

ПРОГРАММА

вступительного экзамена по специальности 2.2.2: «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

1. Физика полупроводников

Природа химической связи в полупроводниках. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: кремния, арсенида галлия.

Поликристаллические и аморфные полупроводники. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках.

Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах. Температурные зависимости.

Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Невырожденные и вырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей. Рекомбинация "зона-зона" и рекомбинация через примесные центры и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида-Холла. 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. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Лавинное умножение в полупроводниках. Эффект Ганна. Явление сверхпроводимости.

Фундаментальная система уравнений полупроводника в диффузионнодрейфовом приближении.

Электронно-дырочный p-n переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Распределение потенциала в p-n переходе. Токи носителей заряда в p-n переходе, квазиуровни Ферми. Диффузионная и барьерная емкости перехода. Пробой p-n перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Контакт металл-полупроводник. Омический и выпрямляющий контакты Шоттки.

Поверхностные состояния. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевой эффект в МДП структурах. Емкость МДП-структур.

Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Поглощение излучения в полупроводниках. Собственное и примесное поглощение излучения. Поглощение экситонами и свободными носителями заряда. Фотопроводимость.

Эффекты излучения в полупроводниках. Прямые и непрямые переходы носителей заряда.

2. Технологические процессы

Определение кристаллографической ориентации полупроводника. Ориентированная резка, шлифовка и полировка пластин.

Химическое травление и химическая полировка германия, кремния, арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки. Деформации полупроводниковых пластин. Основные виды деформаций, причины их возникновения. Методы контроля деформаций. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Практические методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей.

Ионное легирование. Методы получения электронных и ионных пучков. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, и их устранение. Методы быстрой термической обработки. Конструктивные схемы основных типов оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Эпитаксия. Практические методы эпитаксиального наращивания. Методы контроля эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных слоев. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Наращивание эпитаксиальных пленок. Оборудование для эпитаксиального наращивания пленок.

Термическое окисление кремния в парах воды, в сухом и влажном кислороде, испарение и конденсация в вакууме, анодное окисление, химическое осаждение окисла из газовой фазы. Маскирующая способность пленок двуокиси кремния. Заряженные примеси в пленках, методы измерения заряда пленок. Пленки нитрида кремния.

Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионное распыление, ионно-плазменное анодирование. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Электронолитография, рентгенолитография, ионная литография. Разрешающая способность и максимальное поле изображения. Фотошаблоны и их технология. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Методы изоляции элементов полупроводниковых ИС. Изоляция р-п-переходом. Изопланарная технология, эпок-процесс, технология "кремний на изоляторе".

Технология тонко- и толстопленочных ИС.

Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных схем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных схем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в полупроводниковых приборах и ИС.

Основные направления совершенствования СБИС. Повышение степени интеграции и быстродействия СБИС.

Организация контроля качества полупроводниковых приборов и ИС. Методы измерения статических, динамических и импульсных параметров. Методы измерения шумовых характеристик полупроводниковых приборов. Методы контроля БИС и СБИС.

Виды производственных испытаний. Количественные характеристики надежности. Эксплуатационная надежность. Надежность элементов ИС. Классификация и основные виды отказов. Механизмы отказов. Статистические и физические методы анализа и прогнозирования отказов. Методы повышения надежности полупроводниковых приборов и ИС. Действие радиации на полупроводниковые приборы и микросхемы.

3. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы. Импульсные и частотные свойства диодов. Выпрямительные и импульсные диоды. Диоды с накоплением заряда. Варикапы. Стабилитроны. Туннельные и обращенные диоды. Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна.

Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Распределение носителей в областях транзистора. Эффект Эрли. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы и математические модели транзистора: модели Эберса-

Молла, Линвилла, зарядовая.

Импульсные и частотные свойства транзисторов. Работа транзистора при высоком уровне инжекции. Пробой транзисторов и смыкание переходов. Переходные процессы в транзисторе при работе в ключевом режиме. Шумы в транзисторах. Мощные транзисторы. СВЧ-транзисторы.

Тиристоры, принцип их действия и классификация. Основные параметры и характеристики.

Полевые транзисторы: с МДП-структурой, с р-n переходом, с барьером Шоттки. МДП- транзисторы с индуцированным и встроенным каналами. Принцип действия. Модуляция длины канала. Основные параметры и характеристики полевых транзисторов. Эффекты короткого канала. Эквивалентные схемы полевого транзистора. Частотные и импульсные свойства полевого транзистора. Шумы полевого транзистора. МНОП-структуры.

Интегральные микросхемы. Классификация ИС по конструктивно-технологическому и функциональному признакам. Элементы и компоненты тонко- и толсто пленочных гибридных ИС. Проектирование пленочных резисторов и конденсаторов. Элементы полупроводниковых ИС на биполярных транзисторах: диоды, разновидности транзисторов, резисторы, конденсаторы; проектирование транзисторов, резисторов, конденсаторов. Элементы ИС на МОП- транзисторах; проектирование топологии элементов МОП-ИС.

Особенности проектирования унифицированных и специализированных СБИС. Проектирование заказных СБИС на основе библиотечных элементов.

Проектирование БИС на основе базовых матричных кристаллов. Проектирование СБИС на основе ПЛИС. Языки описания проектов. Автоматизация проектирования ИС.

Элементная база СБИС. Приборы с зарядовой связью. Основные характеристики и области применения.

Оптоэлектронные приборы. Назначение и области применения. Фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, лавинные фотодиоды. Полупроводниковые излучатели: светодиоды, электролюминесцентные приборы, лазеры. Оптроны и оптоэлектронные интегральные микросхемы. Акусто- электроника, магнитоэлектроника, криоэлектроника.

4. Микросхемотехника

Классификация интегральных схем по функциональному признаку. Аналоговые интегральные схемы. Источники тока, источники напряжения. Дифференциальный каскад. Операционные усилители (ОУ).

Цифровые интегральные схемы и их классификация. Электронные ключи. Диодные ключи. Ключи на биполярных транзисторах. Ключи на МД11-транзисторах. Основные законы алгебры логики. Способы представления логических функций. Методы минимизации логических функций. Выполнение арифметических операций. Функционально-полные системы логических элементов. Проектирование логической структуры цифровых микросхем.

Номенклатура цифровых ИС. Основные параметры и характеристики цифровых ИС. Основные типы логических элементов на биполярных транзисторах. Транзисторнотранзисторные логические элементы (ТТЛ, ТТЛТТТ). Эмиттерно-связанные логические элементы (ЭСЛ). Логические элементы с инжекционным питанием (ИЗЛ). Основные типы логических элементов на МД11-транзисторах с одинаковыми и дополняющими типами проводимости.

Интегральные триггеры, принципы построения и основные характеристики. Классификация и структура триггеров. Реализация триггеров на элементах ТТЛ, ЭСЛ. Триггеры на МДП-транзисторах. Комбинационные цифровые ИС. Дешифраторы. Преобразователи кодов. Сумматоры. Последовательностные цифровые интегральные схемы. Регистры. Счетчики. Полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ). Оперативные ЗУ на биполярных и полевых транзисторах. Основные типы запоминающих элементов (ЗЭ). Динамические ЗУ, их организация и структура. Постоянные ЗУ (ПЗУ). Программируемые ЗУ. Программируемые логические матрицы и ПЛИС. Микропроцессоры.

5. Твердотельные приборы и устройства сверхвысоких частот

Эквивалентное представление ячейки передающей линии и вывод волнового уравнения для комплексных амплитуд напряжения и тока. Комплексная постоянная распространения. Падающая и отраженные волны. Волновое сопротивление. Фазовая скорость и длина волны в линии. Коэффициенты отражения. Коэффициент стоячей волны. Круговая диаграмма.

Общие свойства и основные типы волн в волноводах, и коаксиальных и полосковых линиях. Волноводно-щелевые и диэлектрические волноводы. Затухание в линии. Волновое сопротивление линии. Основные типы и параметры резонатора. Добротность резонаторов и методы ее измерения.

Направляющие элементы СВЧ трактов (мостовые устройства и направленные ответвители). Ферриты на СВЧ. Эффект Фарадея. Ферритовые вентили, циркуляторы и резонаторы. Фазовращатели и коммутаторы СВЧ. Полосовые фильтры на мик- рополосковых линиях. Фильтры верхних и нижних частот. Способы задания частотной характеристики полосового пропускающего фильтра. Определение числа звеньев фильтра для случаев аппроксимации Чебышева и Баттерворда.

Варакторные диоды СВЧ, рпн-диоды, диоды с барьером Шоттки,

туннельные и обращенные диоды. Эквивалентные схемы и применение диодов. Лавиннопролетные диоды, инжекционно-пролетные диоды и диоды Ганна. СВЧ генераторы, усилители, умножители и преобразователи частоты на лавинно-пролетных диодах и диодах Ганна.

СВЧ биполярные и полевые транзисторы и их специфика. Эквивалентные схемы СВЧ транзисторов и их применение. Тенденции развития современных полупроводниковых СВЧ приборов и устройств. Полупроводниковые приборы на размерных квантовых эффектах. СВЧ интегральные устройства. Технологические и конструктивные основы СВЧ ИС. Пассивные СВЧ устройства и их элементная база.

6. Приборы на квантовых эффектах

Нанотехнология. Нанoeлектроника. Принцип неопределенности. Квантование энергии электронов в потенциальной яме. Уравнение Шредингера. Туннельный эффект. Коэффициент прохождения и коэффициент отражения при туннелировании частиц.

Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Классификация СТМ. Режимы работы СТМ. Основные принципы туннельно-зондовой нанотехнологии.

Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Особенности прохождения электронов через наноразмерные структуры. Понятия о квантовых ямах, потенциальных барьерах, квантовых проволоках и точках. Туннельные транзисторы. Гетеропереходные структуры с высокой подвижностью носителей на основе GaAs. Транзисторы на горячих электронах. Резонансно-туннельный диод. Транзисторы с резонансным туннелированием.

Оптонанoeлектроника. Квантовые вычисления. Квантовые принципы обработки и передачи информации.

Литература

- [1]. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2000.
- [2]. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанoфотоника. Лань. 2017, 544 с.
- [3]. Бульчев А. Л. Электронные приборы. - М.: Лайт Лтд., 2008.
- [4]. Ермуратский П.В., Лычкина Г.П., Минкин Ю.Б. Электротехника и электроника. ДМК пресс. 2016, 416 с
- [5]. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. - М.: Физматлит, 2002.
- [6]. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. - М.: Постмаркет, 2009.
- [7]. Павлов П.И., Хохлов А.М. Физика твердого тела. Ленанд. 2015. 496 с.
- [8]. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. Лань. 2010, 400с.

- [9]. Гуртов В. А., Осауленко Р. Н. Физика твердого тела для инженеров. Учебное пособие. М: Техносфера. 2012, 561 с.
- [10]. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Данилюк А.Л. Нанoeлектроника: теория и практика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. -366 с.
- [11]. Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. Физика конденсированного состояния. Бином. Лаборатория знаний. 2014. 296 с.
- [12]. Пул Ч., Ф. Оуэнс Нанотехнологии Техносфера, 2010 г.
- [13]. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И., Вологжанина С. А., Петкова А.П. Нанотехнологии и специальные материалы Химиздат, 2009.
- [14]. Ефимов И. Е., Козырь И. Я. Основы микроэлектроники. - М, Лань, 2008.
- [15]. Плотников Г.С., Зайцев В.Б. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники. Учебное пособие для вузов. Юрайт. 2017. 166 с.

Программу составил к.т.н.,
зав. кафедрой физики

Е.Ю. Передистов

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе

А.В. Шестаков

Начальник УНРПНК

А.А. Нестеров