



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

4.- PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LOS SÓLIDOS

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

FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO II

4. Propiedades eléctricas de los sólidos

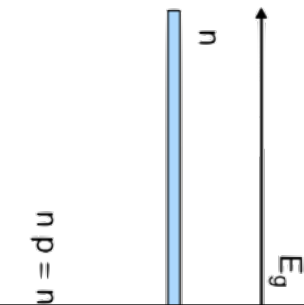
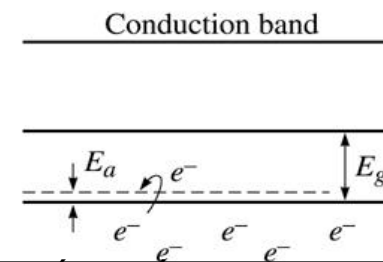
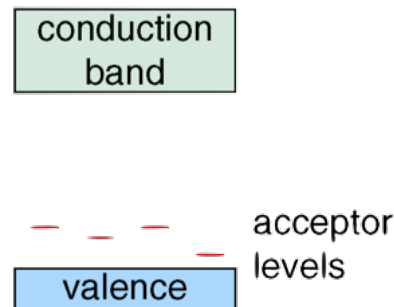
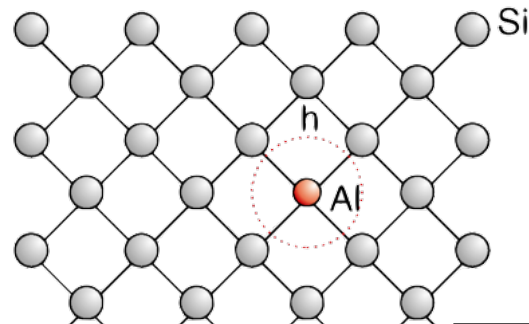
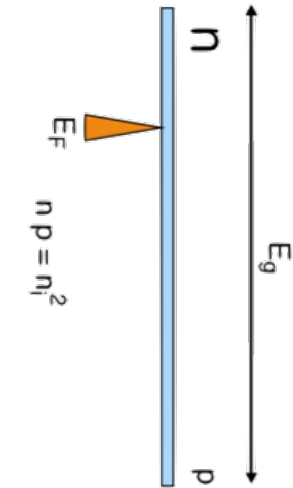
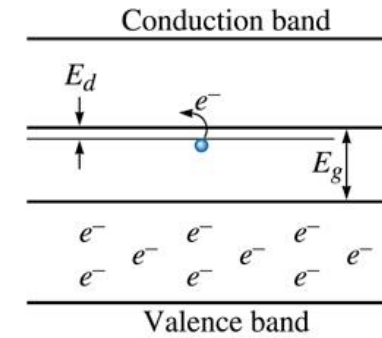
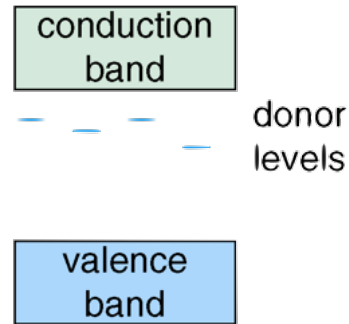
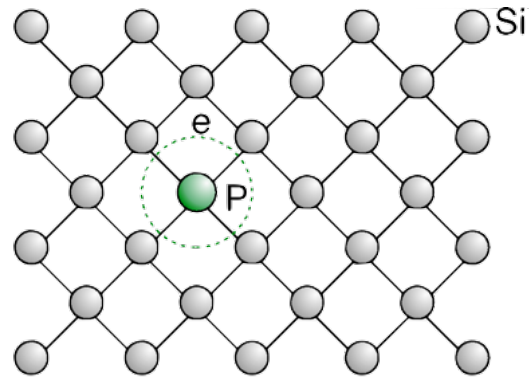
- Semiconductores extrínsecos.
- Dieléctricos.
- Ferroelectricidad.
- Piezoelectricidad.

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

Semiconductores Extrínsecos



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

Semiconductores Extrínsecos

TABLE 18-7 ■ *The donor and acceptor energy gaps (in electron volts) when silicon and germanium semiconductors are doped*

Dopant	Silicon		Germanium	
	E_d	E_a	E_d	E_a
P	0.045		0.0120	
As	0.049		0.0127	
Sb	0.039		0.0096	
B		0.045		0.0104
Al		0.057		0.0102
Ga		0.065		0.0108
In		0.160		0.0112

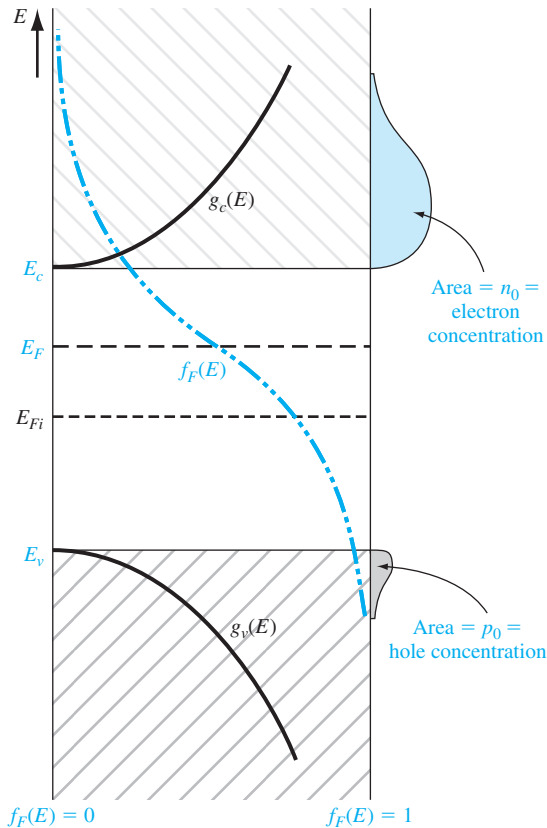
Niveles de energía introducidos por

Cartagena99

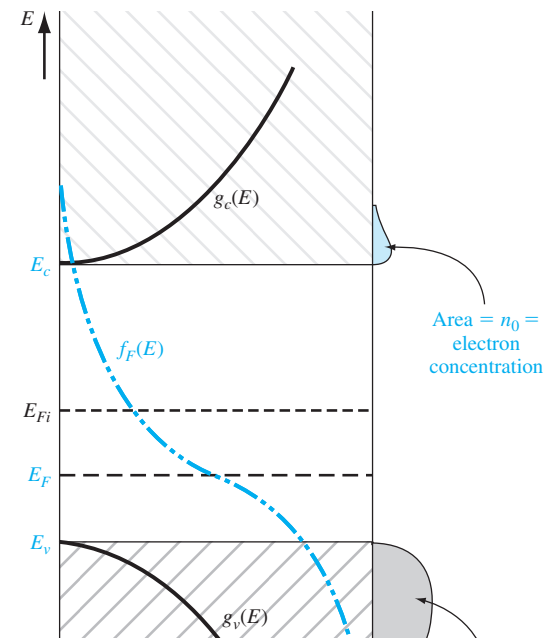
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Semiconductores Extrínsecos



Densidad de estados, función de Fermi y áreas representando la concentración de electrones y huecos para el caso en el que la Energía de Fermi está por debajo del nivel intrínseco.

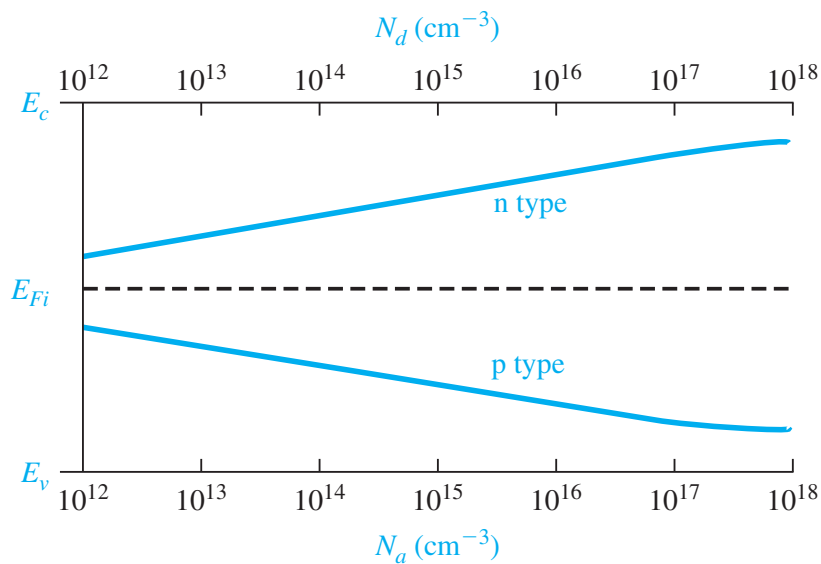


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

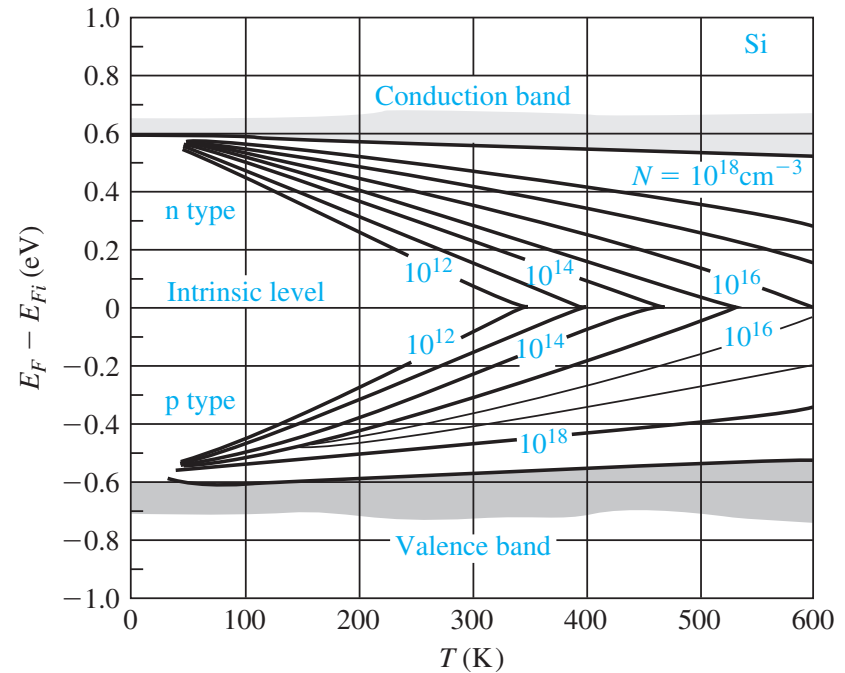
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Semiconductores Extrínsecos



Posición del nivel de Fermi en función de la concentración de donores (tipo n) y aceptores (tipo p)



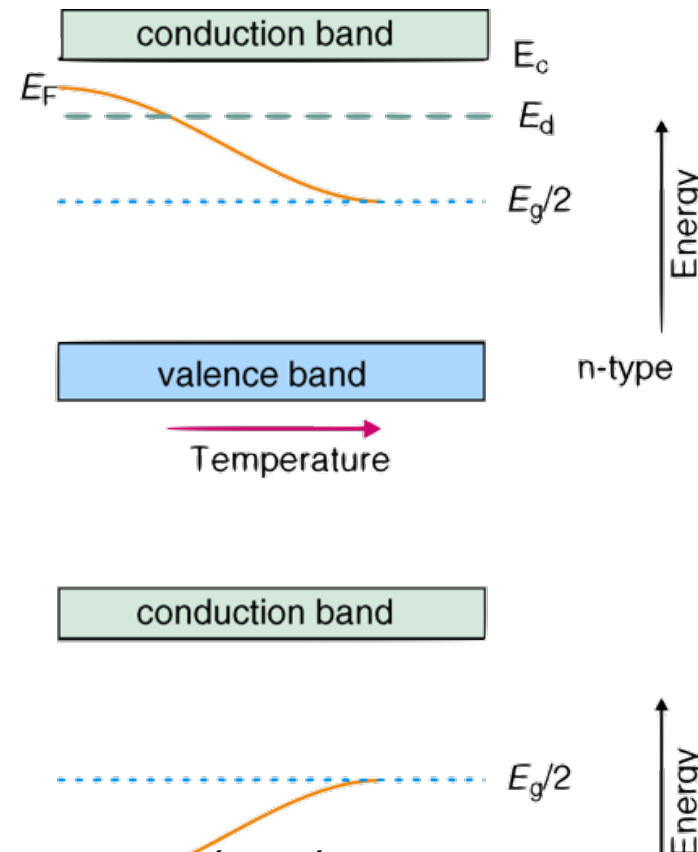
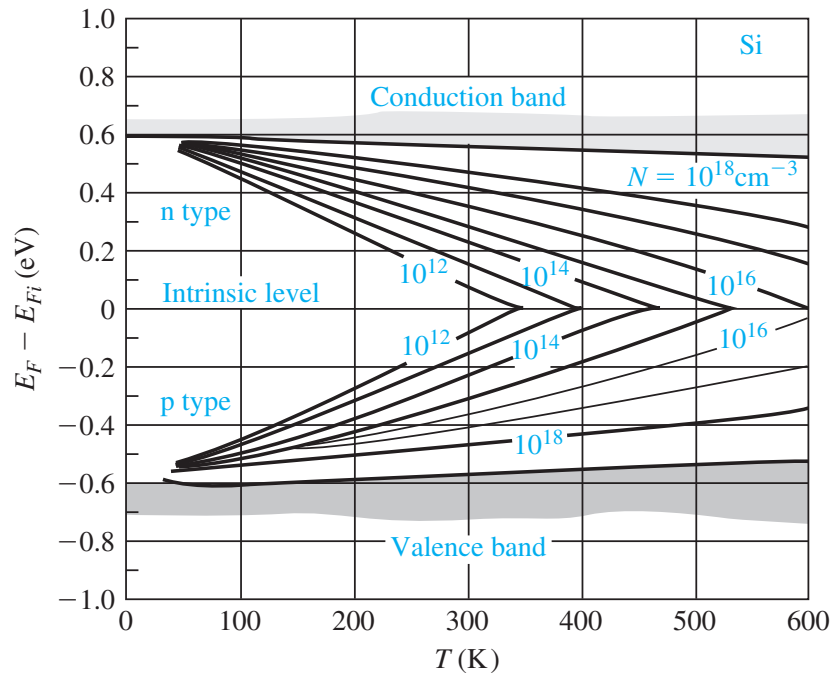
Posición del nivel de Fermi en función de la temperatura para varios

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

Semiconductores Extrínsecos



Posición del nivel de Fermi en función

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

Semiconductores Extrínsecos

$$\left. \begin{aligned} n &= N_c \exp\left[-\frac{(E_c - E_F)}{kT}\right] = n_i \exp\left[-\frac{(E_F - E_{Fi})}{kT}\right] \\ p &= N_v \exp\left[-\frac{(E_F - E_V)}{kT}\right] = n_i \exp\left[-\frac{(E_F - E_{Fi})}{kT}\right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow n \cdot p = n_i^2$$

En un semiconductor extrínseco $n \neq p$ pero en todo caso $n \cdot p = n_i^2$

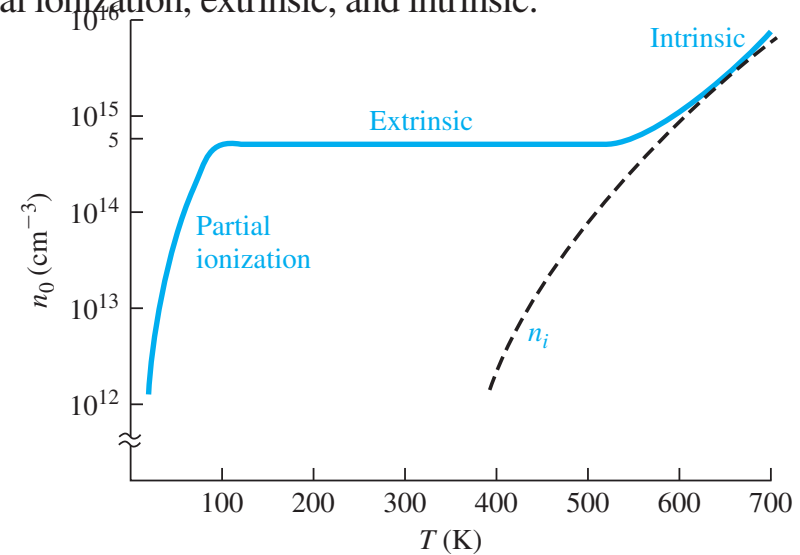
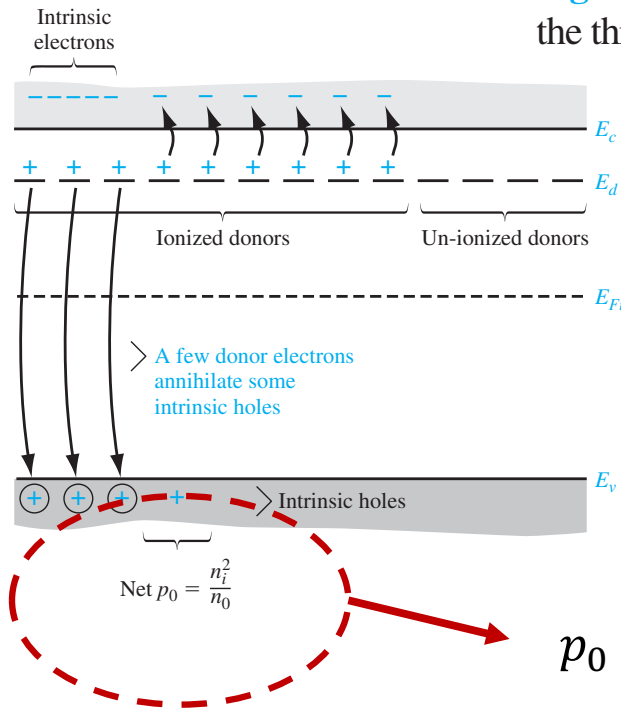
Cartagena99

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

Semiconductores Extrínsecos

Figure 4.16 | Electron concentration versus temperature showing the three regions: partial ionization, extrinsic, and intrinsic.



Concentración de electrones vs. Temperatura mostrando tres regiones: ionización parcial, extrínseco e intrínseco

Diagrama de bandas de energía

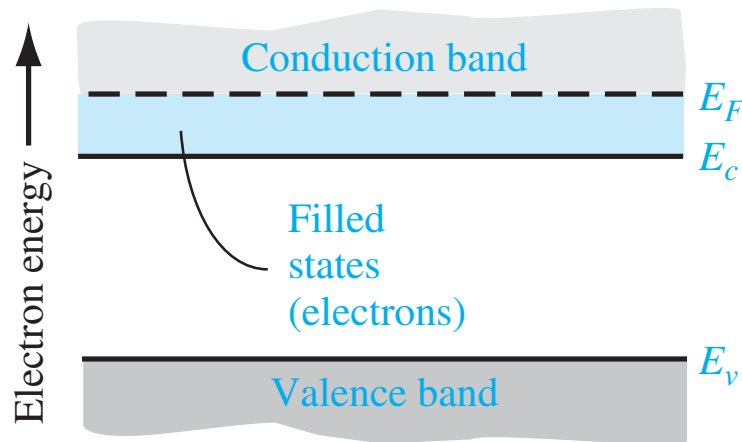
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

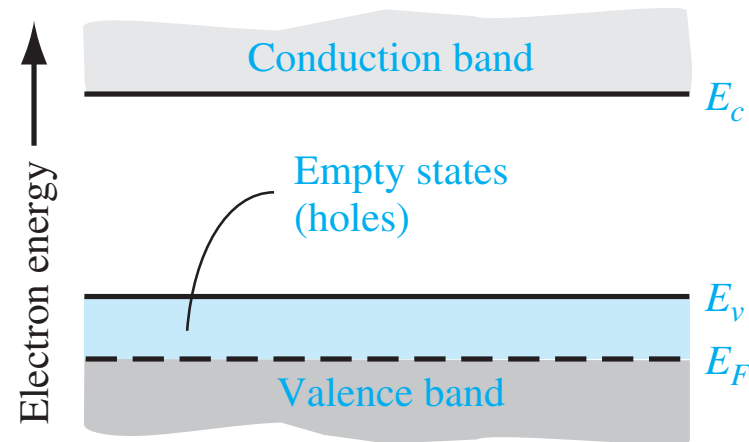
Cartagena99

Semiconductores Extrínsecos (Degeneración)

Diagramas de bandas simplificados para (a) semiconductor tipo n degenerado y (b) semiconductor tipo p degenerado



(a)



(b)

Si la concentración de impurezas es muy alta, la distancia entre ellas decrece hasta tal punto que interactúan entre ellas. Cuando esto ocurre los niveles discretos de las impurezas comienzan a solaparse y forman una banda de energía. El desdoblamiento de estos niveles formando una banda

Cartagena99

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

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

Semiconductores Extrínsecos (Compensación)

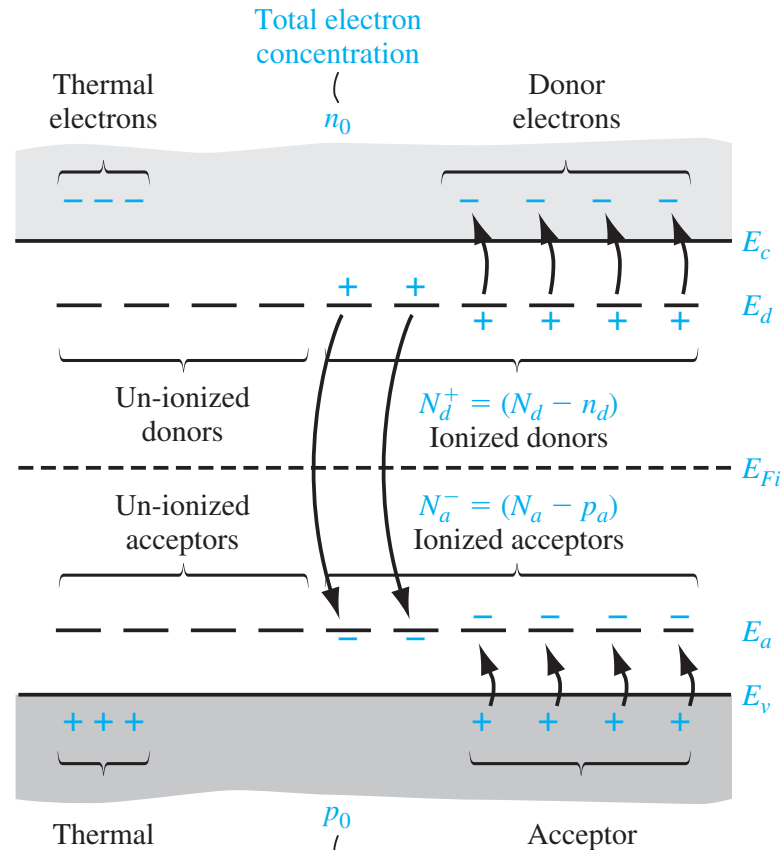


Diagrama de bandas de energía de un semiconductor compensado mostrando donores y aceptores ionizados y no ionizados.

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

Densidad de corriente

Un campo eléctrico aplicado a un semiconductor produce una fuerza sobre los portadores de carga causándoles una aceleración. Este movimiento de carga debido a un campo eléctrico se llama densidad de corriente de deriva ("drift current density")

$$\vec{J}_{drift} = \rho \vec{v}_d \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho = \text{Densidad de corriente} \\ v_d = \text{velocidad deriva} \end{array} \right.$$

Si la velocidad de deriva es causada por un campo eléctrico:

$$\vec{v}_d = \mu_{portadores} \vec{E}$$

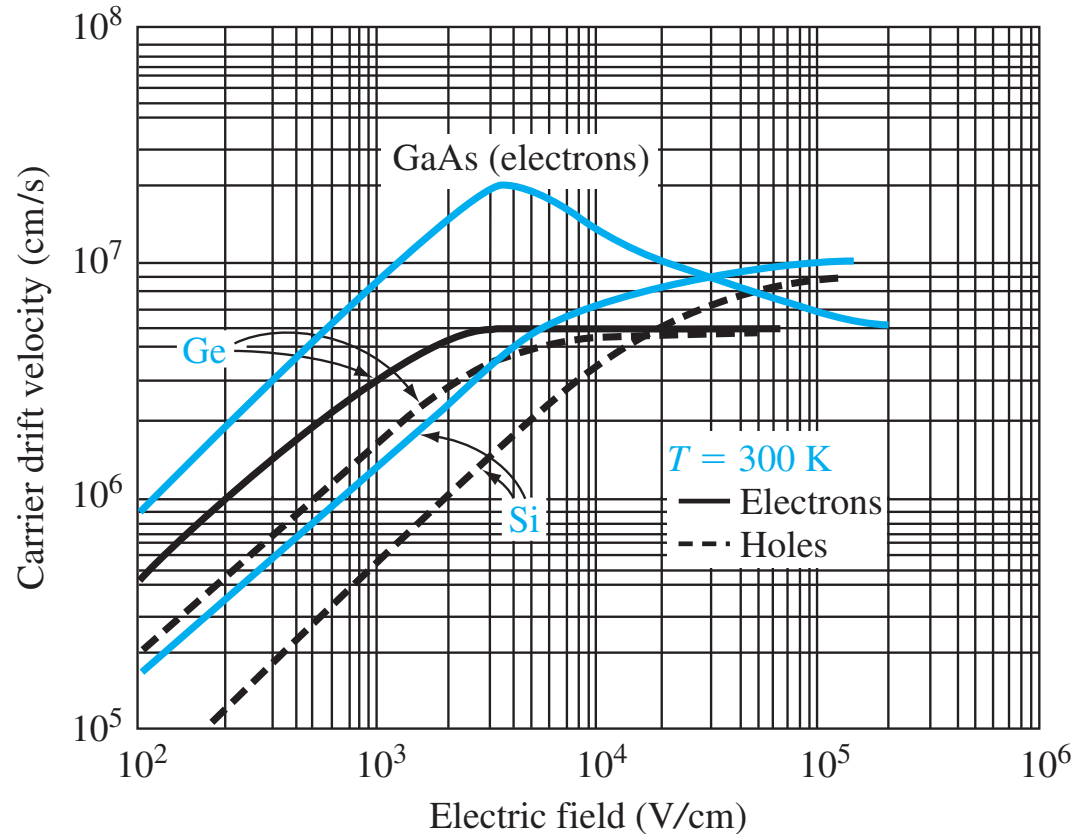
$$\left. \begin{array}{l} \text{electrones} \rightarrow \vec{J}_{drift} = -en\vec{v}_d = -en(-\mu_n\vec{E}) = en\mu_n\vec{E} \\ \text{huecos} \rightarrow \vec{J}_{drift} = ep\vec{v}_d = ep(\mu_p\vec{E}) = ep\mu_p\vec{E} \end{array} \right\} \Rightarrow \vec{J}_{drift} = e(n\mu_n + p\mu_p)\vec{E}$$

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

Densidad de corriente



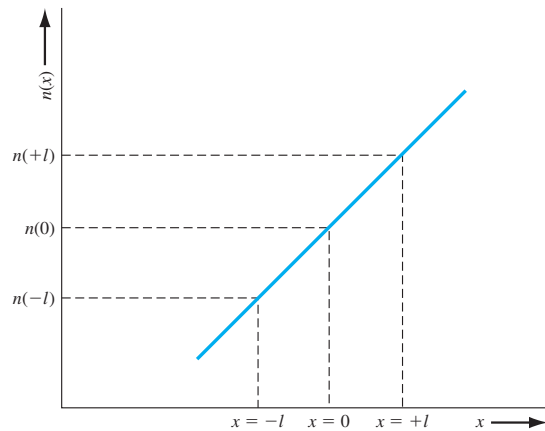
Cartagena99

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

Densidad de corriente

También puede existir una corriente eléctrica por la existencia de un gradiente de concentración de portadores.



Concentración de portadores vs. Distancia. Hemos de suponer que l es menor que el recorrido libre

El flujo neto de portadores a través de $x=0$ será:

$$F_n = -v_{th} l \frac{dn}{dx} \Rightarrow J_{Diff} = -eF_n = eD_n \frac{dn}{dx}$$

Donde D_n se denomina Coeficiente de Difusión

$$D_n = lv_{th}$$

$$J_{Diff} = eD_n \frac{dn}{dx} \quad \text{para electrones}$$

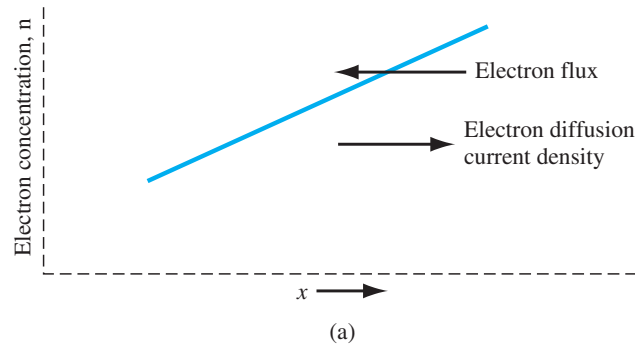
Cartagena99

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

Densidad de corriente

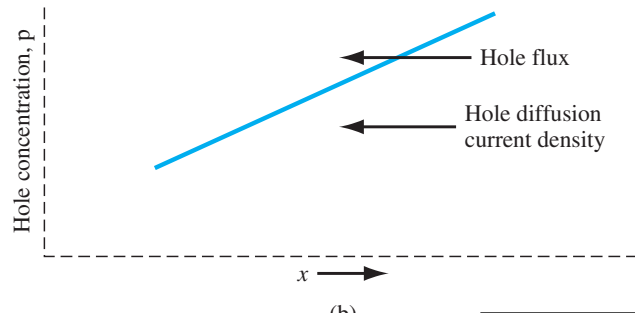
La corriente total será la suma total de cada una de las corrientes atendiendo al signo correspondiente.



$$J = en\mu_n E_x + ep\mu_p E_x + eD_n \frac{dn}{dx} - eD_p \frac{dp}{dx}$$

RELACIÓN DE EINSTEIN

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{e}$$

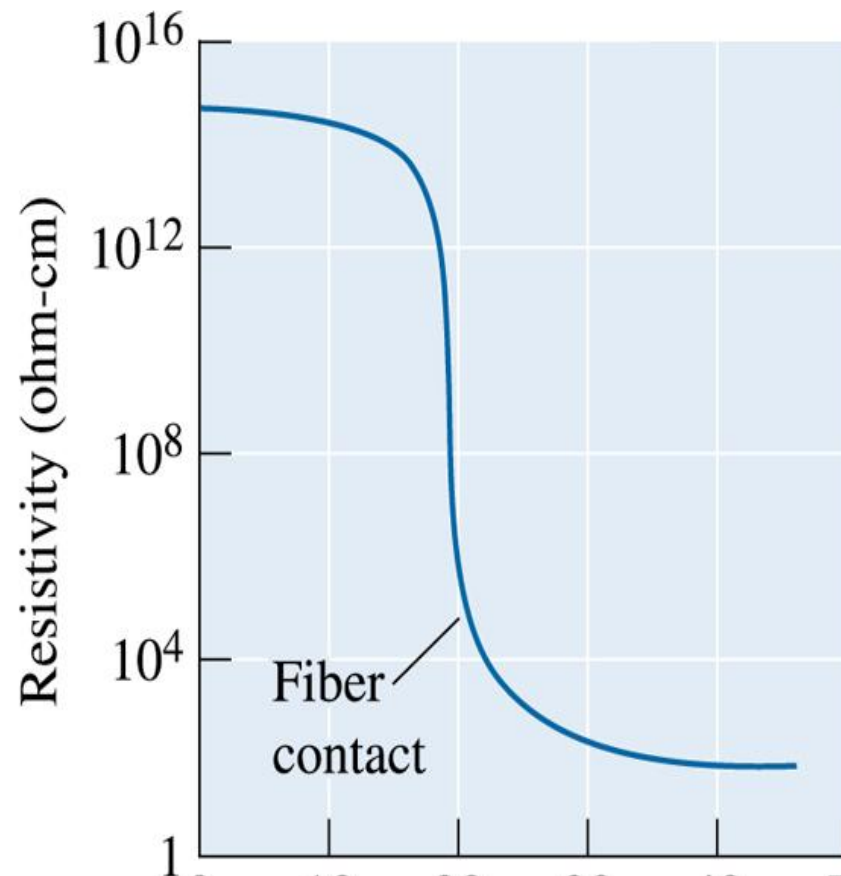


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

Conductividad Iónica



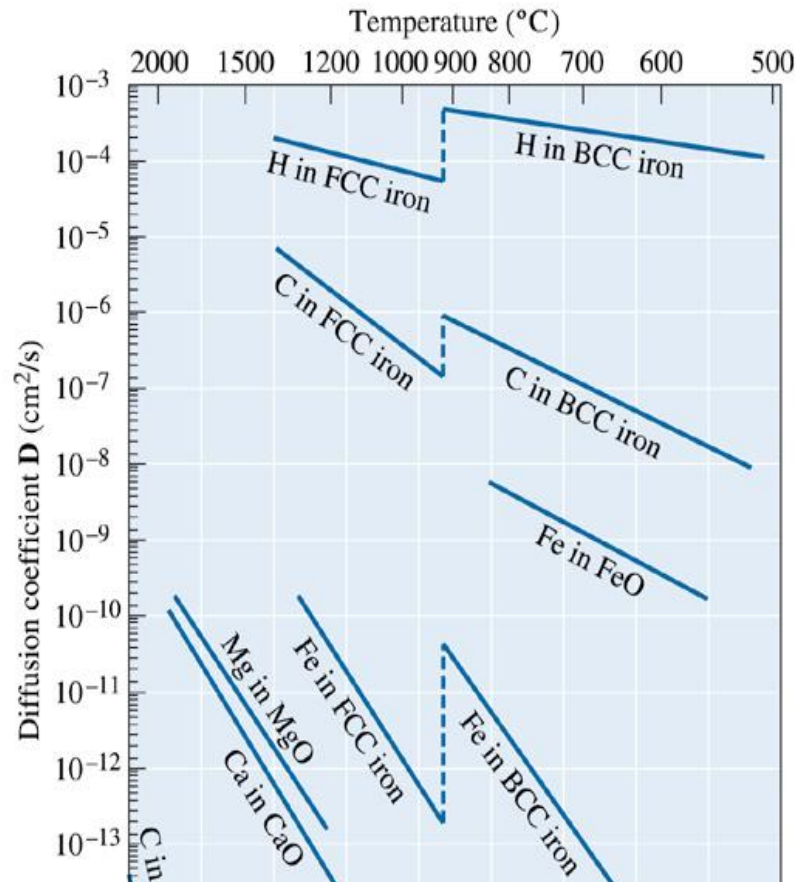
- ✓ **Conduction in Ionic Materials** - Conduction in ionic materials often occurs by movement of entire ions, since the energy gap is too large for electrons to enter the conduction band. Therefore, most ionic materials behave as insulators.
- ✓ **Conduction in Polymers** - Because their valence electrons are involved in covalent bonding, polymers have a band structure with a large energy gap, leading to low-electrical conductivity.

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

Conductividad Iónica



Coeficiente de difusión D como función del recíproco de la temperatura para alguno metales y cerámicas.

En el gráfico de Arrhenius, D representa la velocidad del proceso de difusión. Una pendiente pronunciada denota una energía de activación alta.

En un conductor iónico, la movilidad viene dada por:

$$\mu = \frac{qD}{kT} \quad \left\{ \begin{array}{l} q = \text{Carga del ión} \\ D = \text{coef. difusión} \end{array} \right.$$

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



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

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

PROPIEDADES ELÉCTRICAS