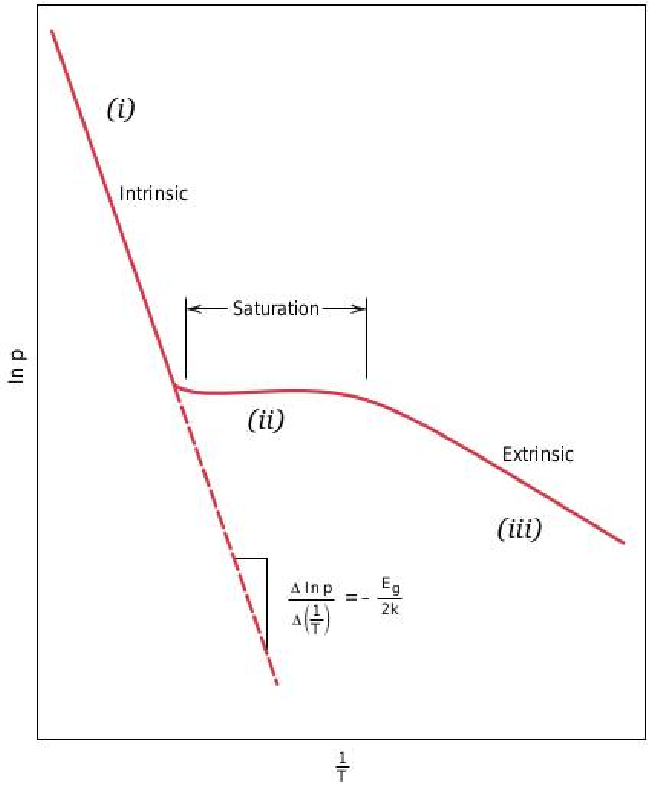
Pauta Auxiliar Nº2 CM3302

P1.-

a) Esquema de la curva de portadores de carga (logaritmo natural) v/s el inverso de la temperatura. Al aumentar la temperatura (nos movemos de derecha a izquierda)



(iii): Aumenta la densidad de portadores de carga extrínsecos producto de la temperatura. La conductividad es dominada por los portadores extrínsecos.

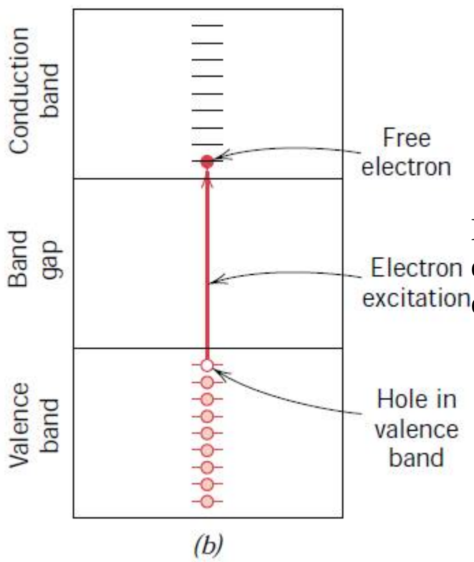
(ii): Se alcanza el agotamiento si es tipo n (o saturación si es tipo p) de los dopantes, por lo que la cantidad de portadores de carga totales se mantiene relativamente constante. Es posible una leve disminución producto de recombinación de portadores de carga

(i): La energía es suficiente para mover portadores intrínsecos desde la banda de valencia hasta la de conducción. La conductividad ahora es dominada por los portadores intrínsecos y sigue una relación exponencial (lineal según el gráfico)

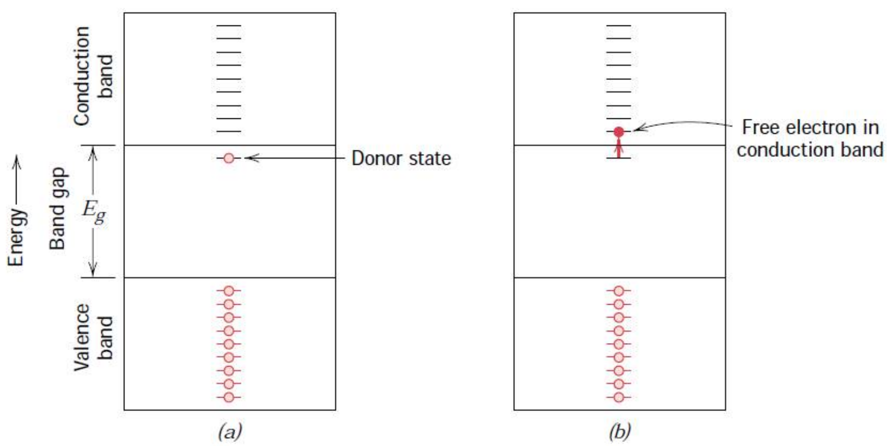
En el caso de semiconductores intrínsecos, la conductividad aumenta de forma exponencial con la temperatura (última etapa de un semiconductor extrínseco).

Con respecto a los defectos, éstos aumentarán la conductividad si se trata de dopantes, y la disminuiran si no, producto de la distorsión de la red cristalina.

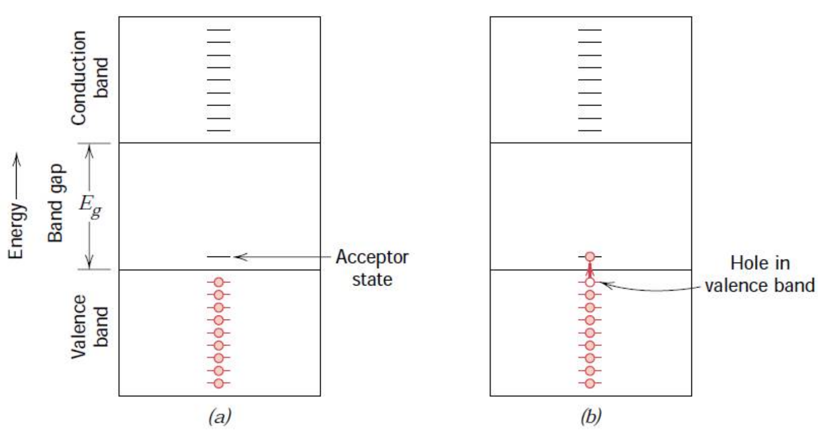
b)



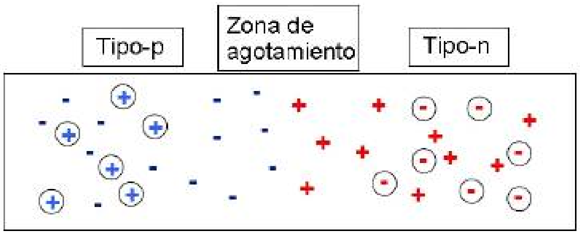
En un semiconductor intrínseco, un electrón en la banda de valencia debe saltar hacia la banda de conducción, y para ello debe recibir una energía igual o superior al band gap



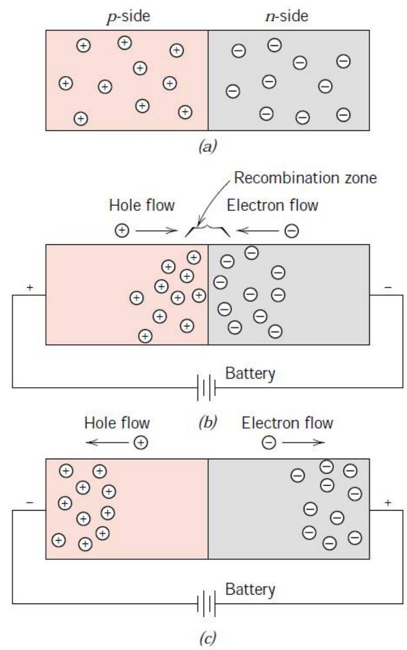
En un semiconductor tipo n, se genera un estado donor de energía E_d cerca de la banda de conducción cuyo electrón es capaz de saltar con facilidad a la ésta.



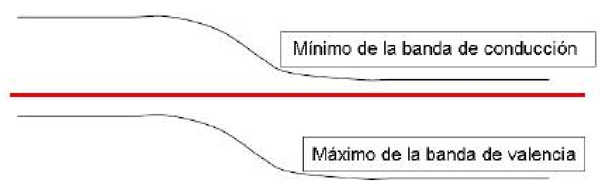
En un semiconductor tipo p, se genera un estado aceptor E_a cerca de la banda de valencia. Luego, un electrón de esta banda es capaz de saltar fácilmente al estado aceptor, dejando un hueco en la banda de valencia c)



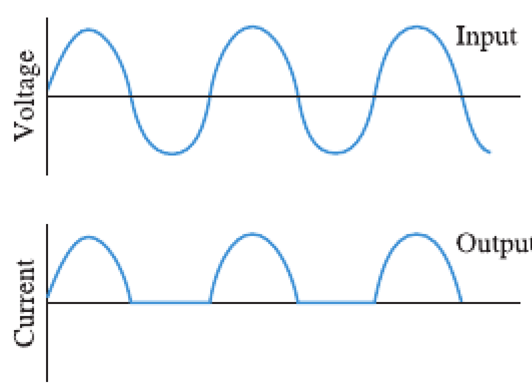
Un diodo semiconductor es un dispositivo conformado por dos semiconductores extrínsecos, uno tipo n y otro tipo p, los cuales se ponen en contacto. Esto determina tres partes principales en el diodo:



Una parte es el semiconductor tipo p, el cual presenta dopaje positivo y es una zona rica en huecos, otra parte es el semiconductor tipo n, el cual presenta dopaje negativo y es una zona rica en electrones, y una zona central llamada zona de agotamiento donde ocurre recombinación de los portadores de carga.



Al unir los semiconductores, las bandas de ambos se deforman en la zona de agotamiento producto de la diferencia de potencial que se produce al haber difusión de portadores de un lado al otro.



Si se induce un voltaje directo y alternante, se obtiene a la salida solo la mitad de la señal (abajo), lo cual determina la rectificación de la señal

P2)

a) Necesitamos calcular la cantidad de portadores que habrá en cada caso

Celda de Si $\longrightarrow$ 8 at.

Vol. celda $\longrightarrow (0{,}54307\cdot 10^{-7})^3 = 1{,}602\cdot 10^{-22}\,[cm^3]$

$$\Rightarrow \rho' = \frac{8\,[at]}{1{,}602\cdot 10^{-22}\,[cm^3]} \approx 5\cdot 10^{22}\,\frac{1}{cm^3}$$

* Para calcular los portadores, sabemos que hay 0,0001% at de dopante y que los dopantes aportan $1e^-/h^+$ por átomo. Luego

$$\boxed{n = p = 5\cdot 10^{22}\cdot 0{,}000001 = 5\cdot 10^{16}\left[\frac{e^-/h^+}{cm^3}\right]}$$

$\rightsquigarrow$ Si Sc es con Sb (tipo n)

$$\sigma_n = n|e|\mu_e = 5\cdot 10^{16}\,\frac{1}{cm^3}\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}\,[A\cdot s]\cdot 1900\left[\frac{cm^2}{V\cdot s}\right] \Rightarrow \boxed{\sigma_n = 15{,}219\left[\frac{1}{\Omega\cdot cm}\right]}$$

$\rightsquigarrow$ Si Sc es con In (tipo p)

$$\sigma_p = p|e|\mu_h = 5\cdot 10^{16}\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 500 \Rightarrow \boxed{\sigma_p = 4{,}005\left[\frac{1}{\Omega\cdot cm}\right]}$$

b) El dopante es P $\rightsquigarrow$ Sc tipo n

* Celda de Si $\longrightarrow$ 6 at.

$a = 5{,}8751\cdot 10^{-8}$ cm

$$\boxed{\rho' = 2{,}959\cdot 10^{22}\,\frac{at}{cm^3}}$$

* Zona de agotamiento $\rightarrow$ Cada impureza aporta el máximo de portadores de carga que pue
$\rightarrow$ Cada P aporta con $1e^-$

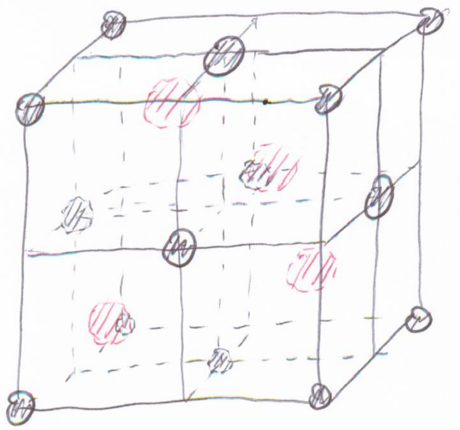
* Si hay 4 at. de P por cada 10^5 at de Si:

$$n = \rho_{at}\,\frac{at}{cm^3}\cdot\frac{4\,[n^-]}{10^5\,[at]} \Rightarrow \boxed{n = 1{,}1836\cdot 10^{18}\left[\frac{n^-}{cm^3}\right]}$$

* Finalmente:

$$\sigma = n\cdot|e|\mu e \longrightarrow \boxed{\sigma = 360{,}234\left[\frac{1}{\Omega\cdot cm}\right]}$$

c) Estructura Zinc Blenda



Ga: 4 át. Ga
As: 4 át. As

- Pero se necesita un semiconductor tipo p
  ↳ Ga > As ⇒ As < 4 át.!
  El resto son vacancias!

$$\rightarrow \sigma = n q (\mu_e + \mu_h) \overset{\text{Tipo p}}{\simeq} p q \mu_h$$

- Calculando la densidad de portadores mayoritarios

$$\therefore p = \frac{\sigma}{q \cdot \mu_h} = \frac{500 \left[\frac{1}{\Omega \cdot cm}\right]}{1{,}602 \cdot 10^{-19} [A \cdot s] \cdot 400 \left[\frac{cm^2}{V \cdot s}\right]}$$

$$\boxed{p = 7{,}803 \cdot 10^{18} \frac{1}{cm^3}}$$

- Si el material estuviera dopado sólo con Ga, la conductividad sería más alta. Luego, esta estructura posee Ga, As y vacancias!! Como hacemos la suposición de que sólo hay huecos, calculemos la cantidad de vacancias:

$$p^* = \frac{4 \frac{át.\,Ga}{celda} \cdot \frac{1\,h^+}{át}}{a^3} = \frac{4}{(0{,}565 \cdot 10^{-7})^3} \Rightarrow p^* = 2{,}218 \cdot 10^{22} \frac{1}{cm^3}$$

$$\Rightarrow N_{vac} = \frac{p}{p^*} = 3{,}518 \cdot 10^{-4} \frac{vac}{át.\,Ga}$$

- Luego, la cantidad de átomos de As por cada átomo de Ga es de

$$\boxed{N_{As} = 1 - N_{vac} = 0{,}999648 \frac{át\,As}{át\,Ga}}$$

· Calculando el % atómico:

$$\boxed{\begin{gathered}\%\text{at } As = \frac{0,999648}{1+0,999648} = 0,499912 \\ \\ \%\text{at } Ga = 0,500088\end{gathered}}$$

· Calculando el porcentaje en masa ($PA(As) = 74,92 \frac{gr}{mol}$; $PA(Ga) = 69,72 \frac{gr}{mol}$)

$$\boxed{\%\text{masa } As = \frac{0,499912 \cdot 74,92}{0,499912 \cdot 74,92 + 0,500088 \cdot 69,72} = 0,518}$$

· Finalmente, la masa en gramos de As es:

$$\frac{M_{As}}{M_{As}+M_{Ga}} = 0,518 \Rightarrow M_{As} = \frac{0,518 M_{Ga}}{(1-0,518)}$$

$$\boxed{\therefore M_{As} = 1,075 \text{ Kg}}$$

P3)

a) Dependencia de σ con T

$$\left.\begin{aligned} \sigma(t) &= \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_g}{2K_BT}\right) \\ \sigma_0 &= n_0 q(\mu_e + \mu_h) \end{aligned}\right\}$$ Ecs. varían si son tipo n o tipo p

• Si asumimos n_0 cte ~ σ_0 cte:

$$\frac{\sigma(\cancel{25})}{2\sigma(\cancel{25})} = \frac{\exp\left(\frac{-E_g}{2K_B \cdot 298}\right)}{\exp\left(\frac{-E_g}{2K_B \cdot T}\right)} = \exp\left(\frac{E_g}{2K_B}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right)\right)$$

$$\sim \ln\left(\tfrac{1}{2}\right) = \frac{E_g}{2K_B \cdot T} - \frac{E_g}{2K_B \cdot 298} \Rightarrow T = \left[\frac{2K_B}{E_g}\left(\ln\left(\tfrac{1}{2}\right) - \frac{E_g}{2K_B \cdot 298}\right)\right]$$

$$T = \left[\frac{2K_B}{E_g}\ln\left(\tfrac{1}{2}\right) + \frac{1}{298}\right]^{-1}$$

$E_g(Si) = 1{,}11\ eV$
$K_B = 8{,}617 \cdot 10^{-5}\ \frac{eV}{K}$

$$\boxed{T = 307{,}87\ K}$$

b) Determinemos n_0

$$\sigma(298) = n_0 q(\mu_e + \mu_h) \exp\left(\frac{-E_g}{2K_B \cdot 298}\right)$$

$$\boxed{\therefore n_0 = \frac{\sigma(298)}{q(\mu_e + \mu_h)} \cdot \exp\left(\frac{E_g}{2K_B \cdot 298}\right)}$$

• Si: $\sigma(298) = \frac{1}{2{,}5 \cdot 10^5} = 4 \cdot 10^{-6}\ \frac{1}{\Omega \cdot cm}$ ∧ $E_g = 1{,}11\ eV$

$$\boxed{n_0(Si) = 3{,}323 \cdot 10^{19}\ \frac{1}{cm^3}}$$

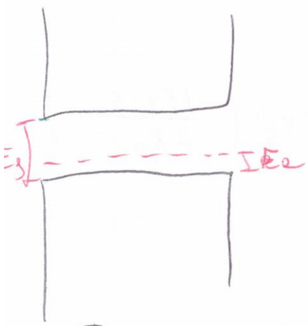
• Ge: $\sigma(298) = \frac{1}{43} = 0{,}0233\ \frac{1}{\Omega \cdot cm}$ ∧ $E_g = 0{,}67\ eV$

$$\boxed{n_0(Ge) = 1{,}161 \cdot 10^{19}\ \frac{1}{cm^3}}$$

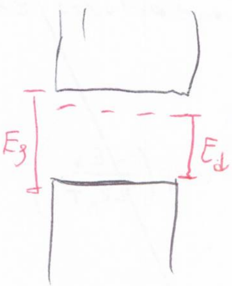
Calculando las conductividades a 45°C = 318 K

$$\boxed{\begin{aligned} \sigma(Si) &= 1{,}558 \cdot 10^{-8} \ \frac{1}{\Omega \cdot cm} \\ \sigma(Ge) &= 0{,}0529 \ \frac{1}{\Omega \cdot cm} \end{aligned}}$$

c) En el caso de semiconductores extrínsecos:



$$\sigma(T) = n_0 \mu_n q \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{2 k_B T}\right)$$



$$\sigma(T) = n_0 \mu_e q \cdot \exp\left(\frac{-(E_g - E_d)}{2 k_B T}\right)$$

Tipo p.

Tomando el caso p:

$$\sigma_{25} = n_0 \mu_n q \exp\left(\frac{-E_a}{2 \cdot k_B \cdot 298}\right)$$

$$\sigma_{600} = n_0 \mu_n q \exp\left(\frac{-E_a}{2 k_B \cdot 873}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{25}}{\sigma_{600}} = \exp\left(\frac{E_a}{2 k_B}\left(\frac{1}{873} - \frac{1}{298}\right)\right) \Rightarrow$$

$$\therefore \sigma_{600}^{(p)} = \sigma_{25} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{2 k_B}\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{873}\right)\right)$$

$$\sigma_{600}^{(n)} = \sigma_{25} \cdot \exp\left(\frac{(E_g - E_d)}{2 k_B}\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{873}\right)\right)$$

$$\boxed{\begin{aligned} \therefore \ \sigma_{600}^{(p)} &= 66{,}074 \ \frac{1}{\Omega \cdot cm} \\ \sigma_{600}^{(n)} &= 2{,}205 \cdot 10^{7} \ \frac{1}{\Omega \cdot cm} \end{aligned}}$$