



## § 1.3 晶体管（三极管）

### 常见晶体管外形图



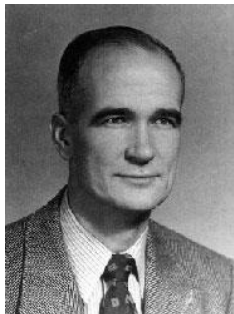
(a) 金属圆壳封装三极管



(b) 塑料封装三极管



(c) 大功率三极管



**威廉·肖克利, 美国科学家**  
**晶体管之父, 1956年诺贝尔物理学奖**

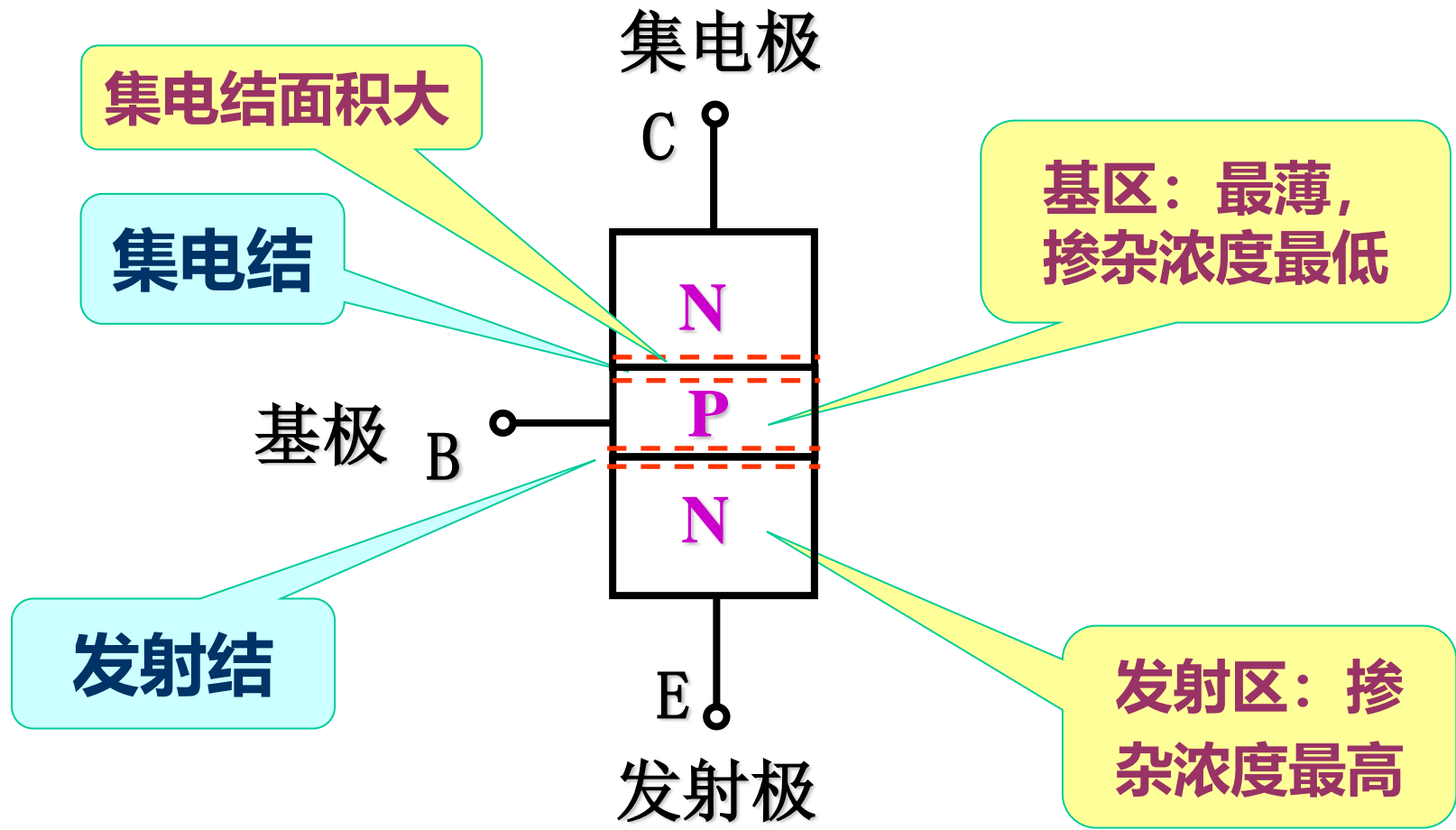


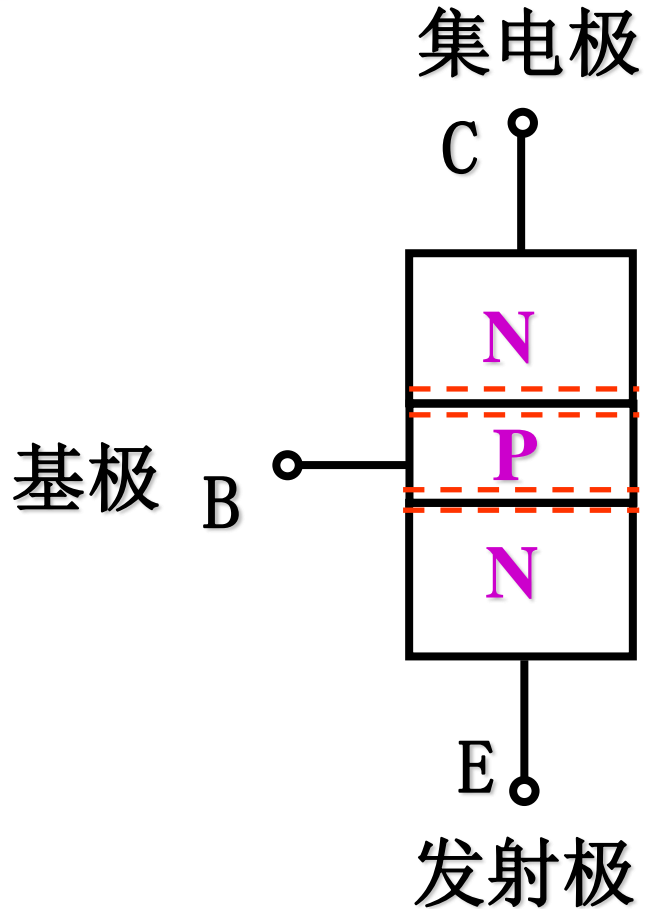
## 视频资料

- **晶体管制造工艺 0:30-2:20**
- **晶体管放大条件和原理 2:20---4:50**
- **电流分配关系 \* 4:50 ---8:50**
- **温度对电流的影响 \* 8:50---**

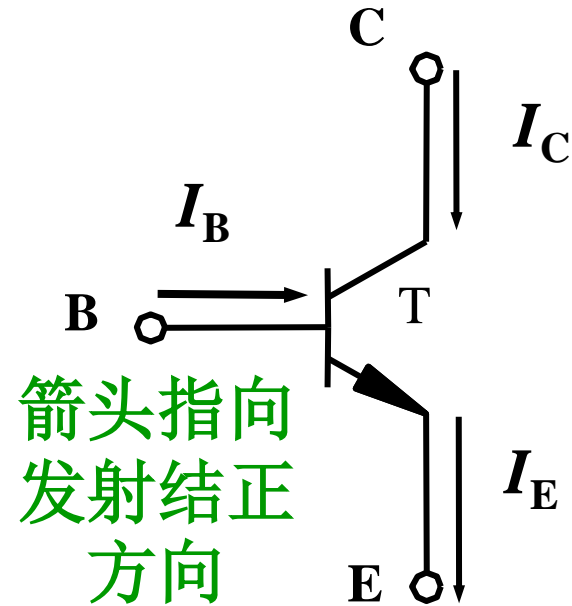


## 双极型晶体三极管结构特点



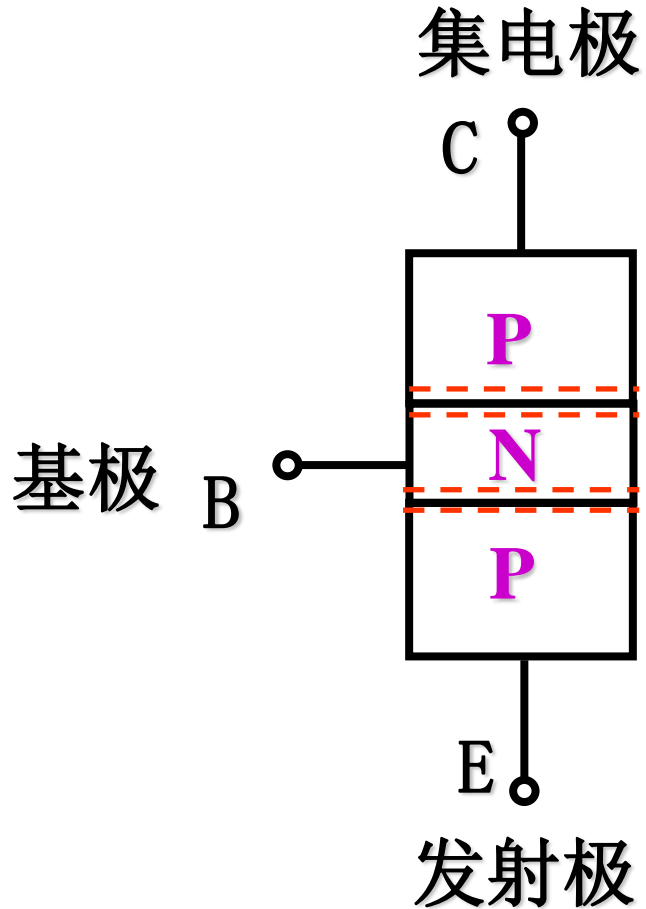


符号

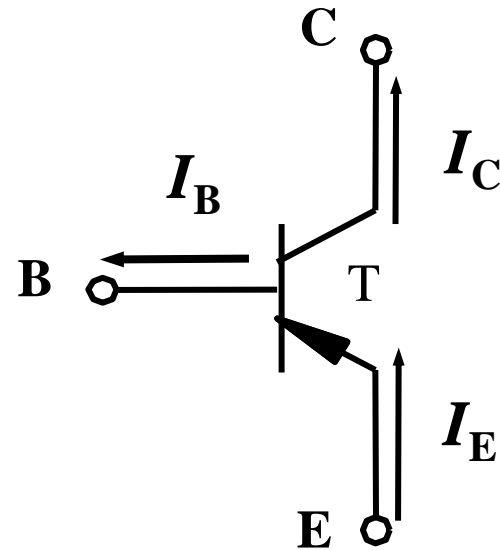


**NPN型晶体管**

**Transistor**



符 号



箭头指向  
发射结正  
方向

PNP型晶体管



# 晶体管电流分配和放大关系

➤ 放大的外部条件：发射结正偏、集电结反偏

## 从电位角度看

**NPN**

发射结正偏  $V_B > V_E$

集电结反偏  $V_C > V_B$

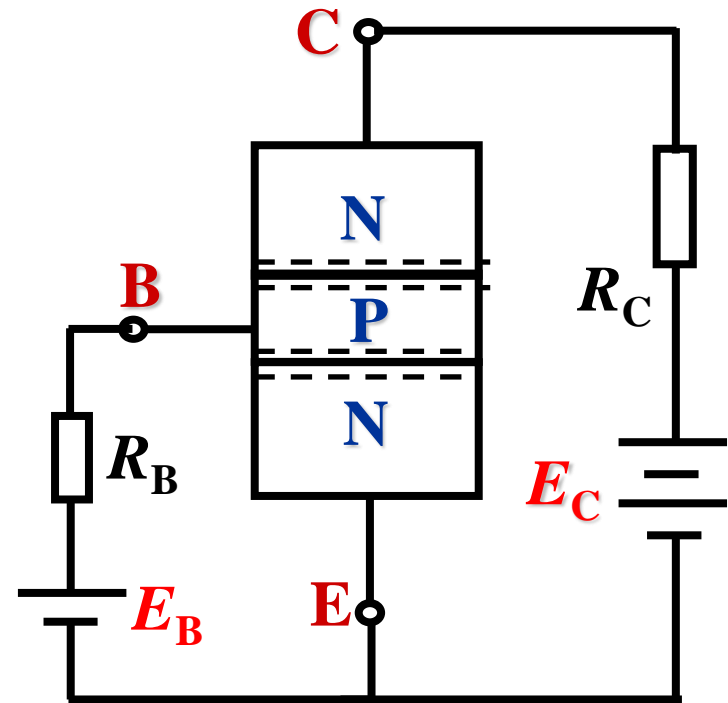
集电极电位最高

**PNP**

发射结正偏  $V_B < V_E$

集电结反偏  $V_C < V_B$

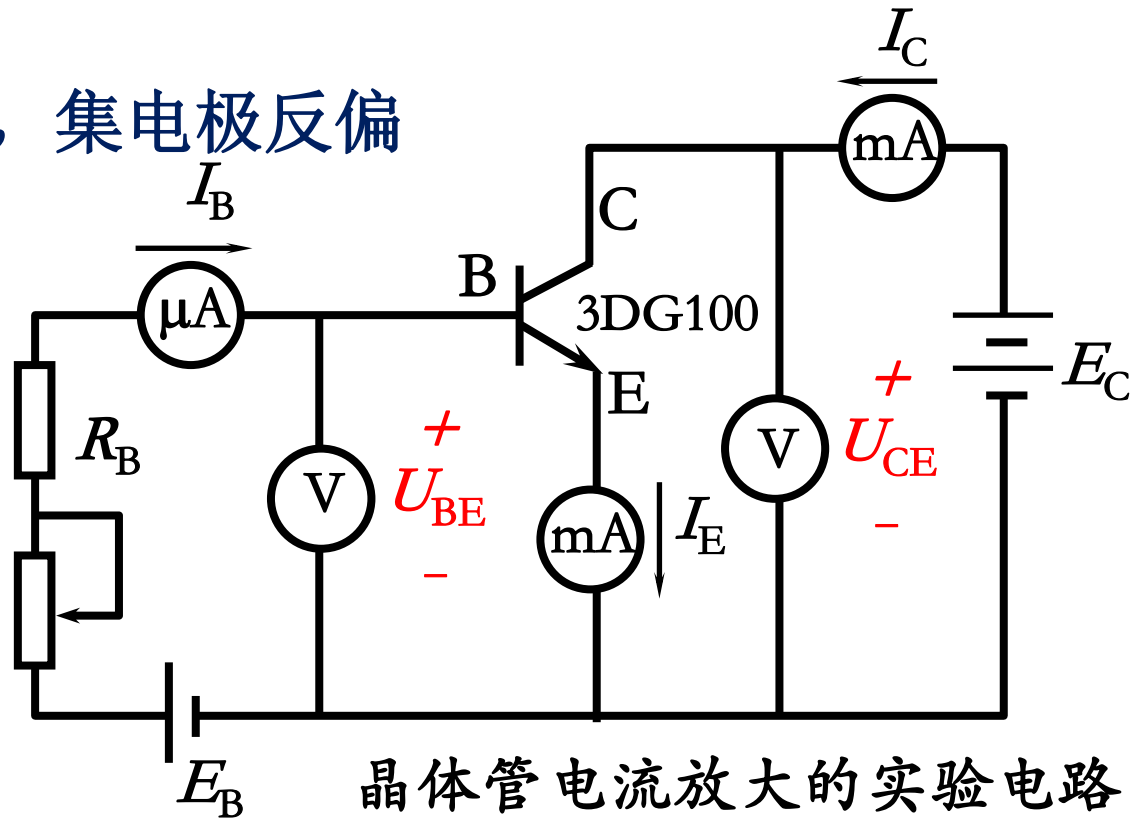
集电极电位最低





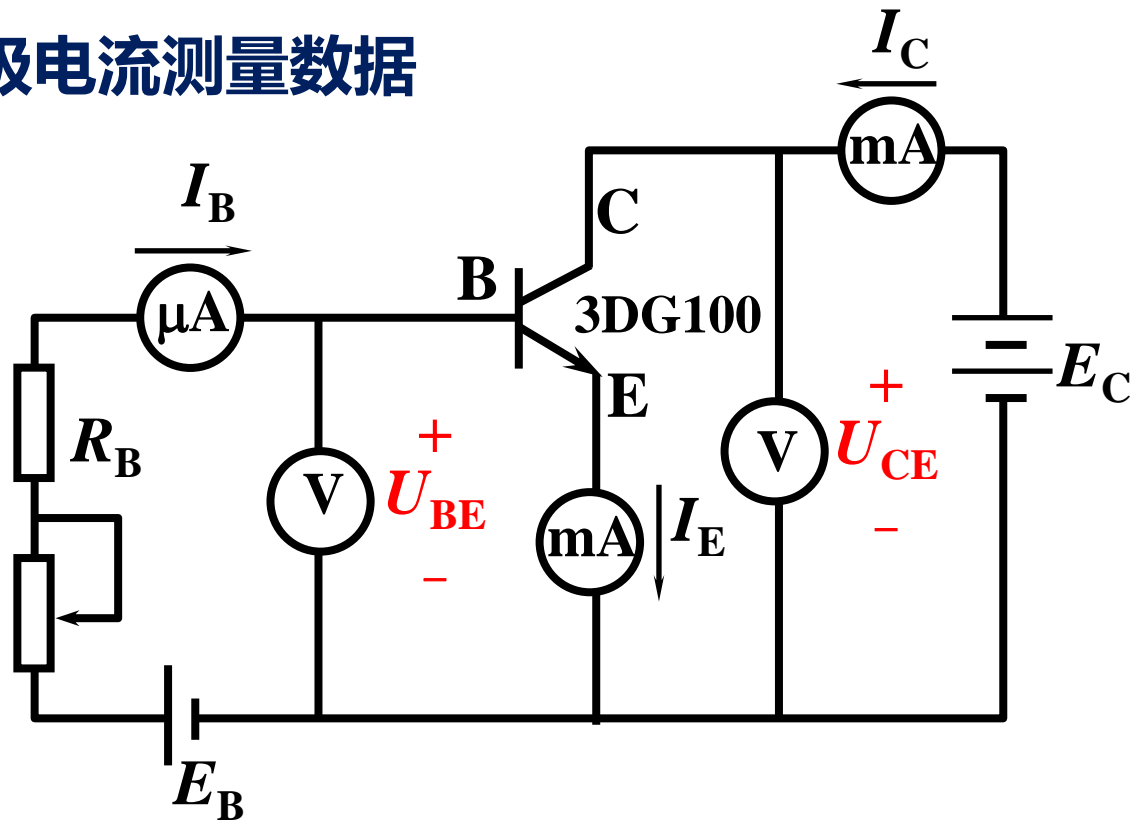
# 从工程实践角度探索三极管各极电流关系

发射极正偏，集电极反偏



改变可变电阻 $R_B$ ，使基极电流 $I_B$ 发生变化，  
观察集电极电流 $I_C$ 和发射极电流 $I_E$ 的变化

# 晶体管各极电流测量数据



$I_B(\text{mA})$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_C(\text{mA})$	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
$I_E(\text{mA})$	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05





## 数据分析:

$I_B(\text{mA})$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_C(\text{mA})$	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
$I_E(\text{mA})$	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

- $I_E = I_B + I_C$  符合基尔霍夫定律
- $I_C \gg I_B, I_C \approx I_E$   $\frac{I_C}{I_B}$  (35, 37.5, 38.3, 38.7, 39.5)
- $\Delta I_C \gg \Delta I_B$   $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$  (40, 40, 40, 42.5)

**基极电流的微小变化能引起集电极电流较大的变化!**

**放大实质:**

晶体管的电流放大作用

用一个微小电流的变化去**控制**一个较大电流的变化

**晶体管是电流控制电流的器件**



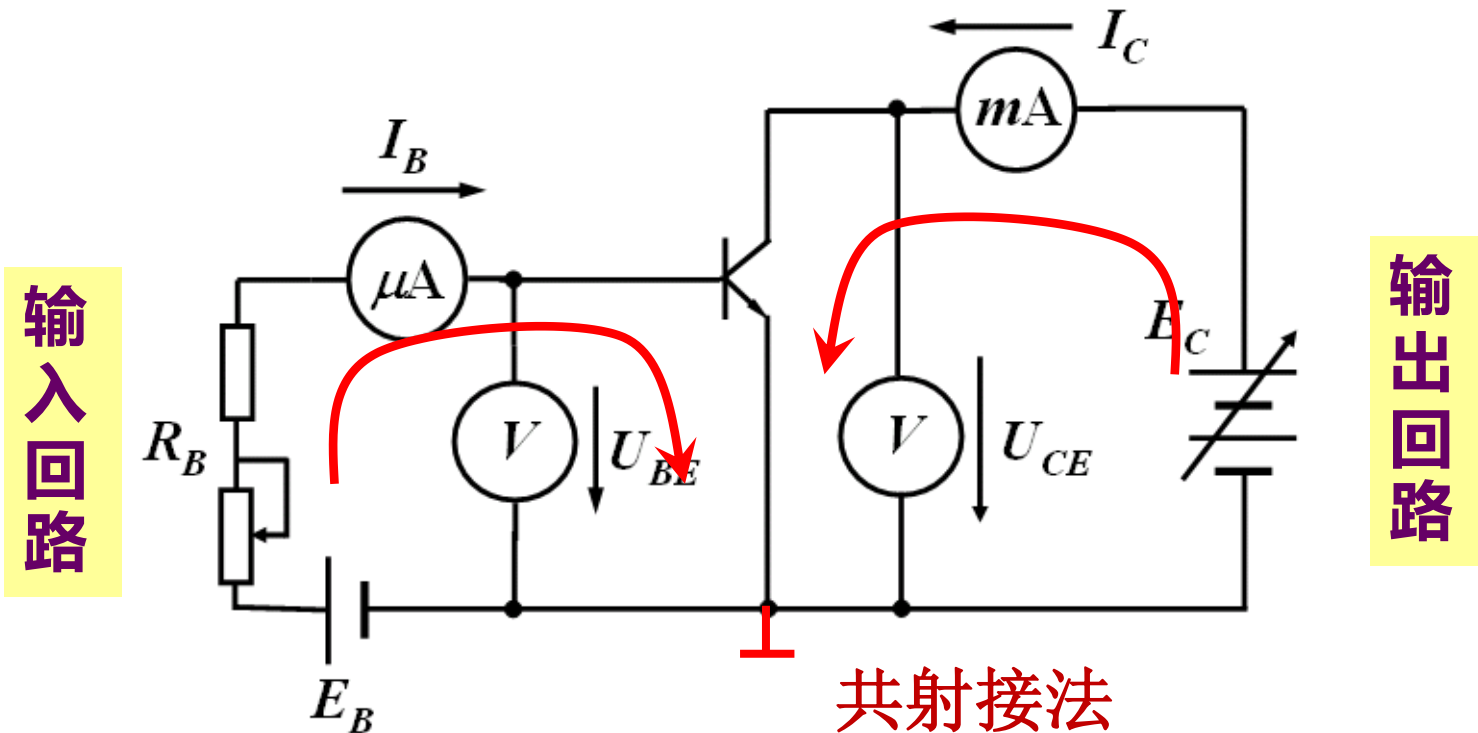
## § 1.3.2 晶体管的特性曲线——只能实测

### 输入特性曲线

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{常数}}$$

### 输出特性曲线

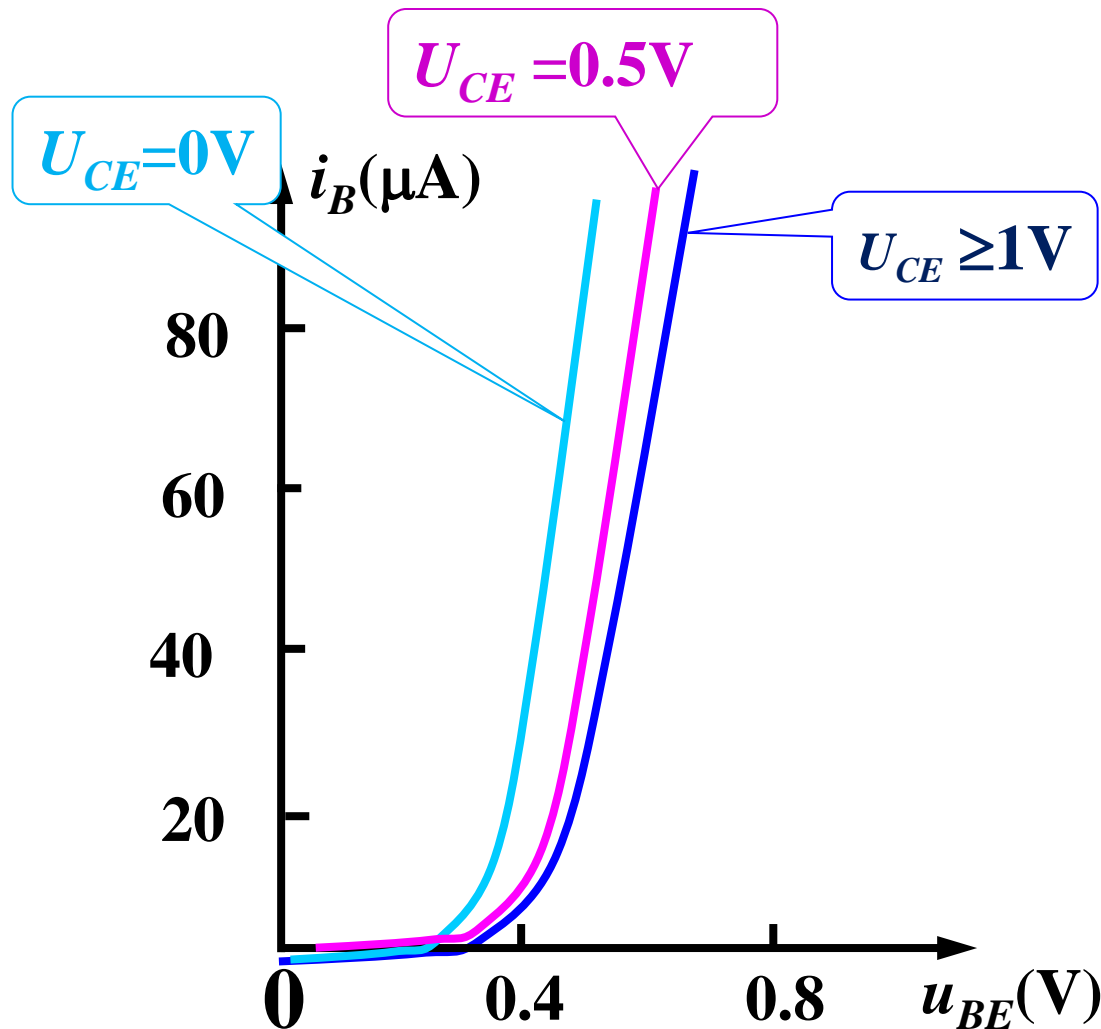
$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{常数}}$$





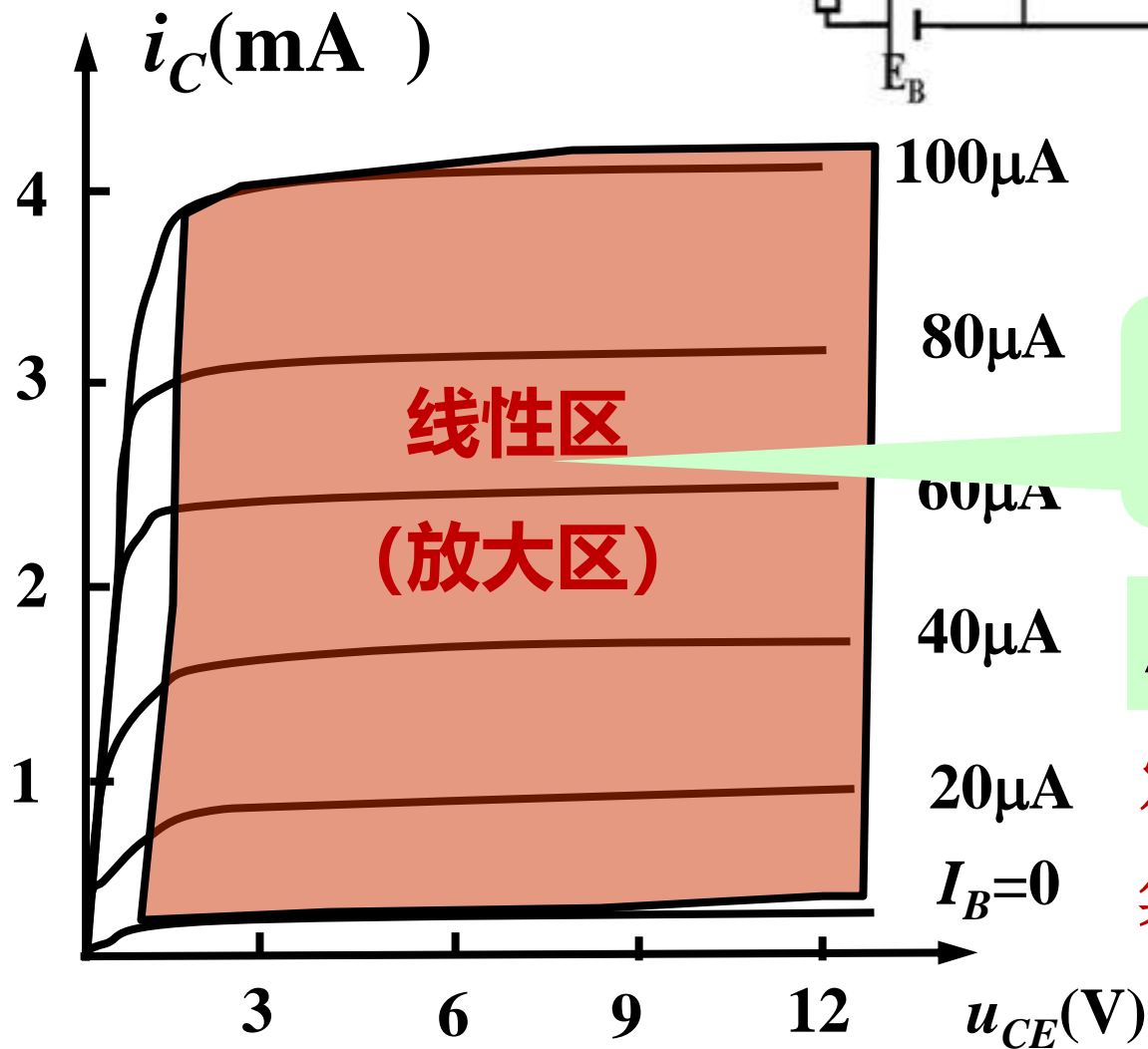
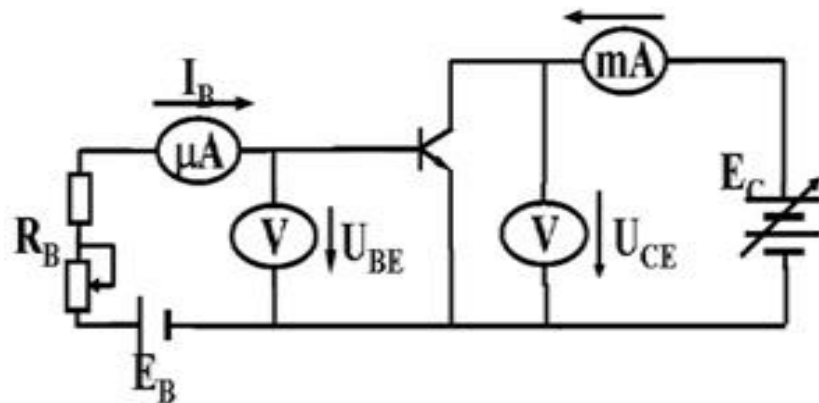
# 输入特性曲线

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{常数}}$$



# 输出特性曲线

$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{常数}}$$



$I_C$  只与  $I_B$  有关

$$I_C = \beta I_B$$

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

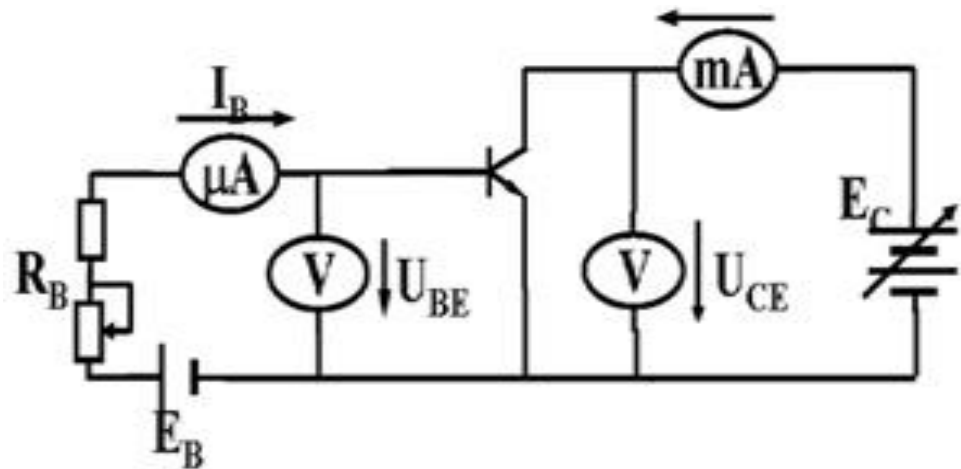
发射结正偏

集电结反偏

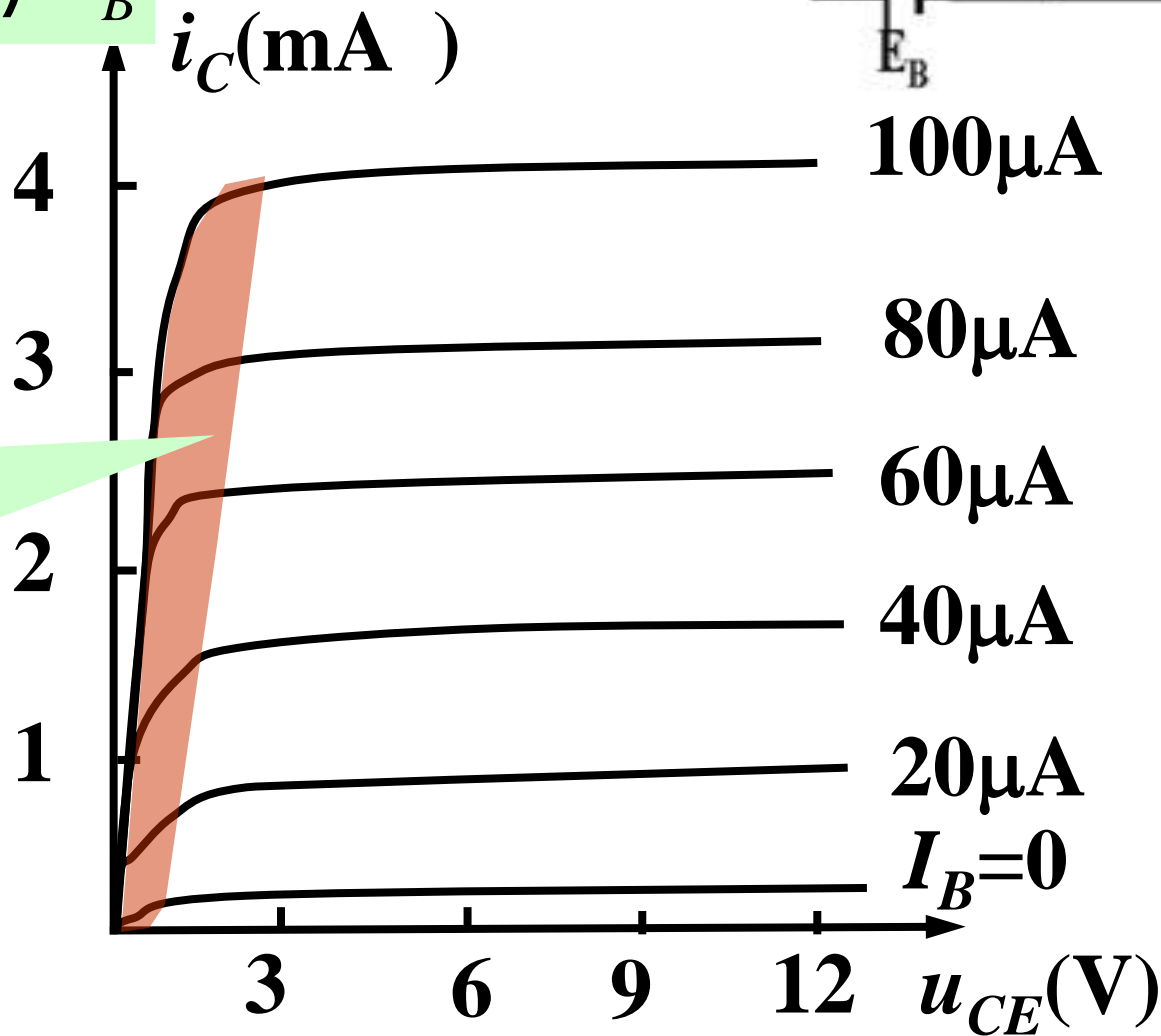
发射结正偏

集电结正偏

$$I_C < \beta I_B$$



饱和区



深度饱和时

$$U_{CE} \approx 0$$

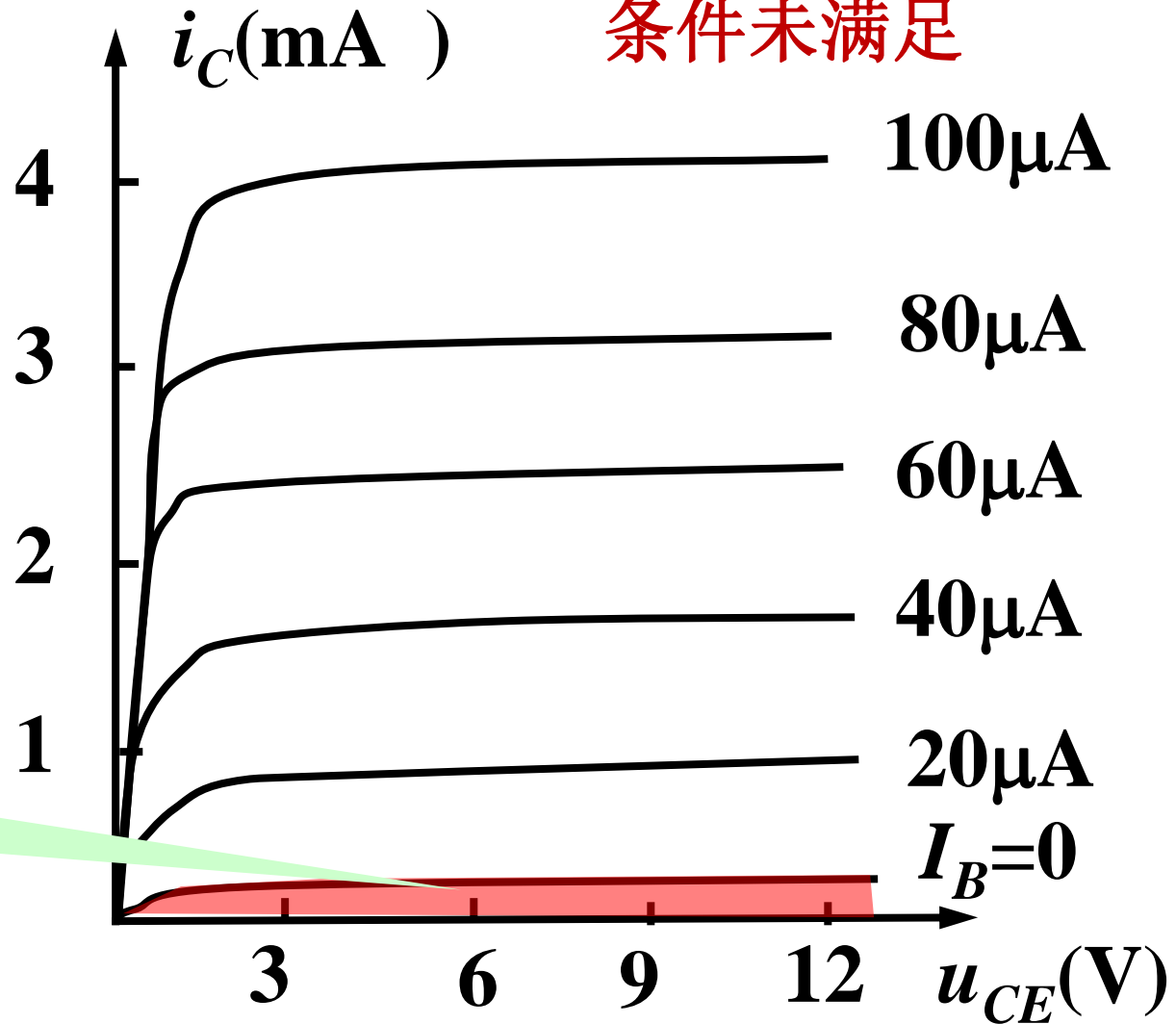


发射结正偏

条件未满足

$I_C \approx 0$

截止区



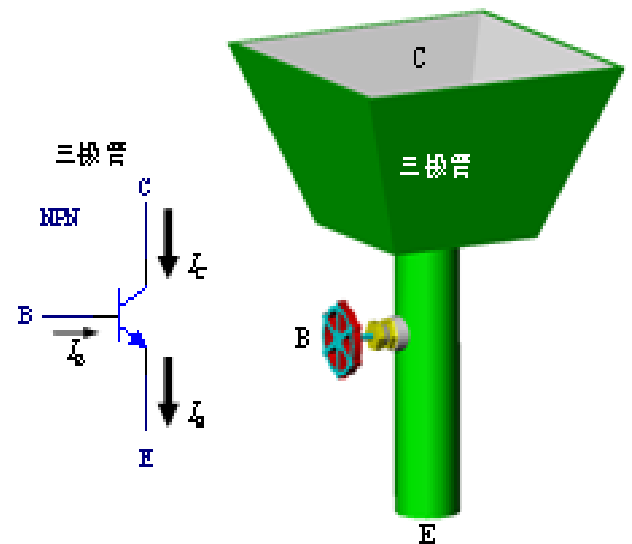


# 放大电路三个工作区域的特点

(1) 放大区：发射结正偏，集电结反偏

(2) 饱和区：发射结正偏，集电结正偏

(3) 截止区：  $U_{BE} < \text{死区电压}$

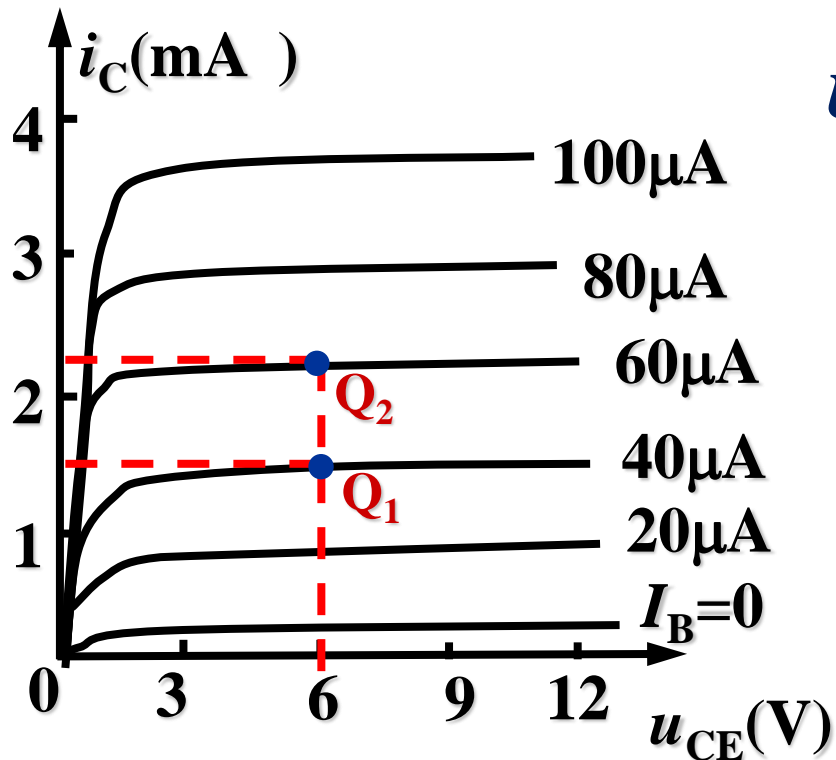




共射直流电流放大倍数:  $\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B}$

一般计算中近似处理:  
 $\beta = \bar{\beta}$

共射交流电流放大倍数:  $\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}$



$U_{CE}=6V$ 时,  $I_B=40\mu A$ ,  $I_C=1.5m$ ;  
 $I_B=60\mu A$ ,  $I_C=2.3mA$

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.5}{0.04} = 37.5$$

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{2.3 - 1.5}{0.06 - 0.04} = 40$$



例:  $\beta = 50$ ,  $U_{SC} = 12V$   $R_B = 70k\Omega$ ,  $R_C = 6k\Omega$  当  $U_{SB} = -2V, 2V, 5V$  时, 晶体管处于何种工作状态?

解1: 当  $U_{SB} = -2V$  时:

$$I_B = 0, \quad I_C = 0$$

截止

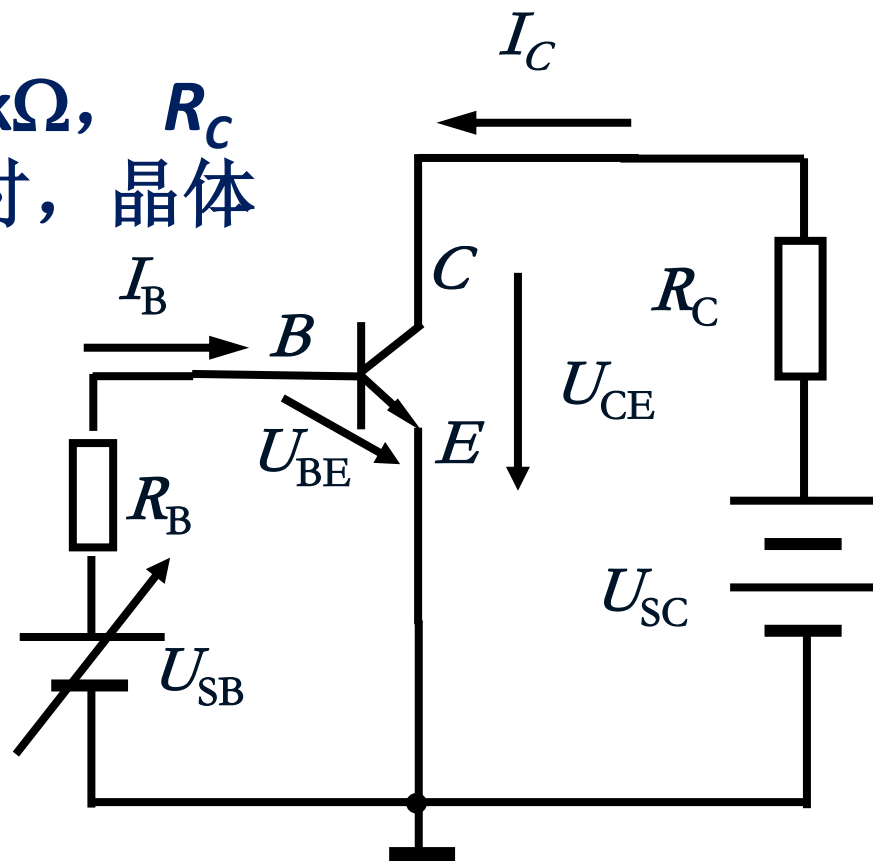
当  $U_{SB} = 2V$  时:

$$I_B = \frac{U_{SB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{2 - 0.7}{70} = 19\mu A$$

假定在放大区  $I_C = \beta I_B = 50 * 19 = 950\mu A = 0.95mA$

$$U_{CE} = U_{SC} - I_C R_C = 12 - 6 * 0.95 \approx 6V$$

$U_{CE} > U_{BE}$  假定成立 放大





当  $U_{SB} = 5V$  时:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{70} = 62 \mu A$$

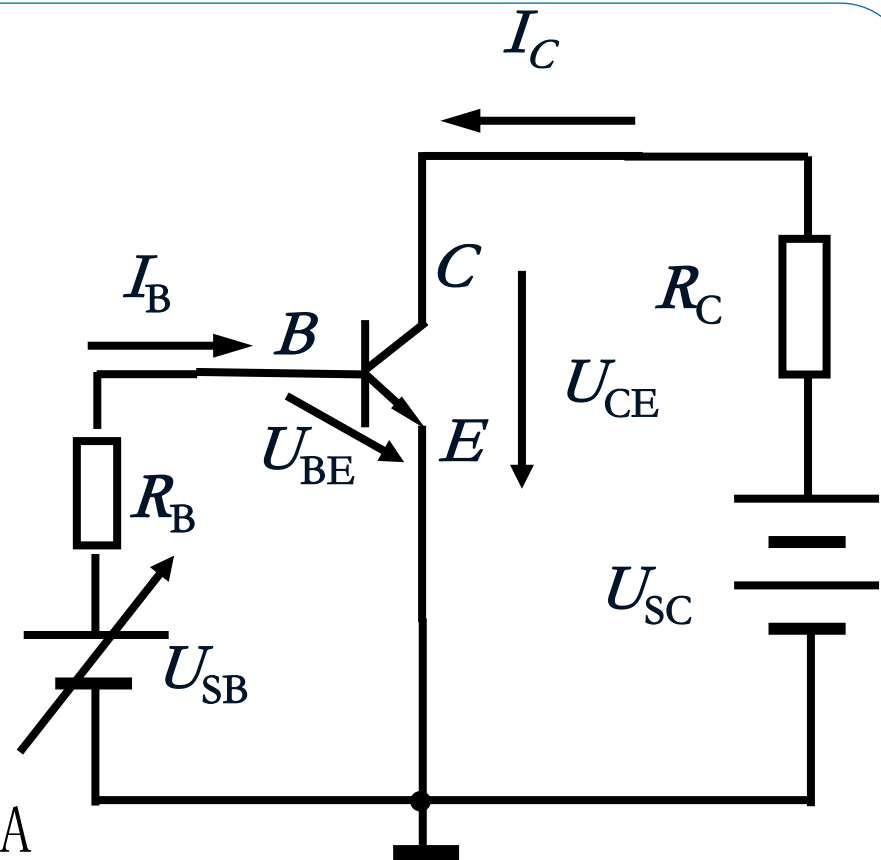
假定在放大区

$$I_C = \beta I_B = 50 * 62 = 3.1 mA$$

$$U_{CE} = U_{SC} - I_C R_C = 12 - 6 * 3.1 < 0V$$

$$U_{CE} < U_{BE}$$

假定不成立 饱和

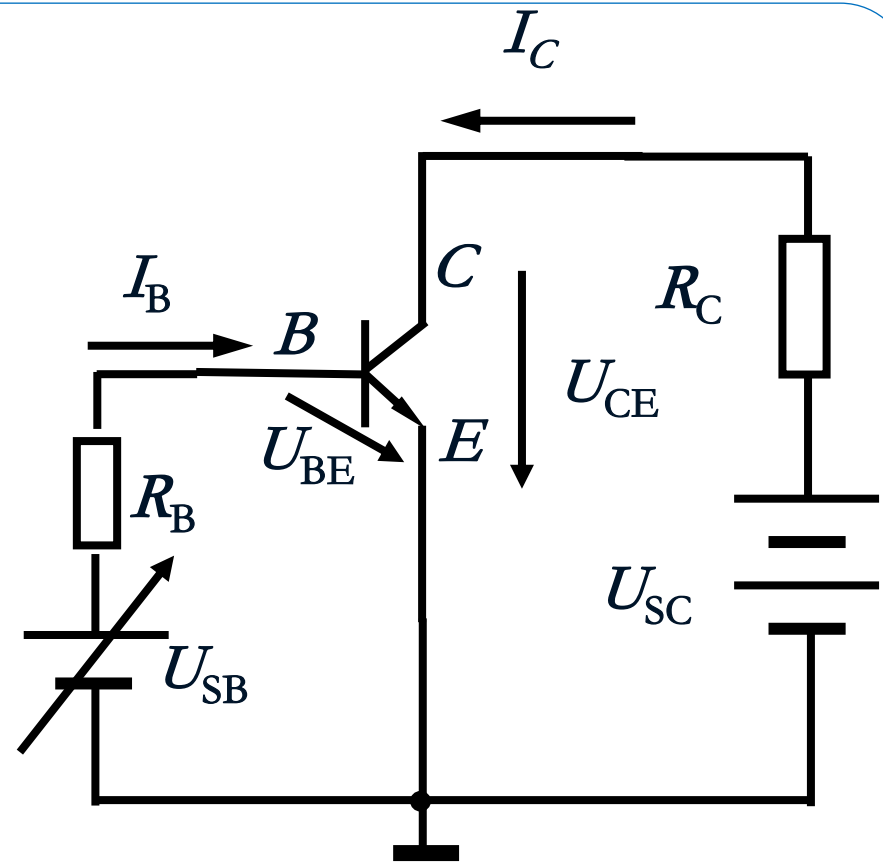




$$I_{\text{Cmax}} \approx \frac{U_{\text{sc}}}{R_{\text{c}}} = \frac{12}{6} = 2\text{mA}$$

## 算临界饱和时电流 $I_B$

$$I_B' \approx \frac{2\text{mA}}{50} = 40\mu\text{A}$$

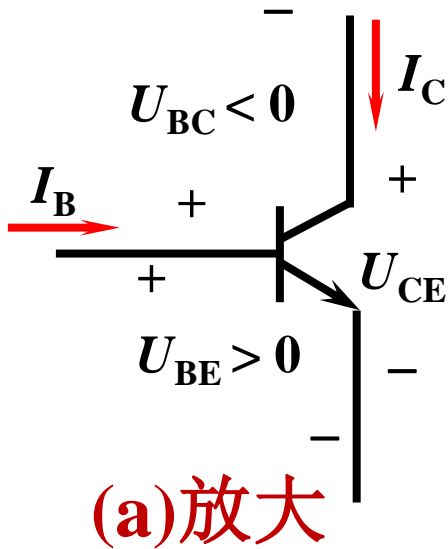


当  $U_{SB}=2V$  时  $I_B = 19\mu A < 40\mu A$  放大

当  $U_{\text{SB}}=5\text{V}$  时  $I_{\text{B}} = 62\mu\text{A} > 40\mu\text{A}$  饱和



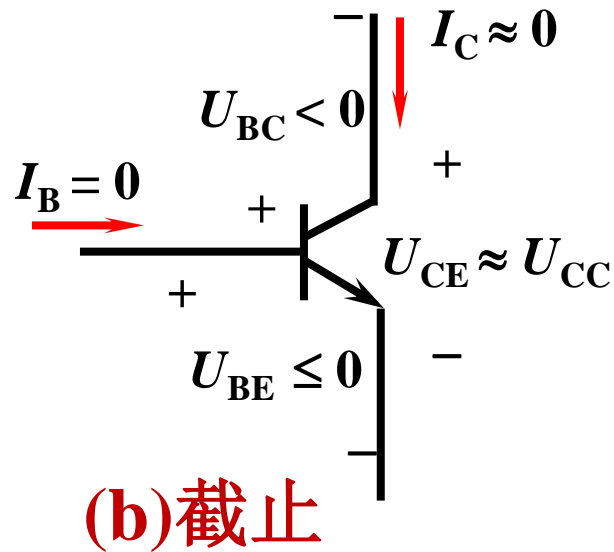
# 晶体管三种工作状态



$$I_C = \beta I_B$$

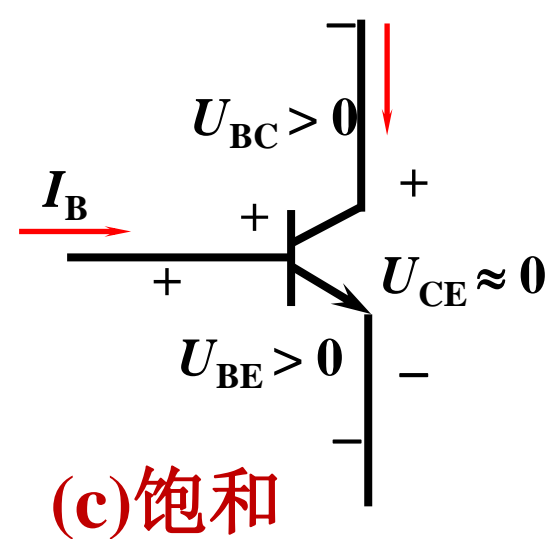
$$\text{且 } \Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

模拟电路



$$I_C \approx 0$$

发射极和集电极之间如同开关断开，电阻很大。



$$U_{CE} \approx 0$$

发射极和集电极之间如同开关接通，电阻很小

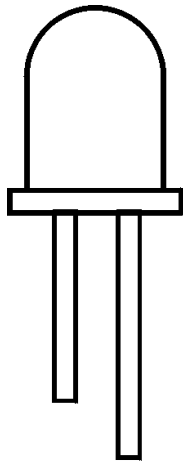
数字电路



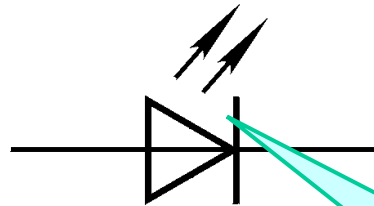
## 补充：光电器件

### 发光二极管

加上正向电压并有足够大的正向电流时，能发出一定波长范围的光。



(a)



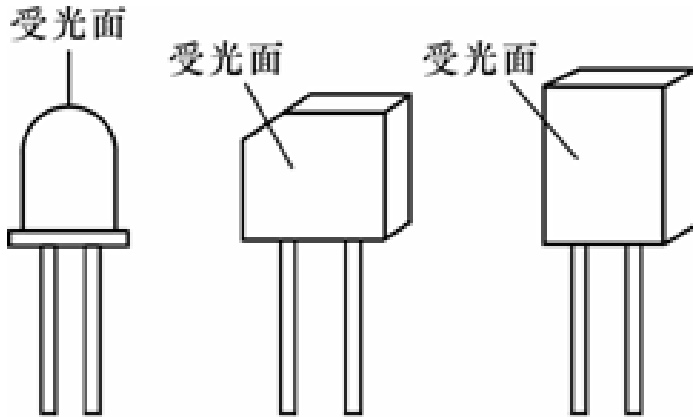
(b)

常用于  
显示电  
路中

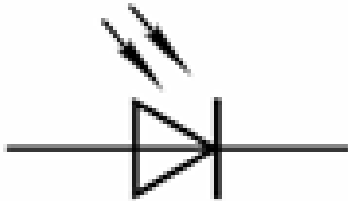
**Light-Emitting Diode**



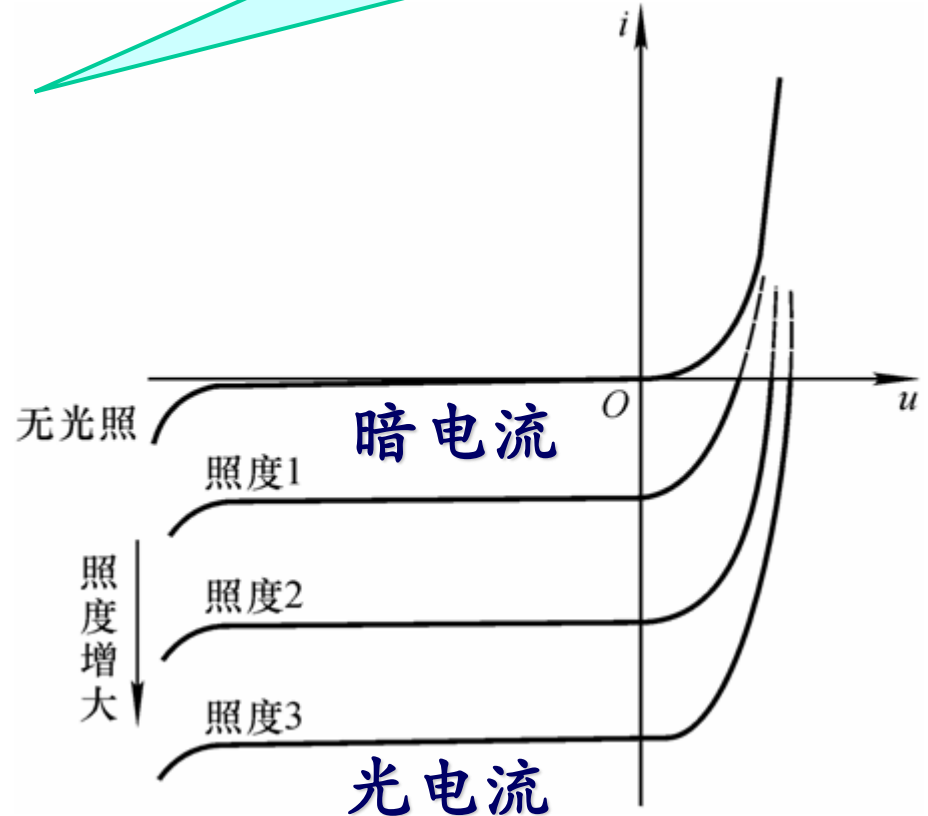
# 光电二极管



(a)



常用于遥控、报警、  
光电传感器中



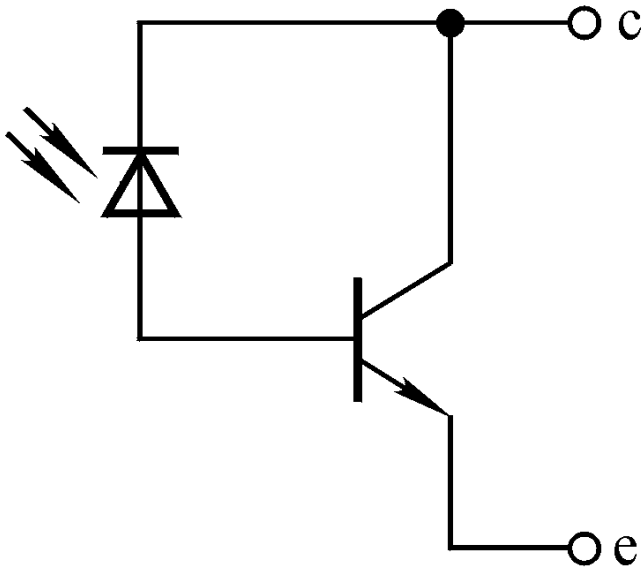
工作在反向电压作用下

几十 $\mu\text{A}$ , 须放大



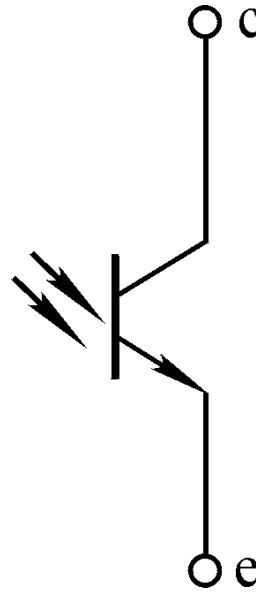
# 光电晶体管

由光照强度控制集电极电流大小



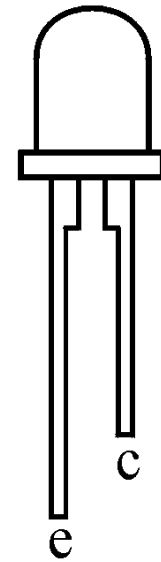
(a)

等效电路



(b)

符号



(c)

外形



# 第一章作业

- 1.1 图(a)注：第一个图；
- 1.3；
- 1.4 含二极管电路分析
- 1.11；
- 1.12 三极管应用电路分析

按钮：按下接通，松手后自动弹起

继电器：由电磁铁+线圈（图中KA方框）和触点（图中KA触点）两部分组成。  
当线圈上加上额定电压时，常开触点闭合，否则常开触点断开