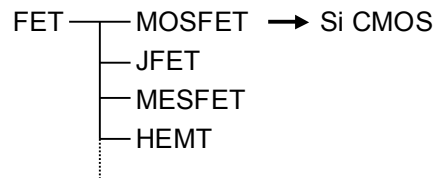


電界効果型トランジスタ(FET)の 簡単な理解の仕方

前澤 宏一

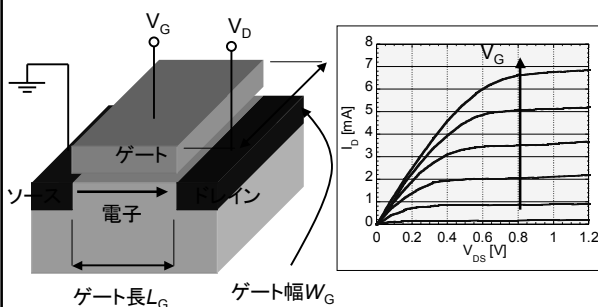
電界効果型トランジスタ Field Effect Transistor (FET)



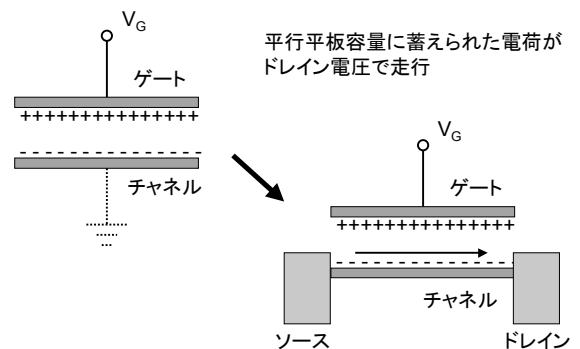
入力インピーダンス大、電圧制御

世界中で使われているほとんどのトランジスタはFET!

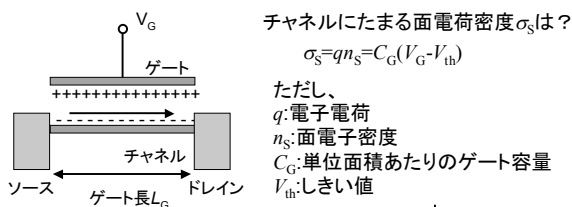
典型的なFETの構造と電流－電圧特性



FETの動作原理



簡単な電流－電圧特性の導出1

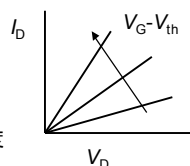


電子の移動度を μ とするとドレイン電流は

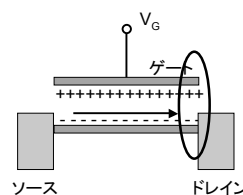
$$I_D = W_G q n_s v_{eff} = W_G C_G (V_G - V_{th}) \mu V_{DS} / L_G$$

v_{eff} : 電子の平均速度、 μ : 移動度

ドレイン電流はゲート電圧、ドレイン電圧に比例



簡単な電流－電圧特性の導出2

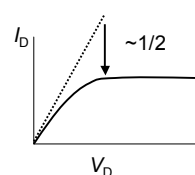


ただし、前ページはドレイン電圧が小さい時。

ドレイン電圧が大きくなるとチャンネル内の電圧が上昇するのでチャンネルにたまる電子の量が減少する。

ドレイン電圧増大による電界増大の効果をチャンネル内電子減少が打ち消す。

$V_G - V_{th} < V_D$ となるともうドレイン端に電子がいなくなってしまう。



電流飽和
(非常に大雑把に言って、その時の電流は $\sim 1/2$)

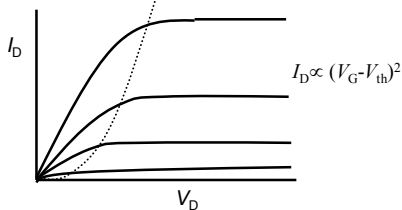
簡単な電流－電圧特性の導出3

FETのドレイン電流についてまとめると

$$I_D = W_G \mu C_G (V_G - V_{th}) V_{DS} / L_G \quad (V_G - V_{th}) \gg V_{DS} \quad \text{線形領域}$$

$$= (1/2) W_G \mu C_G (V_G - V_{th})^2 / L_G \quad (V_G - V_{th}) < V_{DS} \quad \text{飽和領域}$$

(線形領域の V_{DS} に $V_G - V_{th}$ を代入して1/2したもの)

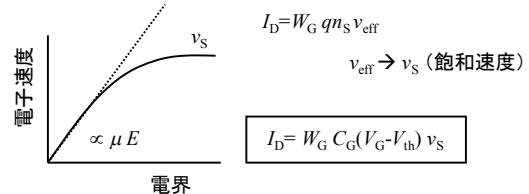


最近のFET ---短チャネル---

最近のFETは少し違う！

ゲート長が短い($\sim 0.1 \mu\text{m}$) $\rightarrow$ 電子速度が移動度で決まらない
ある電界以上で速度飽和

電流飽和のメカニズムが異なる: 電子速度飽和で決まる。
(低ドレイン電圧では同じ)



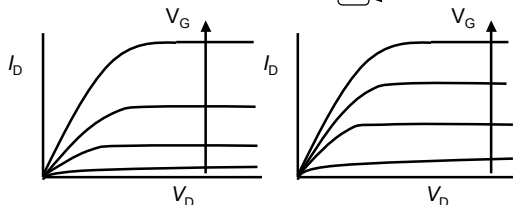
FETの飽和電流－電圧特性

飽和電流

長ゲート: 2乗特性 $I_D = (1/2) W_G C_G \mu (V_G - V_{th})^2 / L_G$
 短ゲート: 1乗特性 $I_D = W_G C_G (V_G - V_{th}) v_s$

相互コンダクタンス (dI_D/dV_G)

長ゲート: 1乗特性 $g_m = W_G C_G \mu (V_G - V_{th}) / L_G = v_{eff}$
 短ゲート: 一定 $g_m = W_G C_G v_s$



FETのカットオフ周波数

最も重要な指標のひとつ: カットオフ周波数 f_T

電流増幅率=1となる周波数

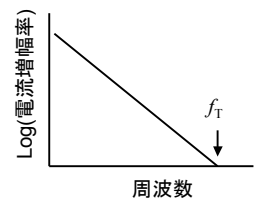
$$\frac{|\Delta I_D|}{|\Delta V_G|} = \frac{g_m \Delta V_G}{2\pi f C_G W_G L_G \Delta V_G} = \frac{g_m}{2\pi f C_G W_G L_G} = \frac{C_G W_G v_{eff}}{2\pi f C_G W_G L_G} = \frac{v_{eff}}{2\pi f L_G}$$

上式=1より

$$f = \frac{v_{eff}}{2\pi L_G} = \frac{1}{2\pi T}$$

ここで、

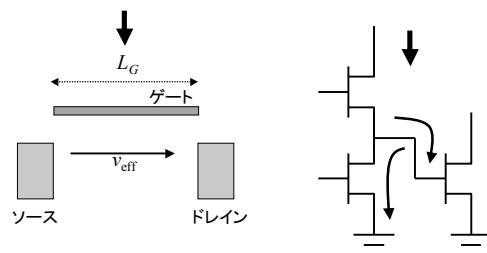
$$T = \frac{L_G}{v_{eff}} = \frac{C_G W_G L_G}{g_m}$$



カットオフ周波数の物理的意味

ゲート走行時間=ゲート充電時間

$$T = \frac{L_G}{v_{eff}} = \frac{C_G W_G L_G \Delta V_G}{g_m \Delta V_G} = \frac{\text{ゲート電荷}}{\text{ドレイン電流変化}}$$



まとめ

- FET: ゲート容量に蓄えられたチャージをドレイン電圧によって横方向に動かす。
- ドレイン電流－ゲート電圧特性の導出
- 動作速度
 - 電子がゲート下を走行する時間
 - ゲート容量をドレイン電流で充電する時間