

Trabajo Práctico

MOSFET: Canal Corto

Introducción

SKYWATER TECHNOLOGY es una fábrica de fundición de circuitos integrados estadounidense. En colaboración con GOOGLE, han desarrollado un **Process Design Kit (PDK) open source** que puede utilizarse para realizar diseños totalmente manufacturables.

SKY130 es el proceso de fabricación CMOS de 130 nm disponible, que cuenta con una extensa documentación pública. Entre ella, se encuentran a disposición mediciones realizadas sobre distintos dispositivos estándar. Serán objeto de estudio de esta actividad distintos transistores MOSFET de canal N cuya tensión nominal de operación es 1,8 V (**nfet_01v8**).

El principal objetivo de esta actividad es lograr realizar un modelo de un transistor MOSFET canal N del proceso CMOS SKY130, a partir de las mediciones públicas realizadas bajo distintas condiciones de polarización. Como objetivo secundario, se plantea la comparación entre transistores de distintas dimensiones para identificar efectos de canal corto.

Parte 1: MOSFET de Canal Largo

El primer dispositivo a estudiar es un MOSFET canal N con dimensiones $W = 25 \mu\text{m}$ y $L = 25 \mu\text{m}$, por lo que puede considerarse un transistor de canal largo.

El modelo a utilizar es el modelo de carga superficial:

$$I_D = \begin{cases} \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} (m-1) V_{th}^2 \exp\left(\frac{V_{GS}-V_T}{m V_{th}}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{V_{DS}}{V_{th}}\right)\right] & V_{GS} \leq V_T \quad (\text{Subumbral}) \\ \frac{\mu_n C'_{ox}}{2m} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A}\right) & V_{GS} > V_T; V_{DS} \geq V_{DS(sat)} \quad (\text{Saturación}) \\ \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T - \frac{m}{2} V_{DS}) V_{DS} \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A}\right) & V_{GS} > V_T; V_{DS} < V_{DS(sat)} \quad (\text{Triodo}) \end{cases} \quad (1)$$

donde

$$V_{DS(sat)} = \frac{V_{GS} - V_T}{m} \quad (2)$$

y las dependencias de los parámetros con V_{BS} son:

$$V_T(V_{BS}) = V_{T0} + \gamma(\sqrt{-V_{BS} - 2\psi_B} - \sqrt{-2\psi_B}) \quad (3)$$

$$m(V_{BS}) = 1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{-V_{BS} - 2\psi_B}} \quad (4)$$

Del repositorio público del proceso SKY130, se obtienen las siguientes mediciones:

- **sky130_fd_pr_nfet_01v8_w25u_l25u_m1(8008_3_4_IDVG).mdm**
 I_D vs. V_{GS} para $V_{DS} = \{0,1 \text{ V}; 1,8 \text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0 \text{ V}; -0,9 \text{ V}; -1,8 \text{ V}\}$.
- **sky130_fd_pr_nfet_01v8_w25u_l25u_m1(8008_3_4_IDVD).mdm**
 I_D vs. V_{DS} para $V_{GS} = \{0 \text{ V}; 0,36 \text{ V}; 0,72 \text{ V}; 1,08 \text{ V}; 1,44 \text{ V}; 1,8 \text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0 \text{ V}; -0,9 \text{ V}\}$.

A partir de las mediciones se debe:

- Realizar un gráfico de la curva de transferencia en **escala lineal** para $V_{DS} = 1,8\text{ V}$ con $V_{BS} = 0$ [FIG01].
- Realizar un gráfico de la curva de transferencia en **escala semilogarítmica** para $V_{DS} = 1,8\text{ V}$ con $V_{BS} = 0$ [FIG02].
- Realizar un gráfico de la curva de salida en **escala lineal** para $V_{BS} = 0\text{ V}$ con V_{GS} como parámetro [FIG03].
- A partir de un ajuste lineal de $\ln(I_D)$ en régimen subumbral, debe estimarse el valor del **Subthreshold Swing** (S), y el parámetro m . Considerar $T = 27^\circ\text{C}$ para el cálculo de V_{th} .
- Con los valores de m , a partir de un ajuste lineal de $\sqrt{I_D}$, estimar los parámetros $k'_n = \mu_n C'_{ox}$ y V_T . Suponer despreciable el efecto de modulación del largo del canal.
- Suponiendo que $t_{ox} = 11\text{ nm}$, calcular C'_{ox} y μ_n .
- A partir de [FIG03], estimar los valores de $V_{DS(sat)}$ para cada valor de V_{GS} .
- Para cada valor de V_{GS} , se debe obtener el parámetro V_A a partir de un ajuste lineal de la corriente I_D en régimen de saturación.
- En la figura [FIG01], graficar con línea punteada la curva de ajuste.
- Realizar un gráfico de $\sqrt{I_D}$ mostrando las mediciones junto con la curva de ajuste en línea punteada [FIG04].
- En la figura [FIG03], graficar con distintas líneas punteadas las curvas de ajuste correspondiente a cada uno de los V_{GS} .

Con los parámetros estimados:

- Realizar un gráfico de V_A en función de $I_{D(sat)}$ [FIG07]. Discutir si V_A se mantiene constante.
- Realizar una tabla comparativa entre los valores de $V_{DS(sat)}$ estimados a partir de las curvas, y los valores calculados a partir de la ec. 2.
- Realizar un gráfico de la curva de transferencia en **escala lineal** para $V_{BS} = 0\text{ V}$ con $V_{DS} = \{0,1\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ como parámetro [FIG08]. En el gráfico incluir las mediciones y también curvas generadas a partir del modelo de la ec. 1.
- Realizar un gráfico de la curva de salida para $V_{BS} = 0\text{ V}$ con $V_{GS} = \{1,08\text{ V}; 1,44\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ como parámetro [FIG09]. En el gráfico incluir las mediciones y también curvas generadas a partir del modelo de la ec. 1.

Parte 2: Efectos de Canal Corto

El objetivo de la segunda parte de esta actividad es comparar el comportamiento del dispositivo estudiado en la parte 1 con otro dispositivo de iguales características donde únicamente cambia sus dimensiones:

- Dispositivo 2: $L = 0,25\text{ }\mu\text{m}$, $W = 0,65\text{ }\mu\text{m}$.
- Dispositivo 3: $L = 0,18\text{ }\mu\text{m}$, $W = 7\text{ }\mu\text{m}$.
- Dispositivo 4: $L = 0,15\text{ }\mu\text{m}$, $W = 25\text{ }\mu\text{m}$.

Del repositorio público del proceso SKY130, se obtienen las siguientes mediciones para estos nuevos dispositivos:

- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w0p65u_10p25u.m1(8701_3_4_ IDVG).mdm
 I_D vs. V_{GS} para $V_{DS} = \{0,1\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}; -1,8\text{ V}\}$.
- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w0p65u_10p25u.m1(8701_3_4_ IDVD).mdm
 I_D vs. V_{DS} para $V_{GS} = \{0\text{ V}; 0,36\text{ V}; 0,72\text{ V}; 1,08\text{ V}; 1,44\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}\}$.
- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w7u_10p18u.m1(8434_3_4_ IDVG).mdm
 I_D vs. V_{GS} para $V_{DS} = \{0,1\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}; -1,8\text{ V}\}$.
- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w7u_10p18u.m1(8434_3_4_ IDVD).mdm
 I_D vs. V_{DS} para $V_{GS} = \{0\text{ V}; 0,36\text{ V}; 0,72\text{ V}; 1,08\text{ V}; 1,44\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}\}$.
- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w25u_10p15u.m1(8008_3_4_ IDVG).mdm
 I_D vs. V_{GS} para $V_{DS} = \{0,1\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}; -1,8\text{ V}\}$.
- sky130_fd_pr_nfet_01v8_w25u_10p15u.m1(8008_3_4_ IDVD).mdm
 I_D vs. V_{DS} para $V_{GS} = \{0\text{ V}; 0,36\text{ V}; 0,72\text{ V}; 1,08\text{ V}; 1,44\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ y $V_{BS} = \{0\text{ V}; -0,9\text{ V}\}$.

En todos los casos, se deben comprar la **corriente normalizada** a (W/L).

- Realizar un gráfico de todas las curvas de transferencia en **escala lineal** para $V_{BS} = 0\text{ V}$ y $V_{DS} = 1,8\text{ V}$ [FIG10]. Discutir la dependencia de las curvas: ¿cuáles responden al modelo de canal largo (dependencia cuadrática) y cuáles responden al modelo de canal corto (dependencia lineal)?
- Realizar un gráfico de todas las curvas de transferencia en **escala semilogarítmica** para $V_{BS} = 0\text{ V}$ y $V_{DS} = \{0,1\text{ V}; 1,8\text{ V}\}$ [FIG11]. Analizar y discutir la dependencia de la respuesta en régimen subumbral con el largo del canal. ¿Se manifiesta *Drain Induced Barrier Lowering* (DIBL)? ¿Por qué sí o por qué no?
- Realizar cuatro gráficos de las curvas de salida (un gráfico para cada dispositivos) para $V_{BS} = 0\text{ V}$ con V_{GS} como parámetro, uno para cada dispositivo, manteniendo la escala de corriente igual para ambos gráficos [FIG12–FIG15]. ¿Qué diferencias se observan entre los distintos gráficos?
- A partir de las curvas de transferencia, estimar el valor de V_T para cada dispositivo y realizar un gráfico de V_T en función de L . Discutir si el resultado obtenido es esperado o no.
- A partir de las curvas de salida, estimar $V_{DS(sat)}$ para cada dispositivo y para cada V_{GS} . Armar una tabla comparativa con los resultados y discutir la variación de $V_{DS(sat)}$ con L .
- Para el Dispositivo 4 ($L = 0,15\text{ }\mu\text{m}$), suponer que la corriente llega a su valor de velocidad de saturación (v_{sat})

$$I_D \approx C'_{ox} W v_{sat} (V_{GS} - V_T)$$

y a partir de un ajuste lineal de la curva de transferencia, estimar la v_{sat} y el campo crítico (\mathcal{E}_c), suponiendo que se mantiene la movilidad eficaz estimada para el Dispositivo 1 (canal largo).

Condiciones de entrega

- La entrega debe ser a través del Aula Virtual en el Campus Posgrado FIUBA (<https://campusposgrado.fi.uba.ar>) en la fecha y horario publicadas en la misma Aula Virtual.
- La entrega debe ser un único documento .pdf.
- La entrega debe ser exclusivamente a través del Aula Virtual en el Campus Posgrado FIUBA. Ante cualquier inconveniente, deben comunicarse por correo electrónico a ds_v02@cursoscapse.com. No se recibirán informes en casillas de mail personales.