

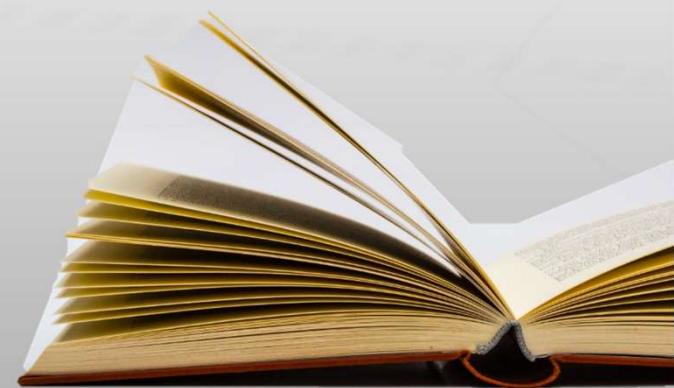


合肥工业大学

HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

# 9.4 三极管

Transistors



# 目录 / contents

01

基本结构

02

电流分配和放大原理

03

特性曲线

04

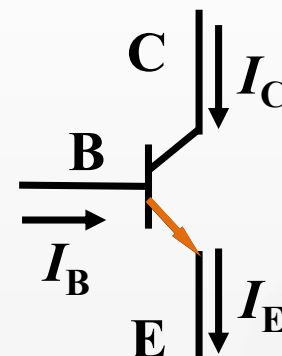
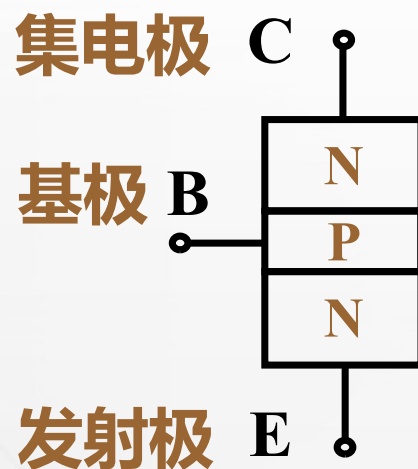
主要参数



# 01 基本结构

# 01 基本结构

## NPN型三极管

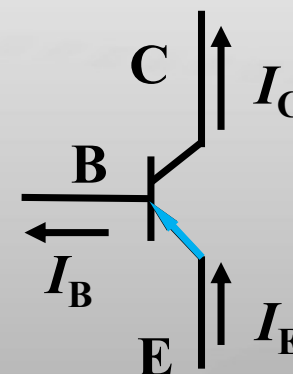
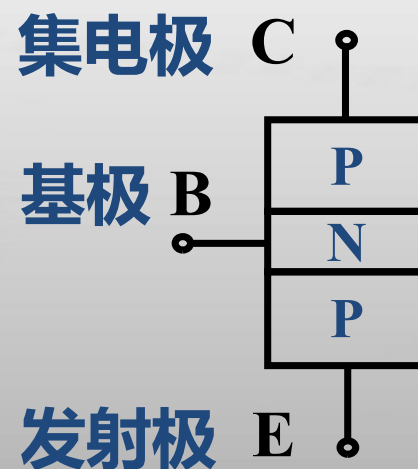


类型

结构

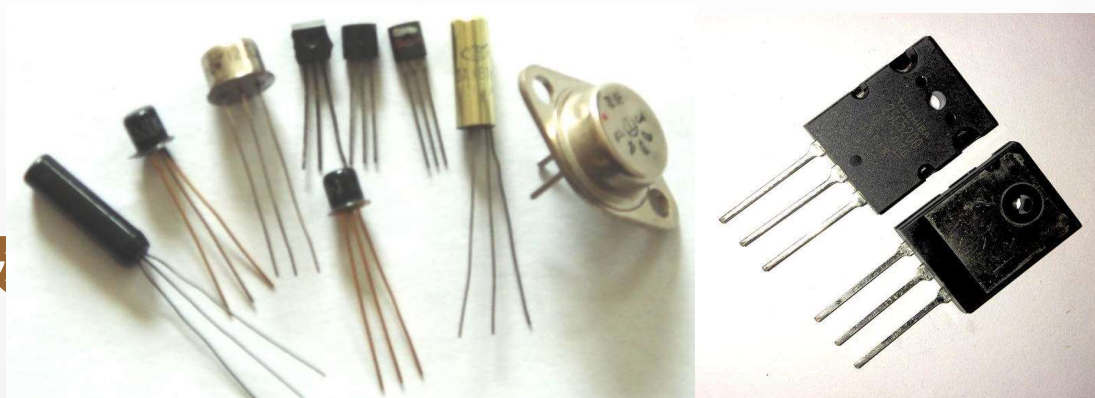
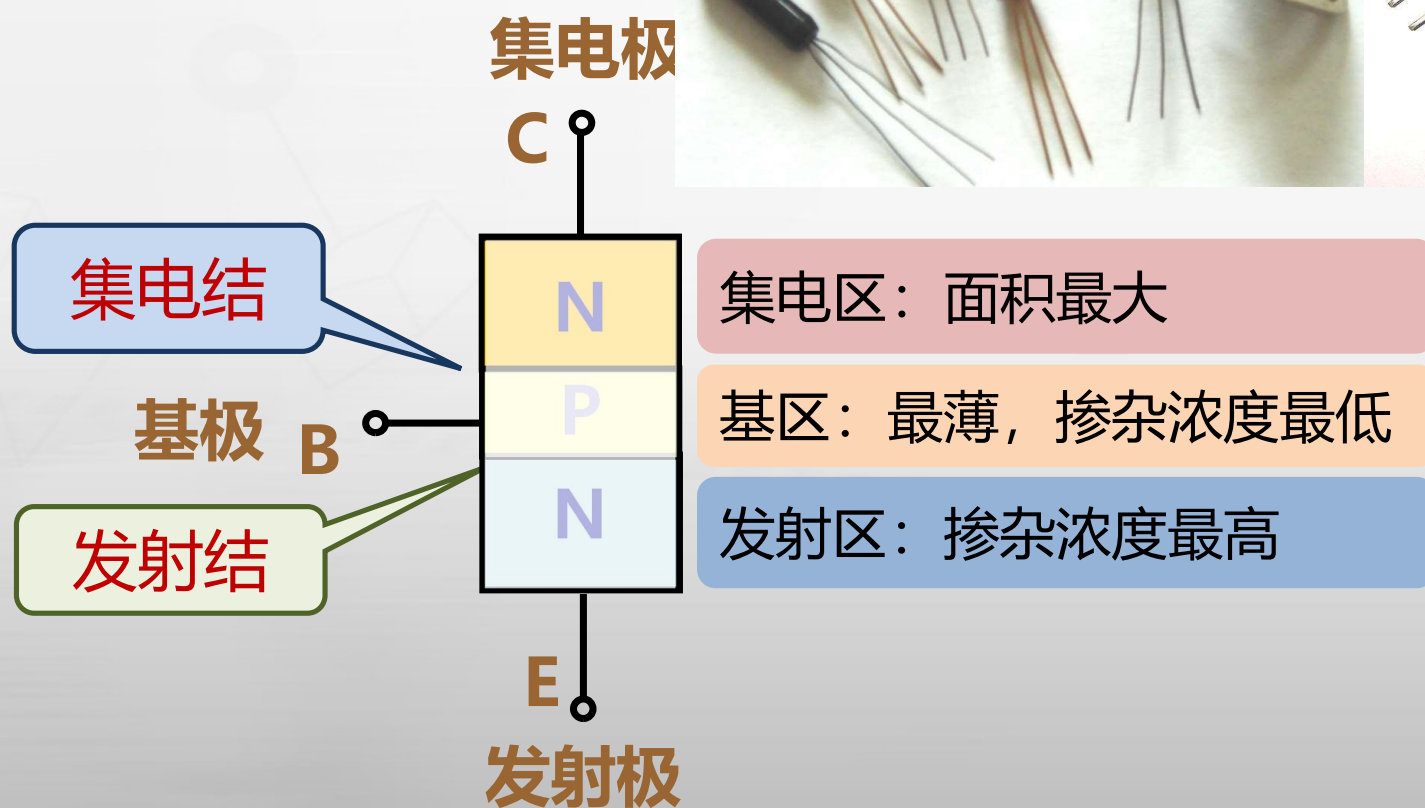
符号

## PNP型三极管



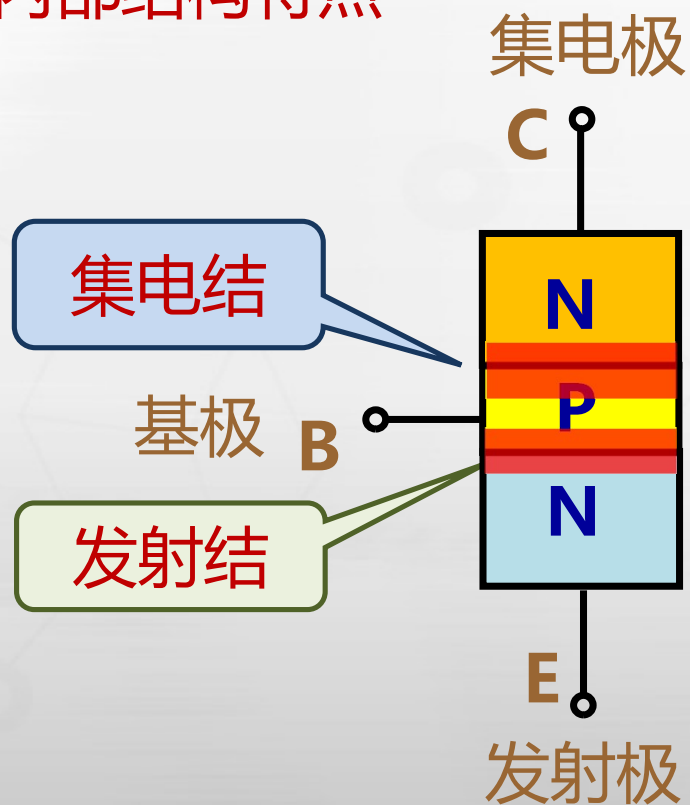
## 01 基本结构

### 内部结构特点

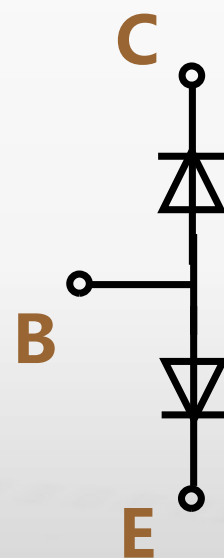


## 01 基本结构

### 内部结构特点



表面看



背靠背的二极管

## 02 电流分配和放大原理

## 02 分配和放大原理

### 1. 三极管放大的外部条件

从电位的角度看：

NPN:

$$V_C > V_B > V_E$$

从电压的角度看：

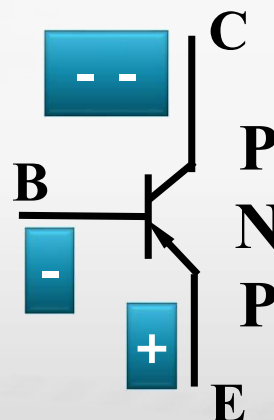
$$U_{CE} > U_{BE} > 0$$

发射结

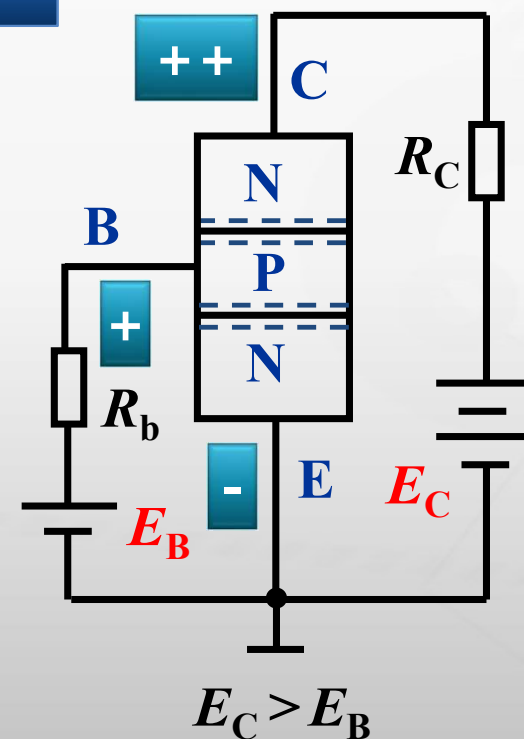
PNP:

$$V_C < V_B < V_E$$

偏



$$U_{CE} < U_{BE} < 0$$





实验数据如下

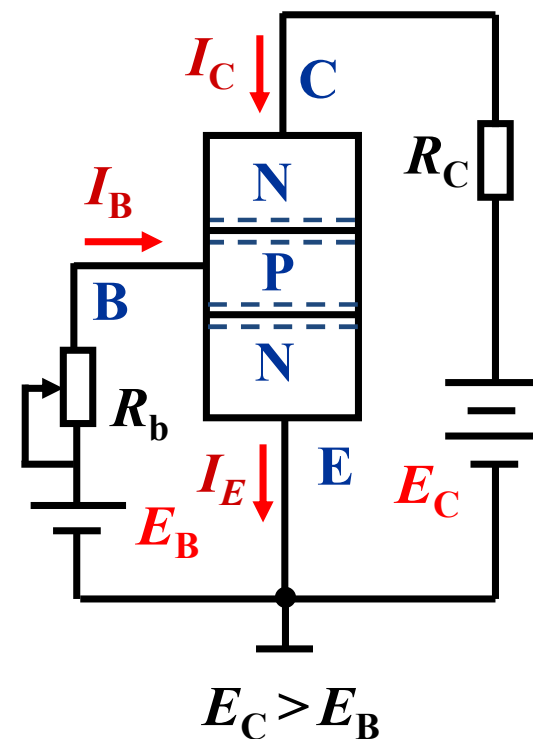
$I_B(\text{mA})$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_C(\text{mA})$	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
$I_E(\text{mA})$	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

$$(1) I_E = I_B + I_C$$

$$(2) I_C \gg I_B, \quad I_C \approx I_E$$

$$(3) \Delta I_C \gg \Delta I_B$$

先做一个实验



## 02 分配和放大原理

### 2. 三极管电流分配和放大

$I_B(\text{mA})$	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

结论:

$$(1) I_E = I_B + I_C$$

符合基尔霍夫定律

$$(2) I_C \gg I_B, I_C \approx I_E$$

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.50}{0.04} = 37.5, \quad \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.30}{0.06} = 38.3$$

$\bar{\beta}$  —— 静态电流(直流)放大系数。

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.30 - 1.50}{0.06 - 0.04} = \frac{0.80}{0.02} = 40$$

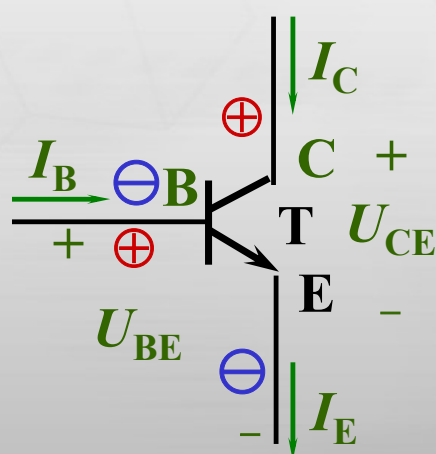
$\beta$  —— 动态电流(交流)放大系数

## 02 分配和放大原理

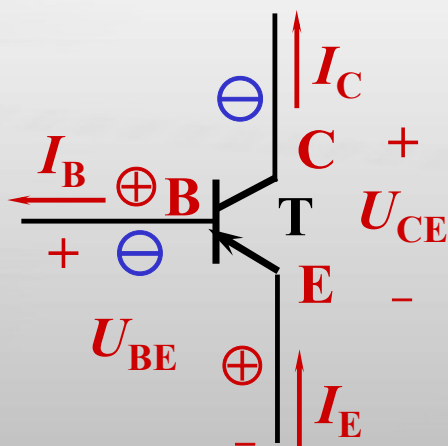
### 2. 三极管电流分配和放大

(3) 当  $I_B = 0$  (将基极开路) 时,  $I_C = I_{CEO}$ , 表中  $I_{CEO} < 0.001 \text{ mA} = 1 \mu\text{A}$ 。

(4) 要使晶体管起放大作用, 发射结必须正向偏置, 发射区才可向基区发射电子; 而集电结必须反向偏置, 集电区才可收集从发射区发射过来的电子。



**NPN 型三极管**



**PNP 型晶体管**

对于 NPN 型应满足:

$$U_{BE} > 0$$

$$U_{BC} < 0$$

$$\text{即 } V_C > V_B > V_E$$

对于 PNP 型应满足:

$$U_{EB} > 0$$

$$U_{CB} < 0$$

$$\text{即 } V_C < V_B < V_E$$

## 02 分配和放大原理

①小的基极电流能够引起大的集电极和发射极的电流



②基极电流的微小变化能够引起集电极电流的较大的变化

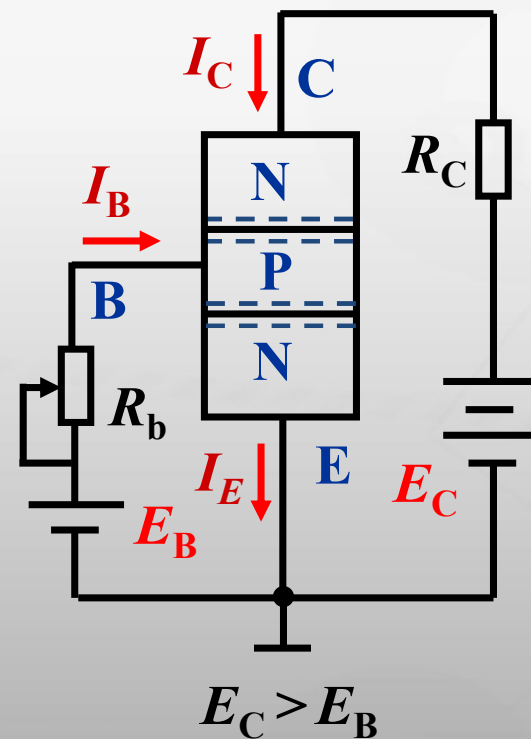


实质：用一个微小电流的变化去控制一个较大电流的变化，是CCCS(电流控制电流源) 器件

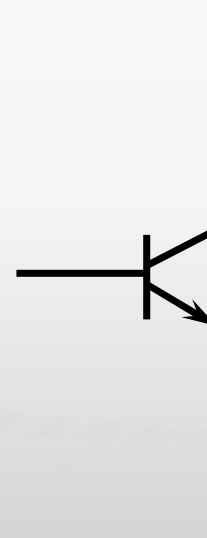
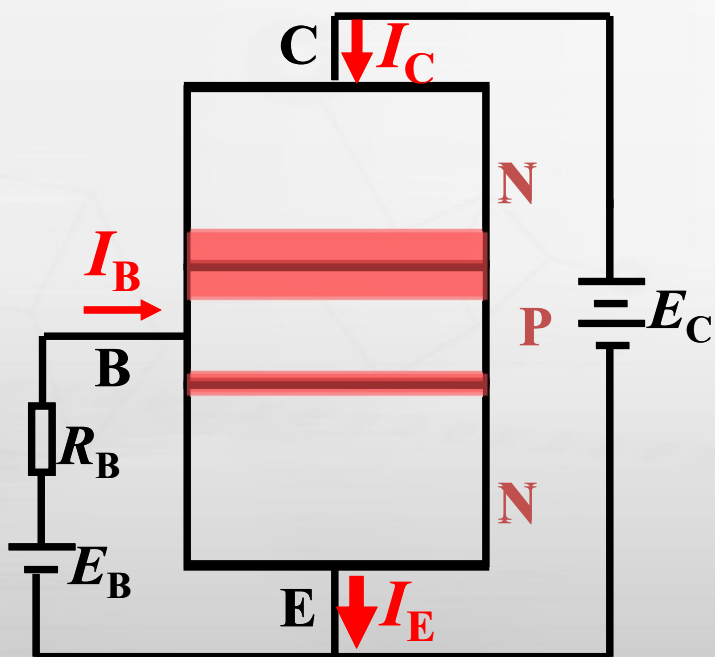
$$(1) I_E = I_B + I_C$$

$$(2) I_C \gg I_B, \quad I_C \approx I_E$$

$$(3) \Delta I_C \gg \Delta I_B$$

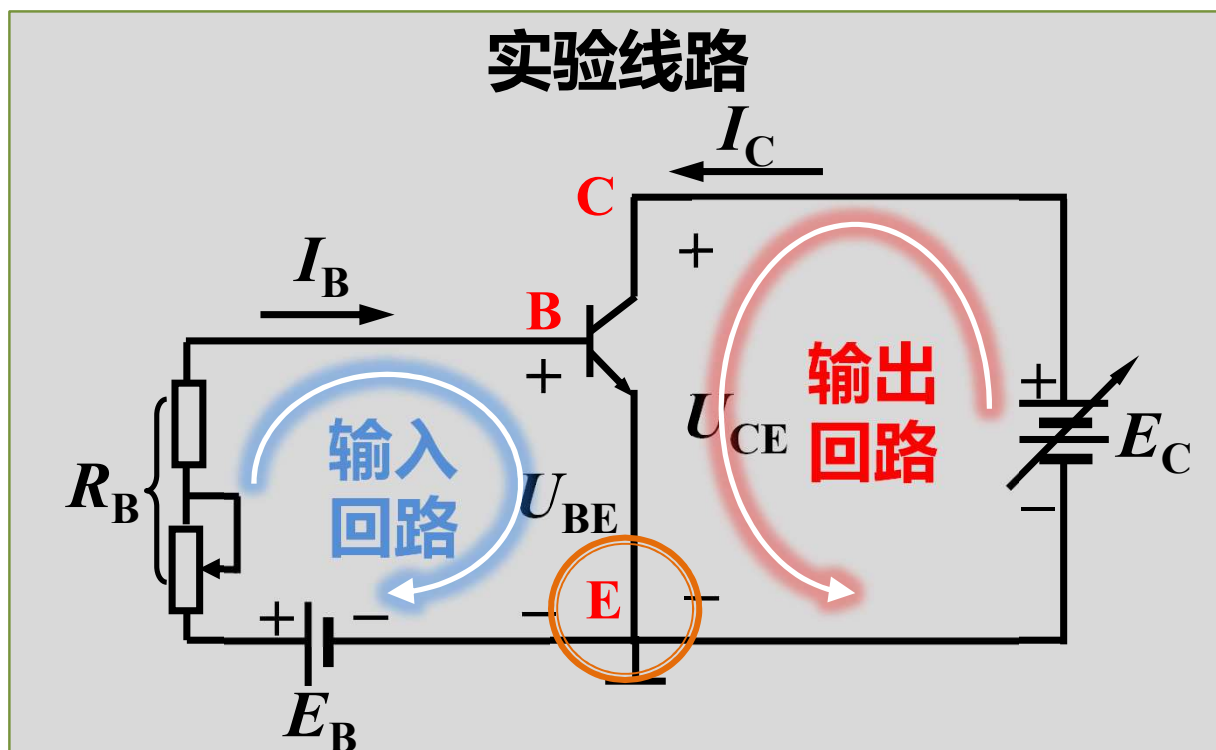


## 02 分配和放大原理



## 03 特性曲线

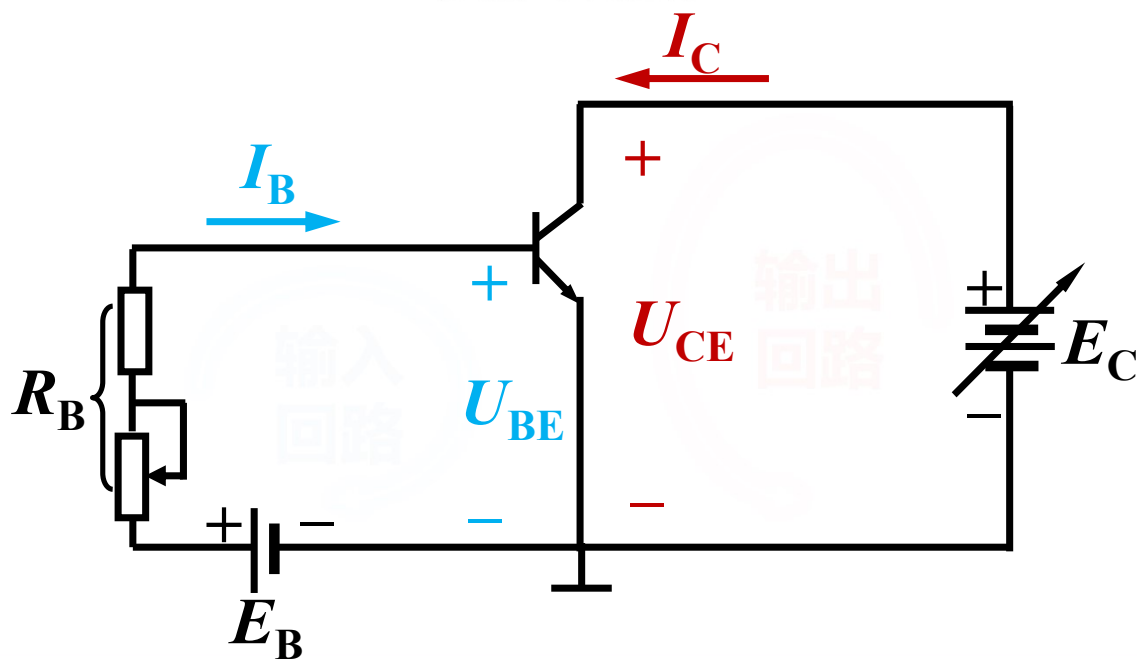
### 实验线路



### 共发射极电路：

发射极E是 **输入回路** 的公共端  
**输出回路**

## 实验线路



## 特性曲线

——管子各电极电压与电流的关系曲线

输入曲线:

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

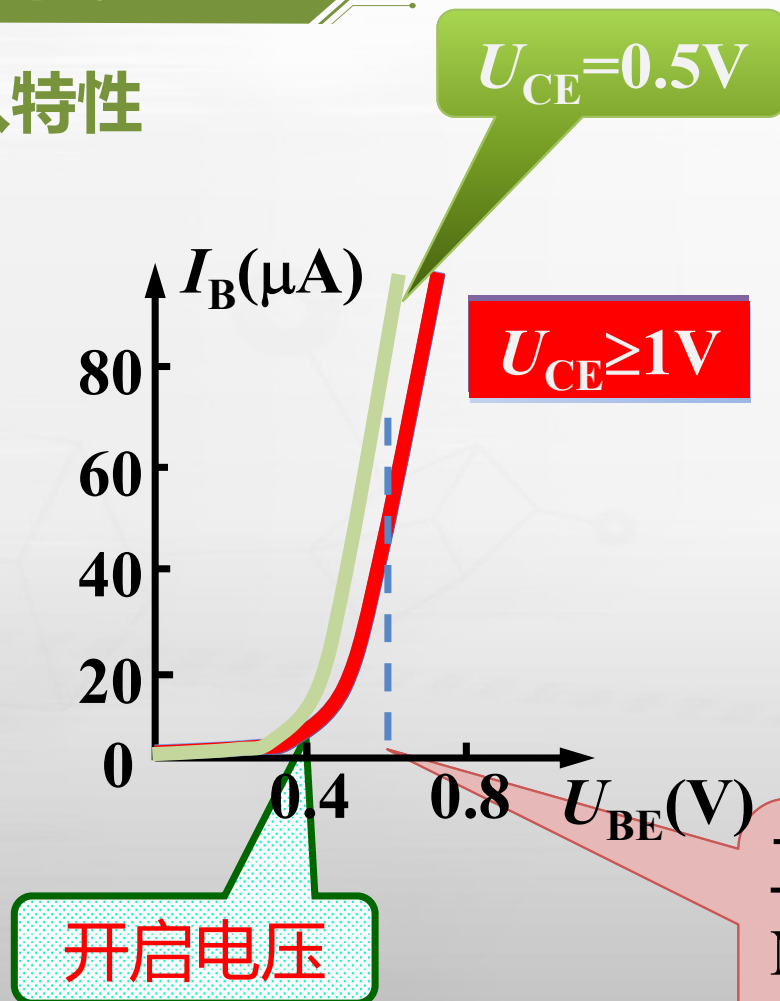
输出曲线:

$$I_C = f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$$

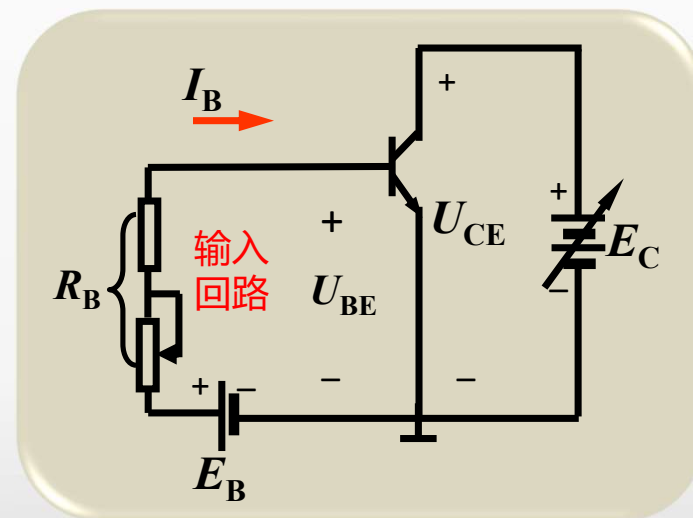


## 03 特性曲线

### 1. 输入特性



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

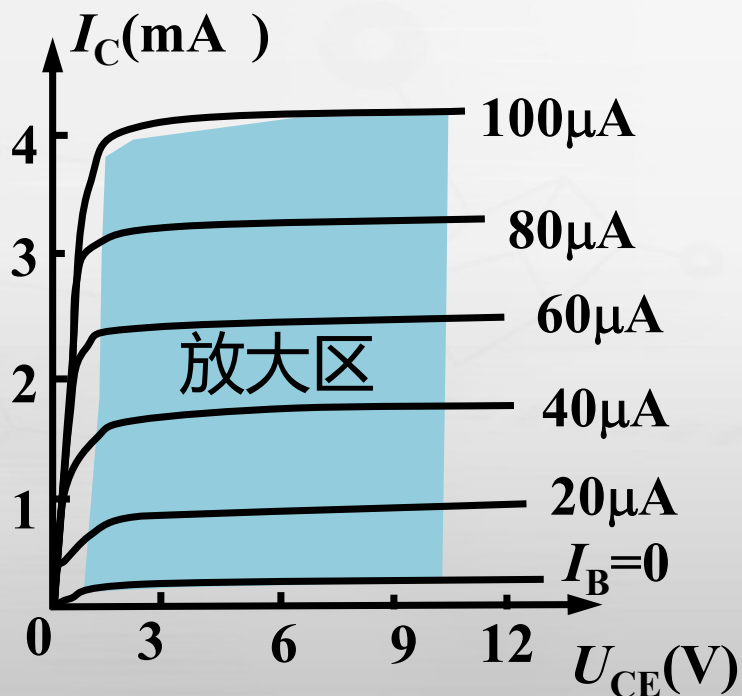


正常工作时发射结电压:

NPN型硅管:  $U_{BE} \approx 0.6 \sim 0.7V$

PNP型锗管:  $U_{BE} \approx -0.2 \sim -0.3V$

### 3. 三极管工作区



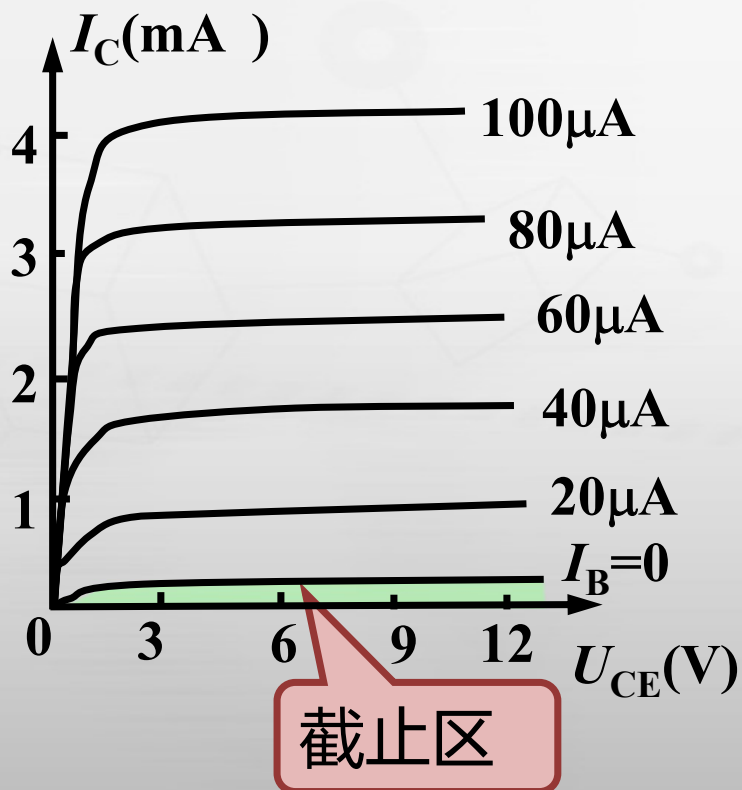
输出特性曲线通常分三个工作区：

#### (1) 放大区

在放大区有  $I_C = \bar{\beta} I_B$ ，也称为线性区，具有恒流特性。

发射结正偏、集电结反偏

### 3. 三极管工作区



### (2) 截止区

$I_B = 0$  以下区域为截止区, 有  $I_C \approx 0$ 。

$$I_B = 0$$

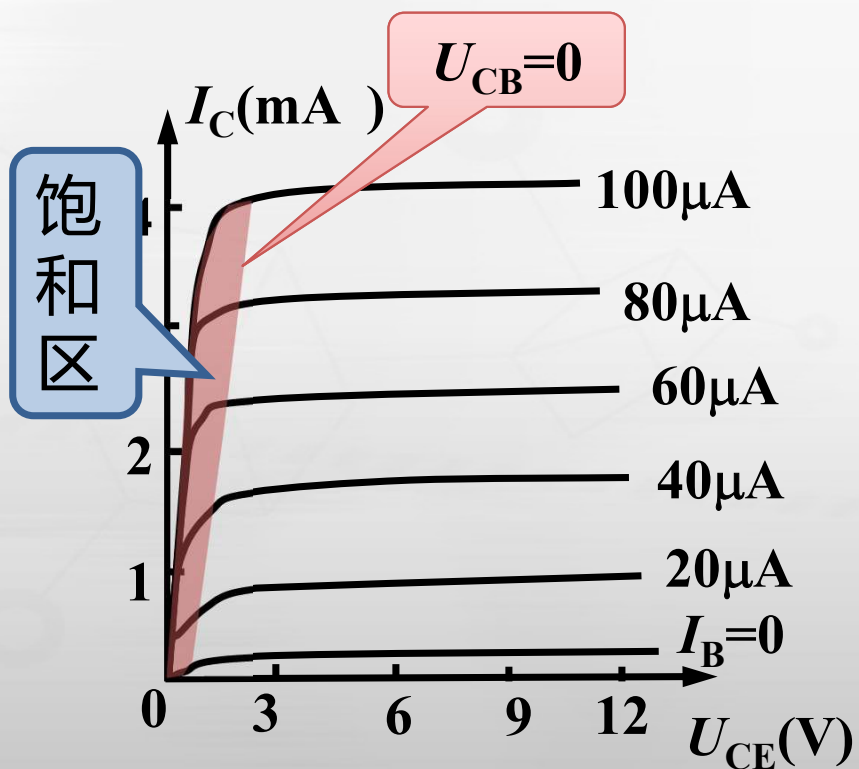


发射结反偏

集电结反偏

## 03 特性曲线

### 3. 三极管工作区



### (3) 饱和区

在饱和区  $\left\{ \begin{array}{l} \frac{I_C}{I_B} < \bar{\beta} \\ \text{两者不成正比} \end{array} \right.$

$$I_B \neq 0$$

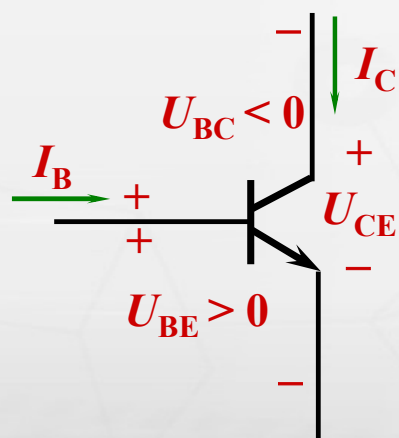
发射结正偏

$$U_{CE} \leq U_{BE}$$

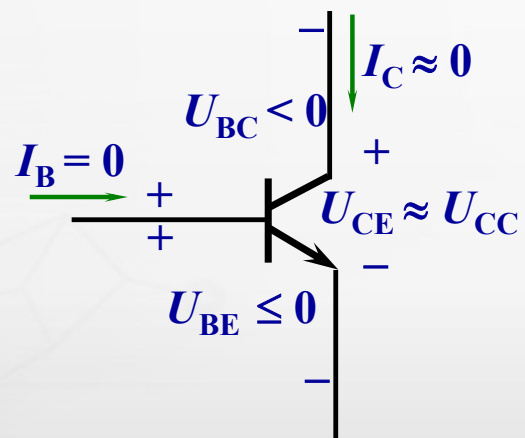
集电结正偏

深度饱和时,  
硅管  $U_{CES} \approx 0.3V$ ,  
锗管  $U_{CES} \approx 0.1V$ 。

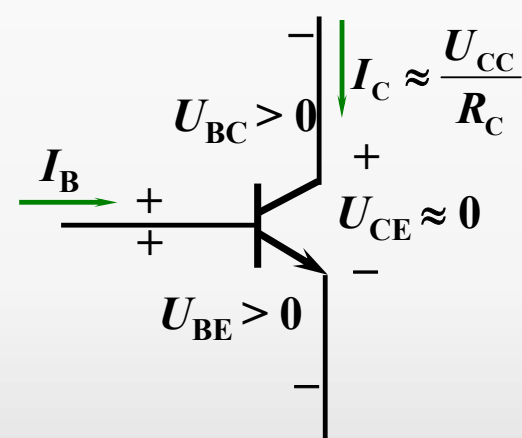
晶体管的三种工作状态如下图所示



(a)放大



(b)截止

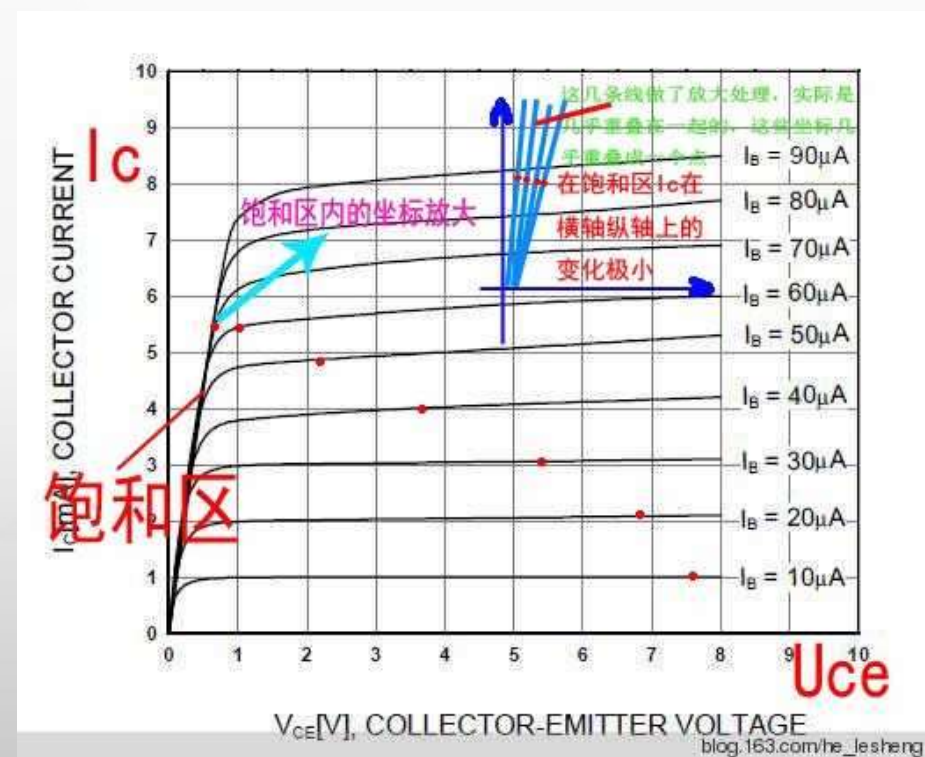
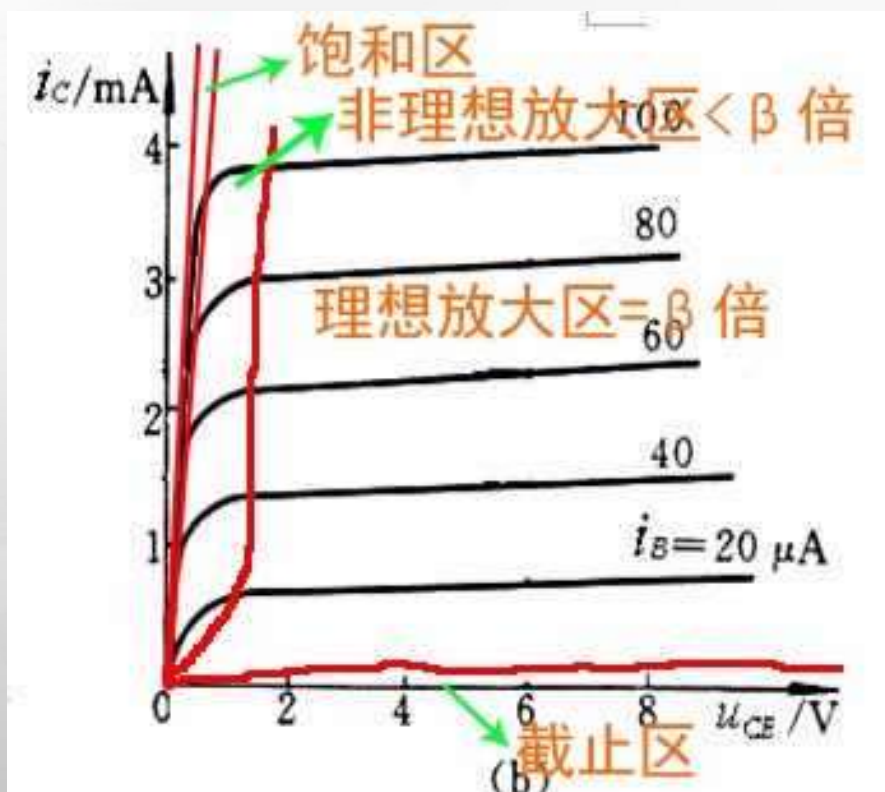


(c)饱和

## 晶体管结电压的典型值

管 型	工 作 状 态				
	饱和		放大	截 止	
	$U_{BE}/V$	$U_{CE}/V$	$U_{BE}/V$	$U_{BE}/V$	
				开始截止	可靠截止
硅管(NPN)	0.7	0.3	0.6 ~ 0.7	0.5	$\leq 0$
锗管(PNP)	-0.3	-0.1	-0.2 ~ -0.3	-0.1	0.1

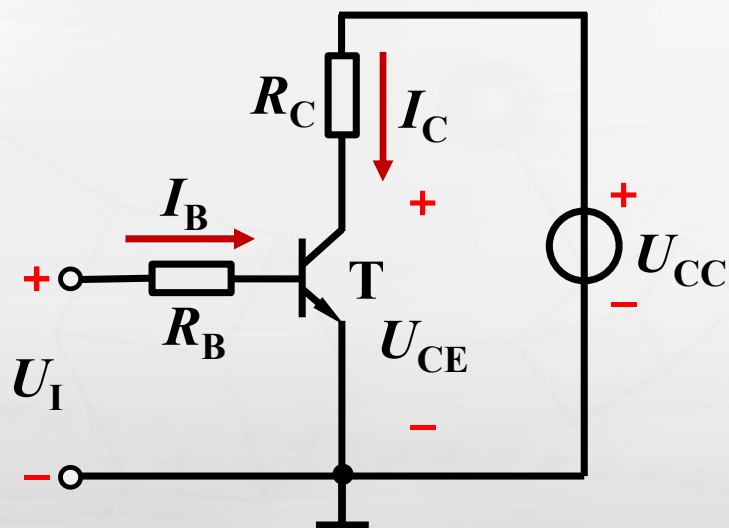
## 03 特性曲线



## 03 特性曲线

### 4. 如何设置三极管工作状态?

调节  $U_{BE}$  和  $I_B$



$$U_I \leq 0$$

截止状态:

$$I_B = 0, I_C \approx 0$$

$$U_{BE} < 0.5V$$

$$U_{CE} \approx U_{CC}$$

$$I_B \uparrow$$

$$U_I > 0$$

放大状态:

$$I_C = \beta I_B$$

$$U_{BE} \approx 0.7V$$

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

$$U_I \uparrow, I_B \geq I'_B$$

$$I_B \uparrow$$

饱和状态:

$$I_C < \beta I_B,$$

深度饱和时,  $I_C$  基本不再随  $I_B$  增大。

$$U_{BE} \approx 0.7V$$

$$U_{CE} \approx 0$$

$I_C$  会一直增大吗?

不会!  
因为  $I_C$  有最大值。

$$I_{Cmax} = \frac{U_{CC}}{R_C}$$

$$I_C \text{ 刚达到最大值时, } I'_B = \frac{I_{Cmax}}{\beta}$$

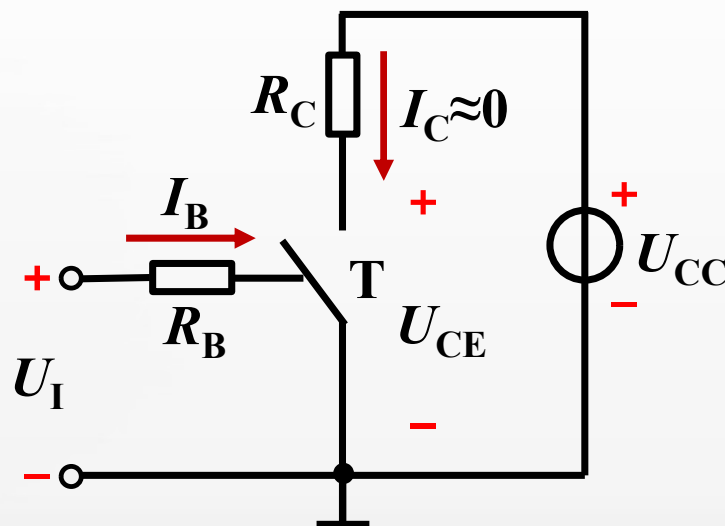


### 5. 三极管开关作用

截止状态:

$$I_B = 0, I_C \approx 0$$

$$U_{CE} \approx U_{CC}$$

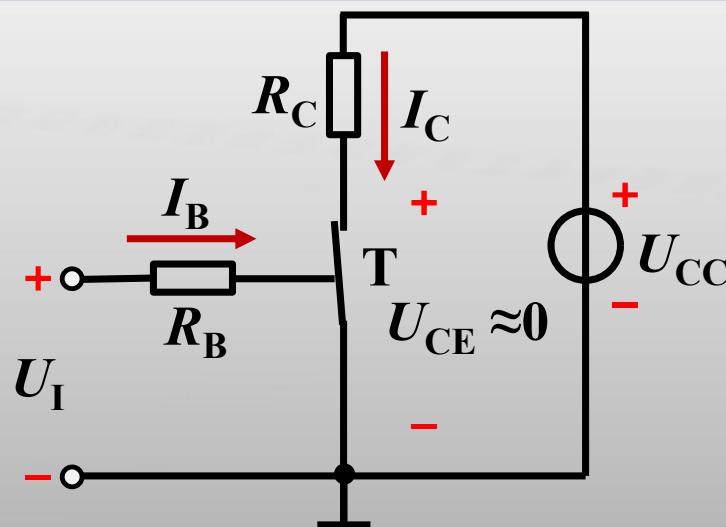


开关断开

饱和状态:

$$I_C \approx U_{CC}/R_C$$

$$U_{CE} \approx 0$$



开关闭合

## 04 主要参数

## 04 主要参数

1. 电流放大系数  $\bar{\beta}$ ,  $\beta$

2. 集—基极反向截止电流  $I_{CBO}$

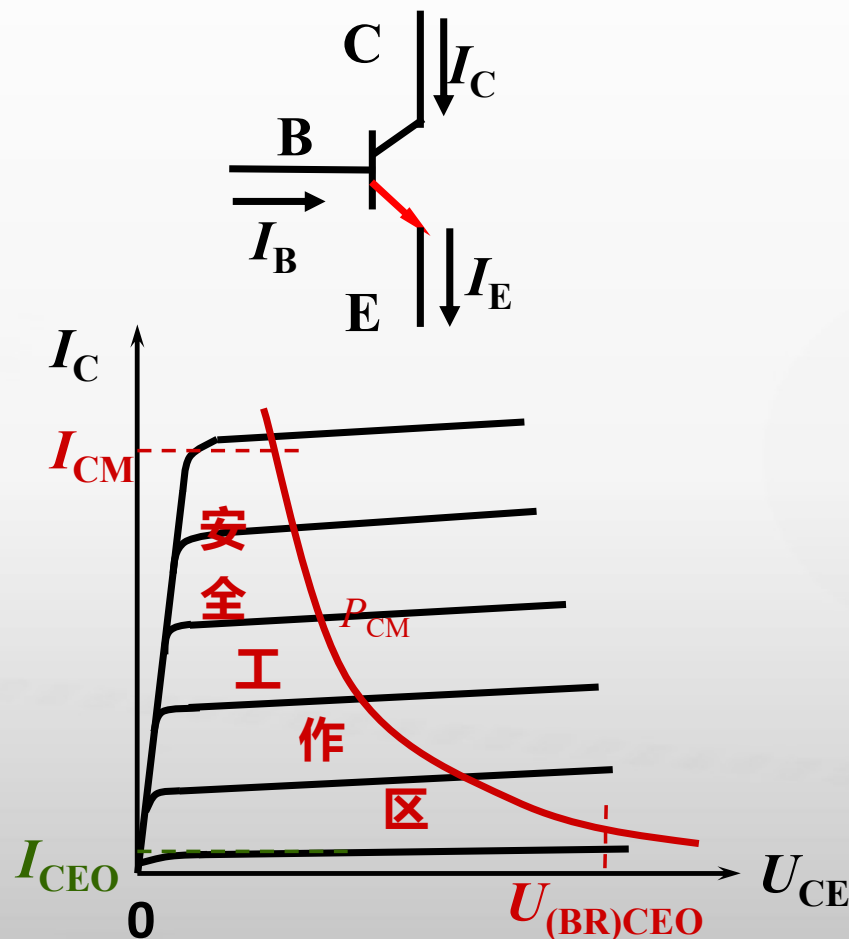
3. 集—射极反向截止电流  $I_{CEO}$

4. 集电极最大允许电流  $I_{CM}$

5. 集—射反向击穿电压  $U_{(BR)CEO}$

6. 集电极最大允许耗散功率  $P_{CM}$

由  $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$ 、 $P_{CM}$  三者共同确定晶体管的安全工作区。



### 三级管参数与温度的关系

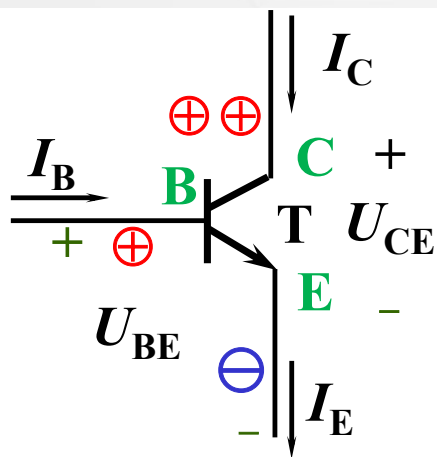
- 1、温度每增加 $10^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{\text{CBO}}$ 增大一倍。硅管优于锗管。 $I_{\text{CEO}} \uparrow = (1 + \beta) I_{\text{CBO}}$
- 2、温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $U_{\text{BE}}$ 将减小  $-(2 \sim 2.5)\text{mV}$ , 即晶体管具有负温度系数。
- 3、温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $\beta$ 增加  $0.5\% \sim 1.0\%$ 。

这些参数的变化, 最后都集中反映到  $I_{\text{C}} \uparrow$ 。

# 三极管

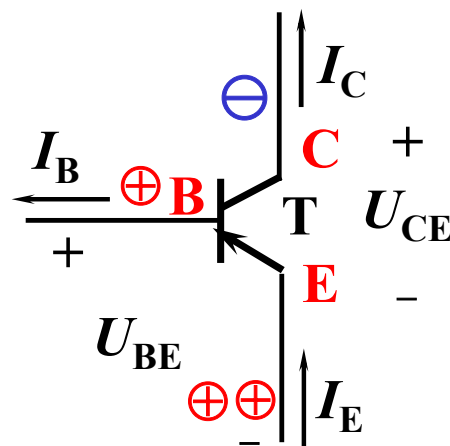
**总结：**要使三极管起放大作用，发射结必须**正向偏置**，发射区才可向基区发射电子；而集电结必须**反向偏置**，集电区才可收集从发射区发射过来的电子。

下图给出了起放大作用时 NPN 型和 PNP 型三极管中电流实际方向和发射结与集电结的实际极性。



**NPN 型三极管**

$$\text{即 } V_C > V_B > V_E$$



**PNP 型三极管**

$$\text{即 } V_C < V_B < V_E$$

## 三极管

**例:** 放大电路中三极管3个电极的电位为下列各组数据, 试确定各点为对应的电极和三极管的类型。(是PNP管还是NPN管, 是硅管还是锗管?)

(1) 5V, 1.2V, 0.5V      (2) 6V, 5.8V, 1V

**解:** (1)  $V_C=5V$ ,  $V_B=1.2V$ ,  $V_E=0.5V$

$U_{BE}=0.7V$  硅管, NPN型

(2)  $V_C=1V$ ,  $V_B=5.8V$ ,  $V_E=6V$

$U_{BE}=-0.2V$  锗管, PNP型

\* 一般先设法确定B、E极, 再确定C极; 根据 $|U_{BE}|$ 大小确定硅管或锗管;

\* 再根据三极电位高低可确定是NPN管还是PNP管