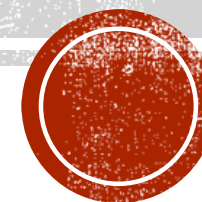


ANEXO A

ANEXO AL TEMA 4 FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO II

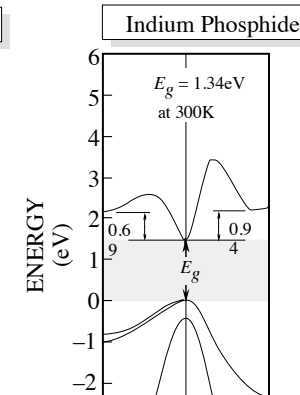
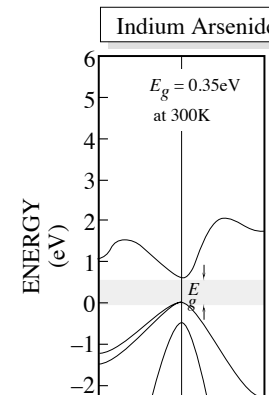
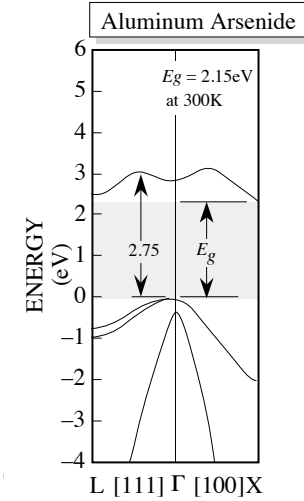
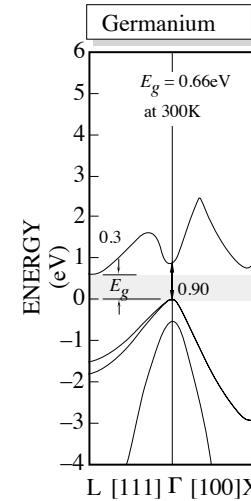
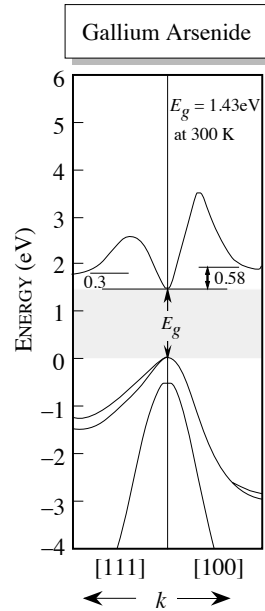
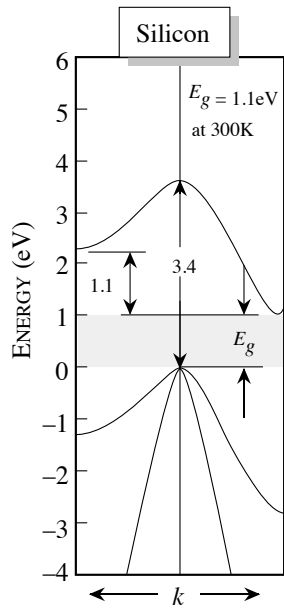


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ESTRUCTURA DE BANDAS E INTERVALO DE ENERGÍA PROHIBIDA PARA ALGUNOS SEMICONDUCTORES



$$E_g = 1.17 - \frac{4.37 \times 10^{-4} T^2}{T - 636} \text{ (eV)} \quad T = \text{Temperature in K}$$

$$E_g = 1.519 - \frac{5.4 \times 10^{-4} T^2}{T + 204} \text{ (eV)}$$

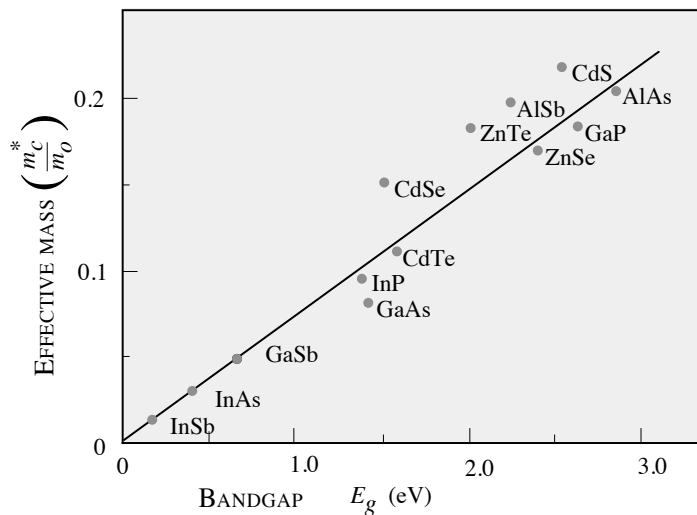
T = Temperature in K

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

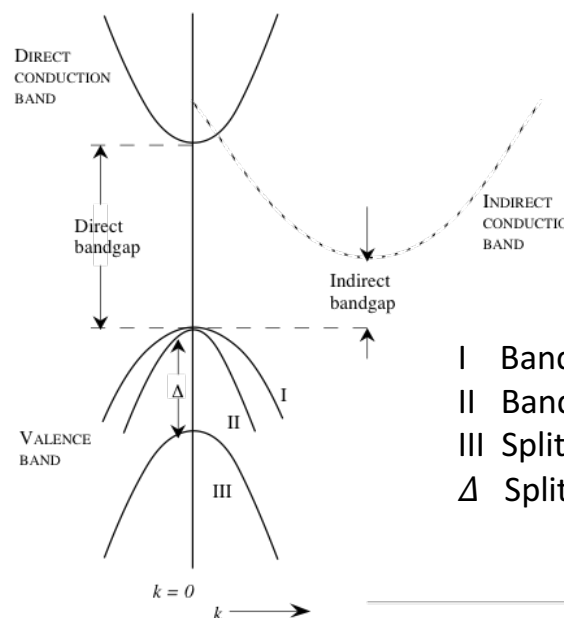
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

MASA EFECTIVA EN BANDA DE CONDUCCIÓN PARA SEMICONDUCTORES MÁS TÍPICOS



$$E_c(k) = E_c(0) + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_c^*}$$



- I Banda de huecos ligeros
- II Banda huecos pesados
- III Split-Off banda de Valencia
- Δ Split-Off energía

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

| Material | Bandgap (eV) | Relative Dielectric Constant | Material | Electron Mass (m_0) | Hole Mass (m_0) |
|----------|--------------|------------------------------|----------|---|---|
| C | 5.5, I | 5.57 | AlAs | 0.1 | |
| Si | 1.124, I | 11.9 | AlSb | 0.12 | $m_{dos}^* = 0.98$ |
| Ge | 0.664, I | 16.2 | GaN | 0.19 | $m_{dos}^* = 0.60$ |
| SiC | 2.416, I | 9.72 | GaP | 0.82 | $m_{dos}^* = 0.60$ |
| GaAs | 1.424, D | 13.18 | GaAs | 0.067 | $m_{lh}^* = 0.082$ $m_{hh}^* = 0.45$ |
| AlAs | 2.153, I | 10.06 | GaSb | 0.042 | $m_{dos}^* = 0.40$ |
| InAs | 0.354, D | 15.15 | Ge | $m_l = 1.64$ $m_t = 0.082$ $m_{dos} = 0.56$ | $m_{lh}^* = 0.044$ $m_{hh}^* = 0.28$ |
| GaP | 2.272, I | 11.11 | InP | 0.073 | $m_{dos}^* = 0.64$ |
| InP | 1.344, D | 12.56 | InAs | 0.027 | $m_{dos}^* = 0.4$ |
| InSb | 0.230, D | 16.8 | InSb | 0.13 | $m_{dos}^* = 0.4$ |
| CdTe | 1.475, D | 10.2 | Si | $m_l = 0.98$ $m_t = 0.19$ $m_{dos} = 1.08$ | $m_{lh}^* = 0.16$ $m_{hh}^* = 0.49$ |
| AlN | 6.2, D | 9.14 | | | |
| GaN | 3.44, D | 10.0 | | | |
| ZnSe | 2.822, D | 9.1 | | | |
| ZnTe | 2.394, D | 8.7 | | | |

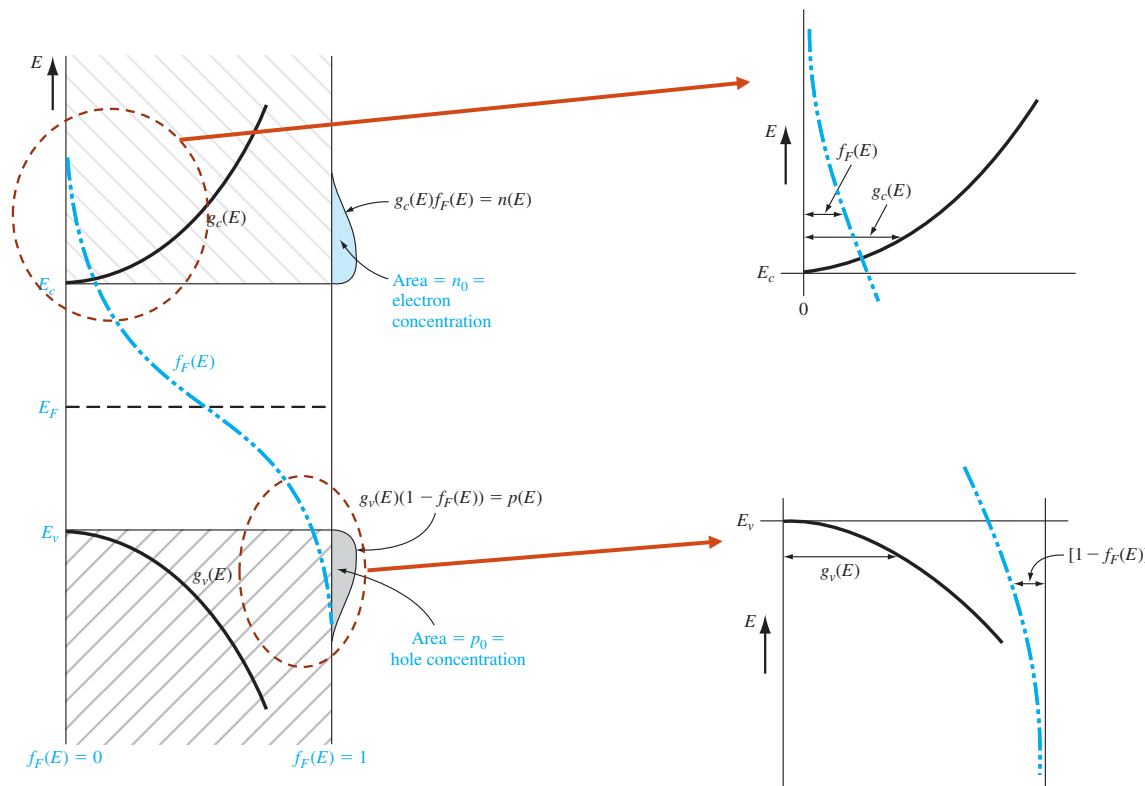
Propiedades de algunos semiconductores. D e I indican transición directa e indirecta respectivamente. Los datos mostrados corresponden con una temperatura de 300K.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO



Densidad de estados en banda de valencia y conducción y función de Fermi. Las áreas representan la concentración de electrones y huecos en el caso de que el nivel de Fermi esté en el centro del intervalo de energía prohibida. Mostramos ampliación de las zonas cerca de los bordes de banda de valencia y banda de conducción.

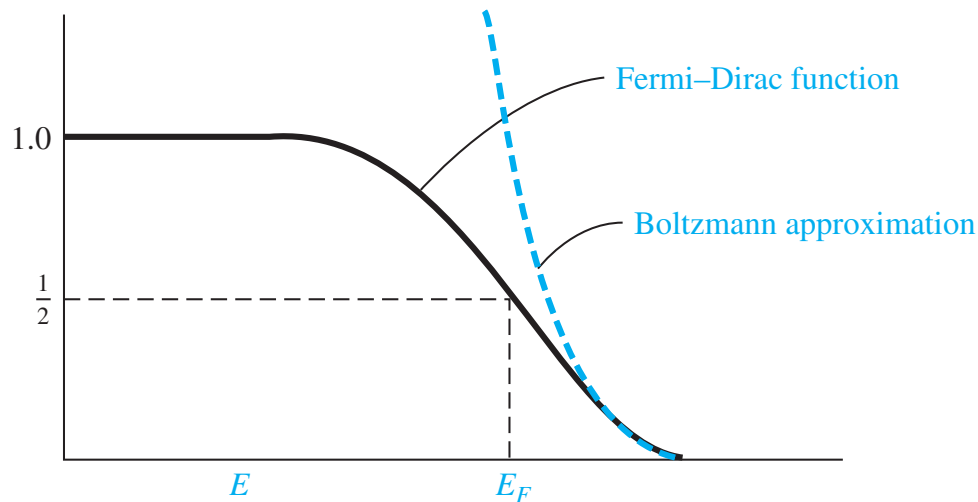
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

Aproximación de Maxwell-Boltzman:



FERMI - DIRAC

$$f_F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$



$$f_{MB}(E) \approx \exp\left(\frac{-(E - E_F)}{kT}\right)$$

MAXWELL - BOLTZMANN

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

En un semiconductor intrínseco y bajo la aproximación de Maxwell-Boltzman:

$$n = \int_{E_C}^{\infty} g_c(E) f_F(E) dE \approx \int_{E_C}^{\infty} g_c(E) f_{MB}(E) dE \approx 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{-(E_C - E_F)}{kT}\right) = N_c \exp\left(\frac{-(E_C - E_F)}{kT}\right)$$

$$p = \int_{-\infty}^{E_V} g_v(E) (1 - f_F(E)) dE \approx \int_{-\infty}^{E_V} g_c(E) (1 - f_{MB}(E)) dE \approx 2 \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{-(E_F - E_V)}{kT}\right) =$$

$$p = N_v \exp\left(\frac{-(E_F - E_V)}{kT}\right)$$

En todo semiconductor intrínseco **n = p**

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, teal-colored font. The "99" is significantly larger and more prominent than the "Cartagena" part. The text is set against a background of light blue and orange geometric shapes.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

Consecuencias:

$$n = p \Rightarrow N_C \exp\left(\frac{-(E_C - E_F)}{kT}\right) = N_V \exp\left(\frac{-(E_F - E_V)}{kT}\right) \Rightarrow \text{operando}$$

$$E_F = \frac{1}{2} (E_V + E_C) + \frac{1}{2} \left[kT \ln\left(\frac{N_V}{N_C}\right) \right] = \frac{1}{2} (E_V + E_C) + \frac{3}{4} kT \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right) \approx \frac{1}{2} (E_V + E_C) = \frac{1}{2} E_{gap}$$

$$n \cdot p = n_i^2 = N_C N_V \exp\left(\frac{-E_{gap}}{kT}\right) = cte.$$

$$n_i = p_i = 4.826 \times 10^{21} \left(\frac{m_e^* m_h^*}{m_e^2}\right)^{3/4} T^{3/2} \exp\left(\frac{-E_{gap}}{2kT}\right) m^{-3}$$

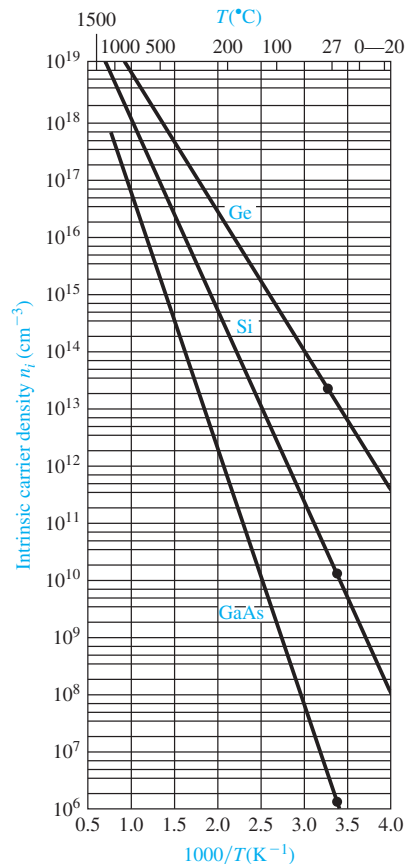
| Material | n_i (cm ⁻³) |
|----------|---------------------------|
| Si | 1,5 x10 ¹⁰ |
| GaAs | 1,8 x10 ⁶ |
| Ge | 2,4 x10 ¹⁰ |



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO



$$\sigma(\text{total}) = ne\mu_e + pe\mu_h =$$

$$= 4.826 \times 10^{21} \left(\frac{m_e^* m_h^*}{m_e^2} \right)^{3/4} T^{3/2} e (\mu_e + \mu_h) \exp\left(\frac{-E_{gap}}{2kT}\right) =$$

$$= 773.1 \left(\frac{m_e^* m_h^*}{m_e^2} \right)^{3/4} T^{3/2} (\mu_e + \mu_h) \exp\left(\frac{-E_{gap}}{2kT}\right)$$

$$\sigma(\text{total}) = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_{gap}}{2kT}\right)$$

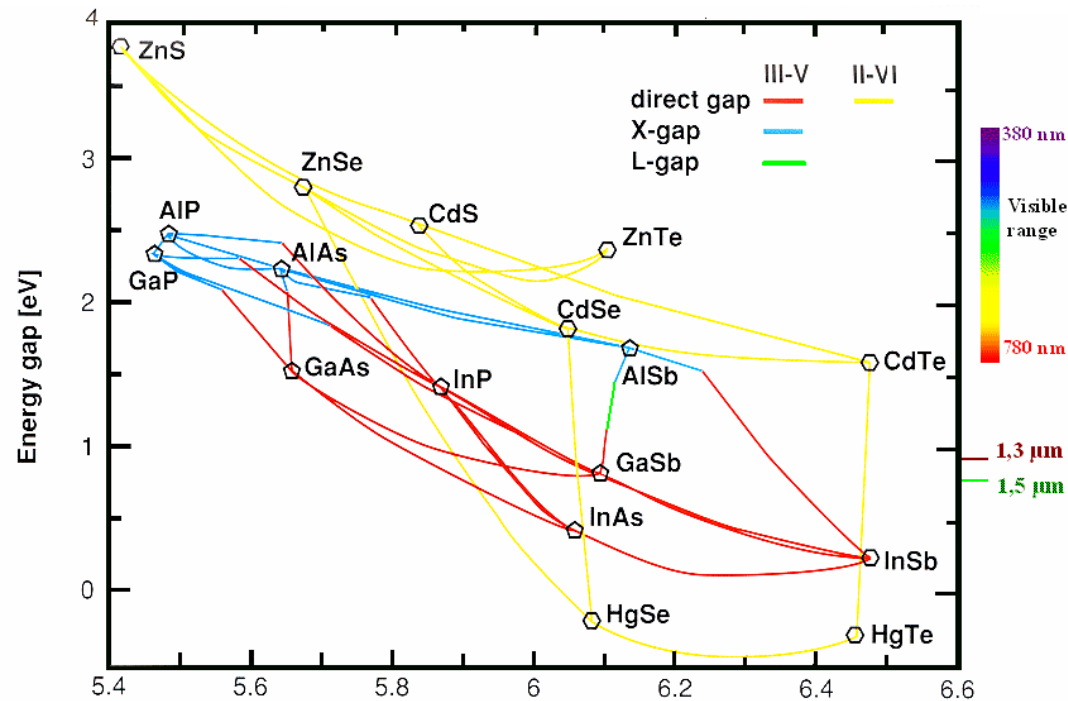
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ELECTRONES Y HUECOS EN UN SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

$$\sigma(\text{total}) = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_{\text{gap}}}{2kT}\right)$$



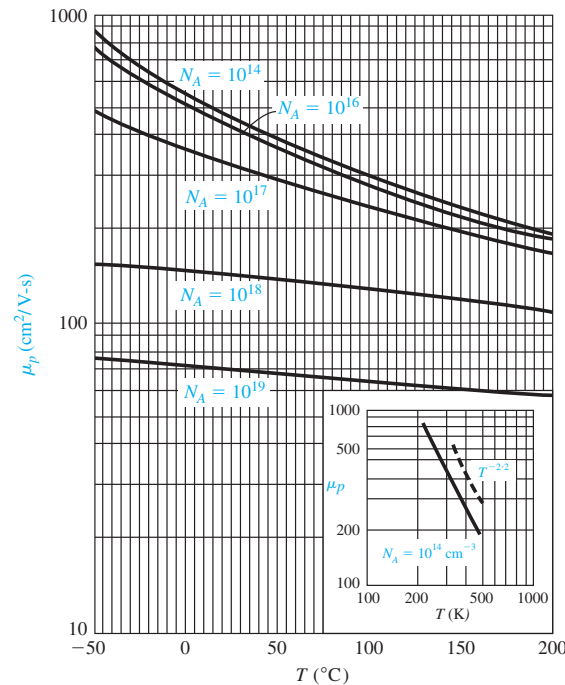
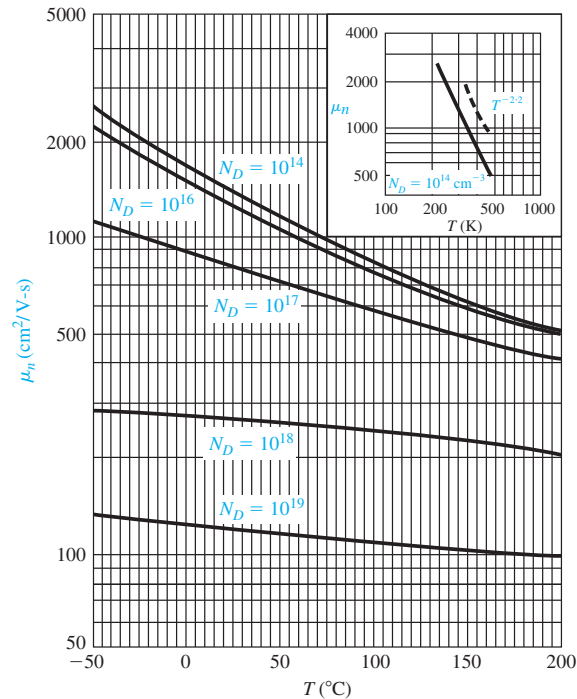
El intervalo de energía prohibida depende del parámetro de red del material.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

MOVILIDAD EN UN SEMICONDUCTOR



$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I}$$

Variación de la movilidad de electrones y huecos en silicio en función de la temperatura y en función de la concentración de dopantes. Los "insets" muestran la dependencia con la temperatura para una muestra intrínseca.

Dependencia de la movilidad con la temperatura:

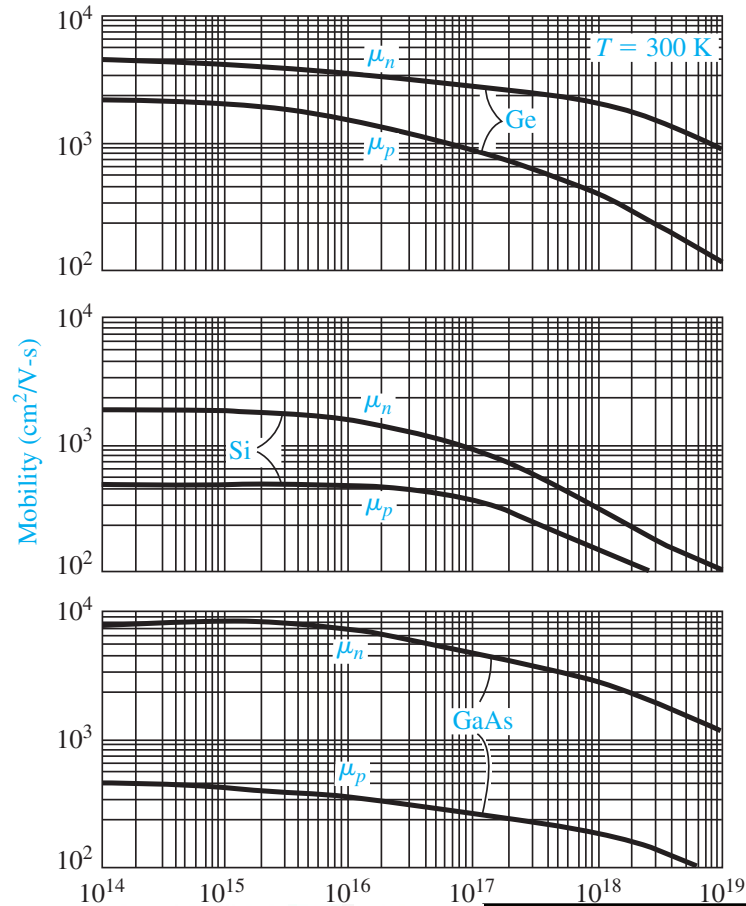
La movilidad de μ_L sólo afectada por la red cristalina: $\mu_L \propto T^{-3/2}$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

MOVILIDAD EN UN SEMICONDUCTOR



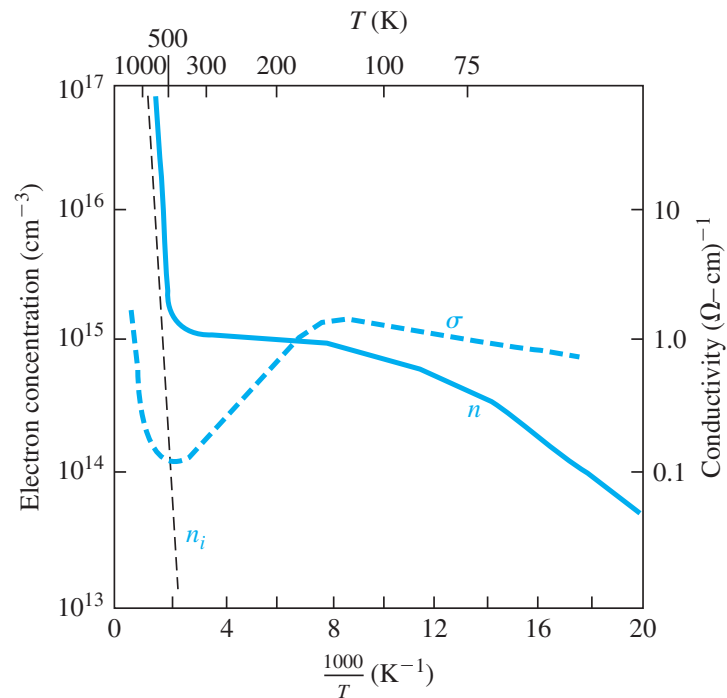
Variación de la movilidad de electrones y huecos en silicio y germanio en función de la concentración de impurezas.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

DEPENDENCIA DE LA RESISTIVIDAD CON LA TEMPERATURA EN UN SEMICONDUCTOR



$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)}$$

Relación entre la concentración de electrones y la conductividad en función del inverso de la temperatura en silicio.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70