**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по УР
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Проектирование и технология микросистем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 6 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 34 | 34 | часов |
| Практические занятия | 28 | 28 | часов |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 28 | 28 | часов |
| Самостоятельная работа | 46 | 46 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 144 | 144 | часов |
| | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 6 |

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по УР
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 84112

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью освоения дисциплины является изучение студентами основных физико-химических явлений, лежащих в основе методов, являющихся базовыми в современной микро- и нанотехнологии, приобретение знаний по современному состоянию и перспективных направлениях развития микро- и наноэлектроники, их элементной базы, физическим основам функционирования приборов микро- и наноэлектроники.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. формирование навыков проведения термодинамических и кинетических расчетов технологических процессов.
2. формирование знаний в области способов нанесения, удаления и модифицирования вещества на микро- и наноуровне, используемых при создании компонентов твердотельной электроники и интегральных схем.
3. изучение базовых процессов и оборудования, используемых в традиционной микротехнологии, а также специфических процессов, позволяющих формировать структуры на молекулярном уровне и основанные на способности к самоорганизации, селективности, анизотропии.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.05.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **Универсальные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Общепрофессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Профессиональные компетенции** | | |

Согласована на портале № 84112

| | | |
|---|---|---|
| ПК-2. Готов проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники | ПК-2.1. Знает методы синтеза наноматериалов и компонентов | знает методы синтеза наноматериалов и компонентов, физико-химические и технологические основы процессов создания компонентов микро- и наносистемной техники |
| | ПК-2.2. Умеет выбрать и применить метод анализа материалов и компонентов микро- и наносистемной техники | умеет выбирать и применять методы анализа материалов и компонентов нано- и микросистем |
| | ПК-2.3. Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований | владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований |
| ПК-4. Готов к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микро- и наноэлектроники, твердотельной электроники и микросистемной техники | ПК-4.1. Знает основное технологическое оборудование для производства изделий микро- и наноэлектроники, твердотельной электроники и микросистемной техники | знает основное технологическое оборудование для производства и создания компонентов микро- и наносистемной техники |
| | ПК-4.2. Умеет обосновывать выбор технологического процесса и оборудования для его реализации | умеет выбирать оптимальные технологические процессы, их последовательности, оборудование и контрольно-измерительные операции для производства изделий нано- и микросистем |
| | ПК-4.3. Владеет навыками практической работы на технологическом оборудовании | владеет навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем |

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 6 семестр |
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 62 | 62 |
| Лекционные занятия | 34 | 34 |
| Практические занятия | 28 | 28 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 46 | 46 |
| Подготовка к тестированию | 11 | 11 |
| Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 11 | 11 |
| Выполнение индивидуального задания | 15 | 15 |

Согласована на портале № 84112

| | | |
|---|---|---|
| Подготовка к контрольной работе | 8 | 8 |
| Подготовка к устному опросу / собеседованию | 1 | 1 |
| **Подготовка и сдача экзамена** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 144 | 144 |
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 4 | 4 |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|
| **6 семестр** | | | | | |
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | 1 | - | 1 | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| 2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки | 2 | - | 1 | 3 | ПК-2, ПК-4 |
| 3 Структуры элементов ИМС | 1 | 2 | 5 | 8 | ПК-2, ПК-4 |
| 4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества | 5 | 8 | 8 | 21 | ПК-2, ПК-4 |
| 5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | 6 | 6 | 9 | 21 | ПК-2, ПК-4 |
| 6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС | 6 | 2 | 3 | 11 | ПК-2, ПК-4 |
| 7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | 2 | - | 2 | 4 | ПК-2, ПК-4 |
| 8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники | 1 | 2 | 4 | 7 | ПК-2, ПК-4 |
| 9 Изоляция элементов ИМС | 2 | 2 | 5 | 9 | ПК-2, ПК-4 |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС | 6 | 4 | 6 | 16 | ПК-2, ПК-4 |
| 11 Основы нанотехнологий | 2 | 2 | 2 | 6 | ПК-2, ПК-4 |
| Итого за семестр | 34 | 28 | 46 | 108 | |
| Итого | 34 | 28 | 46 | 108 | |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **6 семестр** | | | |

Согласована на портале № 84112

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Микро- и нанотехнологии – основа современной наноэлектроники. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и наноэлектроники. Список рекомендуемой литературы. | 1 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки | Выбор материала подложек ИМС. Механическая, механохимическая и физическая обработка подложек. Химическая, электрохимическая и ионно-плазменная очистка подложек. Контроль степени чистоты. | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Структуры элементов ИМС | Структуры элементов полупроводниковых ИМС | 1 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества | 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. | 5 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 5 | |
| 5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | Термодинамика и кинетика ориентированного зародышеобразования. Механизм эпитаксии. Методы получения эпитаксиальных структур. Газофазная эпитаксия кремния. Кинетика эпитаксиального 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. | 6 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 6 | |

Согласована на портале № 84112

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС | 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. | 6 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 6 | |
| 7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | Выбор материала металлизации и технология металлизации. Анализ отказов по металлизации. Многоуровневая металлизация. | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники | Классификация процессов литографии. Физико-химические основы процесса фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электронолитографии. Нанолитография. | 1 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 1 | |
| 9 Изоляция элементов ИМС | Изоляция обратносмещенным p-n-переходом. Диэлектрическая изоляция. Комбинированная изоляция. | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС | Классификация технологических процессов изготовления ИМС. Технология изготовления биполярных ИМС. Технология изготовления МДП ИМС. | 6 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 6 | |
| 11 Основы нанотехнологий | Введение в нанотехнологию. Современные методы нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии. | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 34 | |
| Итого | | 34 | |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **6 семестр** | | | |

Согласована на портале № 84112

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 Структуры элементов ИМС | Подложки полупроводниковых ИМС. Маркировка и параметры подложек. Структуры элементов. | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества | Расчет режимов диффузии и профилей легирования | 6 | ПК-2, ПК-4 |
| | Расчет точности изготовления диффузионных элементов | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 8 | |
| 5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования | 4 | ПК-2, ПК-4 |
| | Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 6 | |
| 6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС | Расчет режимов окисления | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники | Литография в технологии микро- и наноэлектронике | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 9 Изоляция элементов ИМС | Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС | Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС | 4 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 4 | |
| 11 Основы нанотехнологий | Основы нанотехнологий | 2 | ПК-2, ПК-4 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 28 | |
| Итого | | 28 | |

### 5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| **6 семестр** | | | | |

Согласована на портале № 84112

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Итого | 1 | | |
| 2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Итого | 1 | | |
| 3 Структуры элементов ИМС | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Выполнение индивидуального задания | 2 | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 5 | | |
| 4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 2 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Выполнение индивидуального задания | 4 | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 8 | | |
| 5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 3 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Выполнение индивидуального задания | 4 | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 9 | | |

Согласована на портале № 84112

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 3 | | |
| 7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Итого | 2 | | |
| 8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Подготовка к устному опросу / собеседованию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Устный опрос / собеседование |
| | Итого | 4 | | |
| 9 Изоляция элементов ИМС | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Выполнение индивидуального задания | 2 | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 5 | | |

Согласована на портале № 84112

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Выполнение индивидуального задания | 3 | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание |
| | Подготовка к контрольной работе | 1 | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа |
| | Итого | 6 | | |
| 11 Основы нанотехнологий | Написание отчета по практическому занятию (семинару) | 1 | ПК-2, ПК-4 | Отчет по практическому занятию (семинару) |
| | Подготовка к тестированию | 1 | ПК-2, ПК-4 | Тестирование |
| | Итого | 2 | | |
| Итого за семестр | | 46 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 82 | | |

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Сам. раб. | |
| ПК-2 | + | + | + | Индивидуальное задание, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Устный опрос / собеседование, Экзамен |
| ПК-4 | + | + | + | Индивидуальное задание, Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Устный опрос / собеседование, Экзамен |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Согласована на портале № 84112

| Формы контроля | 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** | | | | |
| Индивидуальное задание | 8 | 8 | 8 | 24 |
| Контрольная работа | 5 | 10 | 10 | 25 |
| Устный опрос / собеседование | 1 | 1 | 1 | 3 |
| Тестирование | 0 | 0 | 6 | 6 |
| Отчет по практическому занятию (семинару) | 4 | 4 | 4 | 12 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период | 18 | 23 | 29 | 100 |
| Нарастающим итогом | 18 | 41 | 70 | 100 |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

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

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

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка | 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) |

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. 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 - 103 экз.).

2. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 183 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 51 экз.).

Согласована на портале № 84112

### 7.2. Дополнительная литература

1. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - (Нанотехнологии). Т. 2 : Технологические аспекты. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний , 2011. - 252 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.).
2. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - . - (Нанотехнологии). - Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.).
3. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника : Учебное пособие для вузов / Иван Ефимович Ефимов, Иван Яковлевич Козырь, Ю.И. Горбунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1987. - 416 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 34 экз.).
4. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / И. А. Чистоедова, Т. И. Данилина - 2011. 98 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547.

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / 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.).
2. Процессы микро- и нано-технологии : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2006. - 21 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.).

#### 7.3.2. 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.

### 7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. 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 достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной

Согласована на портале № 84112

мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### 8.2. 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:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU;
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.3. 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, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

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

### 8.4. 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 зрения** 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.

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

Согласована на портале № 84112

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|---|
| 1 Введение, цели и задачи дисциплины | ПК-2, ПК-4 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки | ПК-2, ПК-4 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 3 Структуры элементов ИМС | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание | Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий |
| | | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание | Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий |
| | | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |

Согласована на портале № 84112

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание | Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий |
| | | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники | ПК-2, ПК-4 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Устный опрос / собеседование | Примерный перечень вопросов для устного опроса / собеседования |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |

Согласована на портале № 84112

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 Изоляция элементов ИМС | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание | Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий |
| | | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС | ПК-2, ПК-4 | Индивидуальное задание | Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий |
| | | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |
| 11 Основы нанотехнологий | ПК-2, ПК-4 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по практическому занятию (семинару) | Темы практических занятий |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знать | уметь | владеть |
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |

Согласована на портале № 84112

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Структура эпитаксиальных пленок:
а) поликристаллическая;
1. б) монокристаллическая;
в) аморфная;
г) жидкая

Согласована на портале № 84112

2. Какой из методов эпитаксии позволяет производить рост данного материала при наиболее низких температурах?:

2. а) газофазная эпитаксия;
б) МОС-гидридная эпитаксия;
в) МЛЭ;
г) МОС эпитаксия.

3. Какие скорости роста характерны для процесса МЛЭ?

3. а) ~1 мкм/мин;
б) ~0,3 мкм/мин;
в) ~0,1 мкм/час;
г) ~10 мкм/мин.

4. Метод МЛЭ отличается от других методов эпитаксии:

4. а) низкой температурой процесса, высокой точностью управления уровнем легирования;
б) повышенной дефектностью эпитаксиального слоя, зависимостью разброса электрофизических параметров эпитаксиальных слоев от давления в реакторе;
в) высокой температурой процесса, размытием границы раздела эпитаксиальный слой – пластина;
г) низкой температурой процесса, размытием границы раздела эпитаксиальный слой – пластина.

5. Чем определяется элементный состав выращиваемого раствора InGaAs методом МЛЭ:

5. а) отношением потоков Ga и As;
б) отношением потоков In и Ga;
в) потоком атомов As;
г) потоком атомов In.

6. На этапе разгонки примесь распределяется по закону:

6. а) интеграла функции ошибки;
б) параболическому;
в) линейному;
г) закону Гаусса.

7. На этапе загонки примесь распределяется по закону:

7. а) интеграла функции ошибки;
б) параболическому;
в) линейному;
г) закону Гаусса.

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

8. 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.

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

9. 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.

20 В МДП ИС на транзисторах с каналами одного типа проводимости изоляция элементов:

10. а) диэлектрическая;
б) не требуется;
в) комбинированная;
г) за счет введения дополнительной операции диффузии для создания разделительного кармана.

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

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.
5. Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование.
6. Технология изготовления диффузионных элементов

Согласована на портале № 84112

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. Плазмохимическое осаждение.
13. Технология изготовления биполярной ИМС по диэлектрической изоляции
14. Технология изготовления биполярной ИМС по изопланарной технологии
15. Технология изготовления МДП ИМС с каналами одинакового типа проводимости
16. Технология МЛЭ
17. Технология МОС гидридной эпитаксии
18. Получение легированных областей методом ионного легирования
19. Основы зондовых нанотехнологий
20. Основы литографических методов с высокой разрешающей способностью

### 9.1.3. Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий

Тема индивидуального задания № 1: Диффузия примесей в кремний

При выполнении задания требуется обосновать выбор технологии (одностадийная, двухстадийная), изложить ее основы, условия проведения. В соответствии с исходными данными задания следует рассчитать режимы диффузии, профили распределения примеси в легированных областях и оценить технологическую погрешность по сопротивлению легированной области.

1. Вариант 1
   Определить режимы диффузии и профиль распределения примеси при диффузии бора в кремний, ранее легированный фосфором при Т=1200 С за время 120 мин и имеющий  = 700 Ом/кв и
   xpn= 4 мкм. Концентрация подложки 10^14 см-3. Область, легированная бором, имеет  = 200 Ом/кв и глубину залегания p – n перехода  xpn= 2,2 мкм. Рассчитать погрешность сопротивления слоя при ширине 20 мкм и длине 1 мм.
2. Вариант 2.
   При формировании МДП-структур с каналами n – типа проводится диффузия фосфора, и получают области с поверхностным сопротивление 40 Ом/кв и xpn= 1 мкм. Примесь внедряется в изолированную область с удельным поверхностным сопротивлением  = 700 Ом/кв и xpn= 6 мкм, полученной при температуре Т=1200 С за 3 часа. Определить время диффузии фосфора, профиль распределения примеси и погрешность сопротивления слоя с шириной 20 мкм и длиной 30 мкм.

   Тема индивидуального задания № 2: Эпитаксия пленок кремния

   При выполнении второго индивидуального задания следует выбрать технологию получения эпитаксиальной пленки кремния на кремниевой подложке. С учетом задания рассчитать режимы эпитаксии, построить профиль автолегирования и определить смещение границы раздела подложка – эпитаксиальная пленка.
3. Вариант 1.
   На подложке 200КЭС-0,01 выращена эпитаксиальная пленка 10 КДБ-0,5. Определить режимы эпитаксии и профиль автолегирования, если скорость потока газа, содержащего SiCl4, 0,5 см/с, а температуры роста пленки Тэ1=1300К, Тэ2=1400К и Тэ3=1600К.
4. Вариант 2.
   На монокристалле кремния типа КДБ-5 получить эпитаксиальную пленку с удельным сопротивлением 0,5 Ом*см и толщиной 5 мкм. Рассчитать режимы получения пленки при температурах Тэ=1000 К, 1200 К и 1400 К и смещение границы раздела пленка – подложка в результате автолегирования.

Согласована на портале № 84112

Тема индивидуального задания № 3: Технология изготовления полупроводниковой ИМС

5. Вариант 1.
   При выполнении третьего индивидуального задания следует разработать техпроцесс изготовления схемы по предложенной технологии. Техпроцесс представить в виде последовательности проведения технологических операций с указанием рассчитанных конкретных режимов. При расчете режимов диффузии, окисления, эпитаксии дать рекомендации по выбранной технологии, рассчитать основные технологические параметры. Результаты расчета представить в виде таблиц или графических зависимостей. Кроме того, рассчитать и построить профиль распределения примесей в готовой структуре.

### 9.1.4. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Вариант 1
   1. Указать параметры подложки марки:
   $$100\frac{5КЭФ0,1/4КЭМ8}{200КДБ15}.$$
   2. Представить структуру пинч – резистора.
2. Вариант 2
   1. Указать параметры подложки марки:
   $$110\frac{7КЭФ1,5/5КЭС5,0}{300КДБ8}.$$
   2. Представить структуру резистора в эмиттерной области.
3. Вариант 3.
   1. Рассчитать количество донорной примеси фосфора, внедряемое в кремний из бесконечного источника при температуре 1000 С за 40 мин.
   2. Определить погрешность диффузионного резистора по поверхностному сопротивлению. Резистор получен диффузией бора в кремний типа КЭФ-1,0, обеспечивающей поверхностную концентрацию 5*10^18 см^(-3) и глубину залегания p – n перехода 2,7 мкм. Диффузия проводится при температуре 1150 С. Точность поддержания температуры 0,5 С, а времени 30 с.
   3. Распределение примеси на этапе загонки описывается следующей зависимостью. Показать профили распределения примеси, если время диффузии t1>t2>t3. Объяснить ход кривых.
   4. На какой глубине образуется p – n переход при диффузии?
4. Вариант 4.
   1. Пленка кремния осаждается путем восстановления 1 % тетрахлорида кремния в потоке водорода при температуре 1400 К. Какова эффективность процесса, если отношение кремния к хлору на входе равно 0,25.
   2. Определить время получения пленки двуокиси кремния толщиной 1,0 мкм в парах воды при температуре 1000 С.
   3. На подложке 200КЭС-0,01 выращена эпитаксиальная пленка 10 КДБ-0,5 со скоростью 1 мкм/мин. Определить концентрацию сурьмы в пленке на глубине 9 мкм в результате автолегирования, если температура эпитаксии 1523 К.
   4. Почему при получении пленок двуокиси кремния термическим окислением используется так называемая комбинированная технологи, и что она означает?
5. Вариант 5.
   1. Как изменится скорость роста эпитаксиальной пленки кремния при восстановлении тетрахлорида кремния водородом при постоянной скорости потока газа 0,5 м/с, если температура реакции снизилась с 1600 до 1300 К? Концентрация тетрахлорида в водороде поддерживается постоянной, что соответствует значениям отношений хлора к водороду и кремния к хлору на входе в реактор соответственно 0,02 и 0,25. Система находится в

Согласована на портале № 84112

равновесии.

2. Константа равновесия основной реакции получения кремния хлоридным методом составляет 0,0245. Определить давления тетрахлорида кремния и водорода, если давления продуктов реакции на выходе составляют 10,2 Па для кремния и 120 Па для хлористого водорода. Содержание тетрахлорида кремния в потоке водорода 0,5 %.

3. На подложке 200 КЭФ-0,05 выращена эпитаксиальная пленка типа 10 КДБ-0,5 со скоростью 1 мкм/мин. Определить концентрацию фосфора в пленке в результате эффекта автолегирования на глубине 8 мкм, если температура эпитаксии 1200 °С.

4. Какие требования предъявляются к подзатворному диэлектрику МДП-структур? Как они реализуются с точки зрения выбора технологии?

### 9.1.5. Темы практических занятий

1. Подложки полупроводниковых ИМС. Маркировка и параметры подложек. Структуры элементов.
2. Расчет режимов диффузии и профилей легирования
3. Расчет точности изготовления диффузионных элементов
4. Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования
5. Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии
6. Расчет режимов окисления
7. Литография в технологии микро- и наноэлектронике
8. Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС
9. Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС
10. Основы нанотехнологий

### 9.1.6. Примерный перечень вопросов для устного опроса / собеседования

1. Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Микро- и нанотехнологии – основа современной наноэлектроники. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и наноэлектроники. Список рекомендуемой литературы.
2. Выбор материала подложек ИМС. Механическая, механохимическая и физическая обработка подложек. Химическая, электрохимическая и ионно-плазменная очистка подложек. Контроль степени чистоты.
3. 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. Термодинамика и кинетика ориентированного зародышеобразования. Механизм эпитаксии. Методы получения эпитаксиальных структур. Газофазная эпитаксия кремния. Кинетика эпитаксиального 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.
5. 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.
6. Введение в нанотехнологию. Современные методы нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии

Согласована на портале № 84112

### 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

### 9.3. 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 9.4.

Таблица 9.4 – 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 |

Согласована на портале № 84112

| | | |
|---|---|---|
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 9.4. 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 № 84112

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 172 от «16» 10 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Начальник учебного управления | Г.А. Цой | Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Профессор, каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Доцент, каф. ФЭ | И.А. Чистоедова | Согласовано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2 |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. ФЭ | И.А. Чистоедова | Разработано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2 |

Согласована на портале № 84112