

113 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
 考試時間：2 小時

陳銘老師

一、砷化鎵 (GaAs) 半導體在 $T=300\text{ K}$ 之本質載子濃度 $n_i=1.8\times 10^6\text{ cm}^{-3}$ ，其施體雜質與受體雜質濃度分別為 $N_D=2\times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ 及 $N_A=0$ ，且為完全解離。假設電子與電洞之遷移率分別為 $\mu_n=8500\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 及 $\mu_p=400\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ；單位電量 $q=1.6\times 10^{-19}\text{ C}$ 。試求：

- (一) 電子與電洞濃度分別為何？(10 分)
 (二) 若外加電場為 $E=15\text{ V/cm}$ ，其漂移電流密度為何？(10 分)

1. 《考題難易》：★★
 2. 《解題關鍵》：瞭解濃度計算與漂移電流密度公式
 3. 《命中特區》：第一篇元件物理 1-1 本質與外質半導體觀念

【擬答】：

(一) 電子與電洞濃度分別為

$$n = N_D = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{(1.8 \times 10^6)^2}{2 \times 10^{16}} = 1.62 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$$

(二) 漂移電流密度公式如下

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

$$J_{\text{drift}} = 1.6 \times 10^{-19} \times [2 \times 10^{16} \times 8500 + 1.62 \times 10^{-4} \times 400] \times 15$$

$$\approx 1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{16} \times 8500 \times 15 = 408 \text{ A/cm}^2$$

二、(一) 請輔以數學表示式說明影響半導體「導電率 (conductivity)」之因素為何？(10 分)

(二) 載子傳輸包含漂移 (drift) 與擴散 (diffusion) 兩種主要機制。請輔以數學表示式說明影響半導體「電流密度 (current density)」之因素為何？(10 分)

1. 《考題難易》：★★
 2. 《解題關鍵》：導電率因素與載子傳輸機制
 3. 《命中特區》：第一篇元件物理 1-2 載子傳輸現象

【擬答】：

(一) 導電率 (conductivity) 數學表示式如下

$$\sigma = pq\mu_p + nq\mu_n$$

因素包含電子濃度、電子移動率、電洞濃度、電洞移動率

(二) 電流密度 (current density) 數學表示式如下

$$J = J_{\text{diff}} + J_{\text{drift}} = (qD_n \frac{dn}{dx} - qD_p \frac{dp}{dx}) + (pq\mu_p + nq\mu_n) \times E$$

半導體中可產生電流有漂移與擴散兩種主要機制，擴散電流是載子由高濃度區域往低濃度區域流動的過程，與濃度梯度成正比；另外半導體的電子與電洞受到電場加速作用會產生漂移，產生的電流稱為漂移電流。

三、p-n 接面二極體與蕭特基能障 (Schottky barrier) 二極體均可具有整流 (rectification) 功效。請輔以數學表示式說明影響上述兩者元件之「逆向飽和電流密度 (reverse-saturation current density)」之因素分別為何？(20 分)

1. 《考題難易》：★★★
2. 《解題關鍵》：比較 PN 二極體與蕭特基能障公式與機制
3. 《命中特區》：第一篇元件物理 4-1 金屬-半導體接觸

【擬答】：

二極體的逆向飽和電流密度其值較小，為

$$J_S = \frac{qD_p p_{no}}{L_p} + \frac{qD_n n_{po}}{L_n}$$

因素主要是少數載子注入主控，且與少數載子的擴散係數與長度有關。

蕭基二極體之少數載子電流密度為

$$J_S = A^* T^2 e^{-q\phi_{Bn}/kT}$$

因素主要與位障高度、溫度有關。

四、矽半導體 n 通道金屬-氧化物-半導體場效電晶體 (MOS-FET) 之閘極長度 $L = 1.25\mu\text{m}$ 、電子遷移率 $\mu_n = 650\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、臨界電壓 $V_{th} = 0.65\text{ V}$ 、閘極氧化層電容 $C_{ox} = 6.9 \times 10^{-8}\text{ F/cm}^2$ ，且測得在閘-源極偏壓 $V_{GS} = 5\text{ V}$ 之汲極飽和電流 ($I_{D,sat}$) 值為 8 mA 。試求閘極寬度 (W) 為何？(20 分)

1. 《考題難易》：★★
2. 《解題關鍵》：知道 MOSFET 元件在不同區域之電流公式
3. 《命中特區》：第一篇元件物理 4-3 MOSFET 元件介紹

【擬答】：

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \times \frac{W}{L} \times [V_{GS} - V_T]^2$$

$$\Rightarrow 8\text{ m} = \frac{1}{2} \times 650 \times 6.9 \times 10^{-8} \times \frac{W}{1.25\mu} \times (5 - 0.65)^2 \Rightarrow W = 23.566\mu\text{m}$$

五、試就「加熱週期」、「加熱率」、「熱預算」、「製程產能」等四項因素，分別比較傳統爐管熱退火與快速熱退火 (RTA) 技術之差異？(20 分)

1. 《考題難易》：★★★
2. 《解題關鍵》：比較傳統爐管與 RTA 之不同
3. 《命中特區》：第二篇製程技術 3-2 離子佈植技術

【擬答】：

(一) RTA 與傳統爐管的回火最大差別的地方是入射的離子的再分佈的問題。目前由於元件越來越小，因此以傳統爐管回火將造成元件的摻雜圖案失控，使元件的縮小化無法再進行下去，用 RTA 使摻雜原子沒有足夠的時間擴散。

1. RTA 加熱週期:升溫與持溫的時間短，故可避免不必要的擴散產生。
2. RTA 加熱率:相較於傳統爐管熱退火溫度高、作業時間長，不適用於愈來愈精密細小的元件；RTA 溫度較低、作業時間短。
3. RTA 熱預算:與爐管需要數小時以上的製程時間相比，RTP 能提供非常低的熱預算。
4. RTA 製程產能:兩者間主要差別在於爐管回火可同時應用在多批晶圓(batch)，而 RTA 是單片(single wafer) 製程。



志光 學儒 保成

工科上榜養成規劃

1 **法科架構班**
結合實務例子
建構法科概念

2 **扎實正規班**
完整堂數
循序漸進

3 **獨家 進階課程**
圖解階段複習
解題技巧灌輸

4 **工科全科班**
公職+國營
一次到位

5 **主題題庫班**
主題教學
考點分析

6 **精華總複習**
掌握考點
增強實力

7 **全真模擬考**
比照真實考試
檢視應考實力

8 **考前關懷講座**
名師最終提點
觀念更加清晰

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

詳細課程內容，歡迎至志光學儒保成全國門市洽詢

職
王