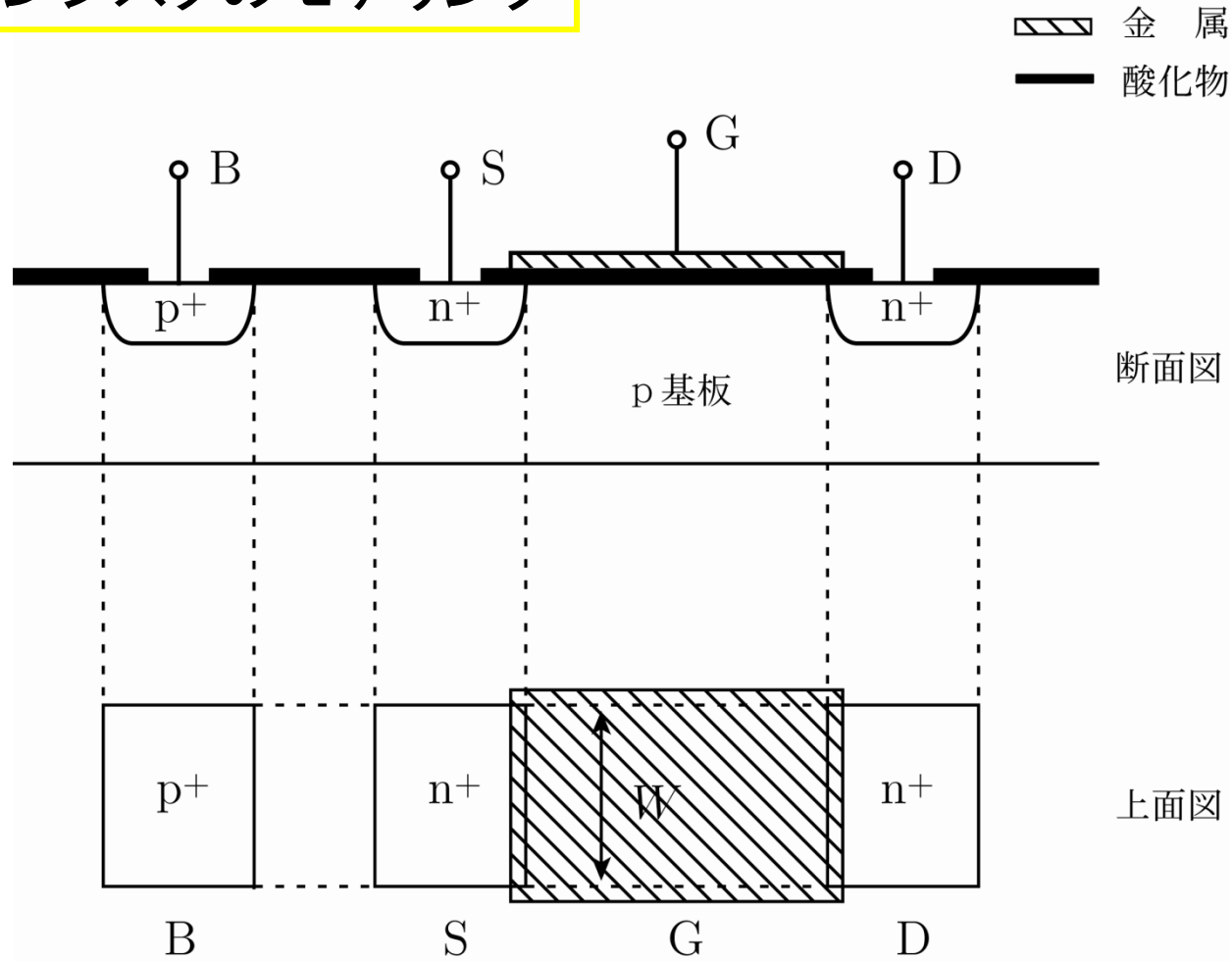
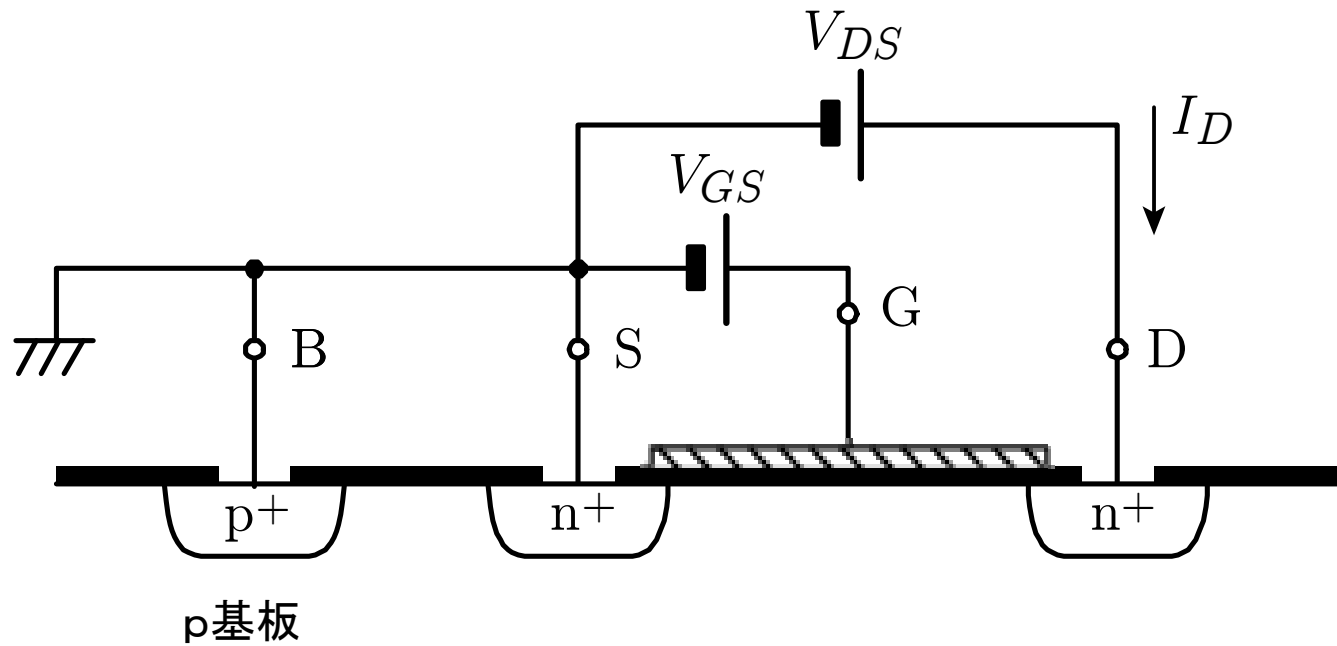


MOSTランジスタのモデリング



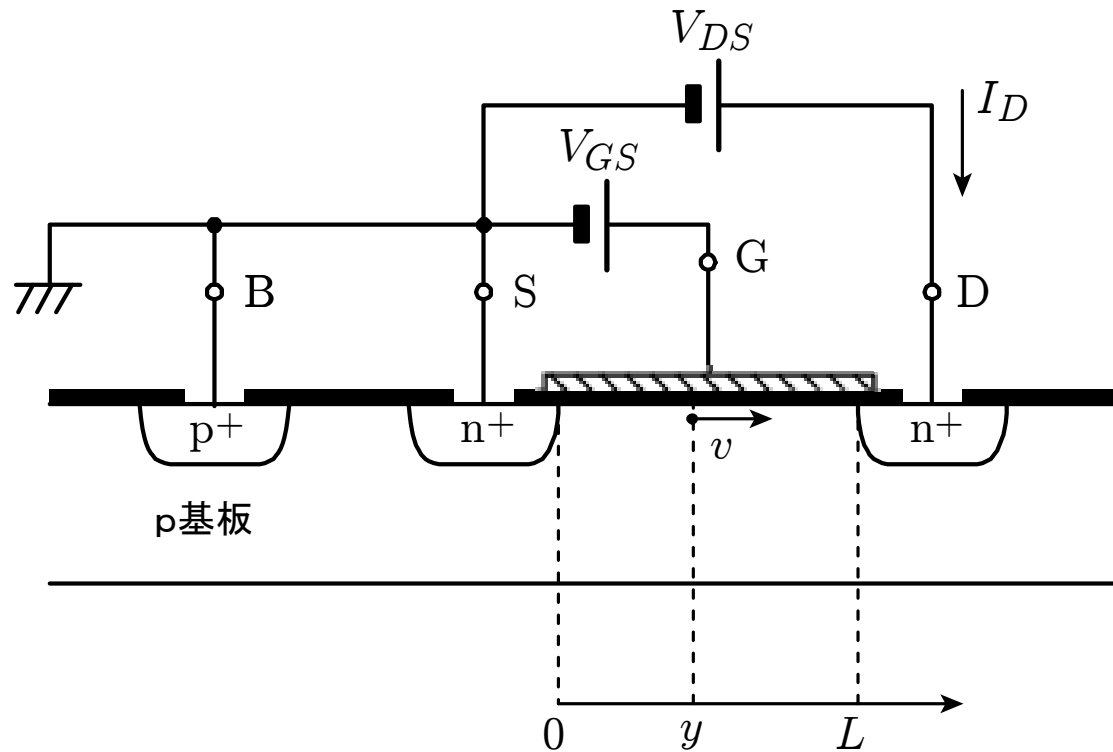
B: Bulk, バルク S: Source, ソース
G: Gate, ゲート D: Drain, ドレイン



$V_{SB}=0$ と仮定

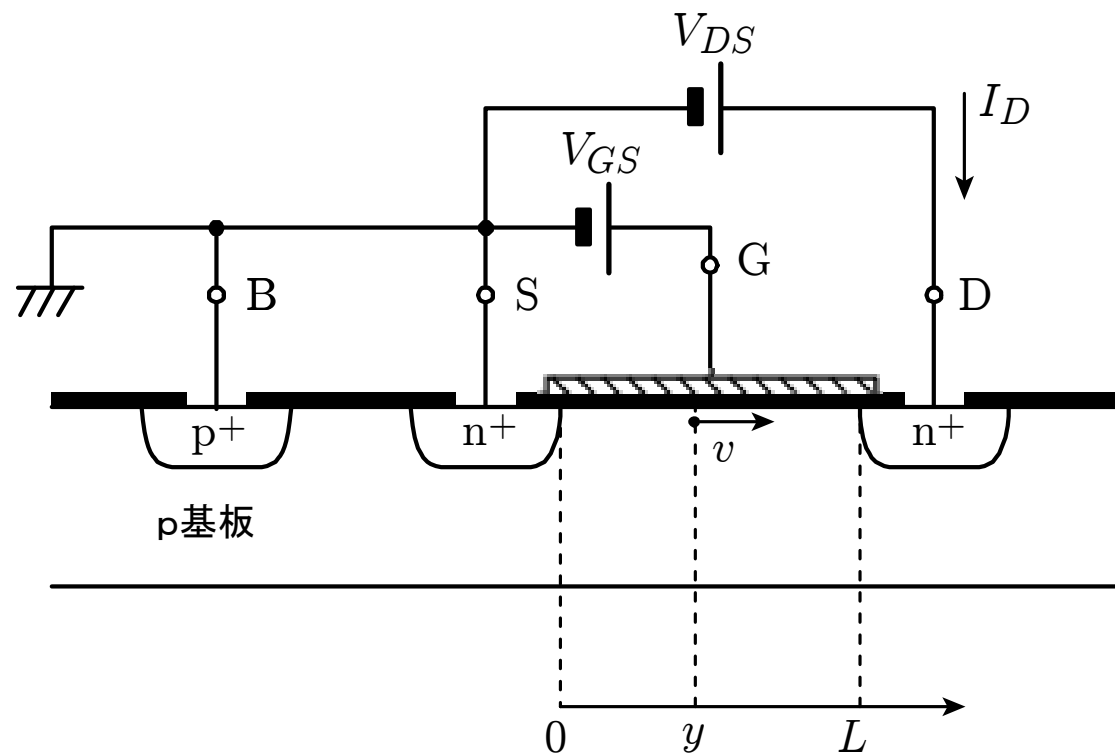
遮断領域：	$V_T \geq V_{GS}$
非飽和領域：	$V_{GS} - V_T > V_{DS} \geq 0$
飽和領域：	$V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0$

非飽和領域： $V_{GS} - V_T > V_{DS} \geq 0$



地点 y におけるチャネルの電位： $V(y)$

地点 y における単位面積当たりの電荷： $Q(y)$



μ : 移動度

C_{OX} : 単位面積当たりのゲート酸化膜容量

$$Q(y) = -C_{OX} \{V_{GS} - V_T - V(y)\}$$

$$I_D = Q(y) \times W \times (-v)$$

$$Q(y) = -C_{OX} \{V_{GS} - V_T - V(y)\} \quad v = -\mu E$$

$$I_D = Q(y) \times W \times (-v) \quad E = -\frac{dV}{dy}$$

$$I_D = \mu C_{OX} W \{V_{GS} - V_T - V(y)\} \frac{dV}{dy}$$

$$\int_0^L I_D dy = \int_0^L \mu C_{OX} W \{V_{GS} - V_T - V(y)\} \frac{dV}{dy} dy$$

$$= \int_0^{V_{DS}} \mu C_{OX} W \{V_{GS} - V_T - V(y)\} dV$$

$$= \left[\frac{-1}{2} \mu C_{OX} W \{V_{GS} - V_T - V(y)\}^2 \right]_0^{V_{DS}}$$

$$I_D L = \mu C_{OX} W \left(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2} \right) V_{DS}$$

$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2}) V_{DS}$$

飽和領域： $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0$

$V_{DS} = V_{GS} - V_T$ となったときの I_D から変化しない。

2乗則

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\begin{aligned}\text{遮断領域} : & \quad V_T \geq V_{GS} \\ \text{非飽和領域} : & \quad V_{GS} - V_T > V_{DS} \geq 0 \\ \text{飽和領域} : & \quad V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0\end{aligned}$$

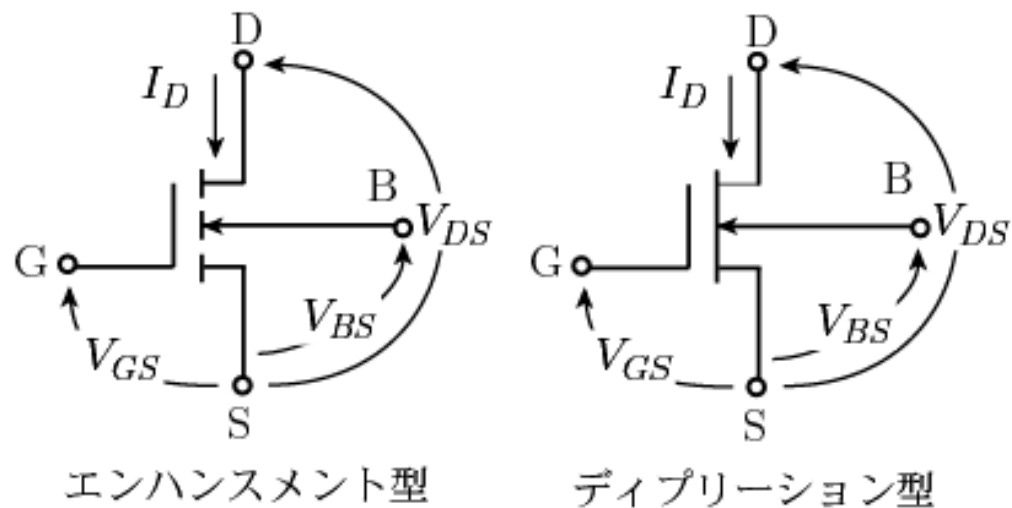
$$\text{遮断領域} : I_D = 0$$

$$\text{非飽和領域} : I_D = 2K(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2})V_{DS}$$

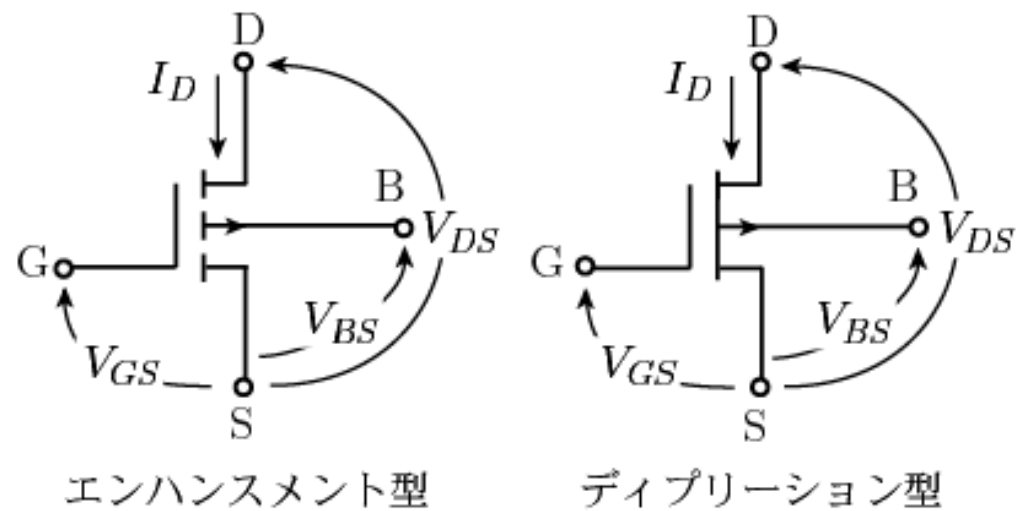
$$\text{飽和領域} : I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$K = \frac{1}{2}\mu C_{OX} \frac{W}{L} : \text{トランスコンダクタンスパラメータ}$$

MOSトランジスタの記号



nチャネルMOSトランジスタ



pチャネルMOSトランジスタ

MOSTランジスタにおける2次的効果

基板効果

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

チャネル長変調効果

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

MOSTランジスタの小信号モデル

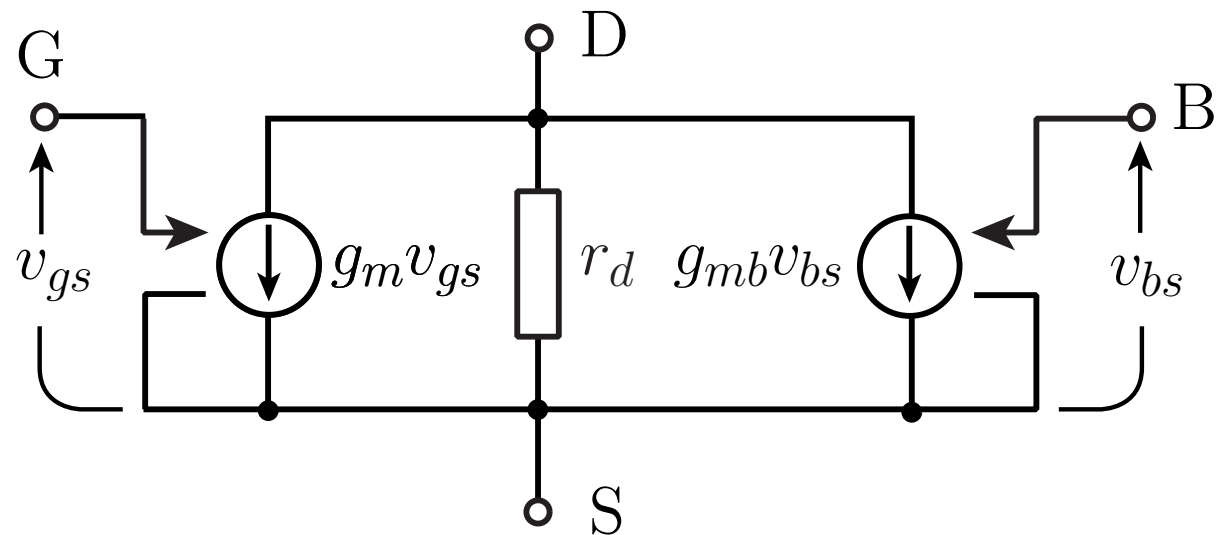
$$I_D = f(V_{GS}, V_{DS}, V_{BS})$$

$$\Delta I_D = \frac{\partial f}{\partial V_{GS}} \Delta V_{GS} + \frac{\partial f}{\partial V_{DS}} \Delta V_{DS} + \frac{\partial f}{\partial V_{BS}} \Delta V_{BS}$$

$$i_d = \frac{\partial f}{\partial V_{GS}} v_{gs} + \frac{\partial f}{\partial V_{DS}} v_{ds} + \frac{\partial f}{\partial V_{BS}} v_{bs}$$

$$\frac{\partial f}{\partial V_{GS}} = g_m, \quad \frac{\partial f}{\partial V_{DS}} = \frac{1}{r_d}, \quad \frac{\partial f}{\partial V_{BS}} = g_{mb}$$

MOSTランジスタの小信号モデル



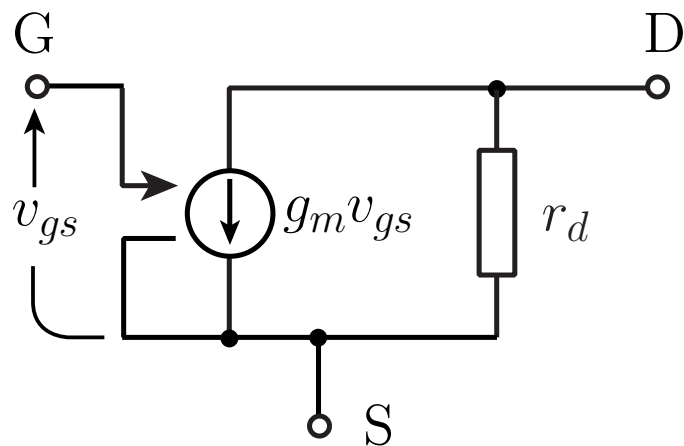
問：

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda V_{DS})$$

$$V_T = V_{T0} + \gamma(\sqrt{2\phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_F})$$

であるとき, g_m , r_d , g_{mb} を
求めよ.

小信号モデルが等価となる条件

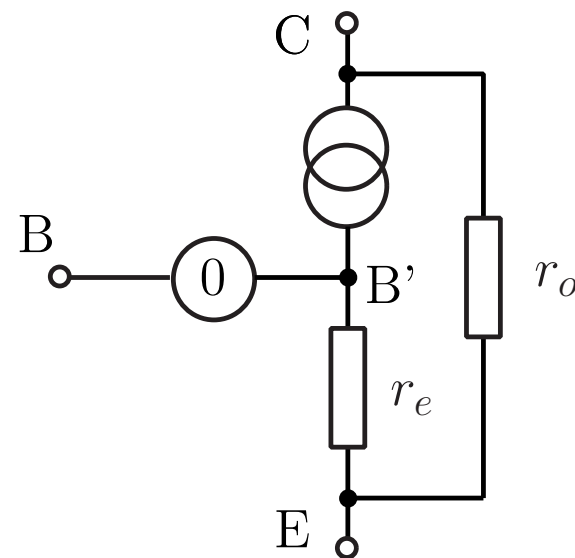


MOSTランジスタ

=

$$g_m = \frac{1}{r_e}$$

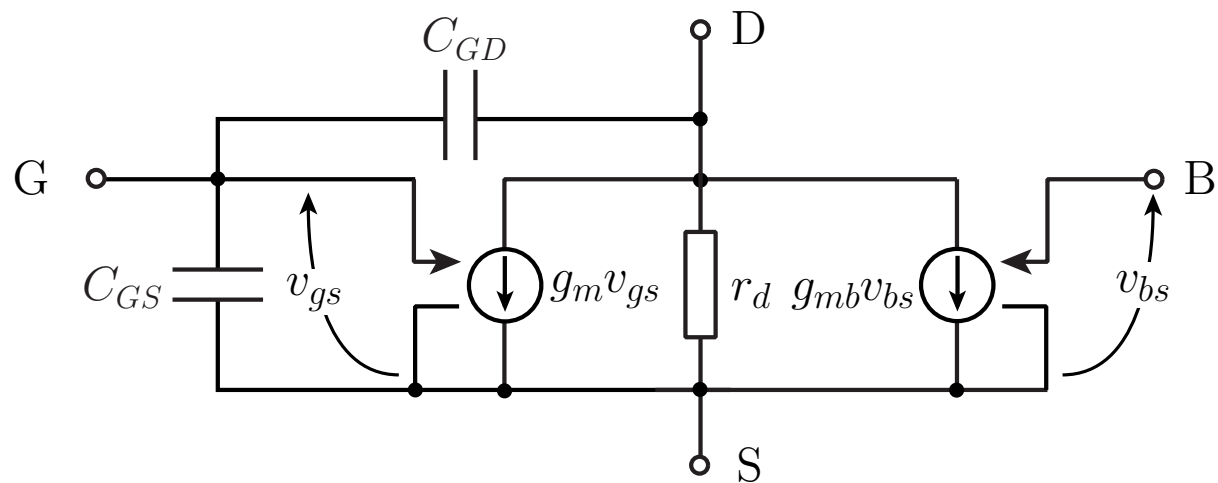
$$r_d = r_o$$



バイポーラトランジスタ

MOSTランジスタの高周波小信号モデル

基板間の寄生容量を考慮



C_{gs} は？

$Q(y) = -C_{OX}\{V_{GS} - V_T - V(y)\}$ より

ゲートに蓄えられている総電荷 Q_T は

$$Q_T = -\int_0^L WQ(y)dy = \int_0^L \frac{\{WQ(y)\}^2 \mu \frac{dV}{dy}}{-WQ(y) \mu \frac{dV}{dy}} dy = \int_0^L \frac{\{WQ(y)\}^2 \mu \frac{dV}{dy}}{I_D} dy$$

$$= \frac{\mu C_{OX}^2 W^2}{I_D} \int_0^{V_{DS}} \{V_{GS} - V_T - V(y)\}^2 dV(y)$$

終端($y=L$)では, $V_{DS}=V_{GS}-V_T$ なので

$$Q_T = \frac{\mu C_{OX}^2 W^2}{I_D} \int_0^{V_{GS}-V_T} \{V_{GS}-V_T-V(y)\}^2 dV(y)$$

$$= \frac{\mu C_{OX}^2 W^2}{I_D} \left[\frac{-1}{3} \{V_{GS}-V_T-V(y)\}^3 \right]_0^{V_{GS}-V_T}$$

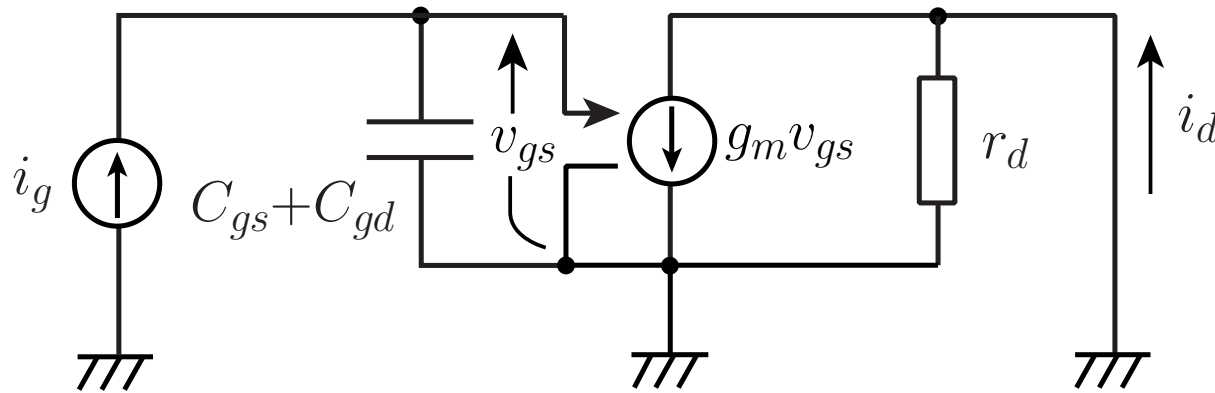
$$= \frac{\mu C_{OX}^2 W^2}{\frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS}-V_T)^2} \left\{ 0 - \frac{-1}{3} (V_{GS}-V_T)^3 \right\}$$

$$= \frac{2}{3} C_{OX} W L (V_{GS}-V_T)$$

$$C_{gs} = \frac{\partial Q_T}{\partial V_{GS}} = \frac{2}{3} W L C_{OX}$$

MOSトランジスタの f_T

f_T : $|i_d|=|i_g|$ となる周波数



$$i_d = g_m v_{gs} = \frac{g_m}{j\omega(C_{gs} + C_{gd})} i_g$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{gs} + C_{gd})} \approx \frac{g_m}{2\pi C_{gs}}$$

$$C_{gs} = \frac{\partial Q_T}{\partial V_{GS}} = \frac{2}{3} W L C_{OX}$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi C_{gs}} = \frac{3\mu}{4\pi L^2} (V_{GS} - V_T)$$

参考：バイポーラトランジスタ $f_T = \frac{\mu}{\pi W_B^2} \cdot \frac{kT}{q}$