微電子學習題詳解

薛福隆　編譯

JACOB MILLMAN

MICRO-ELECTRONICS

Digital and Analog Circuits and Systems

全華科技圖書公司　印行

微電子學習題詳解

薛福隆　編譯

JACOB MILLMAN

MICRO-ELECTRONICS

Digital and Analog Circuits and Systems

全華科技圖書公司　印行

微電子學
（習題詳解）

薛福隆 編譯

出版者　全華科技圖書股份有限公司
北市龍江路76巷20-2號
電話：581-1300・541-5342
581-1362・581-1347
郵撥帳號 100836
發行人　陳本源
印刷者　華一彩色印刷廠
定價　新臺幣 120 元
再版　中華民國72年11月

目 録

習題詳解

第一章　半導體

1-1　(a)　由(1-6)式加速電壓 $V_a = -V$

$$\frac{1}{2} m v_o^2 = \frac{1}{2} m v^2 - pV$$

今 $v_o = 0$，我們得知

$$V = mv^2/2q = \frac{9.11\times 10^{-31}\times(1.88\times 10^7)^2}{2\times(1.60\times 10^{-19})} = 1006\,v$$

(b)　氘離子帶正電(1-6)式應為

$$\frac{1}{2} m' v^2 = \frac{1}{2} m' v_0^2 + qV$$

由附錄A，$m' = 2.01\times 1.66\times 10^{-27}$

$$= 3.337\times 10^{-27}\ kg$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2qV}{m'}} = \sqrt{10^{10} + \frac{2\times 1.60\times 10^{-19}\times 1006}{3.337\times 10^{-27}}}$$

$$= 3.27\times 10^5\ m/s$$

1-2　(a)　因 $1\,eV = 1.60\times 10^{-19}\ J$，電子最初的能量

爲 $10^{-17} / 1.60\times10^{-19} = 62.5\,eV$

由於減速電壓爲 $-65\,V$，電子無法抵達極板

(b) 62.5 V

1-3 (a) 令 $V_o = 0$，由（1-6）式可得

$$\frac{1}{2}\, m v^2 = q V_a \text{ 或 } v_x = \sqrt{\frac{2qV_a}{m}}$$

(b) 一旦電子進入 P_1P_2 平板間的電場，它將以一定的加速度 a_y 向上加速

$$m a_y = q\epsilon_y = q\frac{V_P}{d}\ ,\ a_y = \frac{qV_P}{md}$$

因此，當它離開 P_1P_2 兩平板時 y 方向的速度爲

$$v_y = a_y t_P$$

在此 t_p 是電子通過平板所費的時間

$$t_p = \ell_d / v_x$$

由以上的式子，$v_y = \dfrac{qV_p\ell_d}{md\,v_x}$

(c) $d_s = y_p + y_s$，其中 y_p 是電子在平板內 y 方向的位移，y_s 是電子在離開 P_1P_2 到抵達螢幕的時間 t_s 內在 y 方向的位移

$$d_s = \frac{1}{2}a_y t_p^2 + v_y t_s = \frac{1}{2}\left(\frac{qV_p}{md}\right)\left(\frac{\ell_d}{v_x}\right)^2 + \left(\frac{qV_p\ell_d}{mdv_x}\right)\left(\frac{\ell_s-\ell_d/2}{v_x}\right)$$

$$d_s = \frac{1}{v_x^2}\frac{qV_p}{md}\left[\frac{1}{2}\ell_d^2 + \ell_d(\ell_s - \ell_d/2)\right] = \frac{1}{v_x^2}\frac{qV_p}{md}\ell_d\ell_s$$

把在(a)中所得的 v_x 代入，我們得到

$$d_s = \frac{m}{2qV_a}\frac{qV_p}{md}\ell_d\ell_s = \frac{1}{2}\frac{\ell_d\ell_s}{d}\frac{V_p}{V_a}$$

(d) $$v_x = \sqrt{\frac{2\times1.60\times10^{-19}\times1000}{9.11\times10^{-31}}} = \sqrt{3.513\times10^{14}} = 1.874\times10^7$$

m/s。

$$v_y = \frac{qV_p\ell_d}{md\,v_x} = \frac{1.60\times10^{-19}\times100\times1.27\times10^{-2}}{9.11\times10^{-31}\times0.5\times10^{-2}\times1.874\times10^7}$$

$$= 2.38\times10^6\ m/s$$

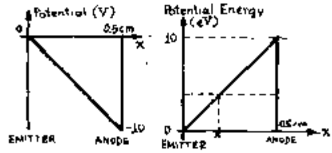
$$d_s = \frac{1}{2}\times\frac{1.27\times20}{0.5}\times\frac{100}{1000} = 2.54\,cm$$

(e) 由(c)知 V_a 與 d_s 成反比，因此

$$V_a = \frac{2.54}{5}\times1000 = 508\,V$$

1-4

(a) W_E 爲電子在射極的總能量，故



$$W_E = \frac{1}{2} m v_o^2 + q V$$

$$= \frac{1}{2} 9.11 \times 10^{-31} \times 10^{12} + 0$$

$$= 4.555 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{4.555 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 2.85 \text{ eV}$$

我們得到

$$\frac{x}{0.5} = \frac{2.85}{10} \text{ or } x = \frac{2.85}{10} \times 0.5 = 0.143 \text{ cm}$$

(b) 電子至少須有能量

$$W_E = 10 \text{ eV} = 10 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.6 \times 10^{-18} \text{ J}$$

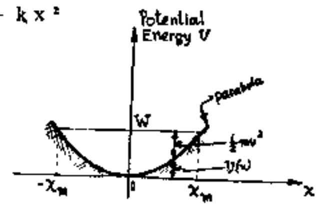
$$W_E = \frac{1}{2} m v_o^2 + q V = \frac{1}{2} m v_o^2$$

$$v_o = \sqrt{\frac{2 w_E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.60 \times 10^{-18}}{9.11 \times 10^{-31}}} = 1.874 \times 10^6 \text{ m/s}$$

1-5 位能是 x 的函數，其關係式如下（見 FIG 2）

$$U(x) = -\int_0^x f(z)\,dz = \int_0^x k z\,dz = \frac{1}{2} k x^2$$

如果我們令 w 爲總能量則如 FIG 2 所示



$$w = \frac{1}{2} m v^2 + U = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

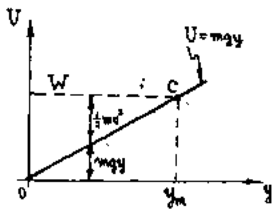
最大位移 x_m 發生在 $v = 0$ 時，$x_m = \sqrt{\frac{2w}{k}}$

粒子將在 x_m 和 $-x_m$ 之間運動，其速度在 $x = 0$ 處爲最大

1-6 (a) 位能 $U = mgy$

當 $v = 0$ 時粒子到達最大高度 y_m

由（1-5）式



$$w = constant = \frac{1}{2} m v_o^2 = m g y_m$$

$$y_m = v_o^2 / 2g$$

(b) 由 FIG 3 很清楚可看出在折返點 C，

$v = 0$ 好像碰到一個位能障礙

1-7 按照定義，元素的原子重量等於它的原子量乘以單位原子重量，令一個原子的重量爲AM，則

$$n = \left(\frac{\#\ \text{atoms}}{AM}\right)\left(\nu\,\frac{\text{electrons}}{\text{atom}}\right)\left(d\,\frac{k_g}{m^3}\right) = \frac{d\,\nu}{AM}\ \text{electrons}/m^3$$

又由定義，分子量等於某種物質一莫耳的重量（以克爲單位），因此若每個分子有 a_m 個原子，則

分子量爲 $a_m A$，但

$$n = \left(\frac{1}{a_m A}\right)\left(\frac{\text{mole}}{g}\right)\left(10^3\,\frac{g}{kg}\right)\left(A_0\,\frac{\text{molecules}}{\text{mole}}\right)$$

$$\left(a_m\,\frac{\text{atoms}}{\text{molecule}}\right)\left(d\,\frac{kg}{m^3}\right)\left(\nu\,\frac{\text{electrons}}{\text{atom}}\right)$$

$$n = \frac{10^3 A_0 d\nu}{A}\ \text{electrons}/m^3$$

1-8 導線的電阻爲

$$R = \rho\ell/A = \frac{3.44\times10^{-8}\times0.5}{\pi\times(1\times10^{-3})^2} = 5.48\times10^{-3}\,\Omega$$

再者 $V = RI = 5.48\times10^{-3}\times30\times10^{-3} = 1.64\times10^{-4}\,V$

1-9 令電線的截面積爲A，則

$A = \pi r^2 = 3.14\times(1.03\times10^{-3}/2)^2 = 8.33\times10^{-7}\,m^2$

(a) $I = JA = 2\times10^6\times8.33\times10^{-7} = 1.666\,A$

(b) $v = J/nq = \dfrac{2\times10^6}{8.40\times10^{28}\times1.6\times10^{-19}} = 1.488\times10^{-4}\,m/s$

(c) ϵ 爲每單位長度的電壓降，即

ϵ = 1 公尺的電壓降

= I ×（每 1 公尺上的電阻）

$= 1.666\times0.0214 = 0.0357\,V/m$

$\mu = v/\epsilon = 1.488\times10^{-4}/0.0357 = 4.17\times10^{-3}\,m^2/V\text{-}s$

(d) $\sigma = nq\mu = 8.4\times10^{28}\times1.60\times10^{-19}\times4.17\times10^{-3}$

$= 5.61\times10^7\,(\Omega-m)^{-1}$

1-10 (a) 一個質量 m的電子以平均漂移速度 v 移動它的能量

$$w = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(\mu_n\epsilon)^2$$

若 m的單位是 kg，μ 是 $m^2/V\text{-}s$，ϵ 是 V / m，則

$$w = \frac{\frac{1}{2} m\mu_0^2 \epsilon^2 \text{ J}}{1.6\times10^{-19}\text{ J/eV}} = \frac{m\mu_0^2\epsilon^2}{3.2\times10^{-19}} = 1\text{ eV}$$

用表 1 - 1 中的 μ_n 值

$$\epsilon = \left[\frac{3.2\times10^{-19}}{9.11\times10^{-31}\times(1300\times10^{-4})^2}\right]^{1/2} = 4.56\times10^6\text{V/m}$$

$$= 45.6\text{ kV/cm}$$

(b) 因破壞一個矽的共價鍵需要能量 1.1eV，所需的電壓爲 45.6 kV/cm，我們可知以外加電壓來產生電子電洞對是不切實際的

1-11 1.23×10^{23} electrons / cm³ $= (6.02\times10^{23}$ atoms/mole$)\times$ (1 mole / 184 g) × (18.8 g / cm³) × (ν electrons / atom)

$$\nu = \frac{1.23}{6.02}\times\frac{184}{18.8} = 2$$

1-12 (a) $n = 6.02\times10^{23}\ \frac{\text{atoms}}{\text{mole}}\times\frac{1\text{ mole}}{63.54\text{ g}}\times\frac{8.9\text{ g}}{\text{cm}^3}\times\frac{10^6\text{ cm}^3}{\text{m}^3}\times$

$1\ \frac{\text{electron}}{\text{atom}} = 8.436\times10^{28}$ electons/m³

由式 (1 - 15) $\sigma = nq\mu = 8.436\times10^{28}\times1.60\times10^{-19}\times34.8\times10^{-4} = 4.697\times10^7\ (\Omega-\text{cm})^{-1}$

(b) $v_{drift} = \mu\epsilon = (34.8\times10^{-4})(500) = 1.74\text{ m/s}$

1-13 $n = 6.02\times10^{23}\ \frac{\text{atoms}}{\text{mole}}\times\frac{1\text{ mole}}{26.98\text{ g}}\times\frac{3\text{ electrons}}{\text{atom}}\times\frac{2.70\text{g}}{\text{cm}^3}$

$= 1.81\times10^{23}\ \frac{\text{electrons}}{\text{cm}^3}$

1-14 (a) 依 (1 - 19)，(1 - 20) 兩式我們得

$$p^2 + (N_D - N_A)p - n_i^2 = 0$$

$$p = \frac{-(N_D - N_A) \pm \sqrt{(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2}}{2}$$

取 "+" 號，因 $p > 0$

$(N_D - N_A)$ 以 $(2-3)\times10^{14} = -1\times10^{14}$ atoms/cm³ 代入

且 $n_i^2 = (2.5\times10^{13}\text{ atoms/cm}^3)^2$

$= 6.25\times10^{26}$ atoms² / cm⁶，我們得

$$p = \frac{1\times10^{14} + \sqrt{10^{28} + 2.5\times10^{27}}}{2} = \frac{10^{14} + \sqrt{1.25\times10^{28}}}{2}$$

$= 1.06\times10^{14}$ holes / cm³

由（1-20）式

$n = p + N_D - N_A = 1.06 \times 10^{14} - 1 \times 10^{14}$

$= 0.06 \times 10^{14} = 6 \times 10^{12}$ electrons/cm^3

因此這個樣品屬 p 型

(b) 由（1-20）式和題目的條件 $N_D = N_A$ 可知 $n = p$

由（1-19）式

$n = p = n_i = 2.5 \times 10^{13}$ electrons/cm^3

仍可視爲本質半導體

(c) 在此 $N_A \ll N_D$，可知 $n \gg p$ 由（1-20）式得到

$n \approx N_D = 10^{16}$ electrons/cm^3

再由（1-19）式 $p = n_i^2/n = 6.25 \times 10^{26} / 10^{16}$

$= 6.25 \times 10^{10}$ holes/cm^3

很顯然，這樣品是 n 型

1-15 (a) 在此 $p_p \gg n_p$ 且由（1-26）式

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q(n_p\mu_n + p_p\mu_p)$$

$$\frac{1}{\rho} \approx qp_p\mu_p = \frac{1}{0.02 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1800}$$

$$= 1.73 \times 10^{17} \text{ holes / cm}^3$$

再由（1-19）式

$n_p = n_i^2/p_p \approx 3.6 \times 10^{9}$ electrons/cm^3

(b) 在此 $p_n \ll n_n$，由（1-26）式

$$\frac{1}{\rho} = q\, n_n \mu_n$$

$$n_n \approx \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 20 \times 1300} = 2.40 \times 10^{14} \text{ electrons/cm}^3$$

$p_n = n_i^2 / n_n = (1.5 \times 10^{10})^2 / 2.4 \times 10^{14} = 9.375 \times 10^{5}$ holes/cm^3

1-16 (a) $n = p = n_i$ 由（1-26）式和表 1-1

$$\sigma = qn_i(\mu_n + \mu_p) = 1.60 \times 10^{-19} \times 2.5 \times 10^{13} \times (3800 + 1800) = \frac{2.24 \times 10^{-2}}{\Omega - \text{cm}}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 44.64\,\Omega - \text{cm}$$

(b) 由表 1－1

$n_{Ge} = 4.4 \times 10^{22}$ atoms / cm^3

$n \approx n_{Ge} / 10^8 = 4.4 \times 10^{14}$ atoms / cm^3

$p = n_i^2 / n = 6.25 \times 10^{26} / 4.4 \times 10^{14} = 1.42 \times 10^{12}$ holes/cm^3

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(\mu_p p + \mu_n n)}$$

$$= \frac{1}{1.60 \times 10^{-19}(1800 \times 1.42 \times 10^{12} + 3800 \times 4.4 \times 10^{14})}$$

$= 3.73\,\Omega - \text{cm}$

1－17 (a) 同 1－16(a)題

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{qn_i(\mu_p + \mu_n)} = \frac{1}{1.60 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 10^{10} \times (1300 + 500)} = 2.315\,\Omega - \text{cm}$$

(b) 假設加了施體之後 $N_D \approx n \gg p$ 則

$\sigma = q n \mu_n$

$$n = \frac{\sigma}{q\mu_n} = \frac{1}{\rho q \mu_n}$$

$$= \frac{1}{9.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1300} \doteq 5.0 \times 10^{14} / \text{cm}^3$$

由表 1－1 矽原子的密度爲 5.0×10^{22} cm^{-3} 故

$$\frac{5.0 \times 10^{14}}{5.0 \times 10^{22}} = \frac{1}{10^8}$$

1－18 $R = \rho \dfrac{\ell}{A}$

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dn_i}{n_i} = d[\ell n\, n_i(T)] \qquad (1)$$

而 $n_i(T) = A_o^{\frac{1}{2}} T^{\frac{3}{2}} \exp(-E_{Go}/2kT)$ （1－27）式

故 $\ell n[n_i(T)] = \frac{1}{2}\ell n A_o + \frac{3}{2}\ell n T - \frac{E_{Go}}{2kT}$ （2）

$\ell = 5$ cm，$A = 2 \times 4$ mm^2 $= 8 \times 10^{-2}$ cm^2

同 1－17 (a)題，知 $\rho = 2.315 \times 10^5\,\Omega - \text{cm}$

因此 $R = 2.315 \times 10^5 \times 5 / 8 \times 10^{-2} = 1.447 \times 10^7\,\Omega$

1－19 對本質半導體而言 $\sigma = q(\mu_p + \mu_n)n_i$

由(1)(2)兩式

$$\frac{d\sigma}{\sigma}=\frac{3\,dT}{2T}+\frac{E_{GO}\,dT}{2kT^2}=(\frac{3}{2}+\frac{E_{GO}}{2kT})\frac{dT}{T}$$

當 $T=300\,^{\circ}K$ $\quad kT=(8.62\times10^{-5}\ eV/^{\circ}K)\ 300\ ^{\circ}K$

$$=0.0259\ eV$$

又由表 1 - 1 矽的 $E_{GO}=1.21\ eV$ 因此

$$\frac{d\sigma}{\sigma}=(\frac{3}{2}+\frac{1.21}{0.0518})(\frac{1}{300})(100\%)=8.286\%/^{\circ}K$$

1 - 20 同 1 - 19 題鍺的 $E_{GO}=0.785\ eV$

$$\frac{d\sigma}{\sigma}=(\frac{3}{2}+\frac{0.785}{0.0518})(\frac{1}{300})(100\%)=5.551\%/^{\circ}K$$

1 - 21 決定 p，n 的關係式有

$np=n_i^2$（1 - 19）和 $p+N_D=n+N_A$

今 $N_D=1.874\times10^{13}/cm^3$ ，$N_A=3.748\times10^{13}/cm^3$

又 $n_i^2(T)=A_oT^3\,exp(-E_{GO}/kT)$ （1 - 27）式

由此

$$\frac{n_i^2(500K)}{n_i^2(300K)}=\frac{500^3}{300^3}\ exp\{(-E_{GO}/k)(\frac{1}{500}-\frac{1}{300})\}$$

$$=4.630\,exp\{(1.21/8.62\times10^{-5})\times0.00133\}$$

$$=4.630\times1.349\times10^8=6.246\times10^8$$

故 $n_i^2(500K)=6.246\times10^8\times(1.5\times10^{10})^2=1.405\times10^{29}/cm^6$

由（1 - 19），（1 - 20）兩式

$n\{n+(N_A-N_D)\}=n_i^2 \qquad n^2+(N_A-N_D)n-n_i^2=0$

$$n=\frac{-(N_A-N_D)}{2}+\frac{\sqrt{(N_A-N_D)^2+4n_i^2}}{2}$$

$$=\frac{-1.874\times10^{13}}{2}+\frac{\sqrt{(1.874\times10^{13})^2+4\times1.405\times10^{29}}}{2}$$

$$=3.656\times10^{14}/cm^3$$

$p=n_i^2/n=1.405\times10^{29}/3.656\times10^{14}=3.843\times10^{14}/cm^3$

$n\approx p$ 這樣品實際上是本質的因爲 N_A 和 N_D 都比 $n_i=3.748\times10^{14}/cm^3$ 小得多

1 - 22 想求 n，p 須先求得 n_i，這可由（1 - 26）式中令 $n=p=n_i$ 而得

$$n_i=\frac{\sigma}{q(\mu_n+\mu_p)}=\frac{1}{60\times1.6\times10^{-19}\times(3800+1800)}$$

$$=1.86\times10^{13}\ atoms/cm^3$$

同1-21題，由（1-19）式和（1-20）式

$$n=\frac{-(N_A-N_D)}{2}+\frac{\sqrt{(N_A-N_D)^2+4n_i^2}}{2}+\frac{3\times10^{13}}{2}+\frac{4.78\times10^{13}}{2}$$

$$=3.89\times10^{13}\ \text{electrons}/\text{cm}^3$$

$p=n_i^2/n=(1.86\times10^{13})^2/3.89\times10^{13}=8.89\times10^{12}$ holes/cm³

因此樣品的電導為

$$\sigma=q(n\mu_n+p\mu_p)=1.6\times10^{-19}(3.89\times10^{13}\times3800+8.89\times10^{12}\times1800)$$

$$=2.62\times10^{-2}/\Omega\text{-cm}$$

最後，由（1-14）式我們得

$$\varepsilon=\frac{J}{\sigma}=\frac{52.3\ \text{mA}/\text{cm}^2}{2.62\times10^{-2}/\Omega-\text{cm}}$$

$$=1.996\times10^3(\text{mA}\cdot\Omega)/\text{cm}=1.996\times10^3\ \text{mV/cm}=1.996\ \text{V/cm}$$

1-23 (a) 依表1-1

$$密度=6.02\times10^{23}\frac{\text{atoms}}{\text{mole}}\times\frac{1\text{mole}}{72.6\text{ g}}\times\frac{5.32\text{ g}}{\text{cm}^3}$$

$$=4.41\times10^{22}\ \text{atoms}/\text{cm}^3$$

(b) 此時 $N_D=4.41\times10^{14}$ atoms/cm³

$n=N_D$

$$p=\frac{n_i^2}{n}=\frac{(2.5\times10^{13})^2}{4.41\times10^{14}}=1.42\times10^{12}\ \text{holes}/\text{cm}^3$$

因 $n \gg p$，

$$\sigma=nq\mu_n=4.41\times10^{14}\times1.6\times10^{-19}\times3800$$

$$=0.268(\Omega-\text{cm})^{-1}$$

$$\rho=\frac{1}{\sigma}=3.72\Omega-\text{cm}$$

(c) 若每個原子提供金屬一個自由電子，則

$n=4.41\times10^{22}$ electrons/cm³ 且

$$\sigma'=4.41\times10^{22}\times1.6\times10^{-19}\times3800=2.68\times10^7(\Omega-\text{cm})^{-1}$$

$$增加的比率\ \frac{\sigma'}{\sigma}=10^8$$

1-24 本質的矽在300°K時的電導（由表1-1）

$$\sigma_i=\frac{1}{2.3\times10^5}=4.35\times10^{-6}(\Omega-\text{cm})^{-1}$$

若矽是一種共價金屬，每個原子將提供一個自由電子由表 1 - 1

$n = 5.0 \times 10^{22}$ electrons / cm^3

$\sigma = qn\mu_n = 1.60 \times 10^{-19} \times 5.0 \times 10^{22} \times 1300 = 1.04 \times 10^7$ ($\Omega - cm)^{-1}$

$\frac{\sigma}{\sigma_i} = 2.39 \times 10^{12}$

1 - 25 (a) $V_H = \frac{BJd}{\rho}$ 其中 $J = \sigma \varepsilon_x$ ， $\rho = \frac{\sigma}{\mu}$

可得 $V_H = B\varepsilon_x d\mu$ ，因 $N_D \gg n_i = 1.5 \times 10^{10}$ (表 1 - 1)

所以矽棒是 n 型的， $\mu = \mu_n$

$V_H = 0.2 \times 500 \times 5 \times 10^{-3} \times 1300 \times 10^{-4}$

$= 0.065\,V$

(b) 因 $N_A \gg n_i$ 在此 $\mu = \mu_p$

$V_H = 0.2 \times 500 \times 5 \times 10^{-3} \times 500 \times 10^{-4}$

$= 0.025\,V$

1 - 26 $\mu_p = \frac{\sigma}{\rho}$ 在此 $\sigma = \frac{1}{200{,}000\Omega - cm} = 5 \times 10^{-6}\,(\Omega - cm)^{-1}$

由 (1-31) 式

$$\rho = \frac{BI}{V_H W} = \frac{0.1 \times 5 \times 10^{6}}{30 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}}$$

$= 8.33 \times 10^{-3}\,C/m^3$

$= 8.33 \times 10^{-9}\,C/cm^3$

$$\mu_p = \frac{5 \times 10^{-6}}{8.33 \times 10^{-9}} = 600\,/\,\Omega - C = 600\ cm^2/V - s$$

1 - 27 由 (1 - 32) 式

$$\rho = \frac{\sigma}{\mu_n} = \frac{10^{-4}}{1300 \times 10^{-4}} = 7.692 \times 10^{-4}\,C/m^3$$

由 (1 - 31) 式

$$B = \frac{V_H \rho w}{I} = \frac{40 \times 10^{-3} \times 7.692 \times 10^{-4} \times 10^{-2}}{10 \times 10^{-6}}$$

$= 0.308\,wb/m^2$

1 - 28 由本題的圖可知

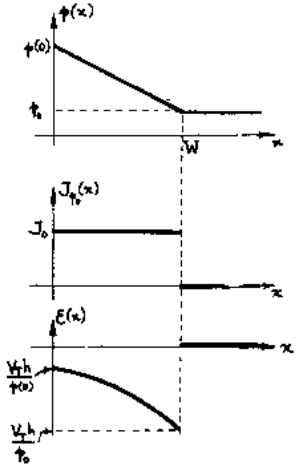
$$p(x) = \begin{cases} \frac{p_o - p(0)}{w}\,x + p(0) = bx + p(0)\ , & 0 < x < w \\ p_o\ , & x > w \end{cases}$$

其中　$h = (p_o - p(0)) / w < 0$

(a)　由 (1 - 33) 式 $J_{po}(x) = -qD_p \dfrac{dp}{dx}$　($\varepsilon = 0$)

$$J_{po}(x) = \begin{cases} -qD_p h = J_o, & 0 < x < w \\ 0, & x > w \end{cases}$$

(b)　由 (1 - 36) 式　$J_p = q\mu_p p\varepsilon - qD_p \dfrac{dp}{dx} = 0$



$$\varepsilon = \frac{qD_p\, dp/dx}{q\mu_p\, p} = \frac{1}{p}\,\frac{D_p}{\mu_p}\,\frac{dp}{dx}$$

$$\varepsilon_x = \begin{cases} \dfrac{1}{p}\,\dfrac{D_p}{\mu_p}\,h, & 0 < x < w \\ \dfrac{1}{p}\,\dfrac{D_p}{\mu_p}\,0 = 0, & x > w \end{cases}$$

以 $p(x) = hx + p(0)$ 和 $V_T = D_p / \mu_p$ 代入則得到

$$\varepsilon(x) = \begin{cases} \dfrac{V_T h}{hx + p(0)}, & 0 < x < w \\ 0, & x > w \end{cases}$$

(c)　$$v = -\int_{x=0}^{w} \varepsilon\, dx = -\int_0^{w} \frac{V_T h\, dx}{hx + p(0)}$$

$$= -V_T \ln \left(hx + p(0) \right) \Big|_0^w$$

$$= -V_T \left[\ln p_o - \ln p(0) \right] = -V_T \ln \frac{p_o}{p(0)} = -V_T \ln 10^{-3}$$

$$= 3 V_T \ln 10 = 3 \times 25.9\,\text{mV} \times 2.302 = 178.9\,\text{mV}$$

1 - 29　(a)　總電子流爲零，因此由 (1 -37) 式

$$J_n = 0 = q\mu_n n\varepsilon + qD_n \frac{dn}{dx}$$

類似 (1 - 38) 式到 (1 - 41) 式

$$\varepsilon = -\frac{V_T}{n}\,\frac{dn}{dx}, \quad dV = V_T \frac{dn}{n}$$

$$V_{21} = V_2 - V_1 = V_T \ln \frac{n_2}{n_1} = -V_T \ln \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 = n_2\, e^{-V_{21}/V_T}$$

(b)　由於 $n_2 = n_n \approx N_D$

$n_1 = n_p = n_i^2 / N_A$

我們可知對步階 p n 接面而言

$$V_o = V_T \ell n \frac{n_n}{n_p} = V_T \ell n \frac{N_D N_A}{n_i^2}$$

1-30 (a) 由表 I-I 鍺原子的密度爲 $4.4 \times 10^{22}/cm^3$

因此 $N_A = 4.4 \times 10^{14}/cm^3$

$N_D = 4.4 \times 10^{16}/cm^3$

(b) 由（I-46）式

$$V_o = V_T \ell n \frac{N_A N_D}{n_i^2} = (0.0259)\ell n \frac{4.4 \times 10^{14} \times 4.4 \times 10^{16}}{(2.5 \times 10^{13})^2}$$

$$= 0.0259 \times 10.34 = 0.268\,V$$

1-31 令 N_{D1}（V_{O1}）爲起初施體的濃度（電壓差）

N_{D2}（V_{O2}）爲最後施體的濃度（電壓差）

$$V_{o1} = V_T \ell n \frac{N_A N_{D1}}{n_i^2}, \quad V_{o2} = V_T \ell n \frac{N_A N_{D2}}{n_i^2}$$

$$V_{o2} - V_{o1} = V_T \ell n \frac{N_A N_{D2}}{n_i^2} - V_T \ell n \frac{N_A N_{D1}}{n_i^2} =$$

$$V_T \ell n \frac{N_{D2}}{N_{D1}} = (0.0259V)\ell n 10^4 = 0.0259 \times 9.21 = 0.239\ V$$

1-32 (a) $\rho = \frac{1}{\sigma} \frac{1}{N_A q \mu_p} = 2\Omega - cm \quad N_A = \frac{1}{2 \times 1.60 \times 10^{-19} \times 1800}$

$= 1.736 \times 10^{15}/cm^3$。同理

$$N_D = \frac{1}{1 \times 1.60 \times 10^{-19} \times 3800} = 1.645 \times 10^{15}/cm^3$$

由（1-45）式 $V_o = V_T \ell n \frac{N_A N_D}{n_i^2}$

$0.026 \ell n \frac{1.736 \times 10^{15} \times 1.645 \times 10^{15}}{(2.5 \times 10^{13})^2} = 0.026 \ell n (4.569 \times$

$10^3) = 0.219\,V$

(b) $N_A = \frac{1}{2 \times 1.60 \times 10^{-19} \times 500} = 6.25 \times 10^{15}/cm^3$

$$N_D = \frac{1}{1 \times 1.60 \times 10^{-19} \times 1300} = 4.81 \times 10^{15}/cm^3$$

故 $V_o = 0.026 \ell n \frac{6.25 \times 10^{15} \times 4.81 \times 10^{15}}{(1.5 \times 10^{10})^2} = 0.26 \ell n (1.336$

$\times 10^{11}) = 0.666\ V$