


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники
и электроники

 / В.А. Небольсин /
31 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины**

«Основы технологии электронной компонентной базы»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы


_____ Т.Г. Меньшикова

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники


_____ А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП


_____ А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: 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 освоения дисциплины: освоение студентами комплекса теоретических и практических знаний, позволяющих им свободно ориентироваться в современном производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.24 «Основы технологии электронной компонентной базы» относится к обязательной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1: способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

ОПК-2: способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции |
|-------------|--|
| ОПК-1 | знать широко используемые технологические операции и методы пооперационного изготовления изделий твердотельной электроники; |
| | уметь рассчитывать физико-технологические условия для проведения отдельных технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами; |
| | владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств твердотельной электроники. |
| ОПК-2 | знать физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций; |

| | |
|--|---|
| | уметь устанавливать зависимость контрольных параметров технологических операций от их режимов; |
| | владеть методиками контроля и анализа процессов электронной компонентной базы. |

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|--------------------------------------|-------------|----------|
| | | 6 |
| Аудиторные занятия (всего) | 50 | 50 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 16 | 16 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 34 | 34 |
| Самостоятельная работа | 58 | 58 |
| Вид промежуточной аттестации - зачет | + | + |
| Общая трудоемкость | час | 108 |
| | зач. ед. | 3 |
| | | 108 |
| | | 3 |

Заочная форма обучения

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|--------------------------------------|-------------|----------|
| | | 8 |
| Аудиторные занятия (всего) | 12 | 12 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 4 | 4 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 8 | 8 |
| Самостоятельная работа | 92 | 92 |
| Часы на контроль | 4 | 4 |
| Вид промежуточной аттестации - зачет | + | + |
| Общая трудоемкость | час | 108 |
| | зач. ед. | 3 |
| | | 108 |
| | | 3 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|--|---|------|-----------|-----|------------|
| 1 | Современное состояние и тенденции развития производства полупроводниковых приборов и ИМС | Введение. Микро- и наноэлектроника. Вводные понятия. Исторический экскурс. Полупроводниковые приборы. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Переход к низкоразмерным системам | 2 | - | 5 | 7 |
| 2 | Механическая и химико-механическая обработка полупроводников | Основные задачи и виды механической обработки полупроводников. Методы резания полупроводниковых слитков на пластины и кристаллы. Сравнительная характеристика различных методов резания. Шлифование пластин. Механизмы шлифования. Основные характеристики процесса шлифования. Механизмы полирования. Роль химических процессов в полировании полупроводников. Основные характеристики процесса полирования. | 2 | - | 7 | 9 |
| 3 | Технохимические процессы подготовки полупроводниковых подложек ИМС. Методы технологического контроля | Кинетика и термодинамика химического травления. Механизмы химического травления. Электрохимическая и химическая теории саморастворения полупроводников. Основные травители для кремния и полупроводниковых соединений. Газовое высокотемпературное травление. Ионно-плазменная обработка. Механизмы ионной, ионно-химической и плазмохимической обработки. Перспективы систем с магнетронным распылением. Контроль качества поверхности. Сведения по теории надежности изделий электронной техники. Классификация причин отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Анализ причин отказов. Выход годных ИС. Перспективные технологические методы в производстве ИС. Тенденции развития технологических процессов микро- и наноэлектроники. | 2 | 6 | 7 | 15 |
| 4 | Диэлектрические слои | Требования к диэлектрическим слоям в технологии электроники. Пленки диоксида кремния. Кинетика термического окисления кремния. Зависимость толщины пленки диоксида кремния от времени процесса. Физические процессы, сопровождающие окисление. Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде. Дефекты, возникающие при термическом окислении кремния. Пиролитическое осаждение диоксида кремния. Анодное окисление кремния. Методы осаждения диоксида кремния. Параметры процесса осаждения и свойства окисных пленок. | 2 | 8 | 7 | 17 |
| 5 | Эпитаксиальные структуры | Место эпитаксиальных процессов в производстве полупроводниковых приборов и ИМС. Классификация эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния из газовой фазы. Основы процессов массопереноса и химической кинетики. Легирование и автолегирование. Выбор оптимальной технологии. Оценка параметров и дефекты эпитаксиальных слоев, способы контроля и устранения. Эпитаксия из газовой фазы соединений типа A^3B^5 и твердых растворов на их основе. Хлоридно-гидридный, хлоридный и МОС (МОХОПФ) методы. Гетероэпитаксия. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток. Жидкофазная эпитаксия. Перспективы развития процесса жидкостной эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Применяемые системы и характеристики слоев. Тенденции развития эпитаксиальной технологии | 2 | 6 | 8 | 16 |
| 6 | Литографические процессы | Литография. Резисты. Разрешающая способность. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики. Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности. Нанесение резиста. Термообработка. Совмещение и экспонирование. Виды фотошаблонов. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление маски. Перспективные методы литографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ. Электронная литография. Длина волны, системы сканирования. Рентгеновская литография. Рентгеношаблоны. Ионно-лучевая литография. Синхротронное излучение. Сравнение разрешающей способности при различных литографических процессах. Предельные возможности формирования низкоразмерных элементов при помощи литографии. | 2 | 6 | 8 | 16 |
| 7 | Легирование полупроводников | Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии. Кинетика процесса диффузии. Механизмы диффузии. Математические основы процесса диффузии. Механические напряжения и дефекты размерного несоответствия. Технология процесса диффузии. Технологические разновидности диффузионного легирования. Дефекты диффузионных слоев, способы их обнаружения и устранения. Возможности и перспективы применения ионного легирования в производстве | 2 | 8 | 8 | 18 |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | ИМС. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Распределение пробегов ионов в аморфной и монокристаллической мишени. Радиационные дефекты. Механизмы аморфизации поверхности. Отжиг радиационных дефектов. Термический и лазерный отжиг. Методы активации примесей. Технология ионного легирования. Локализация ионного легирования. Способы контроля имплантированных слоев. | | | | |
| 8 | Металлизация | Понятие омического контакта. Основные характеристики омических контактов и их влияние на параметры полупроводниковых приборов и ИМС. Методы получения омических контактов. Вакуумные методы. Химическое и электрохимическое осаждение. Термокомпрессия. Методика получения омических контактов в планарной технологии. Многослойные контактные системы. Применение силицидов переходных металлов в контактах ИМС. Плоские и объемные выводы и методы их формирования. Методы контроля качества омических контактов, пути повышения надежности контактных систем. | 2 | - | 8 | 10 |
| Итого | | | 16 | 34 | 58 | 108 |

заочная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Лаб. зан. | СРС | Всего час |
|-------|--|---|------|-----------|-----|-----------|
| 1 | Современное состояние и тенденции развития производства полупроводниковых приборов и ИМС | Введение. Микро- и нанoeлектроника. Вводные понятия. Исторический экскурс. Полупроводниковые приборы. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Переход к низкоразмерным системам | - | - | 10 | 10 |
| 2 | Механическая и химико-механическая обработка полупроводников | Основные задачи и виды механической обработки полупроводников. Методы резания полупроводниковых слитков на пластины и кристаллы. Сравнительная характеристика различных методов резания. Шлифование пластин. Механизмы шлифования. Основные характеристики процесса шлифования. Механизмы полирования. Роль химических процессов в полировании полупроводников. Основные характеристики процесса полирования. | 2 | - | 10 | 12 |
| 3 | Технохимические процессы подготовки полупроводниковых подложек ИМС. Методы технологического контроля | Кинетика и термодинамика химического травления. Механизмы химического травления. Электрохимическая и химическая теории саморастворения полупроводников. Основные травители для кремния и полупроводниковых соединений. Газовое высокотемпературное травление. Ионно-плазменная обработка. Механизмы ионной, ионно-химической и плазмохимической обработки. Перспективы систем с магнетронным распылением. Контроль качества поверхности. Сведения по теории надежности изделий электронной техники. Классификация причин отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Анализ причин отказов. Выход годных ИС. Перспективные технологические методы в производстве ИС. Тенденции развития технологических процессов микро- и нанoeлектроники. | 2 | 2 | 12 | 16 |
| 4 | Диэлектрические слои | Требования к диэлектрическим слоям в технологии электроники. Пленки диоксида кремния. Кинетика термического окисления кремния. Зависимость толщины пленки диоксида кремния от времени процесса. Физические процессы, сопровождающие окисление. Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде. Дефекты, возникающие при термическом окислении кремния. Пиролитическое осаждение диоксида кремния. Анодное окисление кремния. Методы осаждения диоксида кремния. Параметры процесса осаждения и свойства окисных пленок. | - | 3 | 12 | 15 |
| 5 | Эпитаксиальные структуры | Место эпитаксиальных процессов в производстве полупроводниковых приборов и ИМС. Классификация эпитаксиальных процессов. Эпитаксия кремния из газовой фазы. Основы процессов массопереноса и химической кинетики. Легирование и автолегирование. Выбор оптимальной технологии. Оценка параметров и дефекты эпитаксиальных слоев, способы контроля и устранения. Эпитаксия из газовой фазы соединений типа A^3B^5 и твердых растворов на их основе. Хлоридно-гидридный, хлоридный и МОС (МОХОПФ) методы. Гетероэпитаксия. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток. Жидкофазная эпитаксия. Перспективы развития процесса жидкостной эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Применяемые системы и характеристики слоев. Тенденции развития эпитаксиальной технологии | - | - | 12 | 12 |

| | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|---|----------|----------|-----------|------------|
| 6 | Литографические процессы | Литография. Резисты. Разрешающая способность. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики. Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности. Нанесение резиста. Термообработка. Совмещение и экспонирование. Виды фотошаблонов. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление маски. Перспективные методы литографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ. Электронная литография. Длина волны, системы сканирования. Рентгеновская литография. Рентгеношаблоны. Ионно-лучевая литография. Синхротронное излучение. Сравнение разрешающей способности при различных литографических процессах. Предельные возможности формирования низкоразмерных элементов при помощи литографии. | - | - | 12 | 12 |
| 7 | Легирование полупроводников | Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии. Кинетика процесса диффузии. Механизмы диффузии. Математические основы процесса диффузии. Механические напряжения и дефекты размерного несоответствия. Технология процесса диффузии. Технологические разновидности диффузионного легирования. Дефекты диффузионных слоев, способы их обнаружения и устранения. Возможности и перспективы применения ионного легирования в производстве ИМС. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Распределение пробегов ионов в аморфной и монокристаллической мишени. Радиационные дефекты. Механизмы аморфизации поверхности. Отжиг радиационных дефектов. Термический и лазерный отжиг. Методы активации примесей. Технология ионного легирования. Локализация ионного легирования. Способы контроля имплантированных слоев. | - | 3 | 12 | 15 |
| 8 | Металлизация | Понятие омического контакта. Основные характеристики омических контактов и их влияние на параметры полупроводниковых приборов и ИМС. Методы получения омических контактов. Вакуумные методы. Химическое и электрохимическое осаждение. Термокомпрессия. Методика получения омических контактов в планарной технологии. Многослойные контактные системы. Применение силицидов переходных металлов в контактах ИМС. Плоские и объемные выводы и методы их формирования. Методы контроля качества омических контактов, пути повышения надежности контактных систем. | - | - | 12 | 12 |
| Всего | | | 4 | 8 | 92 | 104 |
| Контроль | | | | | | 4 |
| Итого | | | | | | 108 |

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Анизотропное травление кремния. Получение V-образных канавок в кремниевых пластинах.
2. Плазмохимическое травление фоторезиста на установке «Плазма - 600».
3. Модель Дила-Гроува. Термическое окисление пластин кремния в сухом кислороде.
4. Термическое окисление кремния во влажном кислороде.
5. Проекционная оптическая фотолитография на автомате микролитографии «Лада – 150А».
6. Технология формирования транзисторной n^+p-n структуры методом диффузии.
7. Технология формирования n^+p-n структуры ионным легированием на установке ионного легирования типа «Везувий - 2»

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Аттестован | Не аттестован |
|--------------------|---|---|---|---|
| ОПК-1 | знать широко используемые технологические операции и методы пооперационного изготовления изделий твердотельной электроники; | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь рассчитывать физико-технологические условия для проведения отдельных технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами; | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств твердотельной электроники. | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ОПК-2 | знать физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций; | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь устанавливать зависимость контрольных параметров технологических операций от их режимов; | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть методиками контроля и анализа процессов электронной компонентной базы. | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, в 8 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»;

«НЕ ЗАЧТЕНО».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Зачтено | Не зачтено |
|-------------|--|--|--|-----------------------|
| ОПК-1 | знать широко используемые технологические операции и методы пооперационного изготовления изделий твердотельной электроники; | Тест | Выполнение теста на 70 – 100 % | Выполнение менее 70 % |
| | уметь рассчитывать физико-технологические условия для проведения отдельных технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами; | Решение стандартных практических задач | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств твердотельной электроники. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| ОПК-2 | знать физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций; | Тест | Выполнение теста на 70 – 100 % | Выполнение менее 70 % |
| | уметь устанавливать зависимость контрольных параметров технологических операций от их режимов; | Решение стандартных практических задач | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть методиками контроля и анализа процессов электронной компонентной базы. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- На этапе разгонки примесь распределяется по закону:
 - интеграла функции ошибок;
 - параболическому;
 - линейному;
 - Гаусса.
- На этапе загонки примесь распределяется по закону:
 - интеграла функции ошибок;
 - параболическому;
 - линейному;
 - Гаусса.
- При легировании полупроводника $p - n$ -переход образуется на глубине, где концентрация введенной примеси:
 - больше концентрации исходной примеси;
 - равна концентрации исходной примеси;
 - меньше концентрации исходной примеси.
- Для создания базовых областей $n+ - p - n$ –транзисторов в качестве легирующей примеси используется:

- а) мышьяк;
- б) фосфор;
- в) бор;
- г) сурьма.

5. Для создания эмиттерных областей $n^+ - p - n$ -транзистора в качестве легирующей примеси используется:

- а) сурьма;
- б) алюминий;
- в) бор;
- г) фосфор.

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

- а) на глубине $p - n$ -перехода; x_{pn} ;
- б) на поверхности;
- в) на глубине $\frac{1}{2} x_{pn}$;
- г) на глубине средней проекции пробега R_p .

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

- а) на глубине $p - n$ -перехода; x_{pn} ;
- б) на поверхности;
- в) на глубине $\frac{1}{2} x_{pn}$;
- г) на глубине средней проекции пробега R_p .

8. Этап разгонки проводится в атмосфере:

- а) легирующей примеси;
- б) кислорода;
- в) водорода;
- г) аргона.

9. Структура эпитаксиальных пленок:

- а) поликристаллическая;
- б) монокристаллическая;
- в) аморфная.

10. В эпитаксиальной пленке донорная или акцепторная примесь распределяется:

- а) по закону Гаусса;
- б) равномерно;
- в) по закону интеграла функций ошибок;
- г) по параболическому закону.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. При окислении кремния в сухом кислороде пленка двуокиси кремния получается:

- а) хорошего качества;
- б) с большой скоростью;
- в) при низкой температуре подложки.

2. При окислении кремния в парах воды пленка двуокиси кремния получается:

- а) хорошего качества;

- б) с большой скоростью;
 - в) при низкой температуре подложки.
3. Подзатворный диэлектрик оксида кремния выращивается:
- а) в парах воды;
 - б) во влажном кислороде;
 - в) в сухом кислороде.
4. При получении толстого оксида кремния (1,5 мкм) используют:
- а) термическое окисление в сухом кислороде;
 - б) термическое окисление в парах воды;
 - в) комбинированную технологию.
5. Комбинированная технология, используемая при получении пленок двуокиси кремния, обеспечивает:
- а) сокращение времени окисления;
 - б) улучшение параметров пленки;
 - в) снижение температуры роста.
6. Диэлектрическая изоляция элементов биполярной ИМС обеспечивает:
- а) надежную изоляцию элементов;
 - б) простоту технологии;
 - в) введение дополнительной операции диффузии.
7. Представить структуру диода.
8. Представить структуру МДП-конденсатора.
9. Представить структуру диффузионно-планарного биполярного транзистора.
10. Представить структуру с диэлектрической изоляцией.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Основные этапы технологии изготовления интегральных микросхем.
2. Основные и вспомогательные материалы, используемые в производстве полупроводниковых приборов и ИС.
3. Основные технологические процессы получения эпитаксиальных пленок на полупроводниковых подложках.
4. Сравнительный анализ различных способов эпитаксиального наращивания.
5. Особенности электронно-ионной технологии.
6. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой и способы их устранения.
7. Рассчитать глубину залегания р-п перехода при имплантации ионов различных энергий.
8. Основные этапы литографического процесса.
9. Перспективные способы формирования топологии ИМС-структур.
10. Методы и категории испытаний полупроводниковых приборов и ИС.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Выбор материала подложек ИМС
2. Способы резки слитков на пластины
3. Механическая обработка подложек
4. Ионно-плазменная обработка подложек.
5. Плазмохимическая обработка подложек.
6. Термическое окисление кремния.
7. Химическое осаждение диэлектрических пленок
8. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме
9. Получение тонких пленок методом ионно-плазменного распыления
10. Рост эпитаксиальных пленок из газовой фазы.
11. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
12. Проекционная фотолитография.
13. Негативные, позитивные фоторезисты.
14. Понятие разрешающей способности процесса литографии.
15. Фотошаблоны и способы их получения.
16. Легирование полупроводников диффузией.
17. Распределение примеси при диффузии. Уравнения Фика
18. Стадия загонки. Стадия разгонки.
19. Контроль параметров диффузионных слоев
20. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования.
21. Методы технологического контроля параметров ИМС.
22. В чем сущность метода эпитаксии и каково его назначение?
23. Что такое ионная имплантация? Где она применяется?
24. В чем сущность метода травления и каково его назначение?
25. Какими методами получают пленки в микроэлектронной технологии?
26. Каковы назначение и применение слоев двуоксида кремния в конструкции и технологии ИМС?
27. Как осуществляется локальная диффузия легирующих примесей?
28. Какие примеси используют для легирования полупроводников?
29. Какие факторы и как влияют на параметры диффузионных слоев?
30. Какие методы эпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев используют в технологии ИМС?
31. Как создают внутрисхемные соединения в полупроводниковых ИМС?
32. Как осуществляется процесс металлизации?
33. Как классифицируют полупроводниковые ИМС по конструктивно-технологическому исполнению?
34. Какие методы изоляции применяют в полупроводниковых ИМС?
35. Какими основными параметрами характеризуются планарно-эпитаксиальные транзисторы?
36. Какую роль выполняют скрытые слои в транзисторных структурах?

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 8 до 10 баллов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|--------------|--|--|---|
| 1 | Современное состояние и тенденции развития производства полупроводниковых приборов и ИМС | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, устный опрос |
| 2 | Механическая и химико-механическая обработка полупроводников | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, устный опрос |
| 3 | Технохимические процессы подготовки полупроводниковых подложек ИМС. Методы технологического контроля | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, защита лабораторных работ устный опрос |
| 4 | Диэлектрические слои | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, защита лабораторных работ устный опрос |
| 5 | Эпитаксиальные структуры | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, защита лабораторных работ устный опрос |
| 6 | Литографические процессы | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, защита лабораторных работ устный опрос |
| 7 | Легирование полупроводников | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, защита лабораторных работ устный опрос |
| 8 | Металлизация | ОПК-1, ОПК-2 | Тест, зачет, устный опрос |

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста пре-

подавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий:** учеб. пособие: в 2 т. Т. 2: Технологические аспекты / М.В. Акуленок, В.М. Андреев, Д.Г. Громов [и др.]; под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 252 с. - (Нанотехнологии). – ISBN 978-5-9963-0336-6 (Т. 2). - ISBN 978-5-9963-0341-0

2. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 1. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 142 с.

3. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 2. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 172 с.

4. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 3. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. – 227 с.

5. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч. 4. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 173 с.

6. **Красников Г.Я.** Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г.Я. Красников. - 2-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2011. - 800 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-9436-289-2

7. **Галперин В.А.** Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учеб. пособие: допущено Учебно-методическим объединением / В.А. Галперин; под ред. С.П. Тимошенко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 283 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0032-7

8. **Родионов Ю.А.** Технологические процессы в микро- и наноэлектронике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Родионов. - Технологические процессы в микро- и наноэлектронике ; 2024-08-12. – М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. - 352 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 12.08.2024 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-9729-0337-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/86656.html>

Дополнительная литература

9. **Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем:** учеб. пособие :рекомендовано Учебно-методическим объединением. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 422 с. - ISBN 978-5-94774-585-6 (Ч. 2). - ISBN 978-5-94774-583-2

10. **Шилова О.А.** Золь-гель технология микро- и нанокompозитов [Электронный ресурс] / О.А. Шилова. - СПб.: Лань, 2021. - 304 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1417-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/168546>

11. **Липатов Г.И.** Расчеты процессов очистки и получения пленок и слоев методами физического и химического осаждения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.И. Липатов. - Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. - 102 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7731-0798-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93336.html>

12. **Синтез и свойства металлооксидных пленок** [Электронный ресурс]: монография / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Т.В. Свистова, Н.Н. Кошелева. - Электрон. текстовые, граф. дан. (5,8 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.

13. **Бадаев А.С.** Современные технологические процессы изготовления биполярных и полевых структур [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.С. Бадаев. - Электрон. текстовые, граф. дан. (4,4 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012.

14. **Пантелеев В.И.** Полупроводниковые приборы на основе соединений A^3B^5 : учеб. пособие / В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2002. - 224 с.

15. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 3 по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Электронное машиностроение») очной формы обучения** [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост. Г.И. Липатов. - Электрон. текстовые, граф. дан. (942 Кб). - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. (№ 21-2016)

16. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4 - 8 по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Электронное машиностроение») очной формы обучения** [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост. Г.И. Липатов. - Электрон. текстовые, граф. дан. (151 Кб). - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. (№ 22-2016)

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;

- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle.

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн, код доступа: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ» в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика», код доступа <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование, код доступа: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал, код доступа: <http://phys-portal.ru/index.html>;
- профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- электронная информационная образовательная среда ВГТУ <https://old.education.cchgeu.ru>;
- официальный сайт АО «ВЗПП-М» <http://www.vsp-mikron.com>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная аудитория для чтения лекций, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, находящаяся на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Микрон» («ВЗПП-Микрон»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

2. Производственное оборудование для проведения лабораторных работ, находящееся на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Микрон» («ВЗПП-Микрон»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

3. Дисплейный класс для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);

рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.

компьютер-сборка каф.9;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);

компьютер-сборка каф.5;

компьютер-сборка каф.4;

компьютер-сборка каф.8;
 компьютер-сборка каф.2;
 компьютер-сборка каф.6;
 компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные занятия направлены на приобретение практических навыков работы на технологическом оборудовании. Занятия проводятся путем выполнения лабораторных работ на профильном предприятии АО «ВЗПП-Микрон».

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|------------------------|--|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции. |
| Лабораторная работа | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу. |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; |

| | |
|---------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none">- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;- подготовка к промежуточной аттестации. |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала. |

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № п/п | Перечень вносимых изменений | Дата внесения изменений | Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |