

109 年公務人員特種考試警察人員、一般警察人員考試及 109 年特種考試交通事業鐵路人員考試試題

考試別：鐵路人員考試

等別：高員三級考試

類科組：電子工程

科目：半導體工程

一、

(一)請說明何謂「補償半導體 (compensated semiconductor)」？(5 分)

(二)請以數學表示式說明補償半導體具有「電中性 (charge neutrality)」之物理意義。(5 分)

【擬答】：

(一)補償半導體是說材料同時具有施體(donor)與受體(acceptor)能階，經過摻雜雜質濃度加入後，N 型半導體可能轉變成 P 型半導體；P 型半導體也可能轉變成 N 型半導體

(二)電中性原理： $n + N_A = p + N_D$

分成兩種

1. N 型半導體

$$N_D > N_A : \text{因為 } n \gg p \Rightarrow n = N_D - N_A, \text{ 則 } p = \frac{n_i^2}{N_D - N_A}$$

2. P 型半導體

$$N_A > N_D : \text{因為 } p \gg n \Rightarrow p = N_A - N_D, \text{ 則 } n = \frac{n_i^2}{N_A - N_D}$$

二、

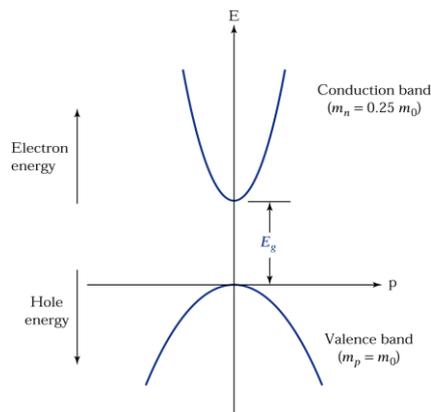
(一)請說明何謂「電子等效質量 (electron effective mass)」？(5 分)

(二)試以能量-波向量圖 (E-k diagram) 觀點，以數學表示式定義「電子等效質量」。(5 分)

【擬答】：

(一)帶電粒子在固體原子中運動時，除了電場作用力之外，尚會受到其他原子核與電子的交互作用力，因此有效質量將與靜止質量有所差異。

(二)如圖所示



$$m_{n(p)} = \left[\frac{d^2 E}{d^2 p} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\hbar^2} \cdot \left| \frac{d^2 E}{dk^2} \right| \right)^{-1}$$

曲度愈窄者，有效質量愈小，如圖所示

三、假設 p-型半導體中其多餘電子濃度 (excess electron concentration, δn) 符合低階注入 (low injection) 之條件，請列出其一維雙極性傳輸方程式 (ambipolar transport equation) 之表示式，並說明其物理意義。(10 分)

【擬答】：

若過剩載體濃度遠小於多數載體濃度，稱為低階注入(Low-Level injection)。

若漂移、擴散與再結合(recombination)同時發生，對電子而言，則

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial J_n}{q \partial x} + (G_n - R_n)$$

$$J_n = nq\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}$$

故對少數載子注入而言

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = n_p \mu_n \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \mu_n \times \varepsilon \times \frac{\partial n_p}{\partial x} + D_n \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} + G_n - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_n}$$

藉著求解方程式可以瞭解半導體材料中過量載子的行為，

再搭配 Poisson equ. $\frac{d\varepsilon}{dx} = \frac{\rho_s}{\varepsilon_s}$ 與邊界條件，即可解出少數載子注入時的分佈狀況。

四、設有一金屬/n-型半導體界面：

(一)請說明其形成整流接觸 (rectifying contact) 之條件，並繪出其能帶圖。(10 分)

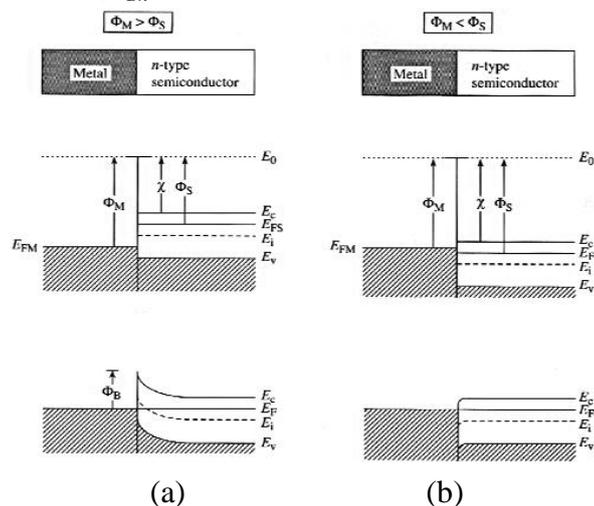
(二)請說明其形成歐姆接觸 (ohmic contact) 之條件，並繪出其能帶圖。(10 分)

【擬答】：

N 型半導體而言有兩種狀況：如圖所示

(1)若 $\phi_m > \chi$ ，則形成位能障 $q\phi_{Bn}$ ，電子由半導體流向金屬，半導體區留下正的施體離子，形成空乏區，如圖(a)所示。

(2)若 $\phi_m < \chi$ ，則因沒有位能障 $q\phi_{Bn}$ ，所以為歐姆接觸，如圖(b)所示。



五、有一均勻摻雜之矽半導體 pn 接面，若溫度 $T = 300\text{K}$ ，且其相關參數如下：

電子擴散係數 $D_n = 25 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、電洞擴散係數 $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、

相同之施體與受體摻雜濃度 $N_A = N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、相同之電子與電洞生命週期 $\tau_{po} = \tau_{no} = 5 \times 10^{-7} \text{ s}$ 、本質載子濃度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 、單位電量 $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、

波茲曼常數 (Boltzmann's constant) $k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ 。

試求：

(一)此 pn 接面之逆向飽和電流密度 $J_s = ?$ (8 分)

(二)若 pn 接面之外加順向偏壓 $V_a = 0.65 \text{ V}$ 時，其電流密度 = ? (7 分)

【擬答】：

$$J_{total} = J_n(-x_p) + J_p(x_n) = \left(\frac{qD_n n_{po}}{L_n} + \frac{qD_p p_{no}}{L_p} \right) (e^{qV/kT} - 1)$$

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = \sqrt{25 \times 5 \times 10^{-7}} = 35.4 \mu\text{m}; L_p = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{10 \times 5 \times 10^{-7}} = 22.4 \mu\text{m}$$

$$J_s = 1.6 \times 10^{-19} \times (1.5 \times 10^{10})^2 \times \left[\frac{25}{35.4 \times 10^{-4} \times 10^{16}} + \frac{10}{22.4 \times 10^{-4} \times 10^{16}} \right] = 4.3 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2$$

$$V_T = 8.62 \times 10^{-5} \times 300 = 25.86 \text{ mV}$$

$$J_F = 4.3 \times 10^{-11} \times (e^{0.65/0.02586} - 1) = 3.545 \text{ A/cm}^2$$

六、有一 n-型通道金屬-氧化物-半導體場效電晶體 (MOSFET)，其閘極寬度 $W = 15 \mu\text{m}$ 、閘極長度 $L = 2 \mu\text{m}$ 、閘極氧化層電容 $C_{ox} = 6.9 \times 10^{-8} \text{ F/cm}^2$ 。假設此電晶體操作於汲-源極電壓為 $V_{DS} = 0.1 \text{ V}$ 之非飽和區 (non-saturation region)，已知於閘-源極電壓為 $V_{GS} = 1.5 \text{ V}$ 時、其汲極電流 $I_D = 35 \mu\text{A}$ ，另於閘-源極電壓為 $V_{GS} = 2.5 \text{ V}$ 時、其汲極電流 $I_D = 75 \mu\text{A}$ 。

試求此 MOSFET 之：

(一)電子遷移率 $\mu_n = ?$ (8 分)

(二)臨界電壓 $V_T = ?$ (7 分)

【擬答】：

$$\text{線性區：} I_D = \mu_n C_{ox} \times \frac{W}{L} \times \left[(V_{GS} - V_T) \times V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$

$$\text{且 } I_{D2} - I_{D1} = \mu_n C_{ox} \times \frac{W}{L} \times (V_{GS2} - V_{GS1}) \times V_{DS}$$

$$\text{則 } 75 \times 10^{-6} - 35 \times 10^{-6} = \frac{15}{2} \times \mu_n \times 6.9 \times 10^{-8} \times (2.5 - 1.5) \times 0.10 \Rightarrow \mu_n = 773 \text{ cm}^2/\text{V-s}$$

$$V_T = 0.575 \text{ V}$$

七、

(一)試指出乾式蝕刻技術 (dry etching) 為等向性 (isotropic) 蝕刻或非等向性 (anisotropic) 蝕刻？(5 分)

公職王歷屆試題 (109 鐵路特考)

(二) 假設將 $1\mu\text{m}$ 厚的鋁 (Al) 薄膜沉積在平坦的場氧化層 (field oxide layer) 上，先以光阻在其上定義圖案後，再施以電漿蝕刻製程。已知鋁對於光阻之蝕刻選擇比維持在 3，假設有 30% 的過度蝕刻，試問在確保鋁金屬上表面不被侵蝕之條件下，所需的最薄光阻厚度為何？(15 分)

【擬答】：

(一) 乾式蝕刻是指在氣相中進行的蝕刻過程，一般在半導體製程中，多使用一活性電漿源 (reactive plasma source) 來完成。乾式蝕刻具有達到非等向性蝕刻 (Anisotropic Etching) 的能力，所以是現代精細圖案移轉製程不可或缺的技术。

(二)

(1) 鋁對於光阻之蝕刻選擇比維持在 3 表示 PR 的蝕刻速率為 Al 的 $1/3$ 。

(2) 30% 的過度蝕刻，表示 $1\mu\text{m}$ 厚的鋁 (Al) 薄膜有 $1.3\mu\text{m}$ 厚的鋁。

(3) 所需的最薄光阻厚度為 $1.3\mu\text{m} \times 1/3 = 0.433\mu\text{m}$ 。