

第四章雙極性接面電晶體

※4-1 雙極性接面電晶體之結構及特性

1. 電晶體(Bipolar Junction Transistor 簡稱 BJT)為一個**三層半導體**元件，有 PNP 及 NPN 兩種型式。

2. 雙極性：乃表示電晶體之傳導電流是由不同極性之**電子與電洞**共同所組成(即其傳導載子有**兩種**)。

3. 電晶體的三端電極分別為：

- (1). **射極(Emitter)**：發射多數載子。
- (2). **基極(Base)**：控制集極收集多數載子之多寡。
- (3). **集極(Collector)**：收集由射極發射之多數載子。

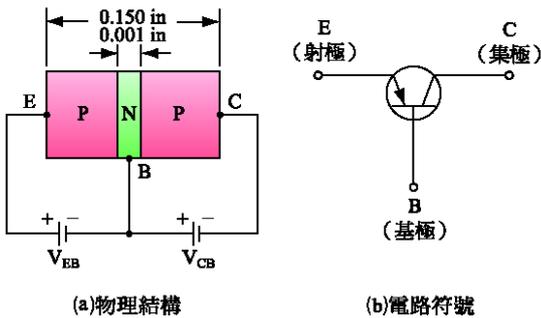


圖 4-1 PNP 型電晶體的物理結構及電路符號

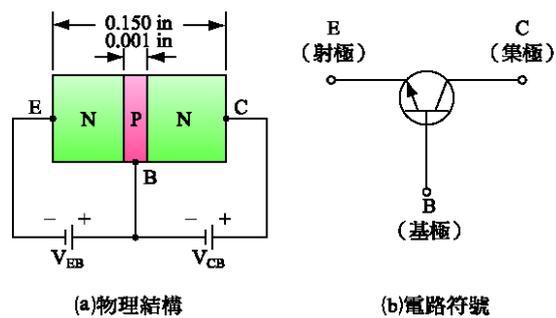


圖 4-2 NPN 型電晶體的物理結構及電路符號

4. 電晶體中各極的寬度大小為 $W_C > W_E > W_B$ ，基極寬度與整個電晶體寬度之比約為 **1 : 150**，若基極寬度愈薄則其可達到之擴散電流愈**大**，但太薄則有下列之不良之影響：

- (1). 因為 $C = \epsilon \frac{A}{d}$ 之關係，極際電容將增大，使**高頻**工作受限制。
 - (2). 接合面容易被打穿。
5. 摻雜載子濃度之關係為： $n_E > n_B > n_C$ 其主要原因：
- (1). **射極**區內的載子濃度須高於**基極**區，以便於載子由射極區向基極區擴散，而獲得較高之入射效率。
 - (2). **集極**區之載子濃度須低，以使集極接合面可承受較高**逆向崩潰**電壓。
 - (3). 因**射極**摻雜濃度高於**集極**，所以不可將射極及集極對調以免電晶體的**耐壓**及**增益**都將降低。
 - (4). 電阻係數關係： $B > C > E$ 。

6. 電晶體為**電流**控制元件，作為**線性放大**時必須在**主動**區內。

※4-2 電晶體之電流成分

1. 電晶體工作時之偏壓方式：

工作方式	B-E 接面(射極接面)	B-C 接面(集極接面)	用途
主動區 active	順向偏壓	逆向偏壓	線性放大
飽和區 saturated	順向偏壓	順向偏壓	交換電路
截止區 cutoff	逆向偏壓	逆向偏壓	
反主動區 inverse	逆向偏壓	順向偏壓	錯誤方式

2. 正常工作下(工作在主動區)電晶體各極電壓極性分別為：

(1). PNP 電晶體： $V_{BE} < 0, V_{CB} < 0, V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} < 0$

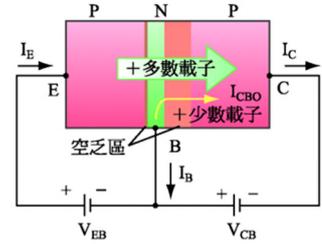
(2). NPN 電晶體： $V_{BE} > 0, V_{CB} > 0,$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} > 0$$

3. 電晶體放大器的工作原理：

(1). 當基-射間接上**順向**偏壓時，使射極接合面空乏區減少，因此多數載子可由射極流向基極區，兩極間呈現**低阻抗**，基-集間接上**逆向**偏壓，使集極接合面空乏區擴大，多數載子無法通過，只有少數載子流產生，因此基-集間呈現**高阻抗**。

(2). 當基-射間接上順向偏壓時，將使射極區之多數載子大量注入基極區，而成為基極區之超額少數載子，其中有一部分與基極之多數載子接合，而形成微量控制電流，其餘大部份將受到 C-B 間逆向偏壓的吸引，跨越接合面到達集極區而形成主要的工作電流。



(3). 電晶體的電流關係： $I_E = I_B + I_C$ 。

(4). 集極電流除了由射極之**多數**載子傳導所形成的 I_C 電流之外，還包含了逆向偏壓下由基集間之少數載子所形成的**逆向飽和**電流： $I_C = I_C(\text{多數載子}) + I_{C0}(\text{少數載子}) = \alpha I_E(\text{多數載子}) + I_{C0}(\text{少數載子})$ 。

4. 在固定電流條件下，電流由射極接合面之順向低電阻區轉入集極接合面逆向高電阻，將使電晶體具有電壓放大作用：

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{I_C \times R_o}{I_E \times R_i} = \alpha \times \frac{R_o}{R_i} \approx \frac{R_o}{R_i} > 1$$

5. PNP 電晶體導通之主要載子為**電洞**，NPN 電晶體導通之主要載子為**電子**，因電子之漂移率約為電洞漂移率之**兩**倍，故 NPN 電晶體的交換速度較 PNP 型**快**，更適合於**高頻**電路。

6. 電晶體之電流方向， I_C 及 I_B 一定同方向，且和 I_E 反方向。

7. 電晶體的電流關係：

$$(1). \alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B}$$

$$(2). \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

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

$$\gamma = \beta + 1 = \frac{1}{1 - \alpha} \quad \beta = \alpha \gamma$$

※4-3 電晶體之放大作用

1. 電晶體放大電路依其公共端點(接地點)之不同可分為三種型式：**共基極(CB)**、**共射極(CE)**、**共集極(CC)**。

2. 電晶體的特性曲線關係

(1). 輸入特性曲線為**輸入電流(Y軸)**與**輸入電壓(X軸)**的關係曲線。

(2). 輸入端的特性如同**二極體**一般。

(3). 輸出特性曲線為**輸出電流(Y軸)**與**輸出電壓(X軸)**的關係曲線。

3. 共基極組態：是指**基極**由輸入端及輸出端共同使用，輸入訊號由**射-基**間輸入，輸出訊號由**集-基**間輸出。又稱為**共基極**放大電路或**基極接地式**放大電路。

放大特性：

(1). 因射基間為**順向**偏壓，故有一低阻抗即輸入阻抗**小**(約為 20Ω)。

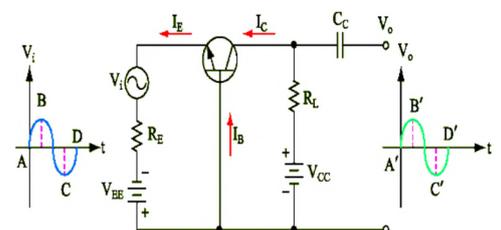
(2). 因集基間為**逆向**偏壓，故有一高阻抗即輸出阻抗**大**(約為 $100K\Omega$)。

(3). 電流增益： $A_i = \alpha = \frac{i_o}{i_i} = \frac{I_C}{I_E} < 1$ (I_C 略小於 1，約為 $0.90 < \alpha < 0.998$)。

(4). 電壓增益： $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o \times Z_o}{i_i \times Z_i} = \alpha \times \frac{Z_o}{Z_i} \approx \frac{Z_o}{Z_i}$ (有很大的電壓增益)。

(5). 功率增益： $A_p = A_v \times A_i \approx 1 \times A_v \approx A_v$ 。

(6). 輸入波形和輸出波形**同相位**。



(7).穩定因素 $S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CO}} = 1$ 為最穩定狀況。

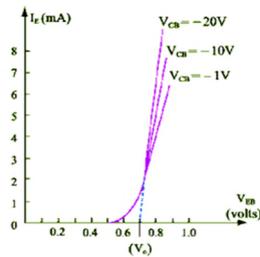
(8).有較小之諧波失真。

(9).過低之輸入阻抗易導致輸入阻抗失真。

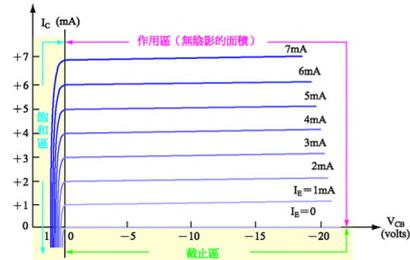
(10).可與低信號源電阻與高負載阻抗之電路作阻抗匹配。

(11).漏電流(I_{CBO} 或稱 I_{CO})：射極開路時，集基間之 I_{CO} 。

(12).輸入特性曲線和輸出特性曲線：



(11) 輸入特性曲線



輸出特性曲線

(13).產生電晶體崩潰之原因：**A.**和二極體相同之崩潰方式。**B.**因 V_{CB} 太大而產生穿透。

4.共射極組態：是指射極由輸入端及輸出端共同使用，輸入訊號由基-射間輸入，輸出訊號由集-射間輸出。又稱為共射極放大電路或射極接地式放大電路。

放大特性：

(1).具有一中等的輸入阻抗(約為 $1K\Omega \sim 5K\Omega$)及輸出阻抗(約為 $50K\Omega$)。

(2).電流增益： $A_i = \beta = \frac{i_o}{i_i} = \frac{I_C}{I_B}$ (有一很大的電流增益約在 $20 \sim 600$)。

(3).電壓增益： $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o \times Z_o}{i_i \times Z_i} = \beta \times \frac{Z_o}{Z_i}$ (有很大的電壓增益)。

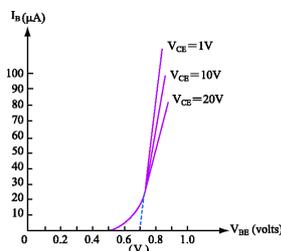
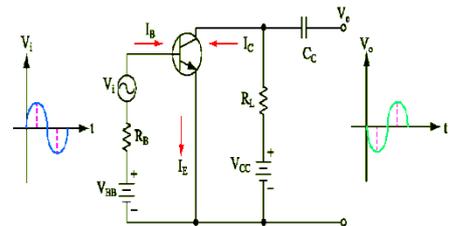
(4).功率增益： $A_p = A_v \times A_i$ 。

(5).輸入波形和輸出波形反相(即倒相 180°)。

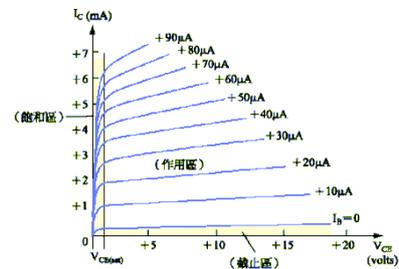
(6).漏電流(I_{CEO})：基極開路時，集射間之 I_{CO} 。

$$I_{CEO} = (1 + \beta) \times I_{CBO}$$

(7).輸入特性曲線和輸出特性曲線：



(6) 輸入特性曲線



輸出特性曲線

A.主動區：電晶體作為放大器時，為避免失真，必須使電晶體工作在主動區，即射極接面為順向偏壓，集極接面為逆向偏壓此時輸出電流由輸入電流決定，幾乎不受 V_{CE} 影響，即

$$I_C = \beta \times I_B + I_{CEO} = \beta \times I_B + (1 + \beta) I_{CBO} \approx \beta \times I_B$$

B.截止區：射極接面為逆向偏壓，集極接面為逆向偏壓此時 $I_B = 0$ ，其輸出電流 $I_C \approx 0$ ，僅有一微小漏電流存在即：

$$I_C \approx I_{CEO} \approx (1 + \beta) \times I_{CBO}$$

C.飽和區：電晶體飽和時，射極接面為**順向**偏壓，集極接面為**順向**偏壓輸出電流及輸入電流幾乎無關，欲使電晶體飽和必須有一足夠大之輸入電流即： $\beta \times I_B \geq I_{C(sat)}$

D.25°C時電晶體工作之各電壓值的關係：

	$V_{CE(sat)}$	$V_{BE(sat)}$	$V_{BE(act)}$	$V_{BE(cut-in)}$	$V_{BE(cut-off)}$
Si	0.2V	0.8V	0.7V	0.5V	0V
Ge	0.1V	0.3V	0.2V	0.1V	-0.1V

5.共集極組態：是指**集極**由輸入端及輸出端共同使用，輸入訊號由**基—集**間輸入，輸出訊號由**射—集**間輸出。又稱為**共集極放大電路**或**集極接地式放大電路**，或**射極隨耦器**。

放大特性：

(1).具有一**高輸入阻抗**及**低輸出阻抗**，適合作**阻抗匹配**。

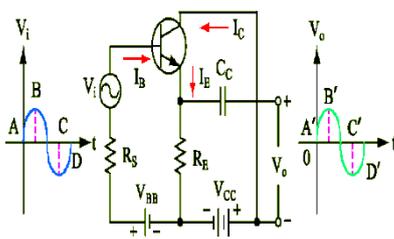
(2).電流增益： $A_i = \gamma = \frac{i_o}{i_i} = \frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta$ (有一很大的電流增益)。

(3).電壓增益： $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o \times Z_o}{i_i \times Z_i} = \gamma \times \frac{Z_o}{Z_i} \approx 1$ (A_v 略小於1)。

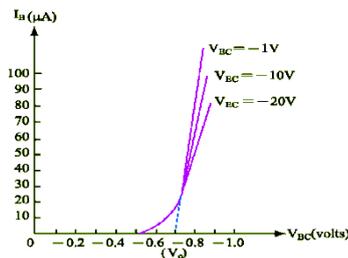
(4).功率增益： $A_p = A_v \times A_i \approx 1 \times A_i \approx A_i$ 。

(5).輸入波形和輸出波形**同相位**。

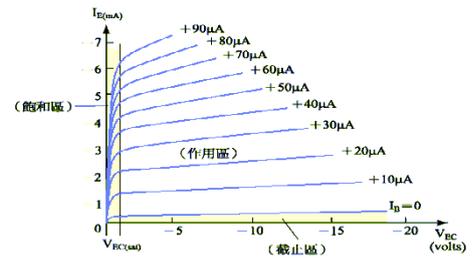
(6).輸入特性曲線和輸出特性曲線：



(6)



輸入特性曲線



輸出特性曲線

6.電晶體基本放大電路之比較：

	共基組態(CB)	共射組態(CE)	共集組態(CC)
輸入阻抗(Z_i)	低	適中	最高
輸出阻抗(Z_o)	最高	高	最低
電流增益(A_i)	低($\alpha \approx 1$)	高(β)	最高($\beta+1$)
電壓增益(A_v)	最高	高	低($\alpha \approx 1$)
功率增益(A_p)	中等	最高	最低
相位關係	同相 0°	反相 180°	同相 0°
失真度	小	大	小
穩定度	好	差	好
頻率特性	好	差	好
用途	高頻率響應較佳，常用於振盪器及高頻放大器	電壓與功率增益最大，是最廣泛使用的放大器	具有高輸入阻抗及低輸出阻抗，常用在阻抗匹配或緩衝器

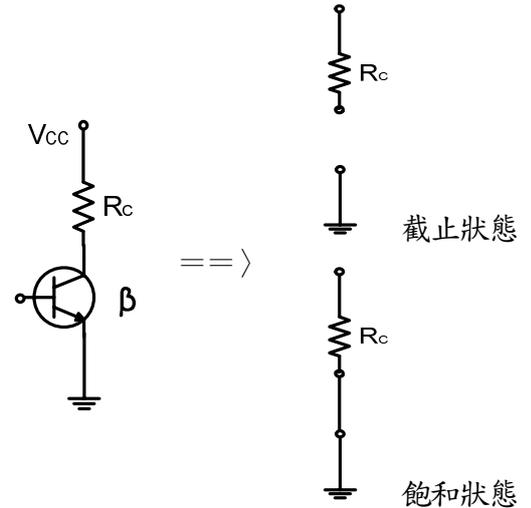
※4-4 電晶體之開關作用

1. 斷路(open): BJT 電晶體 BE 接面及 BC 接面均為逆向偏壓, 電晶體進入截止區工作, 此時狀態如同開關之斷路(OFF)。

$$I_B=0 \quad I_C=0 \quad V_{CE}=V_{CC}$$

2. 短路(short): BJT 電晶體 BE 接面及 BC 接面均為順向偏壓, 電晶體進入飽和區工作, 此時狀態如同開關之短路(ON)。

$$V_{CE(sat)}=0.2V \approx 0V \quad I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_C} = \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$$



3. 影響電晶體進入飽和區工作的因素: β 、 R_B 、 V_i

(1). 若 R_B 值及 V_i 值固定(即 I_B 電流固定), 則

$$\beta \geq \frac{I_{C(sat)}}{I_B} \text{ 時電晶體才能進入飽和區}$$

(2). 若 β 值固定, 則

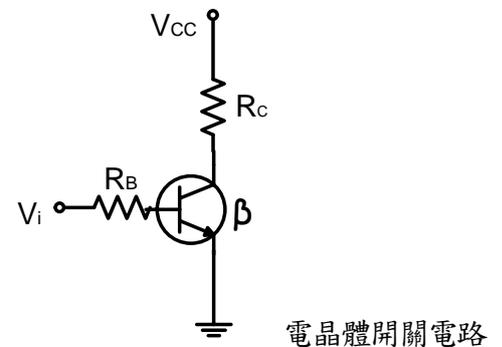
$$I_B \geq \frac{I_{C(sat)}}{\beta} \text{ 時電晶體進入飽和區} \quad \text{即飽和所需的 } I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$$

(3). 輸入迴路方程式: $V_i = I_{B(min)} * R_B + V_{BE}$

欲取得電晶體進入飽和所需的 $I_{B(min)}$ 電流, 則

A. 若 R_B 固定則需 $V_i \geq I_{B(min)} * R_B + V_{BE}$ (即 $V_{i(min)} = I_{B(min)} * R_B + V_{BE}$)

B. 若 V_i 固定則需 $R_B \leq \frac{V_i - V_{BE}}{I_{B(min)}}$ (即 $R_{B(max)} = \frac{V_i - V_{BE}}{I_{B(min)}}$)



※4-5 電晶體的編號

1. 電晶體外型之識別如圖

小功率			中功率	大功率	
T0-92 樹脂封裝	T0-105 樹脂封裝	T0-106 樹脂封裝	T0-5 金屬封裝	T0-220 樹脂封裝	T0-3 金屬封裝

2. 美國晶體編號: 製造材料及功用必須查手冊才知

[1N]: 二極體

[2N]: 三極體

[3N]: 四極體

3. 日本晶體編號 例：2SB77A

	範例	意義
第一項數字	2	[0]: 光電晶體或光二極體 [1]: 二極體 [2]: 電晶體 [3]: 四層半導體
第二項文字	S	[S]表示半導體[Semiconductor]
第三項文字 表示用途及極性	B	[A]: 高頻用 PNP 電晶體 [G]: N 開 SCR 或 PUT [B]: 低頻用 PNP 電晶體 [J]: P 通道 FET [C]: 高頻用 NPN 電晶體 [K]: N 通道 FET [D]: 低頻用 NPN 電晶體 [M]: 雙向 SCR 或 TRIAC [F]: P 開 SCR [H]: UJT
第四項數字	77	電晶體序號由 11 開始編
第五項文字	A	改良品
NPN		CS9011, CS9013, CS9014, CS9016
PNP		CS9012, CS9015

4. 歐陸晶體編號 例：AD131

	範例	意義
第一項文字 表示製造材料	A	[A]: 鍍材料 [B]: 矽材料 [C]: 金屬化合物材料 [D]: 輻射檢波器用材料
第二項文字 表示用途	D	[A]: 小功率二極體 [L]: 大功率高頻用 [C]: 小功率低頻用 [S]: 小功率開關用 [D]: 大功率低頻用 [U]: 大功率開關用 [E]: 隧道二極體 [Y]: 大功率二極體 [F]: 小功率高頻用 [Z]: 稽納二極體
第三項數字 表示序號	131	



放棄者不會勝利，

勝利者永不放棄

