

12.01

① 電圧利得 (dB) の定義について。増幅回路 $Amp1()$ 回路の入力信号が $V_{in}(t)$ とする。出力信号を $V_{out1}(t)$ とする。



$$[V_{in}(t)] Amp1() \rightarrow V_{out1}(t)$$

または $V_{out1}(t) = [V_{in}(t)] Amp1()$ と表記する。

今、 $V_{in}(t)$ の信号振幅が A_{in} で、出力信号 $V_{out1}(t)$ の信号振幅が A_{out1} とすると、 $|V_{in}(t)| \leq A_{in}$ ならば $|V_{out1}(t)| \leq A_{out1}$ とする。

函数 $y=f(x)$ を $[x]f() \rightarrow [y]$ と回路の場合表記する。

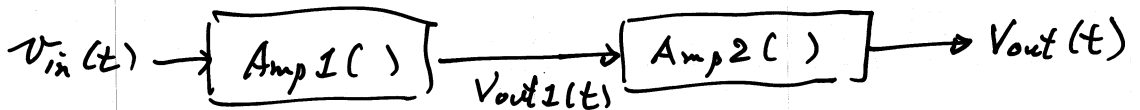
この時、この増幅回路の電圧利得 $G1$ (dB) は、

$$G1 = (20) \log_{10} \left(\frac{A_{out}}{A_{in}} \right) \text{ と定義する。単位は dB (デシベル) とする。}$$

振幅が 10 倍増幅すると電圧利得は 20dB とする。

100 倍の時 $\log_{10}(100) = \log_{10}(10^2) = 2$ だから、 $(20)(2) = 40\text{dB}$ とする。

② 増幅回路が $Amp1()$ と $Amp2()$ の 2 段ある回路の場合、



$$[V_{in}(t)] Amp1() \rightarrow [V_{out1}(t)];$$

$$[V_{out1}(t)] Amp2() \rightarrow [V_{out}(t)];$$

と表記する。また、 $[V_{in}(t)] Amp1() Amp2() \rightarrow [V_{out}(t)];$

でも、同じことである。 $V_{out1}(t)$ の定義が省略されている。

③ $Amp1()$ 回路の利得が $G1$ で $Amp2()$ 回路の利得が $G2$ の場合、

2つの回路の利得は $G = (G1) + (G2)$ とする。

$$G1 = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{out1}}{A_{in}} \right); \quad G2 = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{out}}{A_{out1}} \right);$$

$$G = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{out}}{A_{in}} \right) = 20 \log_{10} (A_{out}) - 20 \log_{10} (A_{in})$$

$$= 20 \log_{10} (A_{out}) - 20 \log_{10} (A_{out1}) + 20 \log_{10} (A_{out1}) - 20 \log_{10} (A_{in})$$

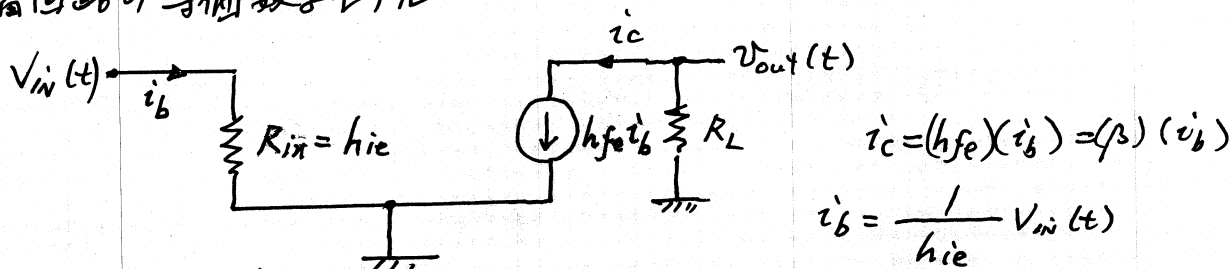
$$= 20 \log_{10} \left(\frac{A_{out}}{A_{out1}} \right) + 20 \log_{10} \left(\frac{A_{out1}}{A_{in}} \right)$$

$$G = G2 + G1 = G1 + G2 \text{ とする。}$$

④ $A_{in} = 0.4\text{mV}$, $A_{out} = 0.4\text{V}$ の時、 $G = 20 \log_{10} \left(\frac{0.4\text{V}}{0.4\text{mV}} \right) = 60\text{dB}$

また $A_{out1} = (10)(A_{in}) = 4\text{mV}$, $G1 = 20 \log_{10}(10) = 20\text{dB}$, $G2 = G - G1 = 40\text{dB}$

12.02 ① 増幅回路の等価数学モデル



$$i_c = (h_{fe}) i_b = (\beta) i_b$$

$$i_b = \frac{1}{h_{ie}} V_{in}(t)$$

(h_{fe} を β と書く)

$$V_{out}(t) = -(R_L) i_c$$

② 電圧増幅度の定義

$$V_{out}(t) = -(R_L) (h_{fe}) \left(\frac{1}{h_{ie}}\right) V_{in}(t)$$

$$A_v = \frac{|V_{out}|}{|V_{in}|} = \left(\frac{h_{fe}}{h_{ie}}\right) (R_L)$$

電流増幅度の定義 $A_i = \frac{|i_c|}{|i_b|} = \frac{(h_{fe})/i_b}{|i_b|} = h_{fe}$

電力増幅度の定義 $A_p = (A_v)(A_i) = \frac{(h_{fe})^2}{(h_{ie})} (R_L)$

$$G_p = \frac{1}{2} (g_u + g_i)$$

電圧利得 $G_v = 20 \log_{10} (A_v) \text{ (dB)}$

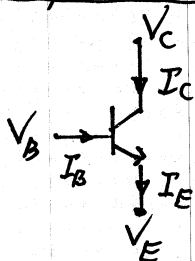
電流利得 $G_i = 20 \log_{10} (A_i) \text{ (dB)}$

電力利得 $G_p = 10 \log_{10} (A_p) \text{ (dB)}$

(注意)

電力利得 G_p は
 $10 \log_{10} (A_p)$
 で定義される。

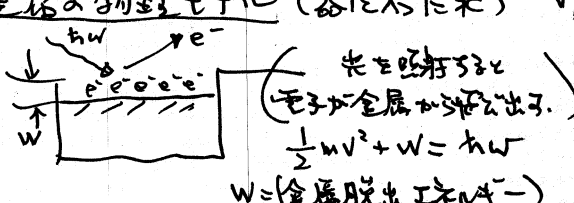
12.03 ① bipolar npn transistor の定義



$$\left(\begin{aligned} I_B &= I_{B0} \left(\exp\left(\frac{e(V_B - V_E)}{RT}\right) - 1 \right) \\ I_C &= I_B + I_E ; I_C = \beta I_B \text{ と書く!} \end{aligned} \right) \quad (\beta \approx 50 \sim 100)$$

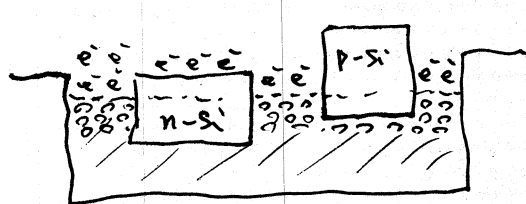
($I_B = 1 \mu A = 10^{-6} A$ で $I_C \approx 0.1 mA = 100 \mu A$ 流れる!!)

② 金属の物理モデル (器に入れた水)

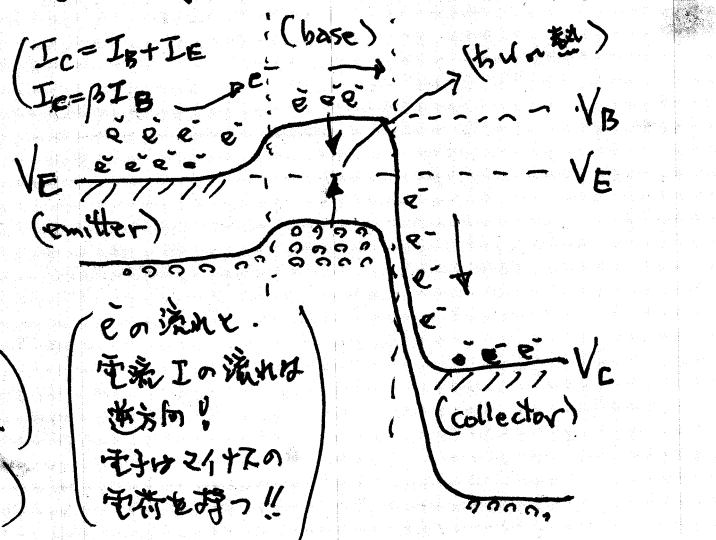
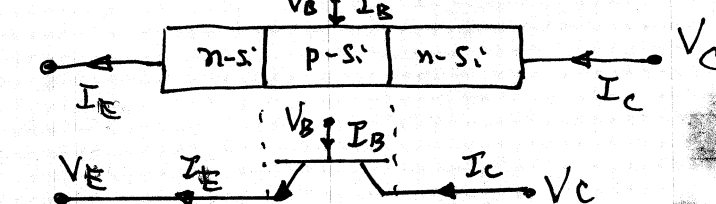


$\frac{1}{2} n v^2 + W = h W$
 $W = (\text{金属脱出仕事})$

③ 半導体 (シリコン) の物理モデル

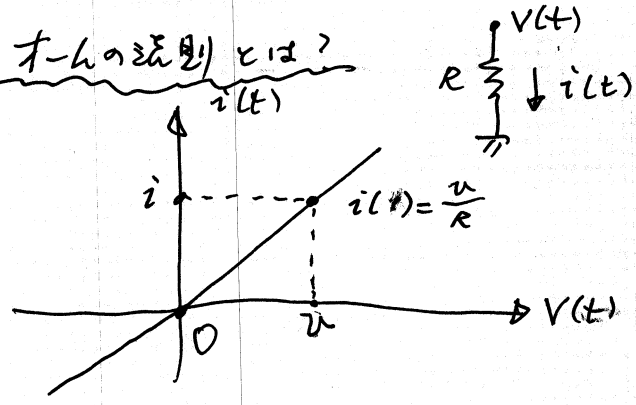


(n-Si では e^- が少し移動する。
 p-Si では 泡 (陽子電荷) が少し移動する
 (海の海面は水蒸気 (e^-) がうっすらある。
 泡 (陽子電荷) もうっすらある!)



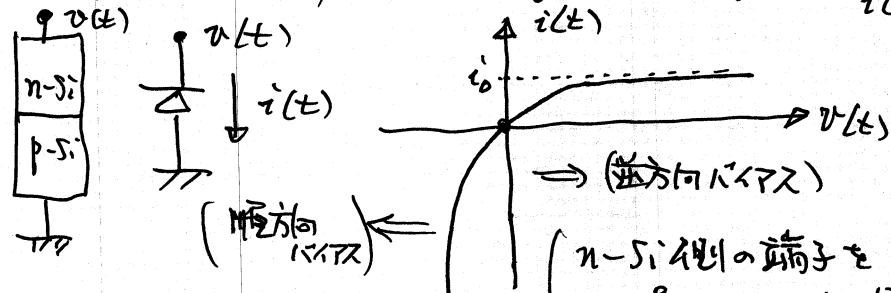
(e^- の流れと
 電流 I の流れは
 逆方向!
 電子は 2/3 の
 電荷を持つ!!)

12.06 ① オームの法則とは?



$i(t) = \frac{1}{R} V(t)$
 電流 $i(t)$ は電圧 $V(t)$ に比例する。
 (比例定数) $= \frac{1}{R}$
 (電流 i は V の比例定数とする)
 $i(V) = \frac{V}{R}$ とする線形関係

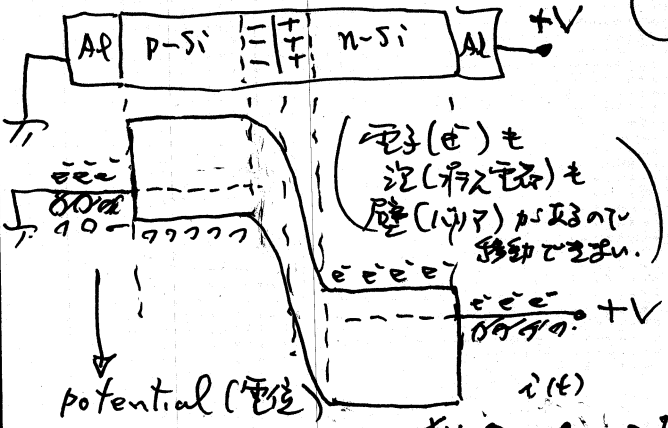
② ダイオード (diode) の I/V 特性の定義



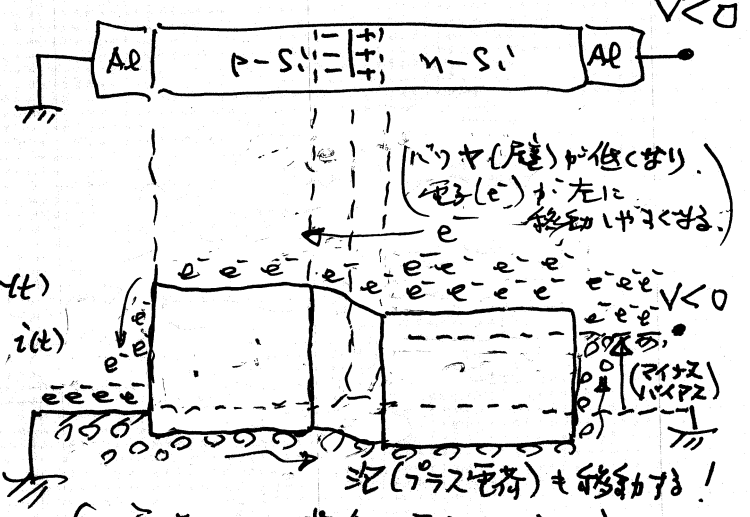
$i(t) = i_0 \left[1 - \exp\left(\frac{-eV(t)}{kT}\right) \right]$
 $\left(\frac{kT}{e} = 0.024 \text{ mV}\right)$
 $T = 300^\circ\text{K}$ (常温)
 $e =$ (電子の電荷)

⇒ (逆方向バイアス)
 (n-si側の端子をプラスにしても、ほとんど電流は流れず)
 (n-si側の端子をマイナスにしても、電流がドカドカ流れ、焼き切れる!!)

③ 順バイアス diode の物理モデル

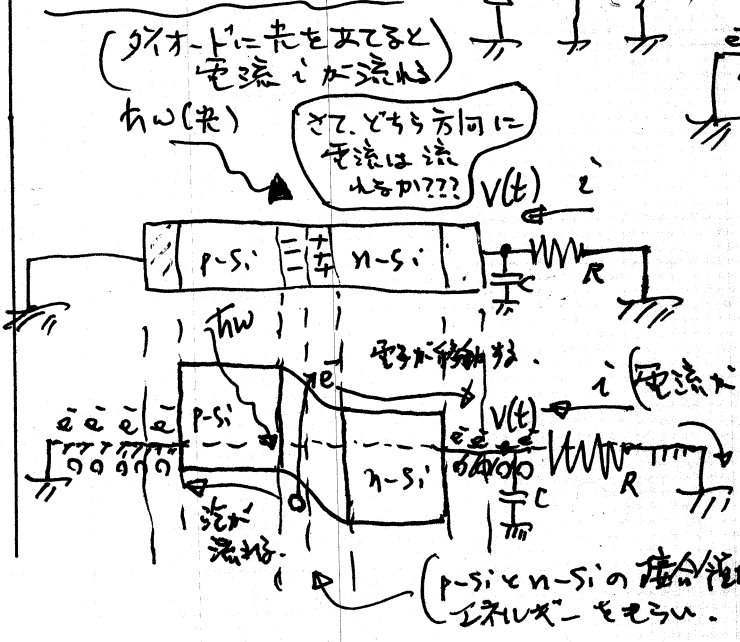


④ 逆バイアス diode の物理モデル



順バイアスの場合、電子(e-)と穴(h+)の両方が移動して電流が流れる!!
 (V(t) 端子は実効的にマイナス電位になる!!)

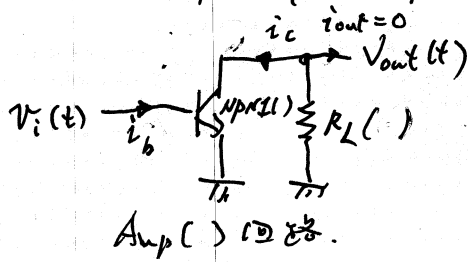
⑤ 太陽電池の原理



(ダイオードは光を当てると電流 i が流れる)
 $h\nu$ (光)
 さて、どちら方向に電流は流れる??? $V(t)$

(p-si & n-si の接合領域 (空乏層) に光が当たると、電荷が光から生まれ、 e^- が jumpして、穴 (h+) ができる)

12.04 ① Define Amp() { input $v_i(t)$; output $v_{out}(t)$; [vin][vout][0] NPN(1); [vout][0] RL(1); }



Amp() 回路.

$$\left[\begin{aligned} i_c &= \beta i_b \text{ である.} \\ v_{out}(t) &= -(i_c)R_L \end{aligned} \right]$$

② $\left(\begin{aligned} |v_{in}| &= 0.2 \text{ volt} \\ i_b &= 40 \mu\text{A}, |v_{out}| = 5 \text{ volt} \\ i_c &= 4 \text{ mA} \text{ の値.} \end{aligned} \right)$

input 信号が $v_i(t)$ である。入力電流 i_b である。
output 信号が $v_{out}(t)$ である。出力電流 $i_{out}=0$ である。
NPN Bipolar Transistor を NPN(1) と表記して置く。
その 1 → β Copy して、 β だけ使うので
 β NPN(1) とする。その接続端子は 3 つあり、
エミッタ端子が $v_i(t)$ である。
電源側端子が $v_{out}(t)$ である。
接地 (ground = GND = 0) 端子を [0] と表記する。
抵抗 R_L を回路部品として $R_L(1)$ と表記する。

入力電力 $P_i = |v_i(t) i_b(t)|$ 出力電力 (負荷抵抗 R_L に対する消費電力) は、

$$P_o = |v_{out}(t) i_c(t)| = (5 \text{ volt}) (4 \times 10^{-3} \text{ A})$$

$$P_i = |v_i(t) i_b(t)| = (0.2 \text{ volt}) (40 \times 10^{-6} \text{ A})$$

$$A_p = P_o/P_i = \frac{(5)(4 \times 10^{-3})}{(0.2)(40 \times 10^{-6})} = (25) \left(\frac{1}{10}\right) (10^3) = 2500 \text{ 倍}$$

$$G_p = 10 \log_{10}(A_p) = (10) \log_{10}(5^2 \times 100) = (10) \log_{10}(5^2 \times 10^2)$$

$$G_p = (10) \{ \log_{10}(5^2) + \log_{10}(10^2) \}$$

$$G_p = (10) \{ 2 \log_{10}(5) + 2 \}$$

$$\log_{10}(5) = \frac{\log_e(5)}{\log_e(10)} = \frac{1.609437912}{2.302585093} = 0.69897000 \dots$$

$$G_p = (20) \{ 1.69897000 \} = 33.9794 \approx 34 \text{ dB} \leftarrow$$

12.05

① $|v_i| = 12 \text{ mV}$

$$\left(\begin{aligned} |i_b| &= 5 \mu\text{A} \\ h_{fe} &= 120 \\ R_L &= 2 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right)$$

$$i_c = \beta i_b = (h_{fe}) i_b = (120) i_b$$

$$|i_c| = (120) |i_b| = (120) (5 \mu\text{A})$$

$$|i_c| = (600 \mu\text{A}) = 600 \times 10^{-6} \text{ A} \leftarrow$$

② $v_{out}(t) = -(i_c)R_L$

$$|v_{out}| = |i_c| R_L = (600 \mu\text{A})(2 \text{ k}\Omega) = (1200 \times 10^{-6} \times 10^3) (\text{A} \cdot \Omega)$$

$$|v_{out}| = 1.2 \text{ volt}; A_v = \frac{|v_{out}|}{|v_{in}|} = \frac{(1.2 \text{ volt})}{(12 \text{ mV})} = \left(\frac{1200}{12}\right) = 100 \text{ 倍}$$

③ 電圧利得 $G_v = 20 \log_{10}(A_v) = 20 \log_{10}(100) = 40 \text{ dB}$

電流利得 $G_i = 20 \log_{10}(A_i) = 20 \log_{10}\left(\frac{i_c}{i_b}\right) = (20) \log_{10}\left(\frac{600 \mu\text{A}}{5 \mu\text{A}}\right)$

$$G_i = (20) \log_{10}(120) = (20) \log_{10}(3 \cdot 2^2 \cdot 10)$$

$$= (20) \{ 1 + \log_{10} 3 + 2 \log_{10} 2 \} = 41.58 \text{ dB}$$

電力利得 $G_p = (10) \log_{10}(A_p) = (10) \log_{10}(A_v A_i) = \frac{1}{2} (G_v + G_i) = 40.79 \text{ dB}$