

第一講 半導體

◎ 命 題 重 點 ◎

一、電力、電場及能量

(一)帶電質點：電子為基本帶電質點，其電量為 1.60×10^{-19} 庫侖（1 庫侖為 6×10^{18} 個電子所帶之電量）。因為 1 安培之電流係 1 秒鐘流過 1 庫侖之電量，所以 1 PA (10^{-12} A) 表示 1 秒鐘內流過 6 百萬個電子。

(二)價電子：原子最外層軌道的電子。

(三)游離：原子失去或獲得電子之過程。失去電子後變為正離子；得到電子後變為負離子。

(四)共價鍵：矽或鍺等四價元素結晶狀態時，價電子共價謂之共價鍵。共價鍵上之電子所受束縛力極強，不易脫離軌道。共價鍵上之電子脫離軌道後，留下電子缺，謂之電洞。電洞之行爲形同正電荷，其電量與電子相同，但為正值。

(五)電子在電場中所受之力：

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (\text{單位：牛頓}) \dots\dots\dots ①$$

1. 其中 E 為電場強度， q 為基本電荷所帶之電量。

根據牛頓第二定律， F 亦可表示為

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a} \quad \dots\dots\dots ②$$

2. 其中 m 為質點之質量， v 為質點之運動速度， a 為加速度。

(六)電子在磁場中所受之力：

$$\mathbf{F} = \mathbf{B}q\mathbf{v} \quad \dots\dots\dots ③$$

其中 B 為磁場強度， v 為載子的漂移速度。

(七)電位：任意點 x 對某一參考點 x_0 的電位為

$$V = - \int_{x_0}^x \mathbf{E} d\mathbf{x} \quad (\text{單位：伏特}) \dots\dots\dots ④$$

由此可知， E 亦可表為

$$\mathbf{E} = - \frac{dV}{d\mathbf{x}} \quad (\text{單位：伏特/米}) \dots\dots\dots ⑤$$

(八)電位能：

$$U = qV \quad (\text{單位：焦耳})$$

(九)電子伏：

$$1 \text{ 電子伏} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

(十)能量守恆：

1.定義：總能量 W 為電位能 U 與其對應動能之和，其值為常數，即

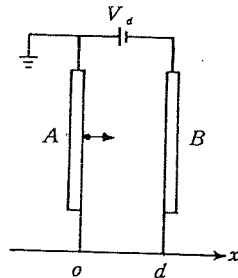
$$W = U + \frac{1}{2}mv^2 = \text{常數} \dots\dots\dots ⑥$$

2.能量守恆之說明：A與B為兩平行極板，其間距離為 d ，又B極板對A極板之電位為 $-V_d$ （A極板為參考電位）。若有一電子以 v_0 之初速由A極板投向B極板，其方向與極板方向成垂直。由於這些假設，可聯想到下列問題：

(1)這個電子會不會順利到達B極板？如果會的話，到達B極板時，其速度如何？

如果不會，該電子究竟止於何處？

(2)多大的電位會使得該電子止於某一位置？



(3)分析：

V_d 之極性會使電子反彈，因此，該電子若欲順利到達B極板，必須具足夠大之初速。當電子離開A極板，其電位能增加，但動能隨之減小（減小之量恰等於電位能增加之量），也就是電子的速度會隨著距離而遞減。如果該電子可以到達B極板，其速度完全決定於 v_0 與 V_d 之值。由圖知，B極板的電位能為 $U = qV = -qV_d$ 。若到達B極板時的速度為 v_f ，則下式必然成立

$$W = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_f^2 + |qV_d| \dots\dots\dots ⑦$$

（取絕對值之理由乃因電子帶負電，使得電位能 U 為正值。）

由⑦式知 v_f 必小於 v_0 ，又為使電子到達B極板，必須使

$$\frac{1}{2}mv_0^2 \geq |qV_d| \dots\dots\dots ⑧$$

了解了這些，上列兩個問題就迎刃而解了。

(十一)位能障壁的由來：

位能障壁的觀念可由上面有關能量守恆的解釋歸納而得。已經知道，當電子由A極

精選試題

一在 n 型矽中，若原子與施體雜質之比率為 $10^{18}:1$ ，試求室溫下，該材料的電阻率為何？

【答】先決出矽原子濃度 C

$$C = \frac{6.02 \times 10^{23} / \text{mole} \times \text{原子密度} (g / \text{cm}^3)}{\text{原子量} (g / \text{mole})}$$

($6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$ 為亞佛加厥常數)

對矽而言，原子量 = $28.1 g / \text{mole}$ ，密度 = $2.33 g / \text{cm}^3$ 。

$$\Rightarrow C = 4.99 \times 10^{22} / \text{cm}^3$$

$$\therefore n \approx N_D = 10^{-8} C = 4.99 \times 10^{14} / \text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{且 } \sigma &\approx n q \mu_n = 4.99 \times 10^{14} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1500 \\ &= 0.12 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{電阻率} = 8.33 \Omega \cdot \text{cm}$$

二求室溫下，矽質本質半導體之電阻率。

【答】本質半導體之傳導率為 $\sigma = n_i q (\mu_n + \mu_p)$ ，代入各參數，得

$$\begin{aligned} \sigma &= 1.45 \times 10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19} (1500 + 475) \\ &= 4.58 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{電阻率} = \frac{1}{\sigma} = 2.18 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$$

三若一步級接面矽質半導體 p 側之電阻率為 $5 \Omega \cdot \text{cm}$ ，n 側之電阻率為 $2.5 \Omega \cdot \text{cm}$ ，試計算接觸電位 V_0 之值（室溫）。

【答】在 p 側， $\sigma_p \approx p q \mu_p$

$$\therefore \frac{1}{5} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \approx p \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 475 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$$

$$\Rightarrow p \approx 2.63 \times 10^{15} / \text{cm}^3 \approx N_A$$

在 n 側， $\sigma_n \approx n q \mu_n$

$$\therefore \frac{1}{2.5} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1} \approx n \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$$

$$\Rightarrow n \approx 1.67 \times 10^{15} / \text{cm}^3 \approx N_D$$

$$\begin{aligned} \therefore V_o &= V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} \\ &= 26 \times 10^{-3} \ln \frac{2.63 \times 10^{15} \times 1.67 \times 10^{15}}{(1.45 \times 10^{10})^2} \\ &= 0.618 \text{ V} \end{aligned}$$

四一矽質半導體之施體摻雜度 $N_D = 2 \times 10^{14}$ 個原子 / 厘米³，受體摻雜度 $N_A = 3 \times 10^{14}$ 個原子 / 厘米³，試決定室溫時的電子、電洞濃度。

【答】 $\because N_D + p = N_A + n$ (電中性定律)

$$np = n_i^2 \quad (\text{質量作用定律})$$

$$\therefore p = N_A - N_D + n = N_A - N_D + \frac{n_i^2}{p}$$

$$\Rightarrow p^2 - 10^{14} p - 2.1025 \times 10^{20} = 0$$

$$p = 10^{14} / \text{cm}^3 \text{ 或 } 0 \text{ (不合, 因為既有 } N_A \text{ 就不可能為 } 0 \text{)}$$

$$\Rightarrow n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{2.1025 \times 10^{20}}{10^{14}} = 2.1025 \times 10^6 / \text{cm}^3$$

(這是塊 p 型材料，因為 $p > n$)

五一 P 型矽質半導體，其電阻率為 0.02 歐姆·厘米，試求 300 K (室溫) 時的電洞、電子濃度。

(已知 $\mu_p = 475 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$ ， $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$)

【答】電阻率為 0.02 歐姆·厘米。(電阻率為電導率 σ 之倒數)

在 P 型材料中， $\sigma \approx pq\mu_p$

$$\therefore \frac{1}{0.02 \Omega \cdot \text{cm}} = p \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 475 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$$

$$\Rightarrow p = \frac{1}{0.02 \Omega \cdot \text{cm}} \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} (\text{V} \cdot \text{S} / \Omega) \times 475 (\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S})} \quad (\text{C} = \text{V} \cdot \text{S} / \Omega)$$

$$= 6.58 \times 10^{17} / \text{cm}^3$$

由 $np = n_i^2$ 知