

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФРТЭ  В.А. Небольсин
2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Конструирование и технология интегральных микросхем»

Направление подготовки 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль "Нано- и микросистемная техника"

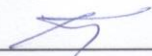
Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года


Форма обучения очная

Год начала подготовки 2018


Автор программы

 /Коротков Л.Н./

Зав. кафедрой Физики
твёрдого тела

 /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

 /Калгин А.В. /

Воронеж 2018

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Приобретение студентами знаний о типовых структурах элементов современных ИМС и методах их проектирования расчета, сведений об используемых материалах, способах их очистки и контроля, методах обеспечения и контроля чистоты производственных помещений.

Ознакомление с технологией производства интегральных схем и базовыми технологическими операциями.

1.2. Задачи освоения дисциплины.

Для достижения цели ставятся задачи:

- дать представление об основных технологических операциях планарной технологии полупроводниковых интегральных микросхем:
- научить использовать сведения о физических принципах работы, характеристиках и параметрах микроэлектронных приборов;
- дать представление о конструкциях элементов полупроводниковых интегральных микросхем;
- дать представление о методах современного компьютерного проектирования технологических процессов микроэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Конструирование и технология интегральных микросхем» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Конструирование и технология интегральных микросхем» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен участвовать в разработке топологии интегральных схем, знаком с топологическими принципами построения интегральных схем.

ПК-2 - Способен принимать участие в осуществлении расчета режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем

ПК-3 - Способен принимать участие в разработке наногетероструктурных СВЧ устройств

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать основные подходы к разработке интегральных схем. Знать принципы топологического построения интегральных схем.
	Уметь критически анализировать последние достижения в области микро- и наноэлектроники.

	<p>Владеть представлением о месте микро- и наноэлектроники, в современной науке и технике. навыками разработки схемы и топологии изделий микроэлектроники; методами проектирования с помощью пакетов прикладных программ.</p>
ПК-2	<p>знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении изделий электроники и наноэлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов; инструментальное оформление и организацию технологических процессов изготовления изделий электронной техники; пакеты прикладных программ для расчетов технологических процессов изготовления изделий электронной техники; способы управления технологическим процессом.</p>
	<p>уметь выполнять расчет основных параметров конкретных изделий и технологических параметров их изготовления; использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса изготовления изделий электронной техники; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций изготовления изделий электронной техники; выполнять работы по технологической подготовке производства изготовления изделий электронной техники.</p>
	<p>владеть расчета технологических процессов изготовления изделий электронной техники с применением пакетов прикладных программ; навыками использования технических средств для определения основных параметров технологического процесса производства изделий электронной техники; способностью выбора технологического процесса производства изделий электронной техники; способностью выполнять работы по технологической подготовке производства изделий электронной техники.</p>
ПК-3	<p>Знать основные подходы к разработке наногетероструктурных СВЧ устройств. Знать принципы топологического построения интегральных СВЧ схем</p>
	<p>Уметь критически анализировать последние достижения в области интегральной микро- и наноэлектроники.</p>
	<p>Владеть представлениями о направлениях развития интегральной СВЧ микро- и наноэлектроники.</p>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Конструирование и технология интегральных микросхем» составляет 6 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестр
		ы
		1
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Самостоятельная работа	108	108
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

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	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Виды классификации интегральных микросхем	Введение. История микроэлектроники. Виды классификации интегральных микросхем (ИМС).	1	1	2	4
2	Общие сведения о планарно-эпитаксиальной технологии полупроводниковых интегральных микросхем.	Общие сведения о планарно-эпитаксиальной технологии полупроводниковых интегральных микросхем. Базовые технологические операции. Типовой маршрут изготовления ИМС	3	3	8	14
3	Биполярные интегральные микросхемы.	Разновидности биполярных интегральных транзисторов. Вертикальные и горизонтальные n- p-n и p-n-p транзисторы. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторные структуры для схем с инжекционным питанием. транзисторы с диодом Шоттки. Составные транзисторы, комплементарные пары. Аналоговые схемы на биполярных транзисторах. Типовые схемы усилительных каскадов на биполярных транзисторах. Цифровые схемы. Простейшие логические операции. Логические элементы на диодах. Элементы РТЛ, ДТЛ, ТТЛ. Элементы	6	6	18	30

		ЭСЛ, логические элементы с инжекционным питанием. Основные характеристики и параметры логических элементов.				
4	Структуры и схемы полупроводниковых интегральных микросхем на униполярных приборах.	транзистора с управляющим р-п переходом. Интегральные полевые транзисторы с барьером Шоттки. МОП-транзисторы. МОП-транзисторы с алюминиевым и поликремниевым затворами. Вертикальные транзисторы. Логические элементы на полевых транзисторах. Инвертор на п-канальных МДП транзисторах. Инвертор на КМДП транзисторах. Логические элементы «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ». Логические элементы динамического типа.	6	6	20	32
5	Элементы памяти.	Классификация. Разновидности постоянной и динамическая память. ПЗУ, ППЗУ, триггеры. Элементы статической памяти на МДП транзисторах. Элементы памяти на биполярных транзисторах. Элементы статической памяти на МДП транзисторах.	4	4	12	20
6	Структура и топология пассивных элементов полупроводниковых ИМС.	Интегральные резисторы: тонкопленочные, диффузионные, пинчрезисторы. Интегральные конденсаторы. Конденсаторы на основе барьерной емкости р-п-перехода. МДП-конденсаторы.	2	2	12	16
	Основные операции технологического маршрута изготовления полупроводниковых интегральных микросхем	Получение полупроводникового кремния. Подготовка подложек для полупроводниковых ИМС. Эпитаксия кремния. Назначение и виды эпитаксии кремния в микроэлектронике. Методы проведения процессов газофазовой эпитаксии кремния. Жидкофазная эпитаксия. Кинетические закономерности эпитаксиальных процессов Применение диэлектрических пленок в микроэлектронике. Методы осаждения диэлектрических слоев диоксида кремния и нитрида кремния из газовой фазы. Термическое окисление кремния. Применение слоёв диоксида кремния, полученных термическим окислением кремния. Кинетические закономерности процессов термического окисления кремния. Модель Дила – Гроува. Диффузионное легирование в планарной технологии. Назначение процессов локальной диффузии в планарной технологии. Методы проведения диффузионного легирования кремния. Кинетические закономерности процессов диффузионного легирования кремния. Ионное легирование в планарной технологии. Назначение процессов ионного легирования в планарной технологии. Методы проведения ионного легирования кремния. Кинетические закономерности процессов ионного легирования. Литография в микроэлектронике. Назначение процессов литографии в планарной технологии. Этапы литографического процесса в	8	8	24	40

		микроэлектронике. Формирование межэлементных соединений и защитных покрытий ИМС. Методы нанесения токопроводящих металлических пленок. Этапы формирования межэлементных и межслойных соединений ИМС. Назначение и методы создания защитных покрытий.				
	Способы изоляции элементов полупроводниковых интегральных схем	Изоляция биполярных транзисторных структур. Самоизоляция МДП-транзисторов. Паразитный МОП-транзистор. Методы изоляции биполярных транзисторных структур. Изоляция интегральных транзисторов обратного смещённым р-п переходом. Биполярные структуры полупроводниковых ИМС с диэлектрической изоляцией. Комбинированная изоляция. Изоляция пассивных элементов. Эффект тиристорного защелкивания	4	4	10	18
	Основные тенденции в развитие микроэлектроники и наноэлектроники	Физические и технологические ограничения миниатюризации изделий микроэлектроники. 3-D схемы. Представление о функциональной электроники. Микроэлектромеханические системы	2	2	2	6
Итого			36	36	108	180

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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».

Комп е- тенц ия	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	Знать основные подходы к разработке интегральных схем. Знать принципы топологического построения интегральных схем.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач.	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при

		Решение прикладных задач.		решении задач
	Уметь критически анализировать последние достижения в области микро- и нанoeлектроники.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
	Владеть представлением о месте микро- и нанoeлектроники, в современной науке и технике. навыками разработки схемы и топологии изделий микроэлектроники; методами проектирования с помощью пакетов прикладных программ.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
ПК-2	знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении изделий электроники и нанoeлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов; инструментальное оформление и организацию технологических процессов изготовления изделий электронной техники; пакеты прикладных программ для расчетов технологических процессов изготовления изделий электронной техники; способы управления технологическим процессом.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач.	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
	уметь выполнять расчет основных параметров конкретных изделий и технологических параметров их изготовления; использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса изготовления изделий электронной техники; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций изготовления изделий электронной техники; выполнять работы по технологической подготовке производства изготовления изделий электронной техники.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
	владеть расчета технологических процессов изготовления изделий электронной техники с применением пакетов прикладных программ; навыками использования технических средств для определения основных параметров технологического процесса производства изделий электронной техники; способностью выбора технологического процесса производства изделий электронной	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач

	техники; способностью выполнять работы по технологической подготовке производства изделий электронной техники.			
ПК-3	Знать основные подходы к разработке наногетероструктурных СВЧ устройств. Знать принципы топологического построения интегральных СВЧ схем	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач.	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
	Уметь критически анализировать последние достижения в области интегральной микро- и нанoeлектроники.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач
	Владеть представлениями о направлениях развития интегральной СВЧ микро- и нанoeлектроники.	Активная работа на практических занятиях. Знание теоретического материала. Решение прикладных задач.	Оценка «удовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач	Оценка «неудовлетворительно» и выше работу на практических занятиях и при решении задач

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 1 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	Знать основные подходы к разработке интегральных схем. Знать принципы топологического построения интегральных схем.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь критически анализировать последние достижения в области микро- и нанoeлектроники.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть представлением о месте микро- и нанoeлектроники, в современной науке и технике. навыками разработки схемы и топологии изделий	Решение прикладных задач в конкрет	Задачи решены в полном объеме и получены	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве	Задачи не решены

	микроэлектроники; методами проектирования с помощью пакетов прикладных программ.	ной предметной области	верные ответы	получен верный ответ во всех задачах	е задач	
ПК-2	знать основные технологические методы, применяемые при изготовлении изделий электроники и микроэлектроники; физические закономерности, лежащие в основе этих методов; инструментальное оформление и организацию технологических процессов изготовления изделий электронной техники; пакеты прикладных программ для расчетов технологических процессов изготовления изделий электронной техники; способы управления технологическим процессом.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь выполнять расчет основных параметров конкретных изделий и технологических параметров их изготовления; использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса изготовления изделий электронной техники; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций изготовления изделий электронной техники; выполнять работы по технологической подготовке производства изготовления изделий электронной техники.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть расчетом технологических процессов изготовления изделий электронной техники с применением пакетов прикладных программ; навыками использования технических средств для определения основных параметров технологического процесса производства изделий электронной техники; способностью выбора технологического процесса производства изделий электронной техники; способностью выполнять работы по технологической подготовке производства изделий электронной техники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	Знать основные подходы к разработке наноструктурных СВЧ устройств. Знать принципы топологического построения интегральных СВЧ схем	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь критически анализировать последние достижения в области	Решение стандарт	Задачи решены в	Продемонстрирован	Продемонстрирован	Задачи не решены

интегральной микро- и наноэлектроники.	ных практических задач	полном объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	верный ход решения в большинстве задач	
Владеть представлениями о направлениях развития интегральной СВЧ микро- и наноэлектроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные 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

1.Какая ширина запрещенной зоны кремния?

- a)1,6 эВ
- b)0,98 эВ
- c)1,12 эВ
- d)8,9 эВ

Правильный ответ c).

2.Какой элемент обязательно входит в состав газов травителей алюминия?

- a)Хлор
- b)Фтор
- c)Иод
- d)Вор

Правильный ответ a).

3.Применение какого метода обеспечивает лучшую очистку поверхности для молекулярно-лучевой эпитаксии?

a)Очистка поверхности с помощью пучка низко-энергетических ионов инертного газа?

b)Высокотемпературный отжиг?

Правильный ответ a).

4.Какой из методов окисления применяется наиболее часто?

- a)Термическое окисление
- b)Осаждение SiO₂ из газовой фазы.

Правильный ответ a).

5.В каком диапазоне температур применима модель Дила-Грува?

- a)300-700 С
- b)700-1300 С
- c)900-1100 С

Правильный ответ b)

6.Для чего формируют скрытый n⁺-слой в при производстве биполярных ИС?

- a)Для уменьшения сопротивления коллектора
- b)Для повышения напряжения пробоя перехода коллектор –база

с) Для электрической изоляции приборов, находящихся на одной подложке.

Правильный ответ а)

7. С помощью каких статистических распределений описывается профиль распределения легирующей примеси при ионной имплантации?

а) Распределение Стьюдента

б) Распределение Гаусса

с) Распределение Ферми-Дирака

Правильный ответ б)

8. Какой толщины оксидную пленку можно получить при термическом окислении?

а) 0,3-0,4 мкм

б) 1-2 мкм

с) 9-12 мкм

д) Без ограничений

Правильный ответ б).

9. По какому механизму диффундируют В и Р?

а) Диссоциативному

б) Междоузельному

с) Вакансионному

д) Краудинный

Правильный ответ с)

10. К металлизации предъявляется требование:

а) Высокое удельное сопротивление

б) Низкая пластичность

с) Хорошая адгезия

Правильный ответ с)

8. Приблизительная толщина базы вертикального биполярного транзистора?

а) 10 мкм

б) 0,1 мкм

с) 1 мкм

Правильный ответ с)

9. КМОП - структура содержит

а) 2-а полевых транзистора с каналами n - типа

б) 2-а полевых транзистора с каналами p - типа и n - типа.

с) 2-а полевых транзистора с каналами p - типа

Правильный ответ б)

10. В каком режиме работают транзисторы эмиттер-связанной логики?

а) В активном режиме.

б) В режиме отсечки.

с) В режиме насыщения

Правильный ответ а)

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Построить профиль распределения примеси и определить глубину залегания p-n-перехода в случае двухстадийной диффузии фосфора в кремний с электропроводностью p-типа с удельным сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, проводимой в режиме: $T_1=1050^\circ\text{C}$, $t_1 = 10 \text{ мин}$, $T_2 = 1150^\circ\text{C}$, $t_2 = 2 \text{ ч}$.

1. 3,5 мкм

2. 2,5 мкм

3. 4,5 мкм

2. Рассчитать распределение примеси для двухстадийной диффузии фосфора в кремний, проводимой в режиме: $T_1=1250^\circ\text{C}$, $t_1 = 10 \text{ мин}$, $T_2= 1150^\circ\text{C}$, $t_2=2 \text{ ч}$. Определить

глубину залегания p-n-перехода.

1. 4,35 мкм
2. 5,5 мкм
3. 2,5 мкм

3. Рассчитать профиль распределения концентрации примеси в n-p-n-структуре, полученной последовательной диффузией бора и фосфора в кремний с электропроводностью n-типа и удельным сопротивлением $0,15 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и проводимой в режимах: $T_a=1200^\circ\text{C}$, $t_a = 1 \text{ ч}$, $T_d=1100^\circ \text{C}$, $t_d = 2 \text{ ч}$. Поверхностная плотность атомов бора $N_a=5\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, диффузия фосфора ведется из неограниченного источника примеси с поверхностной концентрацией, равной предельной растворимости. С помощью этих кривых найти глубину залегания эмиттерного и коллекторного переходов.

1. 1,2 мкм; 3,5 мкм
2. 2,2 мкм; 3,5 мкм
3. 1,2 мкм; 5,5 мкм

4. Определить температуру разгонки мышьяка, предварительно внедренного с помощью ионной имплантации в кремний электропроводностью p-типа и удельным сопротивлением 1 Ом см , если распределение должно обладать глубиной залегания p-n-перехода $x_j = 0,5 \text{ мкм}$, поверхностная концентрация $C_0=1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, а длительность процесса составляет 1ч. Вычислить количество атомов мышьяка N , которое должно быть внедрено в кремний.

1. 1070°C ; $2,5\cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$
2. 1170°C ; $2,5\cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$
3. 1070°C ; $5,5\cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

5. Определить режим диффузии, проводимой в одну стадию при постоянной поверхностной концентрации, если распределение должно обладать глубиной залегания p-n-перехода $x_j = 0,5 \text{ мкм}$, поверхностная концентрация $C_0=1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, а длительность процесса составляет 1ч, кремний электропроводностью p-типа и удельным сопротивлением 1 Ом см .

1. 1080°C ;
2. 1180°C ;
3. 1050°C ;

6. Определить температуры и длительности процессов загонки и разгонки в случае двухстадийной диффузии бора в кремний с электропроводностью n-типа, с удельным сопротивлением $10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, если искомое распределение примеси должно иметь следующие параметры: $C_{02}=5\cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $x_j=2,5 \text{ мкм}$.

1. 1150°C ; 40 мин
2. 1250°C ; 40 мин
3. 1150°C ; 20 мин

7. Определить режим загонки (T_{a1} , $t_{a1}N_a$) и разгонки (T_{a2} , t_{a2}) при базовой диффузии бора и режим загонки T_d , t_d при эмиттерной диффузии фосфора в кремний, если задано: $C_B = 5\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $x_{jB}=1,2 \text{ мкм}$, $x_{jK}=3,5 \text{ мкм}$, $C_{0a} = 3,3\cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $C_{0d}=1,2\cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$.

1. $T_{a1}=1060^\circ\text{C}$, $t_{a1}=10 \text{ мин}$, $N_a=5\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1150^\circ\text{C}$, $t_{a2}=170 \text{ мин}$
2. $T_{a1}=1060^\circ\text{C}$, $t_{a1}=20 \text{ мин}$, $N_a=5\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1150^\circ\text{C}$, $t_{a2}=170 \text{ мин}$
3. $T_{a1}=1060^\circ\text{C}$, $t_{a1}=10 \text{ мин}$, $N_a=5\cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1150^\circ\text{C}$, $t_{a2}=70 \text{ мин}$

8. Какое количество сурьмы необходимо для выращивания кристалла германия n-типа с удельным сопротивлением $\rho=0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ из расплава мас-сой $m = 4 \text{ кг}$ в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла. Коэффициент распределения сурьмы между жидкой и твердой фазами $K=3\cdot 10^{-3}$, плотность расплава $d=5600 \text{ кг/м}^3$, подвижность электронов $\mu=0,38 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

9. Определить количество бора необходимое для выращивания кристалла германия p-типа с удельным сопротивлением $\rho=0,05 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ из расплава массой $m=1 \text{ кг}$ в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла.

Коэффициент распределения бора между жидкой и твердой фазами $K=20$, плотность расплава $d=5600 \text{ кг/м}^3$, подвижность дырок $\mu=0,19 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

10. Оценить удельное сопротивление при 300 К кремния легированного сурьмой, если в 1 кг материала содержится 22 мг сурьмы, подвижность электронов $0,19 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Примесь распределена равномерно.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить количество атомов бора, которое необходимо ввести в структуру методом ионной имплантации для создания области базы, и режим разгонки T_{a2} , t_{a2} , а также количество атомов фосфора N_d , которое необходимо ввести с помощью ионной имплантации для создания эмиттерной области, и режим разгонки T_d , t_d если концентрация донорной примеси в исходном эпитаксиальном слое кремния с электропроводностью n-типа составляет $C_b = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $x_{j3}=1 \text{ мкм}$, $x_{jk} = 2 \text{ мкм}$, $C_{oa} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $C_{0d} = 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

1. $T_d=1010^\circ\text{C}$, $t_d=56 \text{ мин}$, $N_b=2,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $N_f=1,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1150^\circ\text{C}$, $t_{a2}=17 \text{ мин}$

2. $T_d=1110^\circ\text{C}$, $t_d=56 \text{ мин}$, $N_b=2,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $N_f=1,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1150^\circ\text{C}$, $t_{a2}=17 \text{ мин}$

3. $T_d=1010^\circ\text{C}$, $t_d=56 \text{ мин}$, $N_b=2,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $N_f=1,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, $T_{a2}=1100^\circ\text{C}$, $t_{a2}=17 \text{ мин}$

2. Рассчитать средний полный пробег ионов бора с энергией $E=100 \text{ кэВ}$ в кремнии

1. 0,5 мкм

2. 1,5 мкм

3. 1 мкм

3. Рассчитать R_{p1} и ΔR_p ионов $^{11}\text{B}^+$ с энергией 100 кэВ в кремнии.

1. $R_p = 0,34 \text{ мкм}$, $\Delta R_p=0,09 \text{ мкм}$

2. $R_p = 0,5 \text{ мкм}$, $\Delta R_p=0,07 \text{ мкм}$

3. $R_p = 0,24 \text{ мкм}$, $\Delta R_p=0,05 \text{ мкм}$

4. Рассчитать профиль распределения концентрации примеси в транзисторной структуре, образованной имплантацией $^{11}\text{B}^+$ и $^{31}\text{P}^+$ в кремний с электропроводностью n-типа, если $C_b=10^{16} \text{ см}^{-3}$, $E_a=100 \text{ кэВ}$, $N_a=5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, $E_d = 200 \text{ кэВ}$, $N_d= 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

5. Построить распределение концентрации ионов бора в кремнии, внедренных с энергией 40 кэВ и дозой облучения $6,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ через пленку диоксида толщиной $d_1 = 0,2 \text{ мкм}$.

6. Определить энергию E , необходимую для того, чтобы средний нормальный пробег ионов фосфора в кремнии составил $R_p=0,1 \text{ мкм}$.

1. $E = 87 \text{ кэВ}$

2. $E = 107 \text{ кэВ}$

3. $E = 57 \text{ кэВ}$

7. Определить энергию ионов и дозу облучения, необходимые для создания p-n-перехода на глубине $x_j = 0,3 \text{ мкм}$ с помощью имплантации фосфора в кремний с электропроводностью p-типа и с $C_b=10^{16} \text{ см}^{-3}$, если необходимо обеспечить $C_{\text{max}} = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

1. $E = 110 \text{ кэВ}$, $N=4,75 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

2. $E = 100 \text{ кэВ}$, $N=3,75 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

3. $E = 150 \text{ кэВ}$, $N=5,75 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

8. Рассчитать дозы N_a , N_d и энергии E_a , E_d для создания структуры p-p-n-транзистора на кремнии с толщиной базовой области $\omega = 0,1 \text{ мкм}$, глубиной залегания эмиттерного перехода $x_{j3} = 0,2 \text{ мкм}$, концентрацией доноров в эпитаксиальном слое $C_b = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и максимальными концентрациями акцепторной и донорной примесей $C_{\text{max a}} = 3 \cdot 10^{18}$, $C_{\text{max d}} = 1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Создание эмиттерной и базовой областей производится имплантацией фосфора и бора соответственно.

1. $E_a= 40 \text{ кэВ}$, $E_d = 80 \text{ кэВ}$, $N_a=4,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, $N_d=7,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

2. $E_a= 60 \text{ кэВ}$, $E_d = 40 \text{ кэВ}$, $N_a=4,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, $N_d=7,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

3. $E_a = 20$ кэВ, $E_d = 100$ кэВ, $N_a = 4.0 \cdot 10^{13}$ см⁻², $N_d = 7.4 \cdot 10^{14}$ см⁻²

9. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при 300 К, если ширина его запрещенной зоны $E_g = 1,12$ эВ, а эффективные массы дырок и электронов $m^* = 1,05m_0$, $m^* = 0,56m_0$ соответственно.

10. Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна 10^{18} м⁻³. Определить концентрацию дырок в этом полупроводнике, если известно, что собственная концентрация носителей заряда при этой же температуре равна 10^{16} м⁻³.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий к экзамену

1. Варианты классификации интегральных микросхем.
2. Проблема изоляции элементов полупроводниковых ИМС. Изоляция в биполярных транзисторных структурах.
3. Проблема изоляции элементов полупроводниковых ИМС. Самоизоляция МДП-транзисторных структур. Паразитный МОП-транзистор. Изоляция пассивных элементов полупроводниковых ИМС.
4. Динисторные (тиристорные) структуры. Эффект «защелкивания» в полупроводниковых ИМС с изоляцией элементов р-п переходом.
5. Изоляция интегральных транзисторов обратнo смещённым р-п переходом. Биполярные структуры полупроводниковых ИМС с изоляцией р-п переходом.
6. Биполярные структуры полупроводниковых ИМС с диэлектрической изоляцией.
7. Комбинированная изоляция интегральных транзисторов. Варианты технологии биполярных структур с комбинированной изоляцией.
8. Общая характеристика планарной технологии. Подготовительные операции: получение полупроводникового кремния, подготовка подложек для полупроводниковых ИМС.
9. Варианты технологии биполярных структур с изоляцией р-п переходом.
10. Эпитаксия кремния. Назначение и виды эпитаксии кремния в микроэлектронике. Методы проведения процессов газофазовой эпитаксии кремния. Кинетические закономерности газофазовой эпитаксии кремния.
11. Химическое осаждение из газовой фазы поликремния. Применение и параметры качества тонких поликремниевых слоёв в микроэлектронике.
12. Химическое осаждение из газовой фазы диэлектрических плёнок. Применение и параметры качества тонких диэлектрических слоёв в микроэлектронике. Осаждение диоксида кремния из газовой фазы. Осаждение нитрида кремния из газовой фазы.
13. Термическое окисление кремния. Применение в микроэлектронике слоёв диоксида кремния, полученных термическим окислением кремния.
14. Кинетические закономерности процесса термического окисления кремния. Модель Дила – Гроува.
15. Диффузионное легирование в планарной технологии. Назначение процессов локальной диффузии в планарной технологии.
16. Ионное легирование в планарной технологии. Назначение процессов ионного легирования в планарной технологии.
17. Литография в микроэлектронике. Назначение процессов литографии в планарной технологии.
18. Этапы литографического процесса в микроэлектронике. Основные показатели качества микролитографии. Разновидности литографических процессов в микроэлектронике.
19. Методы формирования металлизации ИМС. Защита поверхности полупроводниковых ИМС.
20. Этапы формирования межэлементных соединений ИМС.
21. Многоуровневая разводка полупроводниковых ИМС. Многослойные проводники и

- контакты ИМС. Контактные площадки полупроводниковых ИМС.
22. Вспомогательные элементы полупроводниковых ИМС. Фигуры совмещения. Тестовые структуры.
 23. Контакты к кремнию и проводники разводки полупроводниковых ИМС.
 24. Горизонтальные и вертикальные биполярные транзисторы. Комплементарные p-p-n и p-n-p транзисторы. Составные транзисторы. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторные структуры.
 25. Транзисторные структуры для схем с инжекционным питанием. Транзисторные структуры с диодами Шоттки.
 26. Интегральные диоды с p-n переходом. Интегральные диоды Шоттки.
 27. Интегральные резисторы. Конструкции резисторов и параметры резистивных слоёв полупроводниковых ИМС. Диффузионные и плёночные резисторы ИМС. МДП-транзистор в качестве резистора.
 28. Интегральные конденсаторы. Диффузионные конденсаторы ИМС. МДП-конденсаторы ИМС.
 29. МОП-транзисторы с алюминиевым затвором. Структура и топология интегрального МОП-транзистора.
 30. МОП-транзисторы с поликремниевым затвором. Транзисторы с каналами n-типа и самосовмещёнными затворами.
 31. Разновидности схем логических элементов на МОП транзисторах.
 32. Комплементарные МДП-структуры.
 33. Разновидности схем логических элементов на биполярных транзисторах. Элементы ТЛНС, РТЛ и РЕТЛ.
 34. Разновидности схем логических элементов на биполярных транзисторах. Элементы ДТЛ, ТТЛ и ТТЛ ДШ.
 35. Разновидности схем логических элементов на биполярных транзисторах. Элементы ЭСЛ и И²Л.
 36. Интегральные полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Интегральные полевые транзисторы с барьером Шоттки.
 37. Элементы динамической памяти ИМС.
 38. Элементы постоянной памяти ИМС.
 39. Каскады аналоговых ИС.
 40. Методы создания металлизации.

Укажите вопросы для экзамена

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Виды классификации интегральных микросхем	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Общие сведения о планарно-эпитаксиальной технологии полупроводниковых интегральных микросхем.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Биполярные интегральные микросхемы.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Структуры и схемы полупроводниковых интегральных микросхем на униполярных приборах.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Элементы памяти.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Структура и топология пассивных элементов полупроводниковых ИМС.	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
	Основные операции технологического маршрута изготовления полупроводниковых интегральных микросхем	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
	Способы изоляции элементов полупроводниковых интегральных схем	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
	Основные тенденции в развитие	ПК-1, ПК-2, ПК-3	Тест, контрольная

	микроэлектроники и нанoeлектроники		работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
--	------------------------------------	--	--

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин М.Т. Основы микроэлектроники. Учебник для вузов. М.: Радио и связь. 1991. 288 с
2. Шука А.А. Электроника / под ред. А.С. Сигова. - СПб. :2005, БХВ-Петербург, 2005.
3. Курносое А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Высшая школа, 1986.
4. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М.: Высшая школа, 1984.
5. Коледов Л.А. Технология и конструирование микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989.
6. Технология СБИС. Под ред. С. Зи М.: Мир. 1983
7. Пасынов В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. °М.: Высшая школа, 1987.
8. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1992.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая

перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем: Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лабораторных занятий необходима аудитория, оснащенная стендами для проведения лабораторных работ, компьютерный класс. (аудитории 226, 226а первого корпуса ВГТУ)

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Конструирование и технология интегральных микросхем» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета _____. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить 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 или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
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; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в

промежуточной аттестации	течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.
--------------------------	---