

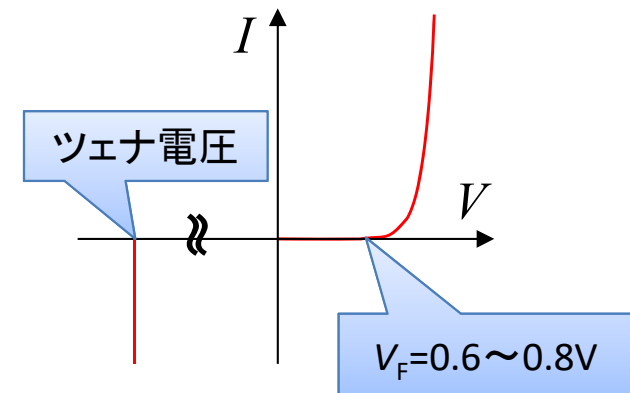
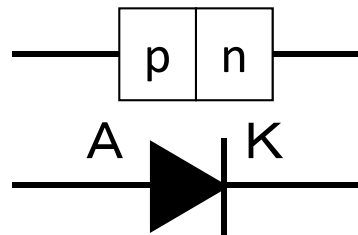
### **3. 能動素子**

# 能動素子とは？

- 能動素子は、入力した電気エネルギーより出力を大きくできる(増幅)素子。
- 内部でエネルギーが生成されるのではなく、入力以外に外部電源を供給することで、入力に比例した、より大きな信号を出力に取り出すことができる。
- 真空管・トランジスタ・ダイオード・ICなど
- 回路素子としては、制御信号入力のある2端子対の回路としてみるとわかりやすい。
- 本授業では、増幅は扱わず、非線形抵抗またはスイッチとして能動素子を扱う。

# ダイオード(diode)

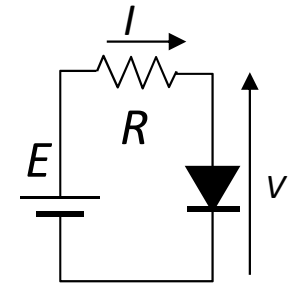
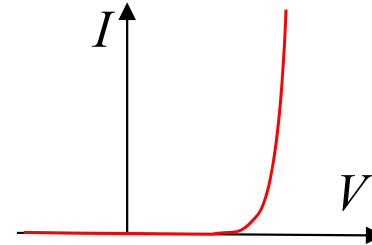
- p型とn型の半導体(semiconductor)の接合構造
- 大抵はシリコン(silicon)でできている
- 電気を1方向(anode → cathode, p→n)に流す整流(rectification)という性質を持つ。
- p→nの方向を順方向という。
- 順方向電流は電圧の指数関数で、順方向電圧( $V_F$ )を越えた辺りから急激に増加する。
- 実際のダイオードでは、一定以上の逆方向電圧をかけると大電流が流れる(ツェナ降伏)。わざと降伏を利用するツェナダイオードという部品もある。



# ダイオードの近似等価回路

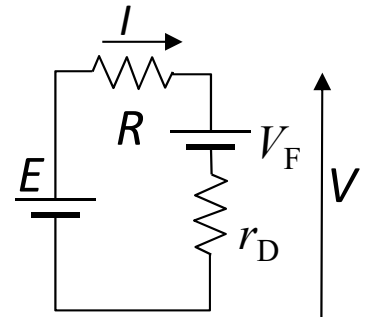
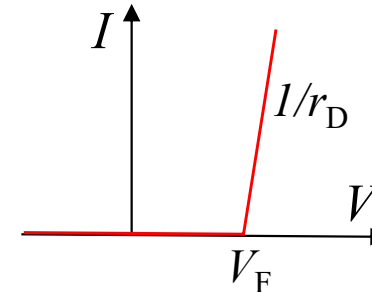
- 指数関数近似

$$I = I_S \left\{ \exp \left( \frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right\}$$



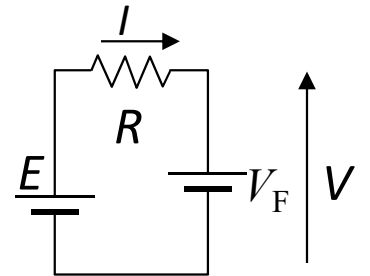
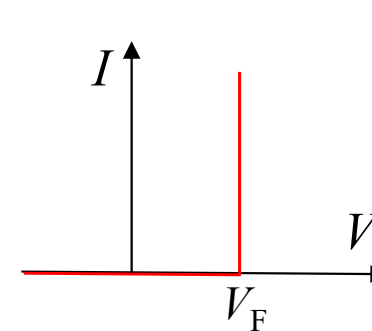
- 折れ線近似

$$I = \frac{E - V_F}{R + r_D}, (V > V_F)$$



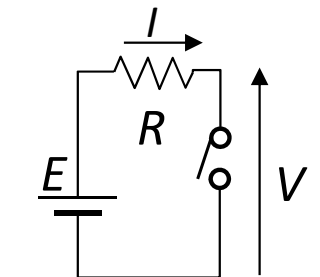
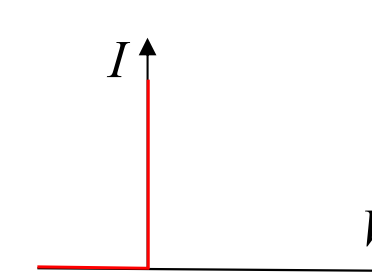
- 定電圧近似

$$I = \frac{E - V_F}{R}, (V > V_F)$$



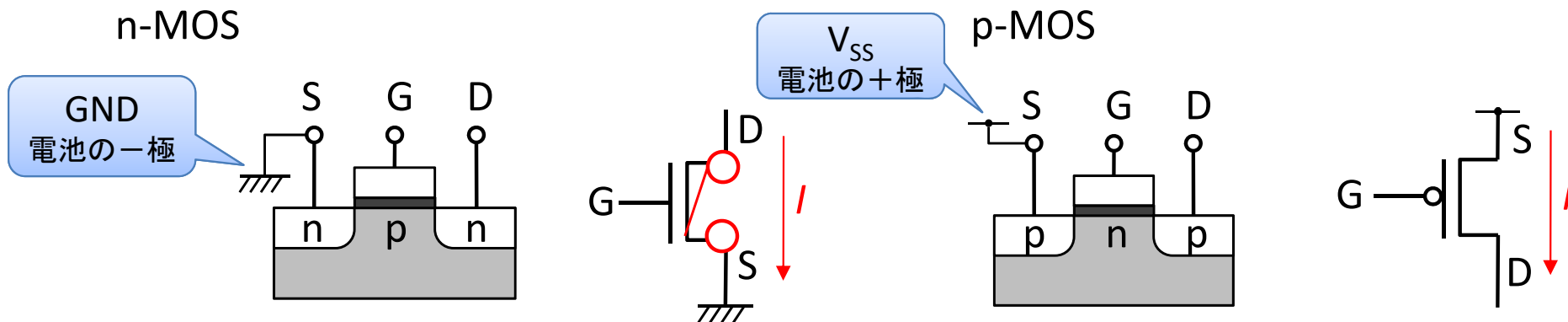
- 理想ダイオード

$$I = \frac{E}{R}, (V > 0)$$



# MOSTランジスタ

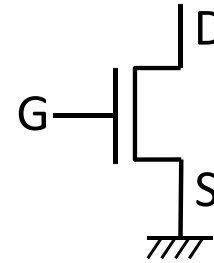
- MOSは金属酸化膜半導体(Metal-Oxide Semiconductor)の略
- npn接合(n-MOS)またはpnp接合(p-MOS)の上に、gate絶縁酸化膜( $\text{SiO}_2$ )とgate電極(poly-Si) が作り込まれている構造
- gateは非常に高抵抗なので、gateに流れ込む電流はほぼゼロ。
- gate電圧( $V_G$ )によって絶縁膜直下の基板の型が反転して、S-D間の抵抗が大きく変化して電流が流れる。つまり、S-D間は $V_G$ によるスイッチのように働く。
- 電流の向きは、n-MOSではD(drain)→S(source)、p-MOSではS→D。
- n-MOSはSを低電位側、つまり電子(負電荷)が湧き出る側に接続。
- p-MOSはSを高電位側、つまり正孔(正電荷)が湧き出る側に接続。



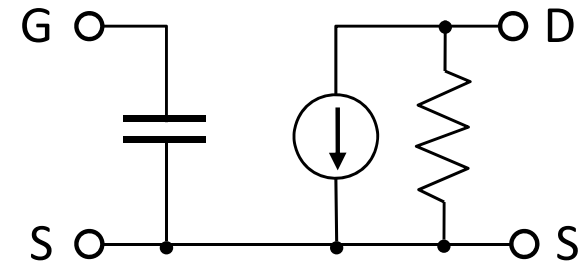
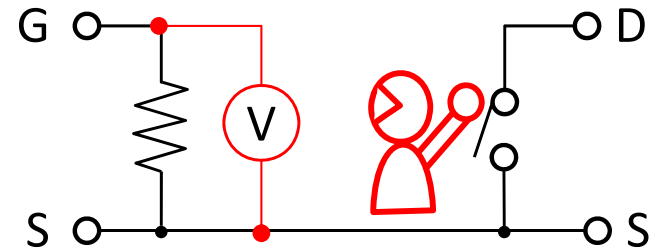
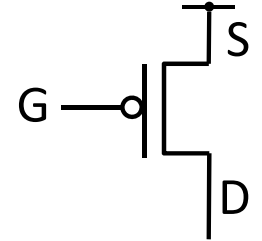
# MOSTランジスタの等価回路

- 等価回路は2端子対で表すと便利。
  - 入力(G-S間)は超高抵抗
    - 電流はほとんど要らない
  - 出力(D-S間)はスイッチ
    - G-S間の電圧を見てスイッチを切り替える素子
- スイッチがONになる条件
  - n-MOS:  $V_G > V_S$
  - p-MOS:  $V_G < V_S$ゲートの○印は「低電圧でON」を表している
- 厳密な等価回路
  - 入力はコンデンサ
  - 出力は電流源 $I_{DS}$ と抵抗の並列接続
    - 完全にONにならない場合を再現
    - 完全OFFの場合でも $R \neq \infty$ (リアルさ追求)

n-MOS



p-MOS



# MOSTランジスタの使い方

- 基本回路

- 抵抗Rとの直列接続

- 機能

- ゲート電圧 $V_i$ で中点電圧 $V_o$ を切り替える

- 利点

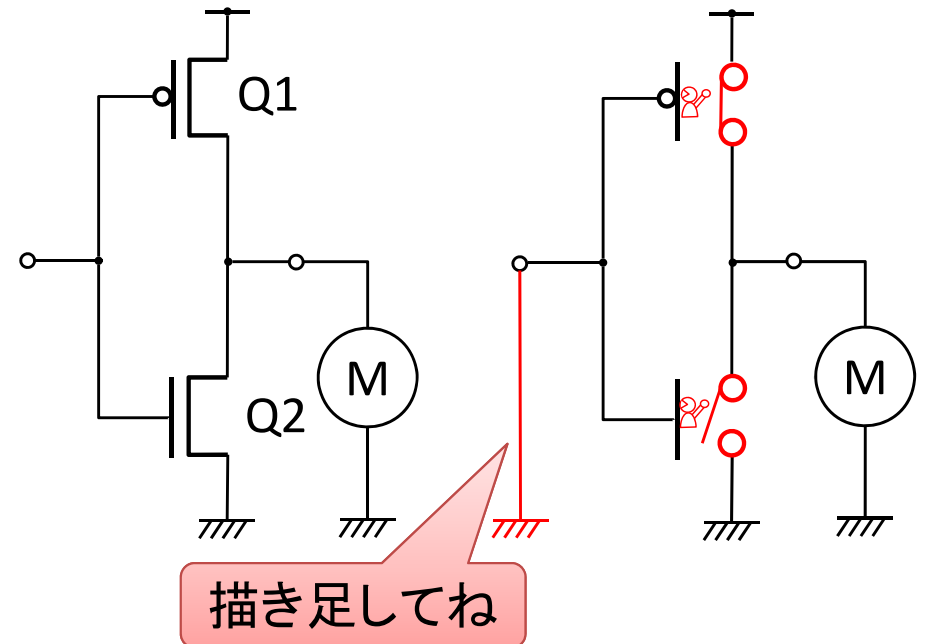
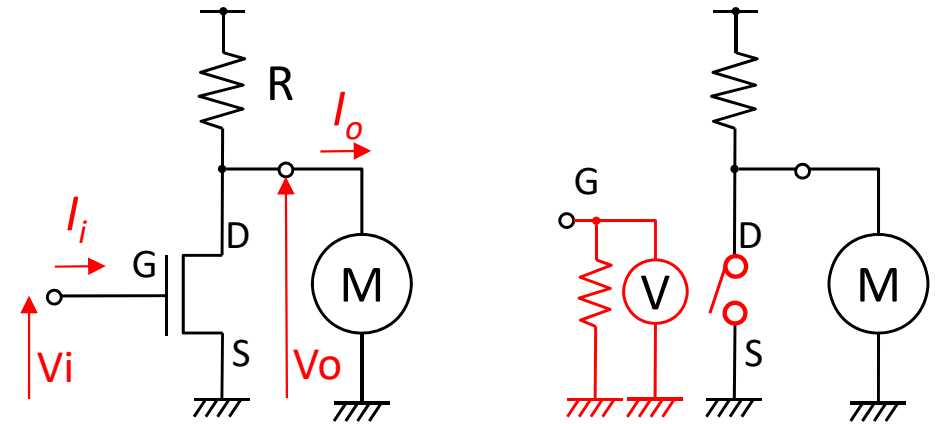
- $I_i$ はとても小さくて済む(=センサ接続可)
- $I_i$ より大きな電流 $I_o$ を取り出せる

- 欠点

- $I_o$ はRで制限される
- ONの時(M停止中)もRに電流が流れる。  
Rで電力を消費するのでもったいない。  
→ モータを回すような用途には適さない。

- 改善策

- n-MOSとp-MOSをペアで使う
- ゲートの閾値が逆なので、どちらか一方だけがONになる
  - $I_o$ がRで制限されなくなる
  - M停止中の電力消費がなくなる
- CMOS(complementary-MOS)という

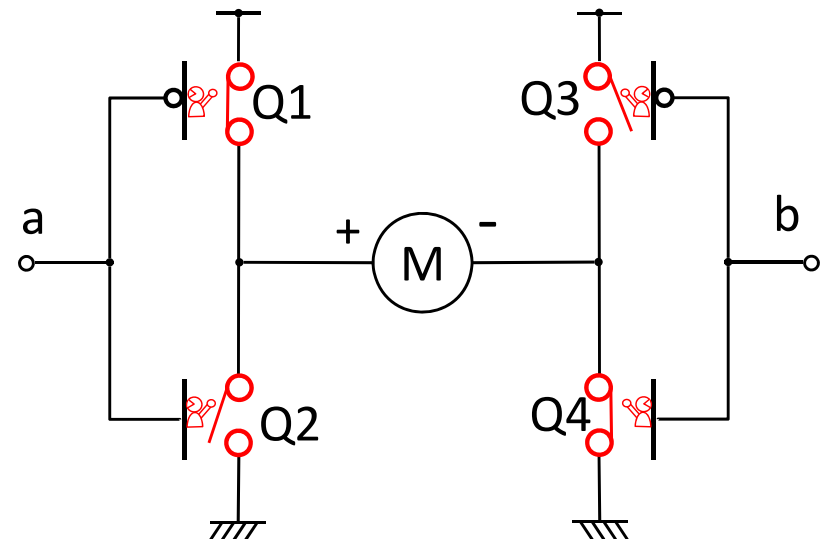
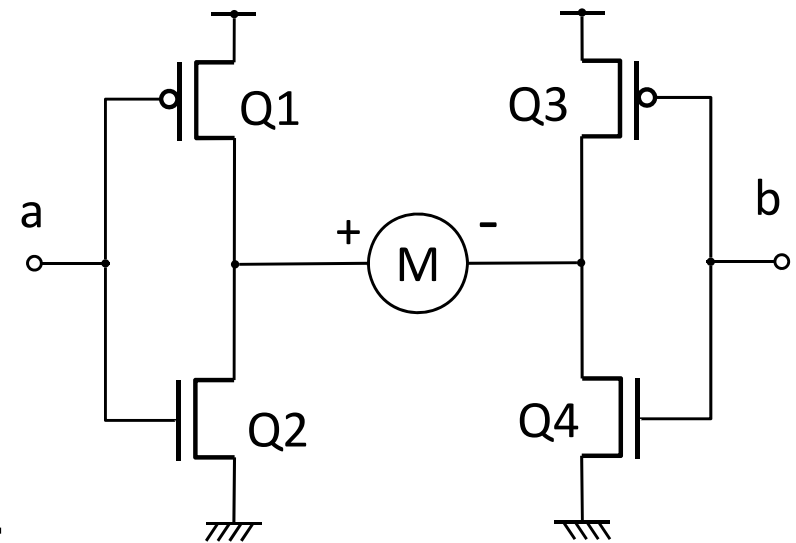


# Hブリッジ

- CMOS2組でモータの各端子の電圧を独立に決める回路。
- 実用性満点
  - 片電源なのにモーターを逆回転可能
  - Rによる電力消費なし
- 入力の組み合わせとモータの回転

a	b	Q1	Q2	Q3	Q4	M
0	0					
0	1	ON	OFF	OFF	ON	正転
1	0					
1	1					

表の空欄を埋めてみよう！

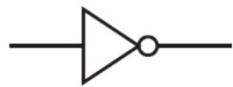
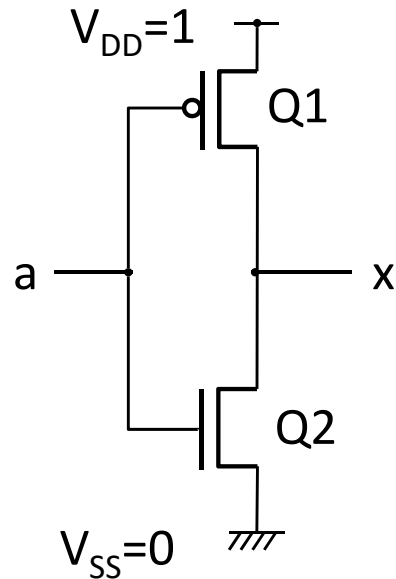




# CMOSとlogic gate

デジタル回路(論理1,0を電圧のH,Lで表す回路)の基本回路をCMOSで造るとこうなります。

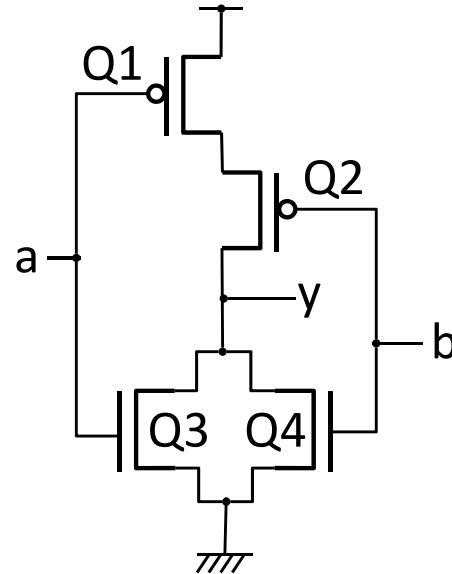
NOT Gate



a	Q1	Q2	x
0(=V <sub>SS</sub> )			
1(=V <sub>DD</sub> )			

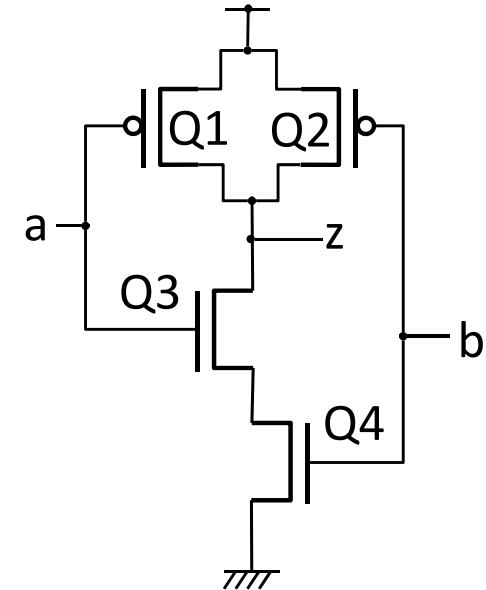
表の空欄を埋めてみよう！

NOR Gate



a	b	Q1	Q2	Q3	Q4	y	z
0	0						
0	1						
1	0						
1	1						

NAND Gate

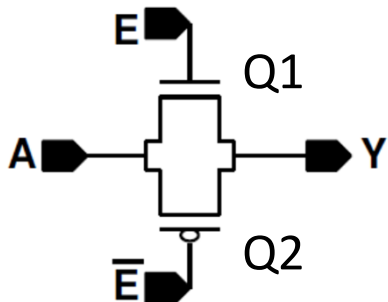


# まとめ

- 能動素子は、入力した電気エネルギーより出力を〔 〕する〔 〕を行える素子。
- 能動素子の動作は、〔 〕、〔 〕、〔 〕から構成される等価回路を考えると理解しやす。
- ダイオードは〔 〕から〔 〕に電気を流す素子で、この電流の向きを〔 〕という。順方向電流は電圧の〔 〕関数で、順方向電圧( $V_F$ )を越えると急激に増加する。
- MOSTランジスタは、〔 〕電圧によって〔 〕と〔 〕端子間の抵抗が大きく変化して電流が流れる素子。
- n-MOSとp-MOSをペアで相補的に使う回路を〔 〕と呼ぶ。
- 能動素子をほぼ0または最大抵抗のように使うことを〔 〕動作といい、MOSTランジスタでは〔 〕をスイッチに置き換えて理解することができる。

### 3. 演習問題

1. あるダイオードが、プリントに示す「折れ線近似特性」を持ち、 $V_F=0.8V$ ,  $r_D=10\Omega$ とする。外付け回路が $E=3V$ ,  $R=100\Omega$ とすると、ダイオードの順方向電流の近似値を求めよ。
2. 下図はCMOSスイッチまたはtransfer gateと呼ばれる回路である。p-MOS, n-MOSのON/OFFを表に書き込んで、出力bの真理値表を完成せよ。なお、p-MOS, n-MOS共にOFFの場合、出力はどこにも繋がらないので、Yは高インピーダンス状態 (high-Z)とみなす。



E	A	Q1	Q2	Y
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			