

# Semiconductores Extrínsecos

## Concentración de portadores

- Silicio con  $N_D$  [átomos /  $\text{cm}^3$ ] 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

$$p \approx N_A$$

$$p_p$$

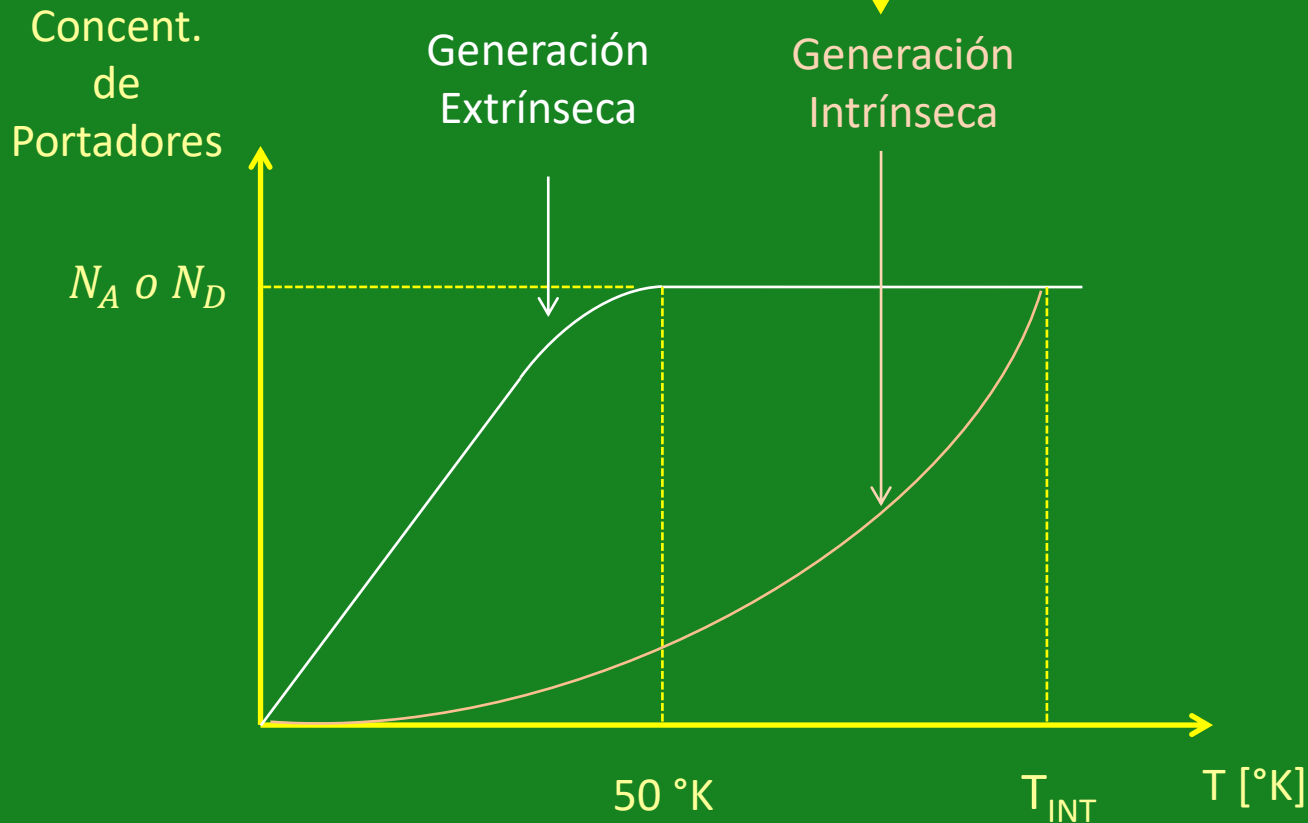
$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

$$n_p$$



# Temperatura intrínseca

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



$T_{INT}$



$N_A$  o  $N_D \approx n_i$



<b>ni</b>	<b>T [°K]</b>	<b>T [°C]</b>
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  $T$

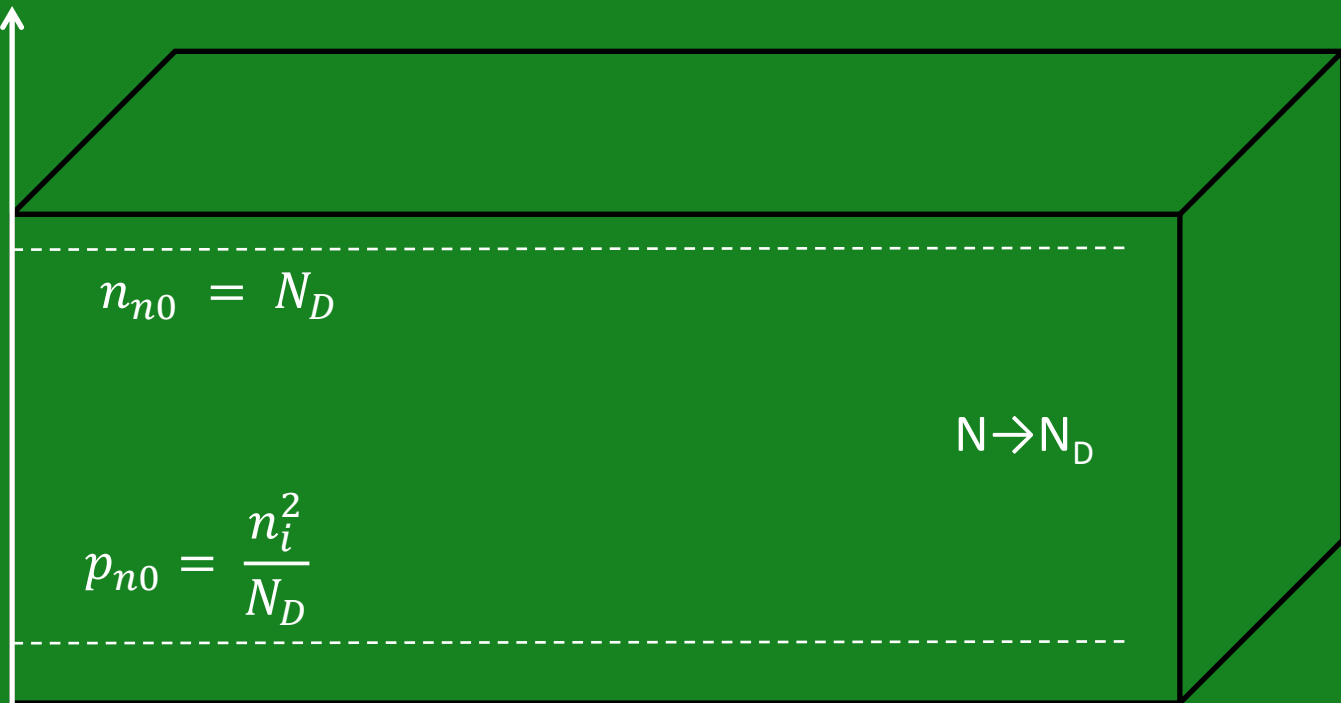


# Generación y Recombinación

- Semiconductor tipo N con  $N_D$  [átomos /  $\text{cm}^3$ ] 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

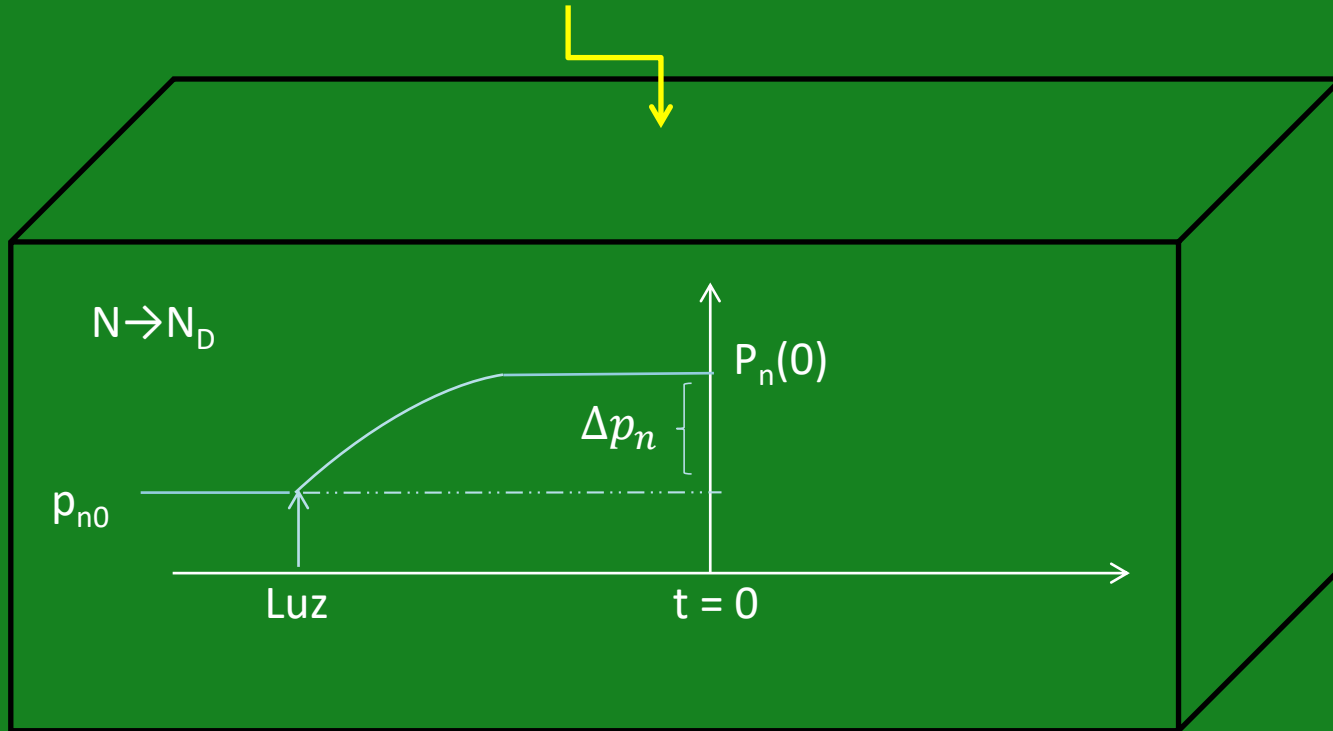


$$\Delta p = \Delta n$$

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

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

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)

$\tau_p$   Tiempo de vida medio de los huecos

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

$g$   Tasa de generación

$$\frac{dp_n}{dt} = g - \frac{p_n}{\tau_p}$$

En equilibrio   $\frac{dp_n}{dt} = 0$    $p_n = p_{n0}$    $g = \frac{p_{n0}}{\tau_p}$

$$\frac{dp_n}{dt} = \frac{p_{n0} - p_n}{\tau_p}$$

Defino



$$p'_n = p_n - p_{n0}$$



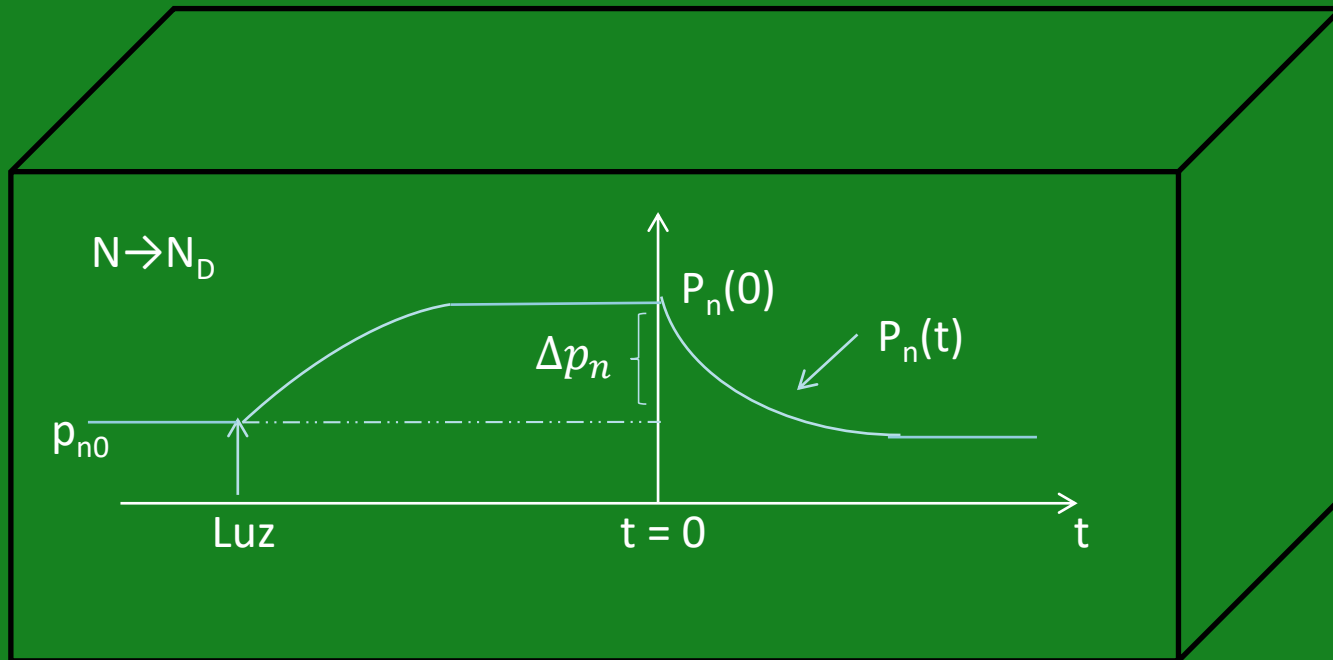
$$\frac{dp'_n}{dt} = -\frac{p'_n}{\tau_p}$$



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

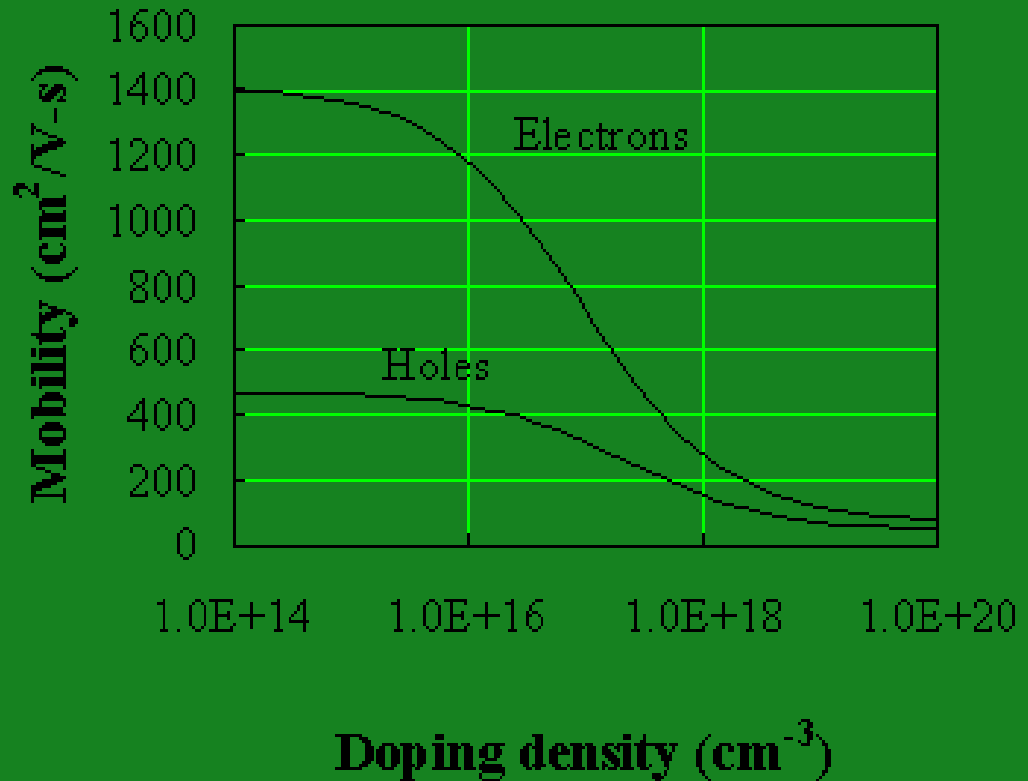
$\mu$   
(Movilidad)



f(Concentracion de Impurezas)

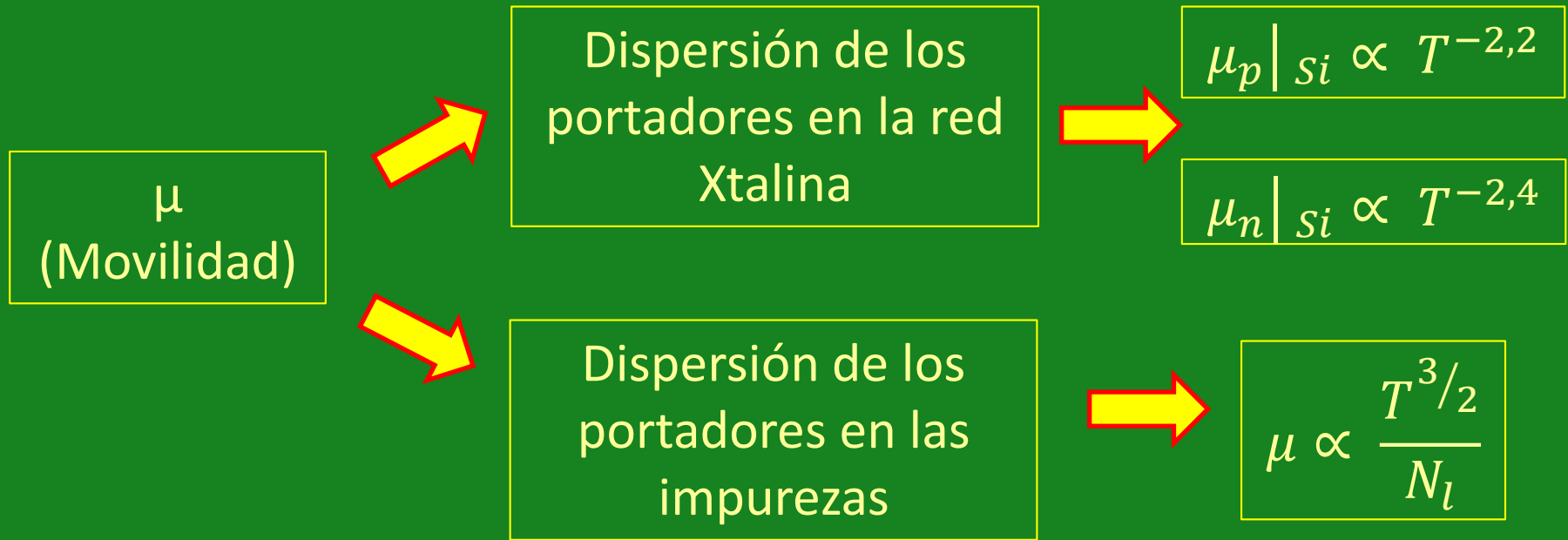
f(Tipo de Impurezas)

	Arsenic	Phosphorous	Boron
$\mu_{min}$ (cm <sup>2</sup> /V-s)	52.2	68.5	44.9
$\mu_{max}$ (cm <sup>2</sup> /V-s)	1417	1414	470.5
$N_r$ (cm <sup>-3</sup> )	$9.68 \times 10^{16}$	$9.20 \times 10^{16}$	$2.23 \times 10^{17}$
$\alpha$	0.68	0.711	0.719



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

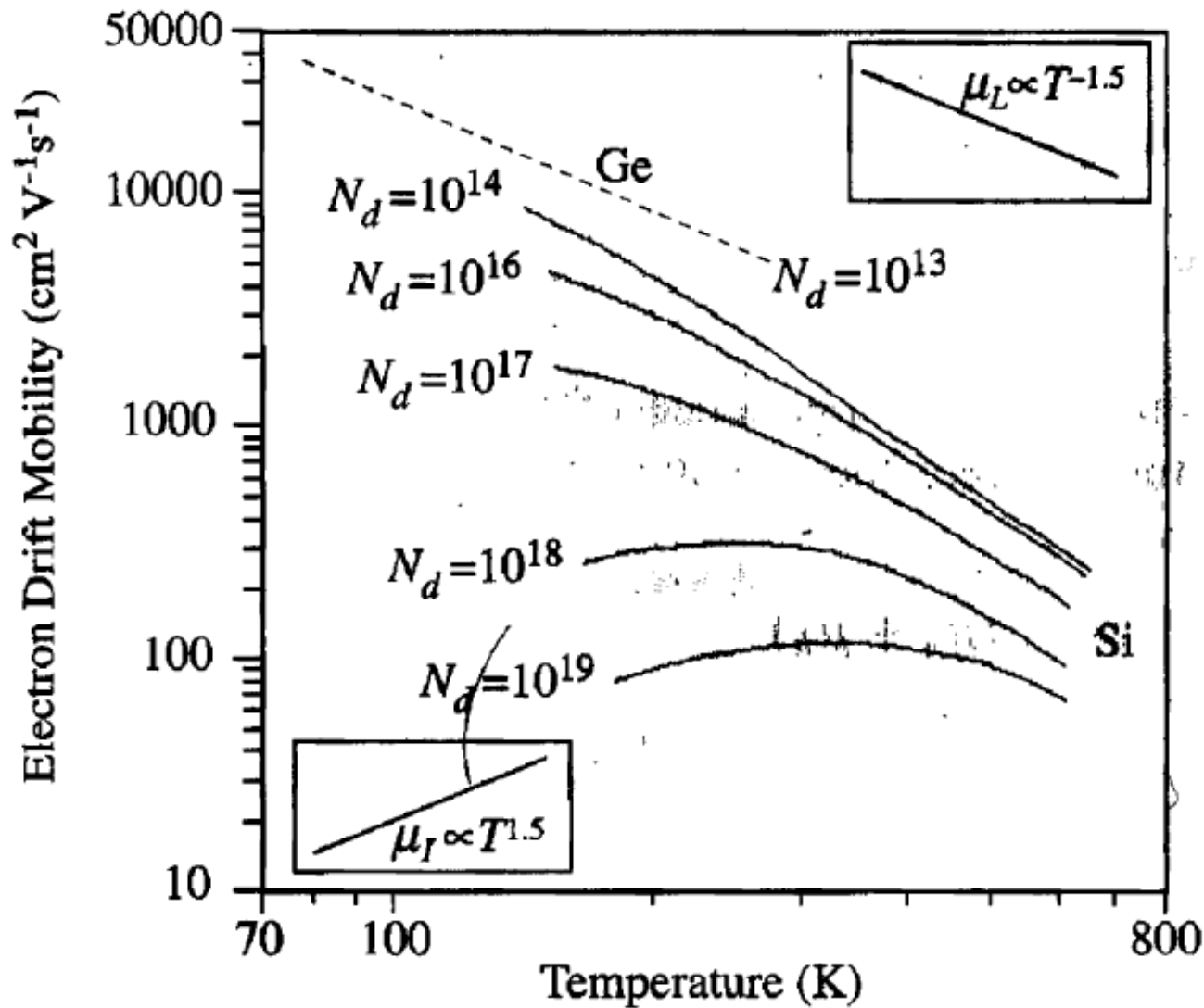




- Las impurezas son átomos extraños en el Xtal (imperfecciones)
- Mas impurezas menos movilidad
- Las impurezas tienen carga eléctrica cuando se ionizan (generan el portador) por ello la temperatura afecta mejorando la movilidad (tiempo de interacción disminuye)



# 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

