

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica

EL-2207 Elementos Activos

Profesores: Dr.-Ing. Juan José Montero Rodríguez

Ing. Mauricio Segura Quiros

Ing. Anibal Ruiz Barquero

I Semestre 2019

**Primer Examen Parcial**

**16 de marzo de 2019**

Total de Puntos:	45
Puntos obtenidos:	
Porcentaje:	
Nota:	

Nombre: \_\_\_\_\_

Carné: \_\_\_\_\_

### Instrucciones Generales:

- Resuelva el examen en forma ordenada y clara.
- No se aceptarán reclamos de desarrollos con lápiz, borrones o corrector de lapicero.
- Si trabaja con lápiz, debe encerrar en recuadro su respuesta final con lapicero.
- El uso de lapicero rojo **no** está permitido.
- El uso del teléfono celular no es permitido. Este tipo de dispositivos debe permanecer **totalmente apagado** durante el examen.
- No se permite el uso de calculadora programable.
- Únicamente se atenderán dudas de forma.
- El instructivo de examen debe ser devuelto junto con su solución.
- El examen es una prueba individual.
- El no cumplimiento de los puntos anteriores equivale a una nota igual a cero en el ejercicio correspondiente o en el examen.
- Esta prueba tiene una duración de 3 horas, a partir de su hora de inicio.

**Firma:** \_\_\_\_\_

Escogencia múltiple	de 15
Problema 1	de 10
Problema 2	de 10
Problema 3	de 10

# Escogencia múltiple

15 Pts

Escriba F o V, según corresponda a Falso o Verdadero en todas las opciones. Cada pregunta vale 1 punto. 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 punto; cuatro opciones buenas es 0.8 puntos; 3 opciones buenas es 0.6 puntos; 2 opciones buenas es 0.4 puntos y 1 buena es 0.2 puntos. No es necesario que justifique su respuesta.

1. Con respecto a los conceptos de hueco y electrón se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Electrones y huecos interactúan en el proceso de conducción de corriente.
- \_\_\_\_\_ Los huecos se mueven en la banda de conducción y los electrones en la de valencia.
- \_\_\_\_\_ El hueco es un espacio vacío representado por una carga positiva.
- \_\_\_\_\_ El electrón y el hueco tienen igual magnitud de carga.
- \_\_\_\_\_ El concepto de hueco es una representación de la banda de valencia con un estado electrónico vacío.

2. De la corriente de huecos se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La corriente de electrones tiene la misma dirección que la corriente técnica.
- \_\_\_\_\_ El movimiento de portadores de carga libres causa un flujo de corriente en el semiconductor.
- \_\_\_\_\_ La corriente de huecos tiene la misma dirección que la corriente de electrones.
- \_\_\_\_\_ En un contacto Schottky, los electrones se mueven del semiconductor N al metal.
- \_\_\_\_\_ En un contacto Schottky, los huecos se mueven del semiconductor P al metal.

3. Con respecto la generación y recombinación se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La energía térmica produce la ruptura de algunos enlaces covalentes, situación que induce generación.
- \_\_\_\_\_ Existe equilibrio térmico por la inexistencia de intercambio de energía del sistema con el medio exterior.
- \_\_\_\_\_ Si la población de portadores de ambos tipos es alta, la tasa de recombinación es baja.
- \_\_\_\_\_ Para que la recombinación exista basta con que dos huecos en movimiento se encuentren.
- \_\_\_\_\_ Si se mantiene la temperatura constante hasta alcanzar equilibrio, la tasa de generación de portadores es igual a la de recombinación de los mismos.

4. Con respecto al dopado de semiconductores se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ El dopado con fósforo produce una oblea de tipo P.

- \_\_\_\_\_ Al dopar con átomos donadores, la concentración de huecos disminuye.
- \_\_\_\_\_ Una oblea de tipo N tiene carga eléctrica negativa, en comparación con silicio intrínseco.
- \_\_\_\_\_ El dopado P desplaza el nivel de Fermi hacia la banda de valencia.
- \_\_\_\_\_ Para la misma concentración de átomos dopantes, el silicio P tiene una resistividad menor que el silicio N.

5. Con respecto a los mecanismos de conducción se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Un hueco se difunde más rápidamente que un electrón.
- \_\_\_\_\_ En un semiconductor N con dopado fuerte, la corriente de arrastre de huecos es despreciable.
- \_\_\_\_\_ El límite máximo de la velocidad de arrastre en el silicio es la velocidad de la luz.
- \_\_\_\_\_ En equilibrio térmico, los portadores de carga no se mueven.
- \_\_\_\_\_ Si la movilidad aumenta, el coeficiente de difusión también aumenta.

6. Del efecto de la temperatura en semiconductores extrínsecos se afirma correctamente:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Al aumentar la temperatura, el nivel de Fermi se aleja de  $E_i$ .
- \_\_\_\_\_ Un semiconductor dopado N a 0 K tiene conductividad cero, y se comporta como un aislante.
- \_\_\_\_\_ La aproximación  $N_D \approx n$  es válida para cualquier temperatura.
- \_\_\_\_\_ A muy altas temperaturas, el silicio dopado se comporta como silicio intrínseco.
- \_\_\_\_\_ A 300 K, si  $N_D = N_A$ , el silicio N tiene más portadores libres que el silicio P.

7. De la teoría de diagrama de bandas se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La afinidad electrónica es la energía que un electrón debe adquirir para convertirse en un electrón libre.
- \_\_\_\_\_ El nivel de vacío se referencia sólo para semiconductores.
- \_\_\_\_\_ La función de trabajo se da sólo para el análisis de materiales metálicos.
- \_\_\_\_\_ El dopado modifica el nivel de Fermi de un material.
- \_\_\_\_\_ El nivel de Fermi intrínseco está ubicado aproximadamente a la mitad de la banda prohibida.

8. Con respecto al nivel de Fermi y su función se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La función de Fermi-Dirac es una función de distribución de probabilidad.
- \_\_\_\_\_ La función de Fermi-Dirac es válida cuando hay potencial externo aplicado.
- \_\_\_\_\_ El nivel de Fermi intrínseco ubica la probabilidades de ocupación de los portadores en el 50 % de la banda prohibida.
- \_\_\_\_\_ El valor del nivel de Fermi no depende de las concentraciones del material.
- \_\_\_\_\_ Valores del nivel de Fermi en  $10^{19}$  igualan a la banda de conducción del Si a 300K.

9. Con respecto al contacto Schottky se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Se establece que es un contacto Schottky, si  $\phi_M > \phi_S$  para semiconductores P.
- \_\_\_\_\_ Conduce si la tensión aplicada en polarización directa es positiva y mayor que cero.
- \_\_\_\_\_ La corriente en polarización directa es una función exponencial de la tensión aplicada.
- \_\_\_\_\_ El potencial de contacto  $V_{bi}$  se puede ajustar con el dopado.
- \_\_\_\_\_ La barrera Schottky  $\phi_B$  se puede ajustar con el dopado.

10. Con respecto al contacto Óhmico se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Son parte esencial de dispositivos modernos.
- \_\_\_\_\_ Puede producirse en la práctica, inmediatamente por debajo de un contacto N, cuya función de trabajo es mayor que la del metal al que se conectará.
- \_\_\_\_\_ El valor energético definido entre la banda de conducción y el nivel del vacío, se conoce como función de trabajo.
- \_\_\_\_\_ El nivel de vacío es el requerido para que un electrón salga de la banda de valencia.
- \_\_\_\_\_ Por sus características un fuerte dopado P permite ser el contacto óhmico de un material N

11. Del contacto Semiconductor-Semiconductor se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Se da una difusión de huecos del lado P al lado N.
- \_\_\_\_\_ El semiconductor tipo P tiene un aporte de portadores minoritarios de electrones.
- \_\_\_\_\_ El potencial de contacto  $V_{bi}$  a través de la unión depende de la concentración de portadores mayoritarios.
- \_\_\_\_\_ Conduce corriente en ambas direcciones.
- \_\_\_\_\_ El semiconductor tipo N tiene un aporte de portadores minoritarios de huecos.

12. De la zona de vaciamiento se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La longitud de la zona de vaciamiento del lado N, depende directamente de la concentración del lado P.
- \_\_\_\_\_ La longitud total de la zona de vaciamiento se puede calcular de la resta de  $x_n$  y  $x_p$ .
- \_\_\_\_\_ El aumento en el dopado en ambas regiones, manteniendo la relación  $N_a/N_d = cte$  hacen que tanto  $x_n$  como  $x_p$  aumenten.
- \_\_\_\_\_  $x_n$  y  $x_p$  denotan el inicio y el final respectivamente, del doblamiento de las bandas en la juntura.
- \_\_\_\_\_ El potencial de contacto se mide a partir del punto medio entre  $x_n$  y  $x_p$ .

13. Del diodo se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Es un dispositivo de dos terminales que bloquea la corriente en una dirección y permite su paso en la otra dirección.
- \_\_\_\_\_ Se polariza en directo aplicando un voltaje positivo al ánodo y negativo al cátodo.
- \_\_\_\_\_ El voltaje y la corriente a la que opera en un circuito se conoce como punto de operación.
- \_\_\_\_\_ Los diodos que operan en la región de ruptura, se conocen como diodos de ruptura
- \_\_\_\_\_ En el diodo la capacitancia de difusión predomina en polarización directa y la capacitancia de agotamiento predomina en polarización inversa.

14. De los modelos del diodo se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ La tensión de contacto de un diodo de silicio es 0.7 V y es independiente de  $I_D$ .
- \_\_\_\_\_ En polarización inversa, la corriente real de un diodo de silicio es  $I_S$ .
- \_\_\_\_\_ La resistencia estática  $R_D$  es válida únicamente en corriente directa.
- \_\_\_\_\_ La resistencia dinámica  $r_d$  representa al diodo como un elemento lineal.
- \_\_\_\_\_ Un diodo Zener bloquea la corriente en polarización inversa.

15. Con respecto a la capacidad del diodo se afirma correctamente que:

1 Pt

- \_\_\_\_\_ Es estrictamente una característica estrictamente de la polarización inversa del diodo.
- \_\_\_\_\_  $C_{j0}$  es considerada la capacidad en inversa del diodo.
- \_\_\_\_\_ La capacidad en inversa es válida para tensiones positivas aplicadas al diodo menores a la mitad de la tensión de contacto.
- \_\_\_\_\_ La capacidad en inversa del diodo crece conforme crece la tensión en inversa.
- \_\_\_\_\_ Cuando la unión  $pn$  está polarizada en sentido inverso, se vuelve funcionalmente equivalente a un condensador.

# Problemas

## Problema 1 Física básica de semiconductores

10 Pts

Se tiene una oblea de Si de tipo P dopada con boro, con una concentración de aceptores dada por  $N_A = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Para fabricar un diodo Schottky (ver Figura 1.1) se requiere dopar una pequeña región con arsénico, con el propósito de invertir su dopado a N, por medio de implantación iónica con una concentración de donadores dada por  $N_D = 4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . La oblea final está a temperatura ambiente.

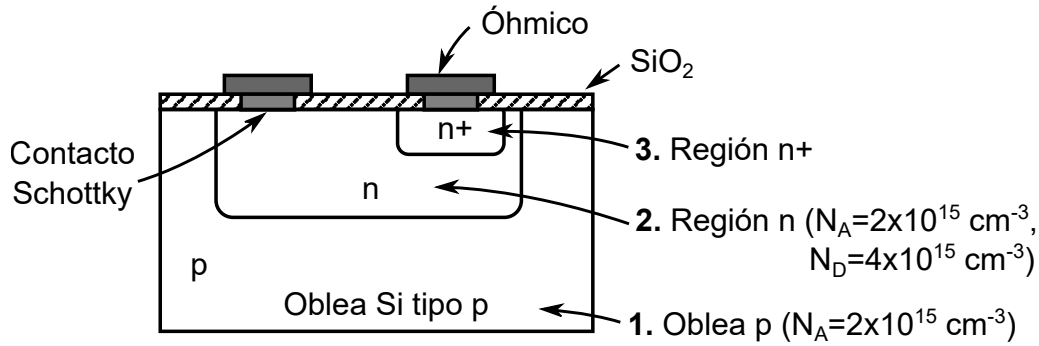


Figura 1.1: Fabricación de un diodo Schottky en una oblea P.

- 1.1. Calcule la concentración de electrones y de huecos en la oblea P original (región 1). 2 Pts
- 1.2. Calcule el dopado efectivo, la concentración de electrones y la concentración de huecos en la región N (región 2), considerando que esta región tiene ambos tipos de dopado. 3 Pts
- 1.3. Calcule la posición del Nivel de Fermi con respecto a  $E_i$  en la oblea P (región 1) y en la región N (región 2). 2 Pts
- 1.4. Calcule la resistividad de la oblea P (región 1) y la resistividad de la región N (región 2). Asuma que el dopado es relativamente ligero en ambas regiones y no afecta el valor de las movilidades intrínsecas ( $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ). 2 Pts
- 1.5. Calcule cuál es la concentración máxima permitida de átomos de arsénico que se podría implantar para crear una región n+ (región 3), cumpliendo la condición de que el silicio siga siendo un material no-degenerado ( $E_C - E_F > 3kT$ ). 1 Pt

**Problema 2** Capacidad en inversa y contactos**10 Pts**

Considere el gráfico dado en la Figura 1.1, que corresponde a la capacidad en inversa de una unión  $pn$ , expresada por unidad de área. Considere además que la unión tiene un área transversal de  $2000 \mu\text{m}^2$  y que la tensión térmica es de 26 mV.

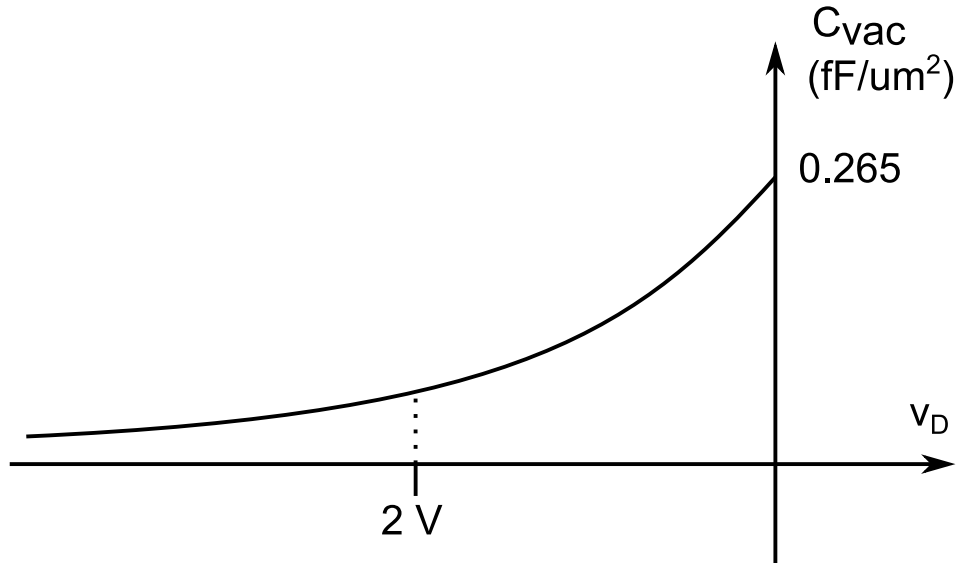


Figura 2.1: Capacidad de unión en polarización inversa

Determine:

- 2.1. La capacidad de la unión en 0 V de tensión aplicada. 1 Pt
- 2.2. El nivel de dopado  $N_a$  y  $N_d$ , sabiendo que  $N_a/N_d = 2.22$  y el potencial en  $x_n$  es de 0.3573V. 2 Pts
- 2.3. El potencial de contacto de la unión PN. 1 Pt
- 2.4. La capacidad de la unión en -2 V de tensión aplicada. 1 Pt
- 2.5. La longitud de la zona de vaciamiento del lado N ( $x_p$ ). 1 Pt
- 2.6. La longitud de toda la zona de vaciamiento ( $x_B$ ). 1 Pt
- 2.7. El diagrama de bandas del dispositivo en estado de equilibrio térmico, mostrando la deformación de bandas e indicando los niveles de  $E_C$ ,  $E_V$ ,  $E_i$ ,  $E_F$ ,  $x_n$  y  $x_p$ . 3 Pts

**Problema 3** Rectificador de media onda

**10 Pts**

Considere un rectificador de media onda a una tensión de entrada de 12 Vp con comportamiento senoidal. La frecuencia de la tensión de entrada es de 60 Hz. La resistencia de carga es de  $R_L = 1k\Omega$ . Los diodos son de germanio con caída constante de 0.3 V.

- 3.1. Grafique la tensión de salida (el gráfico debe incluir el valor pico máximo de voltaje de salida y los valores de tiempo de la forma de onda). **2 Pts**
- 3.2. Agregue un capacitor de filtrado de  $8 \mu\text{F}$ . Encuentre ¿Cuál es el valor de la tensión máxima y mínima en la carga bajo estas condiciones? Grafique la tensión de salida (el gráfico debe incluir el valor pico máximo y mínimo de voltaje de salida, así como los valores de tiempo de la forma de onda en esos puntos). **3 Pts**
- 3.3. Obtenga el valor del capacitor para que el voltaje de rizado sea de 1% de la tensión de **entrada**. Grafique la tensión de salida. **2 Pts**
- 3.4. Encuentre la concentración de los portadores de carga de los diodos, siendo **uno 10 veces mayor que el otro**, para un  $V_D = 0.43 \text{ V}$ . **3 Pts**