

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ИЗУЧЕНИЕ ВЫПРЯМЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА**

Учебно-методическое пособие

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2019

Содержание

Содержание.....	3
Введение.....	4
1. Принципы формирования и характеристики различных типов р-п переходов	5
1.1. Электронно-дырочный переход.....	5
1.2. Свойства р-п перехода.....	14
1.3. Анализ р-п перехода в неравновесном состоянии.....	16
1.5. Пробой р-п перехода	20
1.6. Влияние температуры на свойства р-п перехода.....	23
2. Практическая часть.....	25
2.1.Измерительная установка.....	26
2.2. Проведение измерений.....	27
3. Контрольные вопросы	28
4. Список рекомендуемой литературы	29

Правая часть объема n имеет электронную проводимость, и в ней преобладают донорные примеси. Левая часть объема p имеет дырочную проводимость, и в ней преобладают акцепторные примеси.

В отсутствие контакта концентрации электронов и дырок в обеих частях резко различаются: концентрация электронов в объеме n значительно превышает их концентрацию в объеме p , а концентрация дырок в объеме p значительно превышает их концентрацию в объеме n .

Дырки в полупроводнике p -типа и электроны в полупроводнике n -типа называются **основными носителями** в отличие от **неосновных** (электроны в полупроводнике p -типа и дырки в полупроводнике n -типа), которые генерируются из-за тепловых колебаний атомов кристаллической решетки.

При наличии контакта между рассматриваемыми областями градиент концентрации носителей заряда по обе стороны от границы раздела является движущей силой начинающихся диффузионных процессов: происходит проникновение электронов из объема n в объем p и обратное перемещение дырок.

Это перемещение приводит к появлению в объеме p нескомпенсированного отрицательного объемного заряда, создаваемого ионами акцепторной примеси, а в объеме n — положительного объемного заряда, создаваемого положительными ионами донорной примеси.

В результате ухода основных носителей заряда на границе разнотипных полупроводников создается обедненный подвижными носителями слой, в котором в n -области будут находиться **положительные ионы донорной примеси**; а в p -области - **отрицательные ионы акцепторной примеси**.

Заряды в обеих областях распределяются в тонком слое (объеме) около границы раздела, поэтому они носят название объемных зарядов (рис. 1). Объемные заряды создают электрическое поле, которое начинает препятст-

А

водить перемещению (диффузии) носителей, стремясь возвратить их обратно в *n*- и *p*-области.

Этот обедненный подвижными носителями слой протяженностью в доли микрона и является *электронно-дырочным переходом*.

Электронно-дырочный переход обладает рядом свойств, к основным из которых относятся его выпрямляющие свойства, а также температурные и частотные характеристики.

Выпрямляющие свойства *p-n* перехода связаны с преобразованием переменного электрического (двуполярного) тока в постоянный или пульсирующий (однополярный).

Температурные свойства *p-n* перехода определяют, как изменяется работа *p-n* перехода при изменении температуры.

Частотные свойства *p-n* перехода показывают, как работает *p-n* переход при подаче на него переменного напряжения высокой частоты. Частотные свойства *p-n* перехода определяются двумя видами ёмкости перехода:

- ёмкость, обусловленная неподвижными зарядами ионов донорной и акцепторной примеси. Она называется зарядовой, или барьерной ёмкостью;
- диффузионная ёмкость, обусловленная диффузией подвижных носителей заряда через *p-n* переход при прямом включении.

Таким образом, чем меньше величина ёмкости *p-n* перехода, тем на более высоких частотах он может работать.

В основе принципа работы многих полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров и др.) и интегральных схем различной степени интеграции лежат выпрямительные свойства *p-n* перехода, которые в значительной степени зависят от того, насколько резкая граница между *p*- и *n*-слоями.

В **плавном *p-n* переходе** концентрация примесей меняется монотонно, поэтому он обладает плохими выпрямительными свойствами (рис.2б).

Плавные p-n- переходы получают методом диффузионной технологии, когда осуществляется диффузия, например, акцепторной примеси в донорный полупроводник или наоборот. Так как концентрация легирующей примеси при диффузии уменьшается вглубь образца постепенно, образуется плавный p-n- переход, границей которого и будет граница областей кристалла с электронным или дырочным типом проводимости.

Резкий p-n- переход можно получить методами ионной имплантации и металлургическим сплавлением. Переход считается **резким** в том случае, когда концентрация примесей в нем существенно меняется на отрезке, меньшем L_D^1 (рис.2 а).

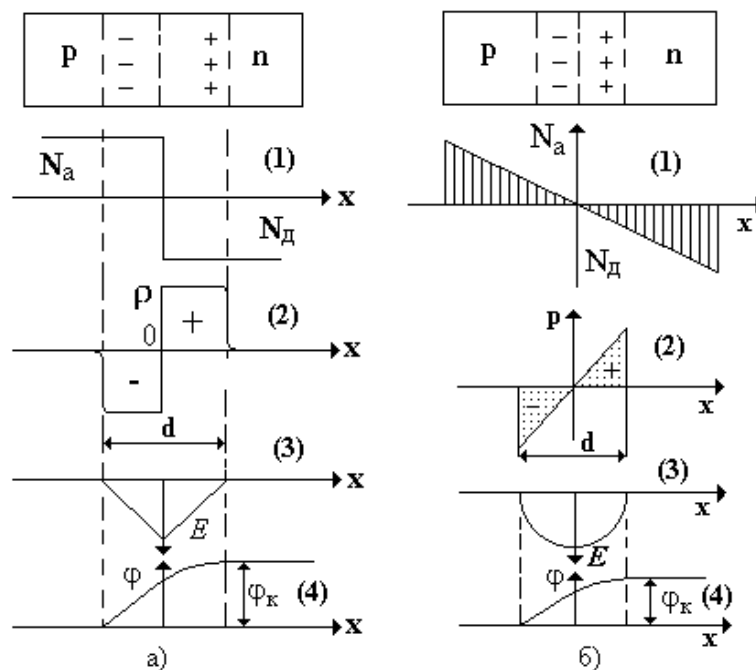


Рис. 2. Распределение концентрации примесей (1), плотности объемного заряда (2), электрического поля (3), потенциала (4) для резкого (а) и плавного (б) p-n-перехода.

¹ ДЕБАЕВСКИЙ РАДИУС ЭКРАНИРОВАНИЯ - расстояние, на которое распространяется в проводящих средах действие электростатического поля отдельной заряженной частицы. В металлах дебаевский радиус порядка 10^{-8} см. В обычных полупроводниках при комнатной температуре дебаевский радиус порядка 10^{-4} см.

При скачкообразном изменении концентрации примесей переход называется **ступенчатым**.

Переходы классифицируются также по соотношению концентраций основных носителей в слоях p и n; при этом различают **симметричные** переходы, имеющие одинаковую концентрацию основных носителей в слоях ($p_p \approx n_n$), и **несимметричные переходы (рис.3)**, имеющие различную концентрацию основных носителей в слоях ($p_p \gg n_n$ или $n_n \gg p_p$).

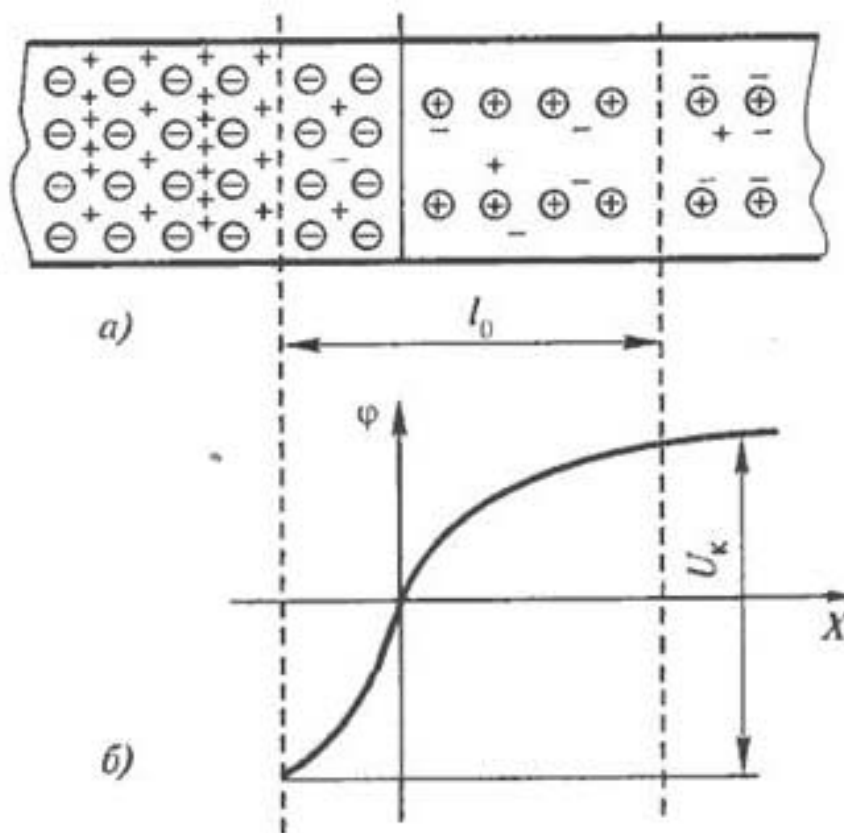


Рис. 3. Несимметричный p-n-переход

а – структура p-n-перехода («-» и «+» - электроны и дырки, а в кружочках – положительные и отрицательные ионы соответственно),

б – распределение потенциала

Наибольшее распространение получили несимметричные переходы, в которых концентрации основных носителей различаются в несколько раз.

Равновесное состояние p - n перехода представлено на рис. 4. При образовании p - n перехода (рис. 4, а) начинается процесс диффузии, обусловленный разностью уровней Ферми основных носителей в этих областях. Этот процесс идет до тех пор, пока не сравняются уровни Ферми в n - и p -частях (рис. 4, б).

При отсутствии внешнего воздействия в p - n переходе устанавливается тепловое равновесие.

Для p -области основными носителями являются дырки, концентрацию которых обозначим через p_p .

Для n -области основными носителями являются электроны, концентрацию которых обозначим n_n .

Неосновными носителями являются равновесные концентрации p_n - дырок в электронной области и n_p - электронов в дырочной (рис. 4, в).

Характерной особенностью p - n перехода является образование потенциального барьера и возникновение объемного заряда на его границе.

Вследствие того, что полупроводник n -типа имеет концентрацию электронов намного большую, чем дырочный ($n_n \gg p_p$), часть электронов диффундирует в полупроводник p -типа. В результате в полупроводнике n -типа образуется объемный заряд ρ положительного знака (рис. 4, г) и электрическое поле распространяется вглубь полупроводника на глубину L_n в n -область и глубину L_p в p -область. Общая ширина области объемного заряда равна $L_o = L_p + L_n$.

Результирующее электрическое поле, получившееся вследствие диффузии, направлено от n - к p -области таким образом, что оно препятствует диффузионному переходу основных носителей и создает дрейфовый ток неосновных носителей.