

## I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

1. Электронные состояния атомов и твердых тел. Структура таблицы Д. И. Менделеева на примере электронных конфигураций элементов III, IV и V групп. Электронная конфигурация атомов германия и кремния. Донорные и акцепторные примеси. Энергетические зонные диаграммы собственных и примесных полупроводников.
2. Механизм электрической электронной и дырочной проводимости собственных и примесных полупроводников. Двумерные (плоские) модели структуры решёток собственных и примесных полупроводников элементов IV группы.
3. Вычисление концентрации свободных носителей заряда (СНЗ) и определение положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Функция распределения Ферми–Дирака. Расчёт максимальной плотности разрешённых состояний. Распределение СНЗ по энергиям в зоне проводимости и валентной зоне. Условия электрической нейтральности. Закон действующих масс, произведение концентраций СНЗ для равновесного и неравновесного стационарных состояний.
4. Электрический ток в полупроводниках. Диффузионный и дрейфовый потоки и токи. Подвижность, дрейфовая скорость, скорость диффузии СНЗ. Уравнения переноса. Управление токами проводимости. Соотношение Эйнштейна. Сопротивление, проводимость, удельное сопротивление и удельная проводимость полупроводников.
5. Физический смысл и обоснование уравнений непрерывности. Решения уравнений непрерывности для стационарной инжекции неосновных носителей заряда (ННЗ) в полубесконечный образец и образец конечных размеров, больших и меньших диффузионной длины ННЗ. Рекомбинационное время жизни. Диффузионная длина ННЗ. Диффузионный треугольник и градиент концентрации ННЗ.

## II. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ.

1. Электронно-дырочный *p-n* переход. Формирование. Диффузионно-дрейфовое равновесие. Энергетические зонные диаграммы *p-n* перехода для нулевого, прямого и обратного смещений. Формирование прямого и обратного токов проводимости. Определение пространственного распределения концентрации ННЗ из решения уравнений непрерывности. Контактная разность потенциалов. Вывод соотношений, связывающих концентрации ННЗ с напряжением на переходе. Электрическое поле и размеры области пространственного заряда (ОПЗ) резкого *p-n* перехода.  
Вывод вольтамперной характеристики (ВАХ) идеального *p-n* перехода. Допущения модели Шокли.  
Влияние генерации СНЗ в ОПЗ при обратных смещениях, рекомбинации СНЗ в ОПЗ при прямых смещениях, поля в базе при высоком уровне инжекции ННЗ на ВАХ идеального *p-n* перехода. ВАХ в полулогарифмических координатах.  
Барьерная и диффузионная ёмкости *p-n* перехода. Определение. Вывод. Особенности.  
Обоснование малосигнальной эквивалентной схемы полупроводникового диода.
2. Туннельный и обращённый диоды. Энергетическая зонная диаграмма, распределение концентрации СНЗ по энергиям в зонах *p-n* перехода для вырожденного полупроводника. Качественное обоснование ВАХ.
3. Диоды Шоттки. Формирование выпрямляющих контактов *металл-n-полупроводник*. Энергетические зонные диаграммы для нулевого, прямого и обратного смещений. Вывод ВАХ. Особенности диодов Шоттки.

## III. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ (БТ).

1. Принцип работы. Статические параметры для схем с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ). Формирование и структура токов проводимости, распределение концентрации неосновных носителей заряда (ННЗ), энергетические зонные диаграммы для активного режима работы *p-n-p* и *n-p-n* транзисторов. Режимы работы: активный, режим насыщения, режим отсечки.
2. Токи насыщения. Остаточные токи. Соответствующие пространственные распределения концентрации ННЗ. Механизм управления токами проводимости.
3. Модель Эберса-Молла. Уравнения постоянных токов проводимости: обоснование и различные представления уравнений. Статическая схема замещения БТ.
4. Входные и выходные вольтамперные характеристики для схем с общей базой (ОБ) и общим эмиттером (ОЭ). Определение. Аналитические выражения (вывод из уравнений Эберса-Молла). Характеристика общего вида семейства. Графические представления в масштабе больших и малых токов. Физическое и аналитическое обоснование сдвига характеристик по осям токов и напряжений. Характерные токи, точки и области семейства. Соответствующие распределения концентрации ННЗ. Обоснование механизма усиления тока базы в схеме с ОЭ.
5. Динамические свойства БТ. Малосигнальная эквивалентная схема БТ, обоснование. Частотные зависимости коэффициентов передачи токов в схеме с ОБ и ОЭ. Граничные частоты. Низкочастотная эквивалентная схема БТ, определение *h*-параметров.

## IV. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ (ПТ)

1. Принципы работы и структура ПТ. Классификация и особенности ПТ.
2. Полевой МОП-транзистор с индуцированным и встроенным каналом. Принцип действия. Физические свойства структуры металл-окисел-полупроводник: заряд поверхности, поверхностный потенциал, пороговый потенциал сильной инверсии; энергетические зонные диаграммы для состояния инверсии. Расчет погонной плотности заряда электронов инверсионного слоя *n*-канального МОП-транзистора и проводимости канала.
3. Параметры ПТ: пороговое напряжение затвора, напряжение насыщения, ток насыщения, проводимость канала, крутизна, напряжение пробоя.
4. Выходные вольтамперные (стоковые) и передаточные (сток – затворные) характеристики. Аналитический вывод, приближённые выражения, характерные области и параметры.
5. Дифференциальные параметры, соотношения между дифференциальными параметрами.
6. Ёмкости ПТ. Малосигнальная эквивалентная схема. Частотные свойства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шинкаренко В.Г. Полупроводниковые приборы. МФТИ, 2011.
2. Шишкин Г.Г. (ред.). Электронные приборы. Энергоатомиздат, 1989.
3. В.В.Пасынков, Л.К.Чиркин. Полупроводниковые приборы. М., Лань. 2006.
4. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М. 2001.
5. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. М., Высшая школа. 1991.
6. Митяшев Б.Н. Полупроводниковые приборы. МФТИ, 1978.