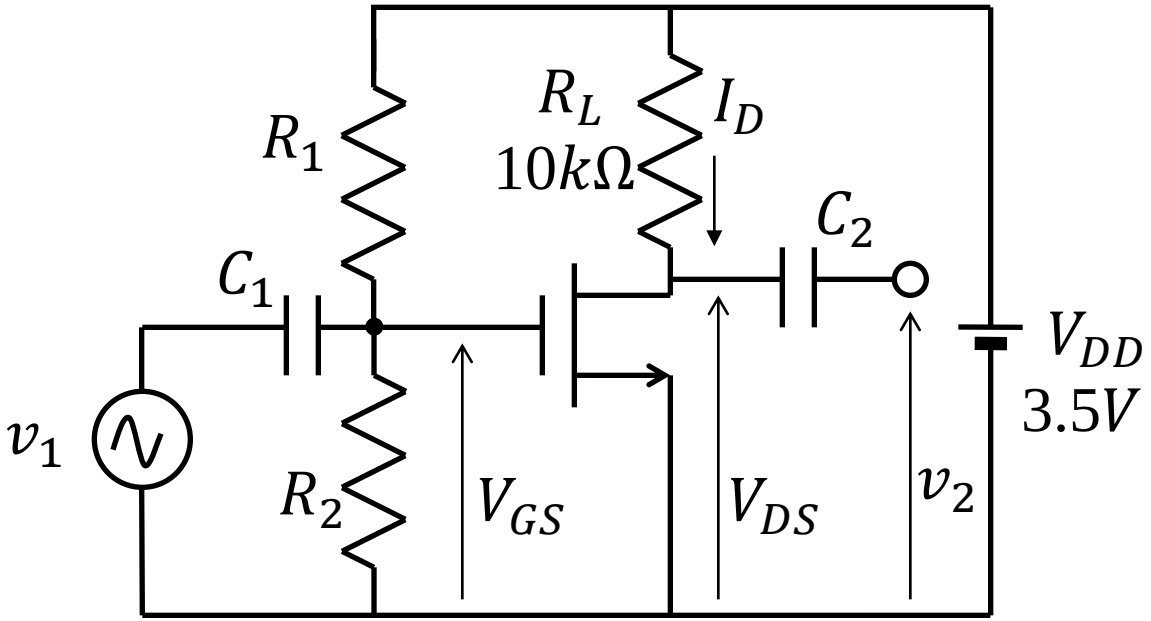
MOSFET

Metal Oxide Semiconductor
Field Effect Transistor

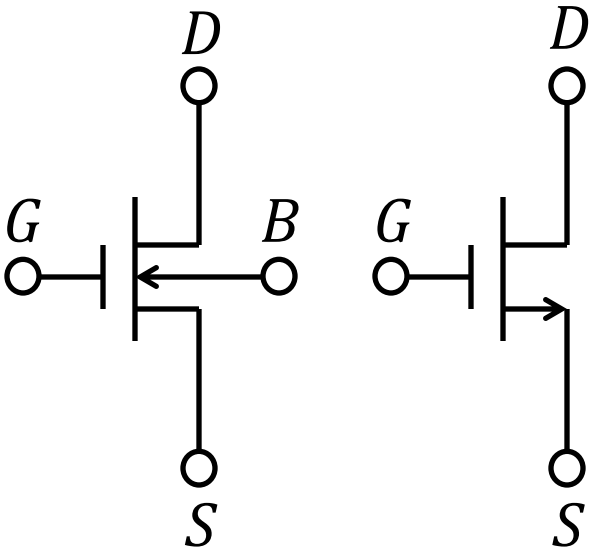
- 基本の増幅デバイス
- ディジタル回路で特に重要
- 4つの領域で構成
  ゲート、ソース、ドレイン、サブストレート

MOSFET増幅回路

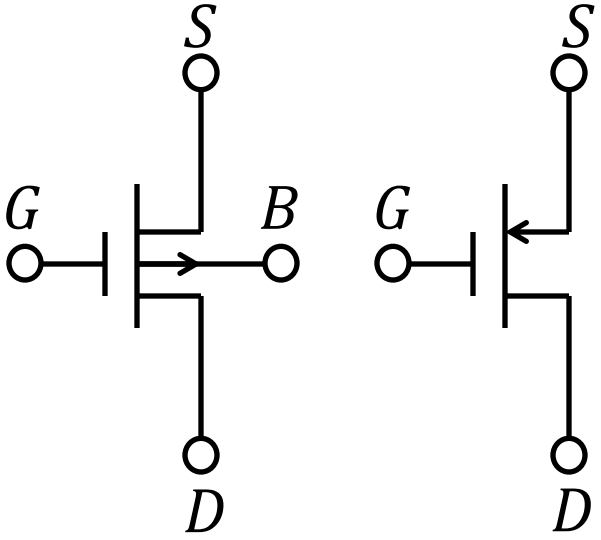


回路を適切に　　し，利得を求める

MOSFETのシンボル

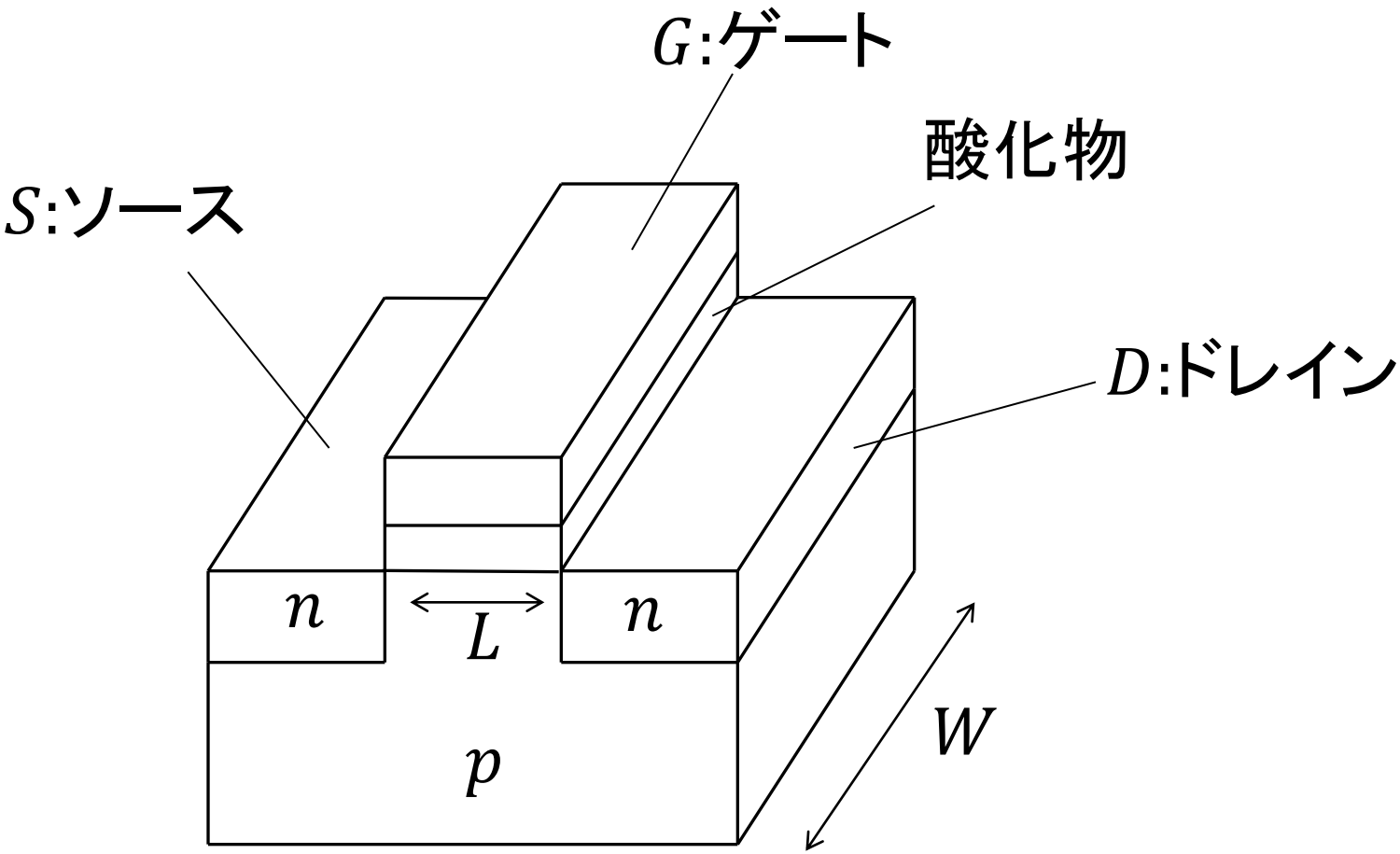


*n*チャネル



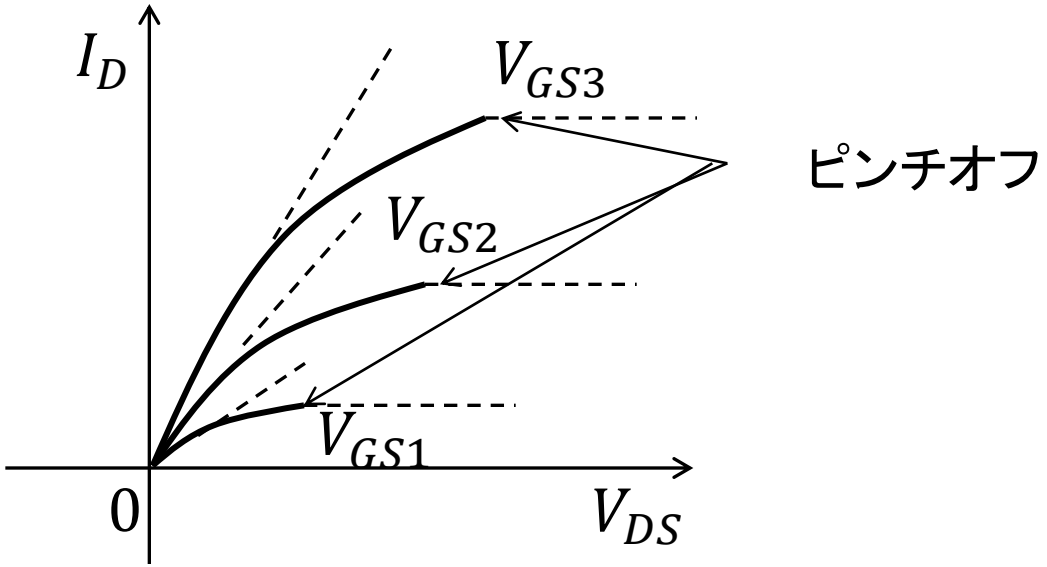
*p*チャネル

*n*MOSトランジスタの構造



MOSFETの動作領域

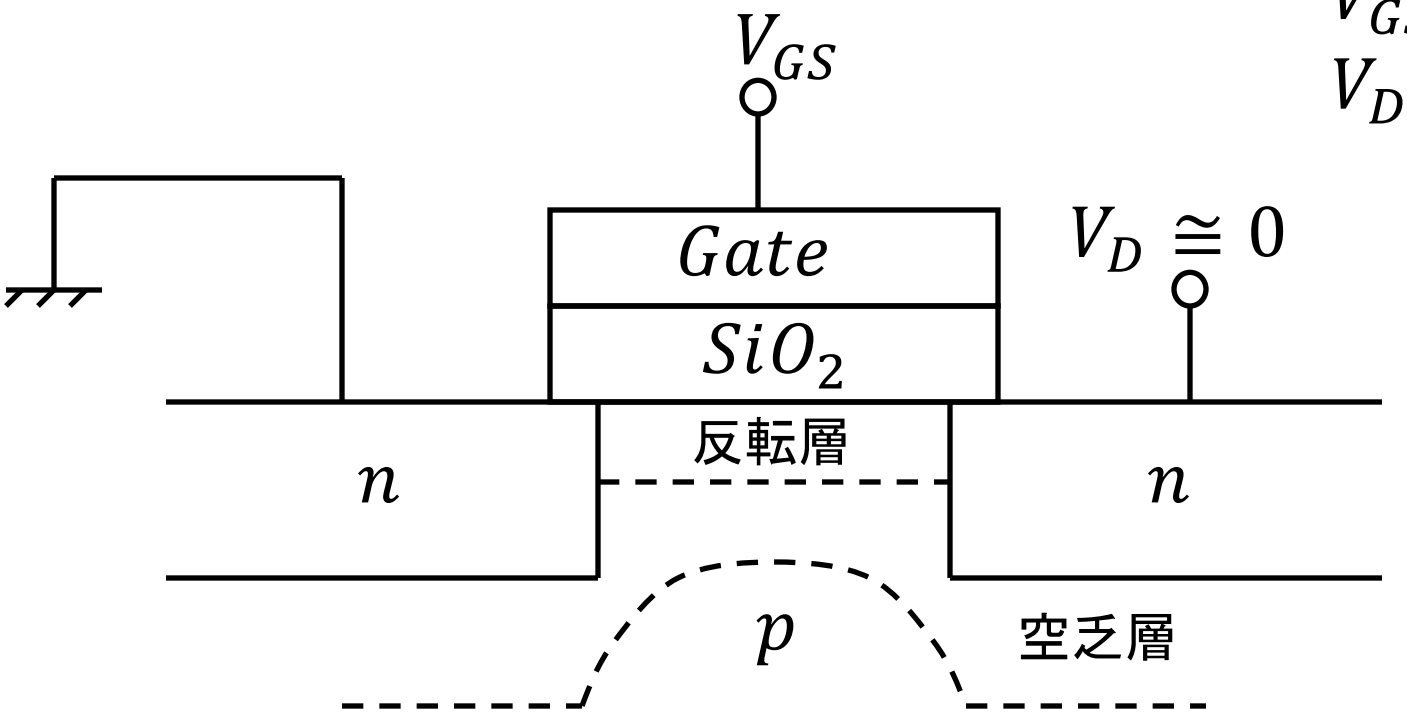
- 遮断領域　$I_D = 0, V_{GS} < V_{TH}$
- チャネルの反転　$V_{GS} - V_{TH} \geq 0$
  - 三極管領域　I_Dは□の関数
  - 能動領域　I_Dは主に□の関数



三極管領域（非飽和領域）

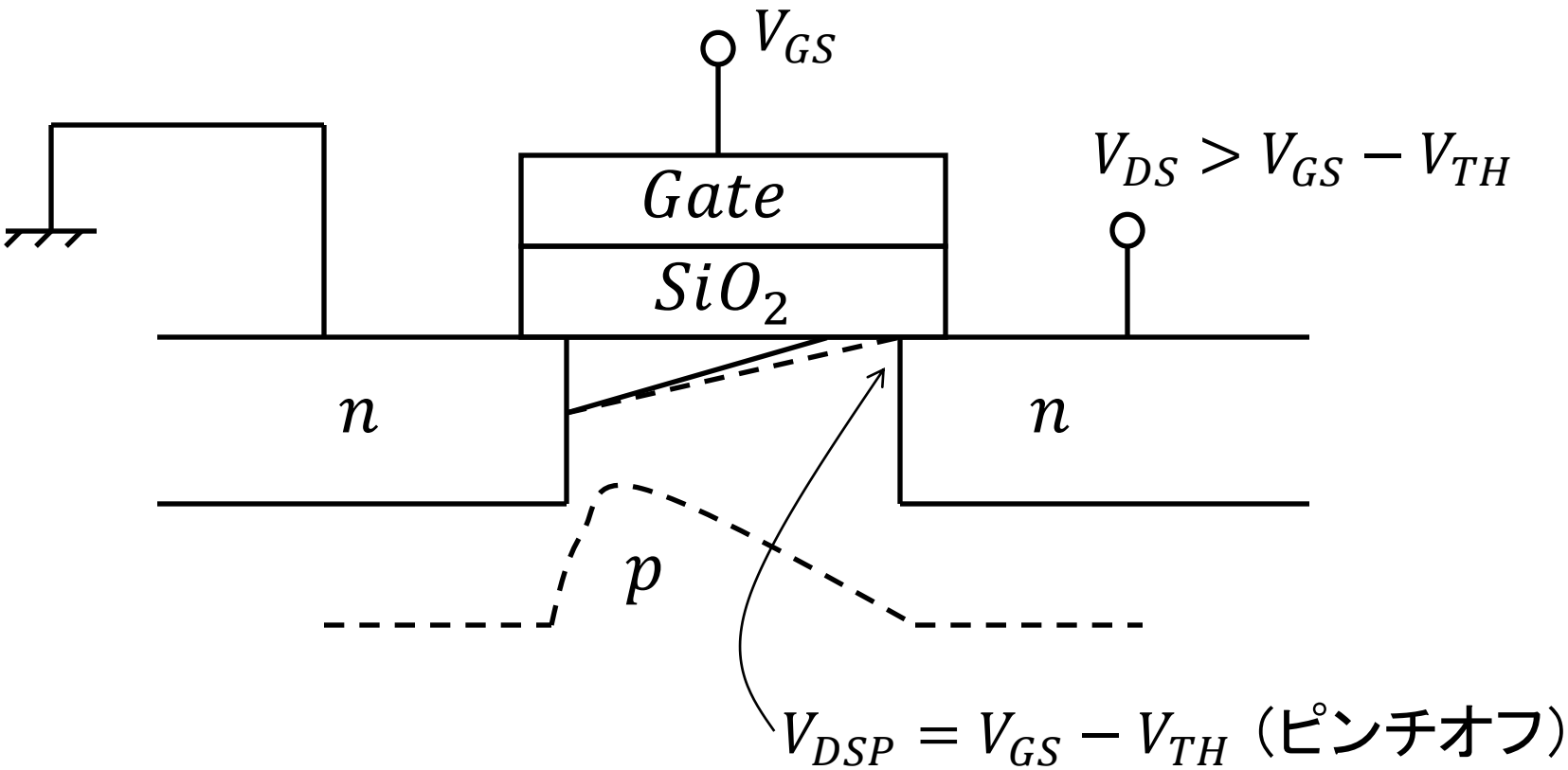
$V_{GS} > V_{TH}$

$V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$



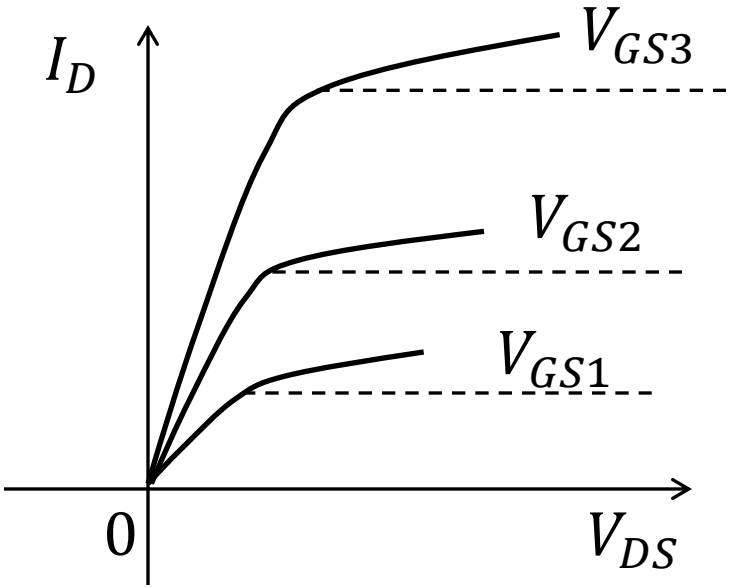
$$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left\{ (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{{V_{DS}}^2}{2} \right\}$$

能動領域（飽和領域）



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

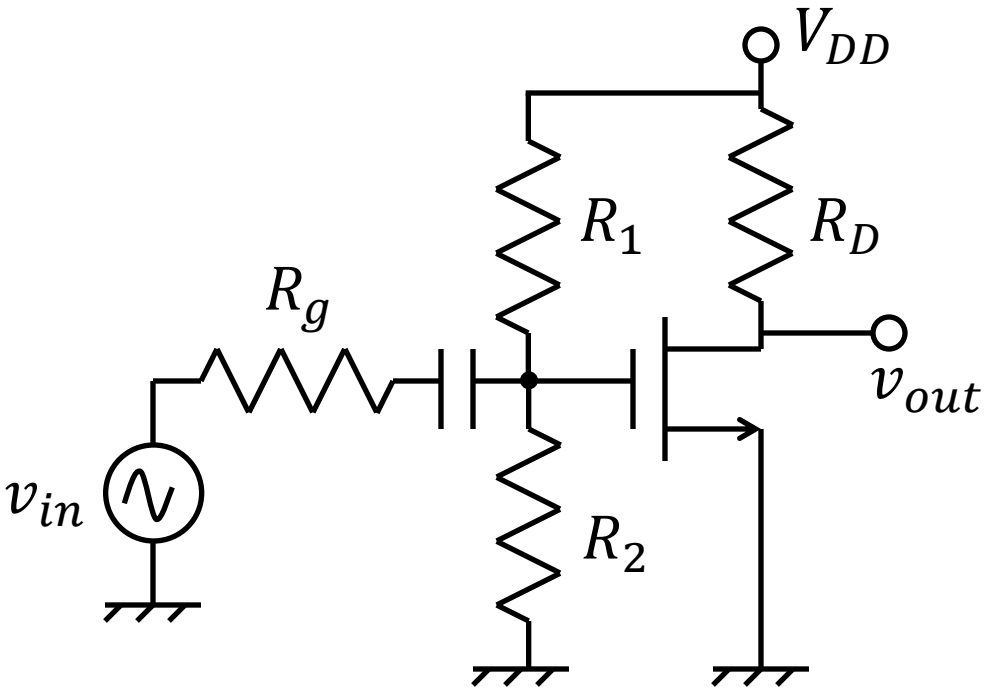
MOSFETの能動領域



$$I_D = \frac{\mu}{2}\frac{W}{L}C_{OX}(V_{GS} - V_{TH})^2[1 + \lambda(V_{DS} - V_{DSP})]$$

MOSFET増幅回路

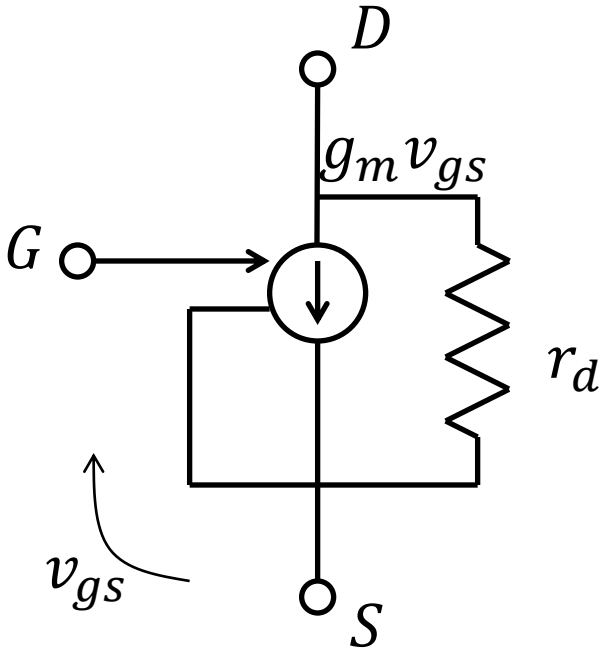
ソース共通増幅回路



$$V_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

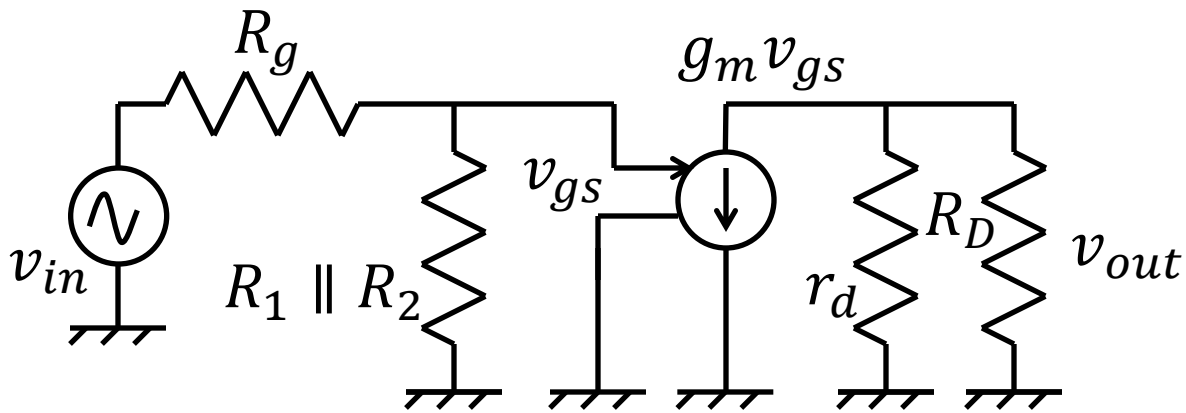
MOSFETの小信号モデル



$$g_m = \left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}\right|_{V_{DS}=K} = \sqrt{2\mu C_{OX}\frac{W}{L}I_D}$$

$$r_d = \frac{1}{\left.\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}\right|_{V_{GS}=K'}} = \frac{1}{\lambda I_{DP}}$$

MOSFET増幅回路の小信号等価回路



$$v_{gs} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} v_{in}$$

$$v_{out} = -g_m \frac{r_d R_D}{r_d + R_D} v_{gs}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} g_m \frac{r_d R_D}{r_d + R_D}$$

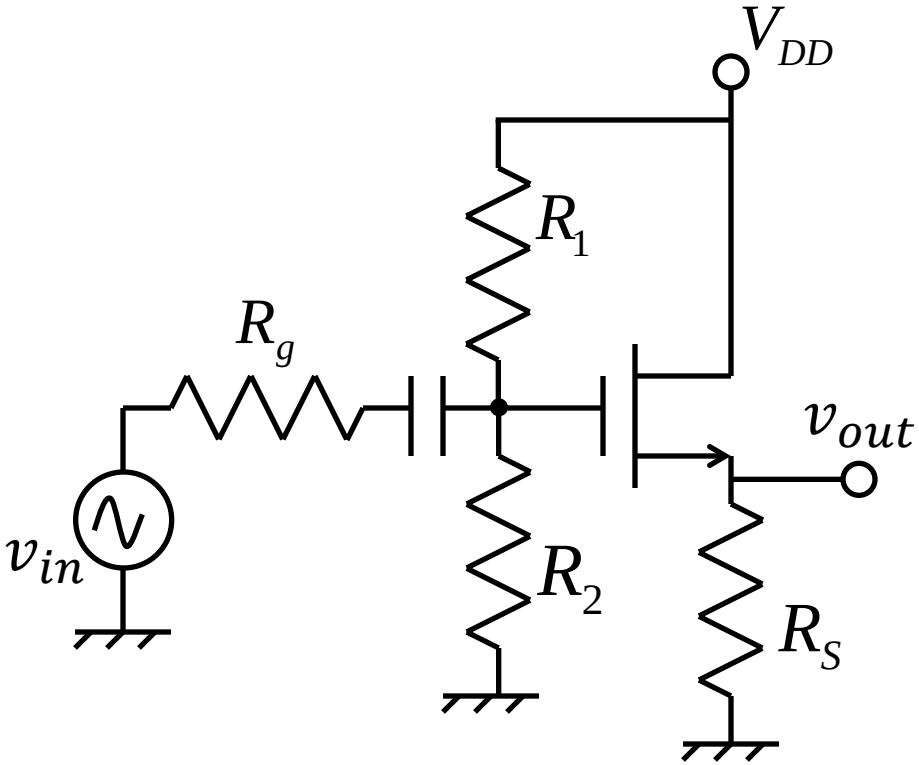
$R_{in} = R_1 \parallel R_2$

ゲート端子から見ると$r_{in} = \infty$

$R_{out} = r_d \parallel R_D$

ドレイン端子から見ると$r_{out} = r_d$

ソースフォロワ



$$V_{GSQ} = V_{GQ} - V_{SQ}$$

$$= V_{GQ} - R_s I_{DQ}$$

$$V_{DS} = V_D - V_{SQ}$$

基板電位

個別部品：ソースと接続
集積回路：

ソース電位変化

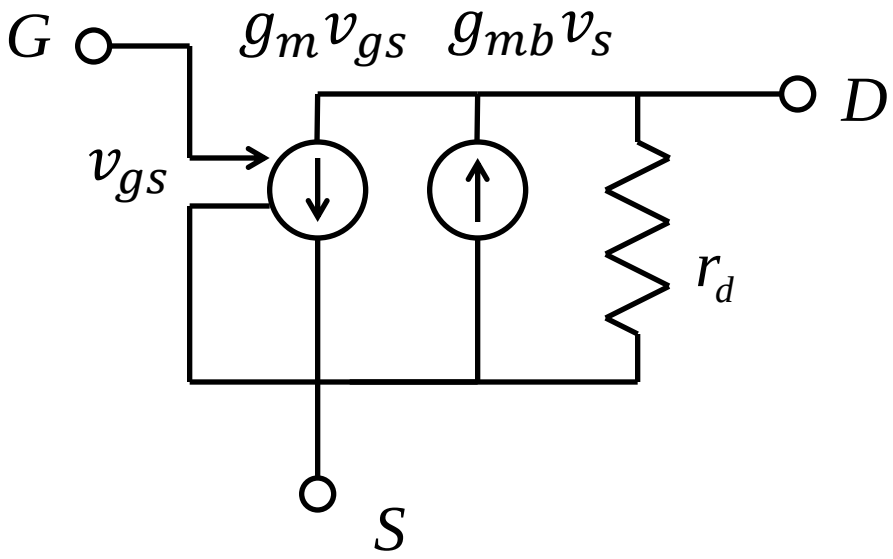
↓

ソース・　　間電圧変化

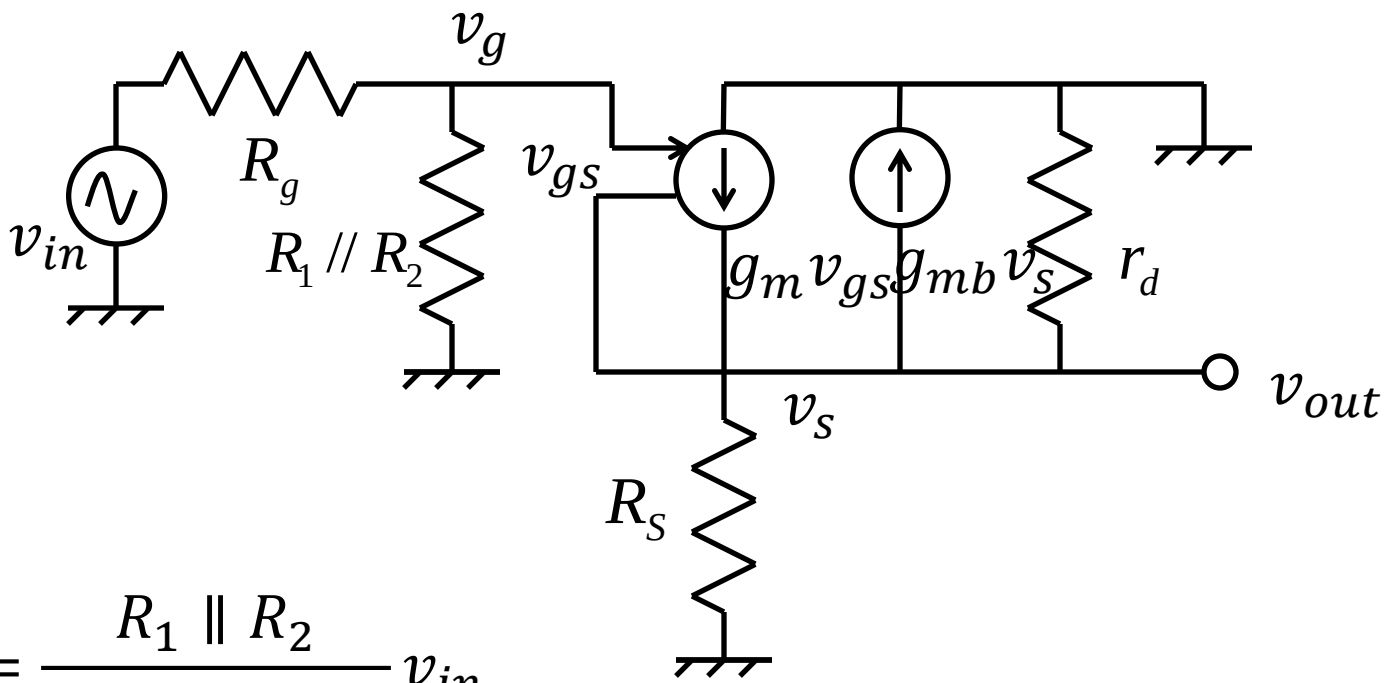
↓

チャネルの伝導変化
ボディー効果、バックゲート効果

ボディー効果



ソースフォロアの小信号等価回路



$$v_g = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} v_{in}$$

$$v_{out} = \frac{g_m v_{gs}}{G} = \frac{g_m (v_g - v_{out})}{G}$$

$$G = g_d + g_{mb} + G_S$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} \frac{g_m}{g_m + G}$$

ソースフォロワの性質

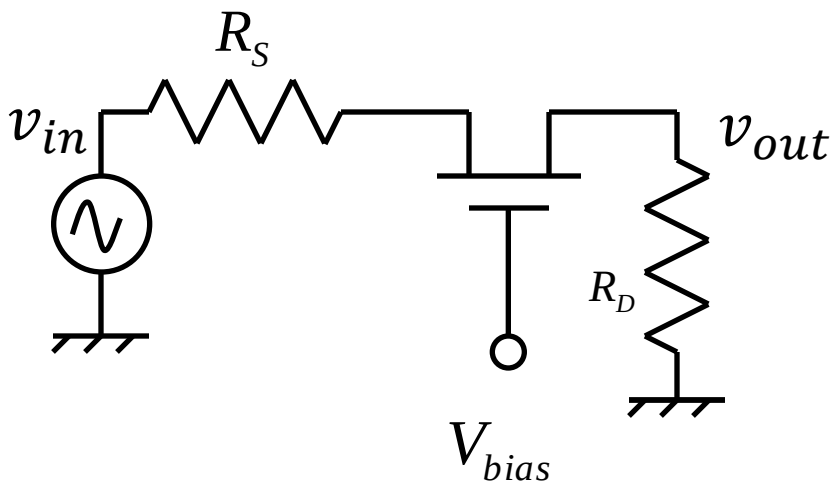
g_{mb}はg_mの10%～15%程度

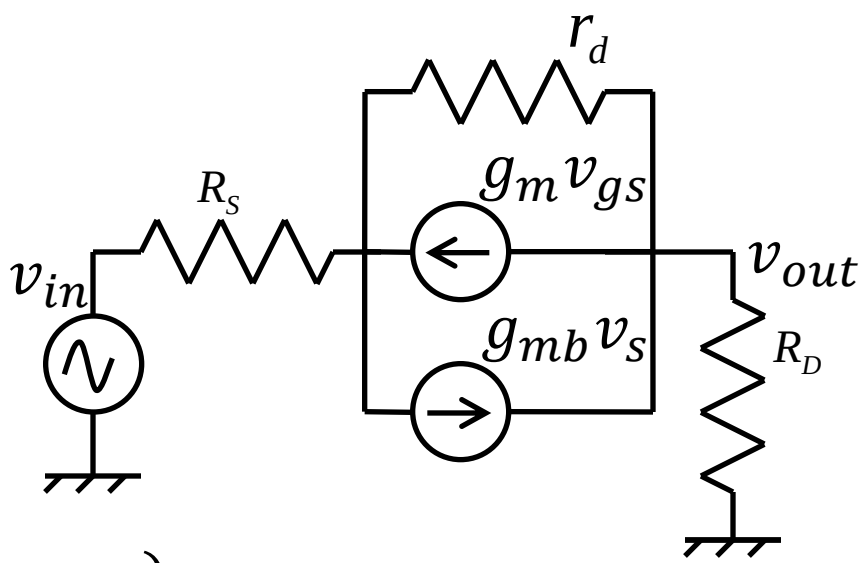
A_Vは0.75～0.9 ・・

$$r_{in} = \infty$$

$$r_{out} = \frac{1}{g_m} \parallel \frac{1}{g_{mb}} \parallel r_d$$ 小さい

ゲート共通増幅回路





$$i_d = (g_m + g_{mb})v_s - g_d(v_{out} - v_s)$$

$$v_s = v_{in} - R_S i_d, \qquad v_{out} = R_D i_d$$

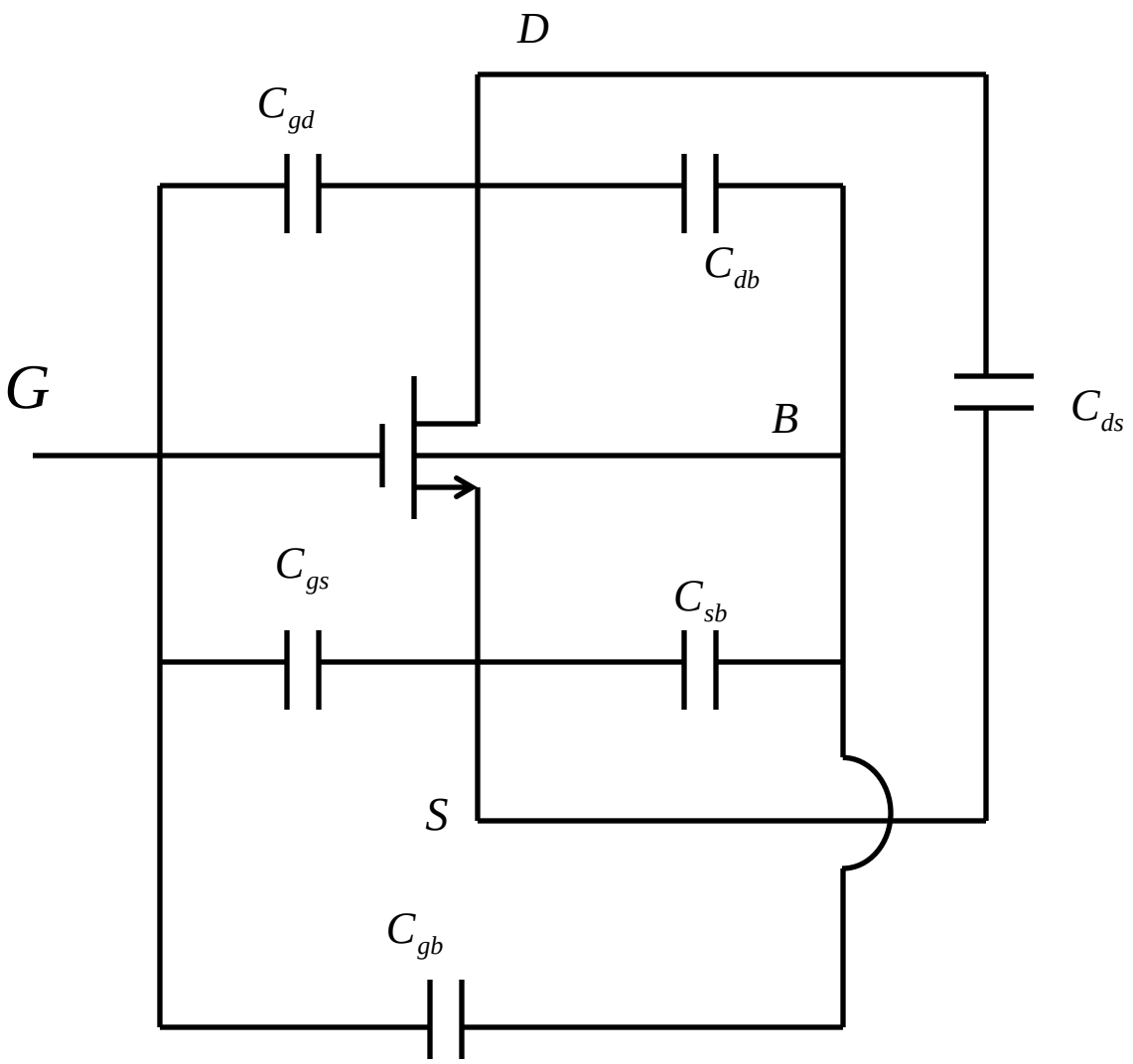
$$A_v = \frac{g_m + g_{mb} + g_d}{G_D + g_d + (g_m + g_{mb} + g_d)\dfrac{G_D}{G_S}}$$

$g_d \ll g_m + g_{mb}$ならば

$$A_v \cong \frac{(g_m + g_{mb})R_D}{1 + (g_m + g_{mb})R_S}$$

電流利得は

MOSFETの高周波モデル



練習問題

$I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2, K = 10^{-4}[S/V], V_{GS} - V_{TH} = 1[V]$
のとき、g_m求めよ

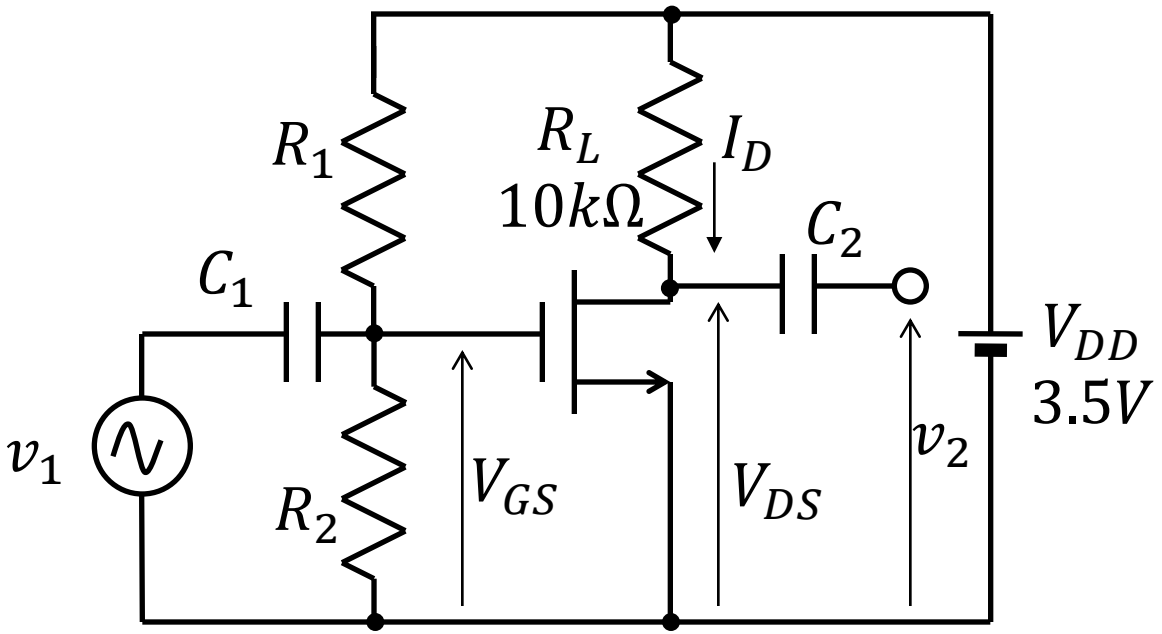
解：　$g_m = \frac{d}{dV_{GS}} I_D = 2K(V_{GS} - V_{TH})$

$$= 2 \times 10^{-4} \times 1 = 2 \times 10^{-4}[S] = 0.2[mS]$$

次週予告

来週はバイポーラジャンクショントランジスタです.

宿題5



図の回路で$I_D = K(V_{GS} - V_{TH})^2, K = 1.5 \times 10^{-4}[S/V], V_{TH} = 0.5[V]$とする。

1. $V_{DS} = 2V$となるようにV_{GS}を定めよ。そのときのR_1, R_2の値を決定せよ。
2. 1.のバイアス点でのg_mを求めよ。
3. 2.で求めたg_mを用いて図の回路の中域利得v_2/v_1を求めよ。ただしr_dは無限大，C_1，C_2は十分大きな容量とする。