми в p- и n- областях. Необходимо выяснить, как влияет приложенное напряжение на вид энергетической диаграммы, как влияет изменение ширины запрещенной зоны и концентрации примеси на вид энергетической диаграммы. Нужно также уметь объяснять по зоной диаграмме, как изменяются диффузионный и дрейфовый токи при изменении величины и полярности прикладываемого к переходу напряжения.

## 4.1 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

**Основная литература**

Согласована на портале № 6985

1. Несмелов Н. С., Славникова М. М., Широков А. А. "Физические основы микроэлектроники (конспект лекций)": Учебное пособие для вузов – ТУСУР, Томск, 2007.- 276 с. (189 экз.)
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 406 с. (57 экз.)
3. Епифанов Г. И. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов. - Спб. Лань, 2011. -288с. 978-5-8114-1001-9ISBN. Электронный учебник: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников: 4-е изд., стер., - Спб. Лань, 2010. 384с.

978-5-8114-0922-8ISBN. Электронный учебник:

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648

**Дополнительная литература**

1. С. Зи "Физика полупроводниковых приборов".- М., Мир, 1984, 1 том (450 с.), 2 том (450 с.). (14 экз.)

2. Драгунов ВП., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники:учебное пособие для вузов – М.:Физматкнига, 2006. – 494 с.(30 экз.)

3. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А.,Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. –М.: Техносфера, 2005. -446 с. (20 экз)

4. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность": Учебное пособие для вузов – М. ВШ, 1986. - 464 с. (52 экз.)

5. М. Херман "Полупроводниковые сверхрешетки".- М., Мир, 1989.- 238 с.(5 экз.)

**Методические указания по выполнению лабораторных работ, проведению практических занятий и самостоятельной работы студентов**

1. Исследование эффекта ганна: Руководство к лабораторной работе по курсу « Физические основы мик- ро- и наноэлектроники» для студентов специальности «Конструирование и производство радиоэлектронных средств» / Славникова М. М. - 2015. 11 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5074, свободный.
2. Исследование температурной зависимости электропро- водности германия: Руководство к лабораторной работе по курсу «Физические основы микро- и наноэлектро- ники» для студентов специальностей 211000 / Славникова М. М. - 2015. 11 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5073, свободный.
3. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости: Руководство к лабораторной работе по курсу « Физические основы микро- и наноэлектроники» для студентов специальности «Конструирование и производство радиоэлектронных средств» / Романовский М. Н., Славникова М. М. - 2015. 7 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5075, свободный.
4. Физические основы микро- и наноэлектроники: Учебное пособие / Славникова М. М. - 2014. 232 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/4737, свободный.
5. Физические основы микро- и наноэлектроники: Сборник задач и методические указания по проведению практических занятий / Славникова М. М., Несмелов Н. С. - 2015. 32 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/5641, свободный.

Согласована на портале № 6985

Согласована на портале № 6985