

感測材料與節能應用實務

(MS_41160)

(Sensor Materials and Practices in Energy Conservation Applications)

陳怡嘉
Yijia Chen Ph.D.

Materials Science and Engineering, NDHU


Engineering Building II, C109 and
Stone & Resource Industry R&D Center

9:10-12:00
Fall, 2019

雙極性接面電晶體

雙極性接面電晶體

1. 雙極性電晶體的構造與特性
 - 1.1 電晶體的形成與種類
 - 1.2 電晶體的符號
 - 1.3 電晶體各電極的摻雜濃度關係
 - 1.4 電晶體各電極的面積關係
 - 1.5 電晶體的等效電路
2. 電晶體之工作原理
 - 2.1 電晶體的四種工作模式
 - 2.2 截止模式
 - 2.3 主動模式
 - 2.4 飽和模式
 - 2.5 反向主動模式
3. 電晶體組態簡介
 - 3.1 電晶體的三種放大組態
 - 3.2 共基極(CB)組態
 - 3.3 共射極(CE)組態
 - 3.4 共集極(CC)組態
 - 3.5 α 、 β 、 γ 之間的關係
 - 3.6 電晶體的特性曲線
4. 電晶體之放大作用
 - 4.1 電晶體的放大基本概念
 - 4.2 電晶體的放大與主動區
5. 電晶體之開關作用
 - 5.1 電晶體開關的基本概念
 - 5.2 電晶體開關電路的動作條件
 - 5.3 改善開關電路進入飽和的方法



雙極性接面電晶體

https://www.youtube.com/watch?v=upe1T1023yo&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij

1. 雙極性電晶體的構造與特性
2. 電晶體之工作原理
3. 電晶體組態簡介
4. 電晶體之放大作用
5. 電晶體之開關作用

高中 陳以熙 電子學 I Unit 4 1 雙極性電晶體的構造及特性 PART A 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=upe1T1023yo&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij&index=1

高中 陳以熙 電子學 I Unit 4 1 雙極性電晶體的構造及特性 PART B 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=Z-5OX1vwMPi&list=PLI6pJZaOCTf3BGm_O2f4Xy2La0zJ4-4Ij&index=2

電晶體直流偏壓電路

<https://www.youtube.com/watch?v=05MUfRPWz4&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz>

1. 直流工作點
2. 固定偏壓電路
3. 回授偏壓電路
4. 分壓偏壓電路

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 2 固定偏壓電路 PART A 1080 0512

<https://www.youtube.com/watch?v=GGwRuDQMSRc&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=5>

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 1 射極回授偏壓電路 PART A 1080 0511

https://www.youtube.com/watch?v=gXE7JSY_z4&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=8

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 1 射極回授偏壓電路 PART B 1080 0511

<https://www.youtube.com/watch?v=cW9T9ptFzYY&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=9>

高中 陳以熙 電子學 I Unit 5 3 2 集極回授偏壓電路 PART A 1080 0511

<https://www.youtube.com/watch?v=9JDJl6dJLvi&list=PLI6pJZaOCTf380WwFNujVyF2MRUYaJTrz&index=11>

電晶體放大電路

<https://www.youtube.com/watch?v=7AXftiXHofs&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw>

1. 電晶體放大器工作原理
2. 電晶體交流等效電路
3. 共射極放大電路
4. 共集極放大電路
5. 共基極放大電路

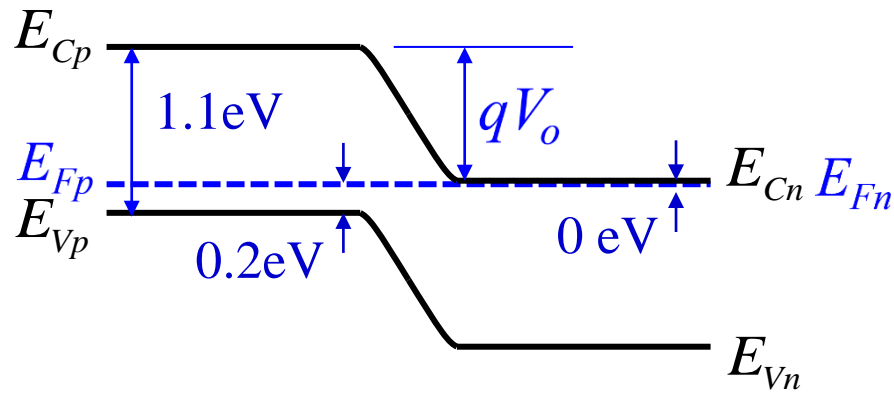
高工 陳以熙 電子學 電晶體放大電路 共射極放大電路 PART A 1080 0206

<https://www.youtube.com/watch?v=I0xCPI7LeaU&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw&index=5>

高工 陳以熙 電子學 電晶體放大電路 共集極放大電路 PART A 1080 0206

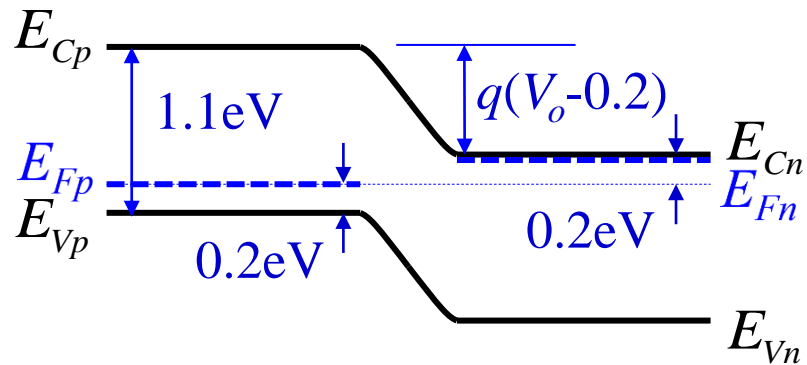
https://www.youtube.com/watch?v=KHAPa_QXkcc&list=PLI6pJZaOCTf1atmje9dshKLYw7AZz8VNw&index=13

Silicon bandgap = 1.1 eV



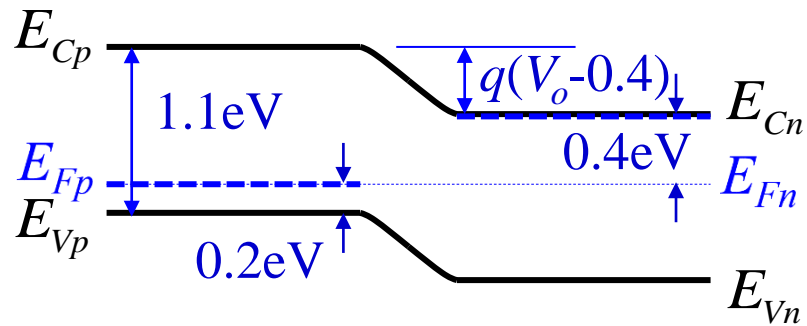
$$qV_o = 0.9 \text{ eV}$$

Silicon bandgap = 1.1 eV



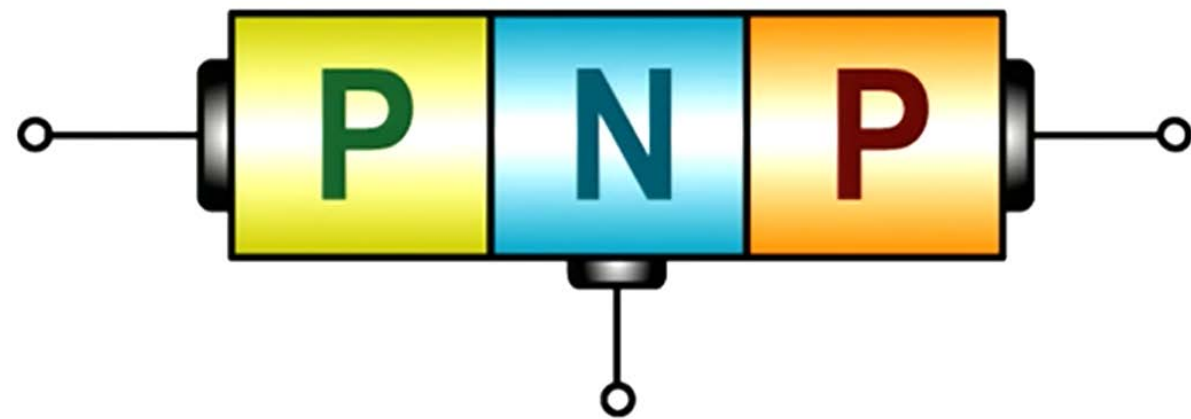
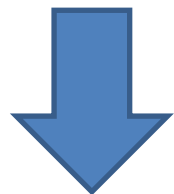
$$q(V_o - 0.2) = 0.7 \text{ eV}$$

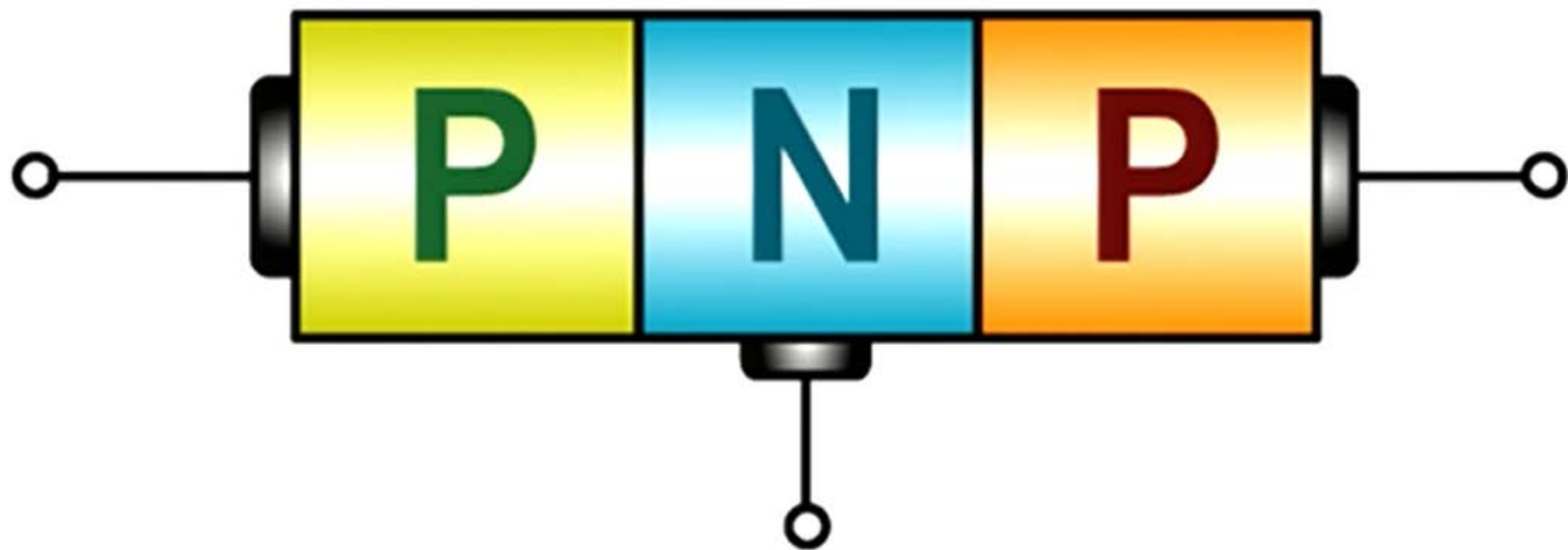
Silicon bandgap = 1.1 eV



$$q(V_o - 0.4) = 0.5 \text{ eV}$$

雙極性電晶體的構造與特性





PNP 電晶體

NPN 電晶體

射極

(E)

Emitter



集極

(C)

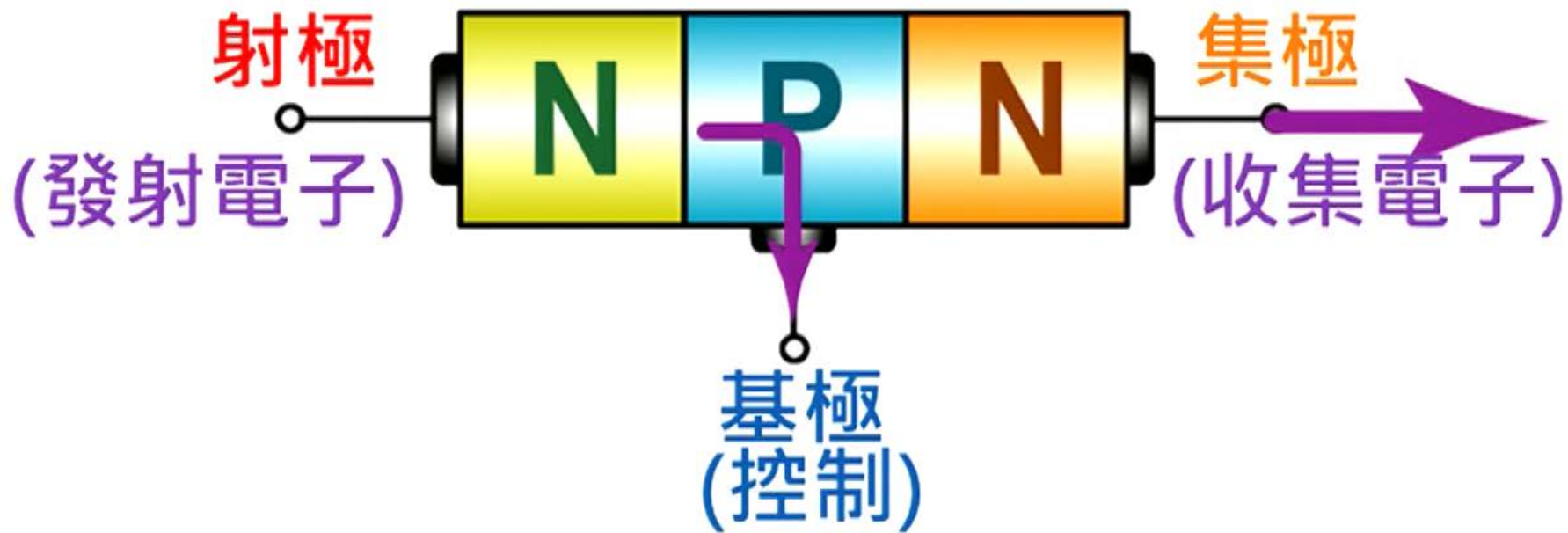
Collector

基極

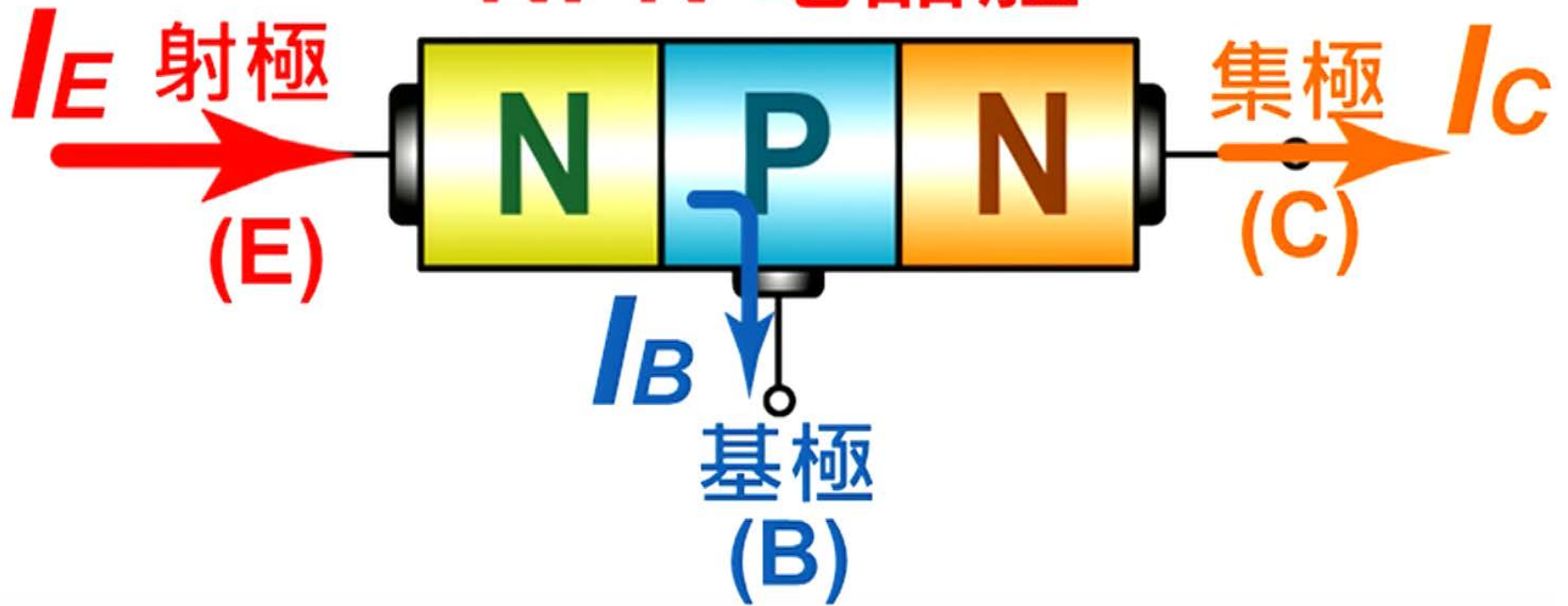
(B)

Base

NPN 電晶體



NPN 電晶體

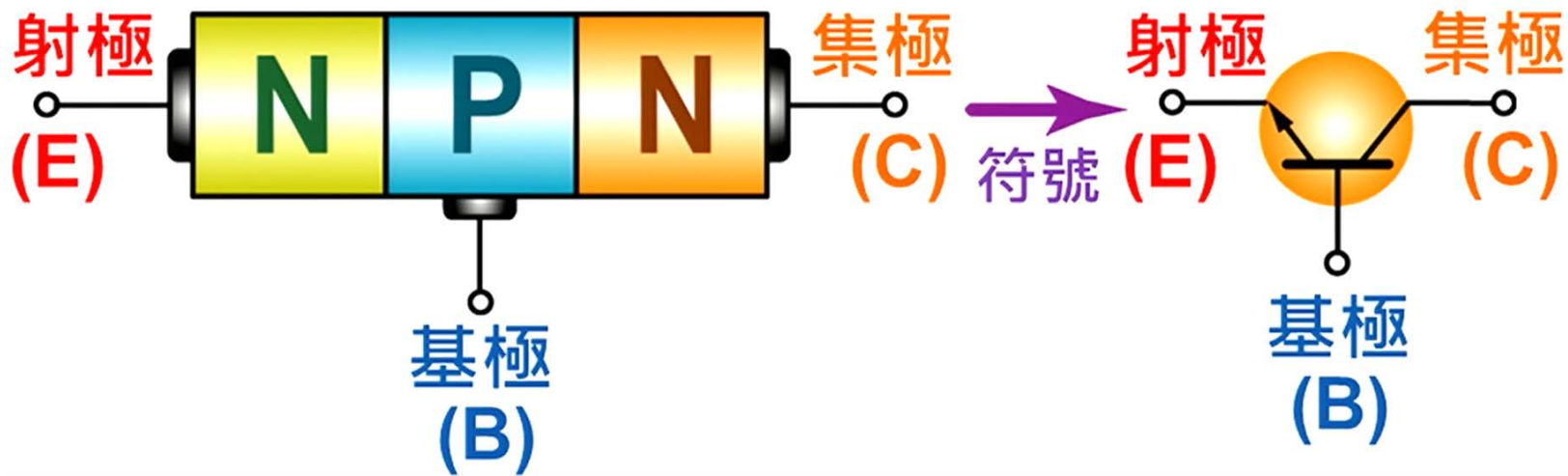


$$I_E = I_B + I_C$$

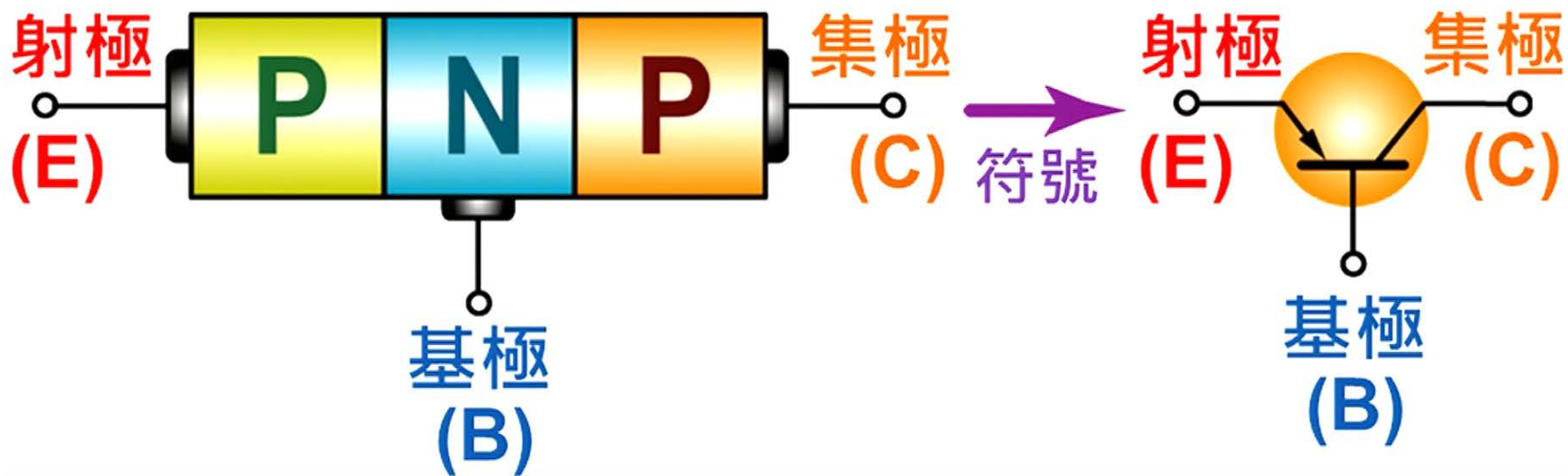
PNP 電晶體



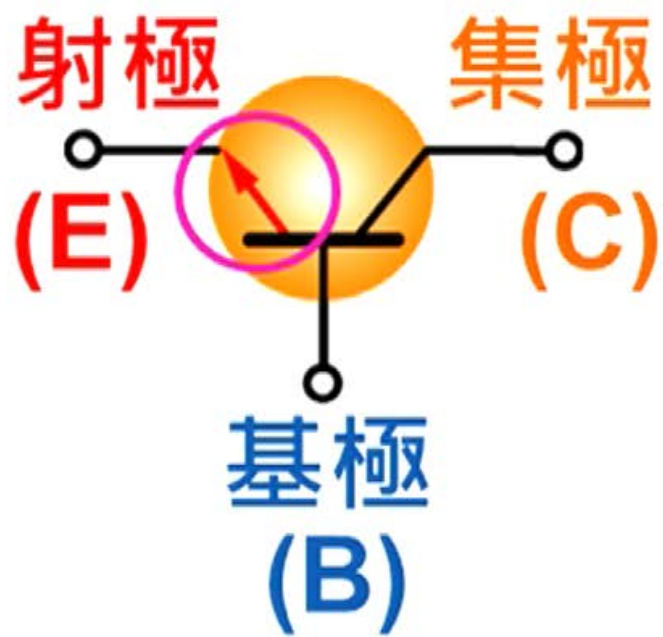
NPN 電晶體



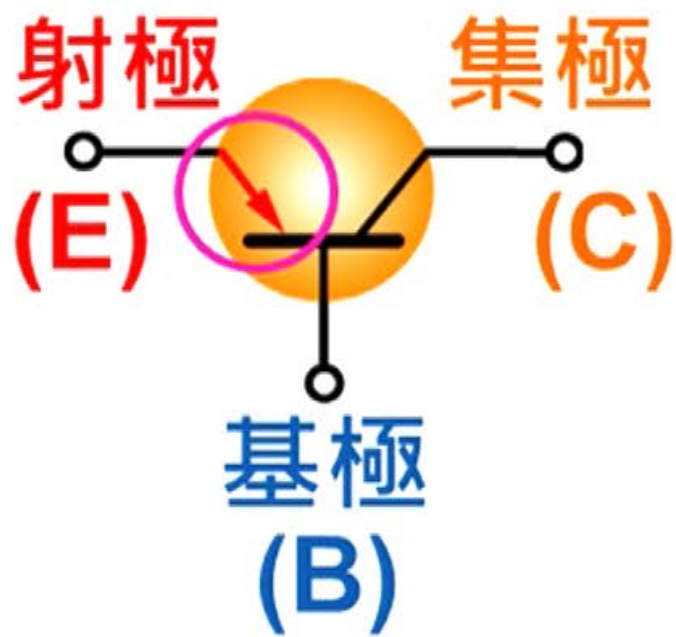
PNP 電晶體



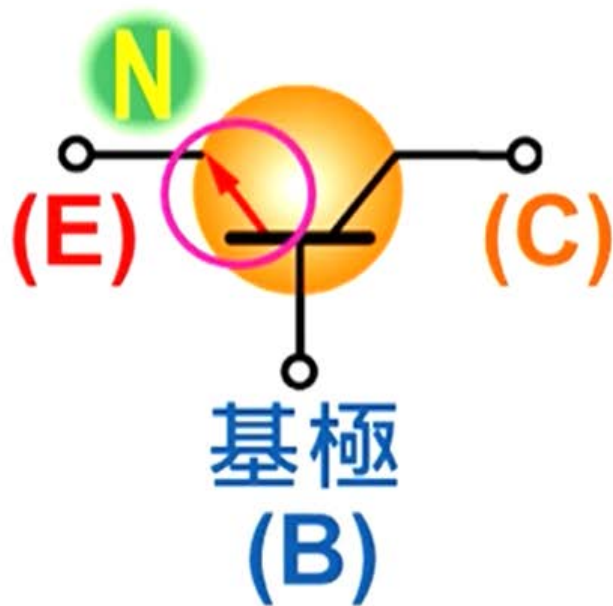
NPN 電晶體



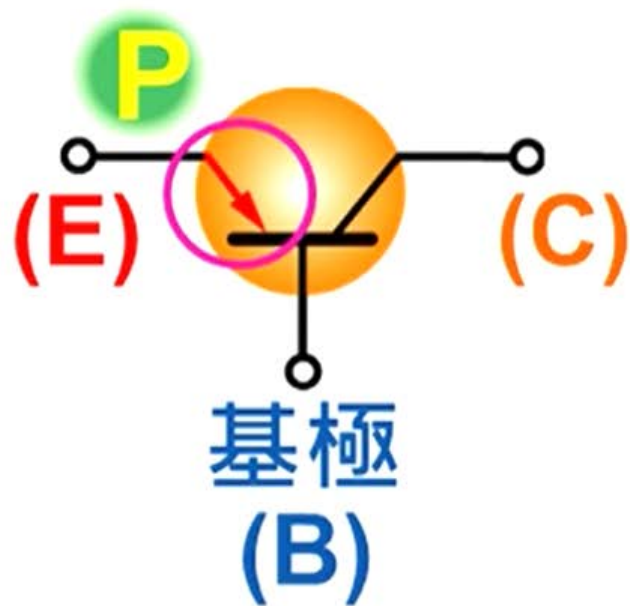
PNP 電晶體



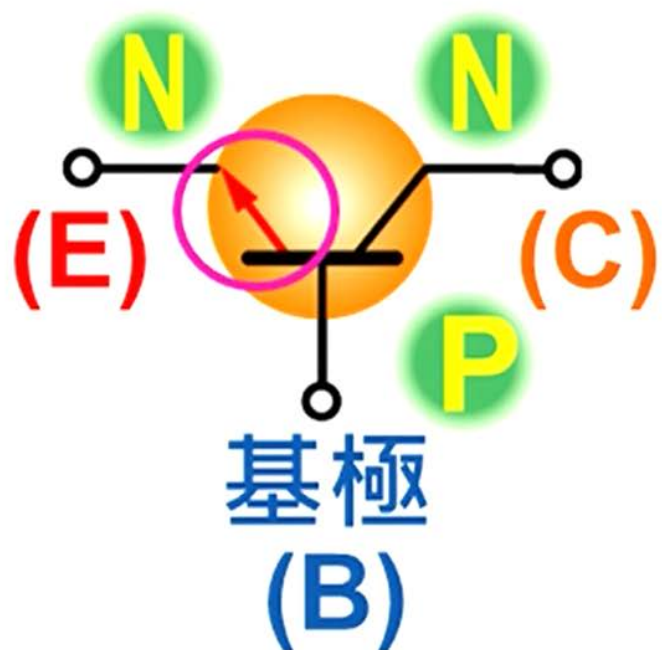
NPN 電晶體



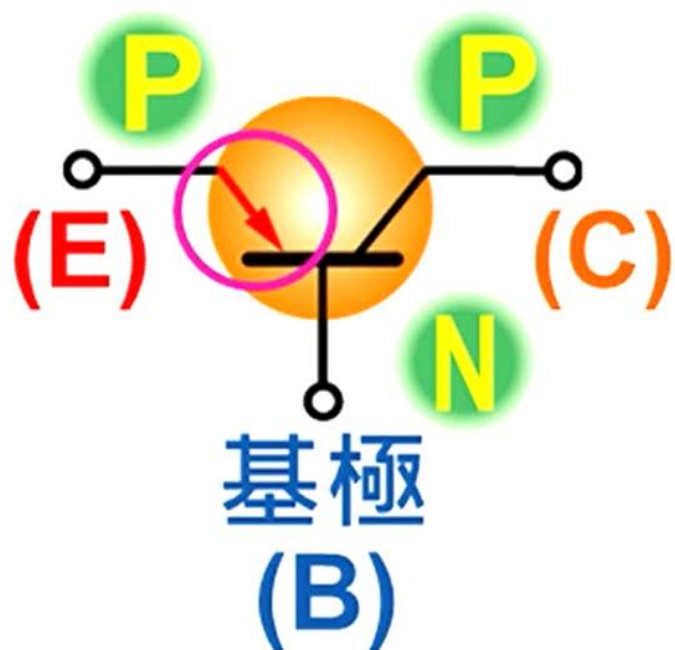
PNP 電晶體



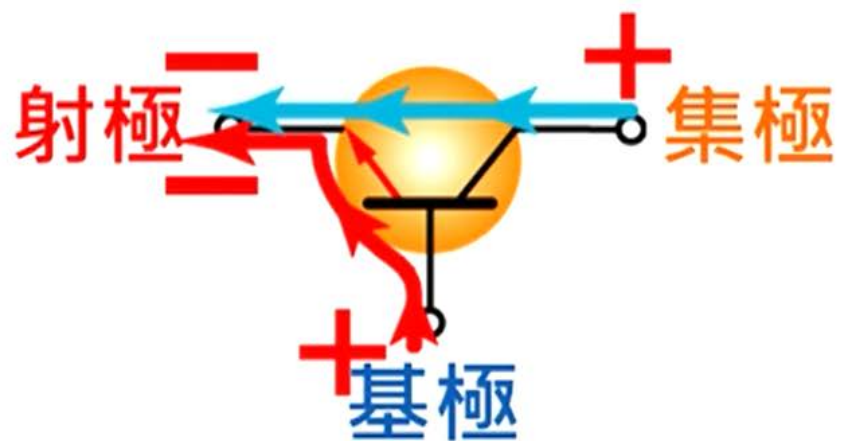
NPN 電晶體



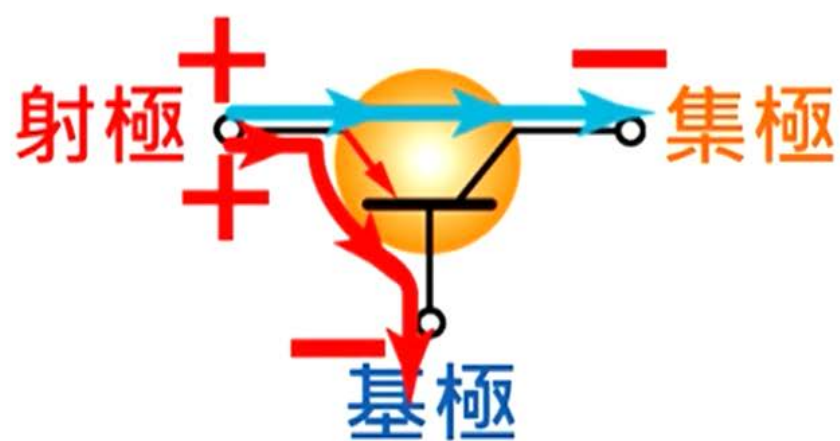
PNP 電晶體



NPN 電晶體



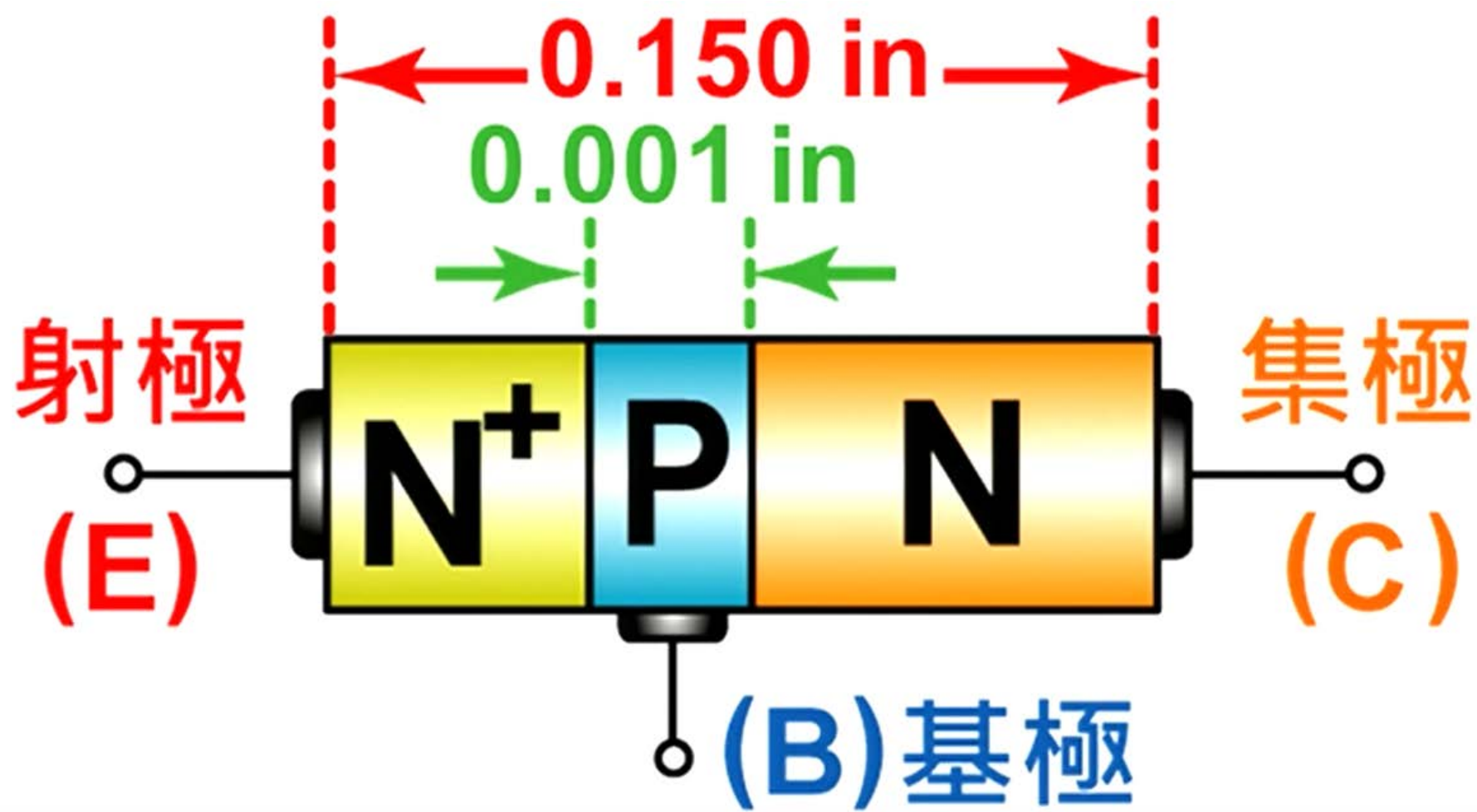
PNP 電晶體



濃度由高到低：射極(E) > 基極(B) > 集極(C)

射極濃度最高的原因：為了得到較高的發射效率

集極濃度最低的原因：為了得到較高的崩潰電壓

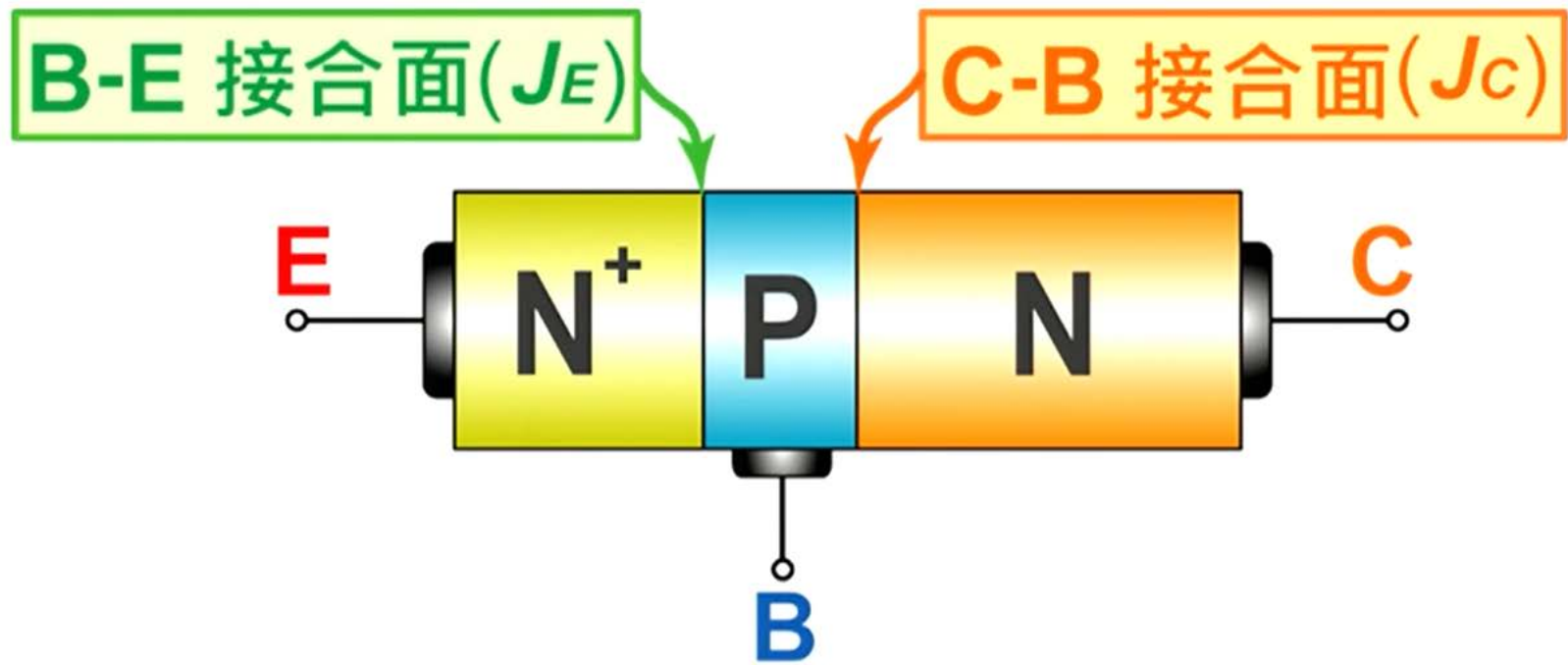


面積由大到小：集極(C) > 射極(E) > 基極(B)

集極面積最大的原因：為了得到較佳的散熱效果

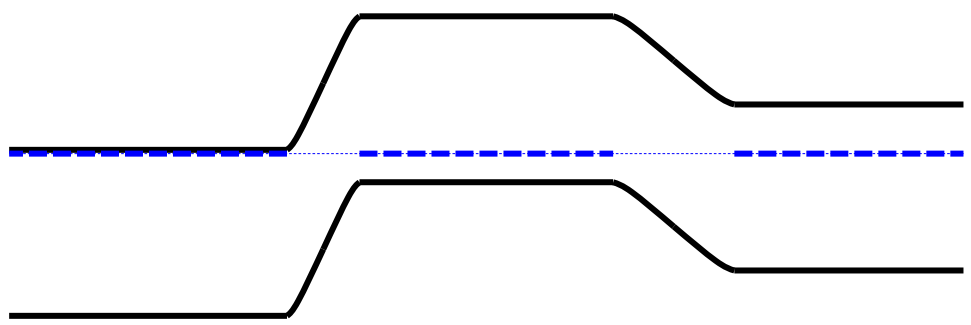
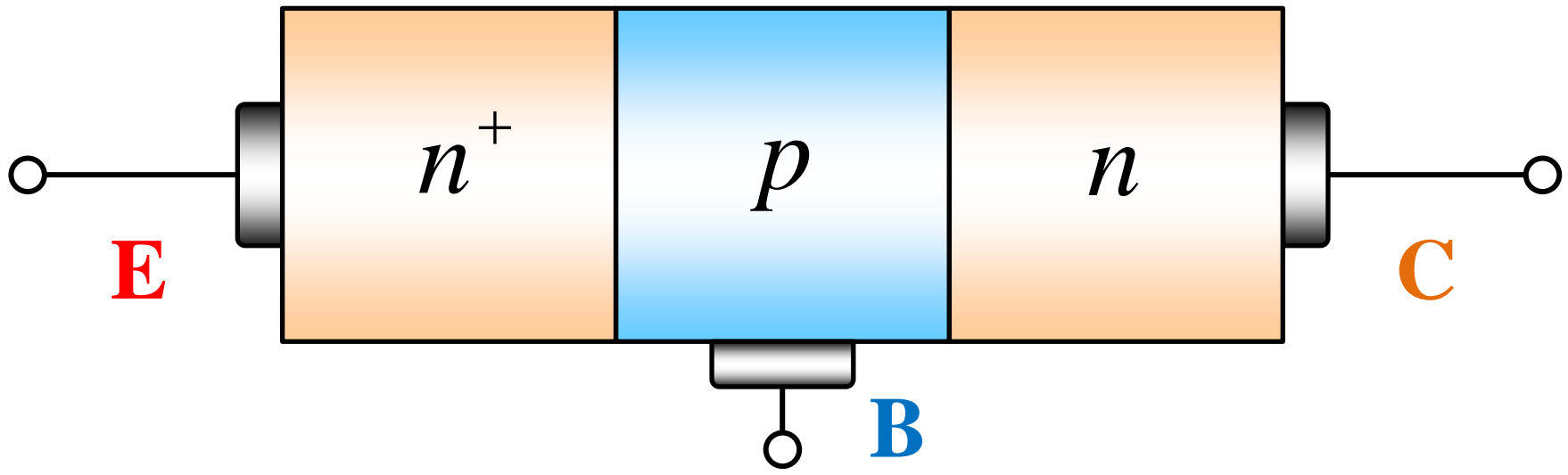
基極面積最小的原因：為了得到較高的放大倍數

電晶體之工作原理



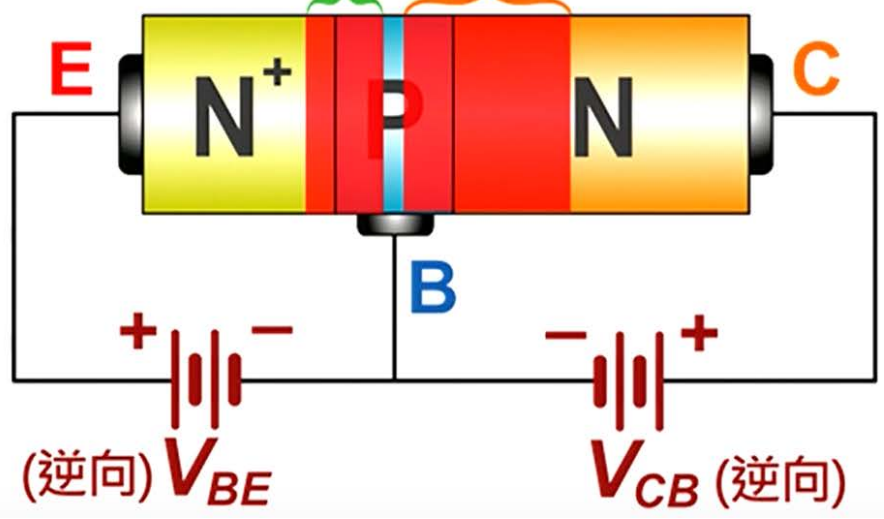
作用區 接合面	截止模式	主動模式	飽和模式	反向主動模式
B-E接合面 (J_E)	逆向偏壓	順向偏壓	順向偏壓	反向偏壓
C-B接合面 (J_c)	逆向偏壓	逆向偏壓	順向偏壓	順向偏壓

能帶圖(靜平衡)

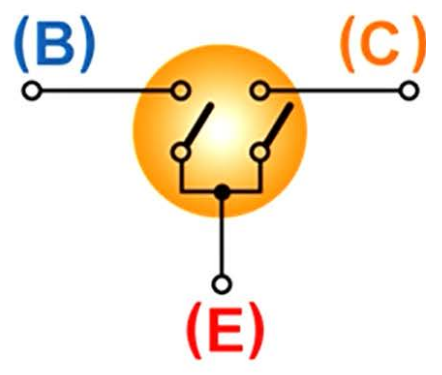


截止模式

J_E 空乏區變大 J_C 空乏區變大

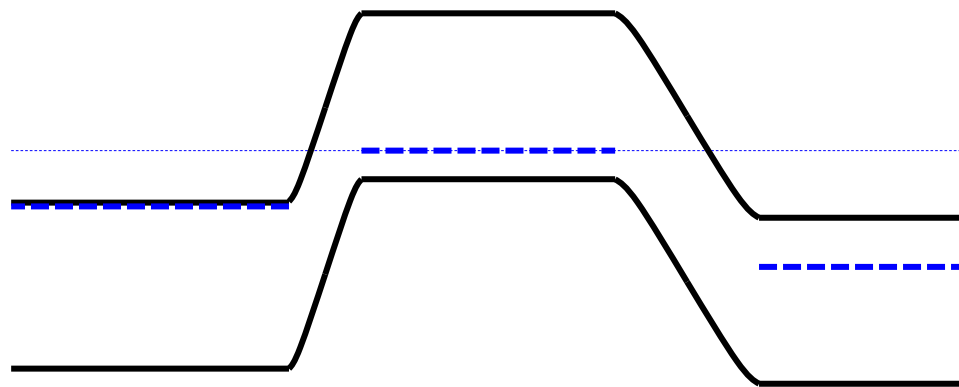
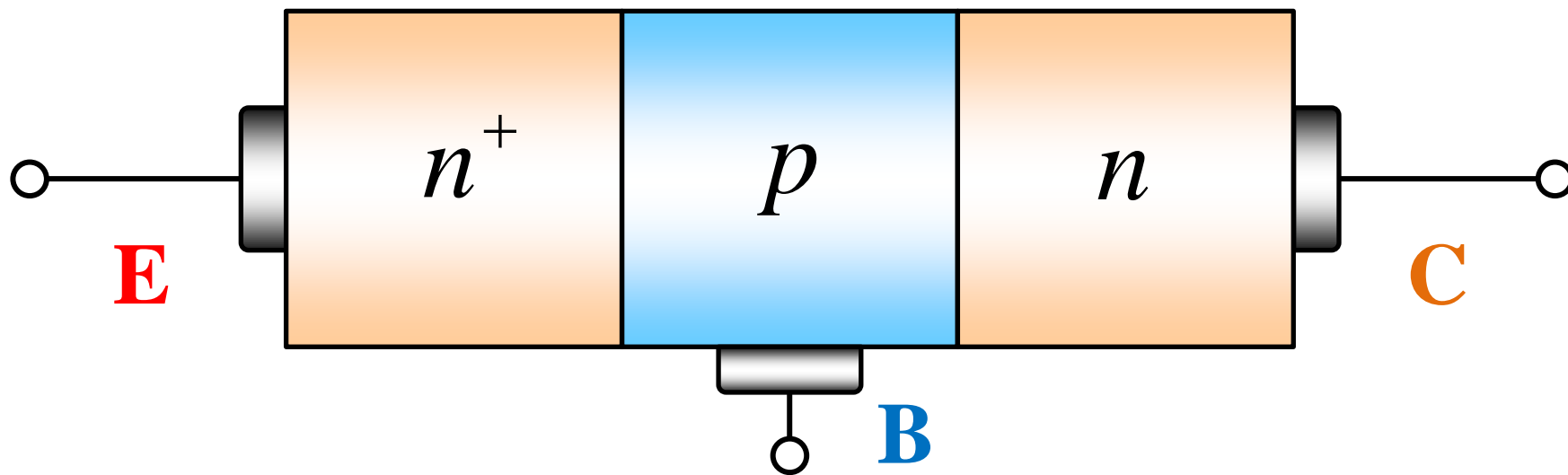


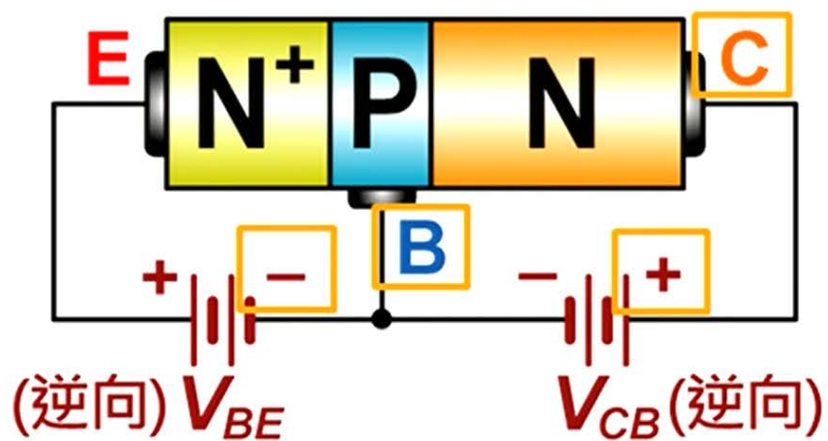
等效電路
→



功用：開關斷路

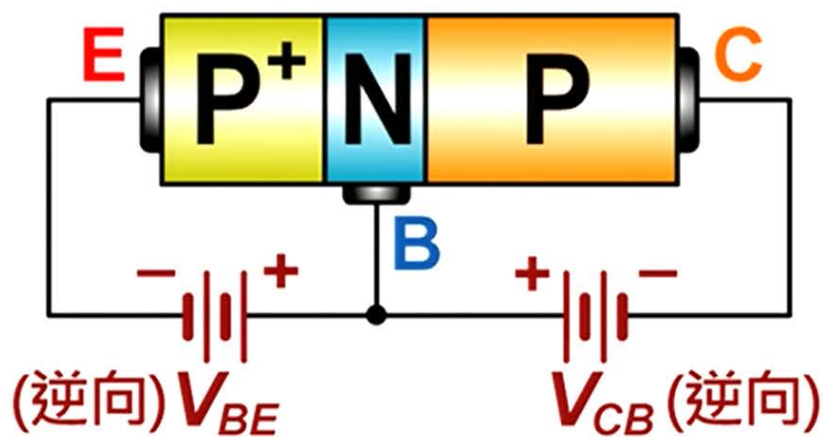
截止模式能帶圖





$$V_{BE} < 0$$

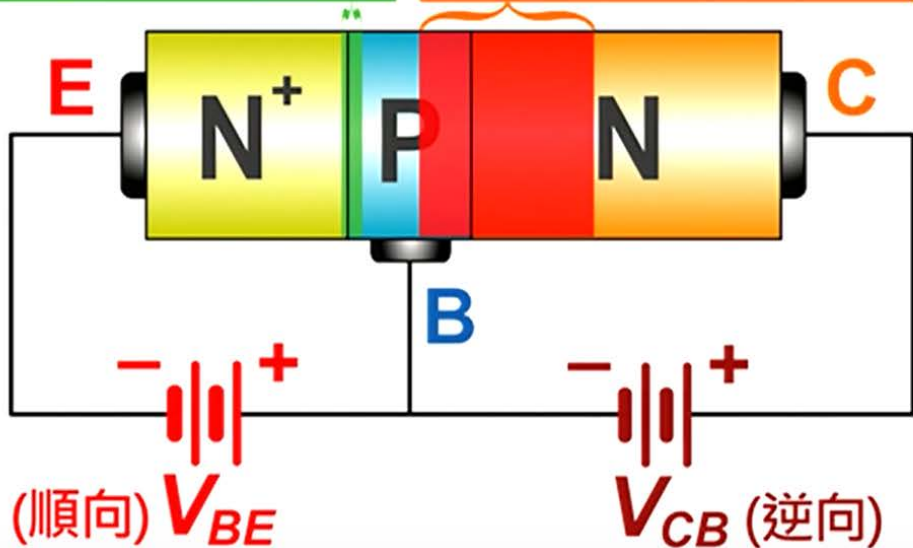
$$V_{CB} > 0$$



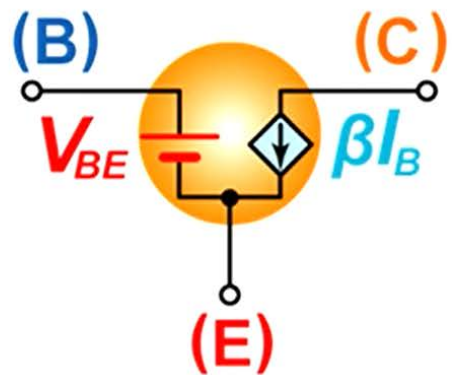
主動模式

J_E 空乏區變小

J_C 空乏區變大

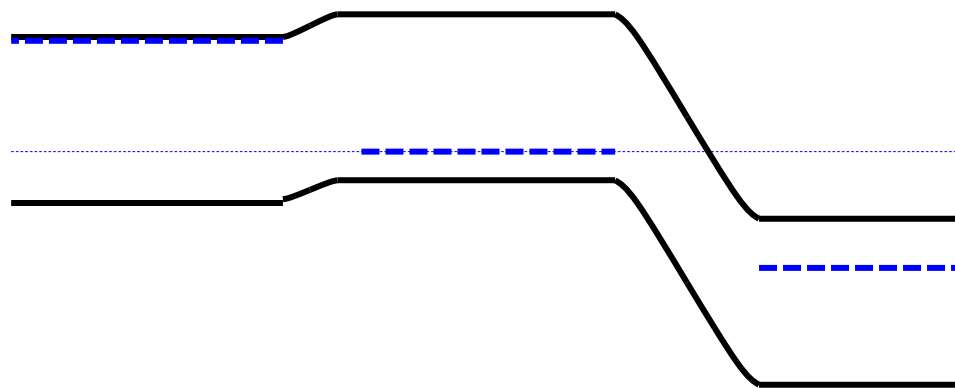
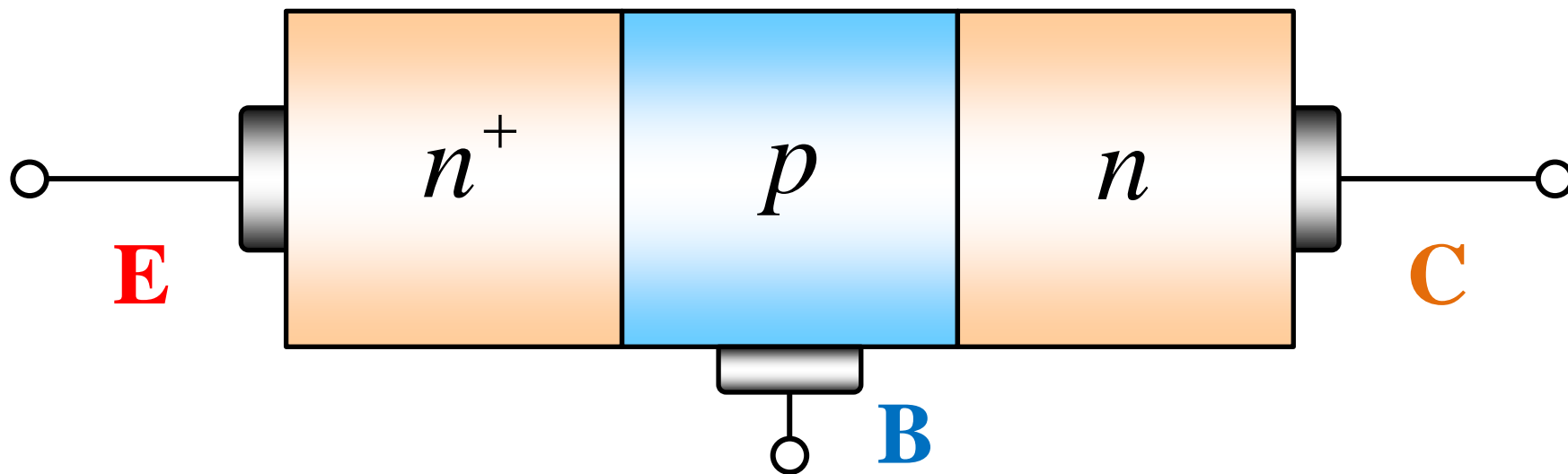


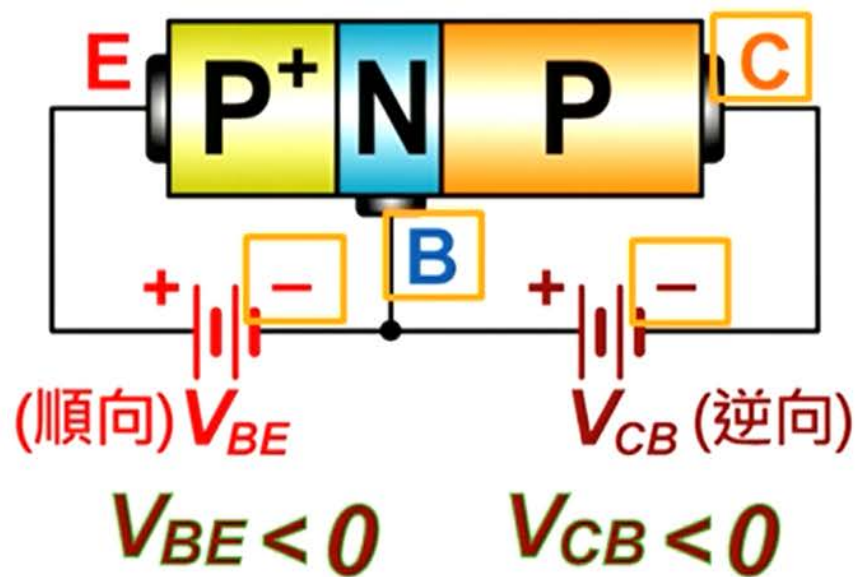
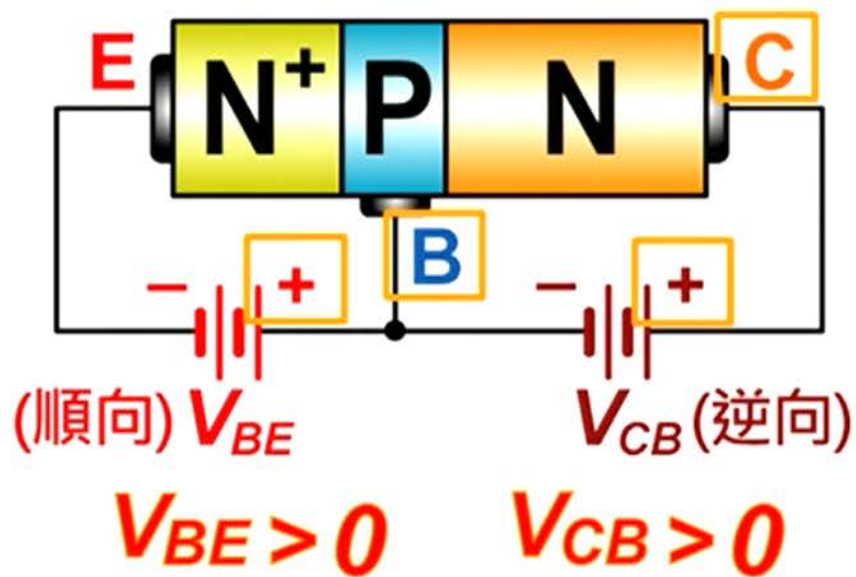
等效電路
→

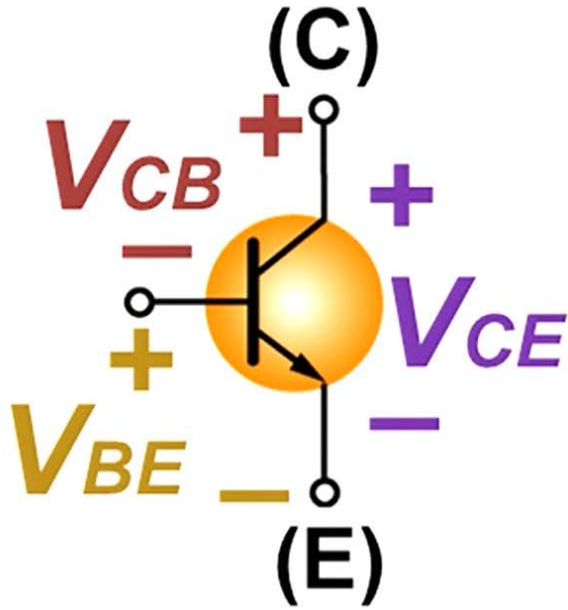


功用：信號放大

主動模式能帶圖







$$V_{BE} = +0.7 \text{ V}$$

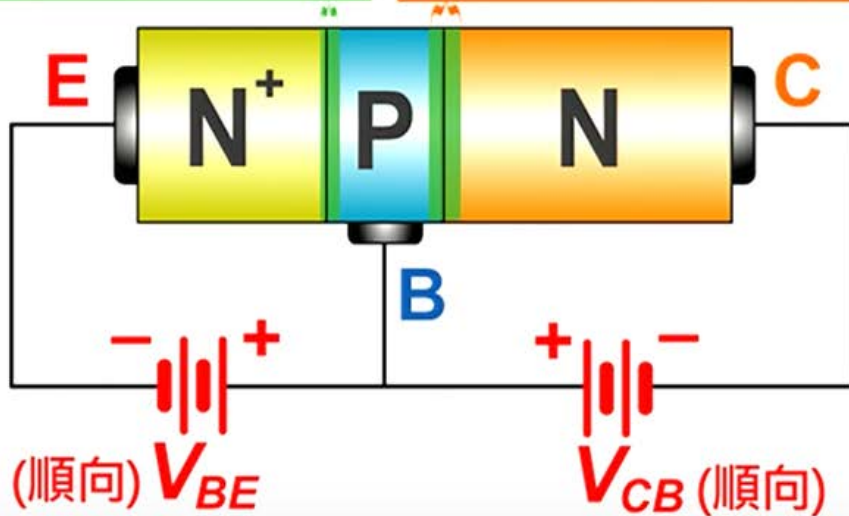
$$V_{CB} > 0 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} > 0.7 \text{ V}$$

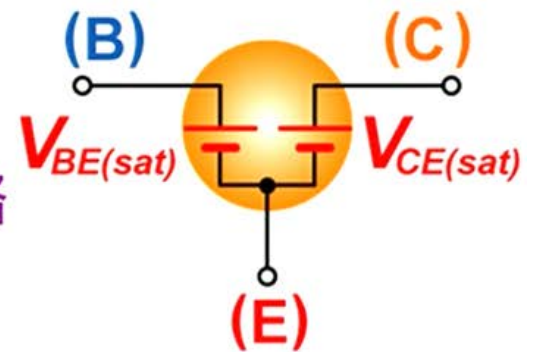
飽和模式

J_E 空乏區變小

J_C 空乏區變小

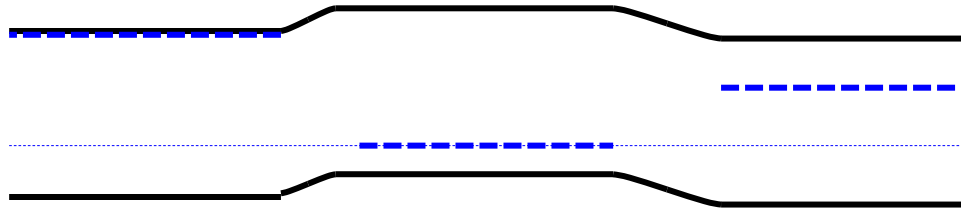
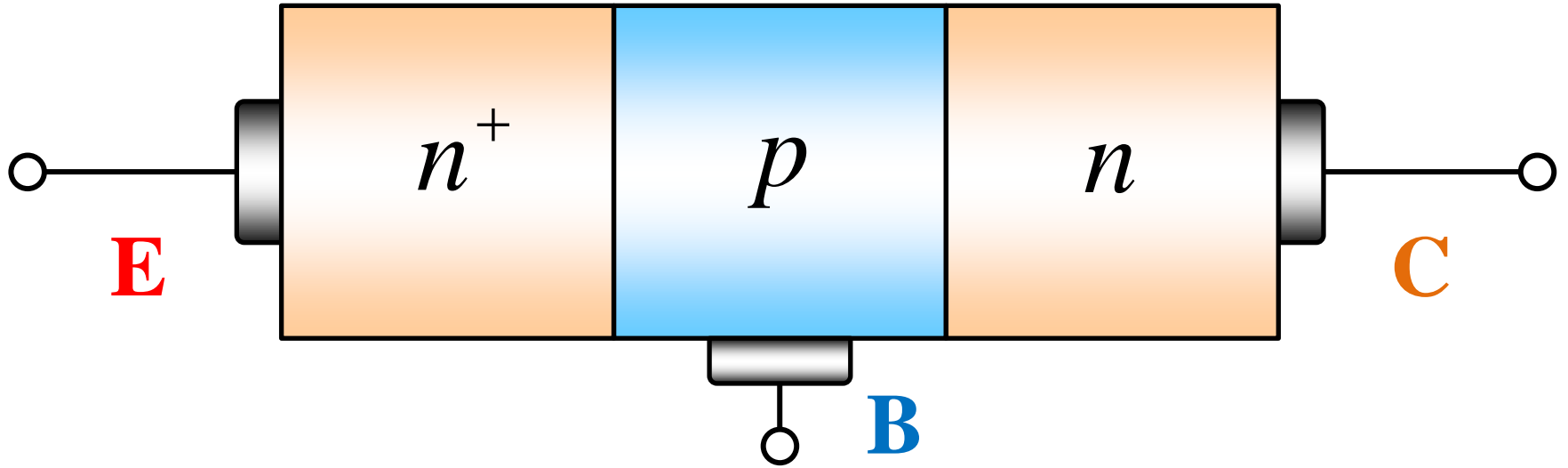


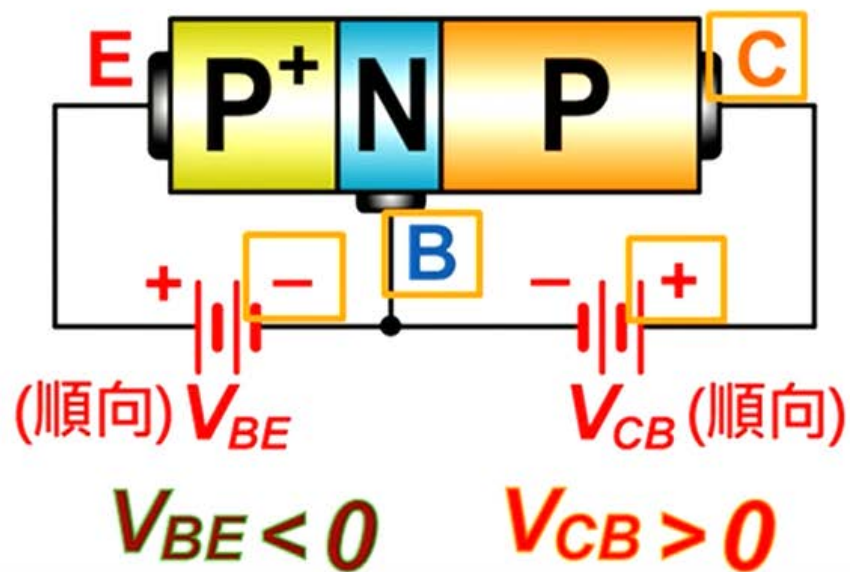
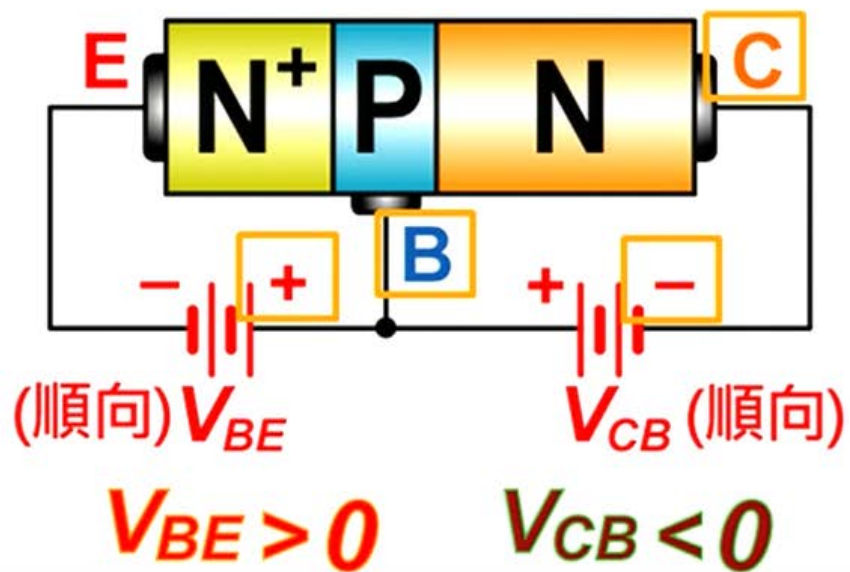
等效電路

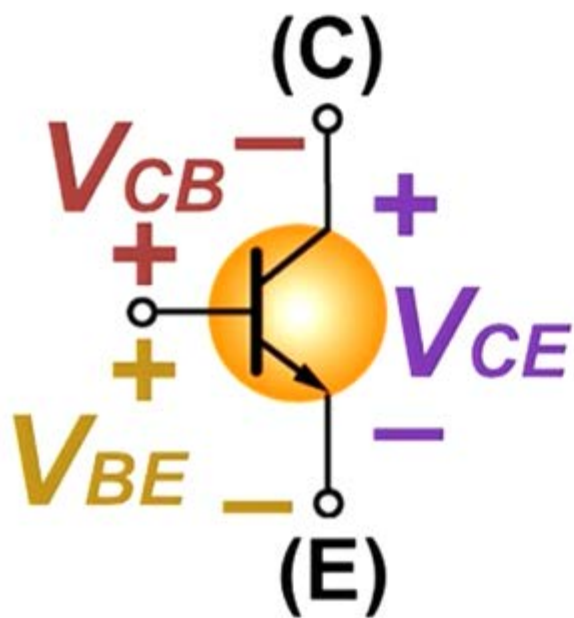


功用：開關短路

飽和模式能帶圖





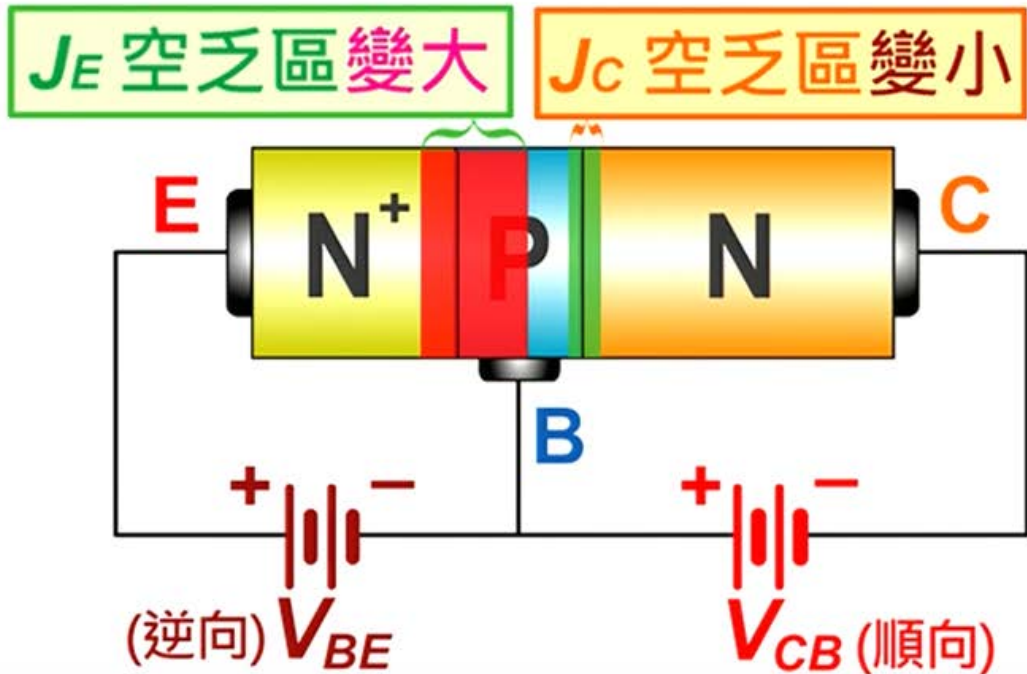


$$V_{BE(sat)} = +0.7V$$

$$V_{CB} = -0.5V \text{ (切入電壓)}$$

$$V_{CE(sat)} = 0.2V$$

反向主動模式

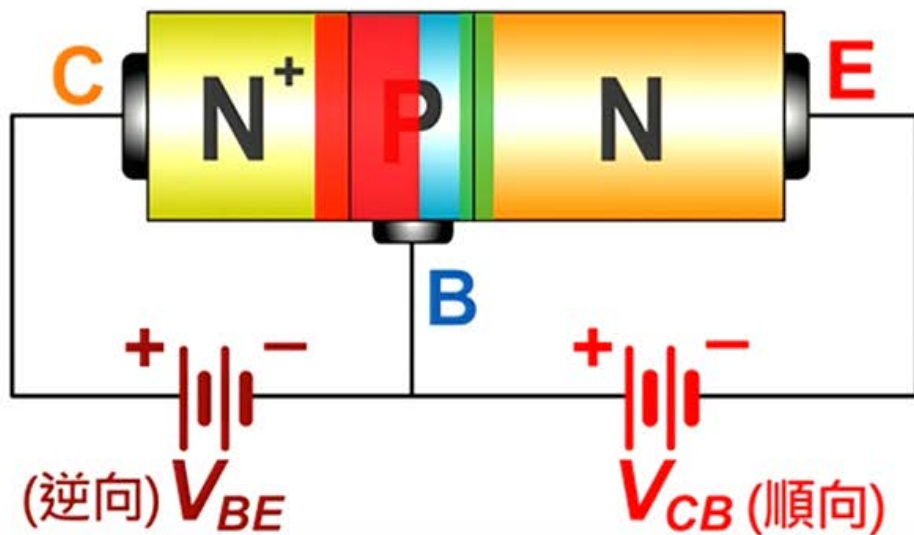


反向主動模式

V_{BE} : 逆向偏壓
 V_{CB} : 順向偏壓

主動模式

V_{BE} : 順向偏壓
 V_{CB} : 逆向偏壓



C極和E極對調使用:

1. 放大增益下降
2. 消耗功率下降

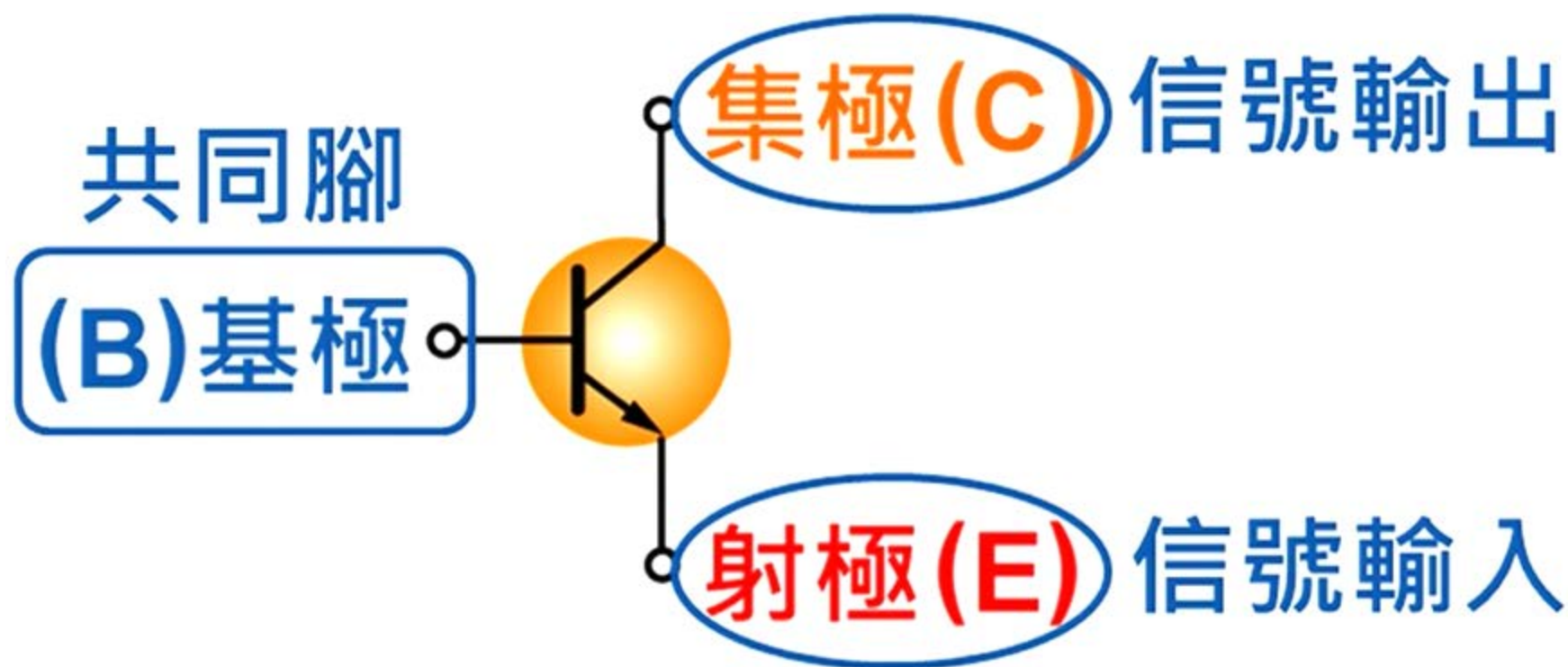
不建議使用！

電晶體組態簡介

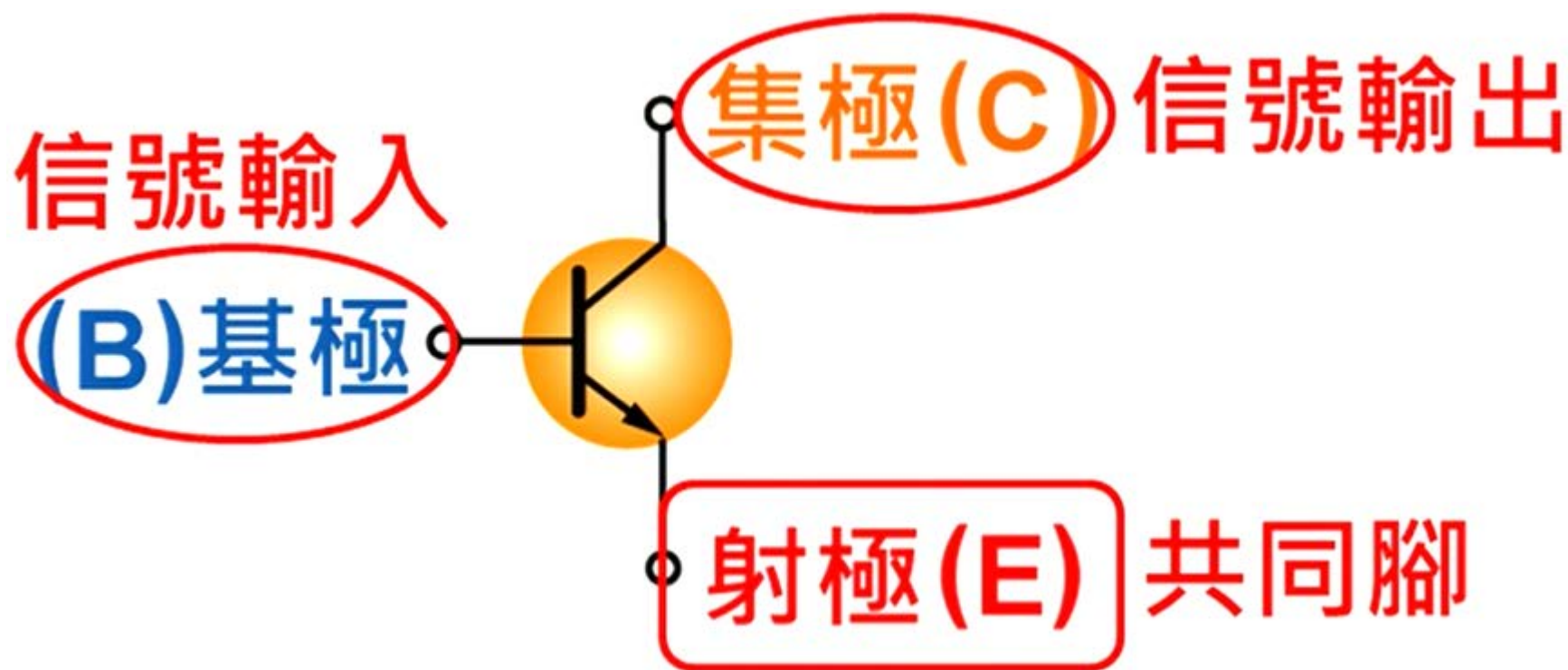
電晶體的三種放大組態：

1. 共基極(Common Base : CB)型
2. 共射極(Common Emitter : CE)型
3. 共集極(Common Collector : CC)型

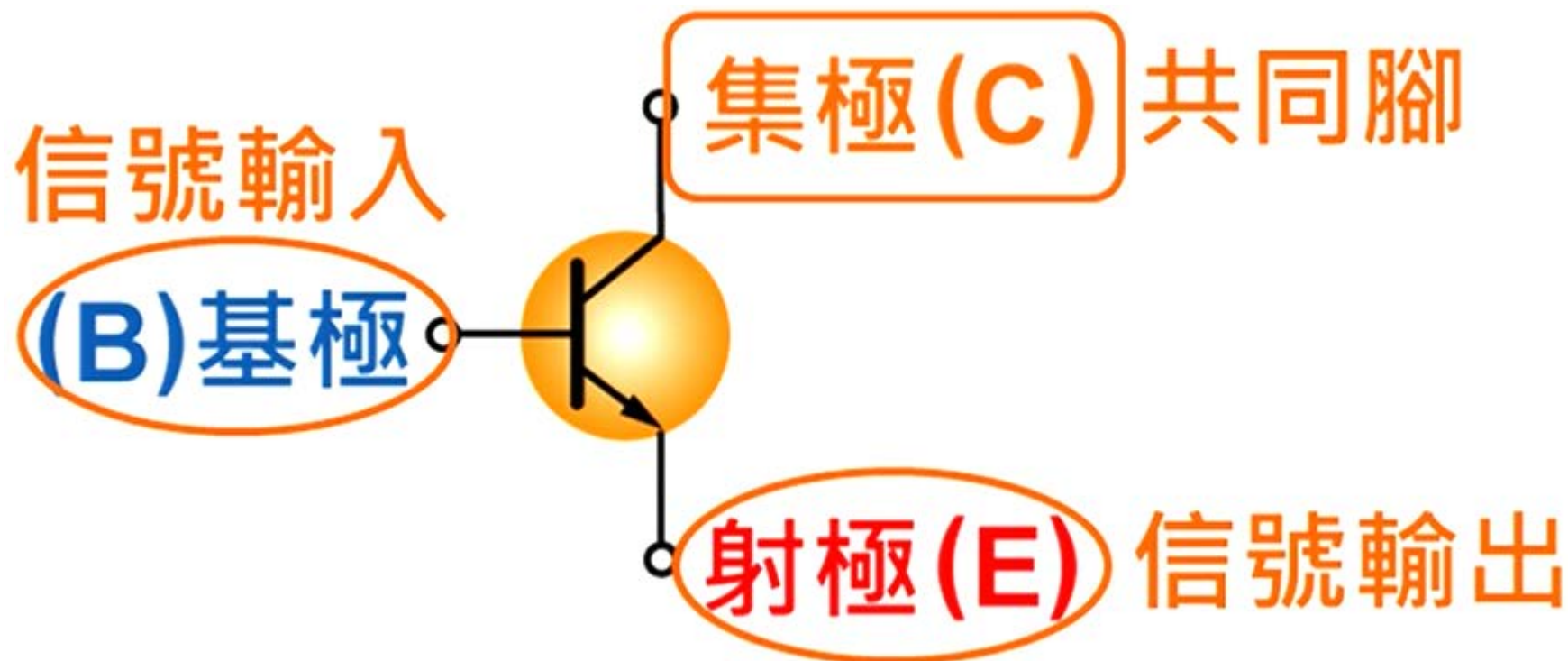
共基極(CB)型



共射極(CE)型



共集極(CC)型



電晶體的三種放大組態

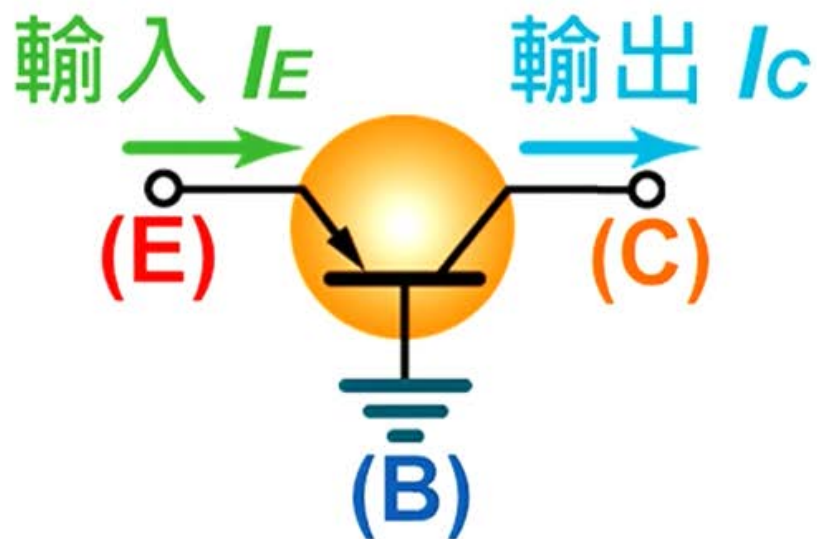
腳位 \ 組態	共基極型(CB)	共射極型(CE)	共集極型(CC)
共同腳	基極 (B)	射極 (E)	集極 (C)
信號輸入	射極 (E)	基極 (B)	基極 (B) → C
信號輸出	集極 (C)	集極 (C)	射極 (E) → B

電晶體三種放大組態觀察：

1. 共同腳的名稱就是組態的名稱
2. 無論是哪一種組態，信號輸入一定不在『集極』接腳上
3. 無論是哪一種組態，信號輸出一定不在『基極』接腳上

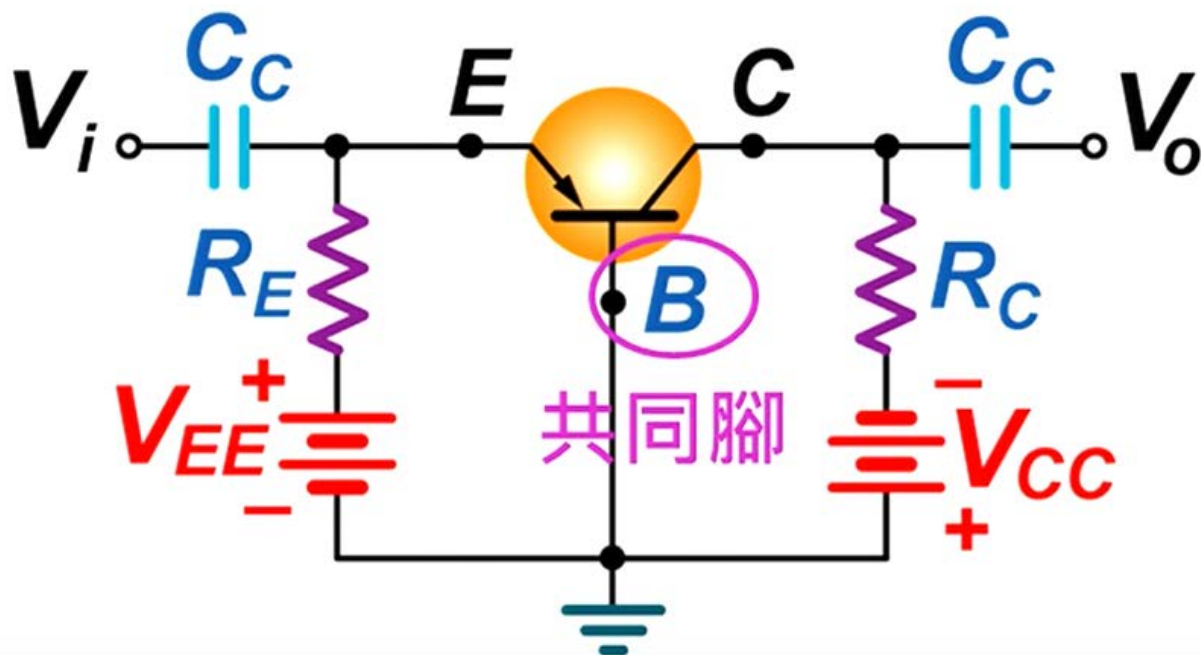
共基極(CB)組態

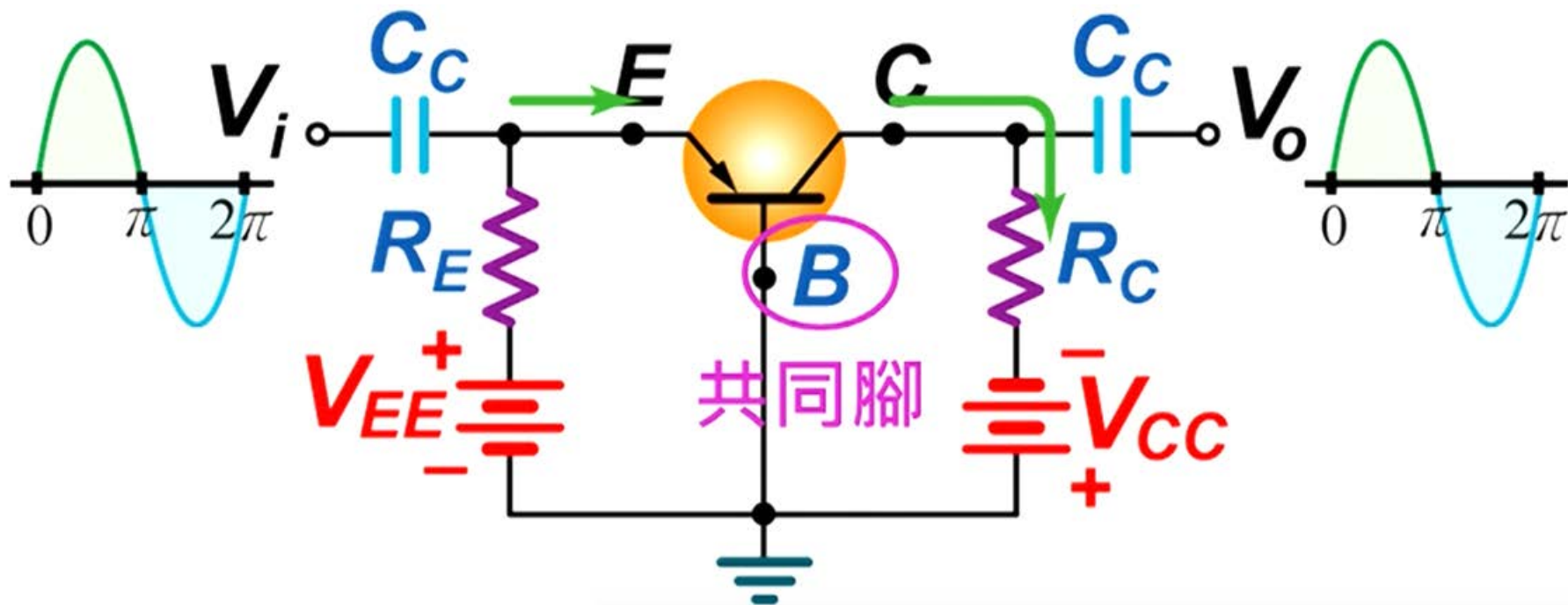
(以PNP電晶體為例)



電流放大倍數

$$A_i = \frac{I_{\text{輸出}}}{I_{\text{輸入}}} = \frac{I_C}{I_E} = \alpha$$



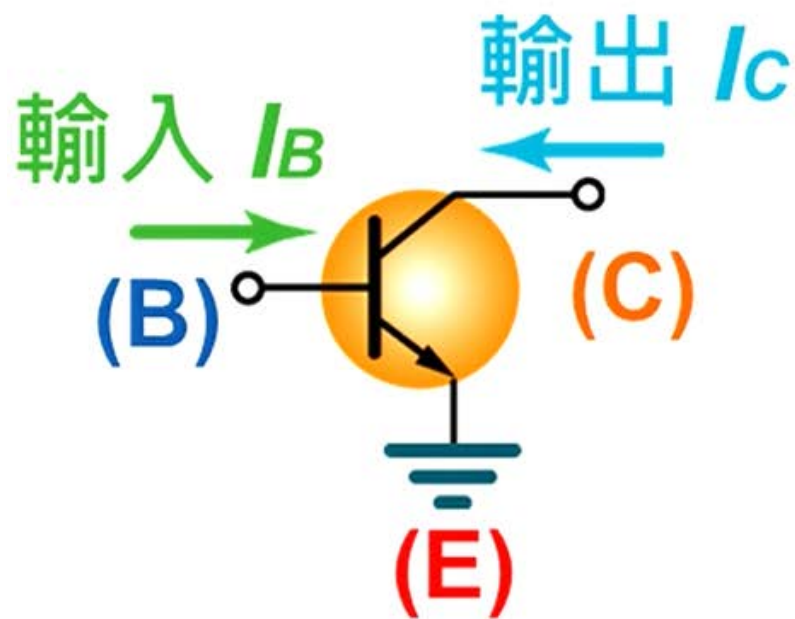


$$I_E = I_B + I_C$$

輸入與輸出相位： 0°

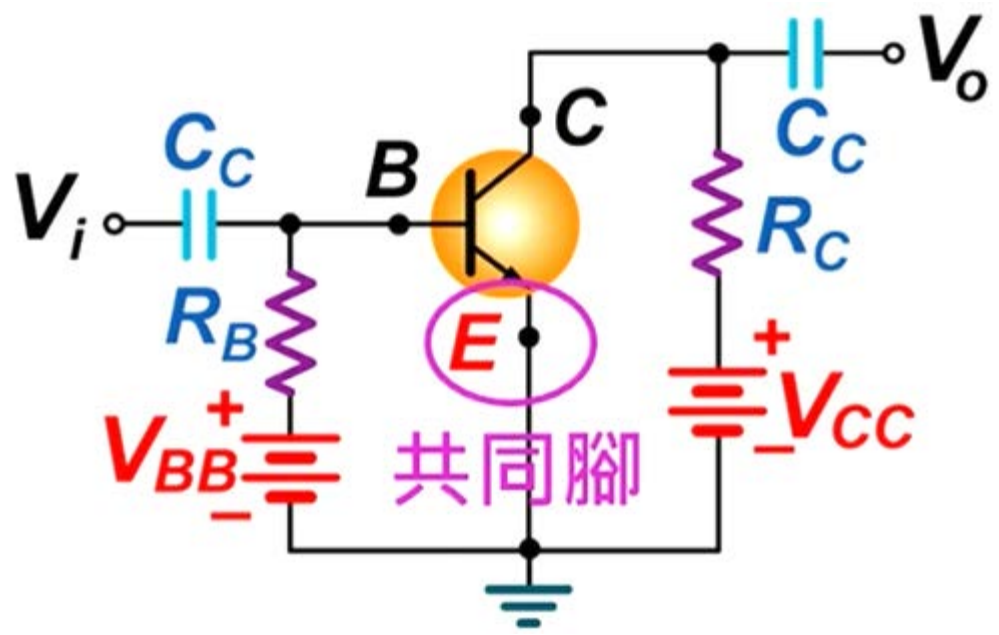
共射極(CE)組態

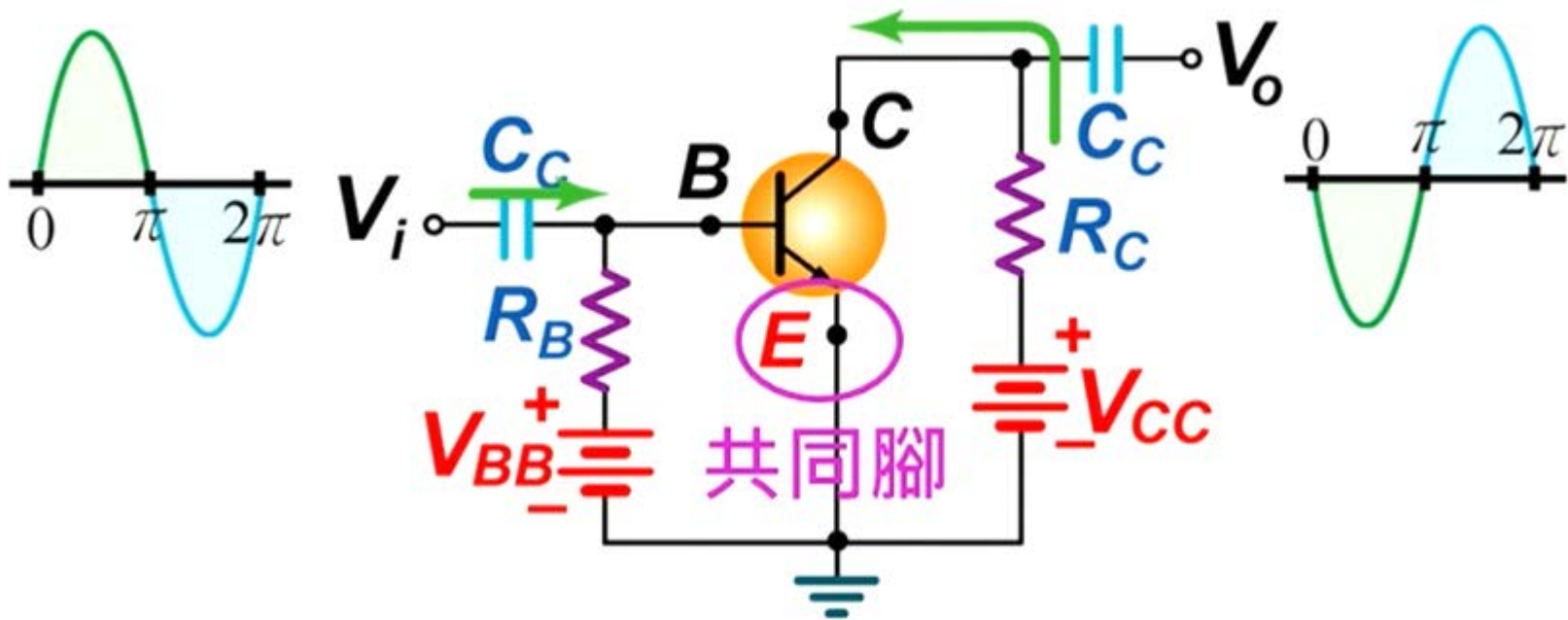
(以NPN電晶體為例)



電流放大倍數

$$A_i = \frac{I_{\text{輸出}}}{I_{\text{輸入}}} = \frac{I_C}{I_B} = \beta$$



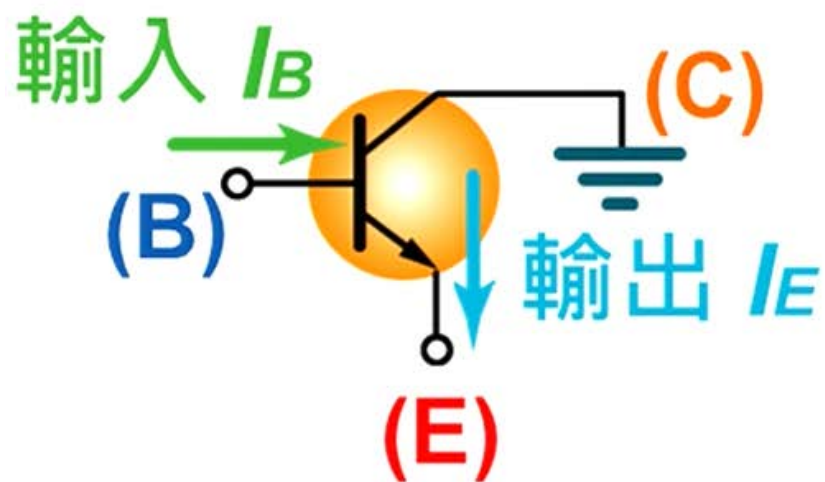


$$I_E = I_B + I_C$$

輸入與輸出相位：**180°**

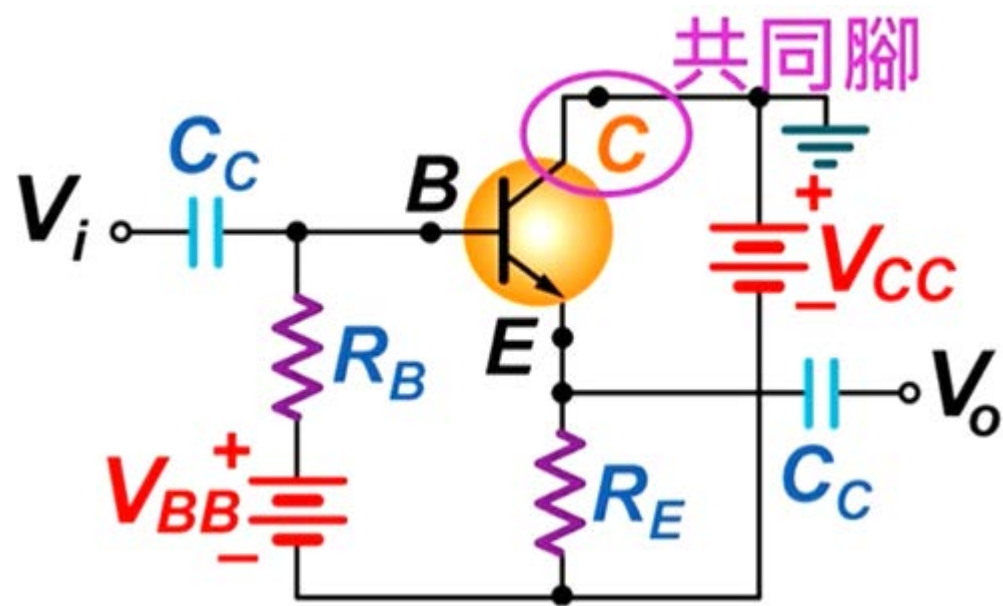
共集極(CC)組態

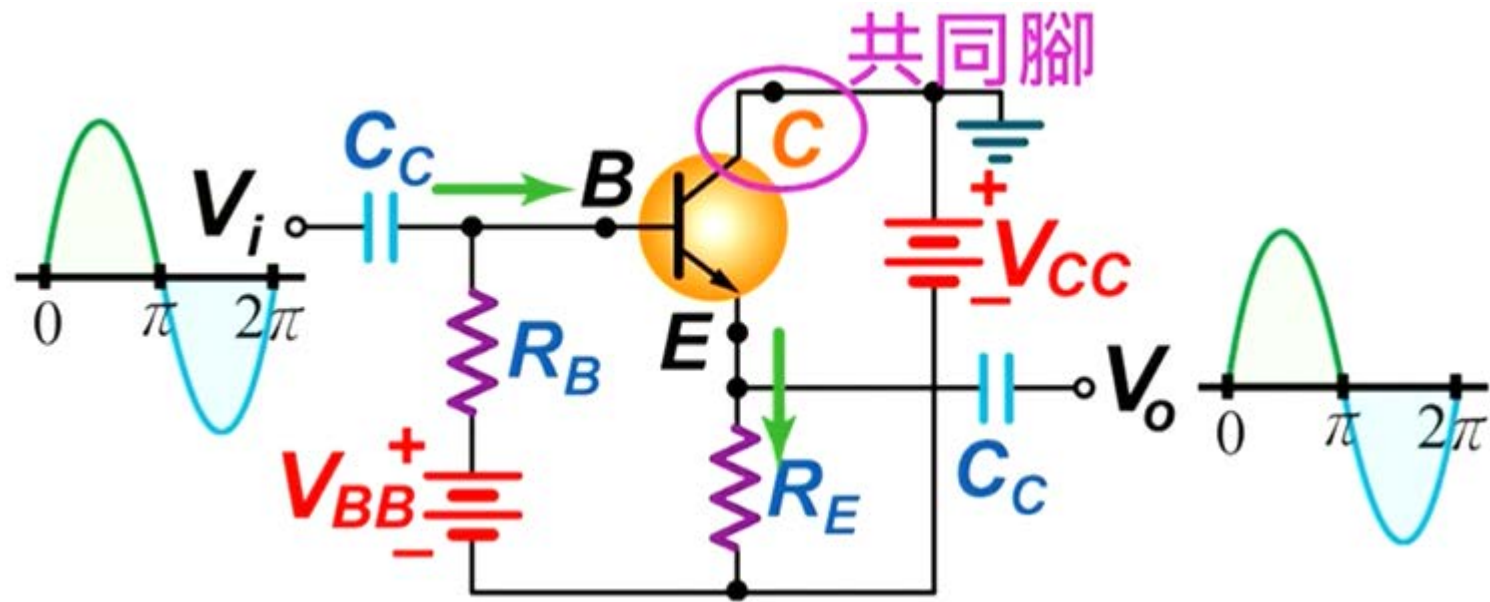
(以NPN電晶體為例)



電流放大倍數

$$A_i = \frac{I_{\text{輸出}}}{I_{\text{輸入}}} = \frac{I_E}{I_B} = \gamma$$





$$I_E = I_B + I_C$$

輸入與輸出相位： 0°

組態	共基極型(CB)	共射極型(CE)	共集極型(CC)
共同腳	基極 (B)	射極 (E)	集極 (C)
電流增益	$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$	$\gamma = \frac{I_E}{I_B}$
信號相位	0°	180°	0°

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

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

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

$$\gamma \cong \beta \gg 1 \cong \alpha$$

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

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

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

$$\beta = \gamma - 1$$

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

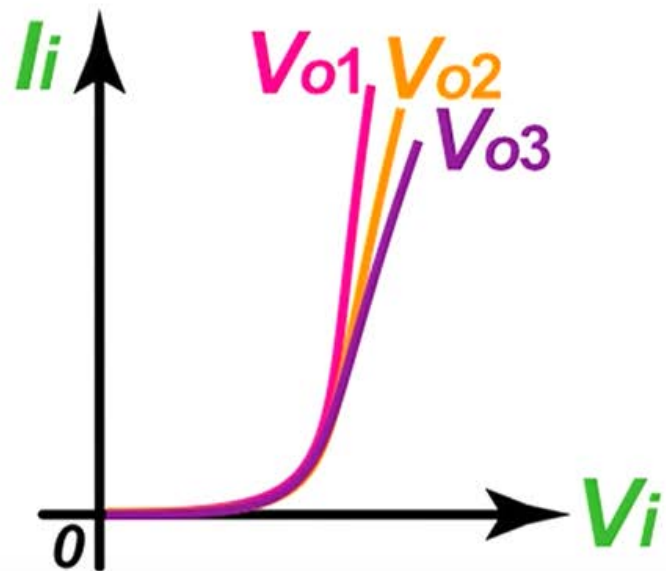
$$\gamma = \beta + 1$$

範例練習：有一個電晶體的 $\alpha = 0.96$ ，試求該電晶體的 β 值、 γ 值分別為多少？

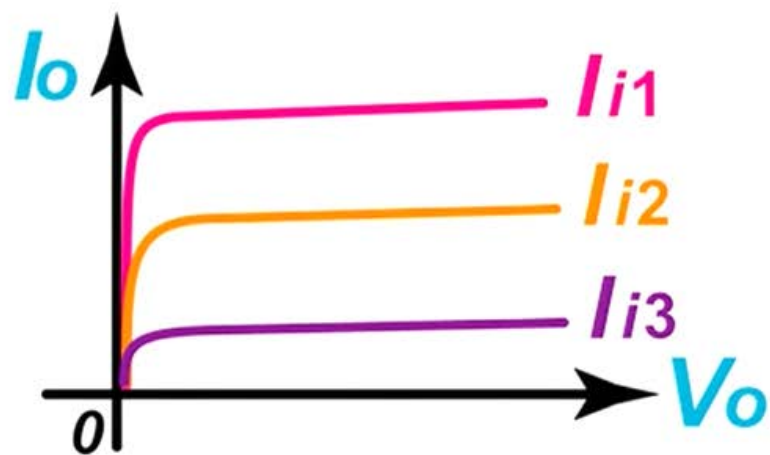
$$\text{解析： } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.96}{1 - 0.96} = 24$$

$$\gamma = \beta + 1 = 24 + 1 = 25$$

【輸入特性曲線】

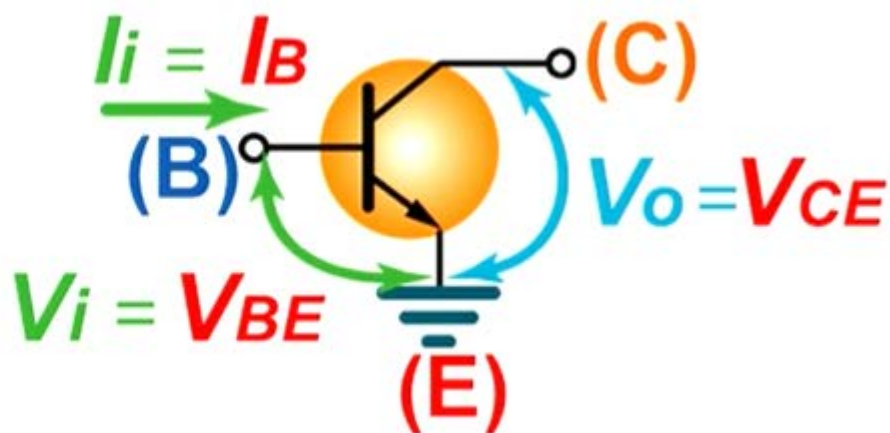
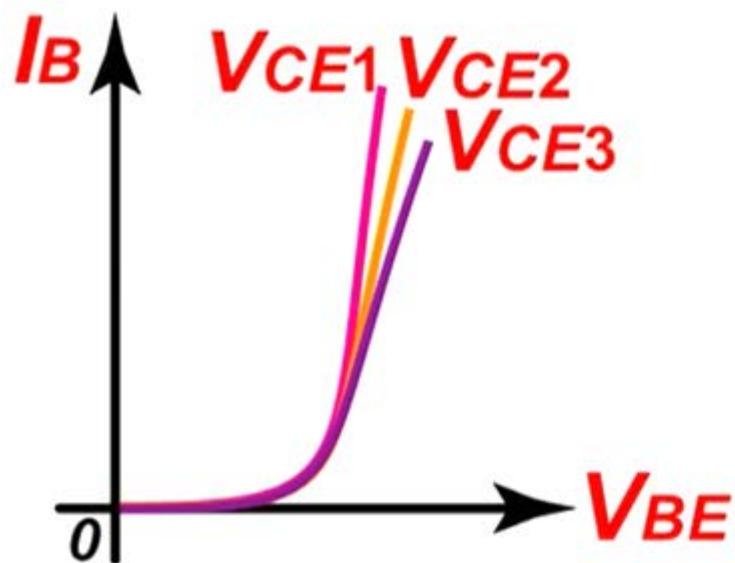


【輸出特性曲線】



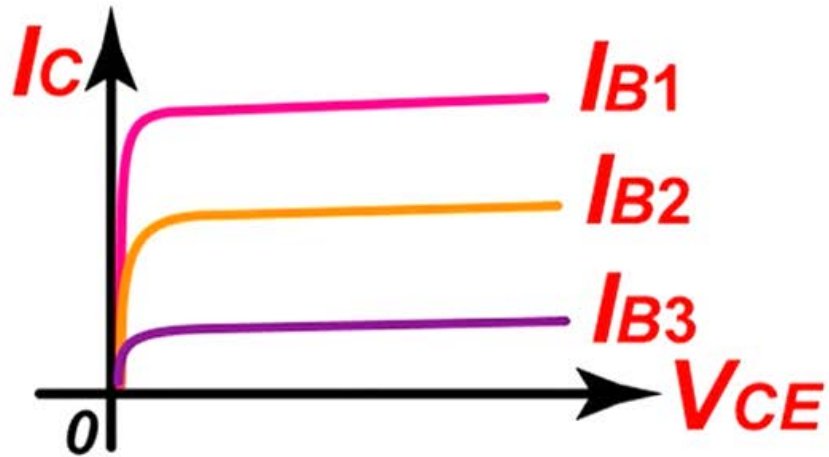
【輸入特性曲線】

(以CE型為例)

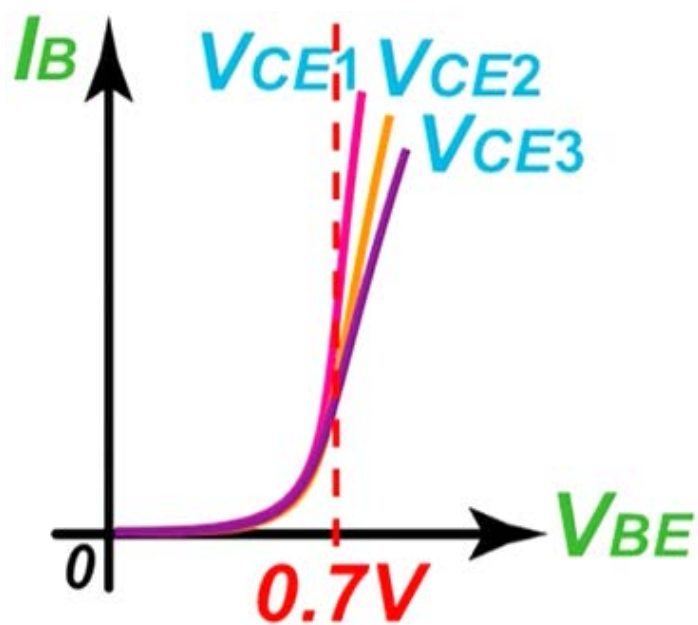


【輸出特性曲線】

(以CE型為例)

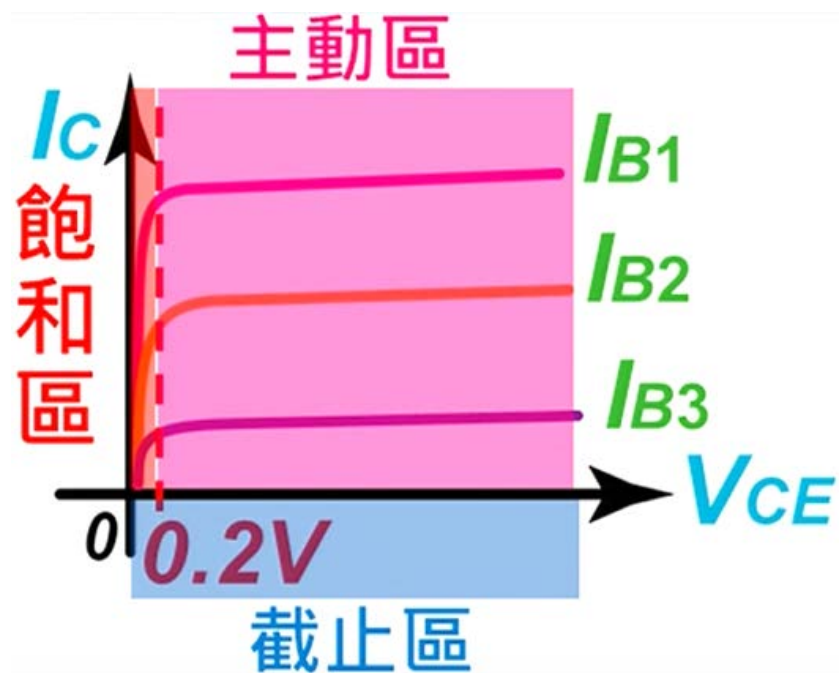


【輸入特性曲線】



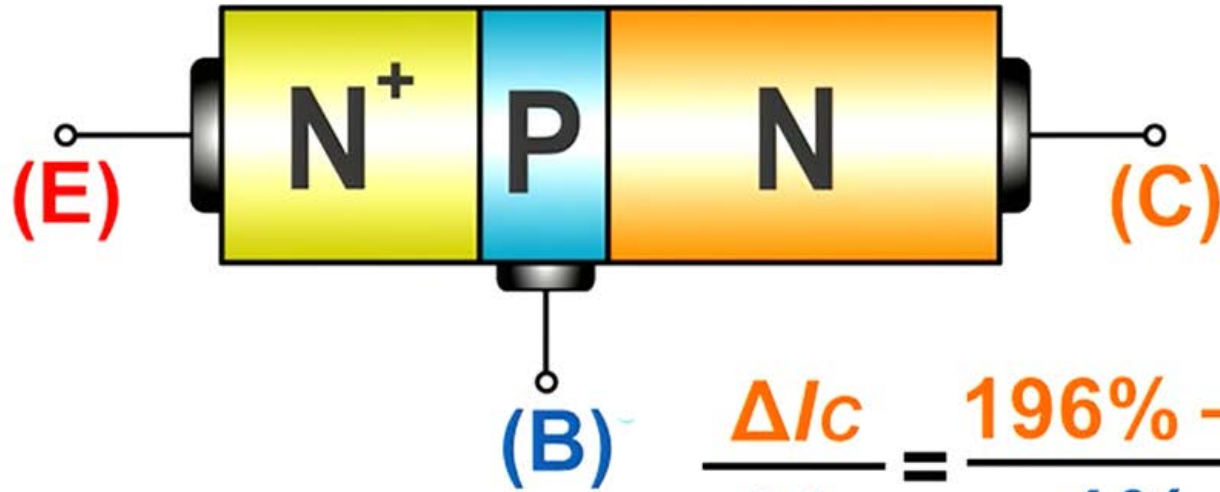
$$V_{BE} = 0.7V$$

【輸出特性曲線】

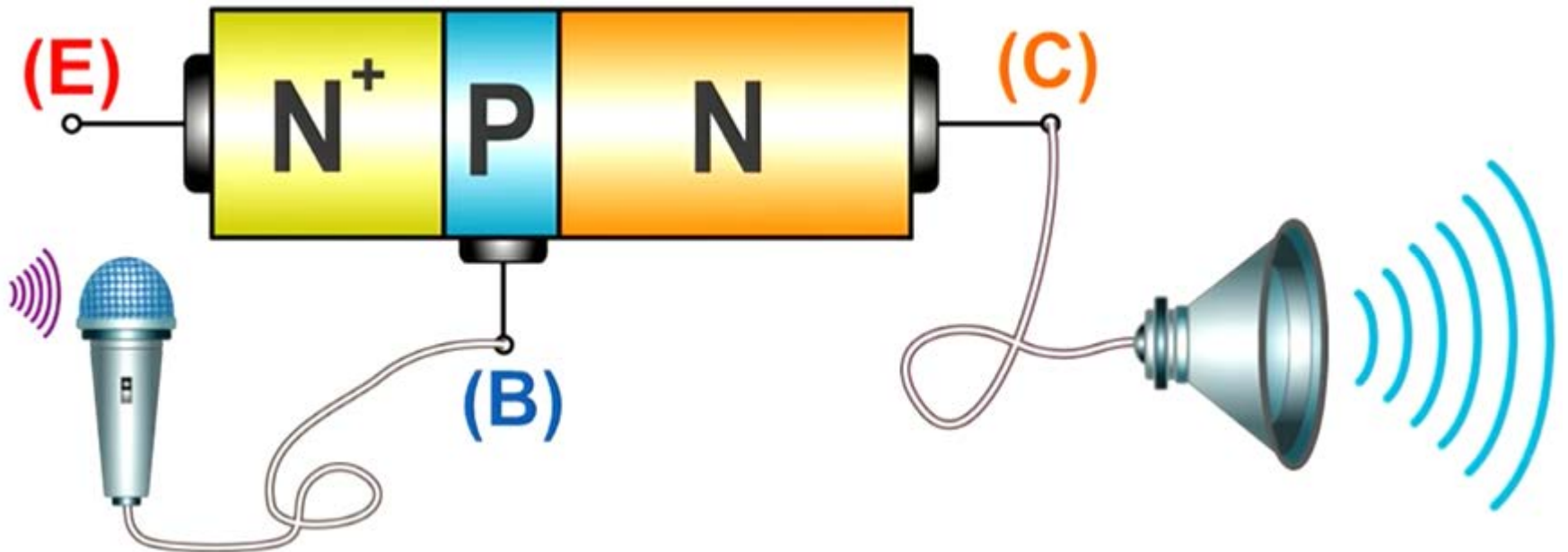


1. 飽和區： $V_{CE} \leq 0.2V$
2. 主動區： V_{CE} 增加 I_C 不變
3. 截止區： I_B 、 I_C 皆為0

電晶體之放大作用



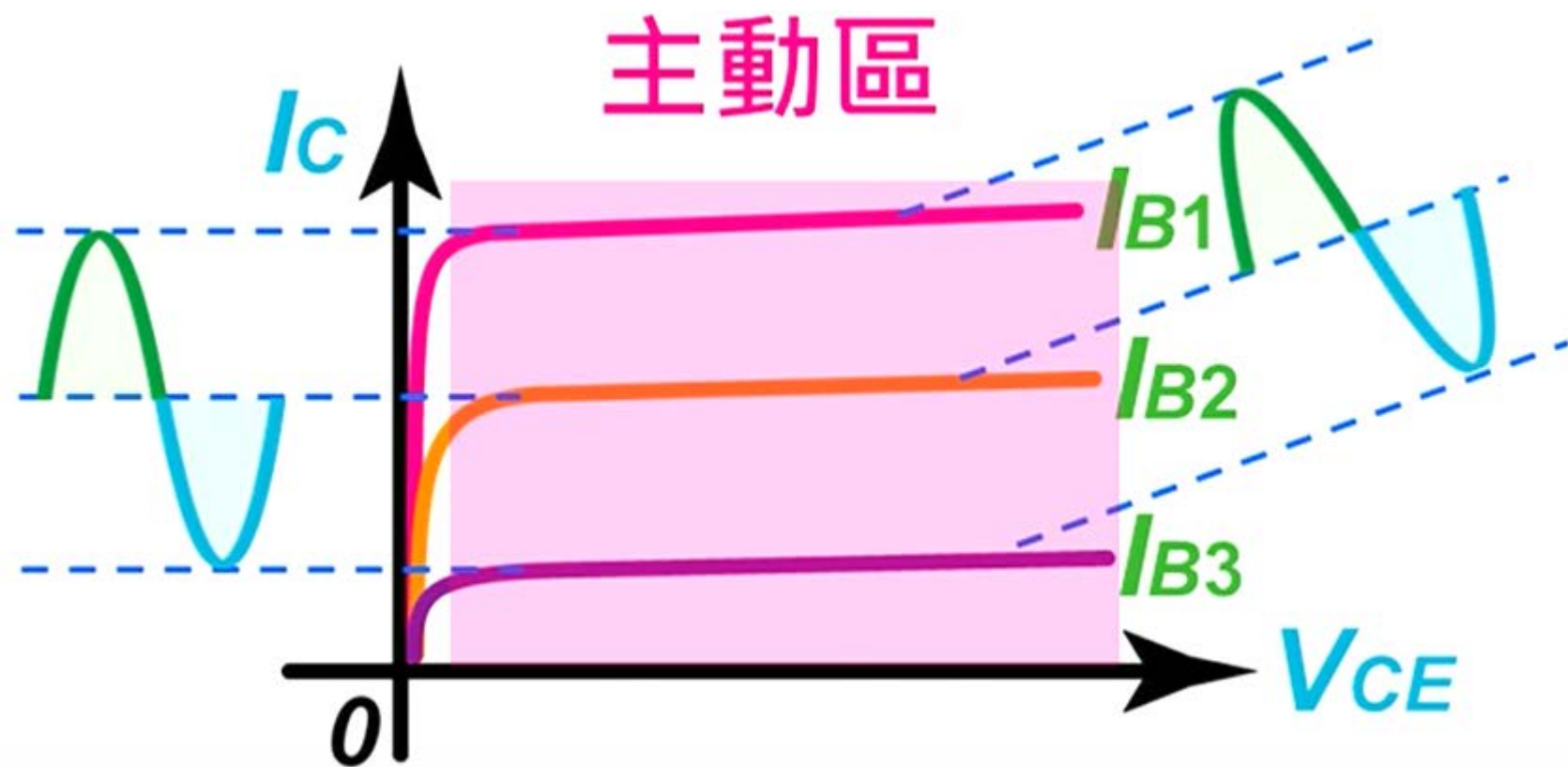
$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{196\% - 98\%}{4\% - 2\%} = 49$$

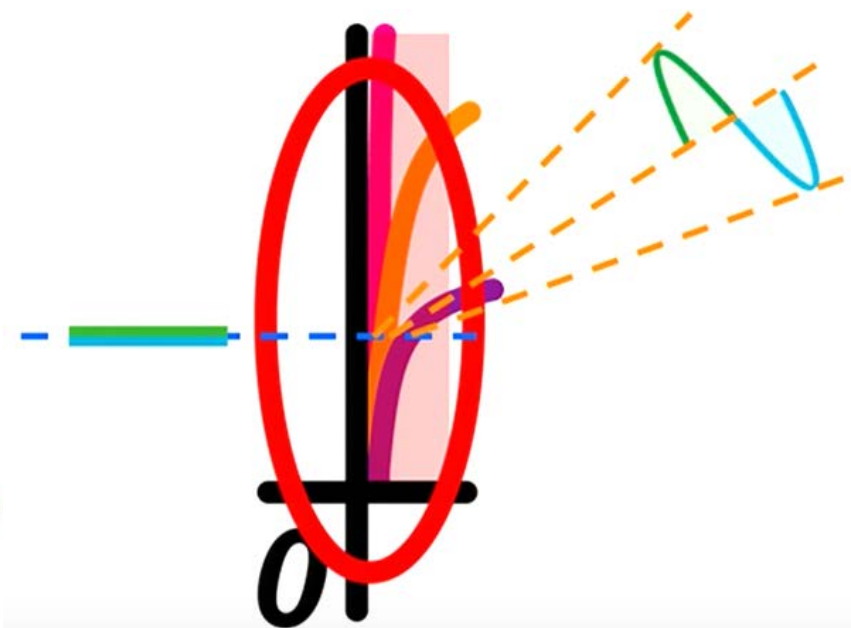
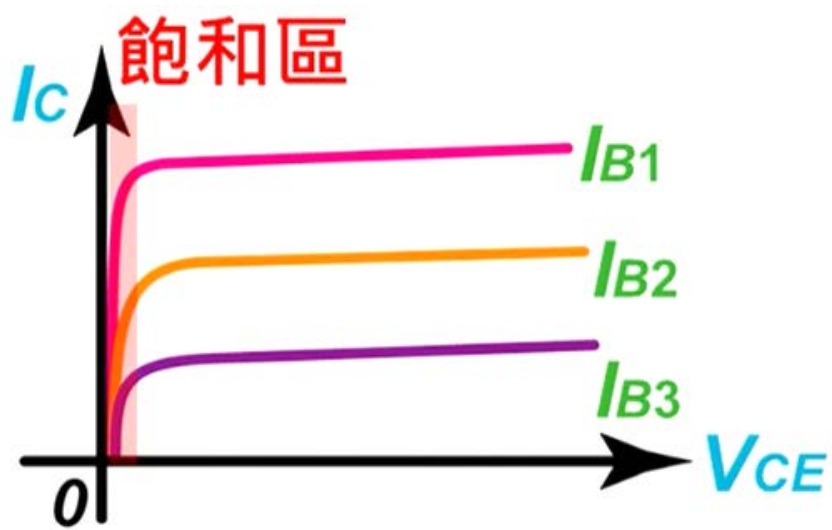


	原來比例	提高射極濃度	減小基極寬度
ΔI_E	100%	200%	100%
ΔI_B	2%	2%	1%
ΔI_C	98%	198%	99%
$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$	$\frac{98\%}{2\%} = 49$	$\frac{198\%}{2\%} = 99$	$\frac{99\%}{1\%} = 99$

電晶體的放大與工作區域

(以CE型為例)





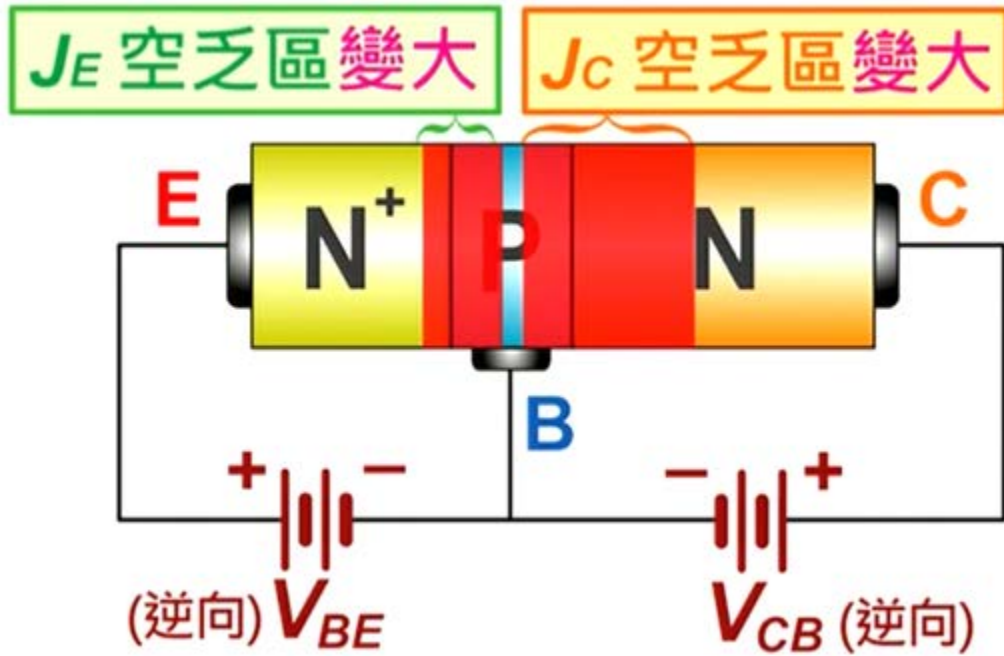
電晶體之開關作用

電晶體之放大作用是在『主動』模式下完成。

電晶體之開關作用則必須在『截止與飽和』模式下完成。

截止模式

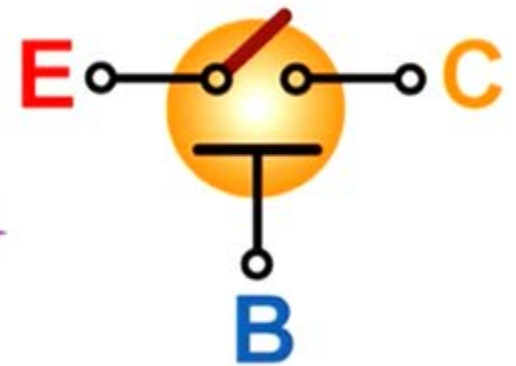
(以NPN電晶體為例)



等效電路



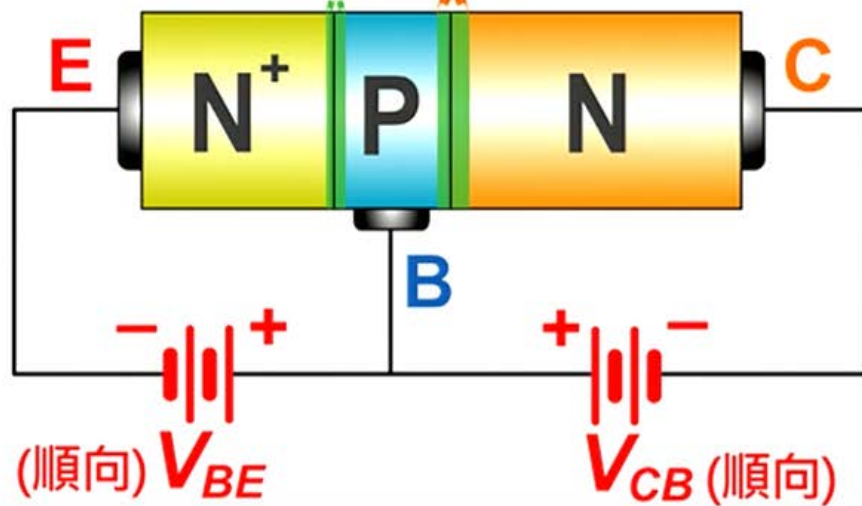
開關斷路



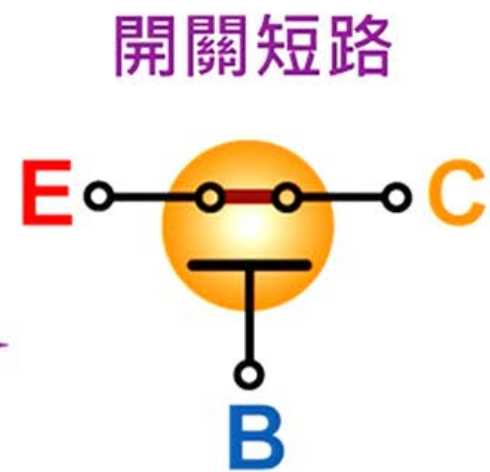
飽和模式

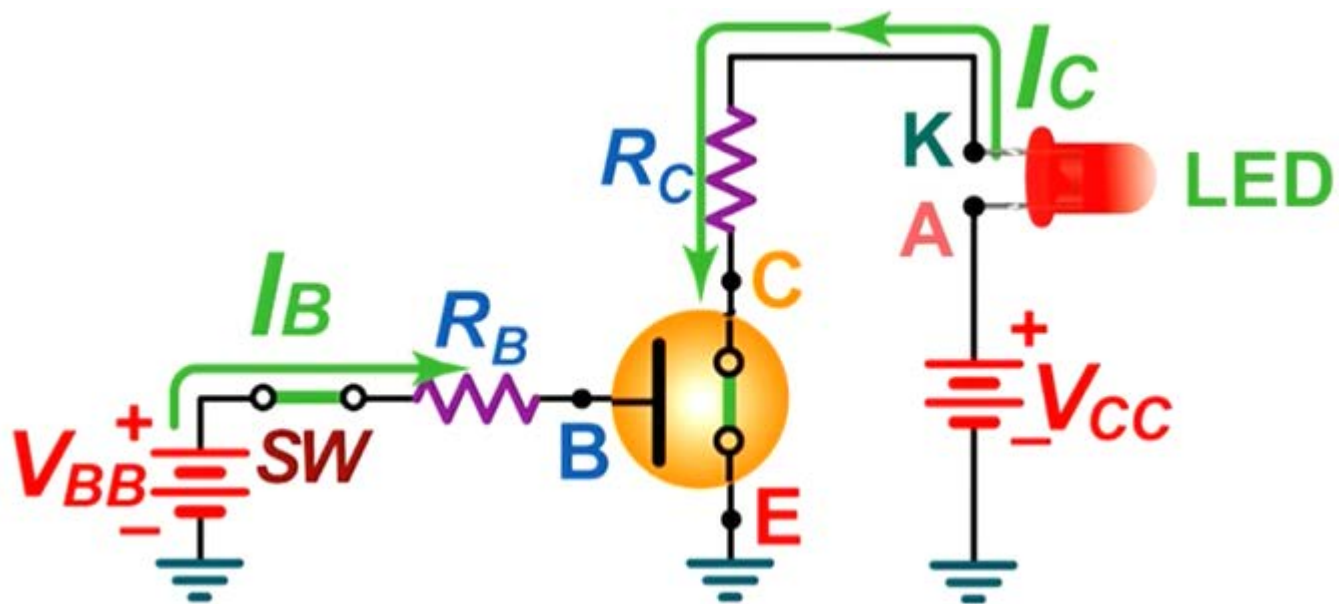
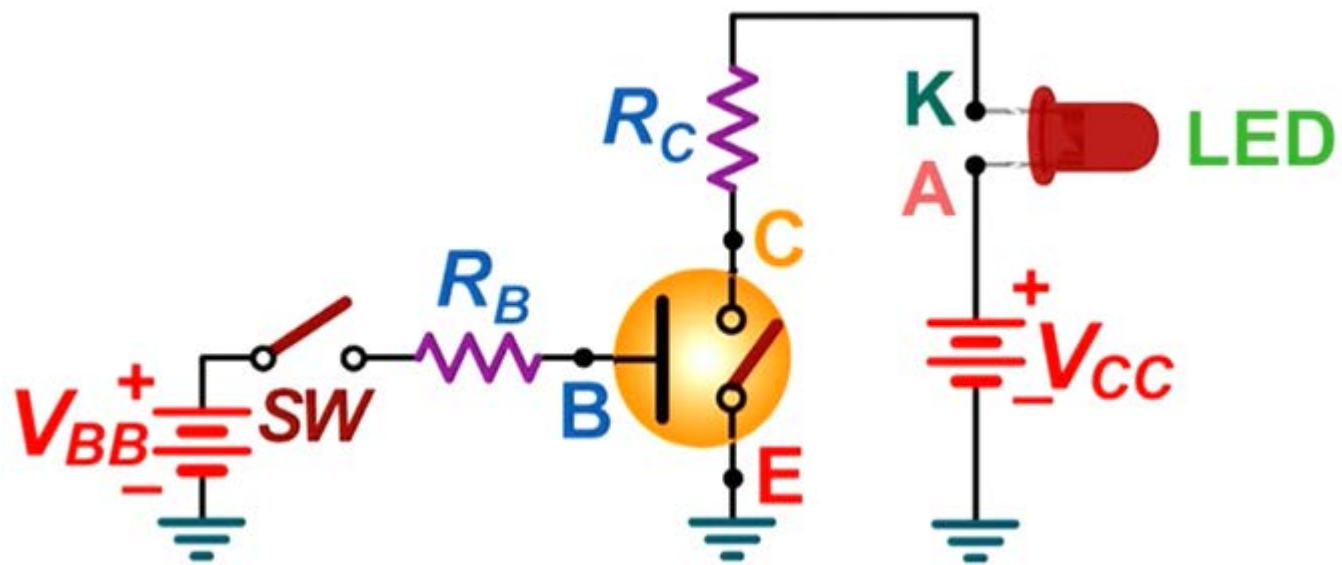
(以NPN電晶體為例)

J_E 空乏區變小 J_C 空乏區變小



等效電路





滿足電晶體開關電路的條件：

- 1.開關OFF時，電晶體必須截止
- 2.開關ON時，電晶體必須飽和

使電晶體工作於主動區的條件：

$$I_B \times \beta = I_C$$

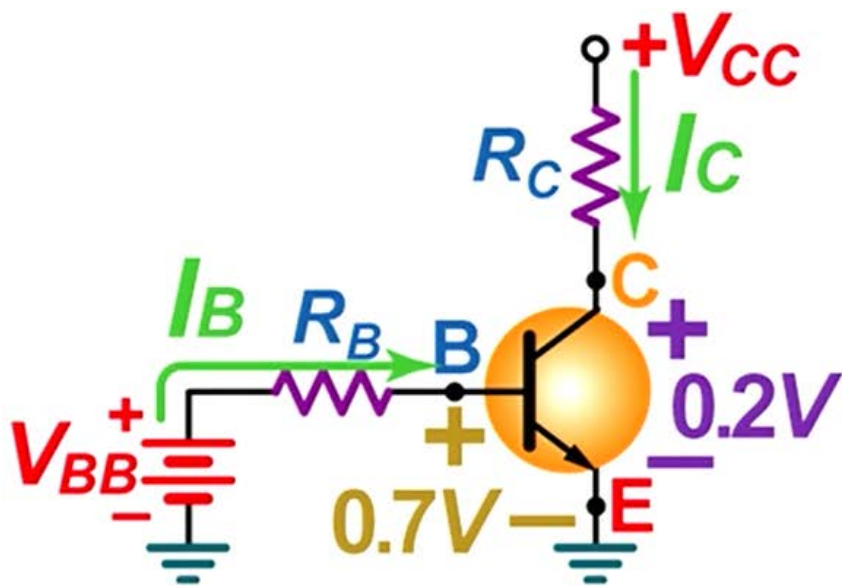
使電晶體工作於飽和區的條件：

$$I_B \times \beta \geq I_{C(sat)}$$

電晶體飽和的現象

$$V_{BE} = V_{BE(sat)} = +0.7 V$$

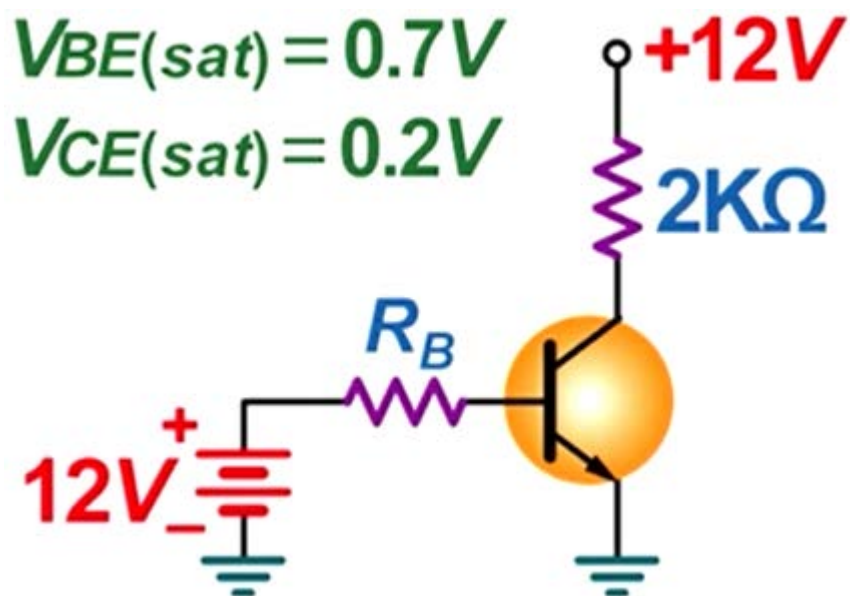
$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = +0.2 V$$



$$I_B = \frac{V_{BB} - 0.7V}{R_B}$$

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

有一電晶體開關電路如下圖，已知電晶體的 $\beta = 100$ ，試求使電路正常動作的 R_B 電阻範圍



【解析】

$$\text{條件： } I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$I_B = \frac{12V - 0.7V}{R_B}$$

$$I_C(\text{sat}) = \frac{12V - 0.2V}{2K\Omega}$$

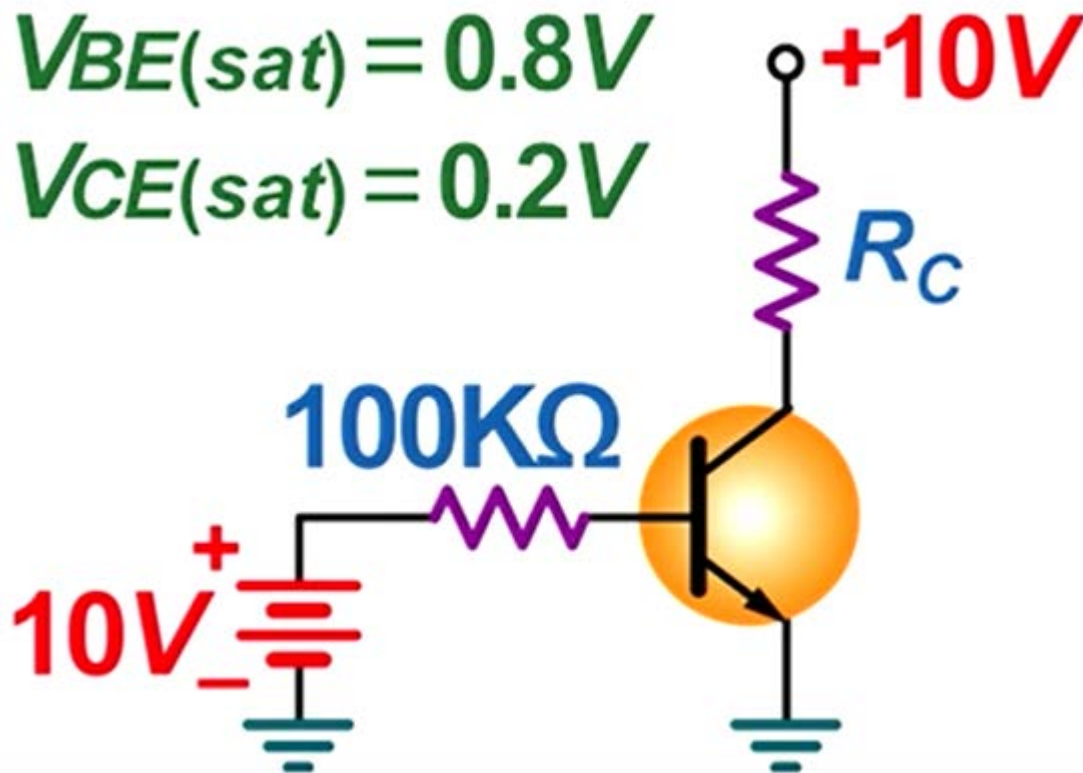
$$I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$\frac{12V - 0.7V}{R_B} \times 100 \geq \frac{12V - 0.2V}{2K\Omega}$$

$$\frac{11.3V}{R_B} \times 100 \geq 5.9mA$$

$$R_B \leq 191.53K\Omega$$

有一電晶體開關電路如下圖，已知電晶體的 $\beta = 80$ ，試求使電路正常動作的 R_C 電阻範圍



【解析】

$$I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$$

$$\frac{10V - 0.8V}{100K\Omega} \times 80 \geq \frac{10V - 0.2V}{R_C}$$

$$92\mu A \times 80 \geq \frac{9.8V}{R_C}$$

$$R_C \geq 1.33K\Omega$$

改善開關電路進入飽和的方法

飽和條件： $I_B \times \beta \geq I_C(\text{sat})$

$$\frac{V_{BB} - 0.7V}{R_B} \times \beta \geq \frac{V_{CC} - 0.2V}{R_C}$$

V_{BB}	R_B	β	V_{CC}	R_C
增加	減小	增加	減小	增加