



Guía de Ejercicios N^o 4: Juntura MOS

| 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 | $6,626 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ |
| ϵ_0 | $88,5 \text{ fF/cm}$ |
| $\epsilon_r(\text{Si})$ | $11,7$ |
| $\epsilon_r(\text{SiO}_2)$ | $3,9$ |
| T_{amb} | $27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$ |

Parte I: Juntura N+P

- Dada una juntura MOS con $t_{ox} = 150 \text{ \AA}$ y construida en un sustrato tipo P con una concentración de $N_A = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$:
 - Calcule la capacidad por unidad de área, C_{ox} , y el *body factor coefficient*, γ .
 - Calcule el espesor de la región de vaciamiento en equilibrio térmico.
 - Calcule la caída de potencial en la capa de óxido.
 - Calcule la caída de potencial en la región de vaciamiento.
 - Calcule el potencial electrostático en la interfaz $\text{SiO}_2 - \text{Si}$ en equilibrio térmico.
 - Repita los puntos anteriores para $V_{GB} = 2 \text{ V}$ y $V_{GB} = -2 \text{ V}$.
- Dada un juntura MOS de canal N y sustrato tipo P, realice diagramas cualitativos de: a) densidad de portadores libres, b) densidad de carga, c) campo eléctrico y d) potencial, para los siguientes casos: a) $V_{GB} < V_{FB}$ b) $V_{GB} = V_{FB}$ c) $V_{GB} = 0$ d) $V_{GB} = V_T$ e) $V_{GB} > V_T$. Para este ejercicio puede utilizar los conjuntos de ejes de la figura 4 que se encuentra sobre el final de la guía. En este conjunto de ejes incluye, a modo de ayuda, el caso para $V_{GB} = 0$.
- Si se tiene una juntura MOS con $t_{ox} = 200 \text{ \AA}$ construida en un sustrato tipo P con una concentración de $N_A = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$,
 - Determine para qué rango de tensiones aplicadas el capacitor se encuentra en acumulación, vaciamiento e inversión.
 - Calcule el campo eléctrico en el óxido y la carga por unidad de área en el sustrato de silicio para $V_{GB} = -2,5 \text{ V}$.
 - Calcule el espesor de la región de vaciamiento, la carga por unidad de área en el sustrato y el campo eléctrico en el óxido cuando el capacitor está polarizado con $V_{GB} = 2,5 \text{ V}$.
 - Sabiendo que la ruptura dieléctrica del óxido se produce para $E_{ox} = 5 \text{ MV/cm}$, calcule el rango de tensiones V_{GB} admisibles.
- Considere una juntura MOS con $V_{FB} = -0,97 \text{ V}$, $V_T = 0,466 \text{ V}$, $C'_{ox} = 0,28 \text{ \mu F/cm}^2$, $\gamma = 0,65 \text{ V}^{0,5}$. Al aplicarle $V_{GB} = 0 \text{ V}$:
 - Indique en qué régimen se encuentra la juntura.
 - Calcule el nivel de dopaje del sustrato.
 - Calcule el espesor de la capa de óxido.
 - Determine el ancho de la zona desierta.



- e) Calcule la caída de potencial en el óxido y en el sustrato.
- f) Calcule la densidad de carga superficial en el gate, en la interfaz óxido-sustrato y la carga por unidad de área en el sustrato.
- g) Repetir para $V_{GB} = -2\text{ V}$ y $V_{GB} = 2\text{ V}$.

Parte II: Juntura P+N y otras configuraciones

5. Suponga una juntura MOS con polisilicio tipo P⁺ y sustrato tipo N con una concentración $N_A = 8,5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ y espesor de óxido $t_{ox} = 70 \text{ nm}$, a la que se le aplica una tensión $V_{GB} = 0 \text{ V}$.
 - a) Calcule los parámetros γ , C'_{ox} , V_{FB} y V_T .
 - b) Indique en qué régimen se encuentra la juntura.
 - c) Determine el ancho de la zona desierta de la misma.
 - d) Calcule la caída de potencial en el óxido y en el sustrato.
 - e) Graficar $\log p(x)$, $\log n(x)$, $\rho(x)$, $E(x)$ y $\phi(x)$.
 - f) Repetir para $V_{GB} = -2\text{ V}$ y $V_{GB} = 2\text{ V}$.
6. Considere una juntura MOS con polisilicio tipo P⁺ y sustrato tipo N con parámetros $\gamma = 1,32 \text{ V}^{0,5}$, $C'_{ox} = 24,65 \text{ nF/cm}^2$, $V_{FB} = 0,892 \text{ V}$ y $V_T = -1,157 \text{ V}$. Si se le aplica una tensión $V_{GB} = 0 \text{ V}$:
 - a) Indique en qué régimen se encuentra la juntura.
 - b) Determine el ancho de la zona desierta de la misma.
 - c) Calcule la caída de potencial en el óxido y en el sustrato.
 - d) Calcule la densidad de carga superficial en el gate, en la interfaz óxido-sustrato y la carga por unidad de área en el sustrato.
 - e) Repetir para $V_{GB} = -2,5 \text{ V}$ y $V_{GB} = 2,5 \text{ V}$.
7. Considere una juntura MOS con polisilicio tipo P⁺ y sustrato de silicio tipo P con parámetros $t_{ox} = 20 \text{ nm}$ y $N_a = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-1}$:
 - a) Considere el caso $V_{GB} = 0$ y realice los diagramas de I. densidad de portadores libres, II. densidad de carga, III. campo eléctrico y IV. potencial,
 - b) ¿En que régimen se encuentra la juntura en este caso?
 - c) Calcule: ϕ_B , C'_{ox} , γ , x_{d0} , V_T y V_{FB} .

Parte III: Capacidad de juntura

8. Dada una juntura N⁺P actuando como capacitor MOS con una concentración de $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, cuya curva de capacidad es la de la figura 1:
 - a) A partir de la expresión de la capacidad, $C(V) = \partial Q / \partial V$, explique cómo se obtiene la curva de Capacidad vs. V_{GB} de la figura 1.
 - b) Calcule el espesor de la capa de óxido.
 - c) Calcule C_{min} .
 - d) Calcule el campo eléctrico en el óxido cuando $V_{GB} = V_T + 1 \text{ V}$.
 - e) Calcule el campo eléctrico en el óxido cuando $V_{GB} = V_{FB} - 1 \text{ V}$.
 - f) Dibujar la curva de capacidad si ahora el capacitor es P⁺N con igual t_{ox} e igual concentración de dopantes en el sustrato, solo que esta vez de tipo donador en lugar de aceptor.
9. Se tiene el circuito RC de la figura 2, donde $V_S = 0,3 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, el capacitor se encuentra realizado mediante una juntura MOS N⁺P. Los parámetros de la juntura son $t_{ox} = 100 \text{ \AA}$ y $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. La fuente v_s satisface:

$$v_s(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < t_0 \\ 1 \text{ mV} & \text{si } t \geq t_0 \end{cases}$$

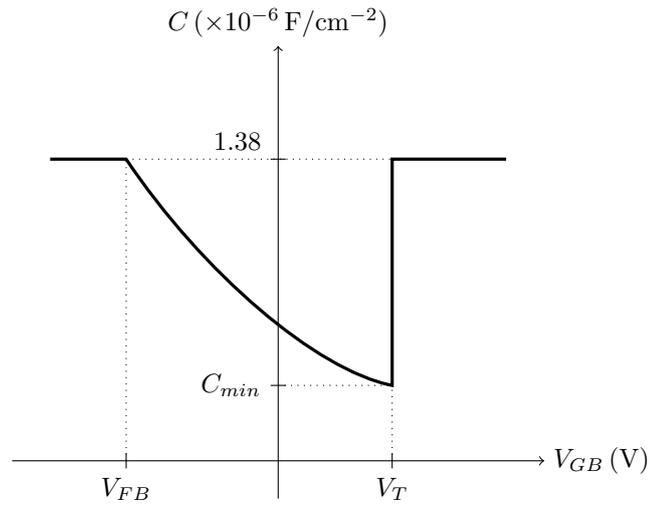


Figura 1

- Suponiendo que el escalón de tensión no modifica la capacidad de la juntura, hallar la constante de tiempo y graficar $V_c(t)$.
- ¿Seguiría siendo válida la suposición del ítem anterior si ahora la amplitud del escalón de $v_s(t)$ fuera 100 mV? ¿Por qué?
- ¿Y si ahora $V_S = 1 \text{ V}$ y la amplitud del escalón $v_s(t)$ es de 100 mV? Hallar la constante de tiempo y graficar $V_c(t)$.

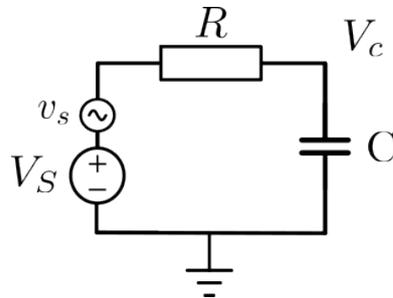


Figura 2



Parte IV: Integradores

10. A una estructura MOS cuyo gate está construido en poli-silicio P⁺ se le aplica un potencial $V_{GB} = 0,8 \text{ V}$ y resultan las densidades de carga que se muestran en la figura 3.

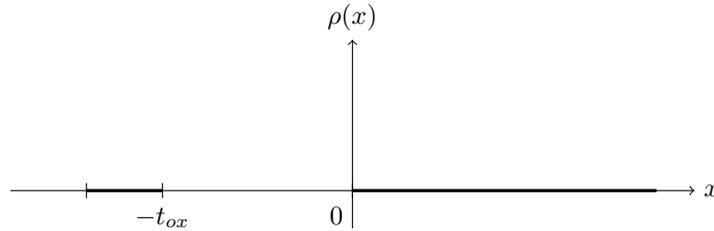


Figura 3

- ¿En qué estado de polarización (acumulación, inversión, etc.) se encuentra la juntura?
- ¿El sustrato es tipo n o tipo p?
- ¿Cuánto vale la concentración de dopantes en el sustrato?
- Para $V_{GB} = V_T$ explique cuánto debe valer $\phi(x = 0)$ e indique la concentración de portadores mayoritarios y minoritarios en $x = 0$.
- Para $V_{GB} = V_T$ dibuje en forma cualitativa el diagrama del potencial $\phi(x)$ en la juntura, señalando en el diagrama t_{ox} , x_{dmax} y V_{ox} .
- Sabiendo que el espesor de óxido es $t_{ox} = 10 \text{ nm}$, calcule la tensión umbral (V_T) de la juntura.

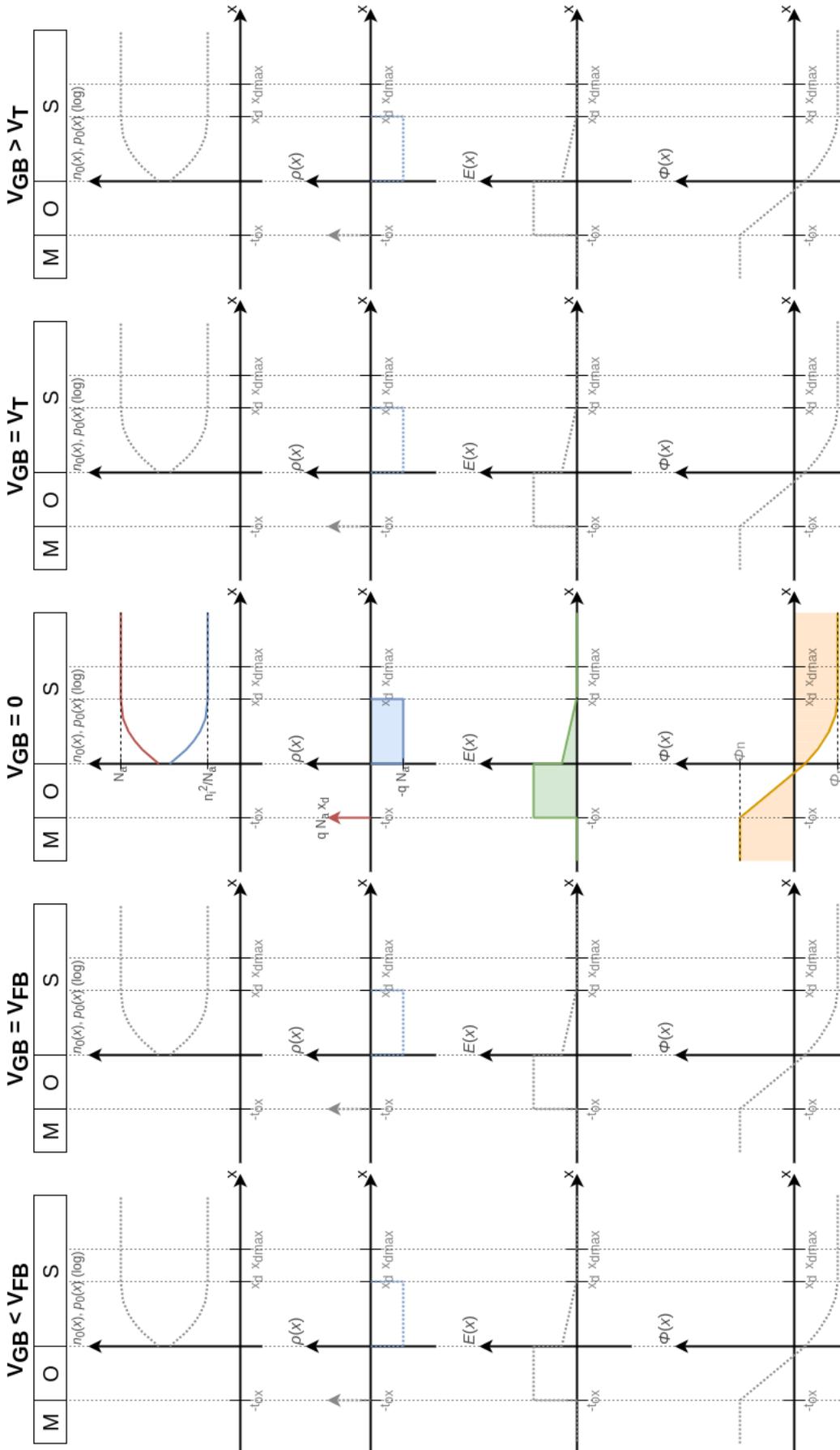


Figura 4