



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор института Электроэнергетики и
электроники

_____ Ившин И.В.

« 28 » октября _____ 2020 г.

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением ученого совета ИЭЭ
протокол №7 от 16.04.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы технологии изготовления изделий «система в корпусе» и микросборок

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) 11.03.04 Промышленная электроника

Квалификация бакалавр

г. Казань, 2020

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

Программу разработал(и):

доцент, к.т.н. _____ Иванов Д.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Промышленная электроника и светотехника, протокол №5 от 27.10.2020

Зав. кафедрой Голенищев-Кутузов А.В.

Программа одобрена на заседании методического совета института Электроэнергетики и электроники, протокол № 3 от 28.10.2020

Зам. директора института Электроэнергетики и электроники
/Ахметова Р.В./

Программа принята решением Ученого совета института Электроэнергетики и электроники, протокол № 4 от 28.10.2020

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является повышение уровня знаний в области полупроводниковых приборов и интегральной микроэлектронной и наноэлектронной техники.

Задачами дисциплинами являются:

- освоение типов производства изделий "система в корпусе" и микросборок;
- приобретение знаний и навыков выбора процесса получения изделия из действующего типового/группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса;
- приобретение знаний и навыков выбора конструкционных материалов для производства изделий "система в корпусе" и микросборок;
- определение состава средств технологического оснащения разрабатываемых процессов производства изделий "система в корпусе" и микросборок;
- изучение и анализ технологических требований, предъявляемых к электронной компонентной базе;
- изучение технологических режимов операций технологического процесса производства изделий "система в корпусе" и микросборок.
- знакомство с типовыми методами контроля качества изготовления элементов и узлов электронного оборудования.

Компетенции, формируемые у обучающихся, запланированные результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) |
|---|--|--|
| Профессиональные компетенции (ПК) | | |
| ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования | ПК-1.1 Анализирует и рассчитывает физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения | <i>Знать:</i> основные технологические методы изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов технические условия на типовые изделия микроэлектроники <i>Уметь:</i> анализировать воздействие различных параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники анализировать основные параметры реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники <i>Владеть:</i> информацией о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники |

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Основы технологии изготовления изделий «система в корпусе» и микросборок относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника.

| Код компетенции | Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. | Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. |
|-----------------|---|--|
| ОПК-1 | Материалы электронной техники Физико-математические модели электронных узлов Химия | |
| ПК-1 | Производственная практика (проектная) | |
| ПК-3 | Проектирование изделий «система в корпусе» и микросборок Производственная практика (проектная) | |
| ПК-4 | Производственная практика (проектная) | |
| ПК-5 | Производственная практика (проектная) | |
| ПК-2 | Физические основы полупроводниковой и функциональной электроники | |
| ПК-4 | | Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика |
| ПК-5 | | Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика |
| ПК-2 | | Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика |

Для освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия и фундаментальные законы естественнонаучных дисциплин;
- общие свойства различных групп материалов, используемых в электронных приборах и устройствах;
- физическую сущность процессов и явлений, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях эксплуатации;
- основные характеристики естественнонаучной картины мира, место и роль человека в природе;
- основные способы математической обработки информации.

Уметь:

- анализировать воздействие различных параметров на процессы измерения различных физических величин в процессе проведения экспериментов;
- синтезировать и разрабатывать приборы и измерительные ячейки различного функционального назначения;
- пользоваться различными законами и закономерностями для объяснения физических принципов функционирования электронных приборов;
- проводить анализ и систематизацию информации, связанной с исследованием нанoeлектронных приборов;
- анализировать воздействие сигналов на линейные и нелинейные цепи;
- отличать науку от лженауки.

Владеть:

- современными методами расчета, моделирования, автоматизирования экспериментальных установок;
- особенности использования электронных приборов в радиоэлектронной аппаратуре;
- основными методами математической обработки информации;
- навыками ведения дискуссий по проблемам естествознания; методикой и техникой изучения естественнонаучных данных;
- навыками поиска, сбора, систематизации и использования информации в предметной области изучаемой дисциплины.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) (ЗЕ), всего 108 часов, из которых 45 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа 16 час., занятия семинарского типа (практические, семинарские занятия, лабораторные работы и т.п.) 24 час., групповые и индивидуальные консультации 2 час., прием экзамена (КПА), зачета с оценкой - 1 час., самостоятельная работа обучающегося 28 час. Практическая подготовка по виду профессиональной деятельности составляет 4,5 часа.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестр |
|---|-------------|---------|
| | | р |
| ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ | 108 | 108 |
| КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, в том числе: | 45 | 45 |
| Лекционные занятия (Лек) | 16 | 16 |
| Лабораторные занятия (Лаб) | 24 | 24 |
| Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)* | 2 | 2 |
| Консультации (Конс) | 2 | 2 |
| Контактные часы во время аттестации (КПА) | 1 | 1 |
| САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС) | 28 | 28 |
| Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (экзамен) | 35 | 35 |
| ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ | Эк | Эк |

| Разделы дисциплины | Семестр | Распределение трудоемкости (в часах) по видам учебной работы, включая СРС | | | | | | | | Формируемые результаты обучения (знания, умения, навыки) | Литература | Формы текущего контроля успеваемости | Формы промежуточной аттестации | Максимальное количество баллов по балльно - рейтинговой системе | |
|---|---------|---|---|---------------------|------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--|--|--|--------------------------------|---|-------|
| | | Занятия лекционного типа | Занятия практического / семинарского типа | Лабораторные работы | Групповые консультации | Самостоятельная работа студента, в т.ч. | Контроль самостоятельной работы (КСР) | подготовка к промежуточной аттестации | Сдача зачета / экзамена | | | | | | Итого |
| Раздел 1. Технологические методы производства электронных приборов | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Современные физические представления о свойствах материалов в развитии технологических методов изготовления электронных приборов | 8 | | | | | 2 | | | | 2 | ПК-1.1 -З1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2, ПК-1.1 -В1 | Л1.2, Л1.3, Л2.1, Л2.2, Л2.3, Л2.4, Л1.1 | Сбс ПЗ | | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|--|---|--|--|--|----|---|------------------------|------------------|--|---|
| 2. Технологические этапы изготовления полупроводниковых дискретных приборов и интегральных микросхем | 8 | 2 | | 4 | | 2 | | | | 8 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-У2, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1 | Л1.1, Л2.5, Л1.2 | ОЛР Сбс | | 6 |
| Раздел 2. Технология материалов электроники | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Общие требования к используемым в электронике материалам. Металлы, сплавы, стекла, керамика, полупроводники, и пр. | 8 | | | | | 1 | | | | 1 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1 | Л1.1 | Сбс | | 1 |
| 4. Технология выращивания монокристаллов. | 8 | 2 | | 4 | | 2 | | | | 8 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.1, Л1.3, Л1.2 | ПЗ ОЛР | | 7 |
| 5. Технология пленок. Эпитаксиальные структуры. Эпитаксиальные процессы. Дефекты эпитаксиальных пленок, способы контроля. Вакуумная технология тонких пленок, получение пленок сплавов. Методы получения аморфных и поликристаллических пленок. | 8 | 2 | | 4 | | 4 | | | | 10 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Сбс ПЗ ОЛР | | 8 |

Раздел 3. Технология литографии

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|---|---|--|--|--|---|---|------------------|------------------|--|---|
| 6. Процесс литографии. Основные виды, характеристики методов. | 8 | 2 | | | 2 | | | | | 4 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Сбс ПЗ | | 3 |
| 7. Технология травления. Характеристики методов травления. Травление кремния, двуокиси кремния, нитрида кремния, силицидов и пр. | 8 | 2 | 4 | | 3 | | | | | 9 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.2, Л1.3, Л1.1 | ОЛР ПЗ Сбс | | 8 |
| 8. Легирование материалов. Диффузия. Ионная имплантация. | 8 | | | | 3 | | | | | 3 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1 | Л1.1, Л1.3, Л1.2 | ПЗ Сбс | | 4 |
| Раздел 4. Типовые технологические процессы | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Технология изготовления приборов микроэлектроник и. | 8 | 2 | | | 2 | 2 | | | | 6 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.2, Л1.3 | Сбс ПЗ | | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----|--|----|--|----|---|----|--|---|---|---|------------------------|-----|-----|
| 10. Технология производства биполярных микросхем | 8 | 2 | | 4 | | 3 | | | | 9 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.2 | Сбс ПЗ ОЛР | | 8 |
| 11. Технология производства МОП интегральных микросхем | 8 | 2 | | 4 | | 3 | | | | 9 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2 | Л1.2, Л1.3 | ПЗ ОЛР Сбс | | 8 |
| 12. Тенденции развития интегральных микросхем. | 8 | | | | | 1 | | | | 1 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-В1 | Л1.1 | Сбс | | 1 |
| Раздел 5. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена | 8 | | | | | | | 35 | | 1 | 36 | ПК-1.1-31, ПК-1.1-32, ПК-1.1-У1, ПК-1.1-У2, ПК-1.1-В1 | Л1.1, Л1.2, Л1.3 | Экз | 40 |
| ИТОГО | | 16 | | 24 | | 28 | 2 | 35 | | 1 | 108 | | | | 100 |

3.3. Тематический план лекционных занятий

| Номер раздела дисциплины | Темы лекционных занятий | Трудоемкость, час. |
|--------------------------|--|--------------------|
| 1 | Технологические этапы изготовления электронных приборов, полупроводниковых дискретных приборов и интегральных микросхем. Общая характеристика различных технологических методов, используемых в производстве электронных приборов. | 2 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2 | Технология выращивания монокристаллов. Общая характеристика различных технологических методов, используемых в выращивании полупроводниковых монокристаллов. | 2 |
| 3 | Эпитаксиальные структуры. Классификация эпитаксиальных процессов. Эпитаксия в электрическом поле. Легирование пленок в процессе роста. Эпитаксия полупроводниковых соединений. Дефекты эпитаксиальных пленок, способы контроля. | 2 |
| 4 | Процесс литографии. Основные виды литографии. Резисты. Сравнительные характеристики методов. | 2 |
| 5 | Технология травления. Анизотропия и селективность травления. Сравнительные характеристики методов травления. Травление кремния. двуокиси кремния, нитрида кремния, силицидов. | 2 |
| 6 | Производственный процесс. Технологический процесс. Технологическая операция. Технология индивидуальной и групповой обработки. Технология приборов микроэлектроники. | 2 |
| 7 | Классификация биполярных ИС. Технология n-p-n биполярных ИС. | 2 |
| 8 | Классификация МОП ИС. Технология p-МОП ИС. Технология n-МОП ИС. | 2 |
| Всего | | 16 |

3.4. Тематический план практических занятий

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом

3.5. Тематический план лабораторных работ

| Номер раздела дисциплины | Темы лабораторных работ | Трудоемкость, час. |
|--------------------------|---|--------------------|
| 1 | Моделирование схмотехники ИМС операционного усилителя в программной среде MultiSim. Часть 1 | 4 |
| 2 | Моделирование схмотехники ИМС операционного усилителя в программной среде MultiSim. Часть 2 | 4 |
| 3 | Моделирование схмотехники базовых компонентов ТТЛ-ТТЛШ цифровых ИМС в программной среде MultiSim. Часть 1 | 4 |
| 4 | Моделирование схмотехники базовых компонентов ТТЛ-ТТЛШ цифровых ИМС в программной среде MultiSim. Часть 2 | 4 |
| 5 | Моделирование узлов комбинационного типа в программной среде MultiSim. | 4 |
| 6 | Моделирование узлов последовательностного типа в программной среде MultiSim. | 4 |
| Всего | | 24 |

3.6. Самостоятельная работа студента

| Номер раздела дисциплины | Вид СРС | Содержание СРС | Трудоемкость, час. |
|--------------------------|---------|----------------|--------------------|
| | | | |

| | | | |
|----|--|---|---|
| 1 | Изучение теоретического материала | Современные физические представления о свойствах материалов и их физико-химических превращениях в развитии технологических методов изготовления электронных приборов. Этапы развития технологии. | 1 |
| 2 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Свойства материалов, используемых при производстве и изготовлении электронных приборов" | 1 |
| 3 | Изучение теоретического материала | Классификация твердотельных электронных приборов. | 1 |
| 4 | Отчет о выполнении лабораторной работы 1 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |
| 5 | Изучение теоретического материала | Общие требования к материалам электроники. Металлы и сплавы. Стекла. Керамика. Полупроводники. Ферриты. | 1 |
| 6 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Технологии материалов электроники" | 1 |
| 7 | Отчет о выполнении лабораторной работы 2 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |
| 8 | Изучение теоретического материала | Химические методы получения аморфных и поликристаллических пленок. Термическое окисление кремния. Получение пленки SiO ₂ . Электрические заряды в окисле. Нитрид кремния. Окись алюминия. Силициды. Пиролитические методы. Вакуумная технология тонких пленок. Процессы в технологии пленок. Формирование потока рабочего вещества. Перенос рабочего вещества к подложке. Формирование пленки на подложке. Методы изготовления тонких пленок в вакууме. Испарение и конденсация в высоком вакууме. Формирование пленок методами физического распыления. Особенности получения пленок сплавов. | 2 |
| 9 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Эпитаксиальные структуры" | 1 |
| 10 | Отчет о выполнении лабораторной работы 3 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |

| | | | |
|----|--|---|---|
| 11 | Изучение теоретического материала | Фотолитография и ее роль в производстве интегральных микросхем. Фотошаблоны. Типы фоторезистов и их характеристики. Фотохимические процессы в фоторезистах. Виды процессов фотолитографии. Погрешности экспонирования. Многослойные резисты. Рентгенолитография. Применение электронных и ионных пучков для литографии. | 1 |
| 12 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Виды и методы литографии" | 1 |
| 13 | Изучение теоретического материала | Жидкостное химическое травление. Плазменное травление. Травление органических материалов в кислородной плазме. Ионно-лучевое травление. Реактивное травление. | 1 |
| 14 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Технология травления полупроводников и диэлектриков" | 1 |
| 15 | Отчет о выполнении лабораторной работы 4 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |
| 16 | Изучение теоретического материала | Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии. Особенности диффузии примесей в кремнии. Диффузия в условиях примесной проводимости. Неравновесные эффекты при диффузии. Перераспределение примеси в системе Si -SiO ₂ . Диффузия в электрическом поле. Ионно-стимулированная диффузия. Особенности диффузии примесей в арсениде галлия. Разновидности процесса диффузии. Методы контроля диффузионных слоев. | 1 |
| 17 | Изучение теоретического материала | Ионная имплантация. Пробеги. Двухслойные мишени. Имплантация и распыление. Диффузионные эффекты. Пучковый отжиг имплантированного кремния. Импульсный пучковый отжиг. Профили примеси. Отжиг непрерывным источником. | 1 |
| 18 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Легирование полупроводников" | 1 |
| 19 | Изучение теоретического материала. | Планарная и планарно-эпитаксиальная технология. Технология приборов микроэлектроники. Полупроводниковые ИМС. Гибридные ИМС. СВЧ ИМС. | 1 |
| 20 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Технология приборов микроэлектроники" | 1 |

| | | | |
|-------|--|--|----|
| 21 | Изучение теоретического материала | Изопланарная технология. Технология с поликремниевым эмиттером. Самосовмещенная технология. Технология И2Л и ИЗЛ. Особенности технологии биполярных ИС. | 1 |
| 22 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Технология производства биполярных микросхем" | 1 |
| 23 | Отчет о выполнении лабораторной работы 5 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |
| 24 | Изучение теоретического материала | Технология с поликремниевым затвором. Особенности технологии МОП ИС. | 1 |
| 25 | Домашнее задание | Решение задач по теме "Технология производства МОП интегральных микросхем" | 1 |
| 26 | Отчет о выполнении лабораторной работы 6 | Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы | 1 |
| 27 | Изучение теоретического материала | Пути совершенствования ИС: увеличение степени интеграции, улучшение быстродействия, повышение выхода годных. Разработка новых технологических процессов. Ограничения в развитии субмикронных ИС. ИС на новых полупроводниковых материалах. | 1 |
| Всего | | | 28 |

4. Образовательные технологии

При реализации дисциплины «Основы технологии изготовления изделий "система в корпусе" и микросборок» по образовательным программам направления подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» применяются электронное обучение .

В процессе обучения используются:

- электронные образовательные ресурсы (ЭОР), размещенные в личных кабинетах студентов Электронного университета КГЭУ, URL: <http://e.kgeu.ru/>

5. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Обобщенные критерии и шкала оценивания уровня сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) по итогам освоения дисциплины:

| Планируемые результаты обучения | Обобщенные критерии и шкала оценивания результатов обучения | | | |
|-----------------------------------|--|--|---|---|
| | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | отлично |
| | не зачтено | зачтено | | |
| Полнота знаний | Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок |
| Наличие умений | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки | Продemonстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме |
| Наличие навыков (владение опытом) | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| | ошибки | недочетами | | |
| Характеристика сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) | Компетенция в полной мере сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач | Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач | Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач | Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач |
| Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) | Низкий | Ниже среднего | Средний | Высокий |

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Код индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине | Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) | | | |
|-----------------|---------------------------------------|---|--|--|--|---|
| | | | Высокий | Средний | Ниже среднего | Низкий |
| | | | Шкала оценивания | | | |
| | | | отлично | хорошо | удовлетворительно | неудовлетворительно |
| | | | зачтено | | | не зачтено |
| ПК-1 | ПК-1.1 | Знать | | | | |
| | | основные технологические методы изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов | Знает основные технологические методы изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов без ошибок | Имеет общие знания о физических закономерностях и технологических методах изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники, имеет место несколько негрубых ошибок | Имеет общие знания о физических закономерностях и технологических методах изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники, имеет место много негрубых ошибок | Не знает основные технологические методы изготовления материалов и элементов электроники и наноэлектроники и физические закономерности, лежащие в основе этих методов |

| | | | | | | |
|---------|--|--|---|--|---|---|
| | | технические условия на типовые изделия микроэлектроники | Знает технические условия на типовые изделия микроэлектроники без ошибок | Имеет общие знания о технических условиях на типовые изделия микроэлектроники | Имеет общее представление о технических условиях на типовые изделия микроэлектроники | Не знает технические условия на типовые изделия микроэлектроники |
| Уметь | | | | | | |
| | | анализировать воздействие различных параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники | Свободно анализирует воздействие различных параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники | Умеет анализировать воздействие некоторых параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники | Слабо ориентируется в воздействиях различных параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники | Не умеет анализировать воздействие различных параметров технологических операций при изготовлении активных и пассивных элементов микро- и наноэлектроники |
| | | анализировать основные параметры реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники | Свободно анализирует основные параметры реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники | Умеет анализировать некоторые параметры реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники | Слабо ориентируется в основных параметрах реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники | Не умеет анализировать основные параметры реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники |
| Владеть | | | | | | |
| | | информацией о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники | В полном объеме владеет информацией о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники | Достаточно полно владеет информацией о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники | Плохо описывает перспективы и тенденции развития технологии изделий электроники и наноэлектроники | Не владеет информацией о перспективах и тенденциях развития технологии изделий электроники и наноэлектроники |

Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины. Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

| № п/п | Автор(ы) | Наименование | Вид издания (учебник, учебное пособие, др.) | Место издания, издательство | Год издания | Адрес электронного ресурса | Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ |
|-------|---|---|---|-----------------------------|-------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Юрков Н. К. | Технология производства электронных средств | Учебник | СПб.: Лань | 2014 | https://e.lanbook.com/book/41019 | |
| 2 | Смирнов Ю. А., Соколов С. В., Титов Е. В. | Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники | учебное пособие | СПб.: Лань | 2013 | https://e.lanbook.com/book/12948 | |
| 3 | Александров С. Е., Греков Ф. Ф. | Технология полупроводниковых материалов | учебное пособие | СПб.: Лань | 2012 | https://e.lanbook.com/book/3554 | |

Дополнительная литература

| № п/п | Автор(ы) | Наименование | Вид издания (учебник, учебное пособие, др.) | Место издания, издательство | Год издания | Адрес электронного ресурса | Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ |
|-------|----------|--------------|---|-----------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------------------|
|-------|----------|--------------|---|-----------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------------------|

| | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|------------------------------|---------------|------|---|-----|
| 1 | Коледов Л.А. | Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок | учебное пособие | СПб.: Лань | 2009 | https://e.lanbook.com/book/192 | |
| 2 | Росадо Л. | Физическая электроника и микроэлектроника | учебное пособие | М.: Высш. шк. | 1991 | | 84 |
| 3 | Бух М. А., Зайцева Л. П. | Микроэлектроника : настоящее и будущее | учебное пособие по англ. яз. | М.: Высш. шк. | 2005 | | 48 |
| 4 | Садыков М.Ф. | Микроэлектроника | учебное пособие | Казань: КГЭУ | 2007 | | 164 |

6.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

| № п/п | Наименование электронных и интернет-ресурсов | Ссылка |
|-------|--|---|
| 1 | Учебник по курсу "Технология СБИС" | http://sbis.karelia.ru/sbis/mainfile.htm |

6.2.2. Профессиональные базы данных

| № п/п | Наименование профессиональных баз данных | Адрес | Режим доступа |
|-------|--|--|--|
| 1 | Российская национальная библиотека | http://nlr.ru/ | http://nlr.ru/ |
| 2 | Web of Science | https://webofknowledge.com/ | https://webofknowledge.com/ |
| 3 | Платформа SpringerLink | www.link.springer.com | www.link.springer.com |
| 4 | SpringerMaterials | www.materials.springer.com | www.materials.springer.com |
| 5 | «Freedom Collection» издательства Elsevier | http://www.sciencedirect.com | http://www.sciencedirect.com |
| 6 | Scopus | https://www.scopus.com | https://www.scopus.com |
| 7 | КиберЛенинка | В https://cyberleninka.ru/ | В https://cyberleninka.ru/ |
| 8 | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU | http://elibrary.ru | http://elibrary.ru |
| 9 | Электронная библиотека диссертаций (РГБ) | diss.rsl.ru | diss.rsl.ru |

| | | | |
|----|--|--|--|
| 10 | Сайт системы DVS для работы с Электронной библиотекой диссертаций РГБ (Э1 РГБ) | https://dvs.rsl.ru | https://dvs.rsl.ru |
| 11 | Национальная электронная библиотека (НЭБ) | https://rusneb.ru/ | https://rusneb.ru/ |
| 12 | Техническая библиотека | http://techlibrary.ru | http://techlibrary.ru |
| 13 | eLIBRARY.RU | www.elibrary.ru | www.elibrary.ru |
| 14 | IEEE Xplore | www.ieeeexplore.ieee.org | www.ieeeexplore.ieee.org |
| 15 | IOP Journals-Institute of Physics | www.iop.org | www.iop.org |

6.2.3. Информационно-справочные системы

| № п/п | | Адрес | Режим доступа |
|-------|--------------------|---|---|
| 1 | «Консультант плюс» | http://www.consultant.ru/ | http://www.consultant.ru/ |

6.2.4. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

| № п/п | Наименование программного обеспечения | Описание | Реквизиты подтверждающих документов |
|-------|---------------------------------------|---|---|
| 1 | Браузер Chrome | Система поиска информации в сети интернет (включая русскоязычный интернет). | https://www.google.com/intl/ru/chrome/ |
| 2 | Браузер Firefox | Свободный веб-браузер | https://www.mozilla.org/ru/firefox/new/ |
| 3 | Adobe Acrobat | Пакет программ | https://get.adobe.com/ru/reader/ |
| 4 | LMS Moodle | Это современное программное обеспечение | https://download.moodle.org/releases/latest/ |
| 5 | Altium Designer | Пакет САПР для проектирования печатных плат | №3006/2016 от 30.06.2016 г. |

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| № п/п | Вид учебной работы | Наименование специальных помещений и помещений для СРС | Оснащенность специальных помещений и помещений для СРС |
|-------|------------------------|--|--|
| 1 | Самостоятельная работа | Читальный зал | проектор, переносной экран, тонкие клиенты (13 шт.), компьютеры (5 шт.) |
| | | Компьютерный класс с выходом в Интернет | моноблок (30 шт.), система видеонаблюдения (6 видеокамер), проектор, экран |

| | | | |
|---|--|---|--|
| 2 | Лабораторные занятия | Учебная лаборатория «Лаборатория автоматизированного анализа электронных схем. Дисплейный класс» Компьютерный класс с выходом в Интернет | компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес, интерактивная доска, проектор |
| 3 | Лекционные занятия | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа | доска аудиторная (2 шт.), акустическая система, усилитель-микшер для систем громкой связи, миникомпьютер, монитор, проектор, экран настенно-потолочный, микрофон |
| 4 | Консультации | Учебная аудитория для проведения индивидуальных консультаций | осциллограф, вольтметр универсальный, генератор сигналов низкочастотный, лабораторный стенд для измерения сигналов с датчиков SCXI (2 шт.), цифровой цветной осциллограф OWON (2шт.), лабораторные стенды: "ЭС-23 Исследование схем решающих усилителей", "Магнитный усилитель", ЭС-4 Биполярный транзистор", "Исследование характеристик магнитных сердечников", "Двух магнитный преобразователь" |
| 5 | Контроль и промежуточная аттестация | Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. | 30 посадочных мест, доска деревянная распашная, телевизор плазменный настен., камера IP |
| 6 | Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа | Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля | компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес, интерактивная доска, проектор |

8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);

- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);

- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;

- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;

- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;

- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;

- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;

- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;

- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;

- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

9. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);
- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);
- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- формирование эстетической картины мира;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Профессионально-трудовое воспитание:

- формирование добросовестного, ответственного и творческого отношения к разным видам трудовой деятельности;

- формирование навыков высокой работоспособности и самоорганизации, умение действовать самостоятельно, мобилизовать необходимые ресурсы, правильно оценивая смысл и последствия своих действий;

Экологическое воспитание:

- формирование экологической культуры, бережного отношения к родной земле, экологической картины мира, развитие стремления беречь и охранять природу;

3.1. Структура дисциплины для заочного обучения

| Вид учебной работы | Всего часов | Курс |
|---|-------------|------|
| | | 5 |
| ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ | 108 | 108 |
| КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, в том числе: | 19 | 19 |
| Лекционные занятия (Лек) | 6 | 6 |
| Лабораторные занятия (Лаб) | 8 | 8 |
| Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)* | 4 | 4 |
| Контактные часы во время аттестации (КПА) | 1 | 1 |
| САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС): | 81 | 81 |
| Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (экзамен) | 8 | 8 |
| ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ | Эк | Эк |

Лист регистрации изменений

Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины с 2021/2022 учебного года

В программу вносятся следующие изменения:

1. РПД дополнена разделом 9 «Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися» (стр. 23 - 24).

Программа одобрена на заседании кафедры–разработчика «15» июня 2021 г., протокол № 15 Зав. кафедрой А.В. Голенищев-Кутузов

Программа одобрена методическим советом института ИЭЭ «22» июня 2021 г., протокол № 11.

Зам. директора по УМР _____ / _____ /

Подпись, дата

Согласовано:

Руководитель ОПОП _____ / _____ /

Подпись, дата

*Приложение к рабочей программе
дисциплины*



КГЭУ

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

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Основы технологии изготовления изделий «система в корпусе» и микросборок

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) Промышленная электроника

Квалификация

бакалавр

г. Казань,

Оценочные материалы по дисциплине «Основы технологии изготовления изделий «система в корпусе» и микросборок» - комплект контрольно-измерительных материалов, предназначенных для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенции(й):

ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание процесса обучения по дисциплине. При текущем контроле успеваемости используются следующие оценочные средства: тест, собеседование, отчет по лабораторной работе, контрольная работа, экзамен, практическое задание.

Промежуточная аттестация имеет целью определить уровень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине за 8 семестр. Форма промежуточной аттестации экзамен.

Оценочные материалы включают задания для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, разработанные в соответствии с рабочей программой дисциплины.

1. Технологическая карта

Семестр 8

| Номер раздела/ темы дисциплины | Вид СРС | Наименование оценочного средства | Код индикатора достижения компетенций | Уровень освоения дисциплины, баллы | | | | |
|-----------------------------------|--|----------------------------------|--|------------------------------------|---------------|---------|---------|--|
| | | | | неудов-но | удов-но | хорошо | отлично | |
| | | | | не зачтено | зачтено | | | |
| | | | | низкий | ниже среднего | средний | высокий | |
| Текущий контроль успеваемости | | | | | | | | |
| 8 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -32, ПК-1.1 -В1 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 | |
| 9 | Изучение теоретического материала. | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32, | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 | |
| 9 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 | |
| 7 | Отчет о выполнении лабораторной работы 4 | ОЛР | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 | |
| 8 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 | |

| | | | | | | | |
|----|--|-----|------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
| 8 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 10 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 11 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 11 | Отчет о выполнении лабораторной работы 6 | ОЛР | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 |
| 12 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32, ПК-1.1 -В1 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 10 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 10 | Отчет о выполнении лабораторной работы 5 | ОЛР | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 |
| 11 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32, | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 7 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 2 | Отчет о выполнении лабораторной работы 1 | ОЛР | ПК-1.1 -У2, ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 |
| 3 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32, ПК-1.1 -В1 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 4 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 1 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 1 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2, ПК-1.1 -В1 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 2 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 4 | Отчет о выполнении лабораторной работы 2 | ОЛР | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 |
| 6 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 6 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |

| | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-----|--|----------|-------|-------|--------|
| | | | ПК-1.1 -У2 | | | | |
| 7 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 5 | Изучение теоретического материала | Сбс | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 0 - 1 | 1 - 1 |
| 5 | Домашнее задание | ПЗ | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32 | менее 0 | 0 - 0 | 1 - 1 | 2 - 2 |
| 5 | Отчет о выполнении лабораторной работы 3 | ОЛР | ПК-1.1 -В1, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2 | менее 1 | 2 - 3 | 4 - 4 | 5 - 5 |
| Промежуточный контроль успеваемости | | | | | | | |
| 13 | Экзамен | Экз | ПК-1.1 -31, ПК-1.1 -32, ПК-1.1 -У1, ПК-1.1 -У2, ПК-1.1 -В1 | менее 25 | 25-29 | 30-34 | 35-40 |
| Всего баллов | | | | 0 - 54 | 55-69 | 70-84 | 85-100 |

2. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

| Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Оценочные материалы |
|------------------------------------|---|---|
| Тест (Тест) | Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося | Комплект тестов |
| Собеседование (Сбс) | Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины, представленные в привязке к компетенциям, предусмотренным РПД |
| Отчет по лабораторной работе (ОЛР) | Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету | Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету |
| Контрольная работа (КнТР) | Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу | Комплект контрольных заданий по вариантам |
| Экзамен (Экз) | Комплект вопросов и задач для сдачи промежуточной аттестации в форме экзамена | Вопросы для подготовки к экзамену. Задачи для решения |
| Практическое задание (ПЗ) | Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий | Комплект задач и заданий |

3. Оценочные материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

| | |
|---|---|
| Наименование оценочного средства | Тест |
| Представление и содержание оценочных материалов | <p>На каждой лекции студентам выдается комплект тестовых заданий, состоящий из 10 вопросов. Комплект вопросов формируется из банка вопросов в случайном порядке и содержит 10 вопросов.</p> <p><i>Примеры вопросов для теста:</i></p> <p>1. К основным полупроводниковым материалам относится Выберите один ответ: Германий и кремний Свинец Сплавы железа и меди</p> <p>2. Контактные площадки и выводы полупроводниковых микросхем соединяют: Выберите один ответ: Склеивкой Пайкой Термокомпрессионной сваркой</p> <p>3. Диэлектрик в полупроводниковой технологии получают: Выберите один ответ: Окислением Восстановлением Травлением</p> <p>4. Технологический процесс, использующий Si при изготовлении полупроводниковых микросхем: Выберите один ответ: В. Травления Б. Спиливания А. Скалывания</p> |
| Критерии оценки и шкала оценивания в баллах | При выставлении баллов за тест учитываются следующие критерии: Каждый верный ответ на задание дает возможность обучающемуся получить 0,4 балла. Максимальное количество баллов за тест – 4 балла. |
| Наименование оценочного средства | Собеседование |
| Представление и содержание оценочных материалов | Перечень вопросов для устного опроса. <ol style="list-style-type: none"> 1. Современные физические представления о свойствах материалов и их физико-химических превращениях в развитии технологических методов изготовления электронных приборов. 2. Этапы развития технологии изготовления электронных приборов. 3. Классификация твердотельных электронных приборов. 4. Общие требования к материалам электроники. 5. Общие требования к материалам электроники. Металлы и сплавы. 6. Общие требования к материалам электроники. Стекла. 7. Общие требования к материалам электроники. Керамика. 8. Общие требования к материалам электроники. Полупроводники. 9. Общие требования к материалам электроники. Ферриты. |

10. Химические методы получения аморфных и поликристаллических пленок.
11. Термическое окисление кремния.
12. Получение пленки SiO₂.
13. Электрические заряды в окисле.
14. Нитрид кремния. Окись алюминия. Силициды.
15. Пиролитические методы.
16. Вакуумная технология тонких пленок.
17. Процессы в технологии пленок.
18. Формирование потока рабочего вещества.
19. Перенос рабочего вещества к подложке.
20. Формирование пленки на подложке.
21. Методы изготовления тонких пленок в вакууме.
22. Испарение и конденсация в высоком вакууме.
23. Формирование пленок методами физического распыления.
24. Особенности получения пленок сплавов.
25. Фотолитография и ее роль в производстве интегральных микросхем.
26. Фотошаблоны.
27. Типы фоторезистов и их характеристики.
28. Фотохимические процессы в фоторезистах.
29. Виды процессов фотолитографии.
30. Погрешности экспонирования.
31. Многослойные резисты.
32. Рентгенолитография.
33. Применение электронных и ионных пучков для литографии.
34. Жидкостное химическое травление.
35. Плазменное травление.
36. Травление органических материалов в кислородной плазме.
37. Ионно-лучевое травление.
38. Реактивное травление.
39. Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии.
40. Особенности диффузии примесей в кремнии.
41. Диффузия в условиях примесной проводимости.
42. Неравновесные эффекты при диффузии.
43. Перераспределение примеси в системе Si -SiO₂.
44. Диффузия в электрическом поле.
45. Ионно- стимулированная диффузия.
46. Особенности диффузии примесей в арсениде галлия.
47. Разновидности процесса диффузии.
48. Методы контроля диффузионных слоев.
49. Ионная имплантация. Пробеги. Двухслойные мишени.
50. Имплантация и распыление. Диффузионные эффекты.
51. Пучковый отжиг имплантированного кремния.
52. Импульсный пучковый отжиг. Профили примеси.
53. Отжиг непрерывным источником.
54. Планарная и планарно-эпитаксиальная технология.
55. Полупроводниковые ИМС.
56. Гибридные ИМС.
57. СВЧ ИМС.
58. Изопланарная технология.
59. Технология с поликремниевым эмиттером.
60. Самосовмещенная технология.
61. Технология И2Л и ИЗЛ.
62. Особенности технологии биполярных ИС.
63. Технология с поликремниевым затвором.
64. Особенности технологии МОП ИС.
65. Пути совершенствования ИС: увеличение степени интеграции, улучшение

| | |
|---|---|
| | <p>быстродействия, повышение выхода годных.</p> <p>66. Разработка новых технологических процессов.</p> <p>67. Ограничения в развитии субмикронных ИС.</p> <p>68. ИС на новых полупроводниковых материалах.</p> |
| Критерии оценки и шкала оценивания в баллах | <p>При оценке ответов во время устного опроса учитываются следующие критерии:</p> <p>1. Знание материала - содержание материала раскрыто в полном объеме, показано общее понимание вопроса, достаточное для дальнейшего изучения программного материала – 1 балл; - не раскрыто основное содержание учебного материала – 0 баллов;</p> <p>2. Применение конкретных примеров - показано умение иллюстрировать материал конкретными примерами – 1 балл; - неумение приводить примеры при объяснении материала – 0 баллов;</p> <p>3. Уровень теоретического анализа - показано умение делать обобщение, выводы, сравнение – 1 балл; - полное неумение делать обобщение, выводы, сравнения – 0 баллов</p> <p>Максимальное количество баллов – 1</p> |
| Наименование оценочного средства | Отчет по лабораторной работе |
| Представление и содержание оценочных материалов | <p>Лабораторная работа выполняется согласно Методическим указаниям о выполнении лабораторной работы, выданной преподавателем на занятии.</p> <p>Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.). Титульный лист отчёта должен содержать фразу: “Отчёт по лабораторной работе «Название работы», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)”. Внизу листа следует указать текущий год.</p> <p>Отчёт, как правило, должен содержать следующие основные разделы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цель работы; 2. Теоретическая часть; 3. Оборудование (приборы, используемые в лабораторной работе); 4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, снимки экранов приборов); 5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования). |
| Критерии оценки и шкала оценивания в баллах | <p>При выставлении баллов за отчет о выполнении лабораторной работы учитываются следующие критерии:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Правильность выполнения задания(ий) лабораторной работы 2. Владение методами и технологиями, запланированными в лабораторной работе 3. Владение специальными терминами и использование их при ответе. 4. Умение объяснять, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы 5. Степень самостоятельности при выполнении заданий лабораторной работы <p>Теоретическая часть должна содержать минимум необходимых теоретических сведений о физической сущности исследуемого явления и его описание. Не следует копировать целиком или частично методическое пособие (описание) лабораторной работы или разделы учебника.</p> <p>В разделе «Оборудование» необходимо описать, с помощью каких приборов и каким образом проводилось исследование.</p> <p>Рисунки, блок-схемы установок, описание технологии и её особенностей, необходимость предварительных измерений (градуировка, настройка и т.п.) – все это должно быть представлено в указанном разделе.</p> <p>Раздел «Результаты» включает в себя таблицы экспериментальных данных, графики, полученные при выполнении лабораторной работы, снимки экранов приборов. Для</p> |

построения графиков можно использовать миллиметровую бумагу. На графиках обязательно должны быть указаны масштабы по осям, начало отсчета, размерности и обозначения физических величин, откладываемых по осям. Экспериментальные точки на графиках должны быть заметны, четко выделены. Рисунки, графики и таблицы нумеруются и подписываются заголовками.

Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Здесь важно отметить, какие новые знания о предмете исследования были получены при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы. Возможно, получены дополнительные формулы, данные, предложены оригинальные методики, – это должно быть отражено в выводах.

Выводы по работе каждый студент делает самостоятельно.

При сдаче отчёта преподаватель может сделать устные и письменные замечания, задать дополнительные вопросы. Все ответы на дополнительные вопросы, новые расчёты, обсуждения выполняются студентом на отдельных листах, включаемых в отчёт (при этом в тексте основного отчёта делается сноска или другой значок, которому будет соответствовать новый материал). При этом письменные замечания преподавателя должны остаться в тексте для ясности динамики работы над отчётом.

Объём отчёта должен быть оптимальным для понимания того, что и как сделал студент, выполняя работу. Обязательные требования к отчёту включают общую и специальную грамотность изложения, а также аккуратность оформления.

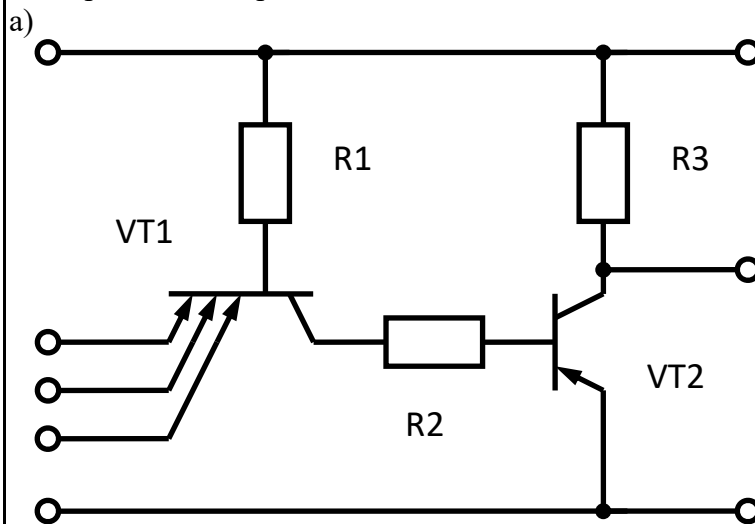
Максимальное количество баллов за отчет – 5

Наименование оценочного средства Контрольная работа

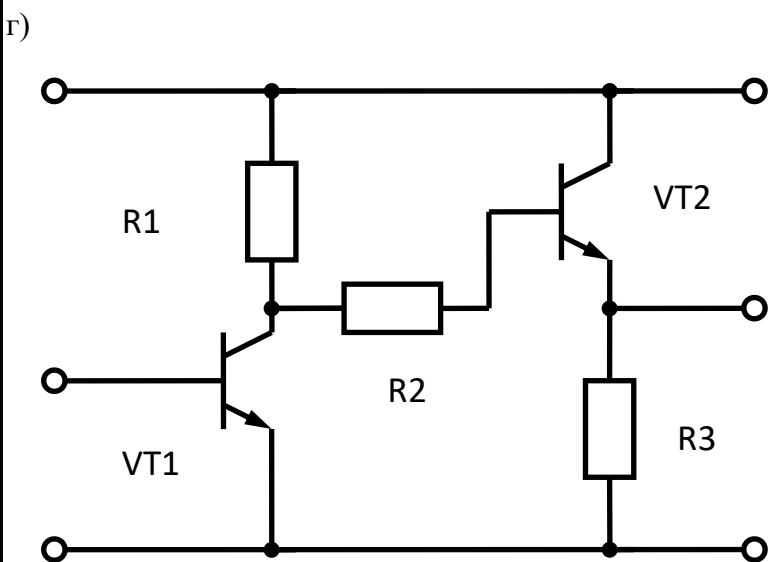
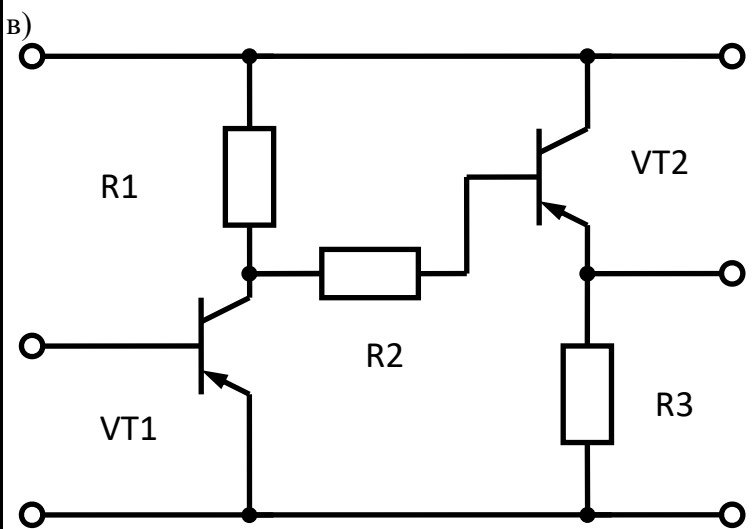
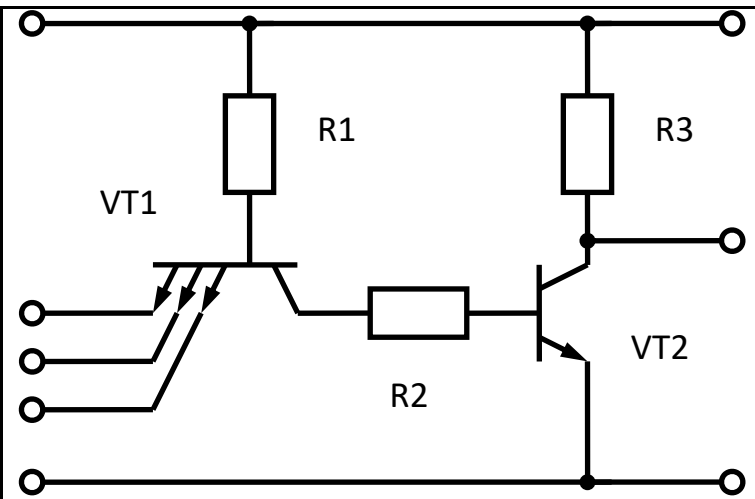
Представление и содержание оценочных материалов Контрольная работа выполняется каждым студентом индивидуально в соответствии с вариантом контрольной работы. Каждому студенту выдается индивидуальное задание.

Перечень примерных заданий контрольной работы 0

Разработать технологический маршрут изготовления полупроводниковой интегральной микросхемы в соответствии с заданием:



б)



Критерии оценки и шкала оценивания в баллах

При оценке выполненной контрольной работы учитываются следующие критерии:
 - правильность разработки маршрута в соответствии с заданием;
 - соблюдение параметров изготовления площадок и элементов;
 - последовательность выполнения технологических операций.
Максимальное количество баллов - 10

Наименование оценочного средства

Практическое задание

Представление и содержание

После рассмотрения на лекционном занятии основных тем и теоретического материала для самоизучения, необходимых для выполнения письменного задания,

| | |
|----------------------|---|
| оценочных материалов | <p>студенту предлагается выполнить домашнее задание, представленное в виде задачи по тематике лекционного занятия с подробным развернутым решением</p> <p><i>Примеры задач для выполнения домашнего задания</i></p> <p>1. а) Покажите, что в слаболегированном полупроводнике p-типа удельное сопротивление максимально, если $\mu_n / \mu_p > 1$. б) Вычислите концентрацию акцепторных атомов акцепторной примеси N_a, которая потребуется для достижения максимального удельного сопротивления. Примите для кремния $\mu_n / \mu_p = 2,18$; $n_i = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>2. В образце кремния электрон массой m имеет тепловую энергию порядка kT, которая связана со средней скоростью теплового движения соотношением $E = 3kT/2$. Если известно, что $\mu_n = 1350 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ покажите, что при комнатной температуре скорость дрейфа электронов мала по сравнению со скоростью теплового движения, если напряженность внешнего поля 10 В/см. Убедитесь, что при напряженности поля 1000 В/см выполняется обратное неравенство.</p> <p>3. Пластина из германия n-типа имеет удельное сопротивление $\rho = 0,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и ширину $d = 10^{-2} \text{ см}$. К пластине приложена разность потенциалов $U = 1 \text{ В}$. Вычислите: а) плотность тока; б) время, которое потребуется для того, чтобы носитель заряда пересек пластину; в) отношение плотностей токов дырок и электронов. Покажите, что $\mu_n = 3900 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $\mu_p = 1900 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $n_i = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.</p> <p>4. Имеется образец германия с поперечным сечением $0,1 \times 0,2 \text{ см}$ и концентрацией легирующих примесей 10^{17} см^{-3}. Вдоль образца протекает ток $0,6 \text{ А}$. Перпендикулярно направлению тока действует магнитное поле с индукцией $0,5 \text{ Тл}$. Вычислите напряжение Холла между контактами по узким сторонам боковой поверхности образца.</p> <p>5. Имеется два диода, один из которых выполнен из кремния, а другой – из германия. Вычислите: а) высоту потенциального барьера U_0 в обоих диодах, считая, что концентрация легирующих примесей $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ в них одинакова; б) максимальную напряженность электрического поля и толщину области перехода в каждом диоде; в) высоту потенциального барьера и параметры x_n и x_p для каждого диода полагая, что обратное смещение $U = -10 \text{ В}$. Изобразите графики распределения пространственного заряда и напряженности электрического поля.</p> <p>6. Имеется p-n – переход, легированный примесями с концентрацией $N_a = 5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{23} \text{ м}^{-3}$ используя уравнение Пуассона, вычислите: а) толщину области перехода, если максимальная напряженность электрического поля в ней составляет 10^7 В/м; б) внутреннее напряжение, существующее в области перехода.</p> <p>7. Имеется образец кремния с параметрами $n_i = 10^{16} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$. В некоторую точку полупроводника инжектируются избыточные носители с концентрацией 10^{18} м^{-3}. Вычислите отношение p/n в данной точке, а также процентное изменение параметров p и n вследствие инжекции. Какой уровень инжекции (низкий или высокий) здесь создается? Поясните ответ.</p> <p>8. Кремниевый p-n – переход, находящийся при комнатной температуре, имеет концентрацию примесей $N_a = 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Вычислите: а) высоту потенциального барьера U_0; б) максимальное значение внешнего напряжения, при котором еще сохраняется низкий уровень инжекции. Известно, что $n_i = 1,48 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$.</p> <p>9. а) Объясните, возможна ли ситуация, когда в p-n переходе высота потенциального барьера U_0 превышает ширину запрещенной зоны E_g; б) на диаграмме энергетических зон изобразите квазиуровни Ферми E_{Fn} и E_{Fp} для случая равномерно освещенного диода, к которому не приложено внешнее напряжение; в) объясните, можно ли ожидать, что в диоде с p-n – переходом на арсениде галлия с однородно легированными n и p – областями и находящемся под напряжением $U > 0$</p> |
|----------------------|---|

доминирует инжекция электронов. Считайте, что $\tau_n = \tau_p$ и $\mu_n \gg \mu_p$.

10. а) Найдите выражения для заряда Q_B , связанного с обедненной областью, поверхностного потенциала и напряженности электрического поля на поверхности как функции концентрации акцепторной примеси в режиме сильной инверсии.
 б) Изобразите графически зависимости, полученные в пункте а), при изменении концентрации акцепторных атомов от 10^{14} до 10^{17} см^{-3} . Положите, что $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .

11. Имеется некоторая МОП-структура типа Al – SiO₂ – Si с подложкой *p*-типа. Вычислите плотность заряда Q_B , если известно, что напряжение Ферми составляет 0,25 В, а концентрация $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .

12. Вычислите напряжение плоских зон для системы Al – SiO₂ – Si, зависящей лишь от разности работ выхода. Подложка *p*-типа, находящаяся при температуре 100 К, имеет концентрацию дырок $5 \cdot 10$ см^{-3} . Плотностью заряда Q_{ss} на поверхности можно пренебречь. Исходные данные: $q\Phi_{мп} = 3,2$ эВ; $q\Phi_{по} = 3,25$ эВ; $E_{gp} = 1,1$ эВ; $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .

13. Некоторая МОП-структура создана на кремниевой подложке *p*-типа с ориентацией (111). Концентрация акцепторной примеси $N_a = 10^{15}$ см^{-3} , толщина оксидного слоя $x_{ок} = 120$ нм, затвор выполнен из алюминия. Вычислите пороговое напряжение, если известно, что при данной ориентации поверхностная плотность заряда составляет $3 \cdot 10^{11} \cdot q = 48 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Исходные параметры: $\Phi_{мо} = 3,2$ В; $\Phi_{по} = U_F + 3,8$ В.

14. Структура МОП имеет кремниевую подложку *p*-типа, легированную акцепторной примесью с концентрацией $N_a = 10^{15}$ см^{-3} ; ориентация кристалла (111). Толщина оксидного слоя 1,2 мкм. затвор выполнен из алюминия. Плотность поверхностного заряда на границе раздела оксида-полупроводник. $Q_{ss} = 5 \cdot 10^{11}$ $q = 8 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Найдите пороговое напряжение, если известно, что $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} ; $q\Phi_{мо} = 3,2$ эВ; $q\Phi_{по} = 3,25$ эВ.

15. В МОП-структуре, изготовленной из кремния *n*-типа с концентрацией примеси $N_d = 5 \cdot 10^{15}$ см^{-3} имеющей толщину оксидного слоя 100 нм и алюминиевый затвор, пороговое напряжение $-2,5$ В. Вычислите значение величины Q_{ss}/q , представляющей концентрацию носителей на поверхности.

16. Структура МОП имеет подложку из кремния *p*-типа с концентрацией примеси $N_a = 5 \cdot 10^{14}$ см^{-3} и оксидный слой толщиной 112 нм. Максимальная удельная емкость в режиме малого сигнала на высоких частотах составляет 30 нФ/см² при $U_3 = 3$ В (напряжение, совпадающее с $U_{пз}$) и потенциале $U_s = 0,52$ В, постоянном в режиме инверсии. Вычислите:
 а) пороговое напряжение и соответствующую емкость C_{min} и если максимально достижимая толщина обедненной области $W_m = 1,17$ мкм;
 б) плотность заряда Q_{ss} с учетом зарядов только в оксидном слое;
 в) плотность заряда в обедненной области, инверсном слое, оксидном слое и металле при $C_3 = 0$.

Известно, что $q\Phi_{мп} = -0,3$ эВ.

17. Конденсаторы типа МОП имеют подложки с концентрациями примеси $N_a = 10^{14}$, 10^{15} и 10^{16} см^{-3} . Вычислите для каждого из трех указанных значений концентрации:
 а) максимальную толщину области пространственного заряда;
 б) пороговые напряжения, полагая, что $\Phi_{мп} = -0,1$ В; $C_0 = 3,45 \cdot 10^{-8}$ Ф/см²; $x_0 = 100$ нм; $Q_{ss} = 1,6 \cdot 10^{-8}$ Кл/см².

18. Вычислите напряжения плоских зон для следующих распределений плотности положительного заряда:
 а) равномерное распределение в направлении поперек оксидного слоя с плотностью $1,5 \cdot 10^{15}$ $q = 2,4 \cdot 10^{-4}$ Кл/см²;
 б) ступенчатое распределение с нулевой плотностью в пределах половины расстояния от затвора до подложки и с постоянной плотностью $3 \cdot 10^{15}$ $q = 4,8 \cdot 10^{-4}$ Кл/см в остальной области вплоть до границы раздела между оксидным слоем и полупроводником;
 в) линейное распределение, начинающееся с нулевой плотности на затворе и

| | |
|---|---|
| | <p>достигающее $3 \cdot 10^{15} q = 4,8 \cdot 10^{-4}$ Кл/см² на границе раздела. Толщина оксидного слоя 80 нм. относительная диэлектрическая проницаемость подложки равна 3,9.</p> <p>19. Подсчитайте максимальную поверхностную плотность подвижного заряда дырок Q_p которая может наблюдаться в МОП-конденсаторе с алюминиевым затвором при инжекции на границе раздела Si – SiO₂. Подложка из кремния <i>n</i>-типа легирована с концентрацией примеси $N_d = 10^{15}$ см⁻³, толщина оксидного слоя 100 нм. К затвору приложен импульс напряжения с амплитудой – 10 В, напряжение на границе раздела становится по меньшей мере равным – 2 В. Известно, что $Q_{ss} = 5 \cdot 10^{10} q$ Кл/см²; $\Phi_{мп} = -0,3$ В.</p> <p>20. Полевой МОП-транзистор с каналом <i>p</i>-типа создан на кремниевой подложке <i>n</i>-типа с концентрацией примеси $N_d = 10^{16}$ см⁻³. Затвор выполнен из алюминия, подзатворным диэлектриком служит слой оксида кремния толщиной $x_{ок} = 100$ нм. Известно, что плотность заряда на границе раздела $Q_{ss} = 2 \cdot 10^{11} q = 3,2 \cdot 10^{-8}$ Кл/см²; $\Phi_{мп} = -0,25$ В.</p> <p>Вычислите значения параметров W_m, $U_{пз}$ и $U_{пор}$.</p> |
| Критерии оценки и шкала оценивания в баллах | <p>При выставлении баллов за ответы на домашние задания учитывается правильность выполнения практического задания и решения задач.</p> <p>Максимальное количество баллов за каждое домашнее задание – 2</p> |

4. Оценочные материалы промежуточной аттестации

| Наименование оценочного средства | Экзамен |
|---|---|
| Представление и содержание оценочных материалов | <p>Экзамен проводится в письменной форме, экзаменуемый получает билет, в котором содержится два теоретических вопроса и задача.</p> <p><i>Вопросы для подготовки к экзамену.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Этапы развития технологии и методов изготовления электронных приборов. 2. Классификация твердотельных электронных приборов. 3. Технологические этапы изготовления электронных приборов, полупроводниковых дискретных приборов и интегральных микросхем. 4. Общие требования к материалам электроники. Металлы и сплавы. 5. Общие требования к материалам электроники. Стекла. Керамика. 6. Общие требования к материалам электроники. Полупроводники. 7. Общие требования к материалам электроники. Ферриты. 8. Общая характеристика различных технологических методов, используемых в производстве электронных приборов. 9. Технология выращивания монокристаллов. 10. Общая характеристика различных технологических методов, используемых в выращивании полупроводниковых монокристаллов. 11. Эпитаксиальные структуры. Классификация эпитаксиальных процессов. 12. Эпитаксия в электрическом поле. 13. Легирование пленок в процессе роста. 14. Эпитаксия полупроводниковых соединений. 15. Дефекты эпитаксиальных пленок, способы контроля. 16. Химические методы получения аморфных и поликристаллических пленок. 17. Термическое окисление кремния. Получение пленки SiO₂. 18. Электрические заряды в окисле. Нитрид кремния. 19. Окись алюминия. Силициды. Пиролитические методы. 20. Вакуумная технология тонких пленок. 21. Процессы в технологии пленок. Формирование потока рабочего вещества. 22. Перенос рабочего вещества к подложке. Формирование пленки на подложке. |

23. Методы изготовления тонких пленок в вакууме. Испарение и конденсация в высоком вакууме.
24. Формирование пленок методами физического распыления.
25. Особенности получения пленок сплавов.
26. Процесс литографии. Основные виды литографии.
27. Резисты. Сравнительные характеристики методов литографии.
28. Технология травления. Анизотропия и селективность травления.
29. Сравнительные характеристики методов травления.
30. Травление кремния. двуокиси кремния, нитрида кремния, силицидов.
31. Производственный процесс. Технологический процесс.
32. Технологическая операция. Технология индивидуальной и групповой обработки.
33. Фотолитография и ее роль в производстве интегральных микросхем.
34. Фотошаблоны. Типы фоторезистов и их характеристики.
35. Фотохимические процессы в фоторезистах.
36. Виды процессов фотолитографии.
37. Погрешности экспонирования. Многослойные резисты.
38. Рентгенолитография. Применение электронных и ионных пучков для литографии.
39. Жидкостное химическое травление.
40. Плазменное травление.
41. Травление органических материалов в кислородной плазме.
42. Ионно-лучевое травление.
43. Реактивное травление
44. Место диффузионных процессов в полупроводниковой технологии.
45. Особенности диффузии примесей в кремнии.
46. Диффузия в условиях примесной проводимости.
47. Неравновесные эффекты при диффузии.
48. Перераспределение примеси в системе Si -SiO₂. Диффузия в электрическом поле.
49. Ионно-стимулированная диффузия.
50. Особенности диффузии примесей в арсениде галлия.
51. Разновидности процесса диффузии. Методы контроля диффузионных слоев.
52. Ионная имплантация. Пробеги. Двухслойные мишени.
53. Имплантация и распыление. Диффузионные эффекты.
54. Пучковый отжиг имплантированного кремния. Импульсный пучковый отжиг.
55. Профили примеси. Отжиг непрерывным источником.
56. Планарная и планарно-эпитаксиальная технология.
57. Технология приборов микроэлектроники. Полупроводниковые ИМС.
58. Технология приборов микроэлектроники. Гибридные ИМС.
59. Технология приборов микроэлектроники. СВЧ ИМС.
60. Изопланарная технология.
61. Технология с поликремниевым эмиттером.
62. Самосовмещенная технология. Технология И2Л и ИЗЛ.
63. Особенности технологии биполярных ИС.
64. Классификация биполярных ИС. Технология n-p-n биполярных ИС.
65. Классификация МОП ИС. Технология p-МОП ИС. Технология n -МОП ИС.
66. Технология с поликремниевым затвором.
67. Особенности технологии МОП ИС.
68. Пути совершенствования ИС: увеличение степени интеграции, улучшение быстродействия, повышение выхода годных.
69. Разработка новых технологических процессов. Ограничения в развитии субмикронных ИС.
70. ИС на новых полупроводниковых материалах.

Примеры задач для решения на экзамене

1. Транзистор типа $n-p-n$ имеет концентрацию примесей $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и размеры активной области базы $1,0 \times 1,0 \times 0,2 \text{ мкм}$. Убедитесь, что при равновесии базовая область содержит $2 \cdot 10^5$ электронов. Сколь существенно присутствие в базе столь малого числа электронов?
2. Применительно к транзистору, рассмотренному в задаче 2, определите:
 - а) число примесных атомов в базе, считая, что все атомы ионизованы;
 - б) число атомов кремния в базе, если известно, что $N_{\text{Si}} = 5 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$. Сравните результат с тем, который был получен в п. а). Объясните, как влияют профиль легирования и закон больших чисел на работу биполярного транзистора указанных размеров;
 - в) число кристаллических плоскостей в области базы, если известно, что расстояние между плоскостями решетки кремния составляет $0,235 \text{ нм}$.
3. Вычислите коэффициент инжекции, коэффициент переноса через базу и коэффициент передачи тока в схеме ОЭ для транзистора типа $n-p-n$ с однородной базой, имеющего следующие параметры: $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $N_d = 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $W = 0,5 \text{ мкм}$; $D_p = 0,5 D_n$; $L_p = 1 \text{ мкм}$; $L_n = 10 \text{ мкм}$.
4. При изготовлении биполярных транзисторов в качестве механической основы обычно используют подложку n^+ -типа, обеспечивающую малое последовательное сопротивление коллектора. На подложке выращивается эпитаксиальный слой n -типа. С умеренной концентрацией легирующей примеси, который образует коллекторную область. В этом слое формируют переходы база – коллектор и база эмиттер. Одним из важнейших достоинств такой структуры является высокое напряжение пробоя.
 - а) Объясните, каким образом толщина эпитаксиального слоя и концентрация легирующей примеси в нем связаны с напряжением пробоя транзистора, включенного по схеме ОЭ.
 - б) Объясните, почему в транзисторах, изготовленных таким образом, что реализуется высокий уровень инжекции существенно снижается граничная частота.
5. Дайте развернутый ответ на вопрос, почему развитие техники ИС основано на использовании планарной технологии.
6. Перечислите эффекты второго порядка, свойственные элементам ИС и отсутствующие у дискретных элементов, которые должны устраняться при проектировании ИС.
7. Проводится диффузия через эпитаксиальный слой толщиной 10 мкм , в результате которой должна быть обеспечена концентрация доноров n -типа, равная 10^{16} см^{-3} . Концентрация диффундирующего вещества на поверхности составляет $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и поддерживается постоянной в ходе процесса. Вычислите продолжительность операции при температуре в печи $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, если коэффициент диффузии $D = 3 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.
Указание: Из таблиц функции erfc известно, что при $N(x, t)/N_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ значение $10^{-3}/[2(Dt)^{1/2}] = 2,65$.
8. На кремниевой подложке p -типа создан эпитаксиальный слой n -типа толщиной 10 мкм с концентрацией $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Для изоляции n -слоя проводят диффузию бора при температуре $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициент диффузии $D = 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; концентрация бора на поверхности постоянна и составляет 10^{20} см^{-3} .
 - а) Какова должна быть продолжительность данного процесса? При ответе используйте то, что уравнение $\text{erfc}(z) = 10^{-4}$ имеет корень $z = 2,75$.
 - б) На какую глубину продиффундируют атомы сурьмы Sb , образующие скрытый примесный слой, в данную эпитаксиальную пленку за найденное время? Коэффициент диффузии $D = 2 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; неизменная концентрацию примеси на границе системы подложка–эпитаксиальный слой равна 10^{20} см^{-3} .
9. Имеется эпитаксиальный слой толщиной 10 мкм , равномерно легированный донорной примесью n -типа с концентрацией $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Чтобы изолировать этот слой, проводят диффузию атомов бора, нанесенных на поверхность с концентрацией 10^{14} см^{-3} . Процесс длится 10 ч ; в течение этого времени концентрация примеси на поверхности поддерживается постоянной. Вычислите температуру, которую следует

создать в печи.

Указание: известно, что если $N_d/N_0 = 5 \cdot 10^{-4}$, то $x_{\text{пер}}/[2(Dt)^{1/2}] = 2,47$; коэффициент диффузии $D = 1,138 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ получается при $1000/T = 0,7$.

10. Базовая область биполярного транзистора сформирована двухэтапной диффузией бора, которая обеспечивает гауссовский профиль распределения примесей. Известно, что на поверхности концентрация примеси $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, глубина эмиттерного перехода 1,3 мкм, глубина коллекторного перехода 2 мкм, концентрации примеси в эпитаксиальном коллекторном слое 10^{15} см^{-3} . Получите выражение, которое описывает распределение концентрации легирующей примеси в базе.

11. Развернуто ответьте на вопрос: что определяет толщину базы $n-p-n$ -транзистора – разрешающая способность аппаратуры, с помощью которой выполнен фотошаблон, или длительность процесса диффузии?

12. Объясните, почему для формирования базовой области транзистора используют процесс диффузии, описываемый дополнительной функцией ошибок. Примите во внимание требуемый характер распределения концентрации примесей в биполярном транзисторе.

13. Если известно пространственное распределение концентрации акцепторной примеси N_a , то выражение для плотности диффузионного тока должно содержать слагаемое, в которое входит напряженность электрического поля: $J = qD_a \frac{dN_a}{dx} + q\mu_a N_a \varepsilon$, где D_a – коэффициент диффузии; μ_a – подвижность примеси. Для случая, когда $D_a = D_{ip}/n_i$, убедитесь, что $J = -qd(D_a N_a)/dx$. Данное выражение позволяет упростить численный анализ диффузионного профиля.

14. Покажите, что скорость процесса оксидирования можно определить из выражения $t + \tau = (x_i^2 + Ax_i)/B$, представив его графически в форме $x_i = f(t/x_i)$. Пусть $\tau = 0$.

15. Найдите время, которое потребуется для нанесения оксидного слоя толщиной 450 нм при температуре 1050 °С на поверхность кремниевой пластины p -типа с удельным сопротивлением 10 Ом·см. Процесс оксидирования является влажным и характеризуется параметрами $A = 0,31 \text{ мкм}$; $B = 0,47 \text{ мкм}^2/\text{ч}$.

16. На поверхности кремниевой пластины создан оксидный слой с начальной толщиной 100 нм. Вычислите время, которое потребуется для создания добавочного слоя оксида в атмосфере сухого кислорода при температуре 1200 °С. Конечная толщина слоя $x_{\text{ок}} = 0,18 \text{ мкм}$ достаточна для маскирования диффузии бора, проводимой в течение 100 мин при температуре 1100 °С. Константы оксидирования при температуре 1200 °С $A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}$; $B = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}^2/\text{ч}$.

17. Найдите время, которое потребуется для формирования оксидной пленки толщиной 2 мкм на поверхности кремниевой подложки при температуре 920 °С и давлении пара 25 атм (2,45 МПа). Константы оксидирования при данных условиях: $A = 0,50 \text{ мкм}$; $B = 5,0 \text{ мкм}^2/\text{ч}$.

18. Составьте список не менее 15 операций, начиная с нанесения слоя SiO_2 , и кончая металлизацией алюминием, которые входят в технологический цикл производства эпитаксиального транзистора с двойной диффузией и со скрытым слоем.

19. Перечислите четыре фотошаблона, которые используются при производстве биполярных ИС на этапах от первого маскирования (создание скрытого слоя) до шестого маскирования (нанесение металлизации).

20. Перечислите шесть производственных операций, выполняемых при изготовлении биполярного транзистора со скрытым слоем и изоляцией при помощи $p-n$ - перехода, смещенную в обратном направлении.

21. В биполярных $n-p-n$ -транзисторах ИС применяют скрытый n^+ – слой. а) Каково назначение этого слоя? б) Какие два вида примесей используют для создания n^+ – слоев? Почему?

22. При изготовлении транзисторов типа $n-p-n$ диффузию донорной примеси в кремниевую подложку p -типа в принципе можно совместить с операцией наращивания эпитаксиального слоя. Однако имеются веские причины использовать чистые эпитаксиальные слои. Объясните, почему целесообразно использовать именно такой слой, а не совмещать процесс его изготовления с диффузией донорной

| | |
|--|--|
| <p>Критерии оценки и шкала оценивания в баллах</p> | <p>примеси.</p> <p>При выставлении баллов за ответы на задания в билете учитываются следующие критерии:</p> <p>Правильность выполнения практического задания</p> <p>Владение методами и технологиями, запланированными в рабочей программе дисциплины</p> <p>Владение специальными терминами и использование их при ответе.</p> <p>Умение объяснять, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы</p> <p>Логичность и последовательность ответа</p> <p>Демонстрация способности участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем</p> <p>От 36 до 40 баллов оценивается ответ, который показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа.</p> <p>От 32 до 35 баллов оценивается ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна – две неточности в ответе.</p> <p>От 30 до 31 баллов оценивается ответ, свидетельствующий, в основном, о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.</p> <p>Максимальное количество баллов за экзамен – 40</p> |
|--|--|