

ПРОГРАММА вступительного испытания по специальной дисциплине

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Природа химической связи.

Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники. Понятие о некристаллических твердых телах. Атомная структура. Средний порядок расположения атомов

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны.

Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида.

Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф носителей заряда. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках.

Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный (p-n) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Токи носителей заряда в p-n переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в p-n переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой p-n перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с p-n переходом.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро-p-n перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях.

Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость.

Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в p-n переходе.

Термо-и гальваномагнитные эффекты. Термоэлектрические явления. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и

защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, рп-диоды, лавинно-пролетные, диоды Ганна.

Транзисторы. Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

Полевые транзисторы. Принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с р-п переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами р- и n- типов.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И2Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ)

Микросхемотехника. Цифровые и аналоговые ИС. Базовые логические элементы: ТТЛ, ЭСЛ, МОП, КМОП, ПТШ. Микропроцессоры. Полу-проводниковые ЗУ. Программируемые логические матрицы. Базовые матричные кристаллы. ЦАП–АЦП. Сигнальные микропроцессоры. ВИП и стабилизаторы напряжения. Операционные усилители. Специфика интегральных СВЧ-устройств.

Оптоэлектроника. Фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фотоматрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

Планарная технология. Общая схема техпроцесса. Минимальный топологический размер (МТР)–основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура. Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках.

Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин. Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Методы контроля качества эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок АЗВ5. Оборудование для эпитаксиального выращивания пленок. Сравнение газо-транспортной, жидкофазной, МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии.

Создание диэлектрических покрытий. Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель процесса окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников.

Структура окисла на кремнии. Перераспределение примеси при термическом окислении кремния. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений. Зарядовое состояние системы полупроводник–диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе. Связь параметров полупроводниковых приборов и ИС с зарядовым состоянием системы кремний–окисел.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей.

Ионное легирование и ионная обработка. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение.

Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

4. Испытания, надежность приборов твердотельной электроники, и изделий микро-и нанoeлектроники

Испытание изделий на устойчивость к воздействию внешних факторов: механических, климатических, радиационных. Виды испытаний: приемосдаточные, периодические, квалификационные. Особенности поведения полупроводниковых приборов и микросхем при различных видах радиационных и космических воздействий. Методы повышения радиационной стойкости приборов.

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.

Литература:

1. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А. Входной и технологический контроль материалов и структур твердотельной СВЧ электроники. М: Техносфера. 2017. 93 с.
2. Груздов В.В., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике. М.: Техносфера. 2016. 327.
3. Куэй Р. Электроника на основе нитрида галлия. М.: Техносфера 2011. 592 с.
4. Берикашвили, В. Ш. Твердотельная электроника и микроэлектроника: учебное пособие / В. Ш. Берикашвили, С. А. Воробьев. М.: МГОУ, 2010. 354с
5. Шалимова К.В. Физика полупроводников. СПб.: изд. Лань. 2010. 384 с.
6. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие/ М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. 463 с.
7. Гуртов В.А. Твердотельная электроника : учебное пособие для

вузов по направлению 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" /
В. А. Гуртов. – 2-е изд., доп. М. : Техносфера, 2008. 408 с.
8. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, ч.1 и 2. М.: Мир.1984.