**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Основы технологии электронной компонентной базы

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ЭП, Кафедра электронных приборов**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 8 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 20 | 20 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 54 | 54 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 54 | 54 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 108 | 108 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 144 | 144 | часов |
| | | 4.0 | 4.0 | З.Е. |

Экзамен: 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 30806

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

# ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

| | | |
|---|---|---|
| доцент каф. ФЭ | _____ | И. А. Чистоедова |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | _____ | П. Е. Троян |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФЭТ | _____ | А. И. Воронин |
| Заведующий выпускающей каф. ЭП | _____ | С. М. Шандаров |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Профессор кафедры электронных приборов (ЭП) | _____ | Л. Н. Орликов |
| Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) | _____ | И. А. Чистоедова |

Согласована на портале № 30806

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью освоения дисциплины является получение углубленного профессионального образования по технологии электронной компонентной базы, позволяющего выпускнику обладать предметно-специализированными компетенциями, способствующими востребованности на рынке труда, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для адаптации и успешной профессиональной деятельности в области микро- и наноэлектроники.

### 1.2. Задачи дисциплины

– познакомить обучающихся с физическими основами технологии электронной компонентной базы;

– дать информацию о принципах действия основных технологических процессов, применяемых в электронике и наноэлектронике;

– научить методам анализа причин технологического брака электронной компонентной базы и путям его устранения.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы технологии электронной компонентной базы» (Б1.В.ОД.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Вакуумная и плазменная электроника, Вакуумные и плазменные приборы и устройства, Материалы электронной техники, Основы вакуумных технологий, Твердотельная электроника, Твердотельные приборы и устройства, Физика конденсированного состояния.

Последующими дисциплинами являются: Преддипломная практика, Специальные вопросы технологии приборов квантовой электроники.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-8 способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;

– ПК-9 готовностью организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций;

– **уметь** рассчитать физико-технологические режимы проведения технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами;

– **владеть** навыками выбора и применения основных операций технологии создания элементов электронной компонентной базы с учетом их особенностей и конкретных целей; навыками работы на оборудовании, используемом в производстве элементов электронной компонентной базы.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 8 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 54 | 54 |
| Лекции | 20 | 20 |
| Практические занятия | 18 | 18 |

Согласована на портале № 30806

| | | |
|---|---|---|
| Лабораторные работы | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа (всего) | 54 | 54 |
| Подготовка к контрольным работам | 9 | 9 |
| Выполнение индивидуальных заданий | 8 | 8 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 16 | 16 |
| Проработка лекционного материала | 7 | 7 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | 14 |
| Всего (без экзамена) | 108 | 108 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 144 | 144 |
| Зачетные Единицы | 4.0 | 4.0 |

## 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 | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | | | |
| 1 Современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | ПК-8, ПК-9 |
| 2 Принципы термодинамического анализа технологических процессов | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | ПК-8, ПК-9 |
| 3 Физико-химические и физико-технологические основы процессов литографии | 2 | 2 | 4 | 8 | 16 | ПК-8, ПК-9 |
| 4 Физико-технологические основы процессов легирования | 4 | 8 | 0 | 9 | 21 | ПК-8, ПК-9 |
| 5 Физико-технологические основы эпитаксиальных процессов | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| 6 Физико-технологические основы осаждения диэлектрических слоев | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| 7 Технология плазменных процессов | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| 8 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| 9 Физико-технологические основы технологии формирования пленочных покрытий | 4 | 4 | 4 | 9 | 21 | ПК-8, ПК-9 |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления элементов электронной компонентной базы | 2 | 4 | 8 | 19 | 33 | ПК-8, ПК-9 |

Согласована на портале № 30806

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 Технология сборочных процессов | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | ПК-8, ПК-9 |
| Итого за семестр | 20 | 18 | 16 | 54 | 108 | |
| Итого | 20 | 18 | 16 | 54 | 108 | |

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

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

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины по лекциям | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 1 Современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники | Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Этапы развития и современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники. Основные процессы технологии электронной компонентной базы. Структура элементов ИМС. | 1 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Принципы термодинамического анализа технологических процессов | Общие принципы термодинамического управления равновесными и неравновесными процессами. Управление структурными равновесиями и дефектообразованием в кристаллах. Управление фазовыми и химическими равновесиями в технологических процессах электроники. | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Физико-химические и физико-технологические основы процессов литографии | Классификация процессов литографии. Физико-химические и физико-технологические основы процесса фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электронолитографии. Нанолитография. | 2 | ПК-8 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Физико-технологические основы процессов легирования | Процессы термодиффузионного легирования. Диффузионные процессы, стимулированные внешними и внутренними факторами. Физические основы процессов термической диффузии и ионной имплантации. Технология диффузии и оборудование. Контроль параметров легированных слоев. Расчет режимов диффузии и диффузионных профилей легирования. Параметры, влияющие на воспроизводимость результатов. Технологические погрешности при создании диффузионных областей. Модифицирование. | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Физико-технологические основы эпитаксиальных процессов | Термодинамика и кинетика ориентированного зародышеобразования. Механизм эпитаксии. Методы получения эпитаксиальных структур. Газофазная эпитаксия кремния. Кинетика эпитаксиаль- | 1 | ПК-8, ПК-9 |

Согласована на портале № 30806

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ного роста пленок при осаждении из газовой фазы. Расчет скорости эпитаксии. Автолегирование при эпитаксии. Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование. Контроль параметров эпитаксиальных пленок. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Условия получения монокристаллических пленок. Оборудование для МЛЭ. | | |
| | Итого | 1 | |
| 6 Физико-технологические основы осаждения диэлектрических слоев | Термическое окисление кремния. Механизм роста и кинетика окисления. Методы окисления и оборудование. Перераспределение легирующих примесей на границе раздела фаз при окислении. Термодинамика и кинетика процессов химического осаждения из газовой фазы. Физико-химические основы химического и плазмохимического осаждения диэлектрических пленок и поликристаллического кремния. Оборудование. Свойства пленок. | 1 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 1 | |
| 7 Технология плазменных процессов | Взаимодействие энергетических ионов с материалами. Физико-химические процессы в низкотемпературной газоразрядной плазме. Процессы травления и очистки материалов с использованием НГП. Основы ионного травления, плазмохимического травления и ионно-химического травления материалов. | 1 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 1 | |
| 8 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | Выбор материала металлизации и технология металлизации. Анализ отказов по металлизации. Многоуровневая металлизация. | 1 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 1 | |
| 9 Физико-технологические основы технологии формирования пленочных покрытий | Методы формирования пленочных покрытий. Метод термического испарения в вакууме. Формирование молекулярного потока. Физика термического испарения в вакууме. Скорость конденсации. Механизм испарения соединений и сплавов. Способы испарения. Ионно-плазменное распыление. Физика ионного распыления. Модель ионного распыления. Закономерности распыления. Теория ионного распыления. Скорость осаждения пленок. Получение пленок ионно-плазменным распылением. | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления элементов электронной компонентной базы | Классификация технологических процессов изготовления ИМС. Технология изготовления биполярных ИМС. Технология изготовления МДП ИМС. Технология изготовления тонкопленочной ИМС. Микросборки. | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 30806

| | | | |
|---|---|---|---|
| 11 Технология сборочных процессов | Разделение пластин на кристаллы. Методы крепления кристаллов в корпусе прибора. Методы присоединения внешних выводов. Сборка приборов на ленточный носитель. Методы герметизации корпусов приборов. | 1 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 20 | |

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | | | | |
| 1 Вакуумная и плазменная электроника | + | | | | | | + | | + | | |
| 2 Вакуумные и плазменные приборы и устройства | | | | | + | | + | | | | |
| 3 Материалы электронной техники | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 4 Основы вакуумных технологий | | | | | | | | | + | | |
| 5 Твердотельная электроника | + | | | + | + | + | | | | + | |
| 6 Твердотельные приборы и устройства | | | | + | + | + | | + | | + | + |
| 7 Физика конденсированного состояния | | | | + | + | | | + | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | | | | |
| 1 Преддипломная практика | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Специальные вопросы технологии приборов квантовой электроники | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

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

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

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

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

Согласована на портале № 30806

| Компетенции | Лек. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-8 | + | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |
| ПК-9 | + | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 3 Физико-химические и физико-технологические основы процессов литографии | Технологический процесс фотолитографии | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 9 Физико-технологические основы технологии формирования пленочных покрытий | Осаждение резистивных и проводящих плёнок | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления элементов электронной компонентной базы | Изготовление и исследование тонкопленочных конденсаторов | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Изучение погрешности изготовления тонкопленочных резисторов | 4 | |
| | Итого | 8 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Согласована на портале № 30806

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 3 Физико-химические и физико-технологические основы процессов литографии | Технология получения рисунка интегральных микросхем | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Физико-технологические основы процессов легирования | Расчет режимов диффузии и профилей легирования при двухстадийной диффузии | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Расчет режимов диффузии и профилей легирования при одностадийной диффузии | 4 | |
| | Итого | 8 | |
| 9 Физико-технологические основы технологии формирования пленочных покрытий | Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме | 2 | ПК-8, ПК-9 |
| | Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме | 2 | |
| | Итого | 4 | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления элементов электронной компонентной базы | Разработка типовых технологических процессов изготовления элементов электронной компонентной базы | 4 | ПК-8, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

## 9. Самостоятельная работа

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

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| 1 Современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-8 | Контрольная работа, Тест |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 2 | | |
| 2 Принципы термодинамического анализа | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-8, ПК-9 | Экзамен |
| | Итого | 1 | | |

Согласована на портале № 30806

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| технологических процессов | | | | |
| 3 Физико-химические и физико-технологические основы процессов литографии | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 8 | | |
| 4 Физико-технологические основы процессов легирования | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Выполнение индивидуальных заданий | 3 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 5 Физико-технологические основы эпитаксиальных процессов | Подготовка к контрольным работам | 1 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Итого | 1 | | |
| 6 Физико-технологические основы осаждения диэлектрических слоев | Подготовка к контрольным работам | 1 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Итого | 1 | | |
| 7 Технология плазменных процессов | Подготовка к контрольным работам | 1 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Итого | 1 | | |
| 8 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | Подготовка к контрольным работам | 1 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Итого | 1 | | |
| 9 Физико-технологические основы технологии формирования пленочных покрытий | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | | |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |

Согласована на портале № 30806

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Итого | 9 | | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления элементов электронной компонентной базы | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 4 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Выполнение индивидуальных заданий | 5 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 19 | | |
| 11 Технология сборочных процессов | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-8, ПК-9 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 2 | | |
| Итого за семестр | | 54 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 90 | | |

## 10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 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 |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| Контрольная работа | 10 | | 10 | 20 |
| Опрос на занятиях | 1 | | 2 | 3 |
| Отчет по индивидуальному заданию | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Отчет по лабораторной работе | | 6 | 6 | 12 |
| Отчет по практическому занятию | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Тест | | | 5 | 5 |
| Итого максимум за пери- | 21 | 16 | 33 | 70 |

Согласована на портале № 30806

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| од | | | | |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 21 | 37 | 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.

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. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск : ТУСУР, 2005. - 316 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.)

2. Технология тонкопленочных микросхем : учебное пособие / Т. И. Данилина ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 151 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 44 экз.)

3. Технология микросхем : Учебное пособие для вузов / О. Д. Парфенов. - М. : Высшая школа, 1986. - 318[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 113 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Технология кремниевой наноэлектроники [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 28 экз.)

2. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547, дата обращения: 11.06.2018.

Согласована на портале № 30806

3. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 ч. / ред. Ю. А. Чаплыгин. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 - . - (Электроника). - ISBN 978-5-94774-538-2. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М. А. Королев [и др.]. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 423 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

4. Микроэлектроника: Физические и технологические основы, надежность : Учебное пособие для вузов / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1986. - 464 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 51 экз.)

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Технология тонкопленочных микросхем : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / Т. И. Данилина, Ю. В. Сахаров ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 63 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

2. Технология тонкопленочных микросхем : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / Т. И. Данилина, И. А. Чистоедова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 73 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 53 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.)

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

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. http://www.elibrary.ru/ (свободный доступ)

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

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

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное 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 демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

Согласована на портале № 30806

**13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 222 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

**13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 117 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Установка совмещения и экспонирования ЩА-310;
- Установка для нанесения фоторезиста;
- Электронный микроскоп УЭМВ-100К;
- Дистиллятор воды;
- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор;
- Ноутбук;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– PDF-XChange Viewer
– Windows XP

Лаборатория технологии интегральных схем

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 116 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Установка вакуумного напыления УРМ-3 (2 шт.);
- Установка вакуумного напыления УВН-2М-1;
- Установка вакуумного напыления ВУП-5;
- Насос Вакуумный 2 НВР-5ДМ;
- Вакуумметр ВИТ-2;
- Источник питания УИП-2 (2 шт.);
- Измеритель иммитанса Е7-20;
- Источник питания HY 3003;
- Микроскоп ММУ-3;
- Микроскоп МИИ-4;
- Микроскоп МБС-9;

Согласована на портале № 30806

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

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

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

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

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **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 комфортного просмотра.

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

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. На этапе разгонки примесь распределяется по закону:

а) интеграла функции ошибки;

б) параболическому;

в) линейному;

Согласована на портале № 30806

г) закону Гаусса.

2. На этапе загонки примесь распределяется по закону:

а) интеграла функции ошибки;

б) параболическому;

в) линейному;

г) закону Гаусса.

3. При легировании полупроводника p-n–переход образуется на глубине, где:

а) концентрация введенной примеси больше концентрации исходной примеси;

б) концентрация введенной примеси равна концентрации исходной примеси;

в) концентрация введенной примеси меньше концентрации исходной примеси;

г). на поверхности полупроводника.

4. Для создания базовых областей n+-p-n–транзисторов в качестве легирующей примеси используется:

а) мышьяк;

б) фосфор;

в) бор;

г) сурьма.

5. Для создания скрытых слоев в полупроводниковой ИМС в качестве легирующей примеси используется:

а) бор;

б) алюминий;

в) мышьяк;

г) фосфор.

6. При создании легированных областей методом термической диффузии максимум концентрации примеси находится:

а) на глубине p-n–перехода; xp-n;

б) на поверхности;

в) на глубине 1/2 x_(p-n);

г) на глубине средней проекции пробега Rp.

7. При создании легированных областей методом ионного легирования максимум концентрации примеси находится:

а) на глубине p-n–перехода; xp-n;

б) на поверхности;

в) на глубине средней проекции пробега Rp.

г) на глубине 1/2 x_(p-n);

8. В эпитаксиальной пленке донорная или акцепторная примесь распределяется:

а) по закону Гаусса;

б) равномерно;

в) по закону интеграла функции ошибок;

г) по параболическому закону.

9. Диэлектрическая изоляция элементов биполярной ИМС обеспечивает:

а) надежную изоляцию элементов;

б) простоту технологии;

в) сложную механическую обработку пластин;

г) введение дополнительной операции диффузии.

10. При проведении локальной диффузии маской является:

а) фоторезист;

б) фотошаблон;

в) пленка двуокиси кремния;

г) пленка алюминия.

11. Негативный ФР под действием света:

а) разлагается; б) полимеризуется;

в) не меняется; г) испаряется.

Согласована на портале № 30806

12. Какой способ экспонирования следует выбрать для обеспечения высокой разрешающей способности ФЛ и большого срока службы ФШ:

а) контактная ФЛ;
б) бесконтактная с малым зазором;
в) бесконтактная с большим зазором;
г) проекционная ФЛ.

13. Позитивный ФР под действием света:

а) разлагается; б) полимеризуется;
в) не меняется; г) испаряется.

14. Для испарения тугоплавкого тантала рекомендуется способ испарения:

а) резистивный испаритель из вольфрама;
б) тигель из керамики;
в) электронный испаритель;
г) тигель из графита.

15. Какой электрод при ионно-плазменном распыление выполняется из распыляемого материала?

а) анод; б) катод; в) подложка; г) экран вокруг катода.

16. Фотолитография – …
a) это способ получения пленок в вакууме
b) это элемент ИМС
c) это способ получения рисунка ИМС
d) это способ легирования полупроводников

17. Коэффициент распыления с увеличением температуры мишени:

а) возрастает ;
б) убывает;
в) не меняется;
г) сначала возрастает, затем убывает.

18. Погрешность тонкопленочных резисторов при формировании геометрических размеров с помощью контактных масок определяется:

а) боковым подтравом;
б) подпылением;
в) затенением;
г) запылением.

19. Удельная емкость тонкопленочных конденсаторов с увеличением толщины диэлектрика :

а) линейно возрастает пропорционально d ;
б) линейно убывает пропорционально d ;
в) возрастает пропорционально d^2;
г) убывает пропорционально d^2.

20. Сколько фотолитографий требуется для получения рисунка тонкопленочных резисторов на основе пленок хрома с контактами из алюминия методом прямых контактных масок?

а) одна; б) две; в) три; г) четыре.

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Физико-химические процессы очистки поверхности подложек.
2. Условия получения монокристаллических пленок.
3. Механизм роста и кинетика окисления кремния.
4. Физические основы процесса термической диффузии.

Согласована на портале № 30806

5. Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование.
6. Технология изготовления диффузионных элементов
7. Технологический процесс изготовления биполярных ИМС по эпитаксиально-планарной технологии
8. Технологический процесс изготовления МДП ИС на комплементарных транзисторах
9. Технология изготовления биполярной ИМС по полипланарной технологии
10. Выбор метода получения рисунка интегральных микросхем
11. Технология металлизации полупроводниковых ИМС
12. Химическое осаждение из газовой фазы.
13. Литографические процессы. Разрешающая способность литографии.
14. Технологический процесс изготовления резистивной матрицы
15. Получение пленок методом термического испарения
16. Технологический процесс изготовления RC-схемы
17. Получение пленок методом ионно-плазменного распыления
18. Технология сборочных процессов

**14.1.3. Темы контрольных работ**

Тема контрольной работы № 1: Технология литографических и плазменных процессов.
Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)
– Тема контрольной работы № 2: Технология формирования тонкопленочных покрытий
Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)

**14.1.4. Темы опросов на занятиях**

1). Технология получения рисунка интегральных микросхем
2). Технология изготовления фотошаблонов
3). Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме
4). Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме
5). Расчет технологической погрешности изготовления элементов ИМС
6). Разработка технологического маршрута изготовления тонкопленочных ИМС
8). Литография в технологии микро- и наноэлектронике
9). Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС
10). Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС

**14.1.5. Темы индивидуальных заданий**

Тема индивидуального задания № 1: Технология изготовления фрагмента полупроводниковой ИМС. Расчет режимов и профиля распределения примеси.
Варианты индивидуального задания приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)

Тема индивидуального задания № 2: Технология изготовления фрагмента пленочной ИМС. Расчет режимов получения пленок.
Варианты индивидуального задания приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)

**14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам**

Технология получения рисунка интегральных микросхем
Расчет режимов диффузии и профилей легирования при двухстадийной диффузии
Расчет режимов диффузии и профилей легирования при одностадийной диффузии
Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме
Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме
Разработка типовых технологических процессов изготовления элементов электронной компонентной базы

**14.1.7. Темы лабораторных работ**

Технологический процесс фотолитографии
Осаждение резистивных и проводящих плёнок
Изготовление и исследование тонкопленочных конденсаторов
Изучение погрешности изготовления тонкопленочных резисторов

Согласована на портале № 30806

### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | 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 материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов 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.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

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

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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 лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 30806