

MOSFET: Efectos de Canal Corto

Dispositivos Semiconductores

Maestría en Ciencias de la Ingeniería

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería

Docentes a cargo: **M. G. González y S. H. Carbonetto**

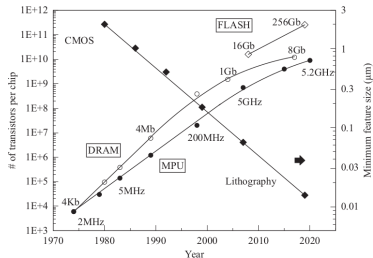


MOSFET: Efectos de canal corto

Scaling

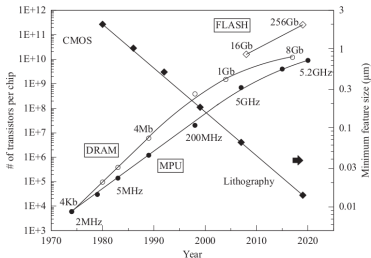
Evolución de tecnología VLSI:

- Disminuir el **Minimum Feature Size** (L_{\min}).
- Aumenta la densidad de dispositivos en un chip.
- Mejora la velocidad de trabajo de los dispositivos.
- Disminuye la disipación de potencia.



MOSFET: Efectos de canal corto

Scaling



Evolución de tecnología VLSI:

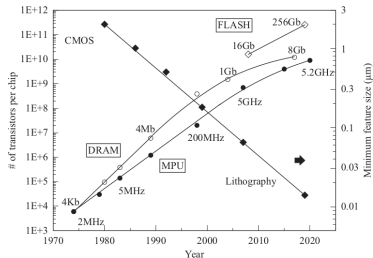
- Disminuir el **Minimum Feature Size** (L_{\min}).
- Aumenta la densidad de dispositivos en un chip.
- Mejora la velocidad de trabajo de los dispositivos.
- Disminuye la disipación de potencia.

Disminuir el L :

- Puede provocar que las SCR de Source y Drain se solapen.
- Requiere aumentar N_a .
- \Rightarrow Aumenta V_T .
- \Rightarrow Requiere disminuir t_{ox} .

MOSFET: Efectos de canal corto

Scaling



Evolución de tecnología VLSI:

- Disminuir el **Minimum Feature Size** (L_{\min}).
- Aumenta la densidad de dispositivos en un chip.
- Mejora la velocidad de trabajo de los dispositivos.
- Disminuye la disipación de potencia.

Disminuir el L :

- Puede provocar que las SCR de Source y Drain se solapen.
- Requiere aumentar N_a .
- \Rightarrow Aumenta V_T .
- \Rightarrow Requiere disminuir t_{ox} .

De manera ideal, el factor de escala mantendría \mathcal{E} constante entre nodos tecnológicos.

Esto no es posible, si $L \downarrow \Rightarrow \mathcal{E} \uparrow$.

Parameter	Scaling factor: Constant- \mathcal{E}	Scaling factor: Actual	Limitation
L	$1/\kappa$	/	/
\mathcal{E}	1	> 1	/
d	$1/\kappa$	$> 1/\kappa$	Tunneling, defects
r_f	$1/\kappa$	$> 1/\kappa$	Resistance
V_T	$1/\kappa$	$\gg 1/\kappa$	Off current
V_D	$1/\kappa$	$\gg 1/\kappa$	System, V_T
N_A	κ	$< \kappa$	Junction breakdown

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

El objetivo del **scaling** es que el comportamiento del MOSFET no se aparte de los modelos para Canal Largo a medida que disminuyen las dimensiones.

Los “Efectos de canal corto” engloban todas las consecuencias de disminuir las dimensiones del MOSFET al punto en que no se cumplan dos de las hipótesis planteadas para “Canal largo”

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

El objetivo del **scaling** es que el comportamiento del MOSFET no se aparte de los modelos para Canal Largo a medida que disminuyen las dimensiones.

Los “Efectos de canal corto” engloban todas las consecuencias de disminuir las dimensiones del MOSFET al punto en que no se cumplan dos de las hipótesis planteadas para “Canal largo”

- \mathcal{E}_y es comparable con \mathcal{E}_x .

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

El objetivo del **scaling** es que el comportamiento del MOSFET no se aparte de los modelos para Canal Largo a medida que disminuyen las dimensiones.

Los “Efectos de canal corto” engloban todas las consecuencias de disminuir las dimensiones del MOSFET al punto en que no se cumplan dos de las hipótesis planteadas para “Canal largo”

- \mathcal{E}_y es comparable con \mathcal{E}_x .
- La función potencial eléctrica tiene una distribución en 2-D.

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

El objetivo del **scaling** es que el comportamiento del MOSFET no se aparte de los modelos para Canal Largo a medida que disminuyen las dimensiones.

Los “Efectos de canal corto” engloban todas las consecuencias de disminuir las dimensiones del MOSFET al punto en que no se cumplan dos de las hipótesis planteadas para “Canal largo”

- \mathcal{E}_y es comparable con \mathcal{E}_x .
- La función potencial eléctrica tiene una distribución en 2-D.
- Ya no es válida la aproximación de canal gradual.

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

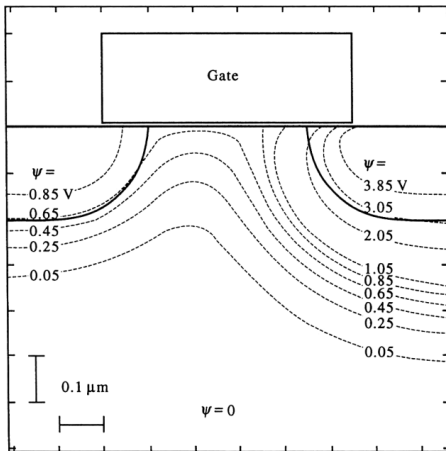
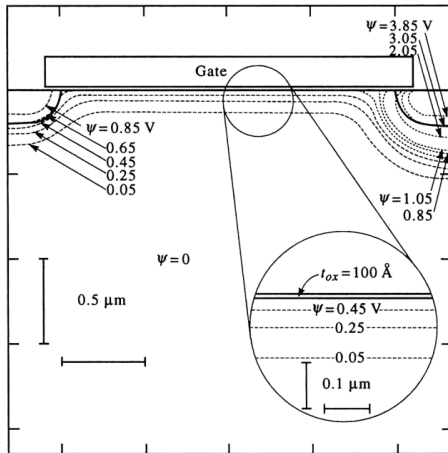
El objetivo del **scaling** es que el comportamiento del MOSFET no se aparte de los modelos para Canal Largo a medida que disminuyen las dimensiones.

Los “Efectos de canal corto” engloban todas las consecuencias de disminuir las dimensiones del MOSFET al punto en que no se cumplan dos de las hipótesis planteadas para “Canal largo”

- \mathcal{E}_y es comparable con \mathcal{E}_x .
- La función potencial eléctrica tiene una distribución en 2-D.
- Ya no es válida la aproximación de canal gradual.
- Por el aumento de \mathcal{E}_y , no puede considerarse μ constante.

MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?



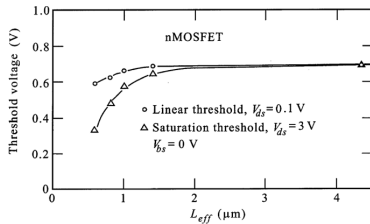
MOSFET: Efectos de canal corto

¿Qué son los “Efectos de canal corto”?

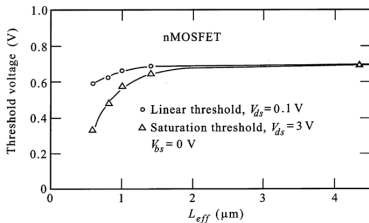
Resumidamente, las consecuencias de los efectos de canal corto incluyen:

- Dependencia de V_T con L .
- I_D ya no satura con V_{DS} .
- I_D no es inversamente proporcional a L .
- Existe degradación de los dispositivos con el tiempo.

Disminución de V_T



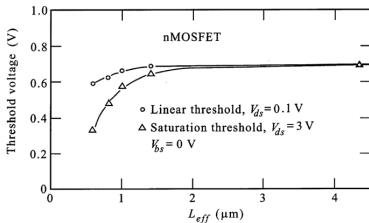
Disminución de V_T



MOSFET Canal Largo: Toda la carga de inversión y deserción se compensa con la carga en el Gate.

$$V_T^{LC} = V_{FB} - 2\psi_B + \frac{W L q N_a W_{dm}}{C_{ox}}$$

Disminución de V_T

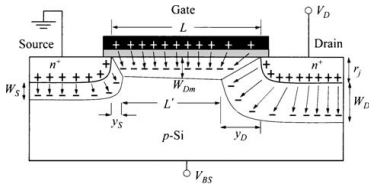


MOSFET Canal Largo: Toda la carga de inversión y deserción se compensa con la carga en el Gate.

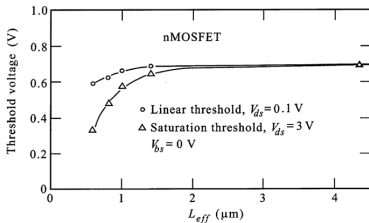
$$V_T^{LC} = V_{FB} - 2\psi_B + \frac{W L q N_a W_{dm}}{C_{ox}}$$

MOSFET Canal Corto: Parte de la carga de deserción es compensada con la carga en las SCR de source y drain.

⇒ Necesito menos carga en Gate para alcanzar la condición umbral ⇒ $V_T \downarrow$.



Disminución de V_T

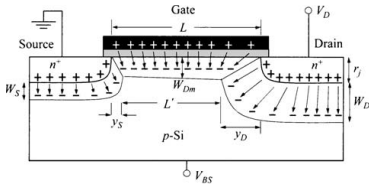


MOSFET Canal Largo: Toda la carga de inversión y deserción se compensa con la carga en el Gate.

$$V_T^{LC} = V_{FB} - 2\psi_B + \frac{W L q N_a W_{dm}}{C_{ox}}$$

MOSFET Canal Corto: Parte de la carga de deserción es compensada con la carga en las SCR de source y drain.

\Rightarrow Necesito menos carga en Gate para alcanzar la condición umbral $\Rightarrow V_T \downarrow$.



La porción de carga que se compensa en el Gate puede aproximarse ($V_{DS} \approx 0$):

$$Q_d^{SC} = W q N_a W_{dm} \left(\frac{L + L'}{2} \right) \Rightarrow \Delta V_T = \frac{Q_d^{SC} - Q_d^{LC}}{C_{ox}} = \frac{W q N_a W_{dm}}{C_{ox}} \left(\frac{L + L'}{2} - L \right)$$

$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm}}{C'_{ox} L} \left(\frac{L - L'}{2} \right) \quad (1)$$

$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm}}{C'_{ox} L} \left(\frac{L - L'}{2} \right) \quad (1)$$

Reescribiendo L' en función de los parámetros constructivos:

$$\frac{L - L'}{2} = \sqrt{t_j^2 + 2W_{dm}t_j} - t_j$$

donde t_j es la profundidad de las difusiones de Drain y Source.

$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm}}{C'_{ox} L} \left(\frac{L - L'}{2} \right) \quad (1)$$

Reescribiendo L' en función de los parámetros constructivos:

$$\frac{L - L'}{2} = \sqrt{t_j^2 + 2W_{dm}t_j} - t_j$$

donde t_j es la profundidad de las difusiones de Drain y Source.

Y considerando $V_{DS} > 0$; $V_{BS} < 0$:

$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm} t_j}{2 C'_{ox} L} \left[\left(\sqrt{1 + \frac{2y_S}{t_j}} - 1 \right) + \left(\sqrt{1 + \frac{2y_D}{t_j}} - 1 \right) \right]$$

$$y_S \approx \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q N_a} (\psi_{bi} - \psi_s - V_{BS})}$$

$$y_D \approx \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q N_a} (\psi_{bi} + V_{DS} - \psi_s - V_{BS})}$$

$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm}}{C'_{ox} L} \left(\frac{L - L'}{2} \right) \quad (1)$$

Reescribiendo L' en función de los parámetros constructivos:

$$\frac{L - L'}{2} = \sqrt{t_j^2 + 2W_{dm}t_j} - t_j$$

donde t_j es la profundidad de las difusiones de Drain y Source.

Y considerando $V_{DS} > 0$; $V_{BS} < 0$:

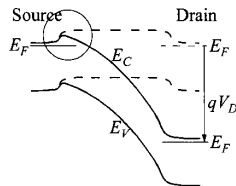
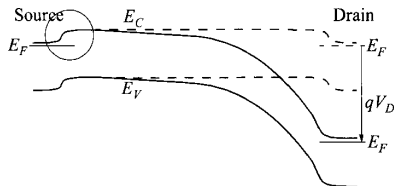
$$\Delta V_T = -\frac{q N_a W_{dm} t_j}{2 C'_{ox} L} \left[\left(\sqrt{1 + \frac{2y_S}{t_j}} - 1 \right) + \left(\sqrt{1 + \frac{2y_D}{t_j}} - 1 \right) \right]$$

$$y_S \approx \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q N_a} (\psi_{bi} - \psi_s - V_{BS})}$$

$$y_D \approx \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q N_a} (\psi_{bi} + V_{DS} - \psi_s - V_{BS})}$$

Si W también es comparable con W_{dm} , V_T también se vuelve dependiente de W .

Drain Induced Barrier Lowering (DIBL)

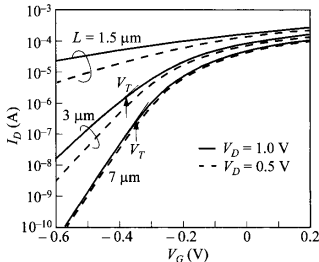
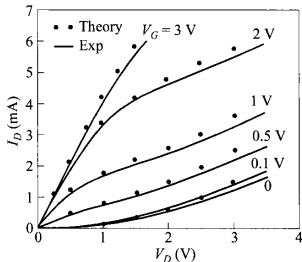


MOSFET Canal Largo (izq.): La barrera de potencial en el source no cambia su “altura” con V_{DS} (aunque puede existir efecto de modulación de L).

MOSFET Canal Corto (der.): La barrera de potencial en el source SÍ cambia su “altura” con V_{DS} .

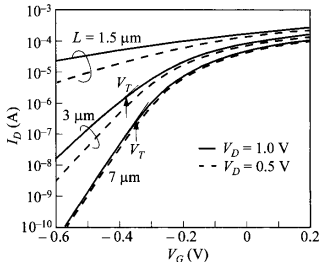
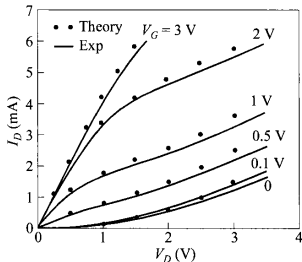
⇒ Hay mayor inyección de portadores aumentando la corriente. Esta “fuga” de corriente entre source y drain se denomina **Punch-through** y ocurre tanto en Subumbral como en Saturación/Triodo.

Drain Induced Barrier Lowering (DIBL)



En las curvas se observa el efecto de DIBL, donde en consecuencia del punch-through, la corriente es mayor y dependiente de V_{DS} .

Drain Induced Barrier Lowering (DIBL)



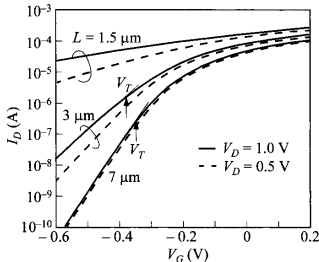
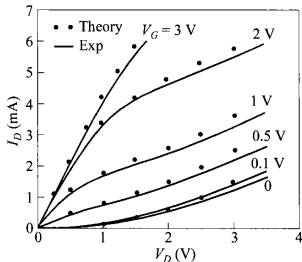
En las curvas se observa el efecto de DIBL, donde en consecuencia del punch-through, la corriente es mayor y dependiente de V_{DS} .

La tensión $V_{DS} = V_{pt}$ a la que ocurre el punch-through y la densidad de corriente por efecto de DIBL pueden estimarse:

$$V_{pt} \approx V_{FB} + \frac{qN_a(L - y_s)^2}{2\epsilon_s} \quad J_{D,pt} \approx \frac{9\epsilon_s\mu_n V_{DS}^2}{8L^3}$$

(Esta corriente circula "en paralelo" a la corriente de inversión.)

Drain Induced Barrier Lowering (DIBL)



En las curvas se observa el efecto de DIBL, donde en consecuencia del punch-through, la corriente es mayor y dependiente de V_{DS} .

La tensión $V_{DS} = V_{pt}$ a la que ocurre el punch-through y la densidad de corriente por efecto de DIBL pueden estimarse:

$$V_{pt} \approx V_{FB} + \frac{qN_a(L - y_s)^2}{2\epsilon_s} \quad J_{D,pt} \approx \frac{9\epsilon_s\mu_n V_{DS}^2}{8L^3}$$

(Esta corriente circula "en paralelo" a la corriente de inversión.)

El efecto DIBL puede incluirse en una variación de V_T :

$$V_T = V_T^{LC} - \frac{6t_{ox}}{W_{dm}} [2(\psi_{bi, sb} - V_{BS}) + V_{DS}] \exp\left(-\frac{\pi L}{4W_{dm}}\right)$$