**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

# Интегральные устройства радиоэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль): **Проектирование и технология радиоэлектронных средств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РКФ, Радиоконструкторский факультет**
Кафедра: **КИПР, Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 6 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 36 | 36 | часов |
| 2 | Практические занятия | 28 | 28 | часов |
| 3 | Лабораторные занятия | 16 | 16 | часов |
| 4 | Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа) | 18 | 18 | часов |
| 5 | Всего аудиторных занятий | 98 | 98 | часов |
| 6 | Самостоятельная работа | 154 | 154 | часов |
| 7 | Всего (без экзамена) | 252 | 252 | часов |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена / зачета | 36 | 36 | часов |
| 9 | Общая трудоемкость | 288 | 288 | часов |
| | | 8.0 | 8.0 | З.Е |

Экзамен: 6 семестр
Курсовое проектирование / Курсовая работа: 6 семестр

Согласована на портале № 11450

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 194 от «13» 1 2017 г.

Томск 2017

Согласована на портале № 11450

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, утвержденного 2015-11-12 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

доцент каф. КУДР _____ Романовский М. Н.

Заведующий обеспечивающей каф.
КУДР _____ Лощилов А. Г.

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

Декан РКФ _____ Озеркин Д. В.

Заведующий выпускающей каф.
КИПР _____ Карабан В. М.

Эксперты:

профессор каф. КУДР _____ Еханин С. Г.

Согласована на портале № 11450

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Изучение основных интегральных устройств радиоэлектроники

### 1.2. Задачи дисциплины

– Формирование способности моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Интегральные устройства радиоэлектроники» (Б1.В.ОД.8) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Материалы и компоненты электронных средств, Основы конструирования электронных средств, Физика полупроводниковых структур, Физические основы микро- и наноэлектроники.

Последующими дисциплинами являются: Автоматизированное проектирование РЭС, Полупроводниковая светотехника, Технология производства электронных средств.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-1 способностью моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, основы технологии микро- и наноэлектроники, математические модели основных элементов интегральных схем (ИС), физические основы устройств функциональной электроники

– **уметь** выбирать и применять типовые технологические процессы, ограничивать условия для развития механизмов явных и скрытых дефектов ИС

– **владеть** навыками проектирования элементов полупроводниковых ИС

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 6 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 98 | 98 |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия | 28 | 28 |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 |
| Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа) | 18 | 18 |
| Самостоятельная работа (всего) | 154 | 154 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 12 | 12 |
| Проработка лекционного материала | 94 | 94 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 48 | 48 |
| Всего (без экзамена) | 252 | 252 |
| Подготовка и сдача экзамена / зачета | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость час | 288 | 288 |

Согласована на портале № 11450

| | | |
|---|---|---|
| Зачетные Единицы Трудоемкости | 8.0 | 8.0 |

## 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 | Курсовая работа | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Введение | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 6 | ПК-1 |
| 2 | Подложки | 2 | 0 | 0 | 8 | 0 | 10 | ПК-1 |
| 3 | Проводящие слои | 2 | 0 | 0 | 8 | 0 | 10 | ПК-1 |
| 4 | Полупроводниковые слои | 2 | 0 | 0 | 12 | 0 | 14 | ПК-1 |
| 5 | Диэлектрические слои | 2 | 0 | 0 | 10 | 0 | 12 | ПК-1 |
| 6 | Литография | 2 | 0 | 0 | 12 | 0 | 14 | ПК-1 |
| 7 | Проектирование ИС | 4 | 28 | 0 | 48 | 0 | 80 | ПК-1 |
| 8 | Биполярные ИС | 4 | 0 | 8 | 12 | 0 | 24 | ПК-1 |
| 9 | ИС на полевых транзисторах | 4 | 0 | 4 | 8 | 0 | 16 | ПК-1 |
| 10 | ИС на GaAs | 4 | 0 | 0 | 8 | 0 | 12 | ПК-1 |
| 11 | Элементы интегральной оптики | 4 | 0 | 0 | 8 | 0 | 12 | ПК-1 |
| 12 | Элементы Джозефсона | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 | 6 | ПК-1 |
| 13 | Акустоэлектронные устройства | 2 | 0 | 4 | 12 | 0 | 18 | ПК-1 |
| | Итого | 36 | 28 | 16 | 154 | 18 | 252 | |

### 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 |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 Введение | Миниатюризация радиоэлектронных средств. Классификация ИС. Сущность технологии полупроводниковых ИС. Основные направления функциональной электроники | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 2 Подложки | Разновидности подложек. | 2 | ПК-1 |

Согласована на портале № 11450

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Полупроводниковые материалы. Механическая обработка подложек. Очистка и травление подложек | | |
| | Итого | 2 | |
| 3 Проводящие слои | Назначение и материалы. Получение слоев физическими и химическими методами | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Полупроводниковые слои | Диффузия примесей. Ионное легирование. Эпитаксиальное наращивание. Гетеропереходы. Квантоворазмерные структуры | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Диэлектрические слои | Назначение и материалы. Методы получения. Параметры качества. Защитные слои | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 6 Литография | Фотолитография. Повышение разрешающей способности фотолитографии. Электронолитография, рентгенолучевая литография, ионная литография. Импринтинг. | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 7 Проектирование ИС | Сущность проектирования ИС. Модели полупроводниковых структур | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Биполярные ИС | Базовые технологические процессы. Пассивные и активные элементы | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 9 ИС на полевых транзисторах | Структура металл – диэлектрик – полупроводник. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Конструктивно-технологическая реализация инверторов. Особенности топологии | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 10 ИС на GaAs | Биполярные гетеротранзисторы. Полевые транзисторы Шоттки. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы. Одноэлектронные приборы на основе двухбарьерных структур | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 11 Элементы интегральной оптики | Основные задачи интегральной оптики. Микроволноводы и другие элементы интегральной оптики. | 4 | ПК-1 |

Согласована на портале № 11450

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Лазерные источники. Фотоника | | |
| | Итого | 4 | |
| 12 Элементы Джозефсона | Сверхпроводники. Эффекты Джозефсона. Применения эффектов Джозефсона | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 13 Акустоэлектронные устройства | Общие сведения. Устройства для обработки сигналов. Акустооптическое взаимодействие и устройства на его основе | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

**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 представ-лены 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 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Материалы и компоненты электронных средств | | + | + | + | + | | | | | | | | |
| 2 | Основы конструирования электронных средств | | | | | | | + | | | | | | |
| 3 | Физика полупроводниковых структур | | | | | | | | + | + | + | | | |
| 4 | Физические основы микро- и наноэлектроники | | | | | | | | + | + | + | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Автоматизированное проектирование РЭС | | | | | | | + | | | | | | |
| 2 | Полупроводниковая светотехника | | | | | | | | | | | + | | |
| 3 | Технология производства электронных средств | | | | | | + | | | | | | | |

**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

Согласована на портале № 11450

Таблица 5. 4 – Соответствие компетенций и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

| Компетенции | Виды занятий | | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные занятия | Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа) | Самостоятельная работа | |
| ПК-1 | + | + | + | + | + | Защита отчета, Компонент своевременности, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Дифференцированный зачет |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП

## 7. Лабораторный практикум

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Содержание лабораторных работ

| Названия разделов | Содержание лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 8 Биполярные ИС | Элементы биполярных ИС | 8 | ПК-1 |
| | Итого | 8 | |

Согласована на портале № 11450

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 ИС на полевых транзисторах | Элементы МДП-ИС | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 13 Акустоэлектронные устройства | Элементы акустоэлектроники | 4 | ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

## 8. Практические занятия

Содержание практических работ приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Содержание практических работ

| Названия разделов | Содержание практических занятий | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 7 Проектирование ИС | Активные элементы ИС | 4 | ПК-1 |
| | Функциональное проектирование ИС | 8 | |
| | Разработка конструкции и топологии ИС | 8 | |
| | Технология изготовления ИС | 4 | |
| | Оформление документации | 4 | |
| | Итого | 28 | |
| Итого за семестр | | 28 | |

## 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 |
|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | |
| 1 Введение | Проработка лекционного материала | 4 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 4 | | |
| 2 Подложки | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 8 | | |
| 3 Проводящие слои | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 8 | | |
| 4 Полупроводниковые слои | Проработка лекционного материала | 12 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |

Согласована на портале № 11450

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Итого | 12 | | |
| 5 Диэлектрические слои | Проработка лекционного материала | 10 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 10 | | |
| 6 Литография | Проработка лекционного материала | 12 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 12 | | |
| 7 Проектирование ИС | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 48 | ПК-1 | Компонент своевременности, Опрос на занятиях |
| | Итого | 48 | | |
| 8 Биполярные ИС | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Защита отчета, Компонент своевременности, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 9 ИС на полевых транзисторах | Проработка лекционного материала | 4 | ПК-1 | Защита отчета, Компонент своевременности, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 8 | | |
| 10 ИС на GaAs | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 8 | | |
| 11 Элементы интегральной оптики | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 8 | | |
| 12 Элементы Джозефсона | Проработка лекционного материала | 4 | ПК-1 | Компонент своевременности, Тест |
| | Итого | 4 | | |
| 13 Акустоэлектронные устройства | Проработка лекционного материала | 8 | ПК-1 | Защита отчета, Компонент своевременности, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| Итого за семестр | | 154 | | |
| | Подготовка к экзамену / зачету | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 190 | | |

**10. Курсовая работа**

Содержание курсовой работы (проекта), трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 10.1.

Согласована на портале № 11450

Таблица 10. 1 – Содержание курсовой работы (проекта), трудоемкость и формируемые компетенции

| Содержание курсовой работы | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|
| 6 семестр | | |
| Проектирование ИС или функционального устройства | 18 | ПК-1 |
| Итого за семестр | 18 | |

### 10.1 Темы курсовых работ

Примерная тематика курсовых работ (проектов):

- Малошумящий интегральный усилитель на арсениде галлия
- Полосовой фильтр на ПАВ

## 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 |
|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | |
| Защита отчета | | 5 | 5 | 10 |
| Компонент своевременности | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Опрос на занятиях | 8 | 9 | 9 | 26 |
| Отчет по лабораторной работе | | 5 | 5 | 10 |
| Тест | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Итого максимум за период | 16 | 27 | 27 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 16 | 43 | 70 | 100 |

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

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

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.

Согласована на портале № 11450

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. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 1. Основные структуры полупроводниковых интегральных схем: Учебное пособие / Романовский М. Н. - 2012. 123 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/1304, дата обращения: 24.01.2017.
2. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 2. Элементы интегральных схем и функциональные устройства: Учебное пособие / Романовский М. Н. - 2012. 127 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1309, дата обращения: 24.01.2017.

### 12.2. Дополнительная литература

1. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов/ В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - М.: Физматкнига, 2006. - 494 с. (31 экз) (наличие в библиотеке ТУСУР - 31 экз.)
2. Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.]; ред. Ю. А. Чаплыгин; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. (20 экз.) (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)
3. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/537, дата обращения: 24.01.2017.

### 12.3 Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Интегральные устройства радиоэлектроники. Проектирование интегральных схем на арсениде галлия: Руководство к практическим занятиям / Романовский М. Н., Нефедцев Е. В. - 2010. 76 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/334, дата обращения: 24.01.2017.
2. Интегральные устройства радиоэлектроники. Элементы кремниевых биполярных ИС: Руководство к лабораторной работе / Романовский М. Н. - 2010. 15 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/336, дата обращения: 24.01.2017.
3. Интегральные устройства радиоэлектроники. Элементы МДП интегральных схем: Руководство к лабораторной работе / Романовский М. Н., Несмелов Н. С. - 2010. 8 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/337, дата обращения: 24.01.2017.
4. Интегральный усилитель: Методические указания к курсовому проекту / Романовский М. Н. - 2012. 32 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/1363, дата обращения: 24.01.2017.
5. Проектирование фильтров на ПАВ: Руководство к практическим занятиям и самостоятельной работе / Романовский М. Н. - 2016. 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/6604, дата обращения: 24.01.2017.

Согласована на портале № 11450

### 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. Интернет

## 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 22-24, 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 занятий используется учебно-исследовательская вычислительная лаборатория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Ленина улица, д. 40, 4 этаж, ауд. 425. Состав оборудования: Учебная мебель; Доска магнитно-маркерная - 1шт.; Коммутатор D-Link Switch 24 port - 1шт.; Компьютеры WS1 - 10 шт., WS2 - 1 шт. Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией не ниже: Microsoft Windows XP Professional with SP3/Microsoft Windows 7 Professional with SP1; Microsoft Windows Server 2008 R2; OrCad; Microsoft Office Visio 2010; Microsoft Office Access 2003; VirtualBox 6.2. Имеется помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

#### 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, Ленина улица, д. 40, 3 этаж, ауд. 316. Состав оборудования: Учебная мебель; Доска магнитно-маркерная - 1шт.; Мультимедийный проектор TOSHIBA – 1 шт.; Макеты лабораторных работ.

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

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, 2 этаж, ауд. 233. Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Ce1егоп D336 2.8ГГц. - 5 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

### 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

Согласована на портале № 11450

системы. Учебная аудитория, 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.

Действующее промышленное технологическое оборудование, руководящие технические материалы и технологические инструкции студенты изучают дополнительно во время летней производственно-технологической практики.

### 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;

Согласована на портале № 11450

– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

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

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

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

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 11450

**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

# Интегральные устройства радиоэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль): **Проектирование и технология радиоэлектронных средств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РКФ, Радиоконструкторский факультет**
Кафедра: **КИПР, Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры**
Курс: **3**
Семестр: **6**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:

- доцент каф. КУДР Романовский М. Н.

Экзамен: 6 семестр
Курсовое проектирование / Курсовая работа: 6 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 11450

## 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 моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования | Должен знать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, основы технологии микро- и наноэлектроники, математические модели основных элементов интегральных схем (ИС), физические основы устройств функциональной электроники;<br>Должен уметь выбирать и применять типовые технологические процессы, ограничивать условия для развития механизмов явных и скрытых дефектов ИС;<br>Должен владеть навыками проектирования элементов полупроводниковых ИС; |

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 моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты

Согласована на портале № 11450

автоматизированного проектирования и исследования.

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 | современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, основы технологии микро- и наноэлектроники, математические модели основных элементов интегральных схем (ИС), физические основы устройств функциональной электроники. | выбирать и применять типовые технологические процессы, ограничивать условия для развития механизмов явных и скрытых дефектов ИС | навыками проектирования элементов полупроводниковых ИС с использованием стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследования. |
| Виды занятий | • Практические занятия;<br>• Лабораторные занятия;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа;<br>• Подготовка и сдача экзамена / зачета;<br>• Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа); | • Практические занятия;<br>• Лабораторные занятия;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа;<br>• Подготовка и сдача экзамена / зачета;<br>• Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа); | • Лабораторные занятия;<br>• Самостоятельная работа;<br>• Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа); |
| Используемые средства оценивания | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Опрос на занятиях;<br>• Тест;<br>• Дифференцированный зачет;<br>• Экзамен;<br>• Курсовое проектирование / Курсовая работа; | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Опрос на занятиях;<br>• Тест;<br>• Дифференцированный зачет;<br>• Экзамен;<br>• Курсовое проектирование / Курсовая работа; | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Дифференцированный зачет;<br>• Экзамен;<br>• Курсовое проектирование / Курсовая работа; |

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) | • Обладает теоретическими знаниями с пониманием | • Обладает практическими умениями, | • Владеет навыками проектирования элементов |

Согласована на портале № 11450

| | | | |
|---|---|---|---|
| | границ их применимости. ; | необходимыми для самостоятельного решения задач повышенной сложности.; | полупроводниковых ИС с использованием стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследования.; |
| 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 руководством преподавателя; |

## 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 Тестовые задания

– 1 Подложки интегральных схем 1.1. Слиток кремния выращен методом Чохральского. Ось роста соответствует кристаллографическому направлению [111]. Пластины ориентации (111), вырезанные из этого слитка, будут иметь форму: 1) эллипса, 2) круга, 3) прямоугольника, 4) параллелограмма. Укажите правильный ответ. Ответ: 2) круга. 1.2. Под каким углом (в градусах) в монокристалле кремния расположены кристаллографические плоскости (110) и (100)? Ответ: 90º. 1.3. Толщина нарушенного приповерхностного слоя монокристаллических пластин максимальна после технологической операции: 1) резки, 2) шлифовки, 3) полировки, 4) травления. Укажите правильный ответ. Ответ: 1) резки. 1.4. Под каким углом (в градусах) в монокристалле кремния находятся плоскости (100) по отношению к плоскости (111)? Ответ дать с точностью до двух значащих цифр. Ответ: 55. 1.5. Плоскость (111) в монокристалле арсенида галлия называют: 1) галлиевой, 2) мышьяковой, 3) арсенидгаллиевой, 4) критической. Укажите правильный ответ. Ответ: 1) галлиевой. 1.6. Толщина приповерхностного нарушенного слоя монокристаллических пластин минимальна после технологической операции: 1) резки, 2) шлифовки, 3) полировки, 4) травления. Укажите правильный ответ. Ответ: 4) травления. 1.7. Какой угол (в градусах) в монокристалле арсенида галлия образуют кристаллографические направления [111] и [ ]? Ответ: 180. 1.8. Слиток кремния выращен методом Чохральского. Ось роста соответствует кристаллографическому направлению [111]. Пластины ориентации (100), вырезанные из этого слитка, будут иметь форму: 1) эллипса, 2) круга, 3) прямоугольника, 4) параллелограмма. Укажите правильный ответ. Ответ: 1) эллипса. 1.9. Плоскость ( ) в монокристалле арсенида галлия называют: 1) галлиевой, 2) мышьяковой, 3) арсенидгаллиевой, 4) основной. Укажите правильный ответ.

### 3.2 Темы опросов на занятиях

– Функциональное проектирование ИС 1) Как экспериментально определить совокупность малосигнальных Y-параметров? 2) Какие виды шумов возникают в радиоаппаратуре, и чем они обусловлены? 3) Зависит ли коэффициент шума от уровня шума на входе усилителя? Ответ обоснуйте. 4) Какие из конструктивно-топологических параметров ПТШ наиболее сильно влияют на коэффициент шума и коэффициент усиления? 5) Почему максимуму коэффициента усиления по мощности на частотной характеристике узкополосного усилителя соответствует

Согласована на портале № 11450

минимум уровня шума? 6) Почему коэффициент шума ПТШ падает с понижением температуры? 7 ) Как влияет на коэффициенты шума и усиления ПТШ длина n-слоя от истока до затвора?

### 3.3 Экзаменационные вопросы

– 1. Основные направления твердотельной электроники. 2. Сущность технологии интегральных схем. 3. Типы и основные характеристики подложек интегральных схем. 4. Исходные полупроводниковые материалы интегральных схем. 5. Механическая обработка подложек интегральных схем. 6. Виды загрязнений и очистки подложек интегральных схем. 7. Жидкостная обработка и сухое травление пластин. 8. Назначение и материалы проводящих слоев. 9. Получение проводящих слоев физическими методами. 9. Получение проводящих слоев химическими методами. 10. Технология диффузии. 11. Технология ионного легирования. 12. Получение эпитаксиальных структур. 13. Назначение и материалы диэлектрических слоев. 14. Методы получения диэлектрических слоев. 15. Параметры качества диэлектрических слоев. 16. Фотолитография. 17. Фотошаблоны и технология их изготовления. 18. Электронолитография. 19. Рентгенолучевая и ионная литография. 20. Сущность проектирования интегральных схем. 21. Модели полупроводниковых структур. 22. Метод пропорциональной миниатюризации. 23. Межэлементная изоляция биполярных интегральных схем. 24. Базовые технологические процессы биполярных интегральных схем. 25. Интегральные резисторы и конденсаторы. 26. Активные элементы биполярных интегральных схем. 27. Структуры с барьером Шоттки. 28. Структура металл – диэлектрик – полупроводник. 29. Полевые транзисторы с изолированным затвором. 30. Инверторы. 31. Полевые транзисторы с барьером Шоттки. 32. Гетеропереходы. 33. Квантоворазмерные эффекты. 34. Физические ограничения на уменьшение размеров элементов интегральных схем. 35. Элементы Джозефсона. 36. Элементы интегральной оптики. 37. Лазерные источники в интегральной оптике. 38. Акустооптическое взаимодействие и устройства на его основе. 39. Способы возбуждения и приема акустических поверхностных волн. 40. Устройства для обработки сигналов на акустических поверхностных волнах.

### 3.4 Вопросы дифференцированного зачета

– Активные элементы ИС 1) В чем недостатки теории Шокли ПТШ на GaAs? 2) При каких условиях происходит насыщение скорости носителей заряда в канале, и к каким особенностям режимов работы ПТШ оно приводит? Дайте оценку значений напряжения на стоке проектируемого вами транзистора, при которых будет заметным этот эффект. 3) В каких частях канала (в рабочем режиме) будет наблюдаться максимальная напряженность поля и почему? 4) Чем отличаются нормально закрытый и нормально открытый ПТШ? Какой из них более пригоден в качестве малошумящего? Функциональное проектирование ИС 1) Как экспериментально определить совокупность малосигнальных Y-параметров? 2) Какие виды шумов возникают в радиоаппаратуре, и чем они обусловлены? 3) Зависит ли коэффициент шума от уровня шума на входе усилителя? Ответ обоснуйте. 4) Какие из конструктивно-топологических параметров ПТШ наиболее сильно влияют на коэффициент шума и коэффициент усиления? 5) Почему максимуму коэффициента усиления по мощности на частотной характеристике узкополосного усилителя соответствует минимум уровня шума? 6) Почему коэффициент шума ПТШ падает с понижением температуры? 7) Как влияет на коэффициенты шума и усиления ПТШ длина n-слоя от истока до затвора? 5.3 Разработка конструкции и топологии ИС 1) Что называют коэффициентами формы резистора и МДМ конденсатора? 2) Как выбрать ширину резистора? 3) Чем ограничивается толщина слоя диэлектрика МДМ конденсатора? 4) Какие материалы применимы для изготовления резисторов и конденсаторов СВЧ - ИС на арсениде галлия? 5) Какие требования и ограничения учитываются при разработке топологии ИС? 6) Сколько меток совмещения должны присутствовать на первом, втором и последующих стеклах комплекта фотошаблонов? Технология изготовления ИС и оформление документации 1) В чем суть самосовмещенной технологии изготовления ПТШ на ni- и ni-n-n+-GaAs? 2) Что называют базовым технологическим процессом? 3) Как можно проконтролировать качество отдельных технологических операций изготовления ИС? 4) Какие материалы применяются для защиты поверхности кристалла? 5) Каковы назначение и состав комплекта документации? 6) Какие требования и ограничения накладываются на разработку и изготовление ИС?

Согласована на портале № 11450

### 3.5 Темы лабораторных работ

- Элементы биполярных ИС
- Элементы МДП-ИС
- Элементы акустоэлектроники

### 3.6 Темы курсовых проектов (работ)

- Малошумящий интегральный усилитель на арсениде галлия. Полосовой фильтр на ПАВ

## 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. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 1. Основные структуры полупроводниковых интегральных схем: Учебное пособие / Романовский М. Н. - 2012. 123 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/1304, свободный.
2. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 2. Элементы интегральных схем и функциональные устройства: Учебное пособие / Романовский М. Н. - 2012. 127 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1309, свободный.

### 4.2. Дополнительная литература

1. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов/ В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - М.: Физматкнига, 2006. - 494 с. (31 экз) (наличие в библиотеке ТУСУР - 31 экз.)
2. Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.]; ред. Ю. А. Чаплыгин; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. (20 экз.) (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)
3. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/537, свободный.

### 4.3. Обязательные учебно-методические пособия

1. Интегральные устройства радиоэлектроники. Проектирование интегральных схем на арсениде галлия: Руководство к практическим занятиям / Романовский М. Н., Нефедцев Е. В. - 2010. 76 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/334, свободный.
2. Интегральные устройства радиоэлектроники. Элементы кремниевых биполярных ИС: Руководство к лабораторной работе / Романовский М. Н. - 2010. 15 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/336, свободный.
3. Интегральные устройства радиоэлектроники. Элементы МДП интегральных схем: Руководство к лабораторной работе / Романовский М. Н., Несмелов Н. С. - 2010. 8 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/337, свободный.
4. Интегральный усилитель: Методические указания к курсовому проекту / Романовский М. Н. - 2012. 32 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/1363, свободный.
5. Проектирование фильтров на ПАВ: Руководство к практическим занятиям и самостоятельной работе / Романовский М. Н. - 2016. 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/6604, свободный.

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

1. Интернет

Согласована на портале № 11450