

組員:鄭子嘉 B08502058 程鏡丞 B08502097 吳陳佑 B08502013

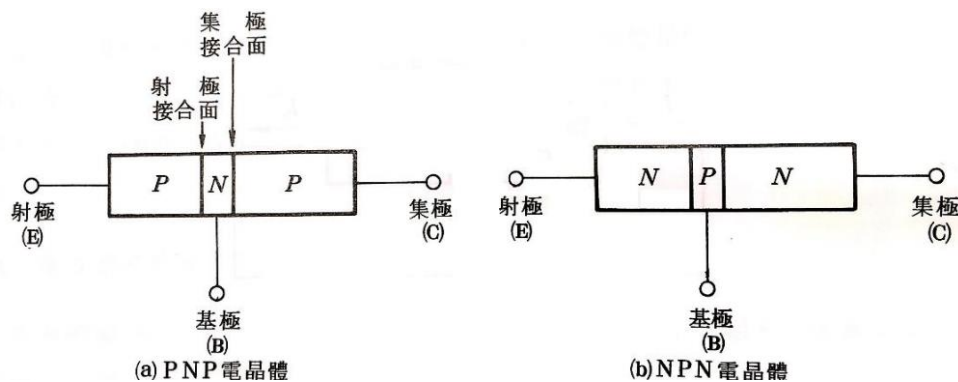
實驗目的 Objective

了解電晶體之工作原理、NPN/PNP 電晶體之差異，經由實驗觀察電晶體 I_B 、 I_C 、 I_E 之關係，並由實驗數據描繪其 V-I 特性曲線，並學習辨認電晶體之編號及其意義。

實驗原理 Principle**一、電晶體：**

假如在兩塊 P 型半導體之間夾一片很薄的 N 型半導體，或在兩塊 N 型半導體之間夾一片很薄的 P 型半導體，如圖(一)，即成為電晶體。

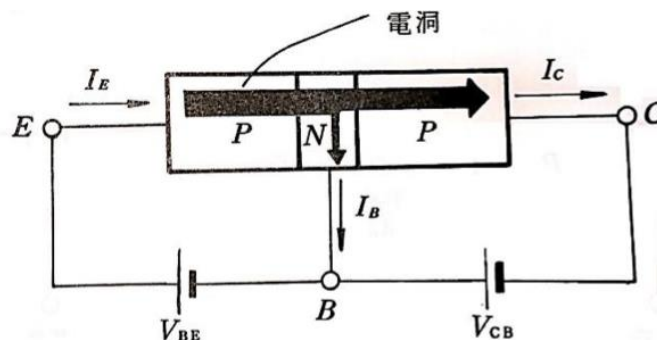
電晶體的三極分別為射極(emitter, E)、基極(base, B)及集極(collector, C)。



▲圖(一) 電晶體之構造示意圖

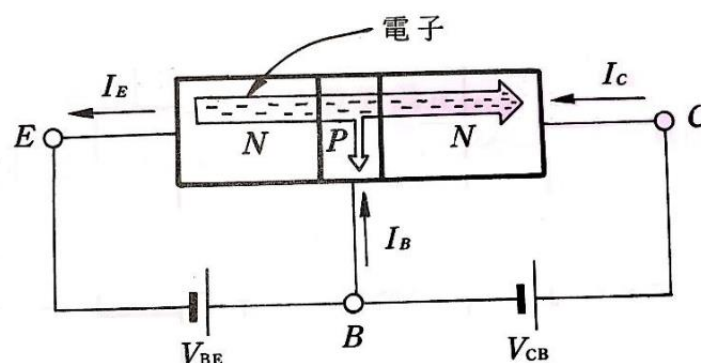
二、電晶體的特性：

如圖(二)所示，若在 PNP 電晶體之 C-B 極以及 B-E 極之間加上順向電壓，會發現 $I_E = I_B + I_C$ 且 $I_C \cong I_E \gg I_B$ ，因為電晶體的基極很薄而且雜質的參雜程度很低的緣故，在 V_{BE} 的驅使下 E 極內之電洞大量進入基極 B，但由於基極太薄，造成只有極少數的電洞與基極內的電子結合而產生些微的 I_B ，大部分的電動衝入集極造成大量 I_C 。



▲圖(二)

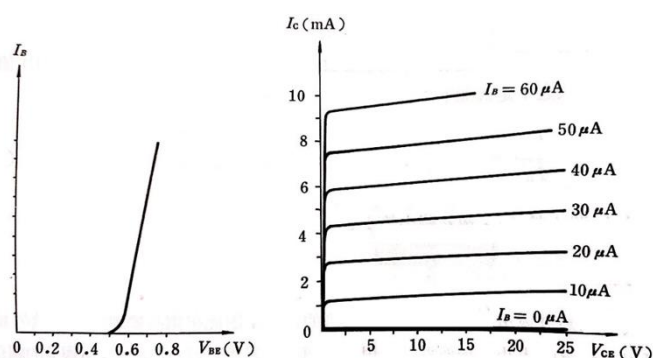
而反之，在 NPN 電晶體中，則如圖(三)所示，射極所發射的電子將大量通過基極進入集極，造成 $I_C \cong I_E \gg I_B$ 且 $I_E = I_B + I_C$ 。



▲圖(三)

三、電晶體的 V-I 特性曲線：

最常用於表示電晶體特性的特性曲線圖為 $V_{CE} - I_C$ 特性曲線，其次為 $V_{BE} - I_B$ 特性曲線。而 $V_{BE} - I_B$ 特性曲線是用來描述輸入電壓和輸入電流間的關係，所以稱為輸入特性曲線；而 $V_{CE} - I_C$ 則稱為輸出特性曲線。



▲圖(四) 輸入及輸出特性曲線

實驗步驟 Procedures

一、以三用電表判斷電晶體為 PNP 或 NPN

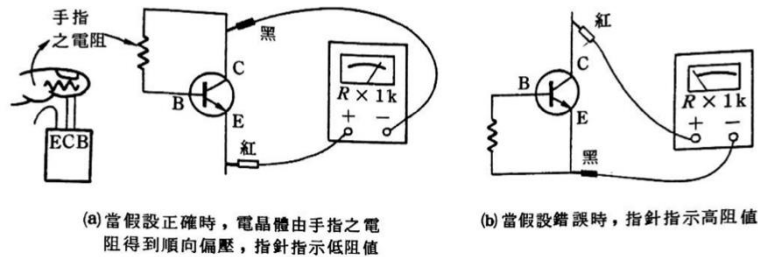
- (1) 用三用電表旋至 $R \times 1K$ 或 $R \times 100$ ，然後將試棒接觸在三個接腳中的兩個接腳，使三用電表指針產生大偏轉，此時這兩個接腳中必有一個為基極。
- (2) 任一試棒一至第三接腳(剛才空著的那個接腳)，若三用電表指針仍產生大偏轉，則試棒沒動的那個接腳為基極 B。如果試棒移至第三接腳時，三用表之指針偏動甚小，那表示試棒移開的那腳為基極。
- (3) 上述測試，指針偏轉很大時，若接觸在基極的是紅色測試棒，則此電晶體是 PNP 電晶體。反之，若指針偏轉很大時接觸在基極是黑測試棒，那麼你所測的是 NPN 電晶體。

二、以三用電表判斷電晶體之 E、B、C

(1) 用上述步驟找出 B 極。

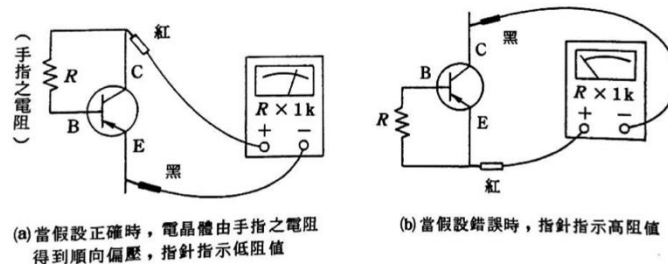
(2) 基極已找出來，再來就是假定所剩的兩腳一為集極 C 一為射極 E。

(3) 以 NPN 電晶體為例，三用電表轉至 $R \times 1K$ ，把黑棒(輸出正電壓)接在假定的集極 C，而紅棒接假定的射極 E，然後用手捏住基極 B 與集極 C，但不得讓 BC 兩極直接接觸。此時指針若有偏轉則接腳的假設是正確的，若指針在手捏住 BC 兩極時有較小的偏轉，則你的假設與實際相反，如圖五。



▲ 圖(五)

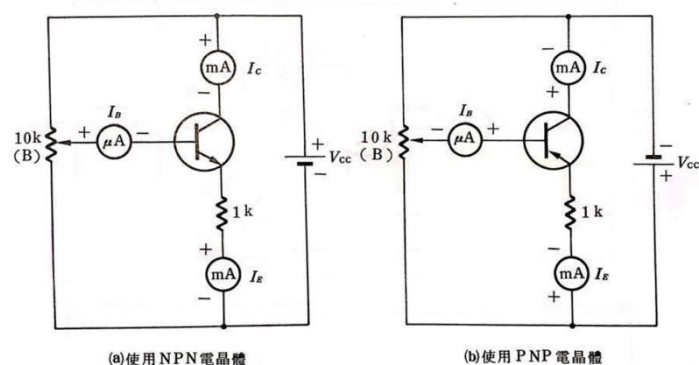
(4) 如果所測的是 PNP 電晶體，那麼情形與(3)相反，黑棒需接在假定的射極 E，紅棒接在假定的集極 C，如圖六。



▲ (圖六)

三、觀測 I_B 、 I_C 、 I_E 之關係

(1) 裝置如圖七之電路。假如電晶體為 NPN 型則電路如圖七(a)，若電晶體為 PNP 型則裝置圖如圖七(b)之電路。由於時間有限，我們只能進行 NPN 電晶體的實驗並量測對應數據。



▲圖(七)

(1) 調整 $10k\Omega$ 的可變電阻，使集極電流 $I_C = 2mA$ ，記下此時電流：

$$I_B = 6.45\mu A, I_E = 2.0085mA, I_C = 2.00mA$$

(2) 計算 α 值，即本電晶體在 $I_C = 2mA$ 時之 α 值。

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = 0.996$$

(3) 計算 β 值，即本電晶體在 $I_C = 2mA$ 時之 β 值。

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = 249$$

(4) $I_B + I_C = I_E$ 嗎？若上式無法成立試述其原因。

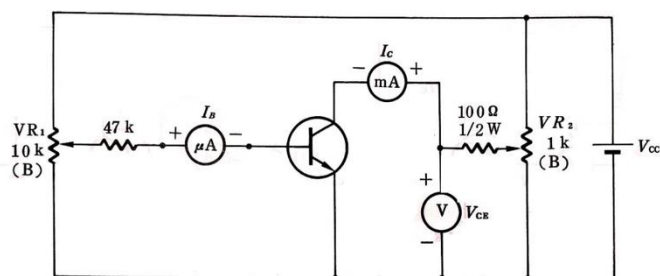
由於時間有限，我們這組只進行了 NPN 電晶體的實驗。從我們的量測數據看來， $I_B + I_C = 2.00865mA$ ，而 $I_E = 2.0085mA$ 。顯見 $I_B + I_C$ 雖大致等於 I_E ，但還是略大了一些。我們推測可能原因有二：三用電表(有內電阻)與 BJT 並非理想，所以會稍微影響我們所量測之電流值；以及量測過程產生之誤差。

(5) 比較圖七(a)及(b)，你發現使用不同極性之電晶體時，電路有何差異？

觀察圖七(a)、(b)可知：兩者之 I_B 、 I_C 、 I_E 流向皆相反。此外，外加電源 V_{CC} 的高低也相反。意即：NPN 與 PNP 電晶體之間其實是反接的關係。

四、測繪電晶體的 $V_{CE} - I_C$ 特性曲線

(1) 按照圖八接線。



▲ 圖八

(2) 電源 V_{CC} 用 DC 7~10V 皆可。

(3) 調節 VR_1 使 $I_B = 0\mu A$ 。

(4) 調節 VR_2 使 V_{CE} 依次為：

0.1V→0.2V→0.3V→0.5V→1.0V→2.0V→3.0V→4.0V→5.0V→6.0V(電源 $V_{CC}=7V$ 時，若 V_{CE} 無法達到 6V，則只做到 $V_{CC}=5.0V$ 即可)，並記下每一次對應 I_C 值於表中。(注意！調節 VR_2 時， I_B 可能變動，此時應調節 VR_1 使 I_B 為指定之恆值。)

(a) $I_B = 0\mu A$

$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$I_C(mA)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

其後轉動 VR_1 使 I_B 如表所列之 I_B 值，依照步驟 4 之方法測量 V_{CE} 與 I_C 之關係，並將結果記錄於下列表格之對應位置。

(b) $I_B = 10\mu A$

$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$I_C(mA)$	0.145	0.152	0.154	0.154	0.159	0.160	0.164	0.162	0.165	0.164

(c) $I_B = 20\mu A$

$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$I_C(mA)$	0.221	0.245	0.248	0.248	0.250	0.251	0.254	0.253	0.255	0.256

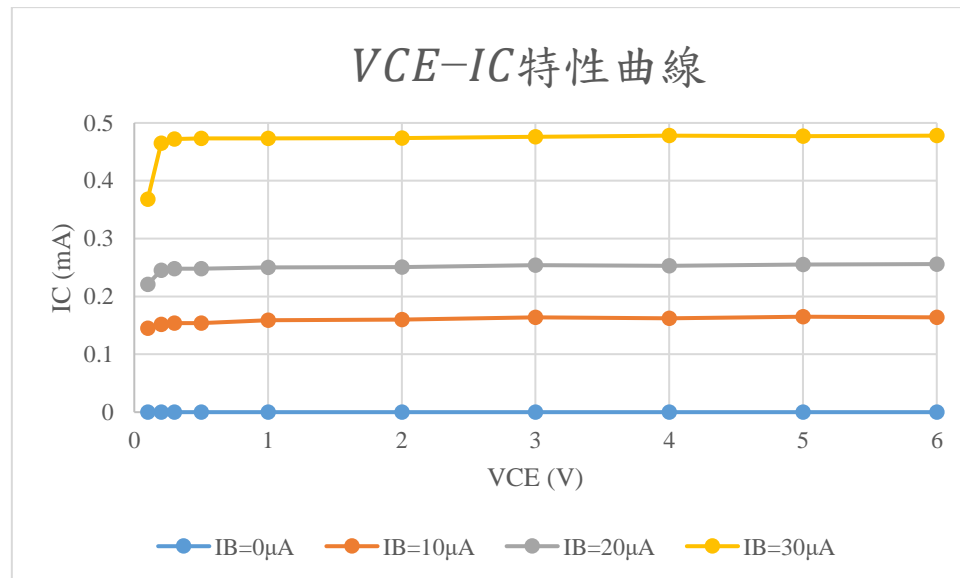
(d) $I_B = 30\mu A$

$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
$I_C(mA)$	0.388	0.465	0.472	0.473	0.473	0.474	0.476	0.478	0.477	0.478

進行這部分的實驗時，由於一開始選用的電子元件不知為何總是怪怪的，幾次嘗試後我們決定借用已做完這部分實驗的組別之儀器。但從 $I_B = 40\mu A$ 開始，不曉得是哪裡出了問題，我們又重接了幾次電路、也換過幾次的 BJT 與可變電阻，但就是測不出數據，所以在助教的指示下我們決定只針對相對看得出變化

趨勢的前面幾組實驗數據進行分析。

(5) $V_{CE} - I_C$ 特性曲線：



問題討論 Results & Discussions

Q1：電晶體的 I_B 、 I_C 、 I_E 三者之關係為何？

$$I_C = \beta I_B, I_E = I_C + I_B = (1 + \beta) I_B$$

Q2：電晶體的 I_B 與 I_C ，哪一個電流控制另一個電流？

I_B 控制 I_C ：因為 I_B 的有無或量值大小為判斷電晶體性質所必備之條件。

Q3： I_B 與 I_C 何者較大？若某電晶體之 $\beta = 50$ ，則當 $I_C = 25\text{ mA}$ 時， $I_B = ?$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{25}{50} = 0.5\text{ mA}$$