

112 年公務人員高等考試三級考試試題

類 科：電子工程
科 目：半導體工程

陳銘 老師

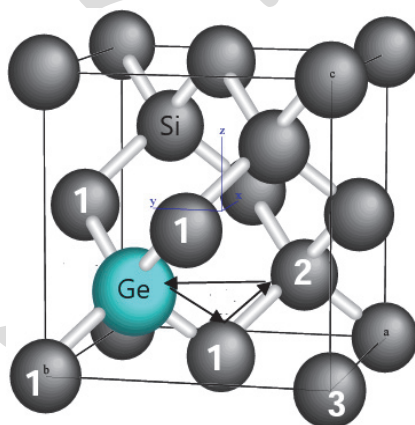
一、Si 與 Ge 都是鑽石結構，其晶格常數分別為 5.43\AA 與 5.66\AA 。有一由 Si 與 Ge 組成的合金半導體 $\text{Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}$ ，問該合金半導體的晶格結構為何？說明其晶格結構的構造。此合金半導體的晶格常數為多少？其中的 Si 與 Ge 的原子濃度又各為多少？(20 分)

1. 《考題難易》★★★
2. 《破題關鍵》：瞭解鑽石結構與特性

【擬答】

(一) 鍺晶體的晶格常數比矽晶體大 4.2%，晶格不匹配的現象會發生而產生壓縮形變 (compressive strain) 效果，但只要控制於臨界厚度以內可避免形成如差排之缺陷影響薄膜品質，應變矽 鍺可形成虛擬基材，讓載子遷移率大量增加。

$\text{Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}$ 的鍺僅加入少量的鍺，因此為無應力的鑽石結構，如下圖所示



$$d = 5.43 + (5.66 - 5.43) \times \frac{0.1}{0.9 + 0.1} = 5.453 \text{ \AA}$$

(二) 鑽石結構共有 8 顆原子

$$\text{Si: } \frac{8 \times \frac{9}{10}}{(5.453 \times 10^{-8})^3} = 4.44 \times 10^{22} \text{ \#/ cm}^3$$

$$\text{Ge: } \frac{8 \times \frac{1}{10}}{(5.453 \times 10^{-8})^3} = 4.93 \times 10^{21} \text{ \#/ cm}^3$$

二、(一)請說明半導體中載子傳導的漂移速度 (drift velocity)、熱速度 (thermal velocity)、以及遷移率 (mobility)。(10 分)

(二)舉出兩種影響載子遷移率的散射機制 (scattering mechanism)，並說明其與溫度的關係。(10 分)

1. 《考題難易》★★

2. 《破題關鍵》：載子移動時的傳導機制

【擬答】

(一)1. 漂移速度 (drift velocity) 外加電場時，導電電子會沿電場相反方向、電洞則沿電場方向會有一平均的移動速度，稱做漂移速度 (drift velocity; v_d)，關係式為 $v_d = \mu \times E$

2. 熱速度 (thermal velocity)：

室溫附近，導電電子或電洞在半導體晶格做熱運動，每一個載子平均約有隨機運動的動

能為 $\overline{E_k} = \frac{3}{2}KT$ ，稱為熱速度

3. 遷移率 (mobility)：

每單位電場的平均粒子漂移速度

$$v_d = \mu \times E \Rightarrow \mu = \frac{v_d}{E}$$

(二)1. 晶格散射 (Lattice scattering)：又叫聲子散射 (phonon scattering)

起源於晶格原子的熱振動，使得能量在載子與晶格間轉移，隨著溫度的上升，高溫下晶格散射較為明顯，故移動率隨著溫度的上升而下降，通常 $\mu_L \propto T^{-3/2}$ 。

2. 雜質散射 (Impurity scattering)：

為帶電載子行經游離的摻雜雜質所引起，由於庫倫力的交互作用，路徑受到偏移，但在較高溫度下，載子移動加速，在雜質原子附近所停留的時間較短，因此有效之散射減少，通常 $\mu_i \propto T^{3/2}$ 。

因此在單位時間下，定義了

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_i}$$

公職王歷屆試題 (112 高考三級)

三、考慮一個陡峭 (abrupt) P^+N 接面，兩邊的雜質濃度分別為 N_A 與 N_D ； $N_A \gg N_D$ 。若接面處於平衡狀態，請由載子擴散、復合的觀點來說明接面空乏區 (depletion region)、內建電場 (built-in electric field) 的生成機制，並指出內建電場的指向。若接面由內建電場產生的內建電位為 V_{bi} ，空乏區寬度為 W ；以空乏區近似法表出 W 與 V_{bi} 的關係式。半導體的介電係數為 ϵ ，單位電荷為 q 。(20 分)

1. 《考題難易》★★★

2. 《破題關鍵》：瞭解 p 型與 n 型接合下的機制與推導

【擬答】

(一)接面形成的瞬間，多數載體會往另一相反極性(濃度低)的對側，擴散並內建電場而達到熱平衡的狀態，電子因擴散而離開 N 型區，留下帶正電的施體離子；同樣的，電洞因擴散而離開 P 型區，留下帶負電的受體離子，一般將此區稱做空乏區(depletion region)，或稱空間電荷區。中間留下帶電性之區域即為內建電場，由 n 型區域指向 p 型區域。

(二)根據 Poisson 方程式

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_s} = \begin{cases} -N_A; -x_p \leq x < 0 \\ N_D; - < x \leq x_n \end{cases}$$

可得

$$1. W = x_p + x_n$$

$$2. x_p = W \times \frac{N_D}{N_A + N_D} ; x_n = W \times \frac{N_A}{N_A + N_D}$$

$$3. W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} V_{bi} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right)}$$

4. 若為 abrupt junction, $p^+ - n$: 則 $N_A \gg N_D \Rightarrow x_p \ll x_n$

$$V_{bi} = \frac{qN_D}{2\epsilon_s} W^2$$

顯然寬度的造成是以濃度少的為主。



志光保成學儒

我連過3榜!

>>> 跟著老師上課的進度走
很快地就可以把所有內容讀熟，順利上榜!

<電子學>一開始的基本觀念建立都是跟老師的課開始，將老師提供的筆記多次反覆的來抄寫背誦，基本上就有機會對大部份考題略懂。
 <基本電學>及<電子學>筆記就照著老師板書寫的抄寫下來，熟讀筆記內容，接著就是不停地算題目，課本、題庫班的題目算熟，考試時會用到的觀念基本都在筆記以及題庫班中。

洪○銓
2狀元 & 1榜眼

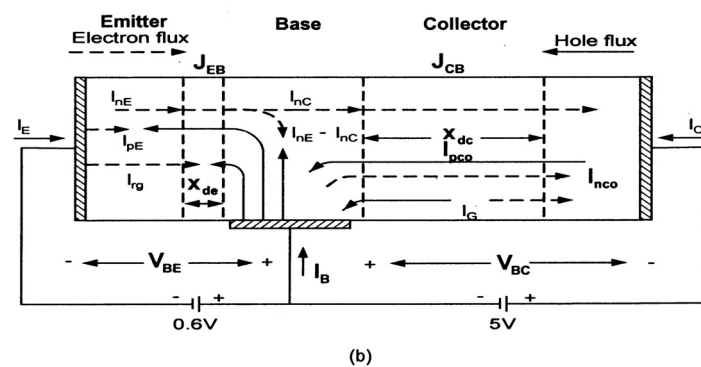
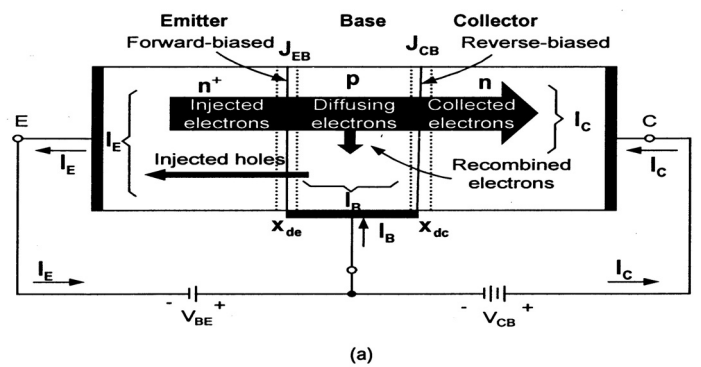
111年高考電子工程 全國狀元
 111年鐵路特考高員級電子工程 全國狀元
 109年普考電子工程 全國榜眼, 應屆考取

四、考慮一個 NPN 雙極性電晶體，若將其操作在主動區，其射基極接面與集基極接面的電壓應如何安排？以基極為零電壓參考點說明之。就主動區操作之該電晶體，畫出能帶對空間的概要圖，並在圖上標出各項電子、電洞之擴散電流以及復合電流。並由這些電流來定義注入效率 (injection efficiency) 以及傳輸因子 (transport factor)。(20 分)

1. 《考題難易》★★★★
2. 《破題關鍵》：需瞭解 BJT 電晶體在主動區下的電流傳導機制

【擬答】

(一)主動區:如圖為 $n^+ - p - n$ 之電流成分，當電子要擴散通過基極區時，部分的電子會與基極區的多數載子電洞復合，基極區多數載子電洞會注入於射極區，而在 B-C 逆偏中，電子到達 C 極。



$$\text{射極效率 } \gamma = \frac{I_{En}}{I_E} = \frac{I_{En}}{I_{Ep} + I_{En}} \Rightarrow \alpha_T = \gamma \alpha_0$$

$$\text{基極傳輸因子 } \alpha_T = \frac{I_{Cn}}{I_{En}}$$



志光 保成 學儒 陪你

站上工科巔峰

電力工程

電子工程

機械工程

資訊處理

<p>【全國狀元】 111 高 考 電子工程 洪○銓</p> <p>【全國榜眼】 111 普 考 資訊處理 羅○昌</p> <p>【台北市榜眼】 111 地特三等 電子工程 郭○瑞</p> <p>【台北市榜眼】 111 地特四等 電力工程 張○境</p> <p>【金門縣榜眼】 111 地特三等 資訊處理 李○杰</p> <p>【台北市探花】 111 地特四等 電子工程 楊○榮</p> <p>【高雄市探花】 111 地特四等 電子工程 何○宇</p> <p>【全國第五】 112 初 等 考 電子工程 陳○豪</p>	<p>【台北市第五】 111 地特三等 電子工程 薛○文</p> <p>【全國第七】 111 普 考 電子工程 卓○倫</p> <p>【全國第八】 111 高 考 機械工程 江○禾</p> <p>【全國第八】 111 普 考 電力工程 陳○瑋</p> <p>【全國第八】 111 普 考 電子工程 李○穎</p> <p>【台北市第八】 111 地特四等 資訊處理 吳○進</p> <p>【全國第九】 111 普 考 機械工程 施○佑</p>
---	---

各類考試優秀考取

高考 電力工程 丁○翔; 高考 電力工程 陳○璋; 普考 電力工程 梁○豐; 普考 機械工程 金○理; 高考 資訊處理 陳○廷; 普考 資訊處理 吳○翰; 普 考 資訊處理 褚○華
 高考 電力工程 王○甯; 高考 電力工程 曾○倫; 高考 電子工程 王○楷; 高 考 資訊處理 于 ○; 高 考 資訊處理 陳○明; 普 考 資訊處理 李○庭; 普 考 資訊處理 劉○廷
 高考 電力工程 吳○哲; 高 考 電力工程 葛○宇; 高 考 電子工程 卓○倫; 高 考 資訊處理 李○庭; 高 考 資訊處理 曾○瑄; 普 考 資訊處理 張○偉; 普 考 資訊處理 劉○銘
 高 考 電力工程 吳○璿; 高 考 電力工程 蔡○昇; 高 考 電子工程 莊○雲; 高 考 資訊處理 胡○紘; 高 考 資訊處理 黃○迪; 普 考 資訊處理 張○慧; 普 考 資訊處理 鄭○然
 高 考 電力工程 吳○顯; 高 考 電力工程 蔡○鎮; 普 考 電子工程 馮○恩; 高 考 資訊處理 張○偉; 高 考 資訊處理 廖○仲; 普 考 資訊處理 陳○明; 普 考 資訊處理 賴○全
 高 考 電力工程 李○源; 高 考 電力工程 鄧○駿; 普 考 電子工程 蔣○霖; 高 考 資訊處理 許○傑; 高 考 資訊處理 劉○廷; 普 考 資訊處理 陳○堂; 地 特 三 等 資 訊 處 理 龍○穎
 高 考 電力工程 席○棠; 普 考 電力工程 吳○哲; 高 考 機械工程 黃○榮; 高 考 資訊處理 賴○全; 普 考 資訊處理 曾○瑄; 初 等 考 電子工程 楊○榮
 高 考 電力工程 梁○豐; 普 考 電力工程 吳○璿; 普 考 機械工程 江○禾; 高 考 資訊處理 郭○楷; 高 考 資訊處理 羅○昌; 普 考 資訊處理 黃○迪; 初 等 考 電子工程 楊○文

版面有限 無法一一刊登

五、矽的 Deal-Grove 熱氧化模型公式： $D^2 + AD = Bt$ ，公式中 D 為氧化層厚度、 t 為氧化時間、 A 與 B 為參數。求氧化速率 dD/dt 。由反應物在氧化層經由擴散到氧化層與矽介面進行氧化的模型來分別說明在 $D \ll A$ 與 $D \gg A$ 兩種狀況下，氧化層厚度與時間關係。(20 分)

1. 《考題難易》★★★
2. 《破題關鍵》：需瞭解 Deal-Grove 的氧化機制

【擬答】

(一)兩邊微分可得氧化速率 dD/dt

$$2D \frac{dD}{dt} + A \frac{dD}{dt} = B \Rightarrow \frac{dD}{dt} = \frac{B}{2D + A}$$

(二) 1. 氧化初期，因 SiO_2 較薄， X_{ox} 很小，且 $D^2 \ll D$ ，則上式可簡化得

$$D = (B/A) \cdot t$$

在這段區間， SiO_2 的氧化速率與時間 t 呈線性正比關係。此時氧分子擴散通過 SiO_2 層的能力很強，反應速率限制在表面的氧化反應。

2. 當氧化層足夠厚時， $D^2 \gg D$ ，簡化得下式

$$D^2 = Bt \Rightarrow D = \sqrt{B} \times \sqrt{t}$$

在這段區間， SiO_2 的氧化速率與時間 t 呈拋物線關係。此時氧分子擴散通過 SiO_2 層的能力很弱，此時反應速率的限制則在於氧的擴散。