



## Guía de Ejercicios N<sup>o</sup> 2: Juntura PN

Constante	Valor
$q$	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
$m_0$	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
$k$	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV K}$
$h$	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$
$\epsilon_0$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m} = 88,5 \text{ fF/cm}$
$\epsilon_r(\text{Si})$	11,7
$\epsilon_r(\text{SiO}_2)$	3,9
$T_{\text{amb}}$	$27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$

Cuadro 1: Datos útiles.

### Parte I: Electroestática de la juntura PN

- Considere una juntura PN de silicio a 300 K.
  - Para  $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  y  $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  calcule el potencial de juntura ( $\phi_B$ ).
  - Repita para  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  y  $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .
  - Entre los puntos a) y b) el valor de  $N_A$  se ha reducido en cien veces. ¿En qué porcentaje varió el potencial de juntura? ¿Qué conclusión puede obtener?
- Considere una juntura PN de silicio a 300 K con  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  y  $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Calcule:
  - El ancho de la zona de carga espacial.
  - El valor del campo eléctrico máximo.
- Considere la juntura PN de silicio a 300K del problema 2 con una tensión aplicada  $V_{PN} = V_P - V_N$ , donde  $V_P$  es la tensión aplicada al lado P y  $V_N$  la tensión aplicada al lado N. Calcular los siguientes parámetros cuando se tiene una polarización inversa de  $V_{PN} = -5 \text{ V}$ :
  - El ancho de la zona de carga espacial.
  - El valor del campo eléctrico máximo.
  - Repita los puntos anteriores considerando que ahora se encuentra polarizado en directa con una tensión  $V_{PN} = 0,5 \text{ V}$ .
  - Compare estos resultados con los del problema 2.
- Considere una juntura PN de silicio a  $V_{PN} = 0,5 \text{ V}$  con  $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  y  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .
  - ¿Qué es la aproximación de vaciamiento? ¿Como sirve para obtener la distribución de carga en la juntura?
  - Para la condición de equilibrio térmico, y bajo la aproximación de vaciamiento, realice los diagramas de
    - concentración de dopantes  $N_A$  y  $N_D$ ,
    - concentración de portadores libres  $n_0$  y  $p_0$  (en escala lineal y semilogarítmica),
    - densidad de carga neta  $\rho$ ,
    - campo eléctrico,
    - potencial electrostático.
  - Repita el punto anterior para tensiones de inversa de  $-5 \text{ V}$  y  $-10 \text{ V}$ .



5. Considere una juntura PN en equilibrio térmico ( $T = 300\text{ K}$ ) con las siguientes características:  $\phi_B = 536,2\text{ mV}$ ;  $x_n = 251\text{ nm}$ ;  $x_p = 2,51\text{ }\mu\text{m}$ . ¿Cuáles son los valores de las concentraciones de impurezas?
6. Considere una juntura PN de silicio a  $300\text{ K}$  con  $N_A = 10^{19}\text{ cm}^{-3}$  y  $N_D = 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ . Si el campo eléctrico máximo admitido es  $|E_{MAX}| = 5 \times 10^5\text{ V/cm}$ , ¿Cuál es el máximo valor de tensión en inversa admisible?

## Parte II: Capacidad de juntura

7. Suponga que la juntura PN del problema 2 tiene un área de  $A = 10^{-4}\text{ cm}^2$ . Calcule la capacidad de la juntura para una polarización inversa de  $-5\text{ V}$ .
8. Para una juntura PN **simétrica** con  $\phi_B = 0,9\text{ V}$ , calcular  $C'_{j0}$ ,  $N_D$  y  $N_A$ .
9. Se conoce que la capacidad de una juntura P<sup>+</sup>N es  $C'_{j0} = 29\text{ nF/cm}^2$  y que  $\phi_B = 840\text{ mV}$ . Hallar  $\phi_n$ ,  $\phi_p$ ,  $N_A$  y  $N_D$ .
10. Dada una juntura P<sup>+</sup>N de silicio a  $300\text{ K}$ . Asuma que la intersección de la curva de la Fig. 1 con el eje horizontal corresponde a un potencial de juntura de  $0,855\text{ V}$  y que la pendiente de la recta es  $-10^{15}\text{ (F/cm}^2\text{)}^{-2}/\text{V}$ . Calcule la concentración de impurezas  $N_A$  y  $N_D$  de la juntura.

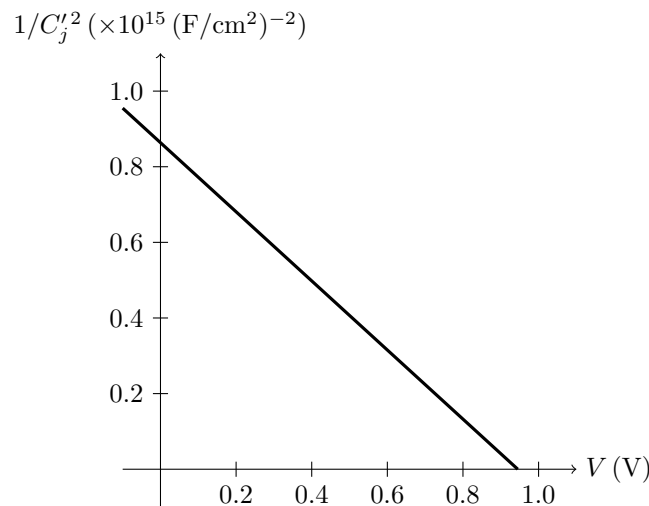


Figura 1

## Parte III: Ejercicios integradores

11. Se tiene una juntura PN de silicio de la cual se conocen las conductividades de la zona N ( $\sigma_N = 48\text{ }\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) y zona P ( $\sigma_P = 15,36 \times 10^{-3}\text{ }\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ), el campo eléctrico máximo  $|E_0| = 6,7\text{ kV/cm}$  y ancho de la zona de vaciamiento  $x_{d0} = 2,17\text{ }\mu\text{m}$ .
  - a) ¿La juntura es simétrica, asimétrica o fuertemente asimétrica? ¿Por qué? Justificar y mencionar cualquier aproximación usada.
  - b) Si la carga a ambos lados de la juntura es  $7\text{ nC/cm}^2$  en valor absoluto, hallar las movilidades de huecos y electrones a ambos lados de la juntura.
12. Considere una juntura PN de silicio a  $300\text{ K}$  con una concentración de  $N_A = 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ .
  - a) ¿Cuáles son los límites de  $\phi_B$  para una Juntura PN? ¿Por qué?
  - b) Teniendo en cuenta lo analizado en el punto anterior, determine la concentración  $N_D$  tal que para una tensión de inversa de  $V_{PN} = -45\text{ V}$  el campo eléctrico máximo sea  $|E_{MAX}| = 3 \times 10^5\text{ V/cm}$ .



- c) Si se desea que el campo eléctrico máximo no supere el valor  $|E_{MAX}| = 3 \times 10^5 \text{ V/cm}$ , conservando  $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , el valor de  $N_D$  hallado en el punto a) ¿es una cota máxima o una cota mínima de concentración de dopantes donores?
13. Se tiene una juntura  $P^+N$  donde se sabe que sin potencial aplicado, el máximo valor que alcanza el campo eléctrico es  $|E_0| = 10 \text{ kV/cm}$  y que  $N_D = 4,5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  ( $T = 300 \text{ K}$ ).
- ¿Cuál es la concentración  $N_A$  de la juntura?
  - Sabiendo que el campo eléctrico  $|E|$  no debe superar los  $170 \text{ kV/cm}$ , ¿cuál es el máximo valor de  $N_A$  que puede utilizarse en esta juntura?
  - Suponiendo ahora que  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , ¿cuál es el máximo valor de  $N_A$  que puede utilizarse en esta nueva juntura? (Considerar juntura  $P^+N$ )
  - Explique la siguiente afirmación: “Dado que el valor de  $\phi_B$  es siempre aproximadamente  $1 \text{ V}$ , mayores concentraciones de dopantes implicarán menores valores de  $x_p$  y  $x_n$  y en consiguiente obtener la misma diferencia de potencial en menor distancia implicará necesariamente un mayor valor de campo eléctrico en la juntura”.
14. De una juntura muy asimétrica  $PN^+$  con área  $A = 0,5 \text{ mm}^2$ , se tienen las siguientes mediciones de capacidad en polarización inversa:

$V_{PN} \text{ [V]}$	$C_j \text{ [pF]}$
-1	3,6
-2	2,6
-3	2,4

- ¿Por qué disminuye el valor de la capacidad a medida que aumenta la tensión inversa aplicada?
  - Obtenga las concentraciones de impurezas  $N_A$  y  $N_D$  y el potencial de built-in ( $\phi_B$ ).
15. Diseñe una juntura  $PN$  de silicio con un área de  $A = 5,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$  tal que a  $300 \text{ K}$  y para una polarización inversa de  $V_{PN} = -1,2 \text{ V}$  verifique que el 10% del total de la zona de carga espacial esté en la región  $N$ , y que su capacidad de juntura sea  $3,5 \text{ pF}$ .
- Determine las concentraciones  $N_D$  y  $N_A$  necesarias.
  - Determine el potencial de juntura resultante.