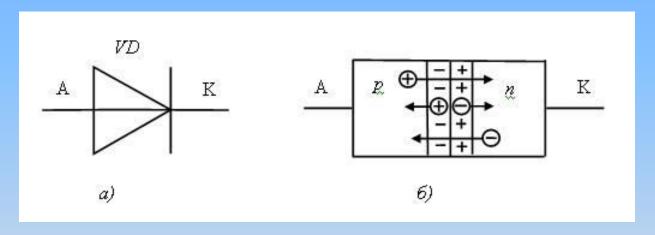


р-п-переход

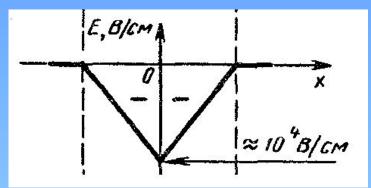
Контакт двух полупроводников одного вида с разным типом проводимости называется *электронно-дырочным* или *p-n-переходом*



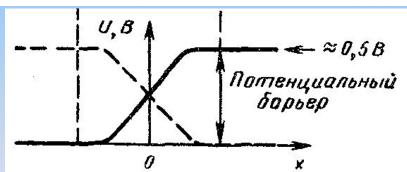
Условное обозначение (*a*) и структура (*б*) полупроводникового диода



Электронно-дырочный переход плоскостной полупроводниковый диод

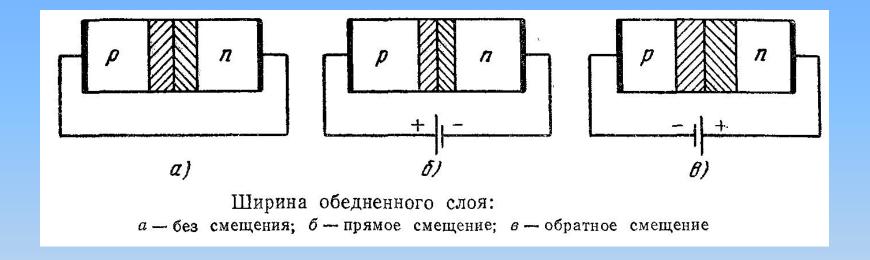


На рис. показана напряженность поля E. Она отрицательна, так как электрическое поле имеет направление, обратное (принятому за положительное) направлению отсчета расстояния x. При x=0 напряженность поля порядка 10^4 B/cm.



Зависимость электрического потенциала вдоль оси *х* от расстояния до границы раздела. Свободные положительные заряды-дырки находятся слева, и разность потенциалов рис. является для них потенциальным барьером, который они должны преодолеть, чтобы перейти слева направо.

Вольт-амперная характеристика р-п перехода



Снабдив *p-n* переход омическими контактами, одинаково хорошо проводящими ток в любом направлении, получим плоскостной диод.

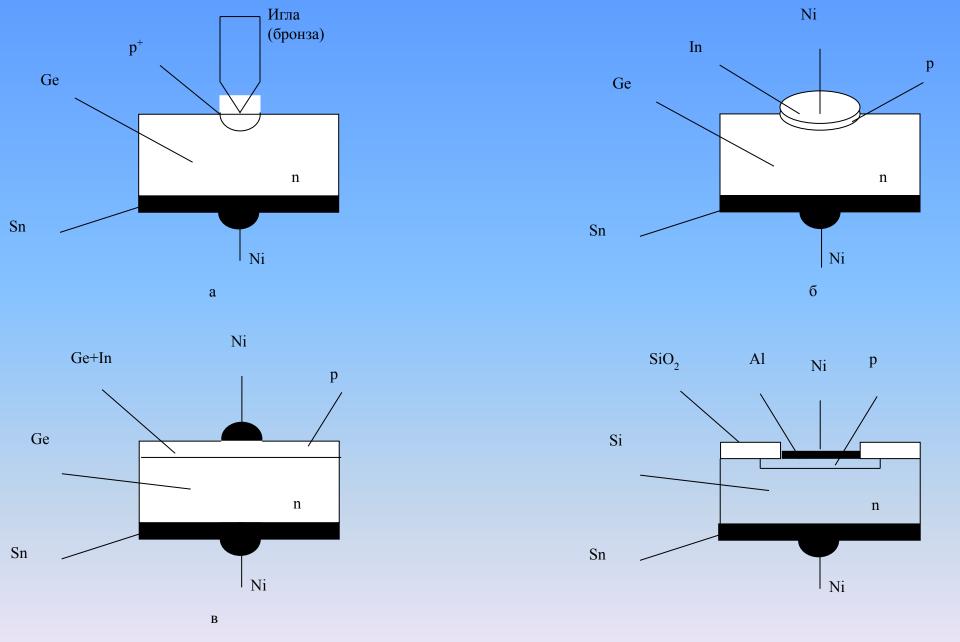


Рис. 1. Структуры полупроводниковых диодов: точечного (a); сплавного (б); диффузионного (в); планарного (г)

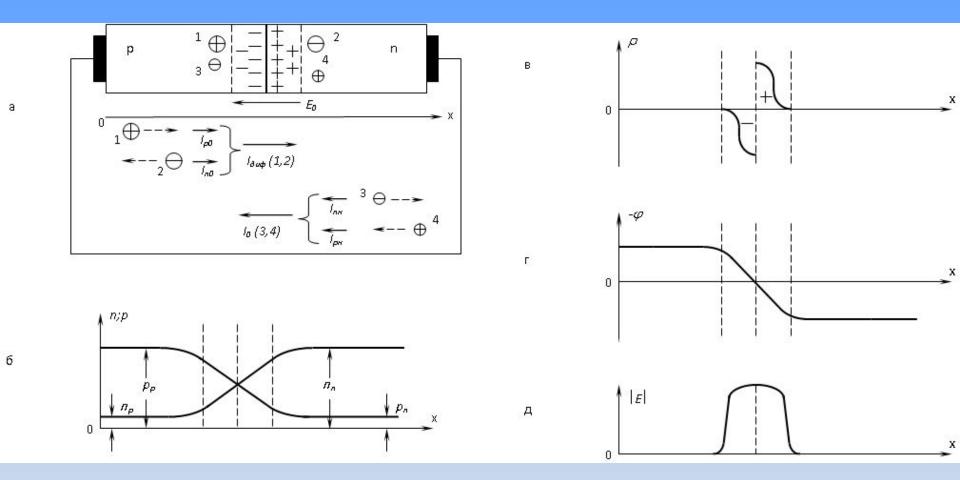


Рис. 2. Симметричный p-n — переход: а- схематичное изображение; б- концентрация подвижных носителей зарядов; в- объемная плотность подвижных зарядов; г-потенциал; д-напряженность поля

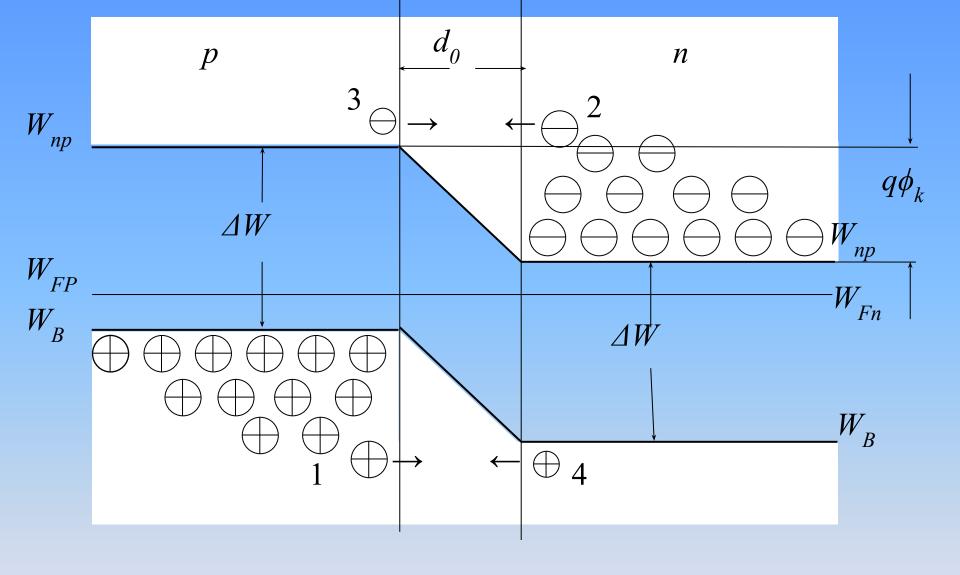


Рис.3. Энергетическая диаграмма *p-n*-перехода в равновесном состоянии

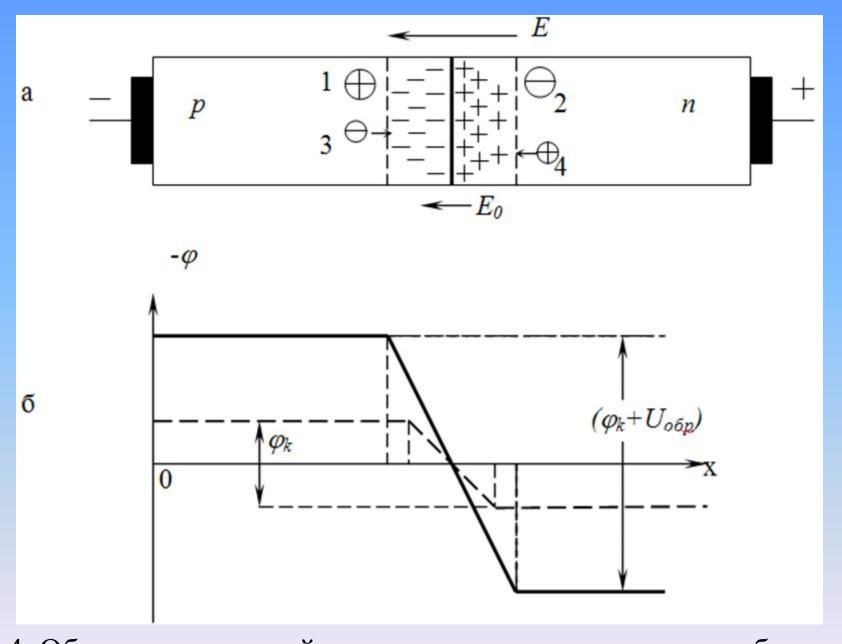


Рис.4. Обратносмещенный p-n-переход: схематическое изображение (а), распределение потенциала (б)

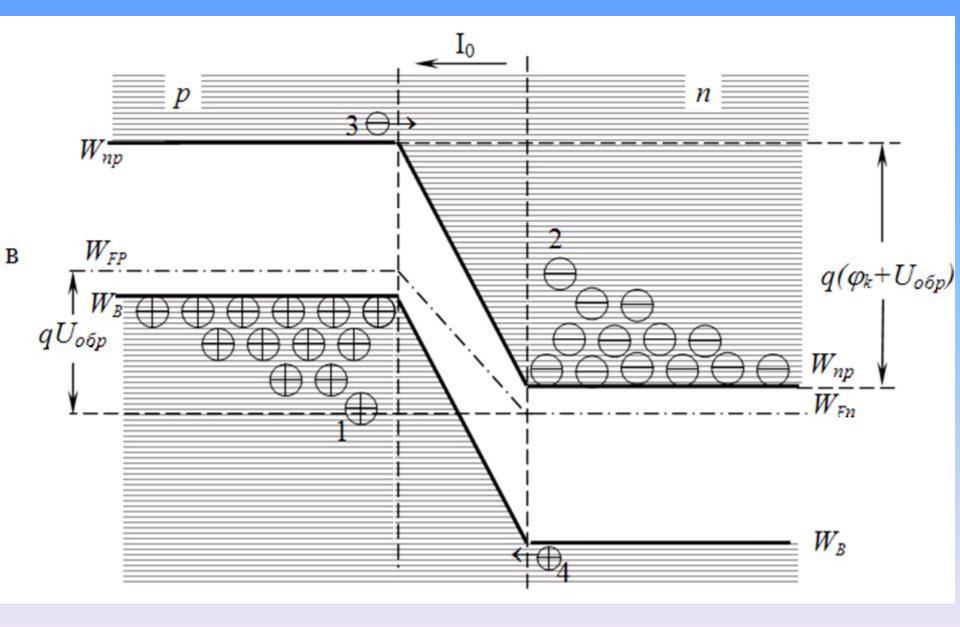


Рис.4. Обратносмещенный *р-п*-переход: зонная диаграмма (в)

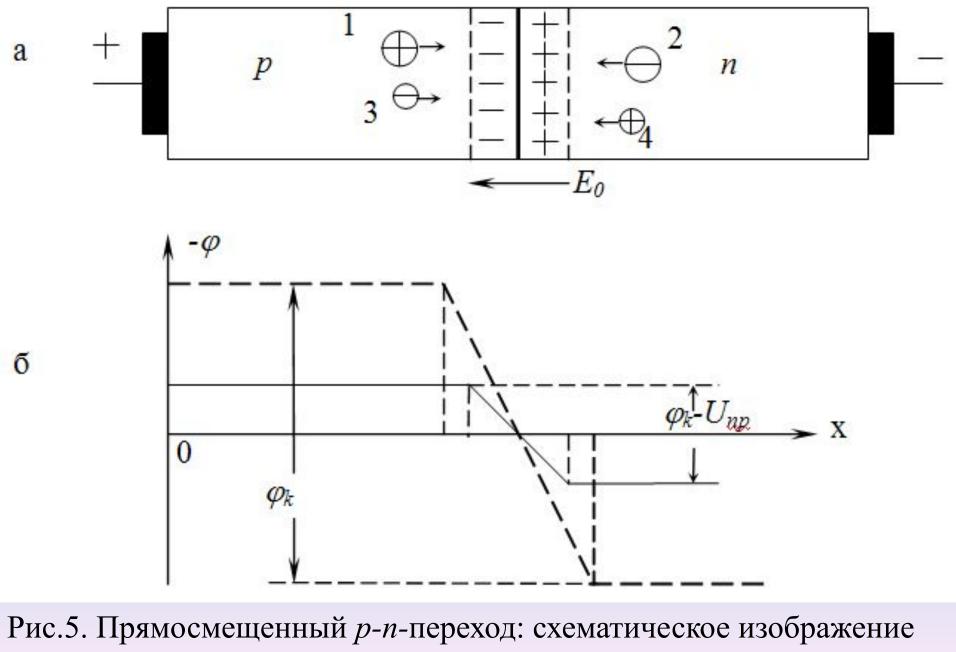


Рис.5. Прямосмещенный p-n-переход: схематическое изображение (а), распределение потенциала (б)

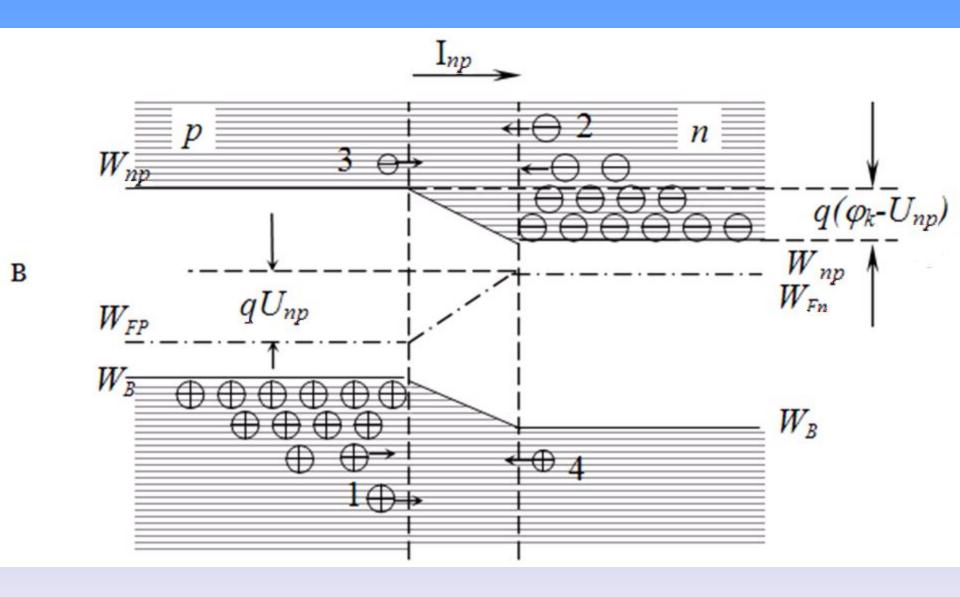


Рис. 5. Прямосмещенный *p-n*-переход: зонная диаграмма (в)

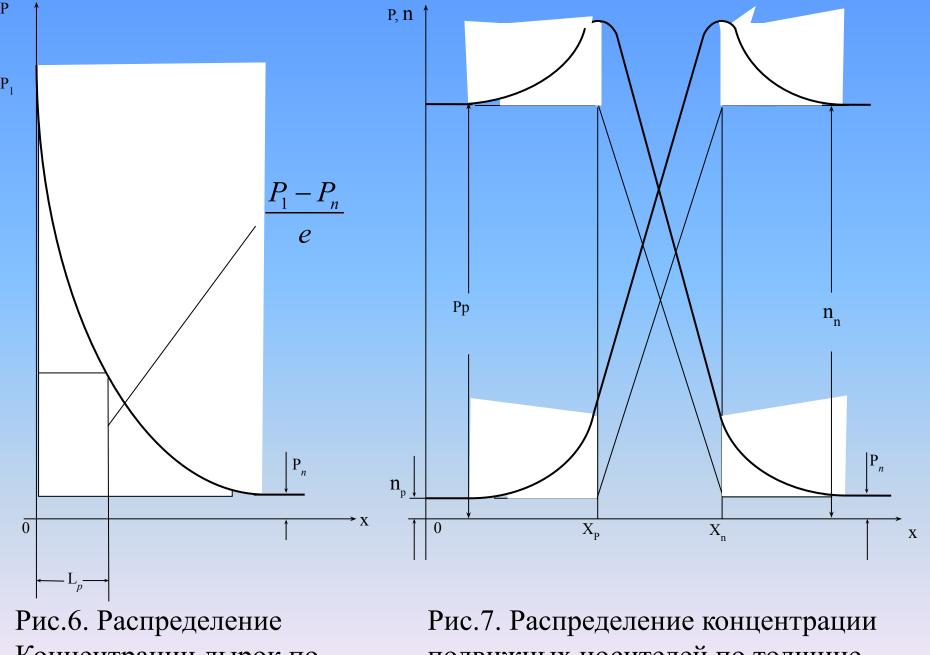


Рис.6. Распределение Концентрации дырок по толщине *n* — области

Рис.7. Распределение концентрации подвижных носителей по толщине полупроводникового диода

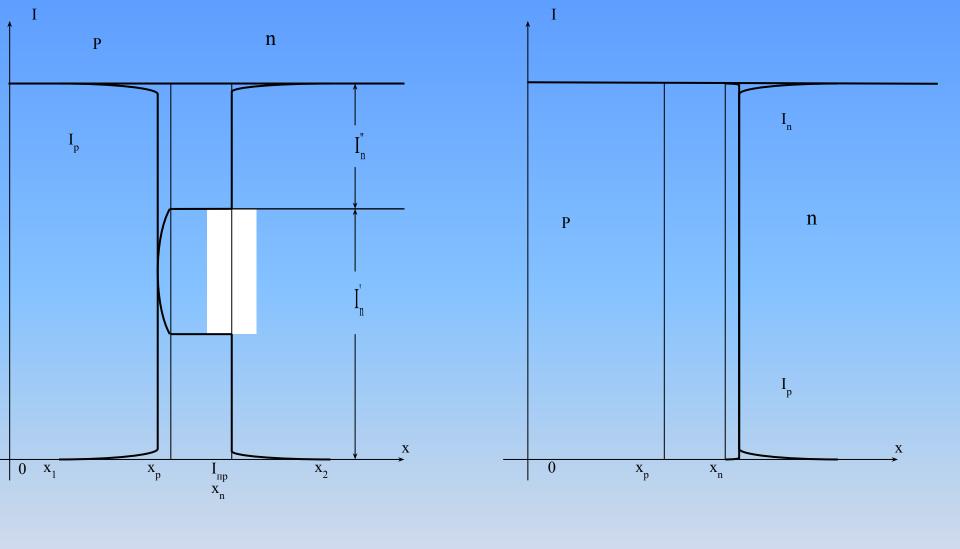


Рис.8. Распределение токов по длине симметричного *p-n-* перехода при прямом включении

Рис.9. Распределение концентрации токов по длине резко несимметричного p^+ -n-перехода при прямом включении

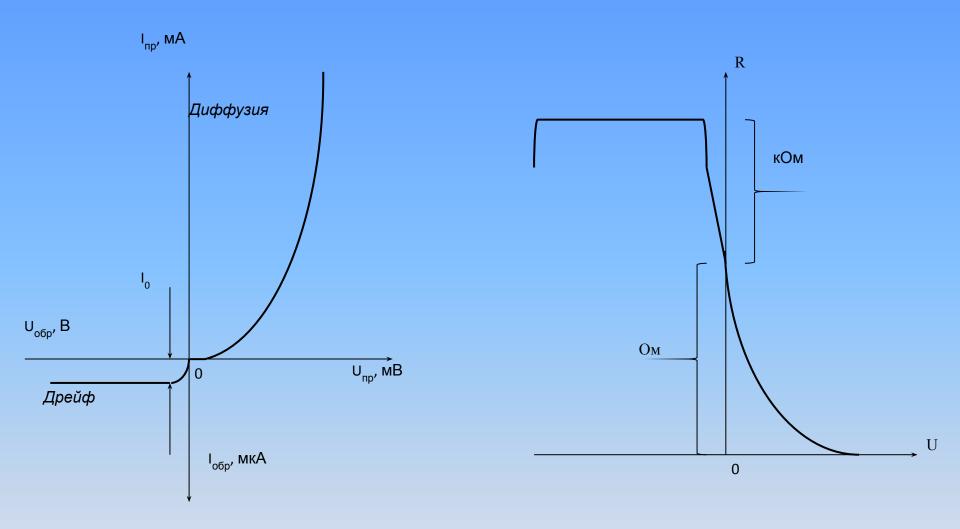
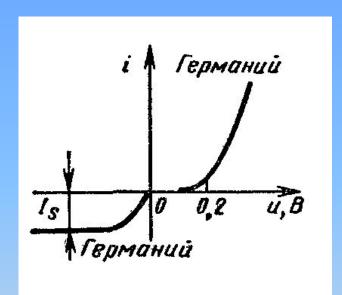


Рис.10. Вольт – амперная характеристика идиализированного *p-n*перехода

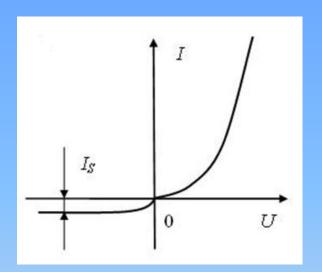
Рис.11. Вольт — омная характеристика *p-n*-перехода

Вольт-амперная характеристика р-п перехода



Уже при сравнительно небольших отрицательных напряжениях обратный ток равен току насыщения I_s . Этот ток создается неосновными носителями: электронами p-области и дырками n-области, переходу которых из одной области в другую способствует потенциальный барьер вблизи границы раздела. При увеличении обратного напряжения ток не увеличивается, так как на границе перехода число неосновных носителей в единицу времени определяется лишь температурой и не зависит от приложенного извне напряжения, если оно не очень велико.

Вольт-амперная (ВАХ) характеристика р-п перехода



Диод – пассивный нелинейный полупроводниковый прибор, с двумя электродами – анодом и катодом.

Он проводит ток в прямом направлении, когда к аноду приложен положительный потенциал "+", а к катоду отрицательный "-" Он не проводит ток в обратном направлении. Называется пассивным, потому, что не усиливает мощность. Диод является нелинейным элементом, поэтому его ВАХ (вольтамперная характеристика) нелинейная.

Анод

Катод

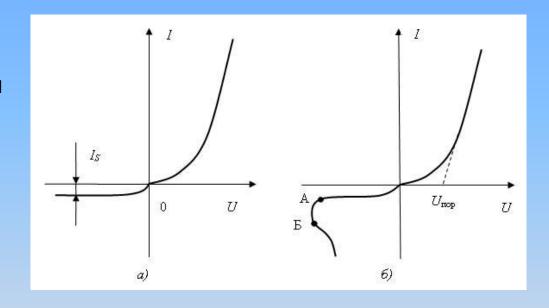
Статическая вольт-амперная характеристика идеального диода

Когда диод начинает проводить ток, на нем возникает падение напряжения. Постоянный прямой ток Іпр. может быть 10-20 мА, постоянный обратный ток Іобр. 1-2 мкА. - для диодов общего назначения, Іобр. обычно не принимают во внимание до тех пор, пока постоянное обратное напряжение U обр. не достигнет напряжения пробоя, в этом случае Іобр. возрастает до значений I пр. и диод выходит из строя, Іпр. также не может превышать I макс. Германиевые диоды открываются при U пр. = 0,2-0,4 В, кремниевые - 0,6-0,8 В. Германиевые диоды имеют меньшее сопротивление в прямом направлении, чем кремниевые, порядка 100 Ом, их обратное сопротивление больше 100 000 Ом, прямые и обратные сопротивления у кремниевых диодов выше. С повышением температуры Іпр. и I обр. увеличиваются. Д226 – германиевый диод. КД102 – кремниевый диод.

Зависимость тока через диод от напряжения на диоде называется вольт-амперной характеристикой диода. Теоретическое описание ВАХ идеального диода с *p-n*-переходом, полученное У. Шокли:

$$I = I_S \left(e^{U/\varphi_T} - 1 \right),$$

где U – напряжение на p–n-переходе диода; I_S – ток насыщения; $\phi_T = kT/q$ – тепловой потенциал при T = 300 K, ϕ_T = 25 мВ.



Статические вольт-амперные характеристики идеального *p*–*n*-перехода (*a*) и реального диода (*б*)

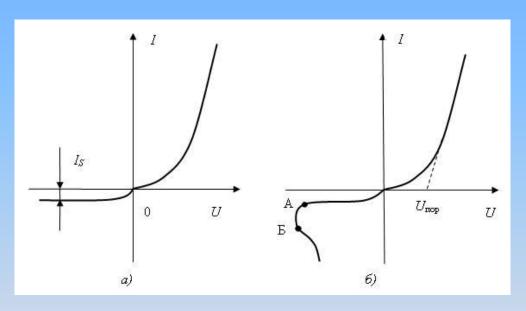


При положительных и отрицательных напряжениях *U,* больших по модулю 0,1 B, BAX описывается упрощенным выражением:

$$I = I_S e^{U/\varphi_T}$$
.

При протекании большого прямого тока через диод падение напряжения возникает не только на p-n-переходе, но и на объемном сопротивлении полупроводника R. Реальная BAX описывается выражением

$$I = I_{S}e^{(U-IR)/\varphi_{T}}$$
.



Статические вольт-амперные характеристики идеального *p*-*n*-перехода (*a*) и реального диода (*б*)



Параметры полупроводникового диода

• Коэффициент выпрямления $K_{_{\rm B}}$, который определяется как отношение прямого тока к обратному при одинаковой (по модулю) величине прямого и обратного напряжений (например: ± 0.01 ; ± 0.1 ; ± 1.8).

Для идеального диода $K_{_{\mathrm{B}}}$ = 1 при U = ±0,01 В. При U = ±1 В $K_{_{\mathrm{B}}}$ = 2,8·10²⁰

- Максимально допустимый прямой ток $I_{\rm np\ max}$, превышение которого приводит к недопустимому разогреву и тепловому пробою. $I_{\rm np\ max}$ справочное значение.
- Свойства полупроводниковых диодов сильно зависят от температуры.



Параметры полупроводникового диода (продолжение)

- Максимально допустимое обратное напряжение $U_{
 m oбp\ max}$ важный предельный параметр выпрямительных диодов и составляет для диодов малой мощности десятки-сотни вольт.
- Дифференциальное сопротивление диода: $r_{_{\mathrm{I\!I}}} = dU/dI.$
- Статическое сопротивление диода (сопротивление постоянному току):

$$R_{\text{\tiny JL.CT}} = U/I.$$



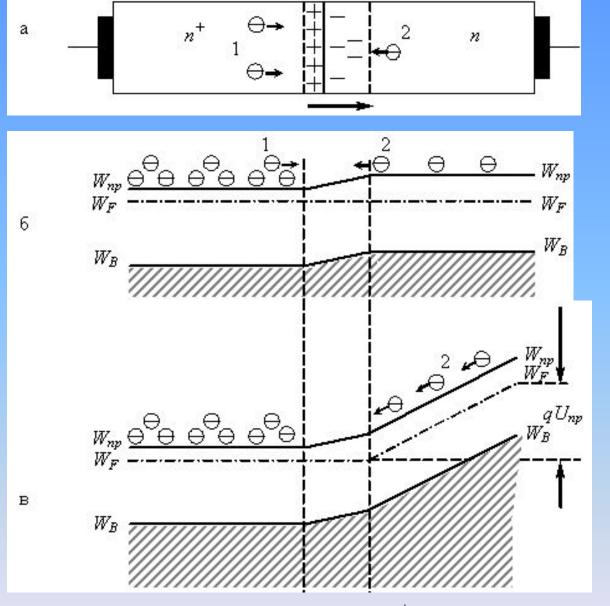


Рис. 12. Электрический переход типа n^+ - n: схематическое изображение (а), зонные диаграммы для равновесного состояния (б), при прямом включении (в)

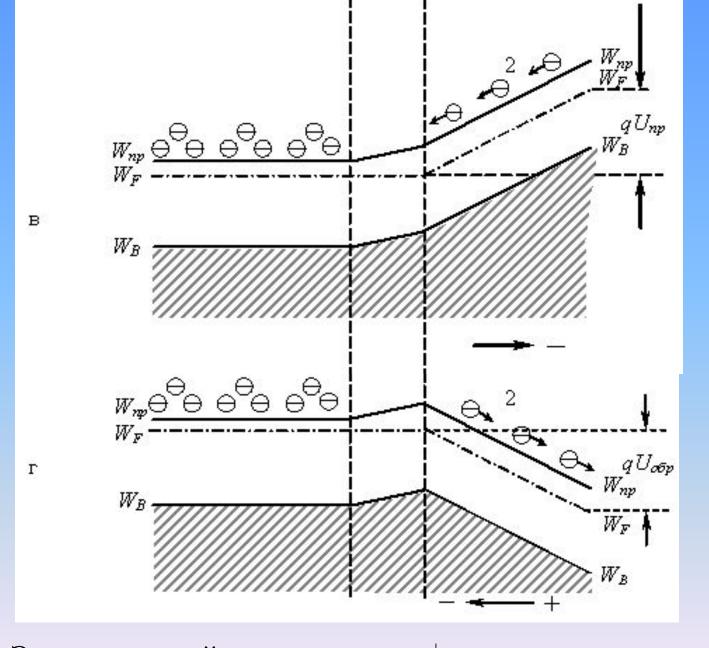


Рис. 12. Электрический переход типа n^+ - n: при прямом включении (в), при обратном включении (г)

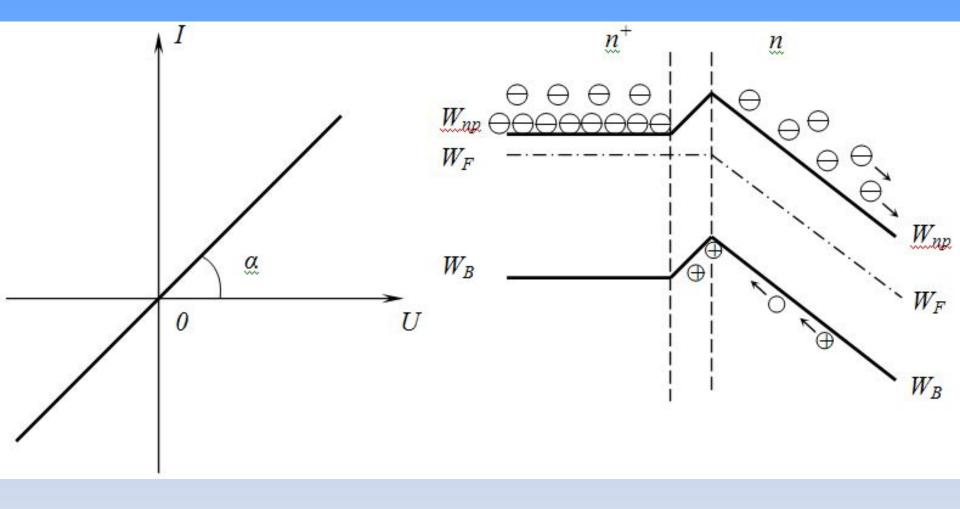


Рис.13. Вольт — амперная характеристика идиализированного n^+ -n-перехода

Рис.14. Накопление неосновных носителей заряда (дырок) n^+ -n-перехода при наличии внешнего поля

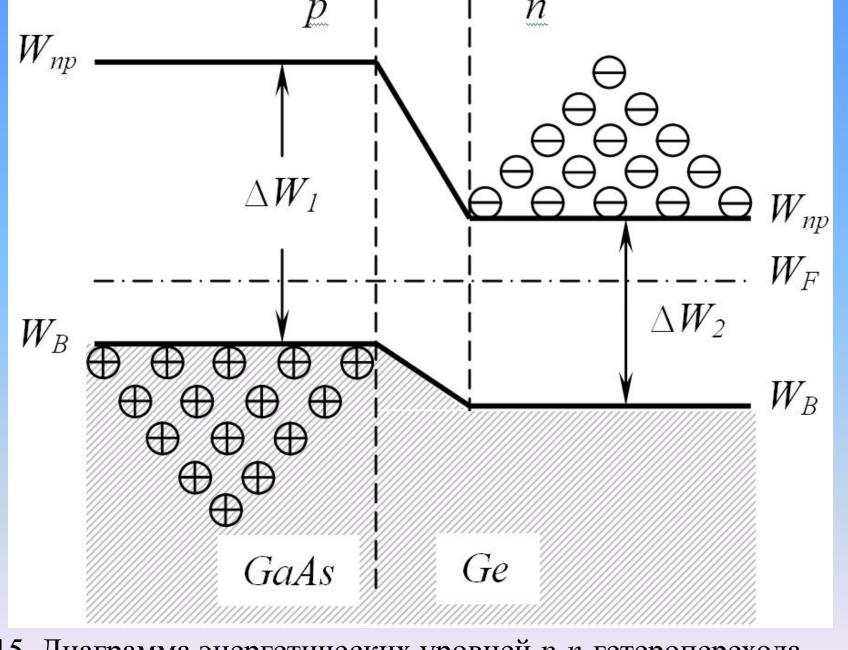


Рис. 15. Диаграмма энергетических уровней *p-n*-гетероперехода в равновесном состоянии

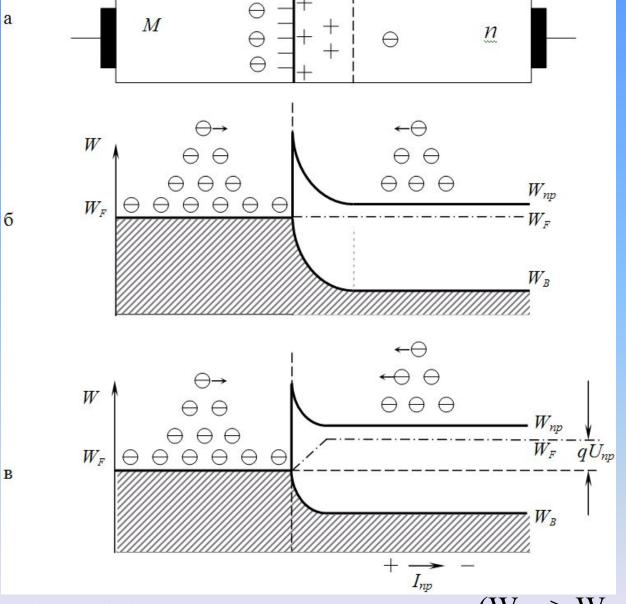


Рис. 16. Контакт металла и n-полупроводника ($W_{om} > W_{on}$): схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в).

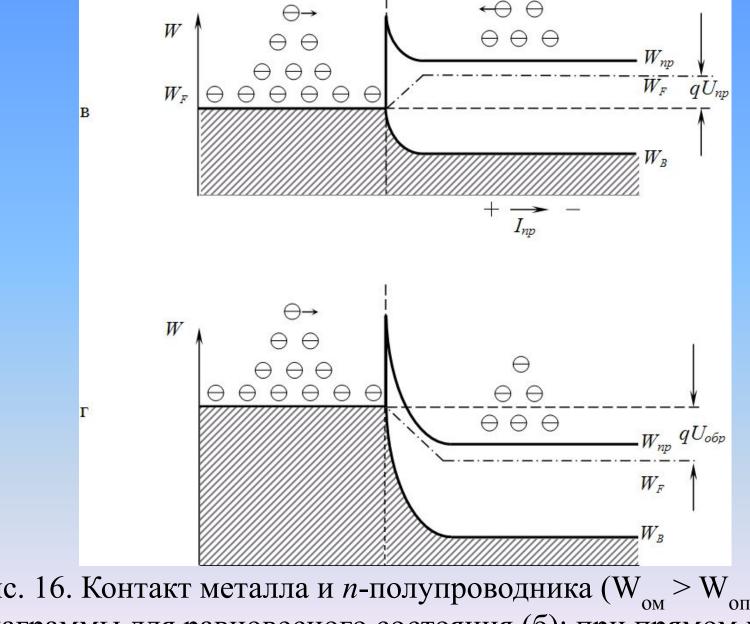


Рис. 16. Контакт металла и n-полупроводника ($W_{om} > W_{on}$): зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в); при обратном включении (г)

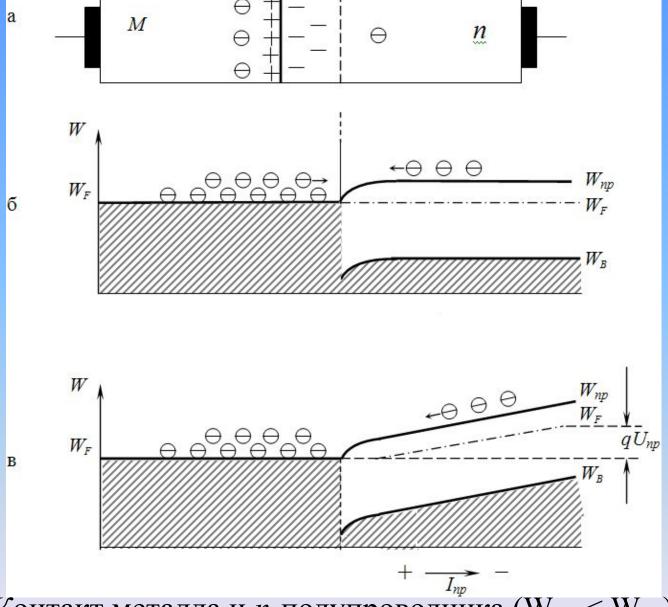


Рис. 17. Контакт металла и n-полупроводника ($W_{om} < W_{on}$): схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

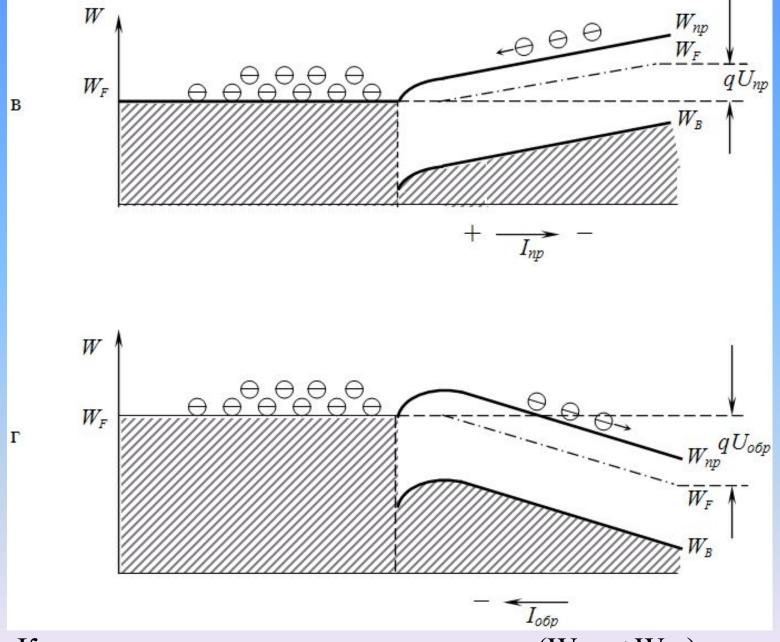


Рис. 17. Контакт металла и n-полупроводника ($W_{om} < W_{on}$):при прямом включении (в); при обратном включении (г)

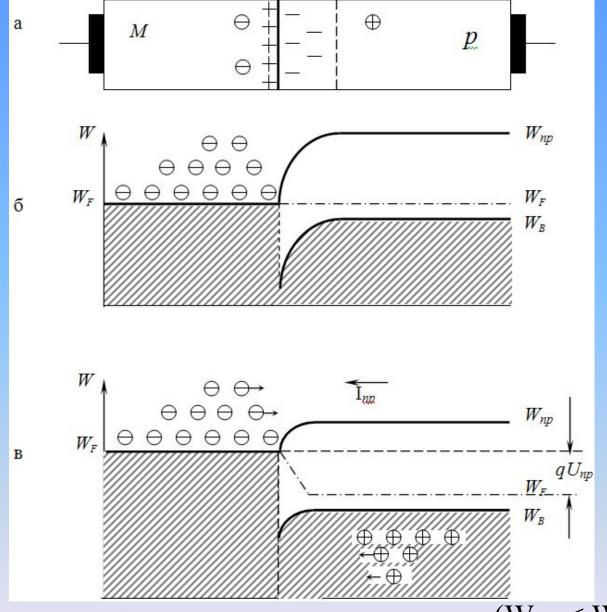


Рис. 18. Контакт металла и p-полупроводника ($W_{om} < W_{op}$): схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

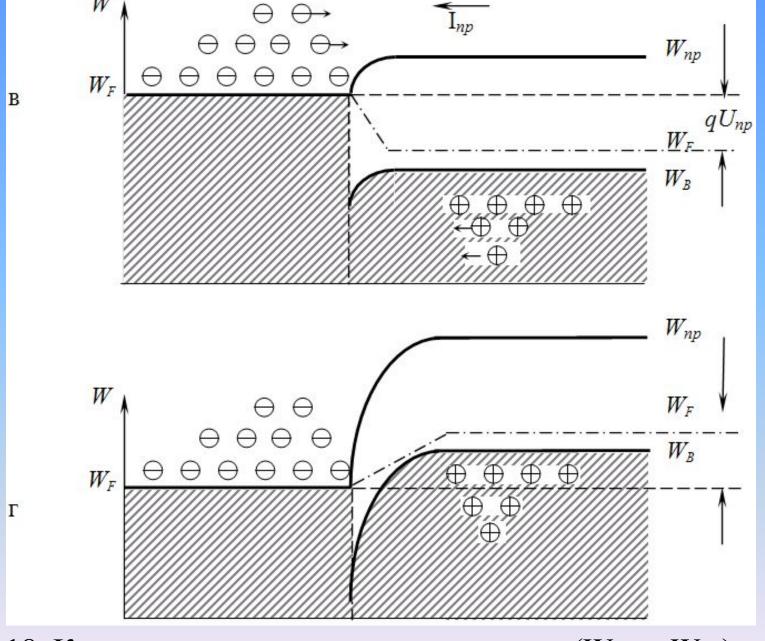


Рис. 18. Контакт металла и p-полупроводника ($W_{om} < W_{op}$): при прямом включении (в); при обратном включении (г)

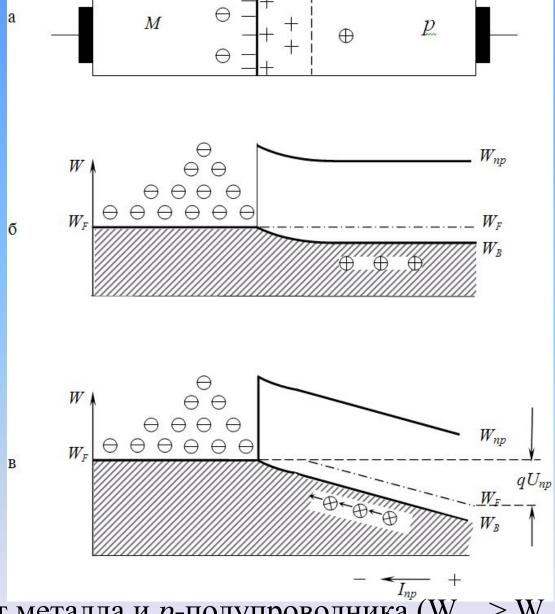


Рис. 19. Контакт металла и p-полупроводника ($W_{om} > W_{op}$): схематическое изображение перехода (а); зонные диаграммы для равновесного состояния (б); при прямом включении (в)

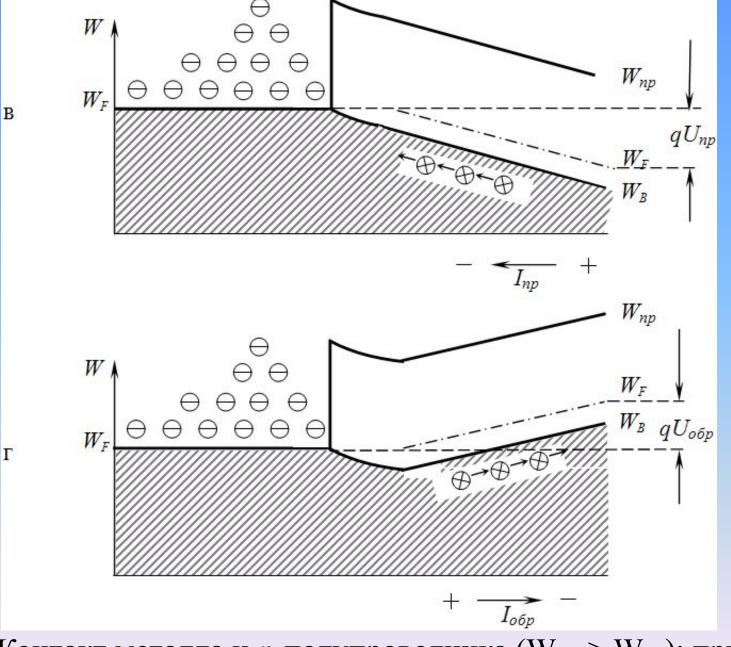


Рис. 19. Контакт металла и p-полупроводника ($W_{om} > W_{op}$): при прямом включении (в); при обратном включении (г)

