

UNIÓN PN BAJO POLARIZACIÓN

Se considera ahora la situación en donde se aplica un potencial externo en las terminales de contacto de la unión. En presencia del campo aplicado, el balance entre las corrientes de arrastre y difusión ya no existirá y por lo tanto se presentará un flujo de corriente neta.

Para el estudio de la electrostática de la unión PN (su comportamiento ante voltajes de directa), deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones y condiciones:

- El campo eléctrico fuera de la región de transición, es cero (esto implica que la resistencia de las regiones neutras es despreciable).
- Las regiones neutras son mucho más anchas que las longitudes de difusión de huecos y electrones.
- La región de transición es estrecha, lo suficiente para que no ocurra recombinación apreciable de los portadores inyectados de la región neutra ni generación térmica.

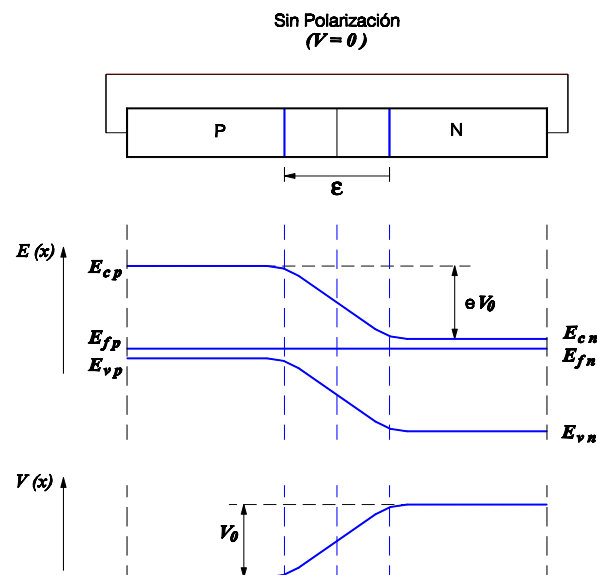


Figura 69. Diagrama de bandas de energía, potencial, campo eléctrico para una unión PN en equilibrio y sin polarización aplicada.

2.3.1 Polarización Directa

La unión se polariza directamente con un potencial positivo en el lado P respecto al lado N de la unión. Este potencial se denota V (Voltaje aplicado). Dado que el campo eléctrico asociado a este potencial está en sentido contrario al campo eléctrico asociado al potencial de contacto (véase figura 70), dando como resultado que el voltaje a través de la unión es la resta del potencial de contacto y el voltaje aplicado.

$$V_j = V_0 - V$$

V_j : Voltaje neto a través de la unión polarizada.

V_0 : Potencial de contacto.

V : Voltaje aplicado.

Por lo tanto se pueden deducir que ocurren los siguientes fenómenos:

- Disminuye el campo neto a través de la unión.

$$\mathcal{E}_j = \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}$$

\mathcal{E}_j : Campo eléctrico neto a través de la unión polarizada.

\mathcal{E}_0 : Campo eléctrico asociado al potencial de contacto.

\mathcal{E} : Campo eléctrico asociado al voltaje aplicado.

- El ancho de la región de transición decrece.
- La densidad de carga disminuye al decrecer la región de transición.
- Las bandas de energía también se ven alteradas (véase figura 70), disminuyendo de eV_0 a $e(V_0 - V)$.

2.3.2 Polarización Inversa

En la polarización negativa, según puede observarse en el diagrama, refuerza el potencial interno del diodo, pues tiene su misma polaridad

$$V_j = V_0 + V$$

Por lo tanto:

- El campo eléctrico a través de la unión, aumenta dado que el campo eléctrico asociado al voltaje aplicado tiene el mismo sentido del campo eléctrico asociado al potencial de contacto.

$$\mathcal{E}_j = \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}$$

- El ancho de la región de transición, aumenta.
- La densidad de carga se incrementa al aumentar la región de transición.
- La pendiente de las bandas de energía en la región de transición aumenta de eV_0 a $e(V_0 + V)$.

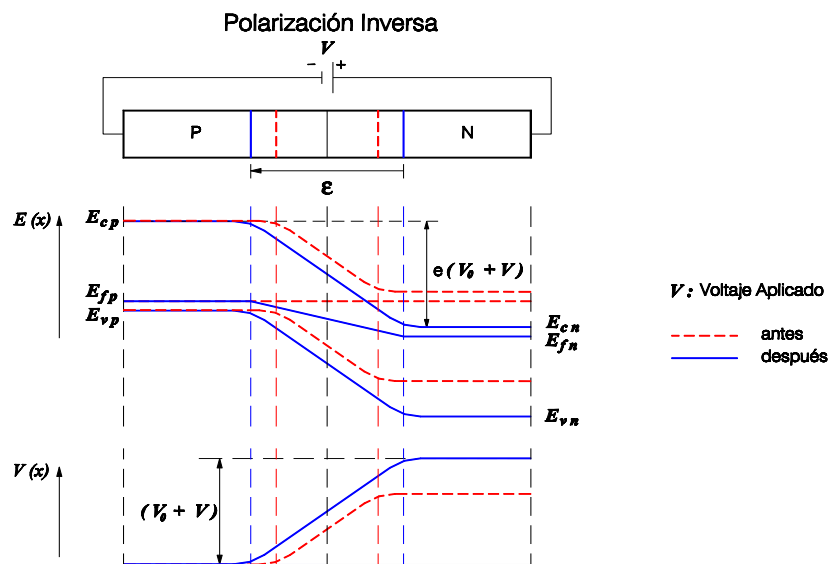


Figura 71. Efectos de la polarización inversa en una unión PN para el campo eléctrico, potencial y diagrama de bandas de energía.

Todas estas transformaciones ocasionan un descenso en la corriente a través de la unión, que según se puede ver de la pendiente del nivel de Fermi, debe ser negativa, esto es, de huecos que atraviesan la región de transición desde N hasta P, y de electrones que van desde P a N.

Todas las ecuaciones halladas hasta el momento para la unión PN en equilibrio: para el potencial, el campo eléctrico y ancho de la región de transición, pueden ser usadas aquí haciendo las debidas consideraciones del voltaje. Por lo tanto donde aparezca V_0 (potencial a través de la unión en equilibrio) se reemplaza por $V_j = V_0 - V$ (V_j es el potencial neto a través de la unión bajo polarización).

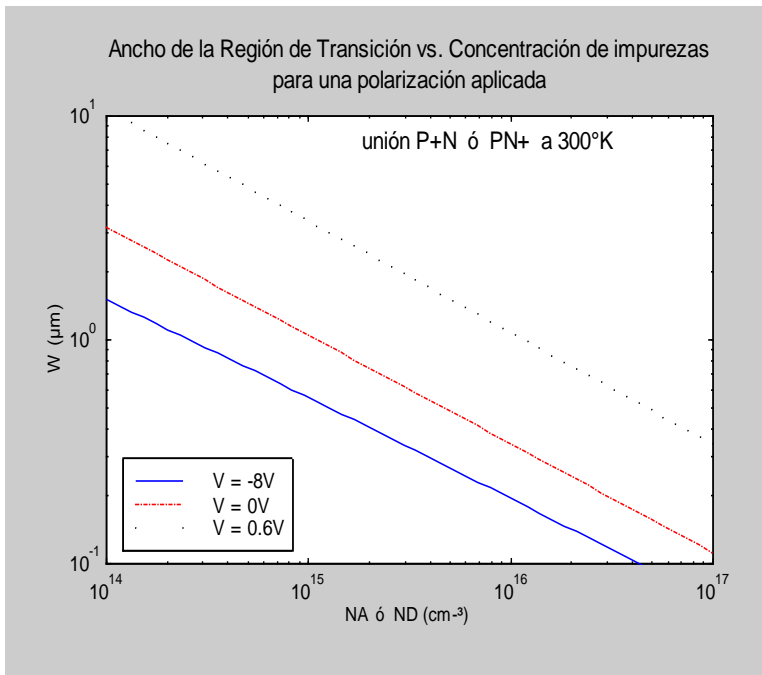
$$x_p = \left[\frac{2 \epsilon}{e} \left(\frac{N_D}{N_A(N_A + N_D)} \right) (V_0 - V) \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

$$x_n = \left[\frac{2 \epsilon}{e} \left(\frac{N_A}{N_D(N_A + N_D)} \right) (V_0 - V) \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

$$W = \left[\frac{2 \epsilon}{e} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right) (V_0 - V) \right]^{1/2} \quad (2.26)$$

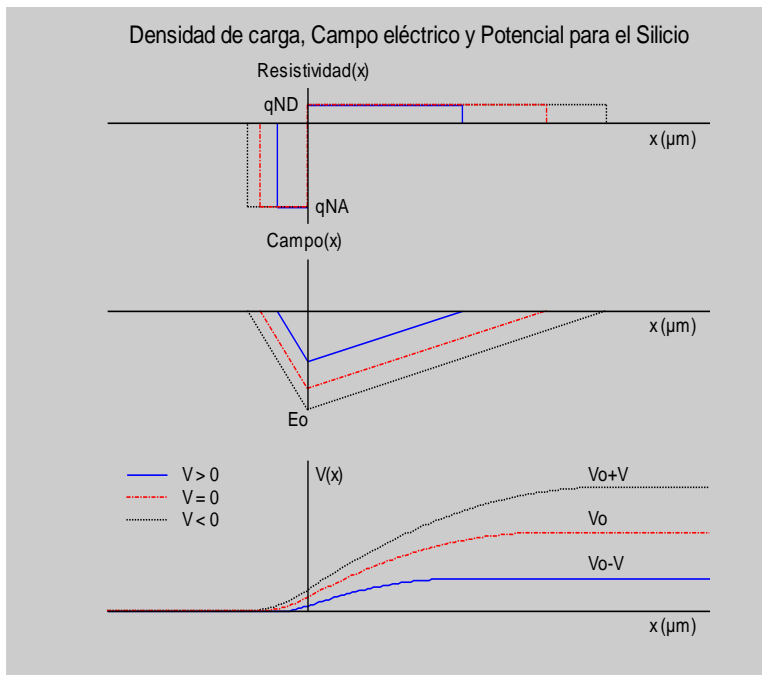
En la figura 72 se presenta la variación del ancho de la región de transición vs. la concentración de impurezas para distintos voltajes aplicados.

Wpolar_g;



El siguiente gráfico presenta el comportamiento cualitativo para la variación de la densidad de carga, voltaje y campo eléctrico bajo polarización. Figura 73.

`deppol_g;`



El siguiente programa permite observar el comportamiento de una unión PN al aplicar un voltaje en ella, permitiéndose también modificar sus condiciones de dopaje. Figura 74.

TM Inicialmente se presenta el caso de una unión PN simétrica en la cual N_A es igual a N_D y además $V = 0V$.

TM Se pueden variar los valores de N_A y N_D , y aplicar voltajes tanto positivos como negativos.

`voltapol;`

2.3.3 Concentraciones de Portadores en la Unión PN Bajo Polarización

Recordando la ecuación (2.11) y despejando la ecuación para V_0 :

$$\frac{p_p}{p_n} = e^{eV_0/kT} \quad (2.27)$$

Si el dispositivo se polariza, el voltaje a través de la unión es: $V_j = V_0 - V$. Se puede escribir para los bordes de la región de transición:

$$\frac{p_p(-x_{p0})}{p_n(x_{n0})} = e^{e(V_j)/kT} = e^{e(V_0-V)/kT} \quad (2.28)$$

p_p según se recuerda, es la concentración de huecos en la región P de una unión PN en equilibrio. Además los huecos son mayoritarios en la región P, y se puede decir que :

$$p_p(-x_{p0}) = p_p$$

Así, la ecuación (2.28):

$$\frac{p_p}{p_n(x_{n0})} = e^{e(V_0-V)/kT} \quad (2.29)$$

y de (2.27):

$$p_p = p_n e^{eV_0/kT}$$

y reemplazando en (2.29):

$$\frac{p_n e^{eV_0/kT}}{p_n(x_{n0})} = e^{e(V_0-V)/kT}$$

$$p_n(x_{n0}) = p_n e^{eV/kT} \quad (2.30)$$

y de la misma forma, para los electrones:

$$n_p(-x_{p0}) = n_p e^{eV/kT} \quad (2.31)$$

Obsérvese que resulta que existe una variación de concentración de portadores en el borde de la región de transición cuando se aplica una polarización a la unión PN. Esta variación se

denota Δp ó Δn y puede interpretarse como una inyección de portadores minoritarios en cada una de las zonas neutras. Intuitivamente, puede concluirse que esto provocará una corriente de difusión.

Se escribe entonces:

$$\Delta p = p_n(x_{n0}) - p_n = p_n(e^{eV/kT} - 1) \quad (2.32)$$

$$\Delta n = n_p(-x_{p0}) - n_p = n_p(e^{eV/kT} - 1) \quad (2.33)$$

Cuando la polarización es directa: Δn y Δp son positivos.

Cuando la polarización es inversa: Δn y Δp son negativos.