

# 1. Содержание учебной дисциплины Содержание учебной дисциплины

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	Введение	Основные технологические принципы, идеология производственных процессов, структура предприятия-изготовителя изделий твердотельной электроники, требования к производственному процессу и инфраструктуре.
<b>Часть 1. Базовые технологические процессы изготовления активных элементов твердотельной электроники</b>		
<b>Раздел 1. Химическая подготовка поверхности технологического слоя</b>		
Тема 1.	Классификация загрязнений поверхности	Классификация загрязнений поверхности. Механические, молекулярные, ионные, металлические.
Тема 2.	Финишная подготовка поверхности	Химическая подготовка пластин, травление в щелочах и кислотах.
<b>Раздел 2. Процессы создания технологического слоя в материале подложки</b>		
Тема 3	Высокотемпературное окисление кремния	Принципы построения, оборудование и особенности процесса высокотемпературного окисления кремния.
Тема 4	Высокотемпературная диффузия	Принципы построения технологии, оборудование и особенности процесса высокотемпературной диффузии.
Тема 5	Ионное легирование	Принципы построения технологии, оборудование и особенности процесса ионной имплантации.
<b>Раздел 3. Процессы создания технологического слоя из внешних источников материала</b>		
Тема 6	Химическое осаждение из парогазовой фазы (CVD-процессы)	Принципы построения, оборудование и особенности процесса осаждение из парогазовой фазы.
Тема 7	Эпитаксиальное осаждение	Принципы построения, оборудование и особенности процесса эпитаксии.
Тема 8	Физическое осаждение из парогазовой фазы	Принципы построения, оборудование и особенности процесса физического осаждения.
<b>Раздел 4. Микролитография</b>		
Тема 9.	Фотолитография	Принципы построения, оборудование и особенности

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		процесса фотолитографии.
Тема 10	Химико-механическая планаризация	Принципы построения, оборудование и особенности процесса химико-механической планаризации.
Тема 11	Неоптические методы литография	Принципы построения, оборудование и особенности процессов неоптической литографии.
Раздел 5	Размерное травление технологического слоя	Принципы построения, оборудование и особенности процесса размерного травления.
Тема 12	Химическое травление диэлектрических, полупроводниковых и металлических материалов	Принципы построения, оборудование и особенности процесса жидкостного травления.
Тема 13	Плазмохимическое и ионно-лучевое травление технологического слоя	Принципы построения, оборудование и особенности процессов сухого травления.
Тема 14	Глубокое плазмохимическое травление	Принципы построения, оборудование и особенности процесса глубокого плазмохимического травления.
<b>Раздел 5. Электронно-дырочный переход</b>		
Тема 15	Образование электронно-дырочного (р-п) перехода	Образование области пространственного заряда (ОПЗ) р-п-перехода. Высота потенциального барьера. Расчет контактной разности потенциалов. Зависимость контактной разности потенциалов от ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, концентрации примесей в р-п- и п-областях и температуры.
Тема 16	Электронно дырочный переход в состоянии теплового равновесия	Зависимости характеристик перехода от координаты. Ширина ОПЗ в состоянии теплового равновесия Резкий несимметричный переход.
Тема 17	Барьерная емкость р-п-перехода	Расчет барьерной емкости р-п-переходов.
Тема 18	Электронно дырочный переход при нарушении	Электронно дырочный переход при подаче обратного смещения. Ширина ОПЗ и величина барьерной емкости р-

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	равновесия	n-перехода при $U \neq 0$ .
Тема 19	Граничная концентрация неосновных носителей в базе	Вычисление выражения для граничной концентрации неосновных носителей в базе и закон ее распределения.
Тема 20	Распределение концентрации неосновных носителей в базе	Общий случай. Случай тонкой базы. Случай длинной базы.
Тема 21	Аналитические выражения для ВАХ р-п-переходов	Общее выражение. Р-п переход с тонкой базой. Влияние величины обратного напряжения на распределение концентрации неосновных носителей в тонкой базе.
Тема 22	Генерация и рекомбинация носителей в ОПЗ р-п-переходов	Ток генерации. Ток рекомбинации. Ток утечки. Взаимосвязь объема ОПЗ и скорости генерации.
Тема 23	Диффузионная емкость	Распределение концентрации неосновных носителей в тонкой п-базе при прямом смещении р <sup>+</sup> -п-перехода. Среднее время диффузии.
Тема 24	Пробой р-п-перехода (диода)	Лавинный пробой. Туннельный пробой.
Тема 25	Переходные процессы в р-п-переходе	Степень влияния эффектов на вид переходных характеристик. Стационарное значение заряда дырок в базе.
<b>Раздел 6. Невыпрямляющий (омический) контакт</b>		
Тема 26	Омический контакт	Связь металла и полупроводника. Эффективную плотность состояний у дна зоны проводимости. Сопротивление планарного контакта
<b>Раздел 7. Биполярные транзисторы</b>		
Тема 27	Общие сведения	Дрейфовые и бездрейфовые. Четыре режима работы. Схемы включения транзисторов. Структура биполярного интегрального транзистора п-р-п типа.
Тема 28	Принцип работы и коэффициент передачи тока одномерной идеализированной	Схема с ОБ. Величина тока рекомбинации. Число Гуммеля для базы. Одномерное представление активной области планарно-эпитаксиального транзистора

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	модели биполярного транзистора (БПТ)	
Тема 29	Модель Эберса-Молла	Эквивалентная схема, соответствующая модели Эберса-Молла n-p-n-транзистора. Взаимодействием работы двух p-n-переходов. Нормальное и инверсное включение
Тема 30	Распределение потоков носителей в реальной одномерной модели БТ в активном нормальном режиме	Токи, протекающие в p-n-p-транзисторе в активном нормальном режиме. Составляющие тока базы и тока коллектора. Ток эмиттера.
Тема 31	Отклонения от модели Эберса-Молла в реальном транзисторе	Отклонения по току. Отклонение по напряжению.
Тема 32	Статические ВАХ биполярного транзистора	Схема с ОЭ. Физическая эквивалентная схема БТ с ОЭ на низкой частоте. Область насыщения в реальном транзисторе. Статические характеристики.
Тема 33	Импульсные свойства БТ	Переходные процессы при воздействии малого сигнала. Импульсные свойства БТ при малом сигнале. Импульсный режим работы БТ при большом сигнале.
Тема 34	Физические эквивалентные схемы для малого сигнала	Транзисторы в схемах аналоговой техники. Малосигнальная физическая эквивалентная схема транзистора для включения с ОБ. Моделирование транзисторного эффекта.
Тема 35	Характеристические частоты транзистора	Время задержки в каждой из пяти областей транзистора. Характеристические частоты биполярного транзистора. Максимальная частота. Время задержки на определённой области.
Тема 36	Пробой транзистора	Смыкание коллекторного и эмиттерного p-n переходов. Лавинный пробой коллекторного p-n перехода. Вторичный пробой.
<b>Раздел 7. Полевые транзисторы</b>		
Тема 37	Общие сведения	Разновидности полевых транзисторов в зависимости от типа канала, конструкторских и технологических особенностей.
Тема 38	МОП-транзисторы	Идеальная МДП-структура. Эффект поля в идеальной МДП-структуре. Реальная МДП-структура. Величина порогового напряжения и пути ее регулирования. Статические ВАХ МОПТ работающего в режиме

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		обогащения. Параметры МОПТ. Физическая эквивалентная схема и частотные свойства МОПТ.
Тема 39	МОПТ с коротким и узким каналами	Подпороговые токи. Уменьшение порогового напряжения. Эффект паразитного биполярного транзистора. Сквозное обеднение канала. Заряд окисла. Оптимизация структуры истоков и стоков. Особенности масштабирования МОПТ.
<b>Раздел 9. Комплементарные МОП схемы</b>		
Тема 40	Общие сведения	Схема КМОП инвертора. Передаточная характеристика по напряжению для КМОП инвертора. Топология КМОП инвертора с карманом $p$ -типа. Мощность отдельной инверторной схемы.
Тема 41	Особенности проектирования КМОП схем с технологической нормой более 0,25мкм	КМОП элементы с карманом $n$ - и $p$ - типа. Оптимальные характеристики КМОП схем.
Тема 42	Защелкивание КМОП структур	Суть явления защелкивания. Примеры сечений КМОП-инвертора с карманами $p$ - и $n$ - типа. Эквивалентная схема, моделирующая эффект защелкивания в КМОП-структуре. Пример комплементарной пары транзисторов использованной в 0,25-мкм технологическом процессе.
Тема 43	Потеря мощности в КМОП БИС	Статическая рассеиваемая мощность. Динамическая рассеиваемая мощность.
<b>Раздел 10. Полевой транзистор с затвором Шоттки</b>		
Тема 44	Пороговое напряжение	Простейшая структура ПТШ. Зависимость барьерного потенциала от материала затвора. Преимущества ПТШ.
Тема 45	Статистические ВАХ ПТШ	Статические ВАХ ПТШ: выходная, входная, проходная.
Тема 46	Характеристические частоты транзистора	Эквивалентная электрическая схема ПТШ и физические элементы схемы-структуры. Высокочастотные и низкочастотные характеристики ПТШ и их зависимость от разных факторов.
Тема 47	Современные структуры транзисторов	Буферный, активный $p$ - и $n$ -слои. Современная межэлементная изоляция. Омические контакты стока и истока.
Тема 48	Сравнительная характеристика	Положительные и отрицательные стороны полевого транзистора с управляющим $p$ - $n$ -переходом. Положительные и отрицательные стороны ПТШ.

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	полевого транзистора с управляющим р-п-переходом и ПТШ	Сравнения принципа действия.
<b>Раздел 11. Эволюция силовых полупроводниковых приборов</b>		
Тема 49		Сравнительные характеристики диодов на Si, GaAs, SiC, GaN. «За» и «против» МОП и биполярных транзисторов.
<b>Раздел 12. Мощные биполярные структуры</b>		
Тема 50	Структуры транзисторов	Транзистор с одноразовой диффузией.
Тема 51	Свойство полупроводников с высокой концентрацией носителей заряда	Изменение основных электрофизических параметров. Сужение запрещенной зоны.
Тема 52	Влияние высокого уровня легирования на коэффициент усиления по току	Плотность тока неосновных носителей эмиттере n-p-n транзистора. Увеличение коэффициента передачи тока. Число Гуммеля.
Тема 53	Тепловые свойства транзистора	Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность. Максимально допустимая температура переходов. Собственная температура. Появление вторичного пробоя.
Тема 54	Мощные биполярные СВЧ транзисторы	Общие сведения. Электрофизические характеристики различных областей транзисторной структуры. Типы транзисторных структур.
Тема 55	Гетеропереходные биполярные транзисторы	Общие сведения. Термоэлектронно-диффузионная модель.
<b>Раздел 13. МОП-транзисторные структуры</b>		
Тема 56	МОПТ как усилитель мощности	Свойства и характеристики МОПТ. Применение МОПТ.
Тема 57	Мощный МОПТ как ключевой элемент	Идеализированная вольт-амперная характеристика МОП транзистора. Энергетические параметры реальных МОПТ.
Тема 58	Влияние температуры	Изменение подвижности носителей заряда, порогового

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	на параметры и характеристики МОПТ	напряжения, тока стока, сопротивления транзистора. Тепловой коэффициент. S характеристика.
Тема 59	Геометрия и сравнительный анализ мощных МОПТ	Мощные МОПТ горизонтального (двухмерные) и вертикального (трёхмерные) типа. Сравнительная характеристика МОПТ горизонтального и вертикального типа.
<b>Раздел 14. Биполярный транзистор с изолированным затвором</b>		
Тема 60	Целесообразность создания биполярного транзистора с изолированным затвором	Недостатки биполярных транзисторов. Преимущества и недостатки полевых транзисторов.
Тема 61	Структура биполярного транзистора с изолированным затвором	Сравнительная характеристика БТИЗ и МОПТ. Разрез структуры БТИЗ. Условные графические обозначения, эквивалентные схемы БТИЗ.
Тема 62	Принцип работы БТИЗ	Процесс включения БТИЗ. БТИЗ с вертикальным затвором. Электрические параметры реальных БТИЗ.
Тема 63	Основные параметры	Наиболее важные параметры IGBT (БТИЗ).
Тема 64	Статические вольт-амперные характеристики	Включенное состояние БТИЗ. Активный режим. Выходная характеристика БТИЗ. Область насыщения. Работа при обратном напряжении.
Тема 65	Частотные характеристики транзистора	Паразитные элементы структуры БТИЗ. Эквивалентная схема с паразитными элементами в БТИЗ. Список паразитных емкостей и сопротивлений в БТИЗ. Динамические характеристики БТИЗ.
<b>Раздел 15. Тиристоры</b>		
Тема 66	Диодный тиристор	Конструкция диодного тиристора. Переключение тиристора. Шунтирование эмиттерного перехода.
Тема 67	Триодные тиристоры	Переключение триодного тиристора. Конструкция тиристора. Распределение примесей по объёму прибора. Схемное обозначение триодного тиристора. Требования к материалам изготовления тиристора.
Тема 68	Симметричные	Структура симметричного тиристора. Вольт-амперная характеристика симметричного тиристора. Особенности

№ темы по п.1	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	тиристоры	работы тиристора.
Тема 69	Включение тиристоров	Включение с помощью тока управления. Время включения, время задержки по управляющему электроду. Временные зависимости тока управляющего электрода.
<b>Раздел 16. Диоды СВЧ диапазона</b>		
Тема 70	Варактор (варикап)	Структура и принцип действия. Основные параметры. Физическая эквивалентная схема варикапа.
Тема 71	Диод Шоттки	Общие сведения. Энергетическая диаграмма контакта металл – проводник (диода Шоттки). Вольт-амперная характеристика диода Шоттки. Области применения диодов Шоттки. Структура транзистора Шоттки, схематическое изображение. Частотные ограничения диода Шоттки. Сравнительный анализ функционирования диода Шоттки и диода на p-n переходе. Типы диодов Шоттки.