

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

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



Semiconductor tipo n

$$n \approx N_D$$

$$n_n$$

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

$$p_n$$

Semiconductor tipo p

$$p \approx N_A$$

$$p_p$$

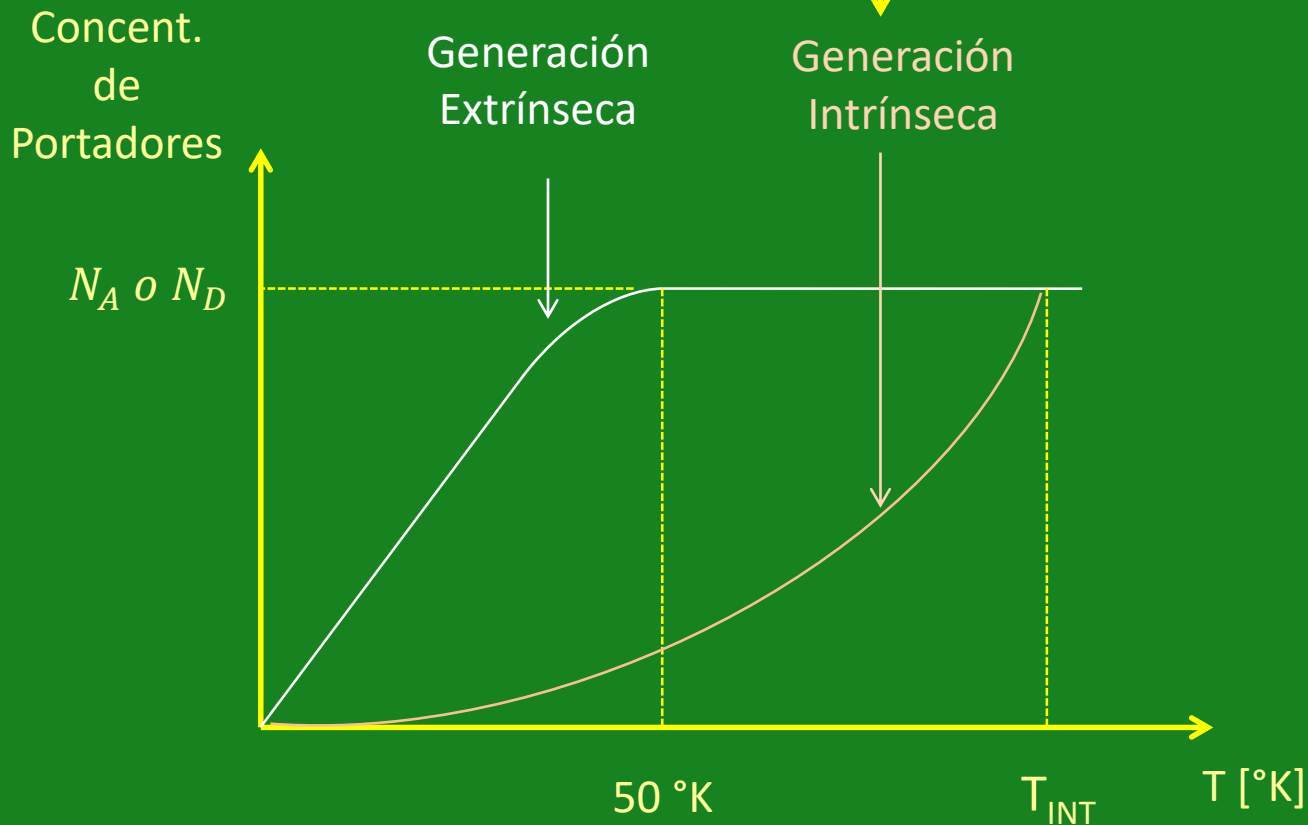
$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

$$n_p$$



Temperatura intrínseca

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



T_{INT}



N_A o $N_D \approx n_i$



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



Conductividad

Semiconductor Intrínseco $\rightarrow \sigma = q n \mu_n + q p \mu_p$

Semiconductor Extrínseco

- Tipo N $\rightarrow \sigma \approx q N_D \mu_n$
- Tipo P $\rightarrow \sigma \approx q N_A \mu_p$

- Para el semiconductor intrínseco la concentración de portadores depende de la temperatura n y $p \uparrow$ con T
- Para el semiconductor extrínseco la concentración de portadores es fija no varia con T

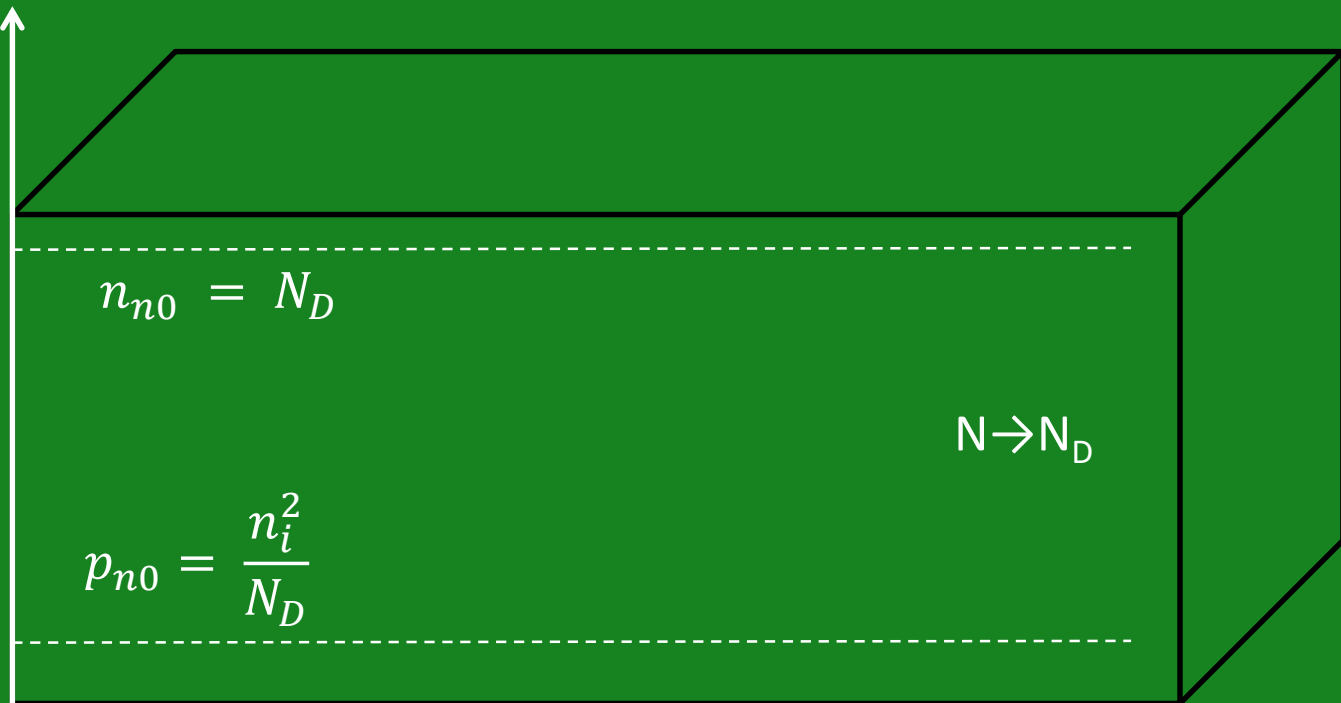


Generación y Recombinación

- Semiconductor tipo N con N_D [átomos / cm^3] de impurezas donadoras

En equilibrio termodinámico

Concent. de Portadores



Iluminamos (Damos energía)

$$\Delta p = p_n - p_{n0}$$

Por la energía se generan
pares electrón-hueco

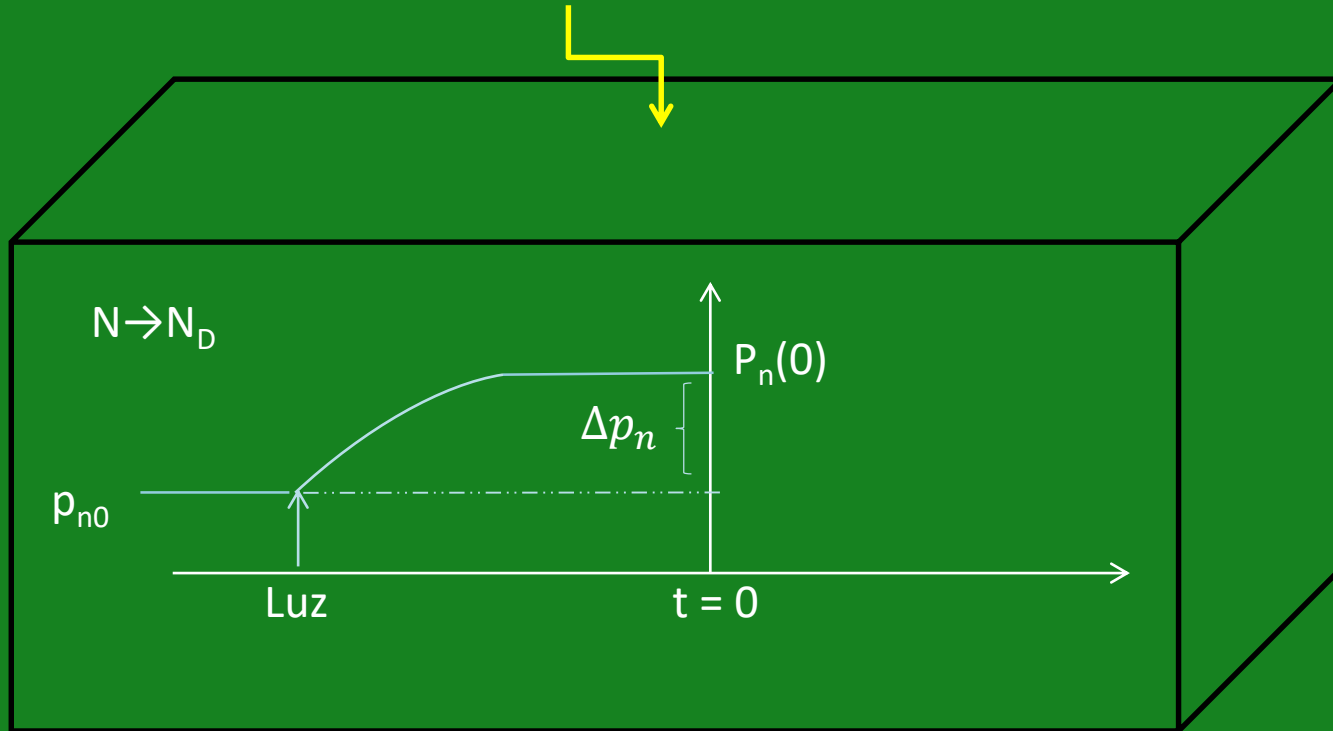


$$\Delta p = \Delta n$$

$$\Delta n = n_n - n_{n0}$$

$$\frac{\Delta n}{n_{n0}} \ll \frac{\Delta p}{p_{n0}}$$

La variación relativa de los minoritarios (huecos) es mucho mayor que la de los mayoritarios (electrones)






Para $t = 0$ retiramos la iluminación y analizamos como retorna la concentración de minoritarios (huecos) al estado inicial (antes de iluminar)

τ_p  Tiempo de vida medio de los huecos

$\frac{\rho_n}{\tau_p}$  Tasa de recombinación de los huecos

g  Tasa de generación

$$\frac{d\rho_n}{dt} = g - \frac{\rho_n}{\tau_p}$$

En equilibrio  $\frac{d\rho_n}{dt} = 0$  $\rho_n = \rho_{n0}$  $g = \frac{\rho_{n0}}{\tau_p}$

$$\frac{d\rho_n}{dt} = \frac{\rho_{n0} - \rho_n}{\tau_p}$$

Defino



$$\rho'_n = \rho_n - \rho_{n0}$$



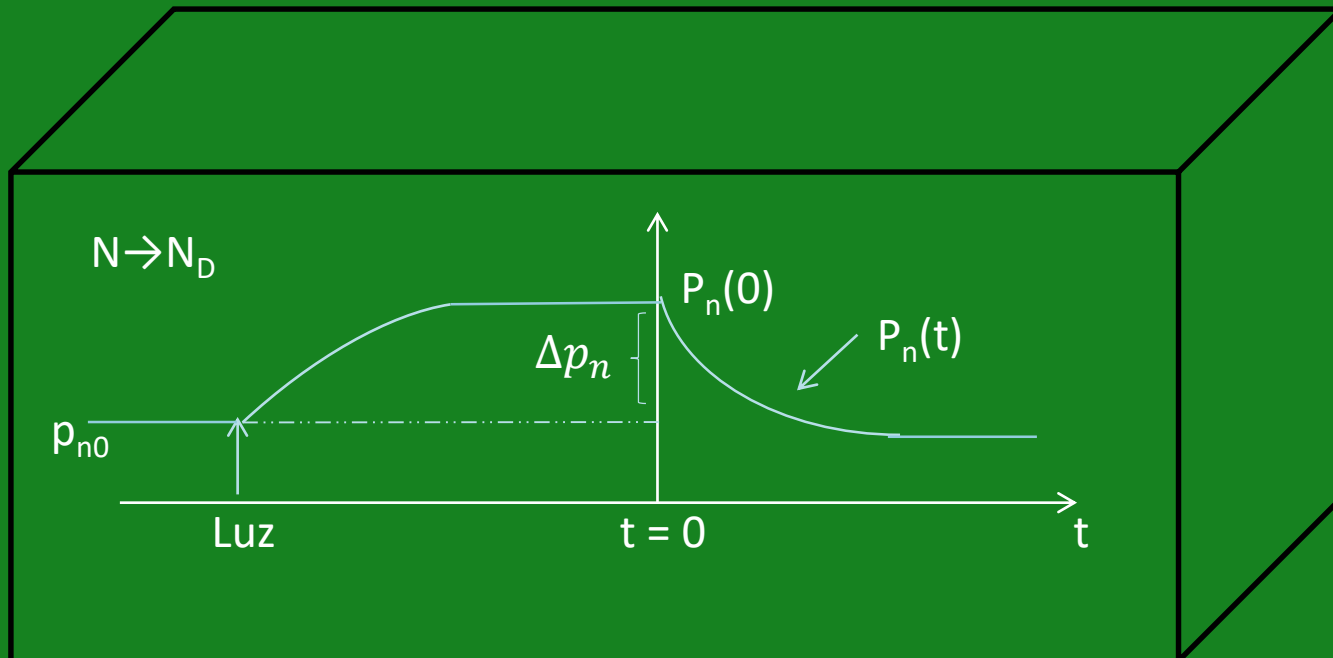
$$\frac{d\rho'_n}{dt} = -\frac{\rho'_n}{\tau_p}$$



Solución de $\Rightarrow \frac{dp'_n}{dt} = -\frac{p'_n}{\tau_p} \Rightarrow p'_n(t) = p'_n e^{-t/\tau_p}$

$$p_n(t) - p_{n0} = [p_n(0) - p_{n0}]e^{-t/\tau_p}$$

$$p_n(t) = [p_n(0) - p_{n0}]e^{-t/\tau_p} + p_{n0}$$



Movilidad en semiconductores extrínsecos

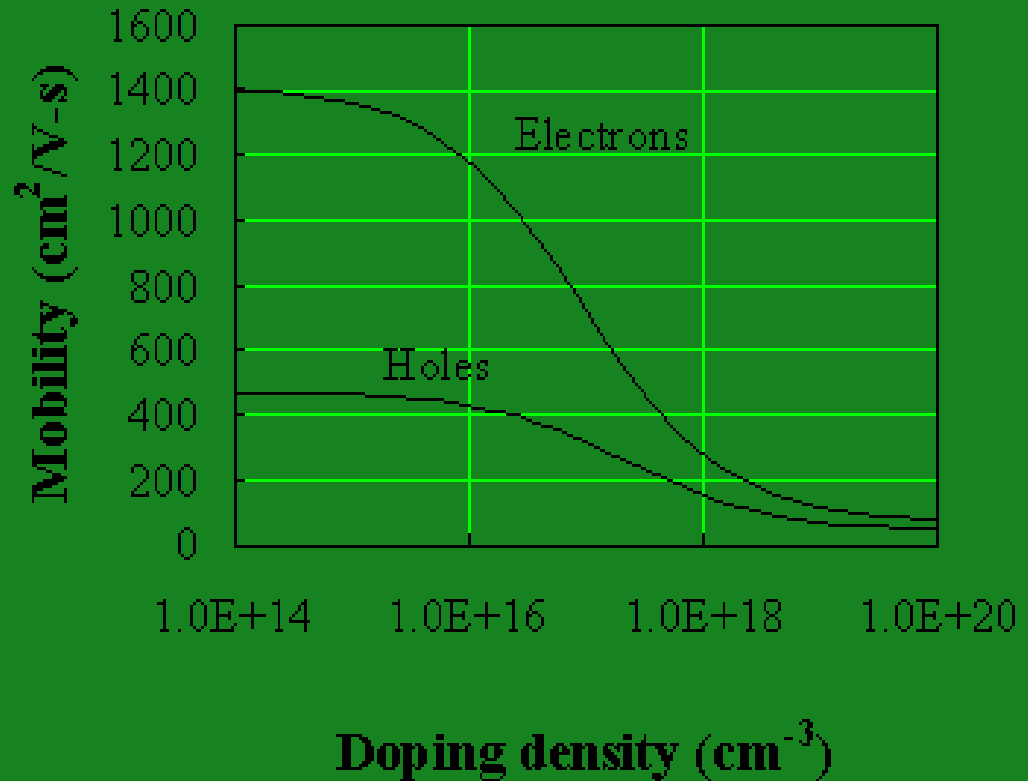
μ
(Movilidad)



f(Concentracion de Impurezas)

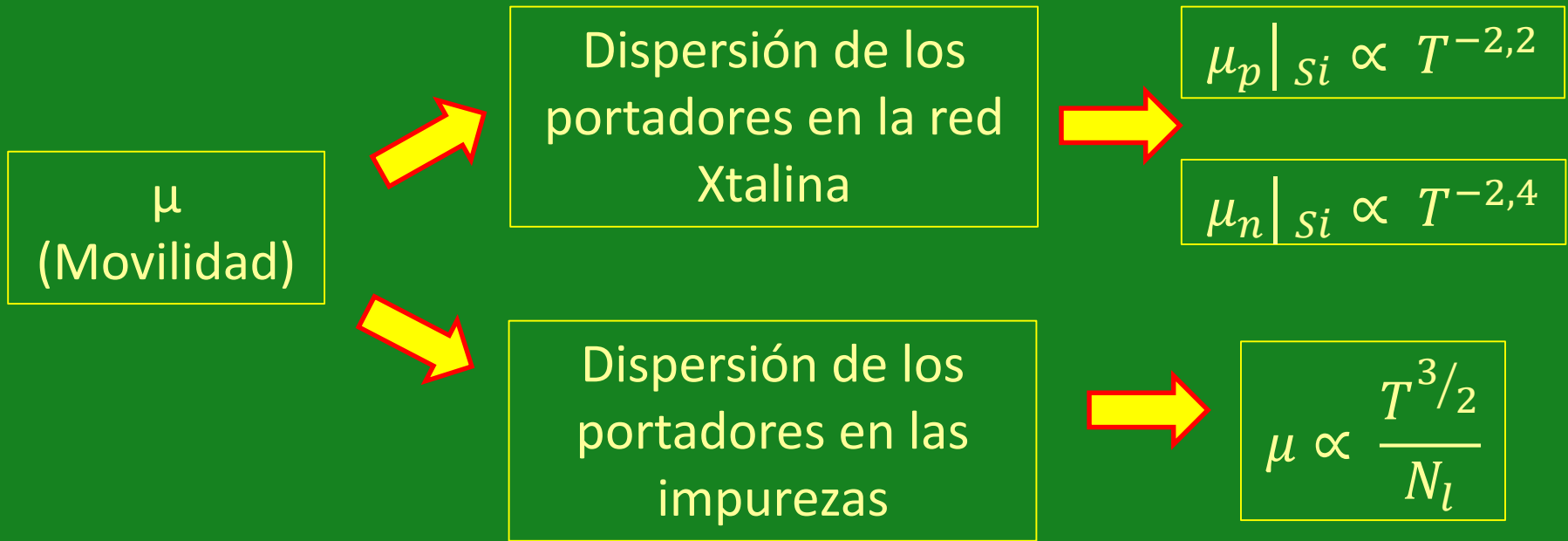
f(Tipo de Impurezas)

	Arsenic	Phosphorous	Boron
μ_{min} (cm ² /V-s)	52.2	68.5	44.9
μ_{max} (cm ² /V-s)	1417	1414	470.5
N_r (cm ⁻³)	9.68×10^{16}	9.20×10^{16}	2.23×10^{17}
α	0.68	0.711	0.719



$$\mu = \mu_{min} + \frac{\mu_{MAX} - \mu_{min}}{1 + \left(\frac{N}{N_r}\right)^\alpha}$$

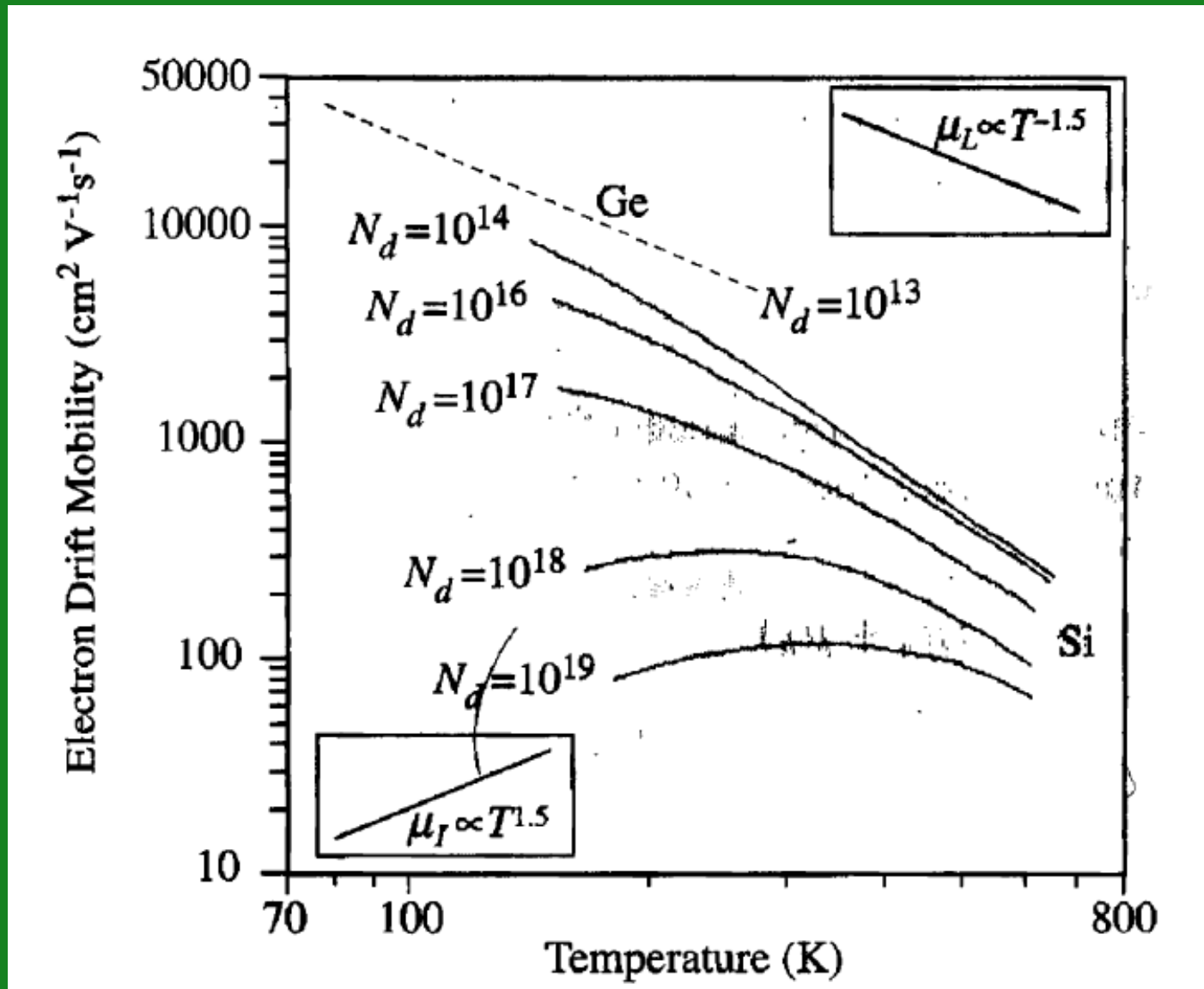




- Las impurezas son átomos extraños en el Xtal (imperfecciones)
- Mas impurezas menos movilidad
- Las impurezas tienen carga eléctrica cuando se ionizan (generan el portador) por ello la temperatura afecta mejorando la movilidad (tiempo de interacción disminuye)



Movilidad en semiconductores extrínsecos



Bibliografía

- Electrónica Integrada “Millman y Halkias” Capitulo 2
- Devices Electronics for Integrated Circuits 2° Edition – Muller y Kamins - Capitulo 1
- Principles of Semiconductor Devices – “B. Van Zeghbroeck” - Capitulo 2.7

