

電子概論講義

第一回

50223K-1



社團法 人 考友社 出版發行

第一講 基本概論

命題重點

一、原子之電性

- (一)原子結構：
- 原子 $\left\{ \begin{array}{l} \text{原子核：包括質子、中子、質子帶正電、中子不帶電。} \\ \text{電 子：繞原子核而旋轉，帶負電。} \end{array} \right.$

(二)質子、中子、電子之質量與電性：

| | 電 子 | 質 子 | 中 子 |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 質 量 | 9.11×10^{-28} 克 | 1.672×10^{-24} 克 | 1.675×10^{-24} 克 |
| 電 性 | -1.602×10^{-19} 庫倫 | $+1.602 \times 10^{-19}$ 庫倫 | 中 性 |

- (三)原子最外層之電子軌道，謂之電價層，元素之化學活動性決定於該層電子分佈之多寡，通常電子之數目 = 4 為半導體，大於 4 為不良導體，小於 4 為良導體。
- (四)很多原子相結合而成為晶體時，其能階變成三區，即價電子區、禁止區及傳導區。
- (五)電子如在傳導區內能自由移動，稱為自由電子，在價電子區內，不能自由移動，稱為價電子。
- (六)1.絕緣體：禁止帶甚大，在常溫下，電子不致於從原子價帶向傳導帶作熱激勵。但如給予 10^6V/m 以上之電場或強力放射線的能量，則電子將飛越禁止帶而到達傳導帶。
- 2.半導體：禁止帶寬度甚小。對鎢而言，為 0.72eV ，矽為 1.10eV ，在常溫時，只有少數電子在傳導區，故仍能導電，但導電性不佳。
- 3.導體：原子價帶與傳導帶相互重疊，所以僅需約 0.01eV 之能量，電子將可自原子價帶進入傳導帶。

二、電子及電子效應

- (一)原子最外層電子受光、熱或其他能量作用，而脫離原子核的束縛力，稱之為自由電子。
- (二)原子失去一個或數個電子後，使原子呈正性，稱為正離子。原子獲得一個或數個電子後，使原子呈負性，稱為負離子。
- (三)在正常狀態下，軌道中電子之離心力與原子核之向心力相等，電子與原子核之間的引力依庫倫定律：

$$F = \frac{(Q_e Z) Q_e}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

式中 Z ：係原子序數，亦即質子或電子數目； Q_e ：為電子之電量（庫倫）；
 $Q_e Z$ ：代表原子核本身所荷電量； r ：為原子核與軌道電子間之距離（米）；
 ϵ_0 ：真空中之導電率， F ：引力（牛頓）。

(四) 電子或離子在電場內所受力的作用，係與所荷電量及電場強度之積成正比。

$$F = Q \cdot E$$

式中 F ：力（牛頓）； Q ：電量（庫倫）； E ：電場強度（每公尺伏特）

(五) 一個電子或離子通過兩點電位差，將受電場作用而運動，其移動速度

$$v = \sqrt{2VE/m}$$

式中 m ：質量（仟克）； E ：電荷（庫倫）； V ：加速電壓（伏特）

(六) 在磁場中之流動電子，依佛萊明左手定則，一方面呈圓形運動，另一方面與磁力線相垂直方向運動，結果合成“螺旋形”運動。

$$f = B \frac{e}{\Delta t} \Delta x = Be v_0$$

式中 f ：牛頓； B ：磁通密度（韋伯 / 平方米）；

e ：電荷（庫倫， 1.602×10^{-19} ）； v_0 ：電子速率（米 / 秒）

(七) 熱電子放射：

以熱力供給電子所需的能量而使電子逸出金屬表面的發射。

由李察遜 - 狄西曼氏的實驗公式： $J = AT^2 e^{-b_0/T}$

式中 J ：放射電流密度（安培 / 平方公尺，即 A / m^2 ）；

T ：絕對溫度 $^{\circ}K$ 或 $(273 + ^{\circ}C)$ ；

e ：自然對數底（2.7183）；

A ：常數，依放射體之種類而異；

b_0 ：電子突破金屬表面所需作之功或能。

(八) 二次放射：一固體物質受高速度的電子或正離子的撞擊而放射電子。愈純的金屬較含有碳分子金屬二次放射率為高，一般來說，二次放射的能量約為在 20 電子伏特左右。

(九) 強電場放射：

1. 定義：以高能量電場作用於金屬表面，使電子自金屬，或其他物質表面逸出，如常見之電火花，尖端放電，閃電等現象。

2. 強電場約在 10^8 伏特 / 米以上，在常溫亦能將電子自某金屬表面吸出來。

3. 電子管中陰極射線管（C.R.T），便是利用該原理設計之製品。

(十) 光電效應：

1. 定義：物質受光線照射，雖在室溫下，亦能產生電子放射，如光電池，光電晶體，都是其應用。

2. 光為電磁輻射，光具有能量，光之質點稱為光子，如一質點以頻率 f 振動時，則放出能量為 hf 的光子。

$$W = hf$$

式中 h ：蒲朗克常數 (6.626×10^{-34} 焦耳·秒)； f ：頻率 (Hz)

3. 由公式 $W = hf = hc/\lambda$ 得知，波長愈短，光子的能量愈大，光子能量與其頻率成正比，而與波長成反比。
4. 放射電子數量多少，與光之照度，光之頻率以及被照物質有關。
5. 光電物質每單位時間內放射電子數與射入光之強度成正比。
6. 光電物質釋放之電子的最大能量與射入光之強度無關，而與光的頻率成正比。光電管即應用此種原理製成。

三、原子能階及狀態

(一) 電子伏特 (eV)：一電子穿越一伏特之電位差時，其所具有的能量稱之為一電子伏特。

$$1 \text{ eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}) (1 \text{ 伏特}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

(二) 波爾原子假說：

1. 原子只有幾個間斷的能量值，電子具有此能量時為穩定狀態，不放出能量。
2. 電子由一個穩定狀態之能量 W_1 跳至另一個穩定狀態 W_2 時，電子放出能量，其頻率是：

$$f = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

式中 h ：蒲朗克常數 (6.626×10^{-34} 焦耳·秒)；

W ：單位是焦耳；

f ：頻率 (Hz)

3. 電子之穩定狀態，因其角動量是量子化，可算出電子之可能能量為：

$$W_n = -\frac{mq^4}{8 h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

4. 由 $f = \frac{W_2 - W_1}{h}$ 可化為下式，即電子若由一個狀態跳至另一狀態，則輻射出光，該光的波長

$$\lambda = \frac{12400}{E_2 - E_1}$$

式中 λ ：波長，單位是埃 ($\text{\AA} = 10^{-10}$ 公尺)；

E ：能階，單位是電子伏特

5. 光波速度： $v = f \cdot \lambda$

式中 v ：波速 (3×10^8 米/秒或 186000 哩/秒)；

f ：頻率 (Hz)；

λ ：波長 (米)

6. 電磁波與光波為橫波，聲音必須靠介質傳播，而光波沒有介質亦能傳播。

精選試題

一設電場強度為 4×10^8 (伏特/米)，電子所帶的電量 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 庫倫，試求一電子在電場中所受力的大小為多少牛頓？

【解】 $F = Q \cdot E$
 $= 1.602 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^8 = 6.408 \times 10^{-11}$ 牛頓

二設兩平行板，相距 2 cm，加上電壓 1000 伏特，若一電子自正極釋放，則其受力大小為多少牛頓？

【解】 $F = q \cdot \epsilon$
 $= 1.60 \times 10^{-19} \times [1000 / (2 \times 10^{-2}) \text{ 伏特/公尺}]$
 $= 1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫} \times 5 \times 10^4 \text{ 牛頓/庫倫}$
 $= 8 \times 10^{-15}$ 牛頓

三一波長為 1026 埃之光子被氫所吸收，放出二個光子，若其中之一為 1216 埃，則另一光子的波長為若干？

【解】氫原子所吸收之能量為： $E_t = \frac{12400}{\lambda} = \frac{12400}{1026} \doteq 12.09 \text{ eV}$

波長 1216 埃光子之能量為： $E_1 = \frac{12400}{\lambda_1} = \frac{12400}{1216} = 10.20 \text{ eV}$

故另一光子之能量為： $E_2 = E_t - E_1 = 12.09 - 10.20 = 1.89 \text{ eV}$

故其波長為： $\lambda_2 = \frac{12400}{E_2} = \frac{12400}{1.89} \doteq 6550 \text{ \AA}$

四(1)若要激發波長為 5893 埃之黃色光譜線，則電子在鈉氣燈中之進行速度應為若干？(2)若欲以光子產生同樣之黃光，其頻率為若干？

【解】(1)黃色光譜之能量 $E = 12400 / 5893 = 2.11 \text{ eV}$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2Ve}{m}} \left(= \sqrt{\frac{2 \times V \times 1.60 \times 10^{-19}}{9.11 \times 10^{-31}}} \doteq 5.93 \times 10^5 \times V^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{電子速度 } v &= 5.93 \times 10^5 \times V^{\frac{1}{2}} = 5.93 \times 10^5 \times (2.11)^{\frac{1}{2}} \\ &= 8.6 \times 10^5 \text{ m/sec} \\ (2) \text{光子頻率 } f &= \frac{E}{h} = \frac{2.11 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.626 \times 10^{-34}} = 5.07 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

五某一發射機之載波頻率為1200仟赫，求其波長為多少米？

$$\text{【解】 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{(3 \times 10^8)}{(1200 \times 10^3)} = 250 \text{ 米}$$

六短波之波長不能大於200公尺，求其頻率之範圍？

$$\text{【解】 } v = f \lambda$$

$\therefore f$ 與 λ 成反比， $\therefore \lambda$ 為最大時則 f 為最小，

$$\text{故 } f_{\min} = \frac{(3 \times 10^8)}{200} = 1500 \text{ KHz}，\text{ 因此頻率 } f \text{ 需 } \geq f_{\min}$$

七一波長為1216埃之光子激勵一靜止之氫原子，試求(一)射入原子之光子動量；
(二)相當於此動量及射入氫原子之能量；(三)在(二)中求得之能量與光子能量之比。

$$\text{【解】 (一) } P = \frac{h}{\lambda} = \frac{(6.626 \times 10^{-34})}{(1.216 \times 10^{-7})} = 5.448 \times 10^{-27} \text{ Kgm/sec}$$

$$(二) \text{動能 } E_1 = \frac{1}{2} m v^2，\text{動量 } P = m v，$$

$$\therefore E_1 = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{\frac{(m v)^2}{m}\right\} = \frac{P^2}{2m}$$

$$E_1 = \frac{(5.448 \times 10^{-27})^2}{2 \times 1.67 \times 10^{-27}} = 8.95 \times 10^{-27} \text{ 焦耳 (射入氫原子能量)}$$

$$E_2 = h \cdot f = h \cdot (C / \lambda) = P C$$

$$E_2 = (5.448 \times 10^{-27}) \times (3 \times 10^8) = 1.58 \times 10^{-18} \text{ 焦耳 (光子能量)}$$

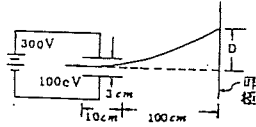
$$(三) E_1 / E_2 = 5.66 \times 10^{-9}$$

八若 $B = 10^{-3}$ 韋伯/米²，電子移動速度 $V = 5 \times 10^8$ 米/秒，與 B 垂直，則此電子運動半徑為若干米？

【解】

$$R = \frac{mv}{q \cdot B} = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 5 \times 10^8}{1.60 \times 10^{-19} \times 10^{-3}} \doteq 2.84 \text{ 米}$$

九一電子以 100 eV 之能量射入一平行偏向板，該板長 10 cm，距離 3 cm，兩端施以 300 V 偏向電壓，如該電子可穿過偏向板，到達屏極，試求該電子偏離中心點之距離 $D = ?$ ，如無法穿過偏向板。則計算在何處碰到偏向板。（註： $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 庫侖， $m = 9.1 \times 10^{-31}$ 公斤，電子自偏向板中央射入）。



【解】：電子受加速陽極之作用產生一電能 $F = Q \cdot V$ ，而電子移動產生之動能為

$$\frac{1}{2}mv^2, \therefore \text{動能} = \text{電能}$$

$$\therefore \frac{1}{2}mv^2 = 100\text{ev} \quad \therefore v = \sqrt{\frac{200\text{ev}}{m}}$$

經過 10 cm 距離所需的時間為

$$t = \frac{\ell}{v} = \frac{\ell}{\sqrt{\frac{200\text{ev}}{m}}} = \sqrt{\frac{\ell^2 \times m}{200\text{ev}}} \quad (\ell \text{ 為偏向板長度 } 10\text{cm})$$

$$\text{而 } \frac{V_D}{d} = \frac{F}{Q} = \frac{ma}{Q} \quad (V_D \text{ 為偏向板之電壓，} d \text{ 為二板之距離}) \quad a = \frac{V_D \times Q}{d \times m}$$

$$\text{且 } \frac{d}{2} = \frac{1}{2} a t_1^2 \quad (t_1 \text{ 為電子加速後經過 } 1.5\text{cm} \text{ 距離所需之時間})$$

$$\therefore t_1 = \sqrt{\frac{d}{a}} = \sqrt{\frac{m \times d^2}{V_D \times Q}}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } \frac{t_1}{t} &= \frac{\sqrt{\frac{m \times d^2}{V_D \times Q}}}{\sqrt{\frac{\ell^2 \times m}{200\text{ev}}}} = \sqrt{\frac{m \times d^2}{V_D \times Q} \times \frac{200\text{ev}}{\ell^2 \times m}} = \sqrt{\frac{(0.03)^2 \times 200}{300 \times (0.1)^2}} \\ &= 0.245 \end{aligned}$$

此值小於 1，因此電子無法穿過偏向板到達屏極，

$$x = \ell \times \frac{t_1}{t} = 10\text{cm} \times 0.245 = 2.45\text{cm}$$

因此電子在距進入偏向板（由左邊進入）2.45cm之處碰到偏向板。

六有一LED外加1伏特電壓時，流過15mA電流，設其輸入功率全部轉換成頻率為 7.5×10^{14} Hz的光線，則在1秒內LED放出的光子數等於？
（提示： h 為蒲郎克（Plank）常數= 6.626×10^{-34} 焦耳·秒）

【解】LED輸入功率= $1 \text{ V} \times 15 \text{ mA} = 15 \text{ mW} = 15 \text{ m焦耳/秒}$

$$\therefore W = nhf$$

$$\begin{aligned} \therefore n &= \frac{W}{hf} = \frac{15 \times 10^{-3}}{6.626 \times 10^{-34} \times 7.5 \times 10^{14}} = \frac{15 \times 10^{-3}}{49.6875 \times 10^{-20}} \\ &= 0.3 \times 10^{17} = 3 \times 10^{16} \text{ 個光子} \end{aligned}$$

七頻率為3GHz之光子，其質量為多少KG？

【解】 $P = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{v/f} = \frac{h \cdot f}{v} = mv \quad \therefore mv^2 = h \cdot f$

$$\begin{aligned} m &= \frac{h \cdot f}{v^2} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^9}{(3 \times 10^8)^2} = \frac{19.86 \times 10^{-25}}{9 \times 10^{16}} \\ &= 2.21 \times 10^{-41} \text{ kg} \end{aligned}$$

八在矽晶體中，欲使電子由共價鍵中釋放出來而成自由電子，至少需多少能量？

【解】(一)在 0°K 時之能隙，鎳為0.785eV，矽為1.21eV。

(二)在室溫（ 300°K ）時之能隙，鎳為0.718eV，矽為1.102eV。

第二講 二極體與二極體電路

命題重點

一、本質半導體

- (一) 鍺 (Ge) 和矽 (Si) 是電子器材中最重要兩種半導體材料，它們都是屬於四價元素，最外層軌道有四個價電子，並與鄰近另四個原子的價電子共用，如此最外圍的軌道就有了八個價電子，而達成穩定的結構。
- (二) 本質半導體由單一種半導體所構成，其電洞數目恰等於自由電子的數目（故電性為電中性）。
- (三) 半導體之導電是雙性的（電子及電洞），而真空管之導電則純為自由電子之流動所造成，故為單性。
- (四) 在低溫下（絕對溫度零度），結晶體內沒有任何自由電子，所有價電子都被共價鍵束縛，沒有足夠能量擺脫原子核的束縛，仿佛是一個絕緣體。
- (五) 當價電子動能增高至能脫離原子核的束縛時，就會掙脫原子核之束縛進入傳導帶，此稱之為共價鍵破裂。脫離共價鍵之電子，可以在結晶體內自由運動，稱之為自由電子，留下來一個空位我們稱之為電洞。每一個共價鍵破裂就產生一個自由電子和一個電洞，稱之為電子 - 電洞對。

二、雜質半導體

- 在本質半導體中，摻入雜質，即成為雜質半導體，可分為 P - 型及 N - 型。
- (一) P 型：加入三價雜質，如硼、銦、鎵，產生正電荷載體（含有多餘之電洞）該雜質又稱為受體。
 - (二) N 型：加入五價雜質，如磷、砷、銻，產生負電荷載體（含有多餘之自由電子），該雜質又稱為施體。
 - (三) P 型：多數載子為電洞，少數載子為電子。
N 型：多數載子為電子，少數載子為電洞。
 - (四) 在絕對零度時，物體內之各電子所帶有的最高能量稱為費米階 (Fermi Level) E_F ，純鍺或純矽在絕對零度時的費米階存在於價電子區與傳導區之間，即

$$E_F = 1/2 (E_c + E_v)$$
 - (五) 若物體產生電子或電洞時，則其電子之能量必大於費米階，而電洞所具有之能量則小於費米階。
 - (六) 漂移電流：在外加電壓影響下（亦即電壓梯度）載子移動所產生的電流。
 - (七) 擴散電流：由於濃度梯度，使載子移動時所產生的電流。
 - (八) 質量——作用定律 (mass-action law)：

在熱平衡下，自由的正、負濃度之乘積是一個定值，而與摻雜的施體及受體雜質的分量無關。

$$n \cdot p = n_i^2$$

n ：自由電子濃度 p ：電洞濃度 n_i ：本質濃度

三、溫度效應

- (一)當溫度提高時，價電子可由熱能之吸收而增強能量，以致共價鍵破裂愈多，自由電子與電洞之密度增加，導電將增強。
- (二)本質半導體呈現負溫度係數，亦即溫度愈高，導電性愈強，電阻值愈小；反之，電阻值愈高。
- (三)溫度每提高 1°C 則矽（鎢）之導電係數約增加百分之 $6 \sim 8$ 。其中鎢之導電係數約較矽大 1000 倍。因此，鎢受溫度之影響較矽大。

四、PN接面二極體

- (一)在PN接合之P端接正電壓，N接負電壓，謂之順向偏壓，而P端接負電壓，N接正電壓，謂之逆向偏壓。
- (二)空乏區將隨逆向偏壓而增大，空乏區裡僅存有正、負離子（P型區為負離子，N型區為正離子），此正、負離子就形成所謂障壁電勢。
- (三)當一逆向偏壓作用於P - N接合面上，仍有少數載體之流動，稱為逆向飽和電流或逆向漏電流，以 I_{co} 表示。
- (四)二極體之切入電壓，矽質 $= 0.6\text{V}$ ，鎢質 $= 0.1 \sim 0.2\text{V}$ ，順向偏壓時跨於二極體的電位降：

$$V_{Si} = 0.7\text{V} \text{ (矽)}, \quad V_{Ge} = 0.2\text{V} \text{ (鎢)}$$

(五)理想二極體：

- 1.當順向偏壓時，其內阻 R_f 為零；當逆向偏壓時，其內阻 R_r 為無限大。
- 2.無順向電壓降（即 $V_D = 0$ ），無逆向電流。

(六)實際二極體：

- 1.在二極體之特性曲線中，順向時電流為毫安（mA），反向時以微安（ μA ）為計算單位。
- 2.在逆向特性上，有一崩潰電壓值，矽晶體約為 -250V ，鎢約為 -50V ，點觸式二極體約介乎兩者之間。如圖2-1所示。

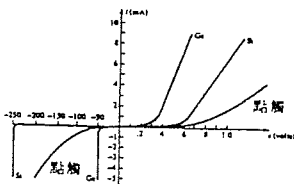


圖2-1 鎢、矽與點觸式二極體之特性曲線

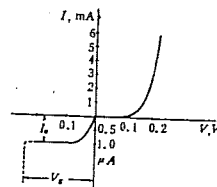


圖2-2 鎢質二極體逆向飽和電流之特性曲線

3. 半導體二極體的電流隨電壓成指數型增加。 $I = I_0(e^{V/\eta V_T} - 1)$ 。如圖 2-2 所示。

其中 I_0 : 反向飽和電流; V : 外加電壓 $\begin{cases} \text{若為順向偏壓, } V \text{ 為正。} \\ \text{若為反向偏壓, } V \text{ 為負。} \end{cases}$

η : $\begin{cases} 2, \text{ 對矽 (Si) 而言。} \\ 1, \text{ 對鍺 (Ge) 而言。} \end{cases}$ V_T : 溫度等效電壓

$V_T = T / 11,600$, T 用愷氏溫標, 若 $T = 300^\circ\text{K}$, $V_T = 0.026 \text{ V}$

4. 崩潰電壓: P-N 接合二極體的逆向電壓大到崩潰點時, 使逆向電流急劇增大之電壓。

累增崩潰: 乃因碰撞引起, 其崩潰電壓為正溫度係數。

稽納崩潰: 是因強電場引起, 其稽納電壓為負溫度係數。

5. 逆向峯值電壓 (PIV) 為二極體在逆向電壓下所能忍受而不崩潰的最高逆向電壓。矽二極體之 PIV 最高可達 1000 V 左右, 而鍺的最大值約為 400 V。

6. 鍺接合面所能支持而不損壞的最高溫度範圍為 60 至 100°C, 而矽接合面的範圍在 150 至 225°C 之間。

7. 溫度升高時, V_{BE} 降低, 鍺溫度每升高 1°C 約降 1 mV (即 -1 mV/°C), 矽溫度每升高 1°C 時約降 2.5 mV (即 -2.5 mV/°C)。

8. 二極體有靜態與動態電阻, 動態電阻並非定值, 其值與絕對溫度成正比, 與電流成反比。

$$R (\text{靜態電阻}) = V / I$$

$$r (\text{動態電阻}) = \frac{\eta V_T}{I + I_0} = \frac{26 \eta}{I + I_0} \approx \frac{26 \eta}{I} (\Omega) \quad [I : \text{取 mA}]$$

五、截波器

(一) 截波電路至少需要二種基本元件, 二極體與電阻器。

(二) 二極體之 P 端高於 N 端電壓, 則二極體 ON, 應視為短路, 若 P 端低於 N 端, 則二極體 OFF, 應視為開路。

(三) 電壓截波器依電路結構可以區分為:

1. 串聯式: 係指截位用二極體與負載相串聯, 二極體導電時, 方有電壓輸出, 如圖 2-3(a) 所示。

2. 並聯式: 係指截位用二極體與負載相並聯, 二極體截止時, 方有電壓輸出, 如圖 2-3(b) 所示。

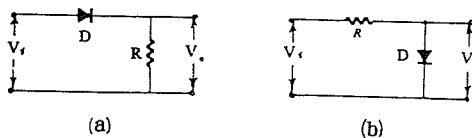


圖 2-3