

112 年特種考試地方政府公務人員考試試題

等 別：三等考試

類 科：電子工程

科 目：半導體工程

陳銘老師

一、(一)請分別敘述在外質半導體中何謂「完全解離 (complete ionization)」及「凍結 (freeze-out)」？(10 分)

(二)請輔以數學表示式說明在半導體中「質量作用定律 (mass-action law)」之物理意義。(5 分)

1. 《考題難易》★★：簡單

2. 《破題關鍵》：

瞭解外值半導體之特性

【擬答】

(一)1. 完全解離 (complete ionization)

室溫時，施體態基本上是完全游離的，幾乎所有的施體原子都貢獻了一個電子至傳導帶；受體原子基本上亦是完全游離的，即每個受體原子都從價電帶上接受了一個電子。

2. 凍結 (freeze-out) 在低溫時，晶體之熱能不足以提供游離所有的施體雜質，意謂著如同電子凍結(freeze)於施體能階。

(二)質量作用定律：

熱平衡下，電子濃度與電洞濃度的乘積為定值。

二、(一)請輔以數學表示式說明影響半導體「漂移電流密度 (drift current density)」之因素為何？(5 分)

(二)請分別說明影響半導體中載子移動之「晶格散射 (lattice scattering)」及「游離雜質散射 (ionized impurity scattering)」之物理意義及其溫度效應。(10 分)

1. 《考題難易》★★：簡單

2. 《破題關鍵》：

需瞭解載子移動機制與電流密度種類

【擬答】

(一)漂移電流密度：外加電場所造成。

$$J_{drift} = J_p + J_n = pq\mu_p E + nq\mu_n E = (pq\mu_p + nq\mu_n) \times E = \sigma \times E$$

其中漂移速度： $v_p = \mu_p E$ ； $v_n = \mu_n E$

$$(1) \text{ N 型半導體： } \rho = \frac{1}{nq\mu_n}$$

$$(2) \text{ P 型半導體： } \rho = \frac{1}{pq\mu_p}$$

(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 $\mu_L \propto T^{-3/2}$ 。

公職王歷屆試題 (112 地方政府特考)

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 $\mu_i \propto T^{3/2}$ 。

三、(一)請以數學表示式定義 p-n 接面之「內建電位 (V_{bi} , built-in potential)」。(5 分)

(二)請繪出 p-n 接面其分別在逆向偏壓、順向偏壓之能帶圖 (energy-band diagram)，並說明其整流 (rectification) 特性。(10 分)

1. 《考題難易》★★：簡單

2. 《破題關鍵》：

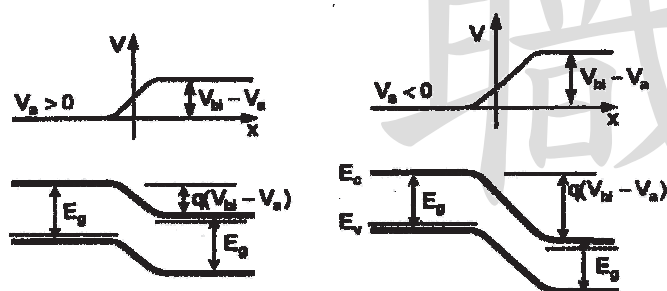
瞭解半導體二極體特性

【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。

$$\text{內建電位 } V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

(二)如圖所示



順向偏壓

逆向偏壓

1. 二極體在順偏時會導通

- (1) 因為 P 型區接正電，會吸引 N 型區的電子(多數)過來。
 - (2) 因為 N 型區接負電，會吸引 P 型區的電洞(多數)過來。
- 皆屬於多數載子流動，因此電流變大，故二極體導通。

2. 二極體在逆偏時會截止呢？

- (1) 因為 P 型區接負電，會吸引 N 型區的電洞(少數)過來。
 - (2) 因為 N 型區接正電，會吸引 P 型區的電子(少數)過來。
- 屬於少數載子流動

四、雙載子接面電晶體 (BJT) :

(一)請敘述「基極寬度調變效應 (base width modulation effect)」，並說明其對於 BJT 輸出電導 (g_o) 之影響。(10 分)

(二)請敘述「高注入效應 (high injection effect)」，並說明其對於 BJT 共射極電流增益 (β) 之影響。(10 分)

1. 《考題難易》★★：簡單

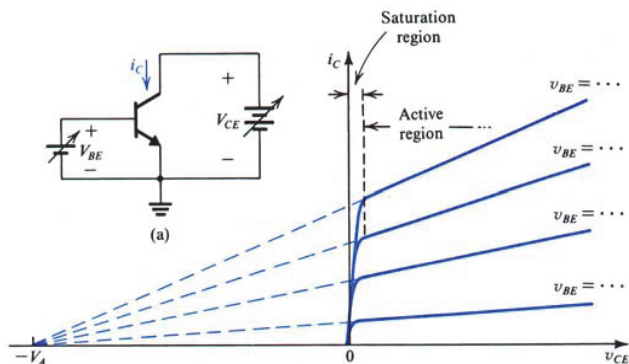
2. 《破題關鍵》：

【擬答】

(一)基極寬度調變效應 (base width modulation effect)

當 B-C 之逆向偏壓愈大時，空乏區之寬度亦增加，導致基極有效寬度減少，一旦有效寬度降為 0 時，會造成 BJT 之貫穿崩潰(Punch Through)。

一般基極寬度做到 $1\mu\text{m}$ 以下，集極逆向電壓很容易到達貫穿崩潰(Punch Through)，因此設計時基極寬度不可太小。

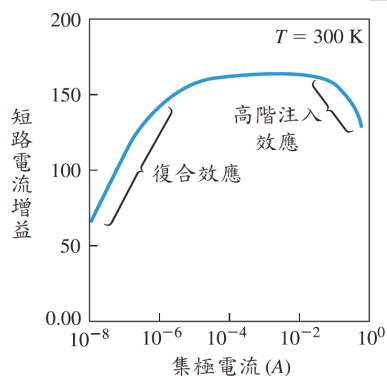


$$g_o = \frac{dI_C}{dV_{CE}} = \frac{I_C}{V_{CE} + V_A}$$

產生有限值的輸出電阻

(二)高注入效應 (high injection effect)

大的集極電流 I_C 時會因高階注入效應而下降，如圖所示。



五、 SiO_2 、 S_3N_4 及 Ta_2O_5 的相對介電常數 (ϵ_s) 分別約為 3.9、7.6 及 25。

(一)若分別以介電層 Ta_2O_5 及 SiO_2 作為電容，且 Ta_2O_5 : SiO_2 之厚度比 2 : 1、面積比為 3 : 1，試求其電容比？(5 分)

(二)假設以厚度為 $3t$ 微米之 Ta_2O_5 作為介電層之電容值為 C_1 ；另以各層厚度均分別為 t 微米之 $\text{SiO}_2/\text{S}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 作為介電疊層之電容值為 C_2 。假設兩者具有相同面積，試計算 C_1/C_2 之比值？(10 分)

1. 《考題難易》★★：簡單

2. 《破題關鍵》：

瞭解電容公式與介電疊層特性即可做出

【擬答】

$$\therefore C = \epsilon_0 \times K \times \frac{A}{d} \Rightarrow C_{\text{Ta}_2\text{O}_5} : C_{\text{SiO}_2} = 25 \times \frac{3}{2} : 3.9 \times \frac{1}{1} = 375 : 39 = 125 : 13$$

$$(\Rightarrow) \frac{1}{C_1} = \frac{3t}{25} \text{---(1)}$$

$$\frac{1}{C_2} = \frac{t}{3.9} + \frac{t}{7.6} + \frac{t}{3.9} = \frac{3t}{3.9} + \frac{t}{7.6} = \frac{22.8t + 3.9t}{3.9 \times 7.6} = \frac{26.7t}{29.64} \text{---(2)}$$

$$\frac{(2)}{(1)} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\frac{26.7t}{29.64}}{\frac{3t}{25}} = \frac{25 \times 26.7}{29.64 \times 3} = 7.5067$$

六、矽 p-n 接面在 $T=300\text{ K}$ 之施體雜質與受體雜質濃度分別為 $N_D=10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 及 $N_A=10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ，且未施加電壓；本質載子濃度 $n_i=1.5 \times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ 。試求空乏區寬度及最大電場強度分別為？(20 分)

$[kT_{300\text{ K}}=0.0259\text{ eV}$ 、單位電量 $q=1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ 、介電常數為 $11.7\epsilon_0(\epsilon_0=8.85 \times 10^{-14}\text{ F/cm})]$

1.《考題難易》★★：簡單

2.《破題關鍵》：

瞭解二極體空乏區特性與推導

【擬答】

$$(\Rightarrow) V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = 0.0259 \times \ln \left(\frac{10^{16} \times 10^{15}}{(1.5 \times 10^{10})^2} \right) = 0.635\text{ V}$$

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} V_{bi} \left(\frac{N_A + N_D}{N_A N_D} \right)} = \sqrt{\frac{2 \times 11.7 \times 8.854 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} \times 0.635 \times \frac{10^{16} + 10^{15}}{10^{16} \times 10^{15}}}$$

$$= 0.951 \times 10^{-4}\text{ cm} = 0.951\text{ }\mu\text{m}$$

$$(\Rightarrow) x_n = 0.8644\text{ }\mu\text{m}, x_p = 0.0864\text{ }\mu\text{m}$$

$$E_{\max} = -\frac{qN_D x_n}{\epsilon_s} = -\frac{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{16} \times 0.8644 \times 10^{-4}}{11.7 \times 8.854 \times 10^{-14}} = -1.34 \times 10^4\text{ V/cm}$$

志光 學儒 保成

站上工科巔峰

電力工程 電子工程
機械工程 電信工程

112高普考&111地方特考 TOP10 強勢上榜

狀元	榜眼	探花
普考 電力工程 許○軒 高普考 電子工程 郭○瑞	普考 電力工程 許○軒 地特三等(台北市) 電子工程 郭○瑞 地特四等(台北市) 電力工程 張○境	普考 電力工程 呂○勳 地特四等(台北市) 電子工程 楊○榮 地特四等(高雄市) 電子工程 何○宇
【全國第四】普考 電力工程 林○彬 【全國第五】普考 電力工程 莊○鈞 【台北市第五】地特三等 電子工程 薛○文	【全國第六】普考 電信工程 朱○萱 【全國第七】普考 電子工程 王○廷 【全國第八】高普考 電力工程 林○彬	【全國第八】高普考 電子工程 黃○源 【全國第八】普考 電子工程 黃○軒 【全國第十】高普考 機械工程 徐○甫

優秀考取 菁英薈萃

高普考 電力工程 孫○勝；高普考 電力工程 陳○文；普考 電力工程 蔡○穎；高普考 電子工程 林○陞；高普考 機械工程 翁○駿；普考 機械工程 翁○駿
高普考 電力工程 呂○勳；高普考 電力工程 汪○懷；普考 電力工程 王○宏；普考 電子工程 廖○崇；高普考 機械工程 賴○儒；普考 機械工程 徐○甫
高普考 電力工程 郭○謙；高普考 電力工程 蔡○穎；普考 電力工程 郭○允；普考 電子工程 蔡○恩；高普考 機械工程 張○傑；普考 機械工程 陳○昇
高普考 電力工程 林○佑；高普考 電力工程 郭○瑞；普考 電力工程 蔡○翰；普考 電子工程 林○仁；普考 機械工程 余○緯；普考 機械工程 高○倫
高普考 電力工程 許○騰；普考 電力工程 郭○宗；普考 電力工程 陳○豐；普考 電子工程 郭○謙；普考 機械工程 官○麟；普考 機械工程 廖○宏
高普考 電力工程 莊○鈞；普考 電力工程 郭○謙；普考 電力工程 蔡○典；普考 電子工程 郭○憲；普考 機械工程 廖○道；普考 機械工程 黃○浩
高普考 電力工程 王○宏；普考 電力工程 蔡○祐；高普考 電子工程 周○明；普考 電子工程 林○陞；普考 機械工程 賴○儒；普考 機械工程 張○傑

版面有限 無法一一刊列