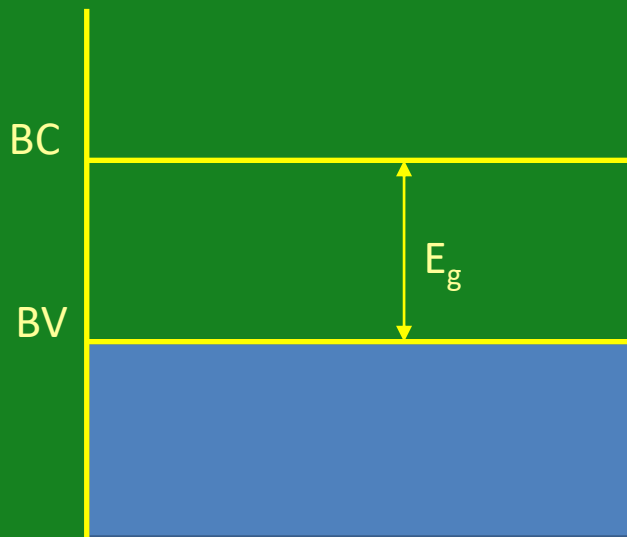


Materiales Semiconductores

- Estructura de Bandas



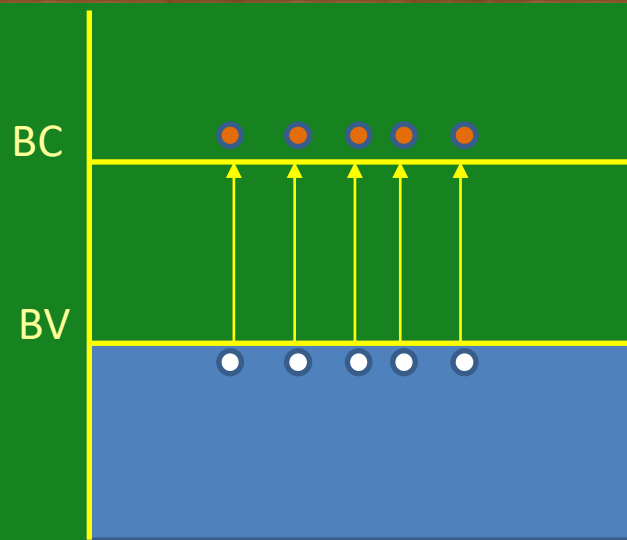
Banda de Conducción vacía a 0° K

Banda Prohibida ≈ 1 eV

Banda de Valencia Llena a 0° K

- Los materiales semiconductores a 0 °K tienen la banda de conducción vacía y la banda de valencia completamente llena
- El ancho de la Banda Prohibida es del orden de 1 eV.
- Cuando aumenta la temperatura, por el bajo valor de E_g , los electrones de la banda de valencia adquieren energía y pueden saltar a la banda de conducción

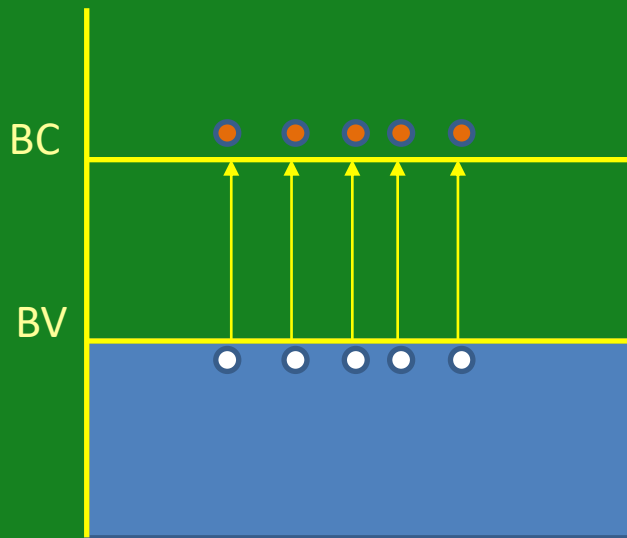




- Con temperatura los electrones de la Banda de Valencia pueden saltar a la Banda de Conducción

- Cada electrón que llega a la Banda de Conducción genera un portador libre para transportar corriente
- Cada electrón que salta a la Banda de Conducción genera un lugar libre (hueco) en la Banda de Valencia la que es así una banda “**parcialmente llena**” y puede conducir corriente
- El proceso que lleva electrones a la Banda de Conducción dejando huecos en la Banda de Valencia se denomina “ **Generación intrínseca**”
- Por cada electrón se genera un hueco y la cantidad generada depende de la Temperatura





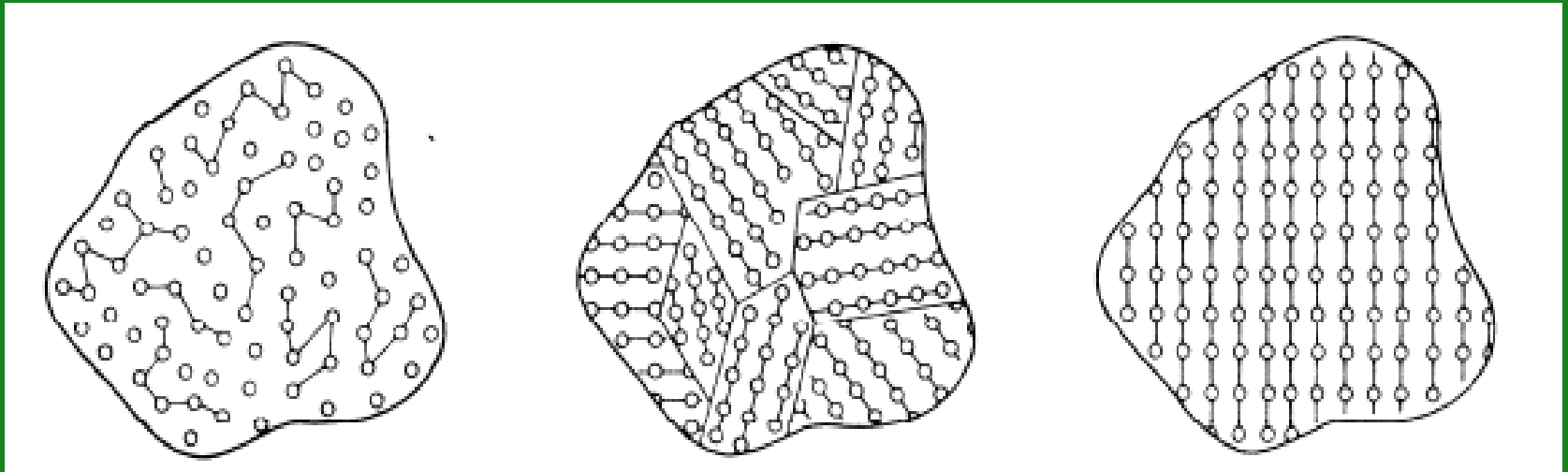
n (concentración de electrones en la Banda de Conducción) $\rightarrow f(T)$

p (concentración de huecos en la Banda de Valencia) $\rightarrow f(T)$



Materiales Semiconductores

- Estructura Xtalina.
- De acuerdo a la disposición atómica, un semiconductor puede ser:



Amorfo

No existe orden
a largo alcance

Policristalino

Totalmente ordenado
por segmentos

Cristalino

Los átomos en el
sólido forman un
conjunto totalmente
ordenado

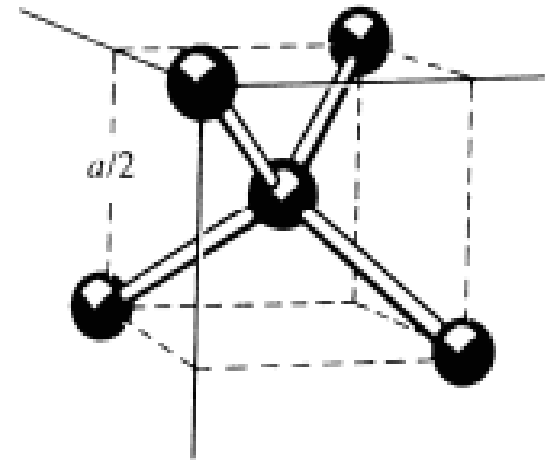
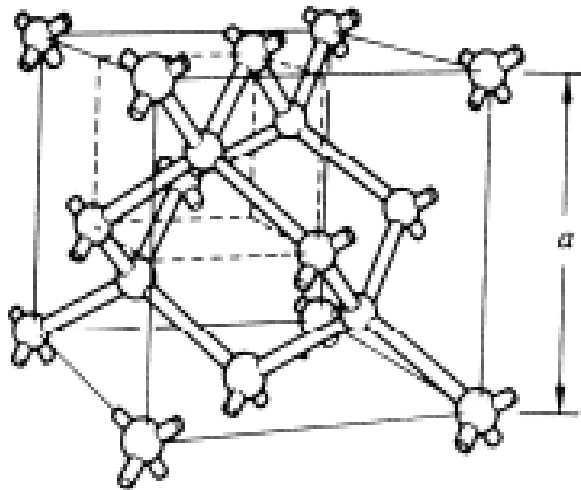


- **Sólido Amorfo**: no se reconoce ningún orden a largo alcance, es decir, la disposición atómica en cualquier porción de este material es totalmente distinta a la de cualquier otra porción.
- **Sólido Policristalino**: está formado por subsecciones cristalinas no homogéneas entre sí.
- **Sólido Cristalino**: los átomos están distribuidos en un conjunto tridimensional ordenado.



Estructura Xtalina del Silicio

- La configuración electrónica del Si es: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
- La estructura Xtalina del Silicio forma una UNION COVALENTE
- Cada átomo comparte un electrón con los 4 átomos vecinos

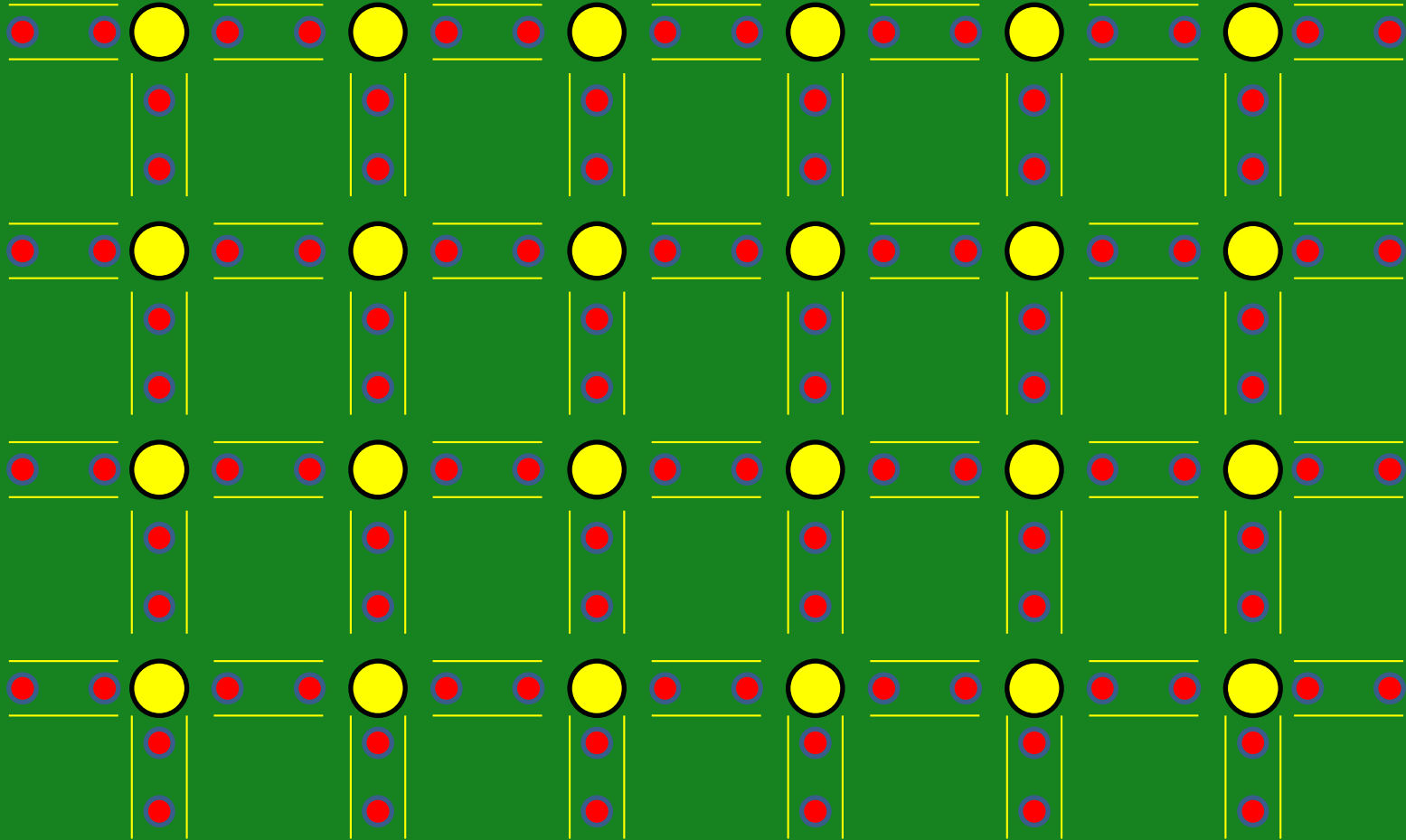


• Estructura Xtalina del Silicio a 0 °K

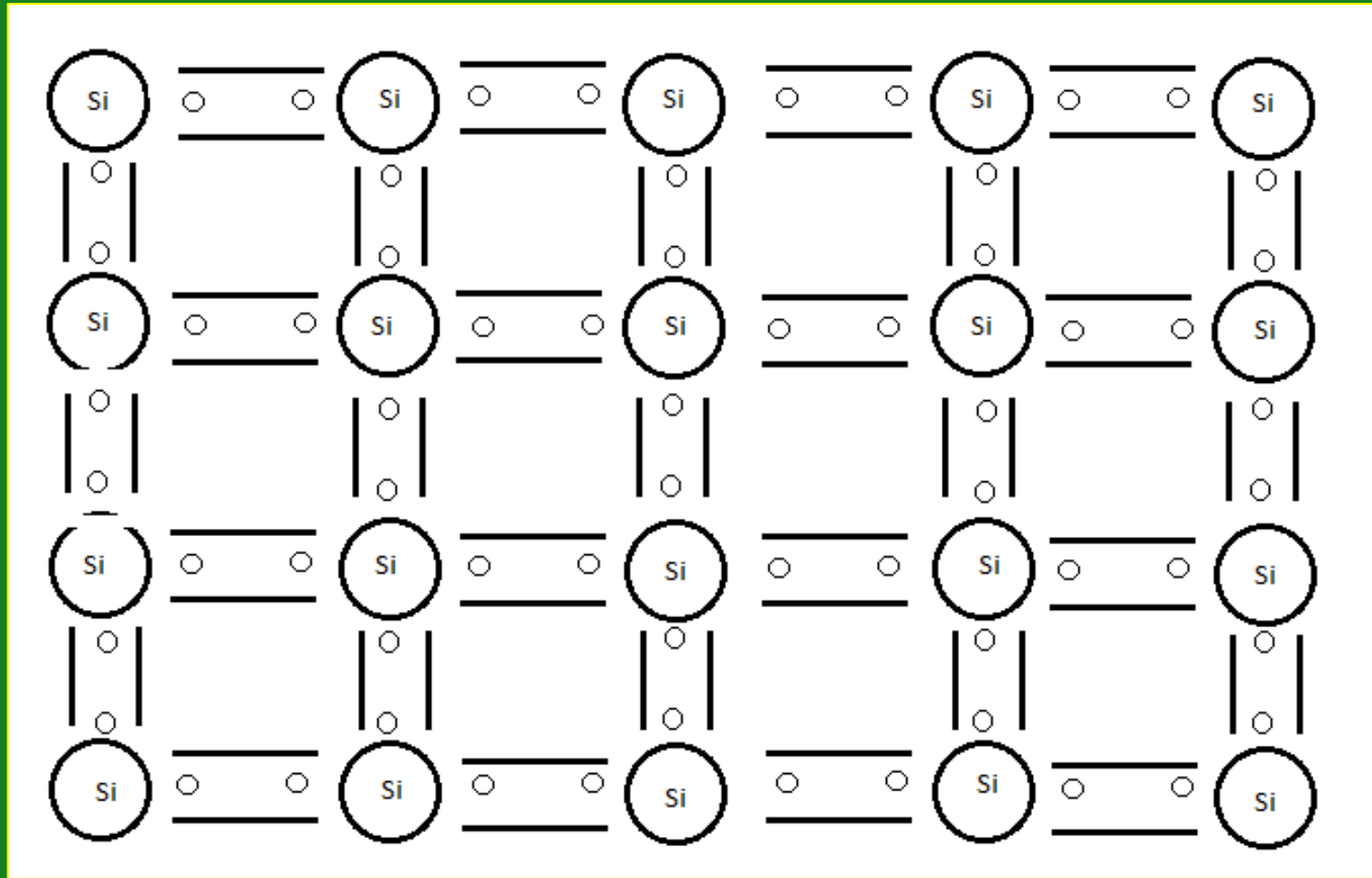


Atomo Silicio

Ligaduras



• Estructura Xtalina del Silicio a 0 °K



- Todos los electrones están ligados a los átomos
- No hay portadores libres en el Xtal.

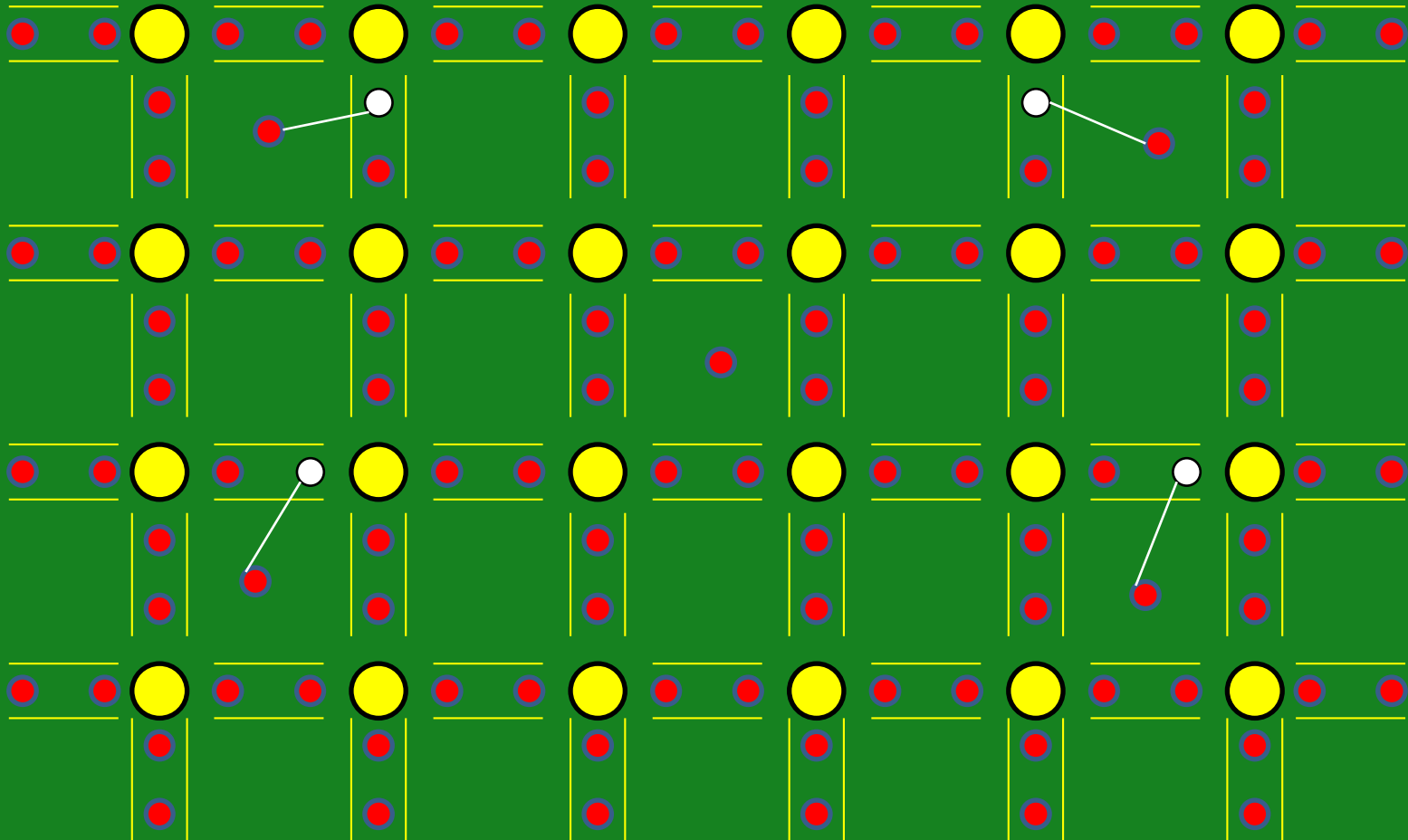


- Estructura Xtalina del Silicio para $T > 0 \text{ }^\circ\text{K}$

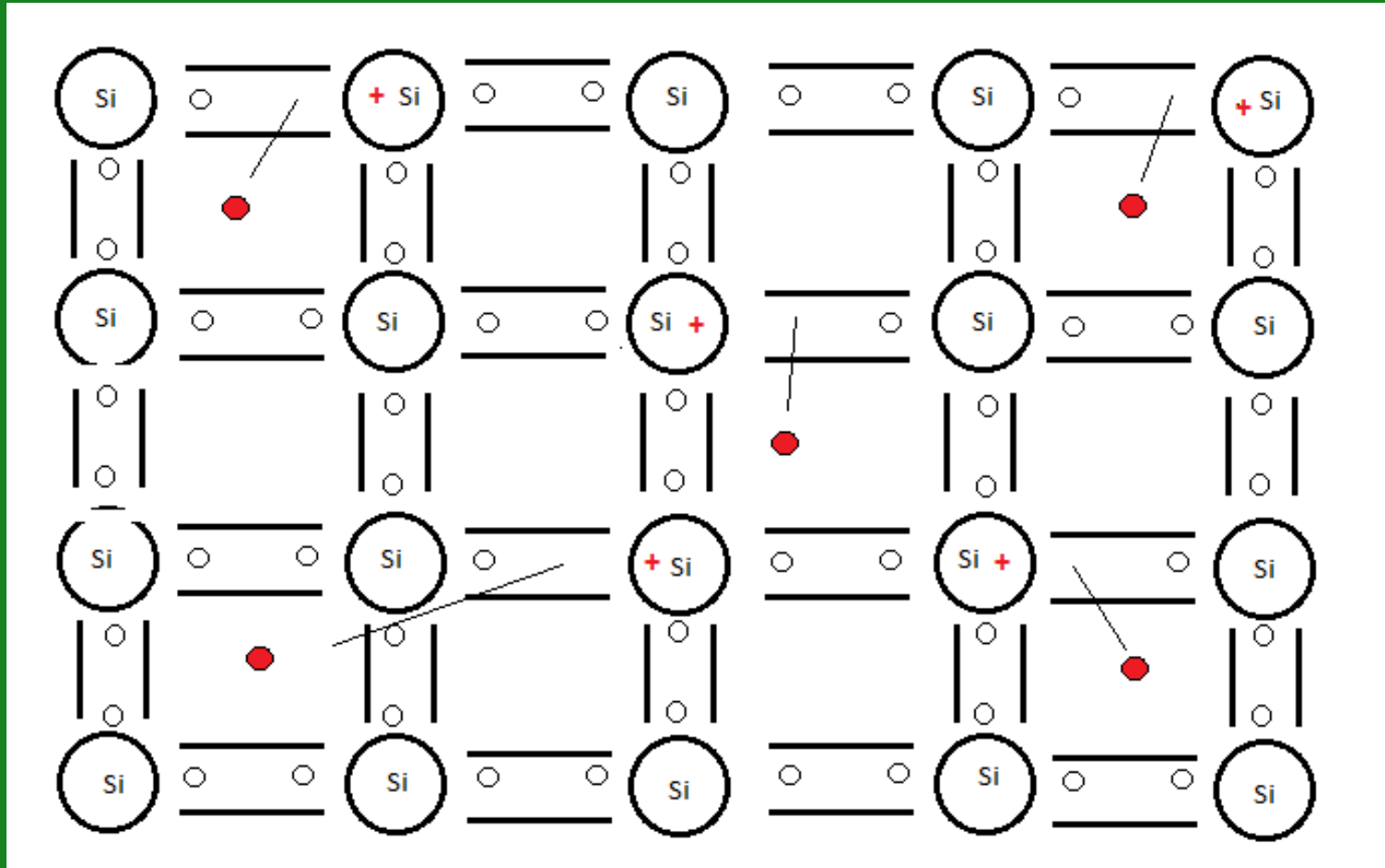


Atomo Silicio

Ligaduras



- Estructura Xtalina del Silicio para $T > 0 \text{ }^\circ\text{K}$



- Algunos electrones se liberan de los enlaces covalentes dejando una carga positiva fija (en el nucleo)
- Los electrones pueden moverse libremente en el Xtal.



Semiconductores Intrínsecos

$$n = p = n_i (T)$$

$n_i (T) \rightarrow$ Concentración Intrínseca

Para el Si



$$n_i = 3,87 \times 10^{16} T^{3/2} \times e^{(-1,21/2kT)} [cm^{-3}]$$

- Los semiconductores intrínsecos tienen igual cantidad de electrones libres que de huecos ($n = p$)
- El hueco es una partícula móvil de carga positiva
- El movimiento de un hueco implica el movimiento de varios electrones
- La movilidad de los huecos es menor que la de los electrones
- La concentración de portadores en los semiconductores no es fija, depende de la Temperatura (aumenta con la Temperatura)

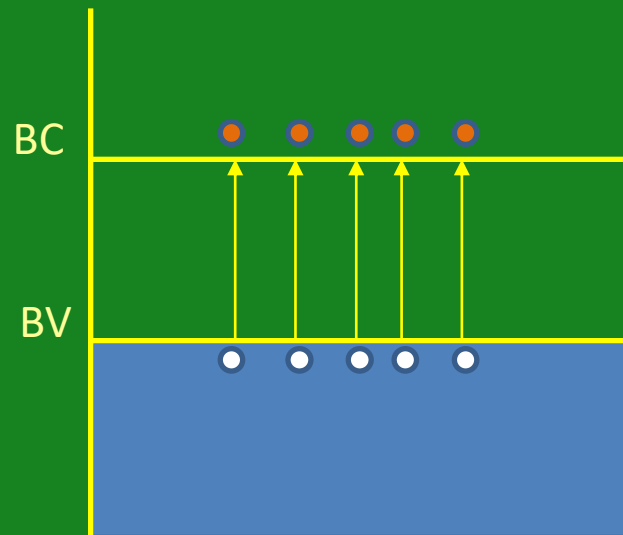


ni	T [°K]	T [°C]
4,35E+04	198	-75
2,76E+06	223	-50
7,74E+07	248	-25
1,19E+09	273	0
1,18E+10	298	25
8,21E+10	323	50
4,38E+11	348	75
1,88E+12	373	100
6,74E+12	398	125
2,10E+13	423	150
5,76E+13	448	175
1,43E+14	473	200
3,26E+14	498	225
6,88E+14	523	250
1,36E+15	548	275
2,54E+15	573	300



Generación

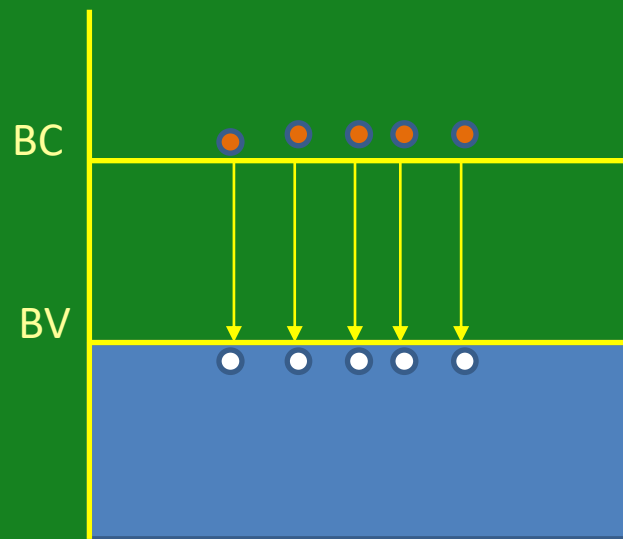
- Cuando un electrón salta de la banda de valencia a la banda de conducción
- Se generan dos portadores
 - Un electrón en la banda de conducción
 - Un hueco en la banda de valencia
- La concentración de portadores generados es función de la Temperatura



Recombinación



- Cuando un electrón salta de la banda de conducción a la banda de valencia
- Desaparecen dos portadores
 - Un electrón en la banda de conducción
 - Un hueco en la banda de valencia
- La recombinación es función de la concentración de huecos y electrones



- Tiempo de vida medio: tiempo promedio que permanece un electrón en la banda de conducción antes de recombinarse



- En equilibrio termodinámico la Generación es igual a la Recombinación y
 $n = p = n_i$
- $g(T) \rightarrow$ Tasa de generación proporcional a la temperatura
- $R \rightarrow$ Tasa de recombinación proporcional a la concentración de huecos y electrones

Variación de la concentración de electrones respecto al tiempo



$$\frac{dn}{dt} = g(T) - Rnp$$

Variación de la concentración de huecos respecto al tiempo



$$\frac{dp}{dt} = g(T) - Rnp$$

En equilibrio termodinámico



$$\frac{dn}{dt} = \frac{dp}{dt} = 0$$



Generación = Recombinación

$$g(T) = R n_i^2$$

$$0 = R n_i^2 - Rnp$$

$$np = n_i^2$$



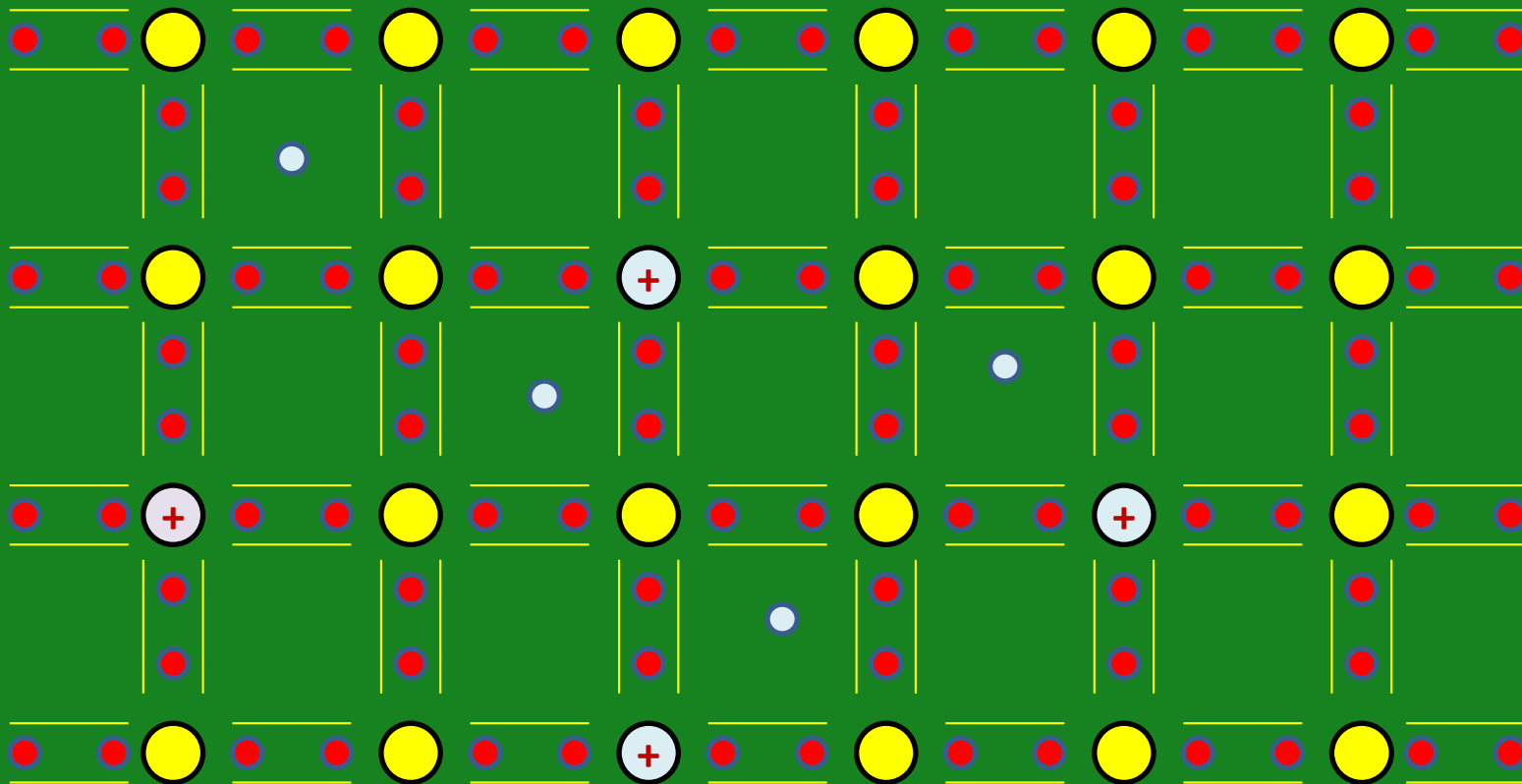
Semiconductores Extrínsecos

Semiconductores tipo N

Impurezas Donadoras

● Átomo Silicio

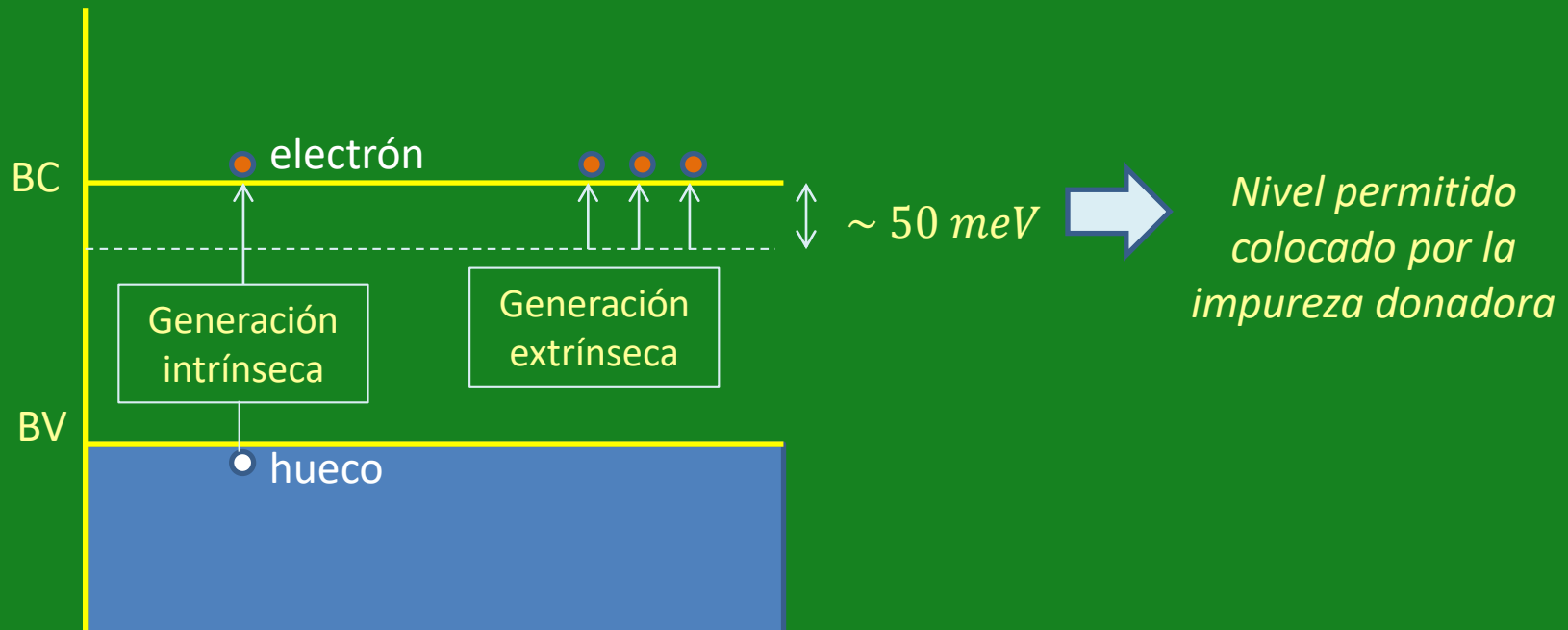
● Átomo Grupo V (P, As, Sb)



Semiconductores Extrínsecos

Semiconductores tipo N

Banda de Energía



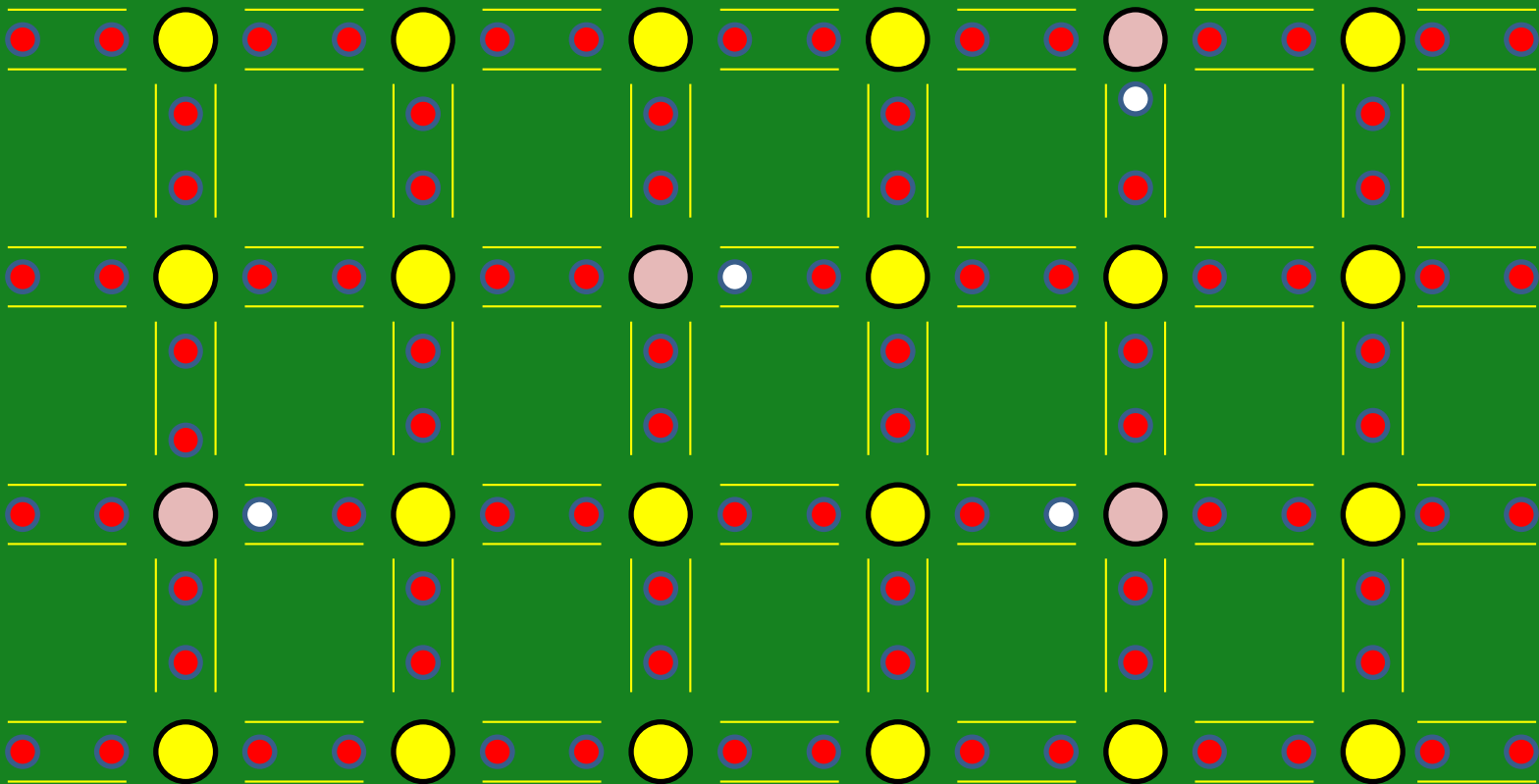
Semiconductores Extrínsecos

Semiconductores tipo P

Impurezas Aceptoras

● Átomo Silicio

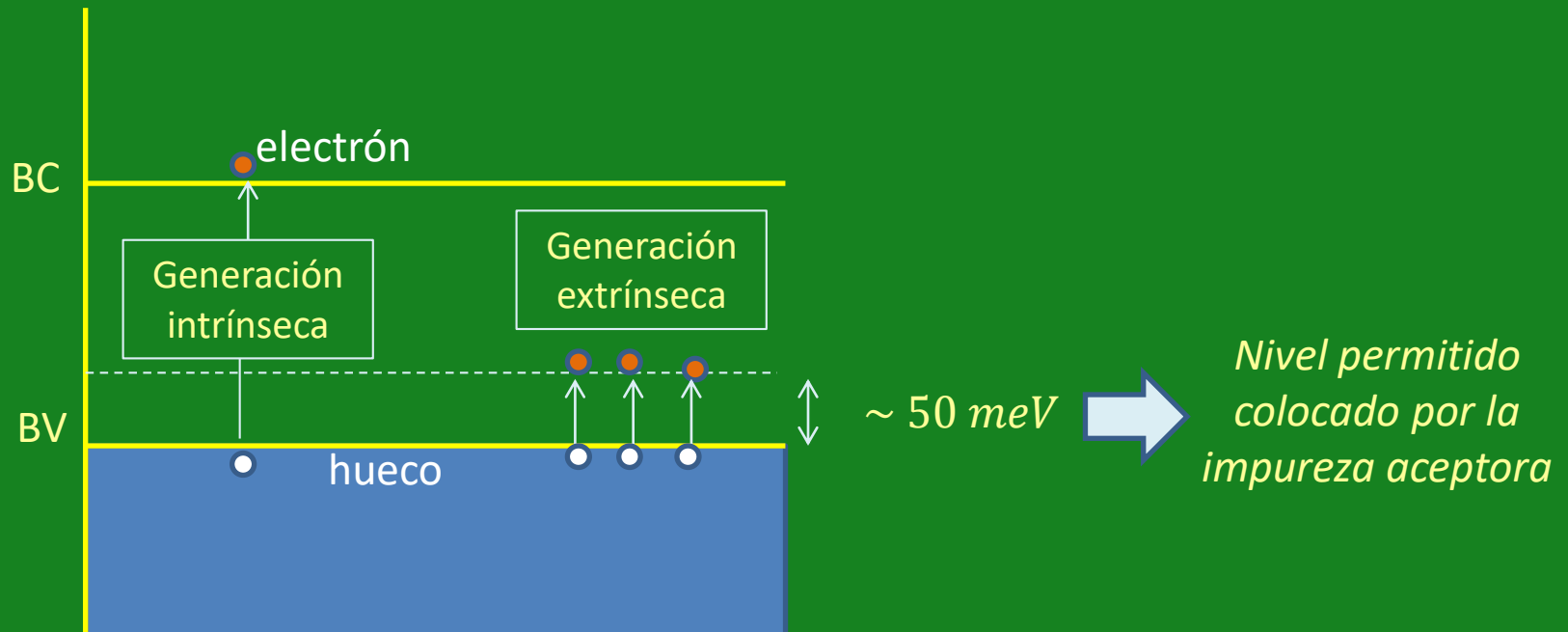
● Átomo Grupo III (Al, Ga, In)



Semiconductores Extrínsecos

Semiconductores tipo P

Banda de Energía

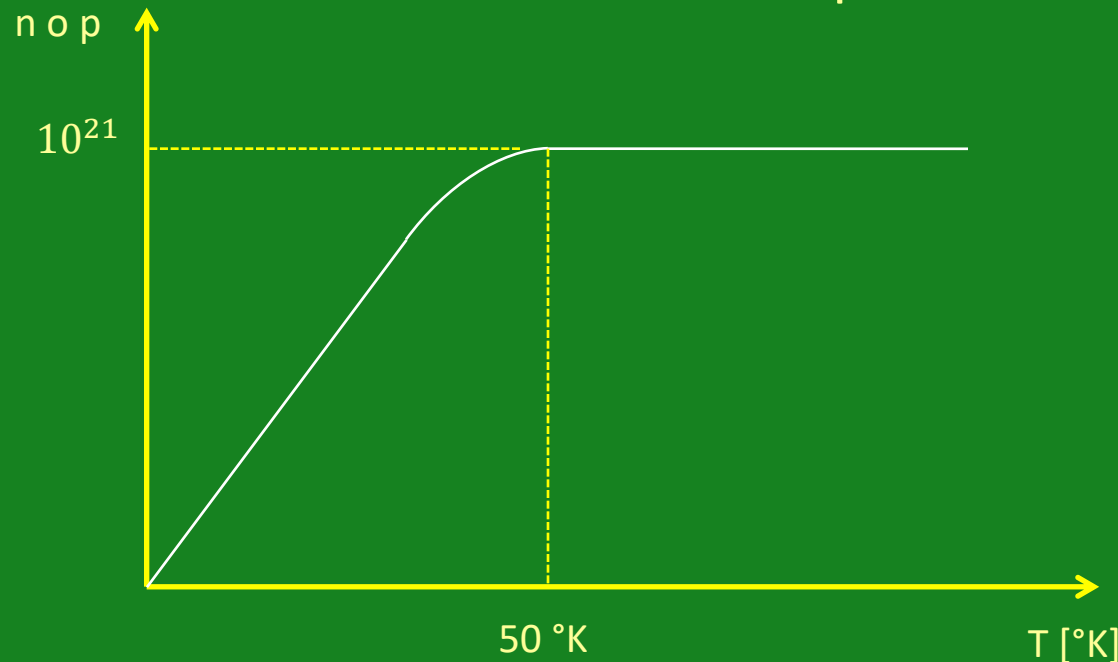


Máxima concentración de impurezas que pueden colocarse en el semiconductor

Solubilidad solida

Concentración del Si → $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
Solubilidad Solida del Si → $10^{20} \text{ a } 10^{21} \text{ cm}^{-3}$

Concentración de portadores generados por impurezas como función de la temperatura



Semiconductores Extrínsecos

Concentración de portadores

- Silicio con N_D [átomos / cm^3] de impurezas donadoras

Concentración de electrones

$$n = (N_D + n_0) \text{ [átomos / cm}^3\text{]}$$

N_D : Generación por ionización de impurezas

n_0 : Generación intrínseca

$$N_D \gg n_0$$

$$N_D \approx 10^{20} \gg n_0 \approx 10^{10}$$

$$n = (N_D + n_0) \approx N_D \text{ [átomos / cm}^3\text{]}$$

$$n \approx N_D \text{ [átomos / cm}^3\text{]}$$

Concentración de huecos

$$p = p_0 \text{ [átomos / cm}^3\text{]}$$

p_0 : Generación intrínseca

$$p \approx p_0 \text{ [átomos / cm}^3\text{]}$$



En equilibrio termodinámico

$$n \times p = n_i^2$$

$$N_D \times p = n_i^2$$

$$p \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

Semiconductor con N_D
impurezas donadoras

$$n \approx N_D$$

Semiconductor tipo n

$$p \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

Semiconductor con N_A
impurezas aceptoras

$$p \approx N_A$$

Semiconductor tipo p

$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

