

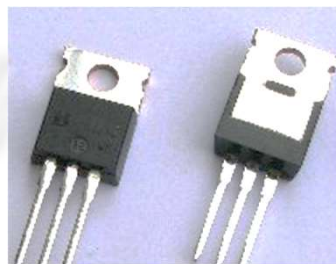
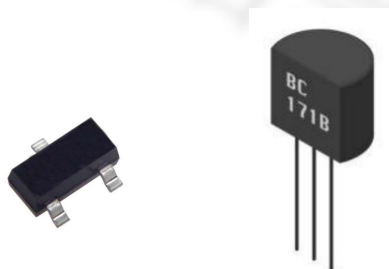
第四章 双极结型三极管及放大电路基础

- 4.1 半导体三极管 (BJT)
- 4.2 共射极放大电路
- 4.3 放大电路的分析方法
- 4.4 放大电路静态工作点的稳定问题
- 4.5 共集电极放大电路和共基极电路
- 4.6 组合放大电路
- 4.7 放大电路的频率响应

4.1 半导体三极管(BJT) 双极晶体管的诞生



美国贝尔实验室(Bell-Lab),
William Shockley领导的研究小组,
1947年12月,发现了晶体管效应。
1948年1月, Shockley完成pn结理论
1956年, W. Shockley, John Bardeen,
Walter Brattain获诺贝尔物理奖

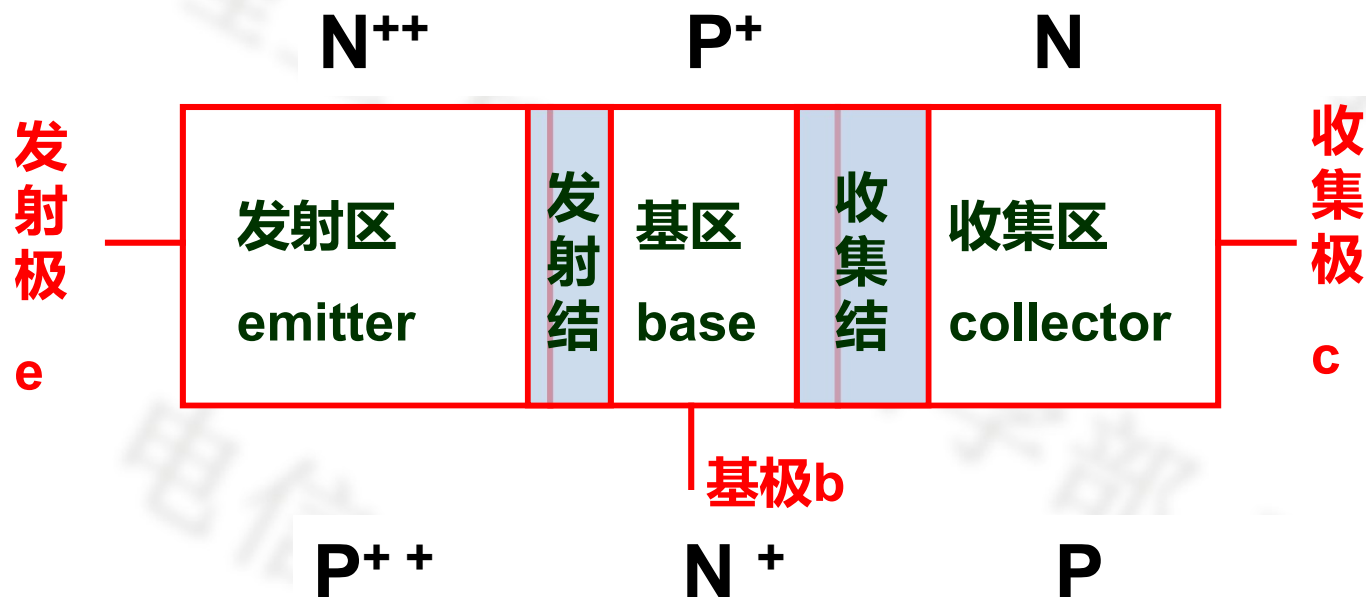


4.1 双极型晶体管

Bipolar Junction Transistor(BJT)

4.1.1 晶体管的结构及类型

结构特点：由两个相距很近、方向相反的PN结组成。

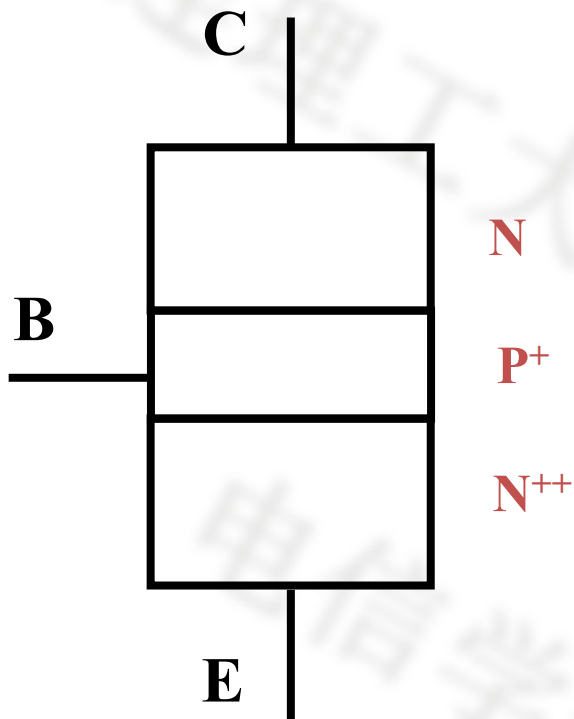


不对称：e 掺杂浓度高面积小；c 掺杂浓度低面积大。

必要条件：基极宽度远小于少子扩散长度（微米级）。

4.1.2 放大状态下BJT工作原理

1. BJT内部载流子的传输过程



(1) 两个结都反偏:

截止、无放大效果;

(2) 两个结都正偏:

导通、无放大效果;

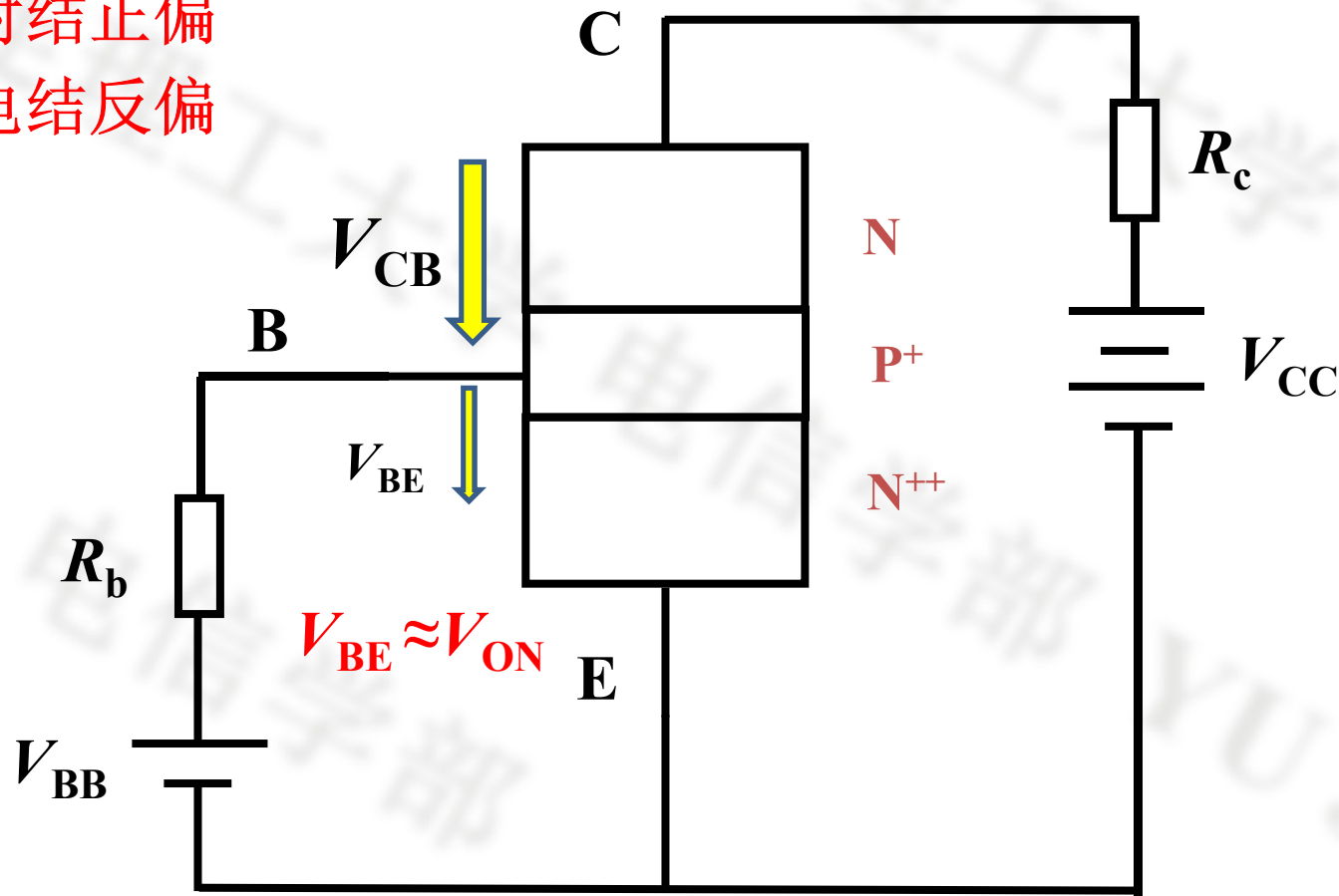
(3) 一个正偏一个反偏:

有放大效果! 为什么?

4.1.2 放大状态下BJT工作原理

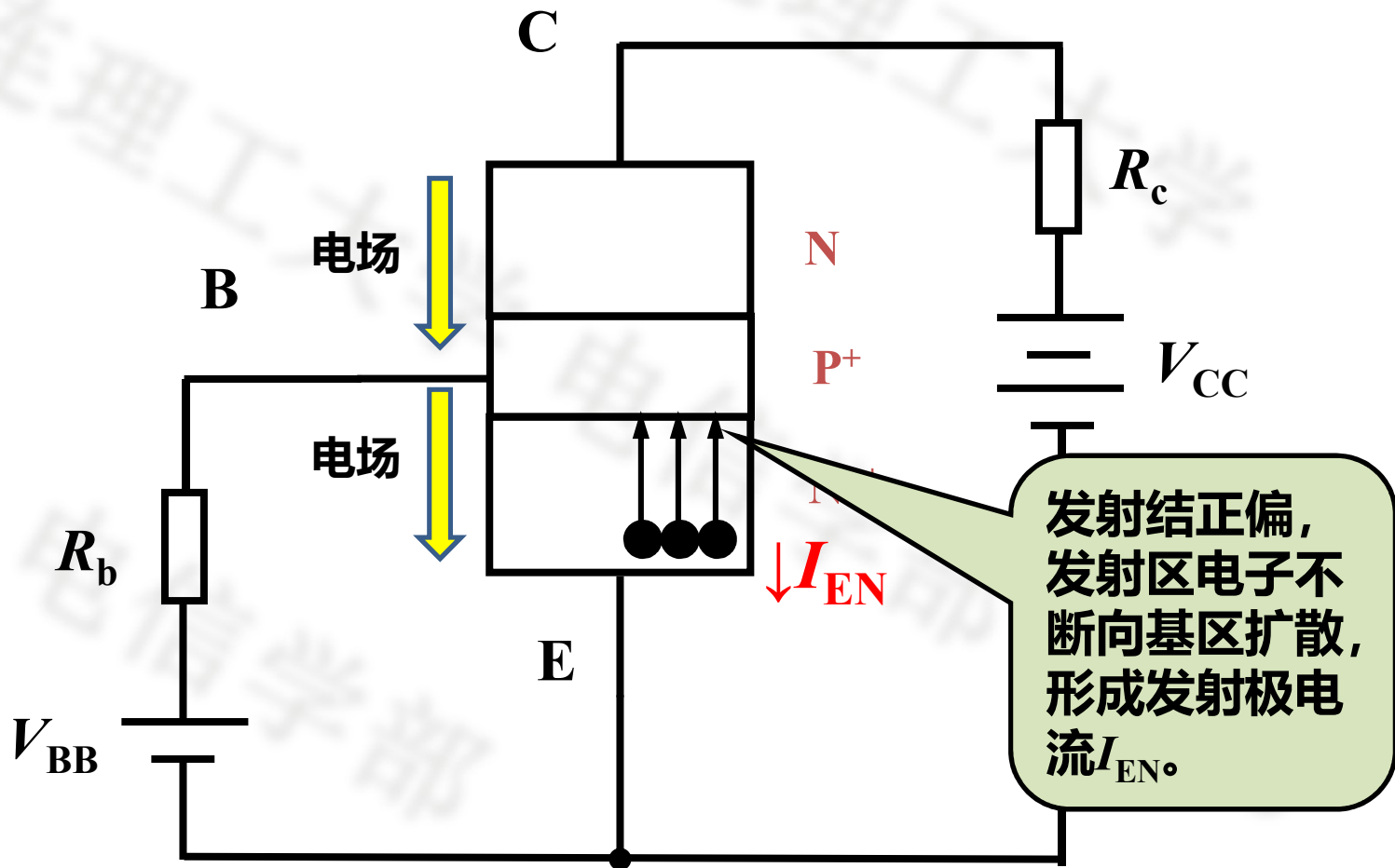
1. BJT内部载流子的传输过程

发射结正偏
集电结反偏



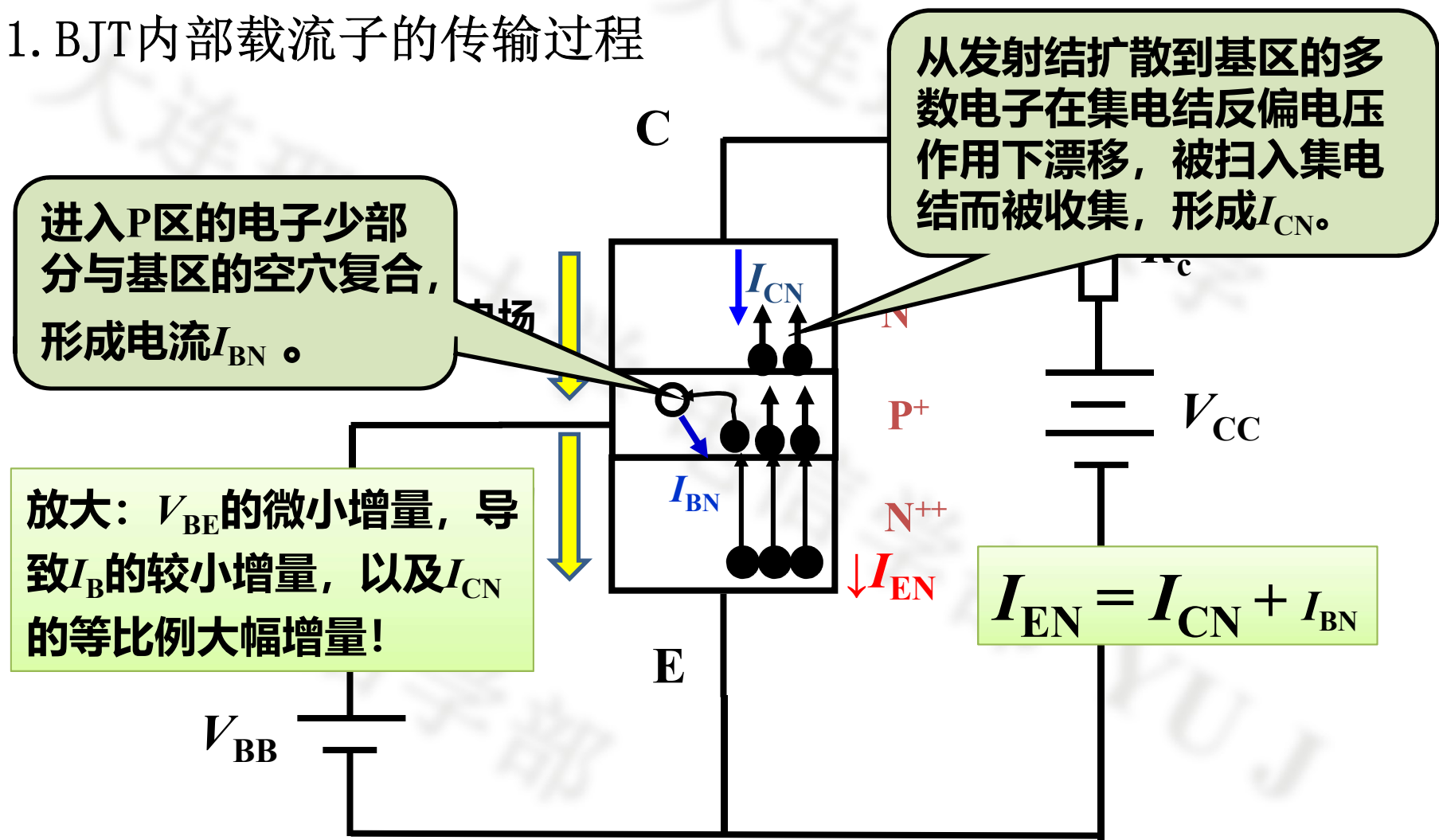
4.1.2 放大状态下BJT工作原理

1. BJT内部载流子的传输过程



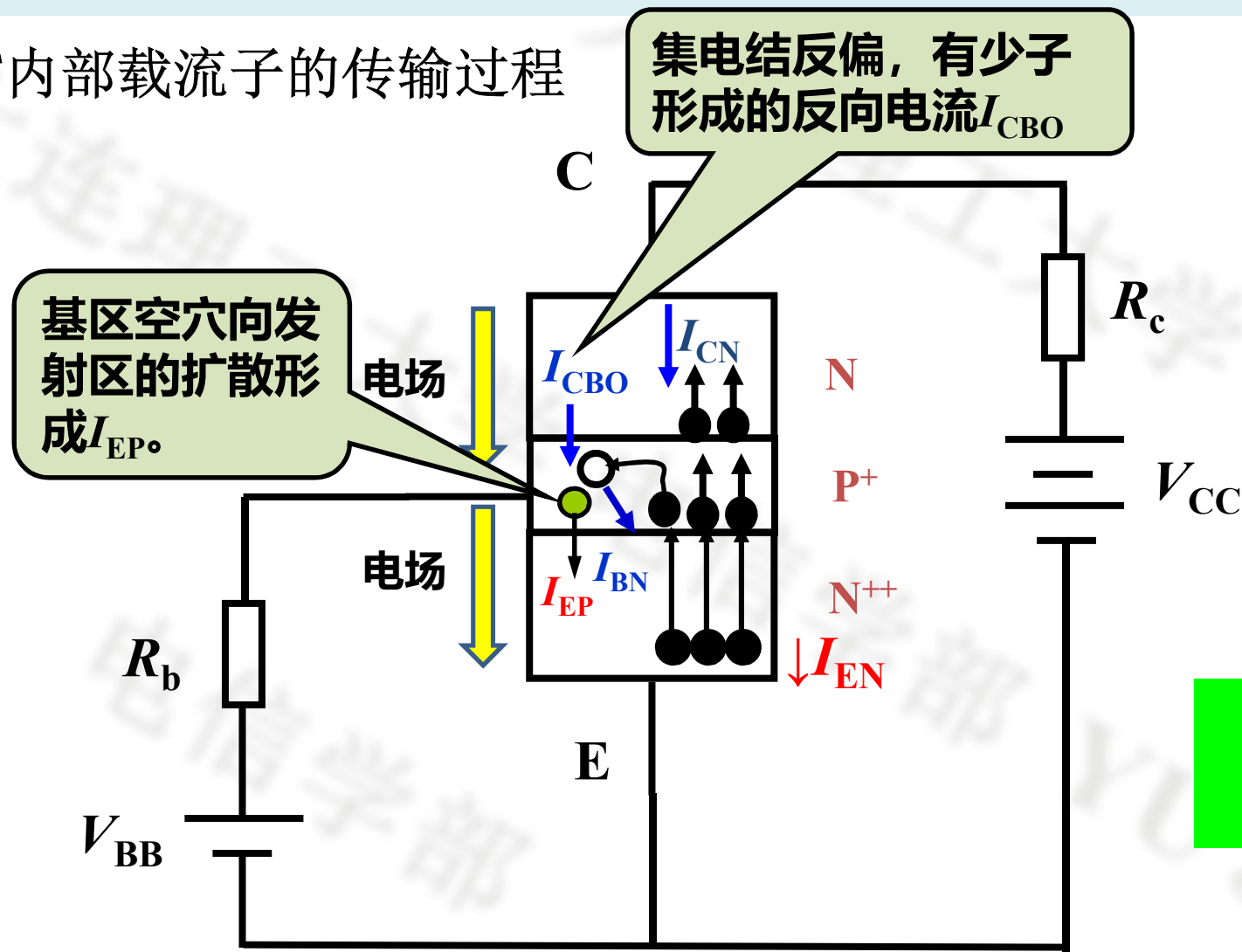
4.1.2 放大状态下BJT工作原理

1. BJT内部载流子的传输过程



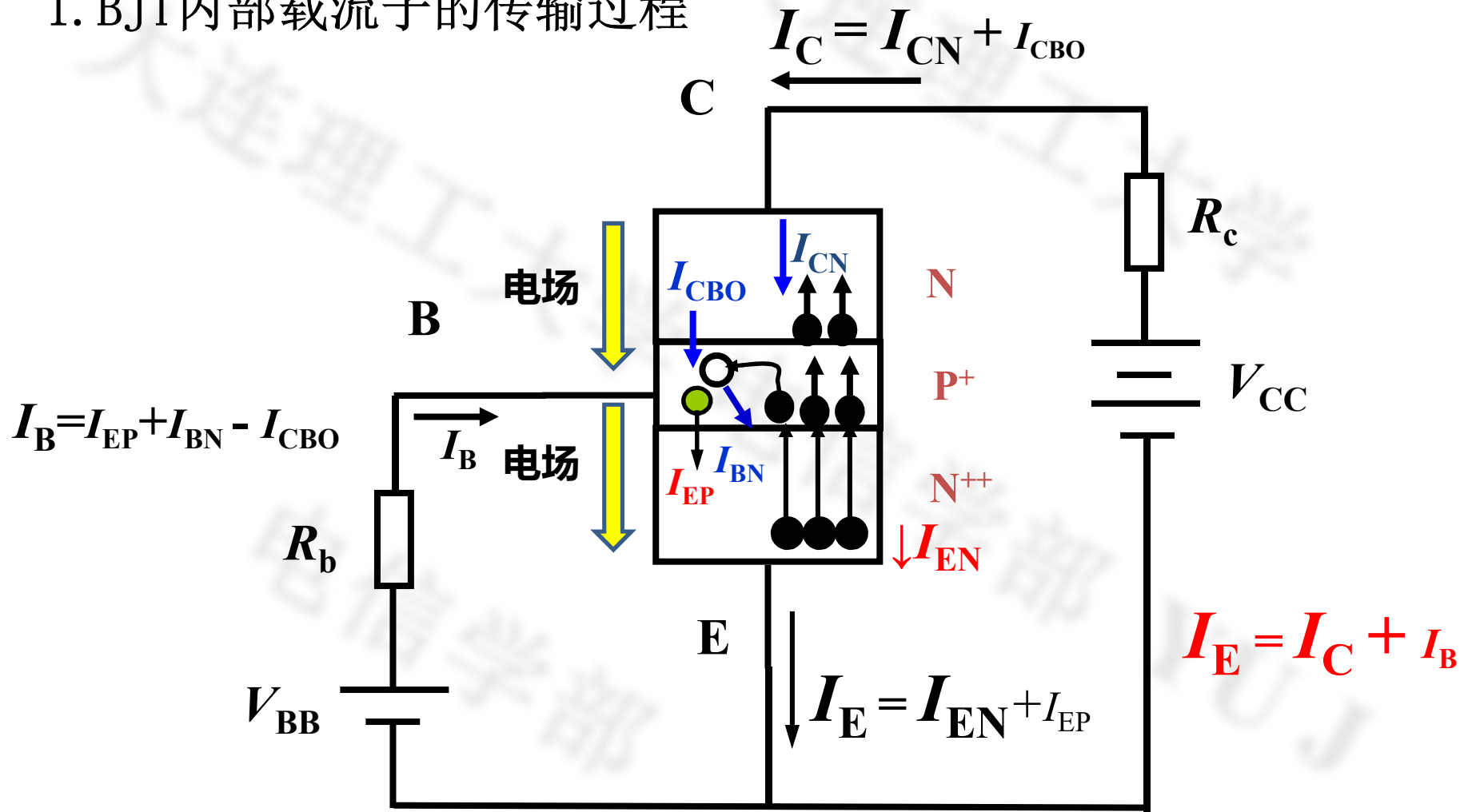
4.1.2 放大状态下BJT工作原理

1. BJT内部载流子的传输过程



4.1.2 放大状态下BJT工作原理

1. BJT内部载流子的传输过程

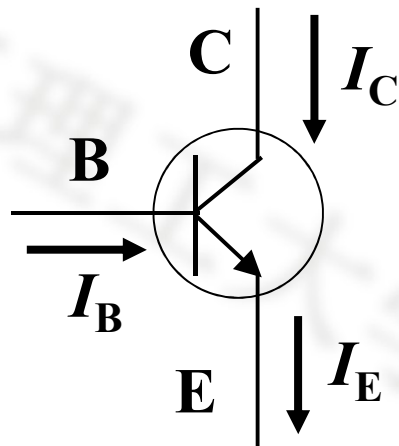


4.1.2 放大状态下BJT工作原理

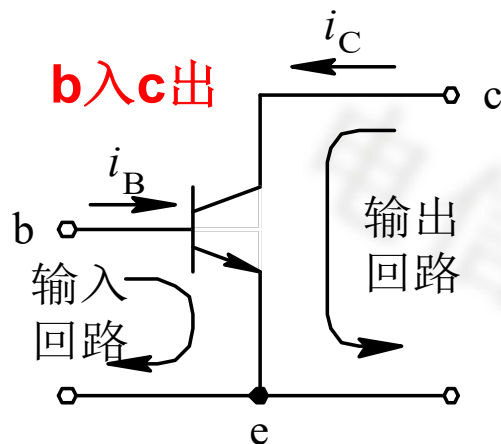
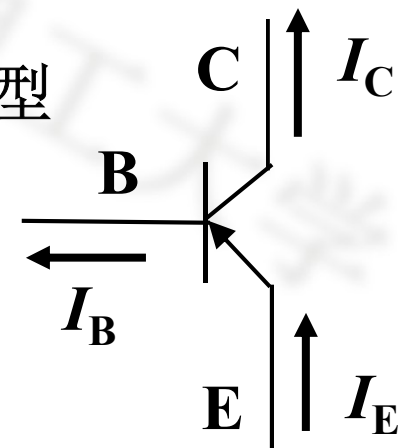
2. BJT的符号和常见连接方式

基极必须在输入回路中才有好的放大效果!

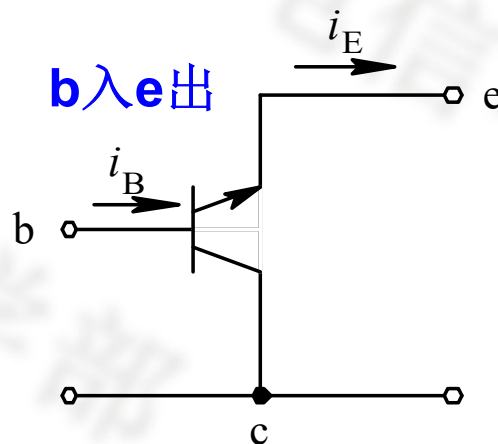
NPN型



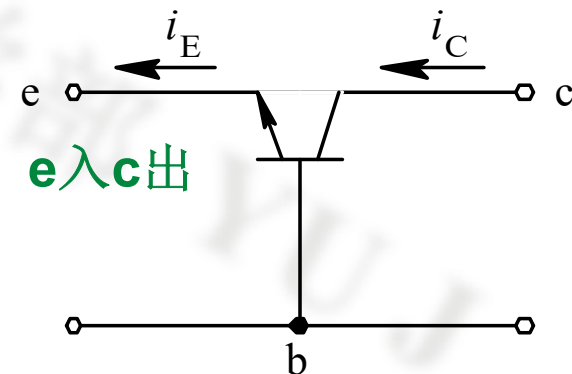
PNP型



(a) 共发射极



(b) 共集电极



(c) 共基极

4.1.2 放大状态下BJT工作原理

3. BJT的电流分配关系

共基极直流电流放大系数： $\bar{\alpha} = \frac{I_{CN}}{I_E}$ （比如**0.99**）

扩散到C区的电流 I_{CN} 与E区注入电流 I_E 的比例关系

$$\because I_C = I_{CN} + I_{CBO}$$

$$\because I_E = I_C + I_B \approx I_C / \bar{\alpha}$$

$$\therefore I_C = \bar{\alpha} I_E + I_{CBO}$$

$$\therefore I_C \approx \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} I_B = \bar{\beta} \cdot I_B$$

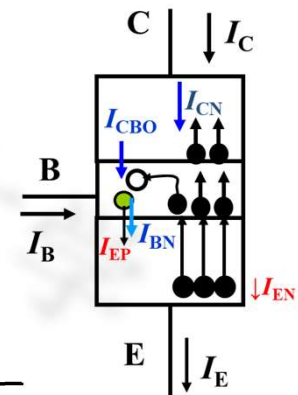
$$\therefore I_C \approx \bar{\alpha} I_E$$

共发射极直流电流放大系数： $\bar{\beta} = \frac{I_{CN}}{I_B} \approx \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ （比如**99**）

集电极电流 I_C 受基极电流 I_B 控制的关系

$$I_C \approx \bar{\beta} I_B$$

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \bar{\beta}) I_B$$

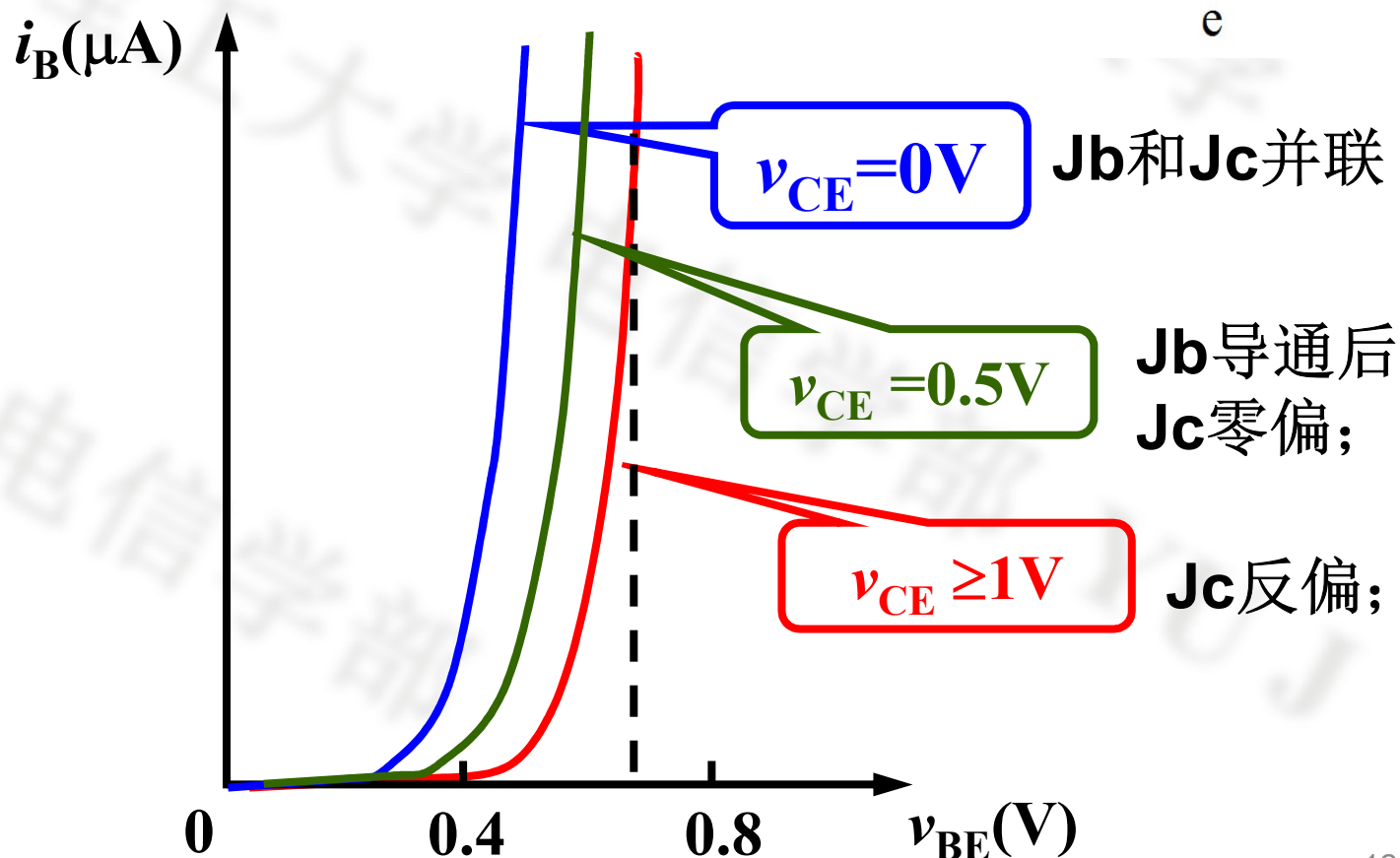
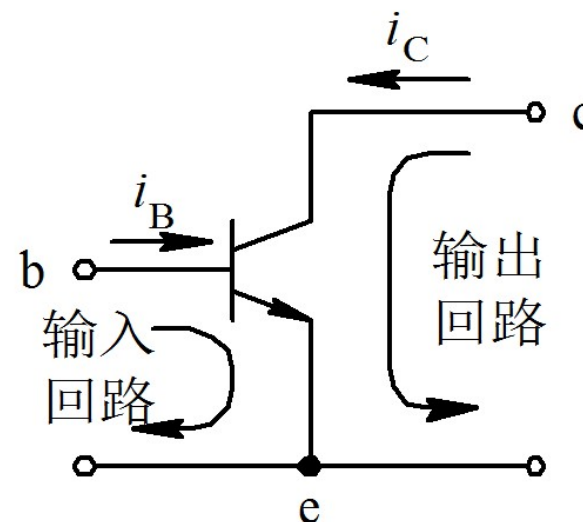


4.1.3 BJT的V-I特性曲线

共射极连接 (Common Emitter Circuit)

(1) 输入特性

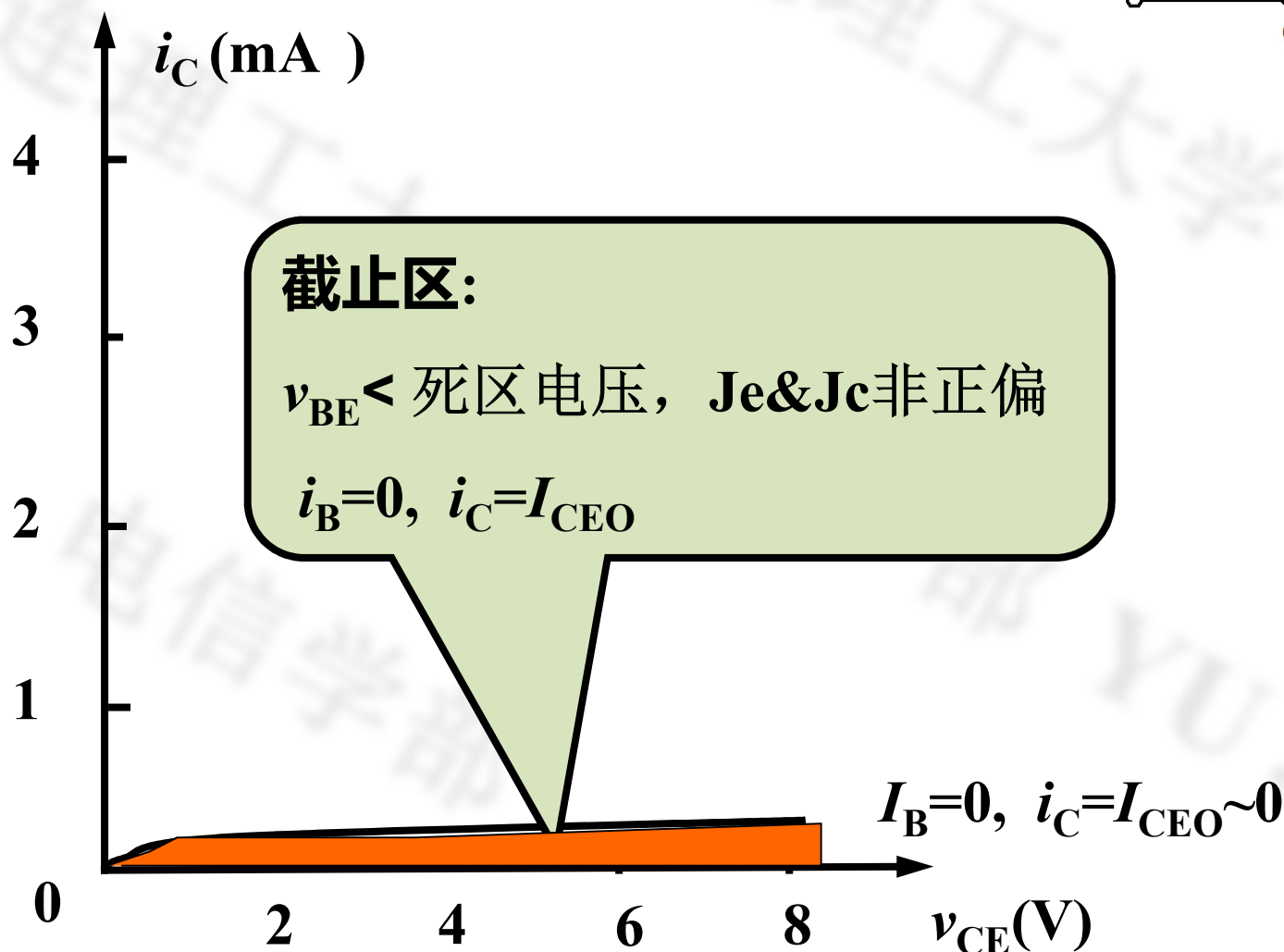
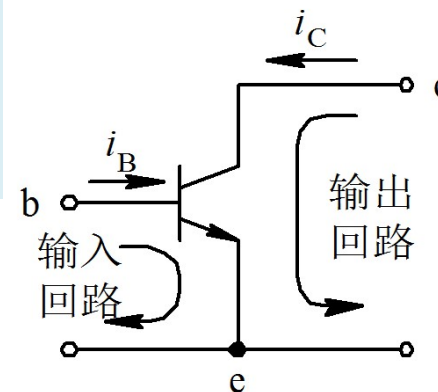
$$i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE} = \text{常数}}$$



4.1.3 BJT的V-I特性曲线 共射极连接

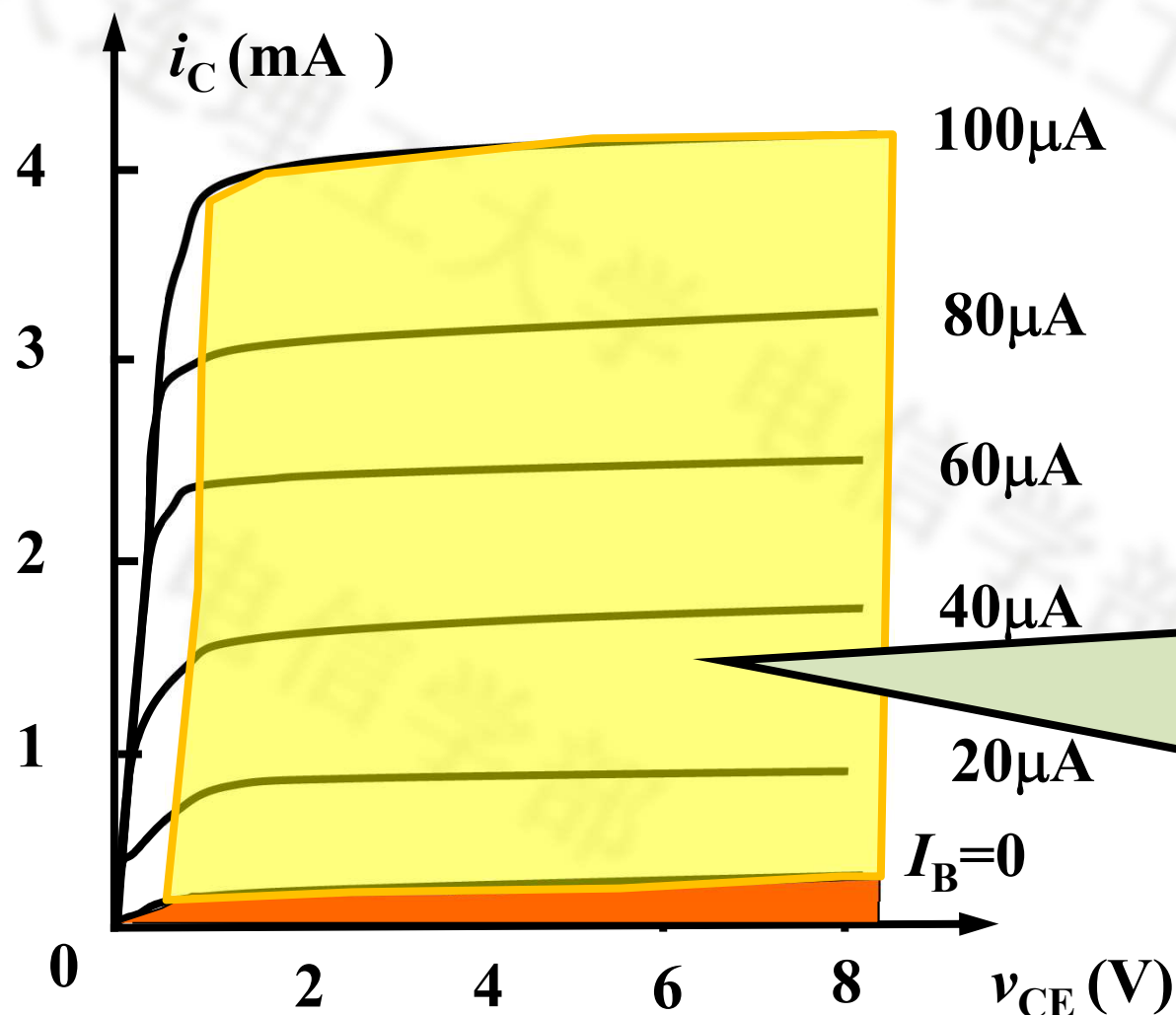
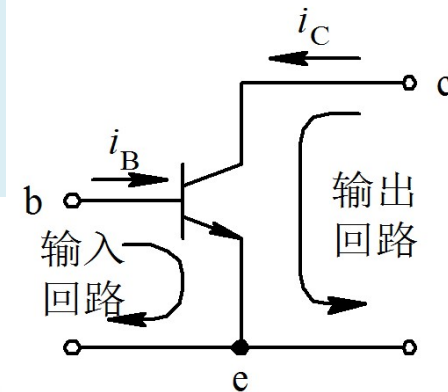
(2) 输出特性

$$i_C = f(v_{CE}) \mid i_B = \text{常数}$$



4.1.3 BJT的V-I特性曲线 共射极连接

(2) 输出特性 $i_C = f(v_{CE}) \big|_{i_B = \text{常数}}$



常用三极管

$\beta: 50 \sim 100$

放大区:

Je正偏Jc反偏

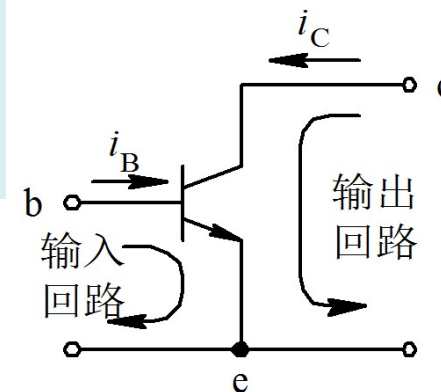
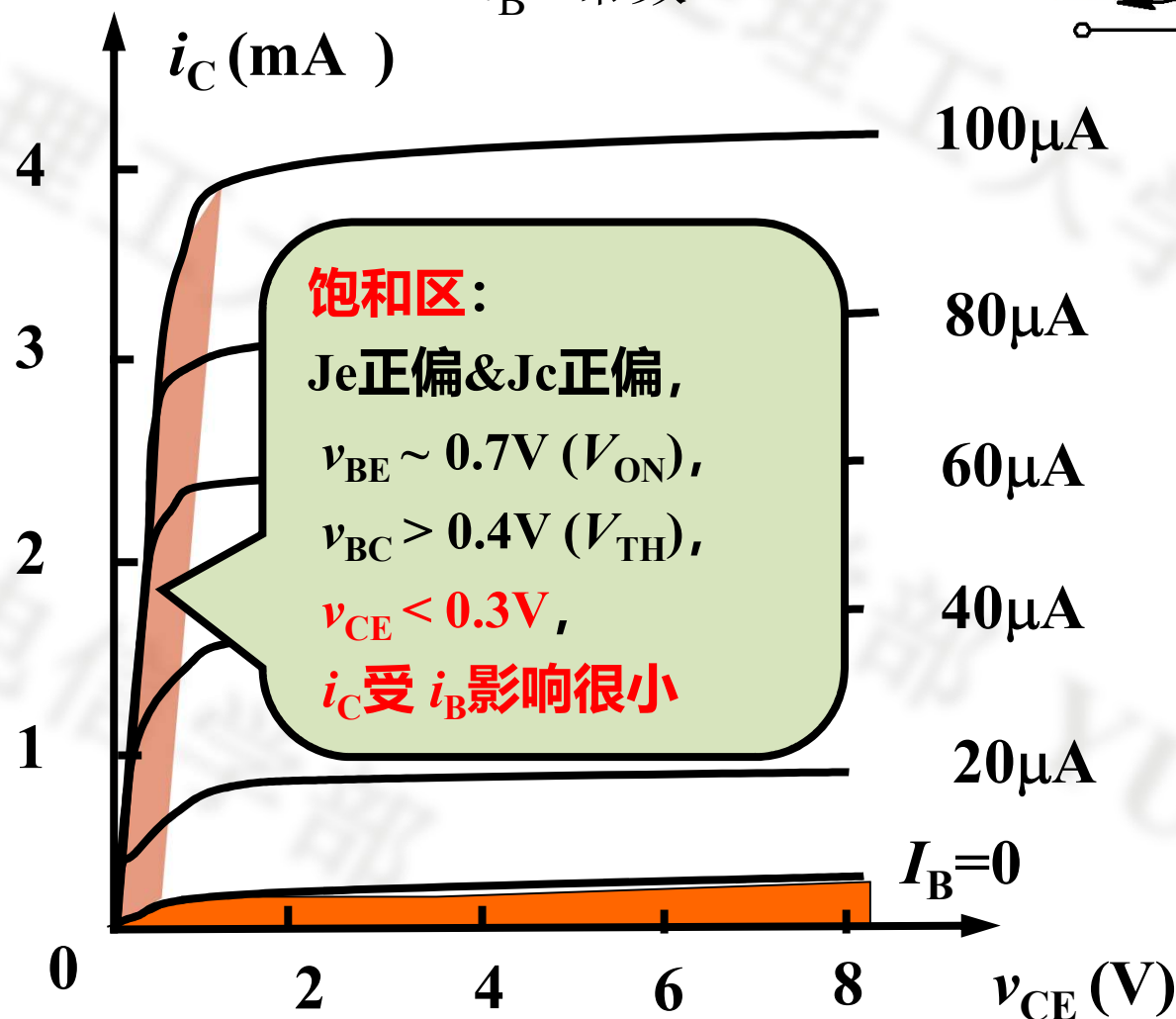
$v_{BE} = \text{导通电压}$

$$i_C = \bar{\beta} i_B$$

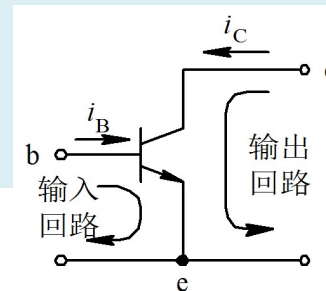
4.1.3 BJT的V-I特性曲线 共射极连接

(2) 输出特性

$$i_C = f(v_{CE}) \big|_{i_B = \text{常数}}$$

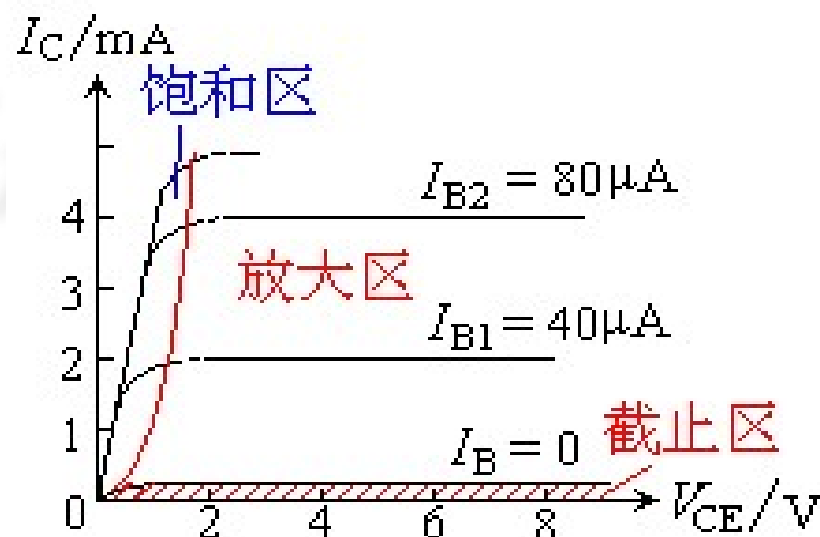


4.1.3 BJT的V-I特性曲线 共射极连接



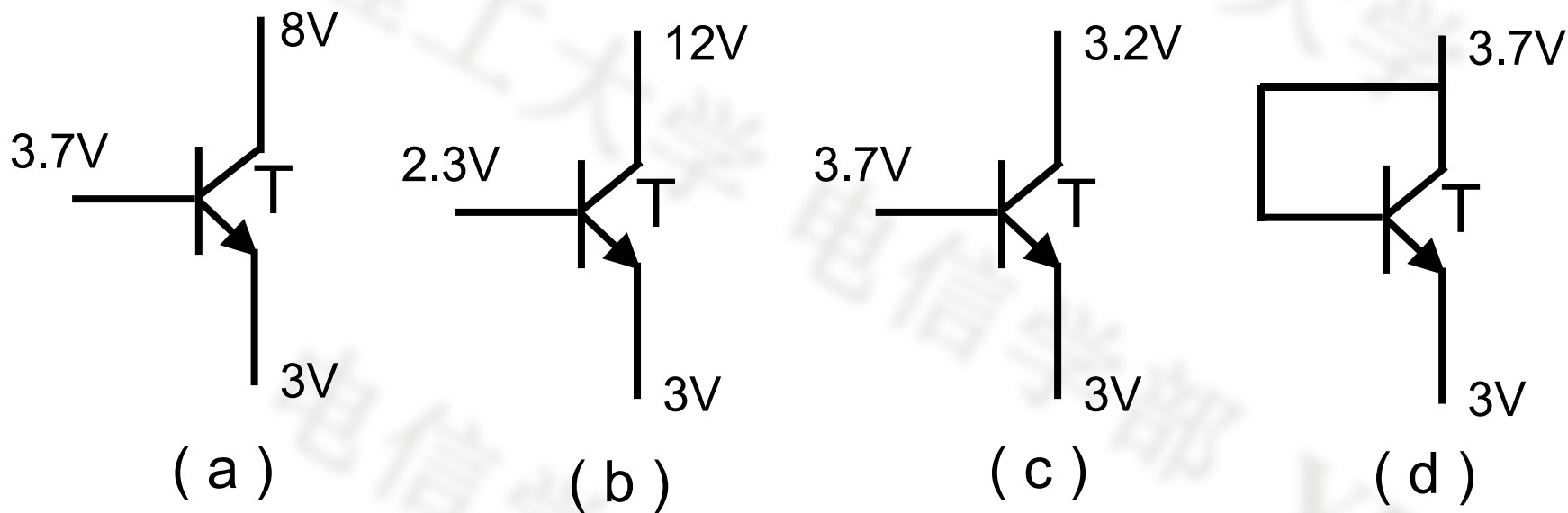
输出特性三个区域的特点对比

	发射结J _e	集电结J _c	电流关系
截止区	非正偏	非正偏	$i_B=0, i_C=I_{CEO} \approx 0$
放大区	正偏	反偏	$i_C=\bar{\beta} i_B, v_{BE} \approx 0.7V$
饱和区	正偏	正偏	$\bar{\beta} i_B > i_C, v_{CE} < 0.3V$

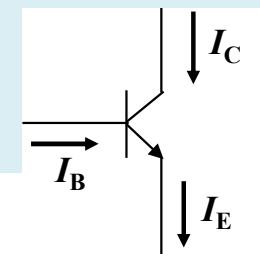


练习

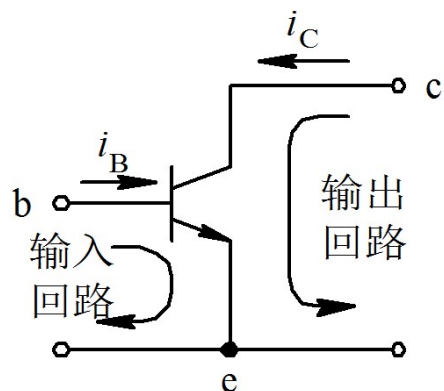
例：测量三极管三个电极对地电位如图。
试判断三极管的工作状态。



4.1.4 晶体管的主要参数 1. 电流放大系数



① 共发射极电流放大系数

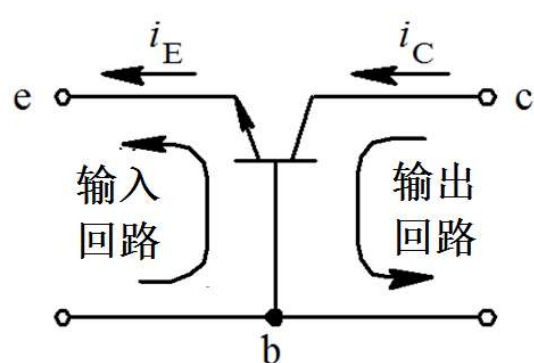


$$\text{直流 } \bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B}$$

$$\text{交流 } \beta = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE}} = \frac{i_c}{i_b}$$

$$\begin{aligned} \bar{\beta} &= \frac{I_C}{I_E - I_C} = \frac{1}{I_E / I_C - 1} \\ &= \frac{1}{1/\bar{\alpha} - 1} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \end{aligned}$$

② 共基极电流放大系数



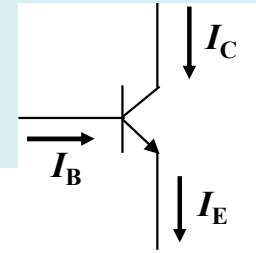
$$\text{直流 } \bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E}$$

$$\text{交流 } \alpha = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} \right|_{v_{CB}} = \frac{i_c}{i_e}$$

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

显然, $\bar{\alpha} < 1$, 一般约为 0.97~0.99。

4.1.4 晶体管的主要参数 1. 电流放大系数



例：某晶体管，已知 $V_{CE}=6V$ 时：

$I_B = 40 \mu A$, $I_C = 1.5 \text{ mA}$; $I_B = 60 \mu A$, $I_C = 2.3 \text{ mA}$ 。

求此状态下该晶体管的共射极电流放大系数。

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

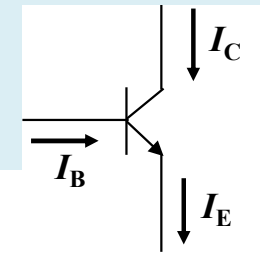
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.3 - 1.5}{0.06 - 0.04} = 40$$

在以后的计算中，一般作近似处理： $\beta = \bar{\beta}$

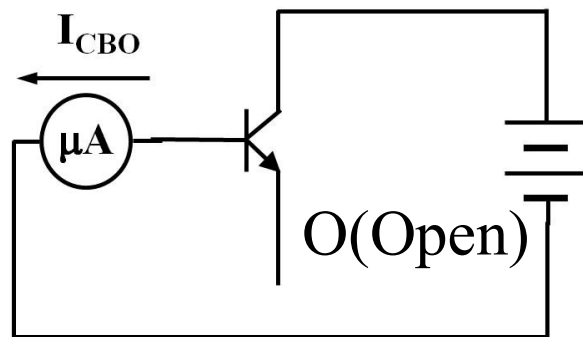
$$i_E = i_B + i_C = (1 + \beta)i_B$$

温度升高， β 增加

4.1.4 晶体管的主要参数 2. 极间反向电流



(1) 集电极-基极反向饱和电流 I_{CBO}

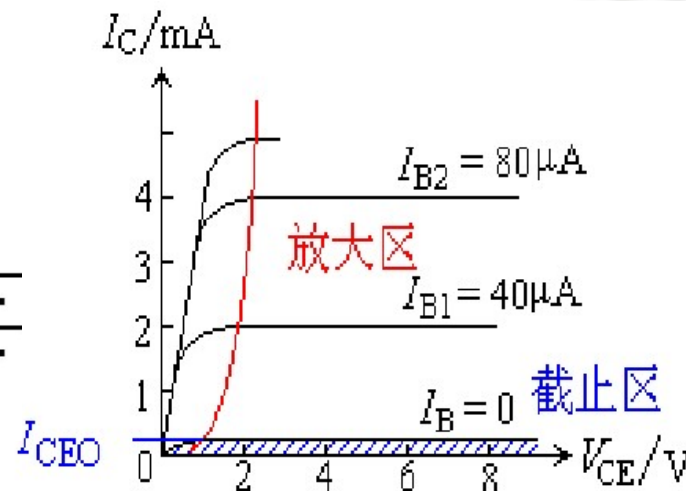
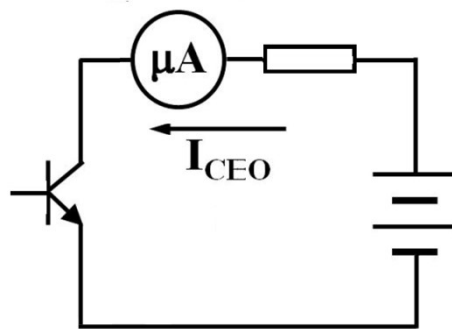


I_{CBO} 是集电结反偏由少子的漂移形成的反向电流。

温度每升高 10°C , I_{CBO} 增加一倍。

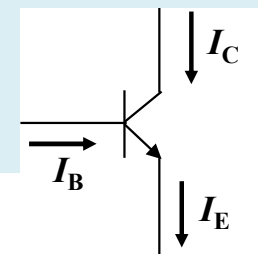
(2) 集电极-射极反向饱和电流 I_{CEO}
(穿透电流)

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



三极管对温度敏感：
当温度上升时，
 I_{CEO} 增加很快，所以
 I_C 也相应增加。

4.1.4 晶体管的主要参数 3. 极限参数



(1) 集电极最大允许电流 I_{CM}

I_C 上升会导致 β 值下降，当 β 值下降到正常值的2/3时的集电极电流即为 I_{CM} 。

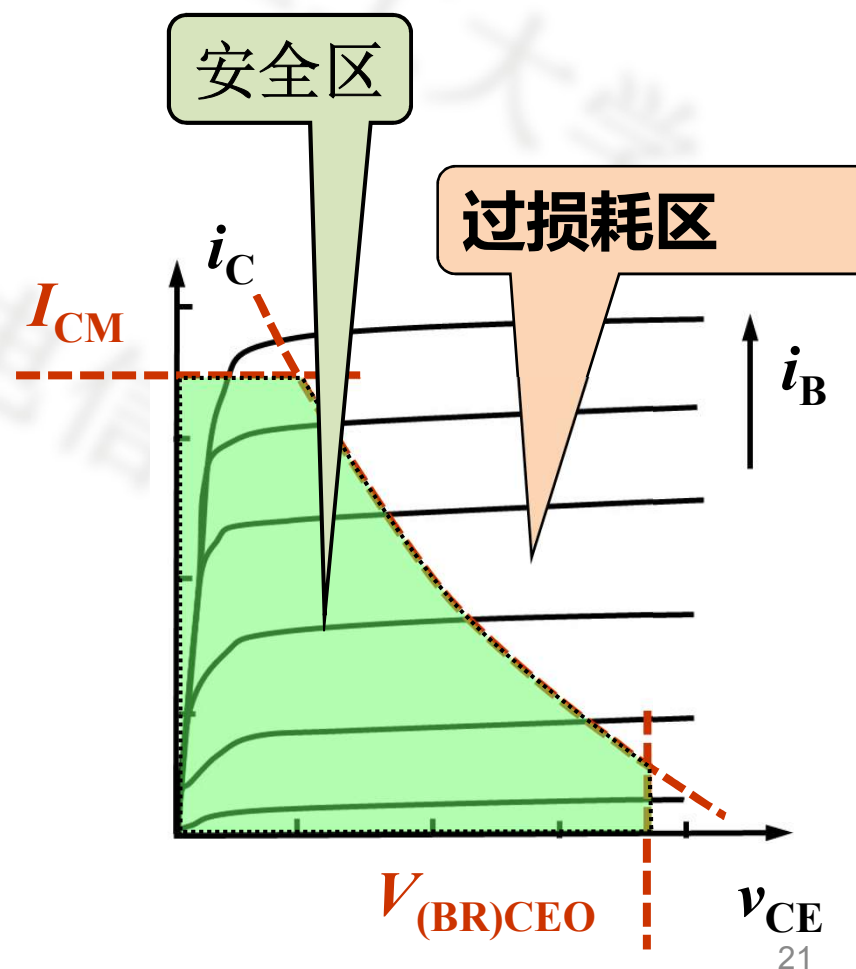
(2) 集电极最大允许耗散功耗 P_{CM}

I_C 流过三极管发出的焦耳热：

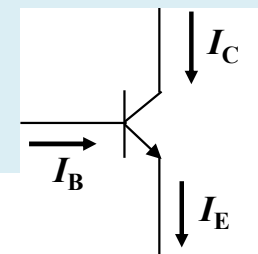
$$P_C = i_C v_{CE}$$

必定导致结温上升，所以 P_C 有限制。

$$P_C \leq P_{CM}$$



4.1.4 晶体管的主要参数 3. 极限参数



(3) 反向击穿电压

① $V_{(BR)EBO}$

C open, J_E 的反向击穿电压.

普通晶体管该电压值比较小，只有几伏.

② $V_{(BR)CBO}$

E open, J_C 的反向击穿电压

③ $V_{(BR)CEO}$

B open, C—E 间的反向击穿电压

当 V_{CE} 超过一定的数值时, I_{CEO} 明显增大, J_C 就会被击穿

$$V_{(BR)CBO} > > V_{(BR)CEO} > V_{(BR)EBO}$$

手册上给出的数值是 25°C 、基极开路时的击穿电压 $V_{(BR)CEO}$

4.1 半导体三极管 BJT

本节小结

理解： 半导体三极管的工作原理、受温度的影响

掌握： 半导体三极管的符号、伏安特性

预习： BJT基本共射放大电路

作业

4.1.1 4.1.2

问题？



群名称:模电2018_生医和计算机
群 号:561745191