

# MATERIALES ELÉCTRICOS

## MATERIALES SEMICONDUCTORES

### TRABAJO PRÁCTICO Nº 4

- 1- ¿Qué quiere decir que un sólido es policristalino? ¿Qué es un monocristal?
- 2- ¿Cuál es la diferencia entre un sólido cristalino y uno amorfo?
- 3- ¿Cuál es la diferencia entre un conductor y un semiconductor a cero grado Kelvin (0 K)?
- 4- Explicar por qué un semiconductor actúa como un aislante a 0 K y por qué su conductividad aumenta con la temperatura.
- 5- Para un semiconductor de Silicio Intrínseco, calcular a las siguientes temperaturas  $T = -50^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $150^{\circ}\text{C}$  y  $200^{\circ}\text{C}$ : a) la densidad de electrones y huecos (*Concentración Intrínseca*), b) Movilidades de huecos y electrones, c) la resistividad del Silicio intrínseco. Recomendamos que use una planilla Excel. Graficar.
- 6- Para un semiconductor de Silicio Intrínseco a) ¿Cuánto vale la relación entre las conductibilidades de electrones y huecos? b) ¿Qué campo eléctrico debería aplicar para que circulara  $1 \text{ mA/cm}^2$ ? d) ¿A partir de qué densidad de corriente, en Silicio Intrínseco, la velocidad de deriva no aumenta más (satura)? (de Millman y Halkias párrafo 2-5)
- 7- Calcule para qué temperaturas (en K) ni (concentración intrínseca) adopta los siguientes valores:  

$1\text{E}14 \text{ cm}^{-3}$	$1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$	$1\text{E}16 \text{ cm}^{-3}$
$1\text{E}17 \text{ cm}^{-3}$	$1\text{E}18 \text{ cm}^{-3}$	$1\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$

Nota: por el tipo de funciones, recomendamos que haga iteraciones con la planilla Excel.

- 8- Calcular el nivel de Fermi ( $E_F$ ) para el Silicio intrínseco.
- 9- Que error cometo si considero que en el Silicio intrínseco el nivel de Fermi se encuentra en la mitad de la banda prohibida.
- 10- En un alambre de Cobre de  $1 \text{ mm}^2$  de sección, para aproximadamente  $J = 100 \text{ A/cm}^2$  el material se funde. El campo necesario para fusión es del orden de  $20 \text{ mV/cm}$ . ¿Por qué el silicio soporta campos muchos mayores sin fundirse?
- 11- Para un semiconductor de Silicio Extrínseco: Calcular la resistividad si se contamina con impurezas donadoras a)  $N_D = 1\text{E}14 \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D = 1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$ , ... hasta  $N_D = 1\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$  Todo a  $300^{\circ}\text{K}$

#### **CARACTERÍSTICAS DEL SILICIO EN FUNCIÓN DE LAS CONTAMINACIONES, A 300 K**

$N_A N_D \text{ cm}^{-3}$	1E14	1E15	1E16	1E17	3E17	1E18	3E18	1E19
Mayoritarios	1E14	1E15	1E16	1E17	3E17	1E18	3E18	1E19
Minoritarios	1E6	1E5	1E4	1E3	333	100	33	10
$\mu_n \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{seg}$	1358	1345	1248	801	521	270	158	115
$\mu_p \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{seg}$	461	458	437	331	242	148	93	68

- 12- Calcular la resistividad del Si Extrínseco contaminado con impurezas aceptoras con a)  $N_A = 1\text{E}14 \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_A = 1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$ , ... hasta  $N_A = 1\text{E}19 \text{ cm}^{-3}$ .
- 13- Corregir por temperatura entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $200^{\circ}\text{C}$  las expresiones anteriores.
- 14- Usando los resultados de los problemas anteriores, hacer un gráfico de resistividad del Si extrínseco en función de la temperatura destacando: a) la temperatura a la cual se ionizan las impurezas extrínsecas b) la zona de funcionamiento extrínseca o metálica y c) la temperatura intrínseca.

## **Guía de estudio**

### **Semiconductores Intrínsecos**

- 15- ¿Cuál es el origen de las bandas en un sólido?
- 16- ¿Cuál es la diferencia en la estructura de bandas de un: aislador, semiconductor, metal? Dibujar diagrama y dar órdenes de magnitud de EG.
- 17- Explicar que se entiende por función de distribución de Fermi-Dirac
- 18- Definir el nivel de Fermi.
- 19- Para que tipo partículas se aplica la función de probabilidad de Fermi Dirac.
- 20- ¿Cuál es la diferencia entre un metal y un semiconductor intrínseco desde el punto de vista de la ubicación del nivel de Fermi, bandas de energía, densidad de portadores y conductividad?
- 21- Explicar conceptualmente que es un semiconductor intrínseco.
- 22- Explicar conceptualmente que es un hueco en un semiconductor. Utilizar el modelo de bandas de energía y el modelo corpuscular.
- 23- De qué manera varía la densidad de estados permitidos  $N(E)$  con  $E$  para los electrones en un semiconductor? Compare con un metal.
- 24- Como calcula la densidad de portadores en un semiconductor. Explique.
- 25- Explicar el significado de ni y su dependencia con T.

## Semiconductores Extrínsecos

- 26- Explicar conceptualmente que es un semiconductor extrínseco. Aclarar que son Impurezas donadoras y aceptoras. ¿Cuáles son las más utilizadas? Explicar quiénes son los portadores mayoritarios y los portadores minoritarios.
- 27- ¿Cómo varía la concentración de mayoritarios y minoritarios en un semiconductor extrínseco cuando aumenta la concentración de impurezas? ¿por qué?
- 28- ¿Cómo varía la concentración de mayoritarios y minoritarios en un semiconductor extrínseco cuando aumenta la temperatura? ¿por qué?
- 29- ¿Cómo varía la concentración de electrones en un conductor, cuando aumenta la temperatura? ¿por qué?
- 30- ¿Cómo varía el tiempo medio entre choques con el aumento de la temperatura en un semiconductor? ¿por qué?
- 31- ¿Cómo varía el tiempo medio entre choques con el aumento de la contaminación de impurezas en un semiconductor? ¿por qué?
- 32- ¿Cómo varía la movilidad con el aumento del campo eléctrico? ¿por qué? Hacer un grafico
- 33- ¿Cómo varía la movilidad con la temperatura? ¿por qué? Hacer un gráfico con los valores de la tabla 34- ¿Cómo justifica la gran diferencia de conductibilidad entre el Cobre y el Silicio intrínseco?
- 35- En los semiconductores tenemos dos fenómenos de generación de portadores: generación intrínseca y generación extrínseca. ¿Cuáles son las diferencias entre ambos? ¿Qué genera cada uno? ¿Cuál mecanismo predomina y por qué?
- 36- De la interacción entre generación intrínseca, extrínseca y recombinación, se llega a concentraciones de mayoritarios y minoritarios en equilibrio térmico. Cuando se producen aumentos de temperatura a partir de la temperatura de equilibrio: ¿qué concentración de portadores aumenta más rápido, la de mayoritarios o la de minoritarios? ¿Por qué?
- 37- ¿Cuál es la diferencia entre un semiconductor intrínseco y un extrínseco desde el punto de vista de la ubicación del nivel de Fermi?
- 38- ¿Cómo es el grado de ocupación del diagrama de bandas a cero grado Kelvin en conductores, aisladores y semiconductores? ¿Por qué?
- 39- ¿Para qué temperatura un semiconductor extrínseco se comporta como intrínseco? ¿por qué?
- 40- Hacer un gráfico de variación de la resistividad de un semiconductor extrínseco con la temperatura. Mostrar la ionización de las impurezas y la temperatura intrínseca.
- 41- Si aumento la contaminación de un semiconductor, ¿la temperatura a la que se comienza a comportar como intrínseco aumenta o disminuye? ¿por qué?
- 42- ¿Qué concentración de portadores crece más rápido cuando aumenta la temperatura: mayoritarios o minoritarios? ¿por qué?
- 43- ¿Qué relación existe entre el Calor de Joule ( $P = R \cdot I^2$ ) y el modelo de conducción por movilidad? ¿por qué?
- 44- Distintos materiales, (Cu y Si) ¿mostrarán diferentes movilidades ante el mismo campo eléctrico aplicado? ¿por qué?
- 45- ¿En qué casos se manifiesta la saturación de velocidad de deriva por influencia del campo eléctrico? ¿por qué?
- 46- ¿Por qué midiendo la corriente con un amperímetro, no puedo distinguir si está producida por electrones o por huecos? ¿qué método de medición debería usar para detectar la diferencia de portador?