

Selección Única

Marque con una equis X la respuesta correcta; solamente debe marcar una opción por cada pregunta. Cada pregunta vale 1 punto. Si necesita corregir, escriba una línea sobre la X incorrecta y escriba la X en la posición correcta. No es necesario que justifique su respuesta.

5 Pts

1. Se define un material cristalino como:

1 Pt

- ☐ a) Aquel donde los átomos están dispuestos sin seguir ningún orden en particular. ~~x~~
- ☐ b) Cualquiera que tenga una pureza mayor al 90% sin importar su estructura interna.
- ☒ c) Aquel donde los átomos siguen la misma estructura de ordenamiento en todo el material.
- ☐ d) Aquel donde todos los átomos cumplen la ley del octeto.

2. A una temperatura de cero grados Kelvin (0K) la banda de conducción de un semiconductor tipo N:

1 Pt

- ☐ a) Contiene únicamente electrones aportados por la formación de pares electrón-hueco.
- ☒ b) Contiene únicamente electrones aportados por los átomos donadores.
- ☐ c) Contiene electrones aportados por la formación de pares electrón-hueco y por los átomos donadores.
- ☐ d) No contiene electrones

3. Los enlaces entre los átomos de un semiconductor intrínseco cumplen la ley del octeto. Estos son enlaces covalentes que:

1 Pt

- ☐ a) No se pueden romper con la temperatura.
- ☒ b) Se deben a los electrones de la banda de valencia.
- ☐ c) Se deben a los electrones de la banda de conducción.
- ☒ d) No existen a una temperatura de 0 Kelvin.

4. La energía requerida para que ocurra el proceso de generación de un par electrón-hueco debe ser:

1 Pt

- ☐ a) Al menos igual al nivel de Fermi.
- ☐ b) Al menos igual al potencial de contacto.
- ☐ c) Al menos igual al producto $3kT$.
- ☒ d) Al menos igual a la banda prohibida.

5. Acerca de la corriente de arrastre se puede asegurar que:

- ☐ a) Solo puede ocurrir en metales.
- ☐ b) Se produce por la existencia de un gradiente de concentración de portadores de carga.
- ☒ c) Se produce por la existencia de un campo eléctrico aplicado a un material tipo N
- ☐ d) No cumple con la convención positiva de signos.

15 Pts

Escogencia multiple

Escriba F o V, según corresponda a Falso o Verdadero en todas las opciones. Cada pregunta vale 1.5 puntos. Si necesita corregir, escriba una X sobre la letra incorrecta y escriba F o V a la izquierda de la línea. La ponderación será: cinco opciones buenas es 1.5 punto; cuatro opciones buenas es 1,2 punto; 3 opciones buenas es 0,9 punto; 2 opciones buenas es 0,6 punto y 1 buena es 0,3 puntos. . No es necesario que justifique su respuesta.

6. Con respecto al modelo de bandas de valencia se afirma correctamente que:

- ☒ F Los electrones en la banda de valencia forman enlaces con otros átomos.
- ☒ X En la banda prohibida los electrones participan en la conducción.
- ☒ V La banda prohibida es la brecha energética sin estados eléctricos asociados.
- ☒ X La banda de conducción es el nivel de energía más alto que está lleno a 0 K.
- ☒ V Los electrones en la banda de valencia no participan en la conducción.

1.5 Pts

7. Con respecto a la clasificación de los materiales se afirma correctamente que:

- ☒ V En los conductores los electrones están débilmente ligados al núcleo.
- ☒ V Los aislantes se caracterizan por tener electrones fuertemente ligados al núcleo.
- ☒ V Los semiconductores poseen una conductividad media.
- ☒ V Los aislantes requieren de mucha energía para mover un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción.
- ☒ V Los conductores requieren de poca energía para contribuir al proceso de conducción.

1.5 Pts

8. Del contacto Óhmico se afirma correctamente que:

- ☒ V Conduce corriente en ambas direcciones.
- ☒ F Se establece que es un contacto Óhmico, si para semiconductores tipo P; $\Phi_M < \Phi_S$.
- ☒ V Se forma solamente cuando un metal y un semiconductor entran en contacto físico.
- ☒ F Se establece que es un contacto Óhmico, si para semiconductores tipo N; $\Phi_M > \Phi_S$.

$$\Phi_M > \Phi_S \rightarrow \text{PNCN}$$

$$\Phi_M < \Phi_S \rightarrow \text{P}$$

1.5 Pts

☒ El semiconductor puede ser tipo P ó N .

9. Del contacto Schottky se afirma correctamente que:

☒ El semiconductor puede ser tipo P ó N .

☒ Se establece que es un contacto Óhmico, si para semiconductores tipo P ; $\Phi_M > \Phi_S$.

☒ Conduce corriente en una sola dirección.

☒ Se establece que es un contacto Óhmico, si para semiconductores tipo N ; $\Phi_M < \Phi_S$.

☐ Se da entre la unión de un semiconductor tipo P y N .

10. Del efecto de la temperatura en semiconductores extrínsecos se afirma correctamente: 1.5 Pts

☒ La temperatura afecta el comportamiento de los semiconductores.

☒ A muy bajas temperaturas la energía térmica es insuficiente para ionizar todos los átomos de impurezas.

☒ A bajas temperaturas el nivel de Fermi se acerca al nivel de Fermi intrínseco.

☐ Al aumentar la temperatura disminuye la conductividad.

☒ A temperaturas muy altas, el material se comporta como semiconductor intrínseco.

11. Se afirma correctamente que:

☒ La introducción de impurezas sustitucionales en un material intrínseco modifica la conductividad eléctrica.

☒ El semiconductor tipo N es dopado con átomos donadores.

☐ Los átomos donadores tienen solamente 3 enlaces covalentes con 3 átomos de silicio.

☐ Los huecos son los portadores mayoritarios para un semiconductor tipo N .

☐ Los átomos aceptores son los que tienen 5 electrones de valencia.

12. Del nivel de Fermi se afirma correctamente que:

☒ No está ligado a la concentración de portadores de carga libres en el semiconductor.

☒ Es el valor de energía en el que la probabilidad de ocupación del estado electrónico es de un 50 %

☒ El nivel de Fermi y la concentración de portadores de carga dependen de la temperatura.

☐ Cuando se introducen impurezas aceptoras en un semiconductor el nivel de Fermi extrínseco se desplaza a una energía mayor que la del nivel de Fermi intrínseco.

☐ Cuando se introducen impurezas donadoras en un semiconductor el nivel de Fermi extrínseco se desplaza a una energía menor que la del nivel de Fermi intrínseco.

13. Del transporte de portadores de carga se afirma correctamente que:

- ☒ La corriente eléctrica consiste en el movimiento de electrones y huecos solamente.
- ☒ En semiconductores, los dopantes ionizados son inmóviles y no contribuyen a la conducción.
- ☒ Los átomos donadores se ionizan positivamente al ceder un electrón para la conducción eléctrica.
- ☒ Corriente de difusión, debido a gradientes de concentración de portadores de carga.
- ☒ Corriente de arrastre, debido a la aplicación de un campo eléctrico en un material P.

1.5 Pts

14. De la movilidad se afirma correctamente que:

- ☒ Los huecos tienen una movilidad mayor que los electrones.
- ☒ La movilidad está determinada solo por la masa efectiva.
- ☒ Al aplicar un campo eléctrico el hueco adquiere una velocidad de arrastre.
- ☒ Con la presencia de un campo eléctrico, el electrón presenta un movimiento térmico aleatorio.
- ☒ Al aplicar un campo eléctrico, el electrón tiene un desplazamiento efectivo igual a 0.

1.5 Pts

15. Con respecto a la generación, recombinación y sus causas se afirma correctamente que:

- ☒ La generación es la transición de un electrón de la banda de valencia a la de conducción.
- ☒ La recombinación crea los pares electrón hueco.
- ☒ La recombinación genera huecos en la banda de valencia.
- ☒ Los procesos de recombinación y generación pueden originarse por luz o calor.
- ☒ La generación crea pares electrón hueco.

1.5 Pts

Problemas

Problema 1 Física básica de semiconductores

25 Pts

En un circuito oscilador, se requiere una capacitancia variable con la característica mostrada en la Figura 1.1. Si dicha capacitancia es la de un diodo PN con dopado no degenerado polarizado en inversa.

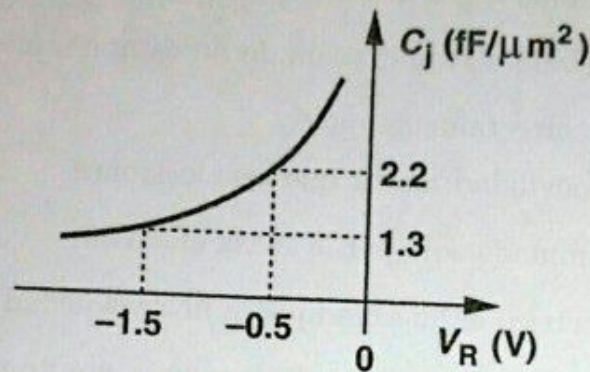


Figura 1.1: Característica de capacitancia variable para problema 1

Suponga que un lado está más dopado que el otro para facilitar el análisis (en al menos un orden de magnitud) y determine:

- 1.1. El potencial interno en equilibrio de la unión (ϕ_B).
- 1.2. La capacitancia en inversa de la unión en equilibrio (C_{j0}).
- 1.3. Los dopados N_a y N_d .

6 Pts

7 Pts

12 Pts

Problemas

Problema 1 Física básica de semiconductores

25 Pts

En un circuito oscilador, se requiere una capacitancia variable con la característica mostrada en la Figura 1.1. Si dicha capacitancia es la de un diodo PN con dopado no degenerado polarizado en inversa.

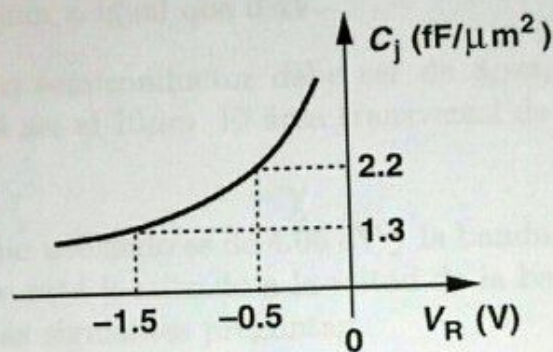


Figura 1.1: Característica de capacitancia variable para problema 1

Suponga que un lado está más dopado que el otro para facilitar el análisis (en al menos un orden de magnitud) y determine:

- 1.1. El potencial interno en equilibrio de la unión (ϕ_B). ~~0.85~~ **5.5**
- 1.2. La capacitancia en inversa de la unión en equilibrio (C_{j0}). **3**
- 1.3. Los dopados N_a y N_d . **0**

6 Pts

7 Pts

12 Pts

Problema 2 Diseño de diodos

20 Pts

Cierta empresa de diseño micro electrónico requiere diseñar un diodo Schottky. Para ello, cuenta con los materiales metálicos enlistados en la Tabla 2.1 y elementos semiconductores con una concentración de dopante $N_A = 7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Además, el diodo a diseñar debe cumplir los siguientes requisitos:

- Potencial de contacto menor o igual que 0.4V.
- La longitud del elemento semiconductor debe ser de $8 \mu\text{m}$, mientras que la longitud del elemento metálico deberá ser el $10 \mu\text{m}$. El área transversal de todos los elementos deberá ser de $36 \mu\text{m}^2$.

La afinidad electrónica del silicio utilizado es de 4.05 eV y la banda prohibida es de 1.12 eV. Asuma que el nivel de Fermi intrínseco está localizado a la mitad de la banda prohibida. Para realizar su diseño, se requiere responder las siguientes preguntas:

Elemento	$\phi_M [\text{eV}]$
Hf, Hafnio	3.9
W, Tungsteno	4.55
Ni, Níquel	5.15

Tabla 2.1: Metales disponibles en el proceso de fabricación

- ✓ 2.1. Dibuje el arreglo de materiales, identifique el ánodo, cátodo y la dirección de la corriente técnica al operar en polarización directa. *5/5* 5 Pts
- ✓ 2.2. Seleccione el metal correcto y justifique utilizando el diagrama de bandas de energía del contacto. *2/5* 5 Pts
- ✓ 2.3. Calcule la barrera Schottky resultante en el diodo. *1/2* 2 Pts
- ✓ 2.4. Dibuje el diagrama de bandas de energía luego del contacto de los materiales. Identifique el potencial de contacto y la barrera de Shottky. *1/3* 3 Pts
- ✓ 2.5. Asumiendo que el metal de su selección tiene una resistividad $\rho_M = 2,22 \times 10^{-10} \Omega\text{cm}$, calcule la resistencia total del arreglo diseñado. *1/5* 5 Pts

Problema 3 Aplicaciones con diodos

Considere los circuitos de las figuras que contienen diodos como parte de cada red. Asuma para todos los casos que la tensión de polarización en directa es $V_{DON} = 800mV$. Determine:

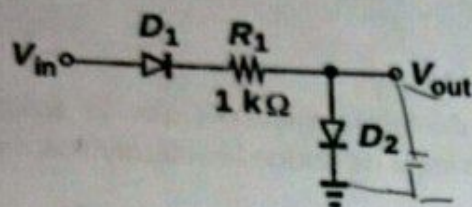


Figura 3.1: Red a)

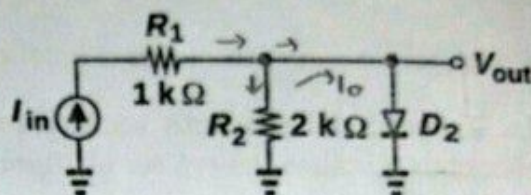


Figura 3.3: Red c)

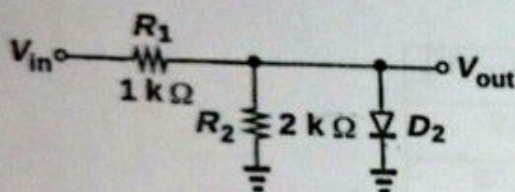


Figura 3.2: Red b)

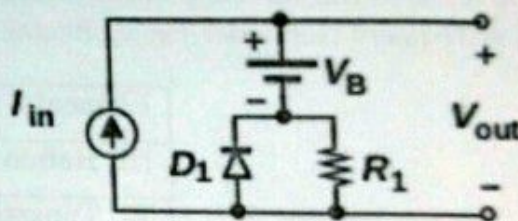


Figura 3.4: Red d)

- 3.1. El cambio de tensión en la salida (V_{out}) para un cambio en la tensión de entrada (V_{in}) de $+2.4V$ a $+2.5V$, en las redes a) y b). 5 Pts
- 3.2. El cambio de tensión en la salida (V_{out}) para cambios en la corriente de entrada (I_{in}) desde $3mA$ a $3.1mA$, en la red c). 5 Pts
- 3.3. El Capacitor que se debe colocar a la salida de la red a) considerando que:
 - Se conecta a un transformador de $110V@60Hz$ a $4.8V_{pp}$
 - $V_{RIZADO} < 100mV$
 - Se ha sustituido $D2$ por $R_2 = 100K\Omega$

Es dicho circuito realizable?

5 Pts

- 3.4. La señal de tensión de salida de la red d) en función del tiempo. Asuma que $I_{IN} = I_O \cos(\omega t)$, y que su magnitud I_O es relativamente grande. 5 Pts

Problema 1

$$C_j = \frac{C_{j0} V_T}{\left(1 + \frac{V_R}{V_{bi}}\right)}$$

Ptos: $P_1(-0.5, 2.2)$
 $P_2(-1.5, 1.3)$

$$C_{j0} = \sqrt{\frac{q \epsilon_{Si}}{2 V_{bi}}} \cdot \frac{1}{\left[1/N_A + 1/N_D\right]}$$

$$V_{bi} = \phi_B = V_T \cdot \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

$$\phi_B = 26m \cdot \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{1.45 \times 10^{20}} \right)$$

~~$$C_j = \frac{\sqrt{\frac{q \epsilon_{Si}}{2 \cdot 26 \times 10^{-3} \cdot \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{1.45 \times 10^{20}} \right)}}}{1 + \frac{V_R}{26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{1.45 \times 10^{20}} \right)}} \cdot \frac{1}{1/N_A + 1/N_D}$$~~

~~$$C_j = \frac{\sqrt{\frac{q \cdot \epsilon_{Si}}{2 \cdot 26 \times 10^{-3} \cdot \ln \left(\frac{(n_i^2/N_D) \cdot N_D}{1.45 \times 10^{20}} \right)}}}{1 + \frac{V_R}{26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{n_i^2/N_D \cdot N_D}{1.45 \times 10^{20}} \right)}} \cdot \frac{n_i^2 \cdot N_D}{\frac{n_i^2}{N_D} + N_D}$$~~

$$N_A = \frac{n_i^2}{N_D}$$

Se utilizan los ptos.
Si

Pto 1

$$2.2 = \frac{C_{j0}}{1 + \frac{-0.5}{V_{bi}}}$$

~~$$2.2 = \frac{C_{j0} V_{bi}}{V_{bi} + 0.5}$$~~

$$C_{j0} \cdot V_{bi} = 2.2 \cdot V_{bi} - 1.1$$

$$C_{j0} V_{bi} - 2.2 V_{bi} = -1.1 \quad (1)$$

Pto 2

$$1.3 = \frac{C_{j0}}{\frac{V_{bi} + 1.5}{V_{bi}}}$$

$$\frac{C_{j0} V_{bi}}{V_{bi} - 1.5} = 1.3 \rightarrow C_{j0} V_{bi} - 1.3 V_{bi} = -1.95 \quad (2)$$

Sistema.

$$C_{j0} V_{bi} - 2,2 V_{bi} = -1,1 \quad (1)$$

$$C_{j0} V_{bi} - 1,3 V_{bi} = -1,95 \quad (2)$$

Resolviendo

$$C_{j0} V_{bi} = -3,178$$

$$V_{bi} = -0,94$$

$$C_{j0} \cdot -0,94 - 2,2 \cdot -0,94 = -1,1$$

$$\therefore C_{j0} = 3,37$$

$$V_{bi} = V_T \cdot \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right) \Rightarrow -0,94 = 26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{N_A \cdot N_D}{1,45 \times 10^{20}} \right)$$

$$N_A \cdot N_D = 28,84 \times 10^3$$

→ Para N_A y N_D .

$$3,37 = \sqrt{\frac{q \epsilon_{Si}}{2 \cdot -0,94}} \cdot \frac{1}{N_A}$$

luego
we $C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - V_{bi}/\phi_s}}$

en los puntos de la curva

Problema 2.

Tipo N

semiconductor

metal

$$n = 7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \approx p$$

$$l = 8 \mu\text{m}$$

$$l_m = 10 \mu\text{m}$$

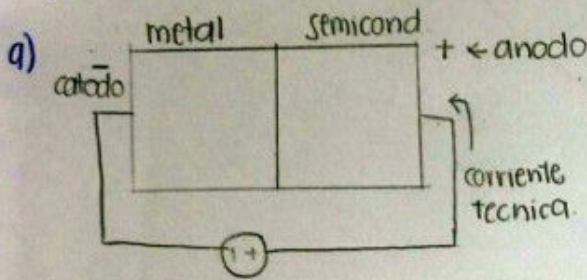
$$A = 36 \mu\text{m}^2$$

$$A = 36 \mu\text{m}^2$$

$$V_{bi} \leq 0,4$$

$$\chi_{Si} = 4,05 \text{ V}$$

$$E_g = 1,12 \text{ eV}$$



$$N_D = \frac{n_i^2}{p} = \frac{n_i^2}{N_A} = 30,03 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

b) $D = E_F - E_i = kT \ln \frac{N_D}{n_i}$

$$\phi_s = \frac{E_g}{2} - D + \chi$$

$$\phi_s = \frac{1,12}{2} - \left[85,11 \cdot 300 \cdot \ln \left(\frac{30,03 \times 10^3}{1,45 \times 10^{10}} \right) \right] + 4,05 \Rightarrow \phi_s = 4,947 \text{ eV}$$

$$V_{bi} \leq 0,4$$

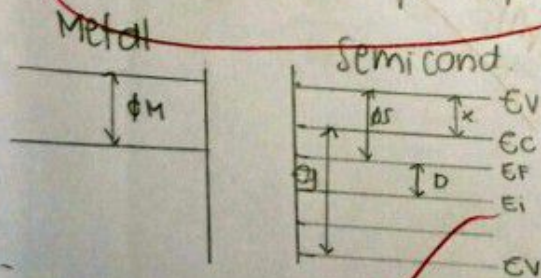
$$V_{bi} = \phi_m - \phi_s \rightarrow 0,4 + \phi_s = \phi_m$$

$$0,4 + 4,947 = \phi_m \rightarrow \phi_m = 5,3$$

Elemento Ni

$$V_{bi} = 5,15 - 4,947$$

$$V_{bi} = 0,2 \leftarrow \text{menor que } 0,4$$



OTD

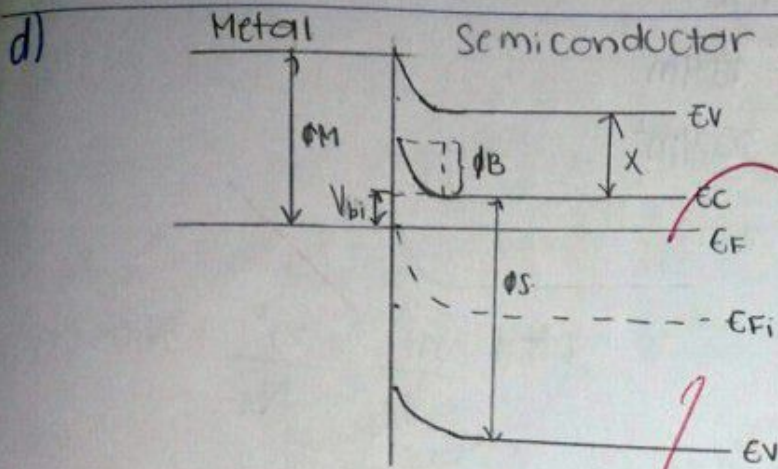
si el
cátodo es
el metal p
 $\phi_{bi} = \phi_s - \phi_m$

c) $\phi_B = ?$

$$\phi_B = \phi_m - \chi$$

$$\phi_B = 5,15 - 4,05$$

$$= 1,1 \text{ V}$$



es un job

e) $\rho_M = 2,22 \times 10^{-10} \Omega \cdot \text{cm}$

$R = ?$

$$R = \frac{\rho_M \cdot l_M}{A_M}$$

$$R = \frac{2,22 \times 10^{-10} \Omega \cdot \text{cm} \cdot 1 \times 10^{-3} \text{cm}}{0,36 \text{cm}^2}$$

$$l_M = 10 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \frac{100}{1} \text{cm} = 1 \times 10^{-3} \text{cm}$$

$$A_M = 36 \times 10^{-6} \text{m}^2 \cdot \frac{100^2}{1^2} \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} = 0,36 \text{cm}^2$$

$$R = 0,62 \times 10^{-12} \Omega$$

$$= 0,62 \text{ p}\Omega$$

es un job
es el semiconductor