

【電子學①~③⑧】講義（上冊）

高分 老師主講
劉承 老師審校

CHAPTER 1. 半導體與PN 接面

1.1	原子與能帶觀念.....	2
1.1.1	原子概念.....	2
1.1.2	波耳(Bohr)單原子行星模型.....	2
1.1.3	價電子.....	2
1.1.4	離子化.....	3
1.1.5	共價鍵.....	3
1.1.6	能階與能帶.....	3
1.2	半導體材料.....	4
1.2.1	能隙差異與導電性.....	4
1.2.2	半導體導電原理.....	4
1.2.3	電子流與電洞流.....	5
1.2.4	半導體電流種類.....	6
1.2.4.1	半導體內總電流與內建電場.....	9
1.2.5	本質半導體.....	10
1.2.6	雜質半導體(外質半導體).....	11
1.2.6.1	N型半導體.....	11
1.2.6.2	P型半導體.....	13
1.2.7	本質、雜質半導體與溫度影響.....	14
1.3	P-N Junction.....	15
1.3.1	開路時的 P-N Junction.....	15
1.3.2	逆偏($0 > V_D = V_P - V_N$)時的 P-N Junction.....	20
1.3.3	順偏($0 < V_D = V_P - V_N$)時的 P-N Junction.....	24

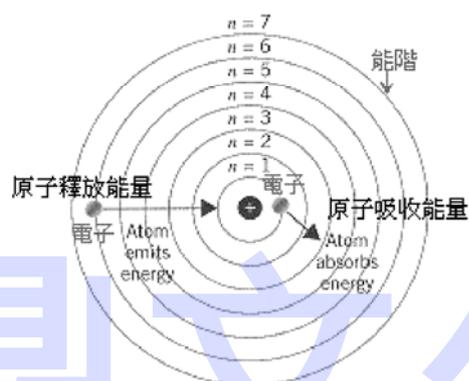
1.1 原子與能帶觀念

1.1.1 原子概念

原子結構 { 原子核 = 中子 + 質子(+)
 { 電子(-)

不同元素有不同質子數，故又稱質子數為原子序

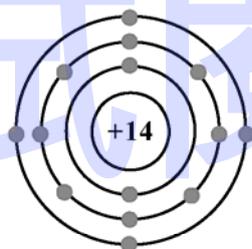
1.1.2 波耳(Bohr)單原子行星模型



1.1.3 價電子

最外層軌道的電子即為價電子

Ex. 矽原子



3A 族：

最外層軌道有 3 顆價電子的材料稱之

4A 族：

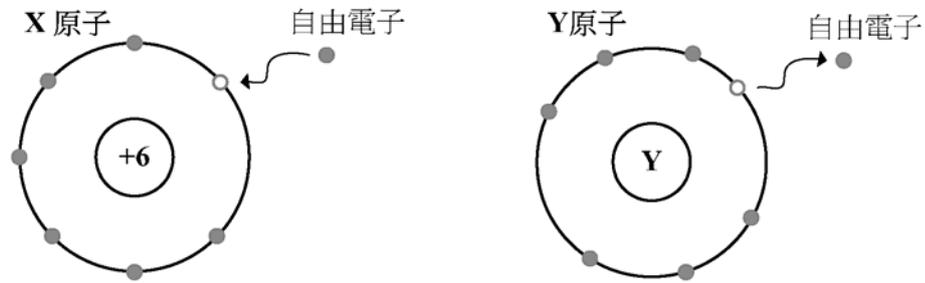
最外層軌道有 4 顆價電子的材料稱之

5A 族：

最外層軌道有 4 顆價電子的材料稱之

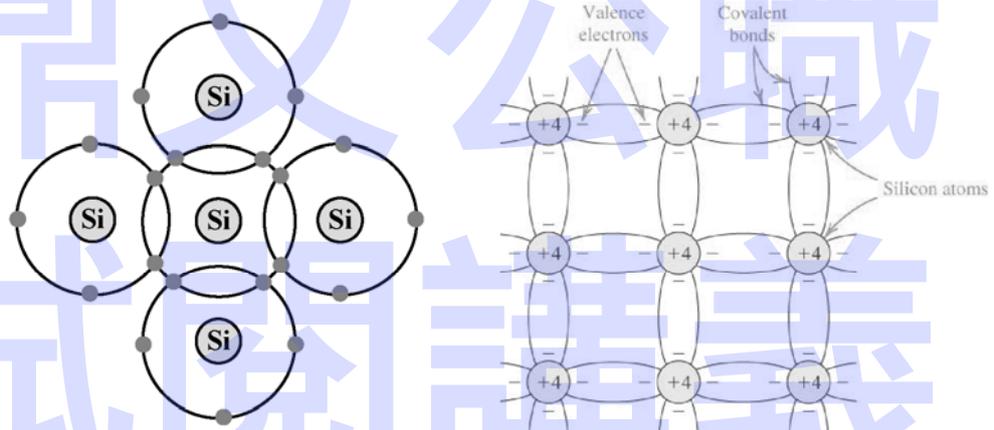
1.1.4 離子化

原子失去或獲得電子後變成帶電的原子稱之



1.1.5 共價鍵

最外層軌到有 8 個價電子稱為 8 隅體，此時材料極為穩定，導電性亦不佳；不符合 8 隅體之原子，除了藉由失去價電子的方式外，與其他鄰近原子彼此共同價電子是另一種穩定存在的方法，遂形成所謂的共價鍵。



1.1.6 能階與能帶

1.2 半導體材料

1.2.1 能隙差異與導電性

1.絕緣體

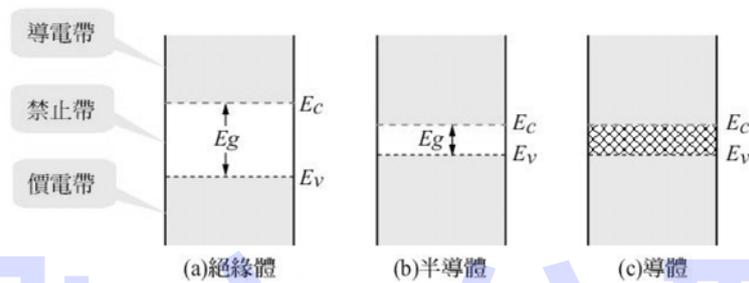
能隙約為 9eV ($1\text{eV}=1$ 電子伏特 = 1.602×10^{-19} 焦耳)

2.半導體

能隙約為 1eV ，常用的半導體材料有鍺 (Ge:Germanium)、矽 (Si:Silicon) 及砷化鎵 (GaAs:Gallium Arsenide)。

3.導體

能隙約為 0eV ，常用的導體有金、銀、銅、鋁、錫、石墨……等等，其中以銀的導電性最佳。



1.2.2 半導體導電原理

(一)共價鍵振動：絕對 0° (0°K 或 -273°C)時，半導體內無任何活動，若溫度大於絕對溫度時，價電子會吸收熱能而振動，造成品體體積變大，價電子能量與活動範圍也越大，進而造成 E_g 下降。

(二)共價鍵破裂：

⚡ 歷屆試題：

【觀念題型】

101 公務人員初等考

1 矽二極體與鎘二極體在室溫的順向導通電壓分別約為：

- (A) 0.7 V , 0.7 V (B) 0.7 V , 0.2 V (C) 0.2 V , 0.7 V (D) 0.2 V , 0.2 V

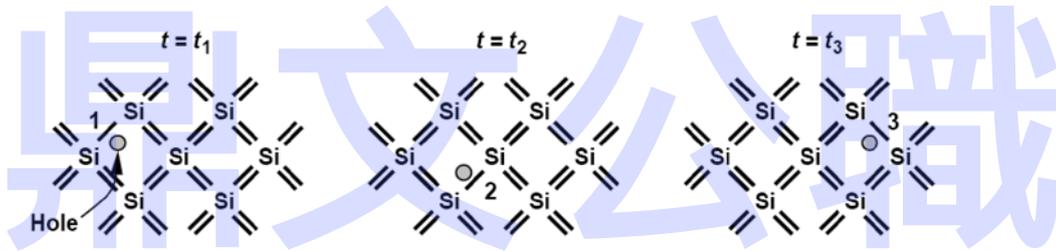
Sol : (B)

98 公務人員普考

四、(-)請說明電子電洞對 (Electron-hole pair)。(10 分)

Sol :

半導體材料中，共價鍵的價電子獲得能量而使共價鍵解離，放出自由電子與電洞對，此兩種載子稱為導電載子。



1.2.3 電子流與電洞流

(一) 流向的差異

(二) 移動能力的差異

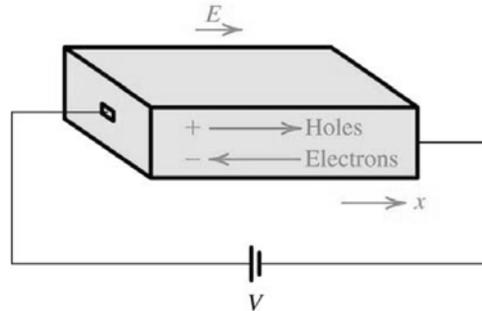
(三) 質量上的差異

(四) 流域的差異

1.2.4 半導體電流種類

半導體的載子(即是自由電子與電洞)移動，即會造成電流，上述係以載子種類來說明電流形成，在此則是以促成載子移動之因素來討論，分別是：

- (1) 半導體內電位不相同，即造成載子間的同性相斥，異性相吸，此電流即稱為漂移電流。



漂移率(Mobility)：速度正比於電場，之間的比例常數即為漂移率

$$v = \mu \times E$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_{p-drift} = \mu_p \times E \\ v_{n-drift} = \mu_n \times (-E) = -\mu_n \times E \end{cases}$$

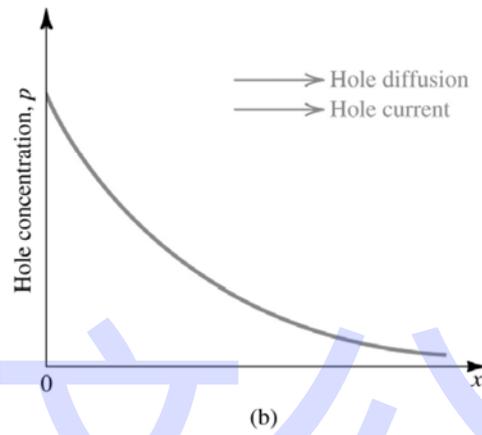
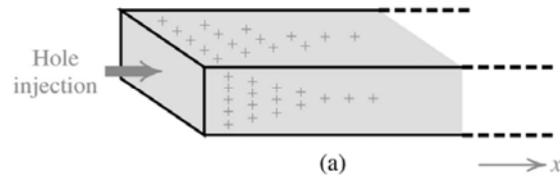
$$J_{p,drift} = pq\mu_p E$$

$$J_{n,drift} = nq\mu_n E$$

$$\text{導電率(Conductivity)} \sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$$

$$\text{電阻率(Resistivity)} \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{nq\mu_n + pq\mu_p}$$

(2) 半導體內載子濃度不均勻，則載子分佈會自然發生擴散現象，此電流即稱為擴散電流。



鼎文公職
試閱講義

✚ 歷屆試題：

【計算題型】

100 國安局特考五等

- 24 若一矽塊之受體濃度為 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，本質濃度為 $n_i = 1.5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ ， $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/\text{v}\cdot\text{sec}$ ， $\mu_p = 475 \text{ cm}^2/\text{v}\cdot\text{sec}$ ，則此一矽塊之導電率約為：
- (A) $7.6 \times 10^{-2}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ (B) $2.5 \times 10^{-2}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ (C) $4.8 \times 10^{-2}(\Omega\text{-cm})^{-1}$ (D) $9.3 \times 10^{-2}(\Omega\text{-cm})^{-1}$

Sol : (A)

$$\text{Mass Action Law : } n \times p = n_i^2 \rightarrow n = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{1 \times 10^{15}} = 2.25 \times 10^5 / \text{cm}^3$$

$$\text{導電率 } \sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times (2.25 \times 10^5 \times 1500 + 1 \times 10^{15} \times 475) = 7.6 \times 10^{-2}(\Omega\text{-cm})^{-1}$$

【觀念題型】

98 公務人員初等考

- 20 在半導體中，載子的移動率相當於下列何者？
- (A)在單位電場強度下所產生的載子漂移速度 (B)載子的終端飽和速度
(C)載子的熱速度 (D)在單位濃度梯度下所產生的載子擴散速度

Sol : (A)

97 地方特考五等

- 36 在半導體中載子的擴散電流主要肇因於下列何者？
- (A)載子濃度非均勻分布 (B)有外加電場施加於半導體
(C)半導體內存在有電位的變化 (D)半導體溫度的變化

Sol : (A)

96 公務人員初等考

- 39 半導體材料之導電率大小與下列何種因素無關？
- (A)載子濃度 (B)溫度 (C)材質 (D)外部形狀

Sol : (D)