



双极型晶体管

主讲教师：王香婷 教授





双极型晶体管

主要内容:

双极型晶体管的基本结构； 电流分配与放大原理； 特性与参数。

重点难点:

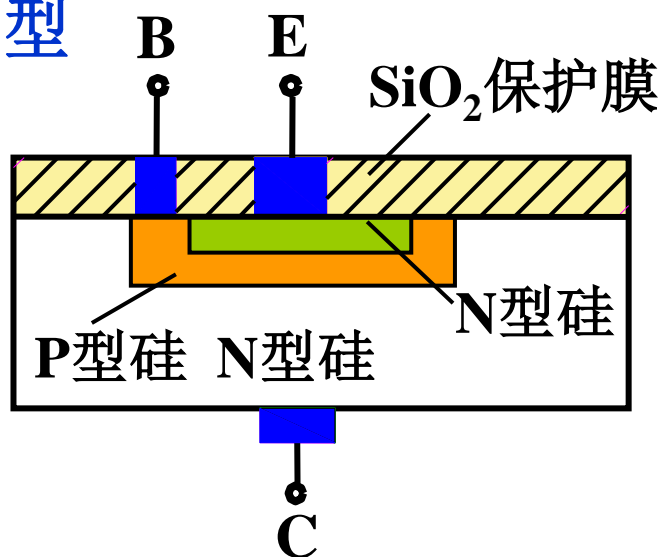
晶体管的电流分配与放大原理。



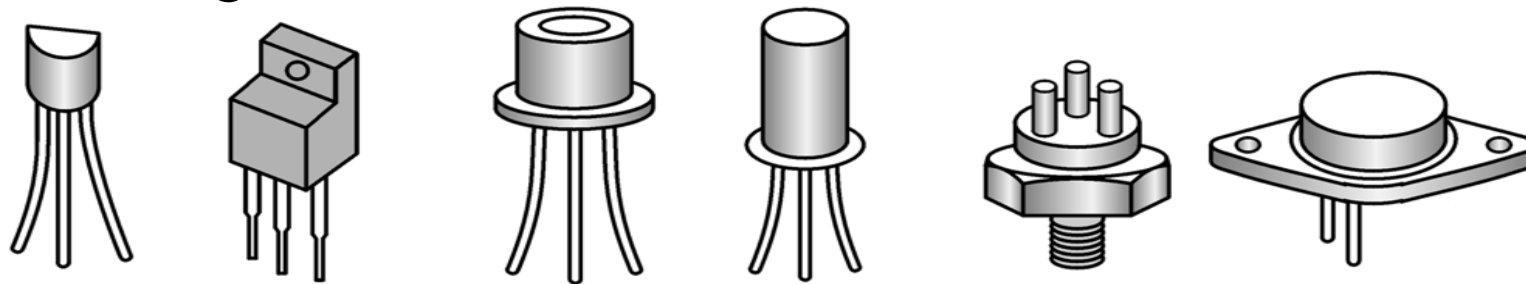
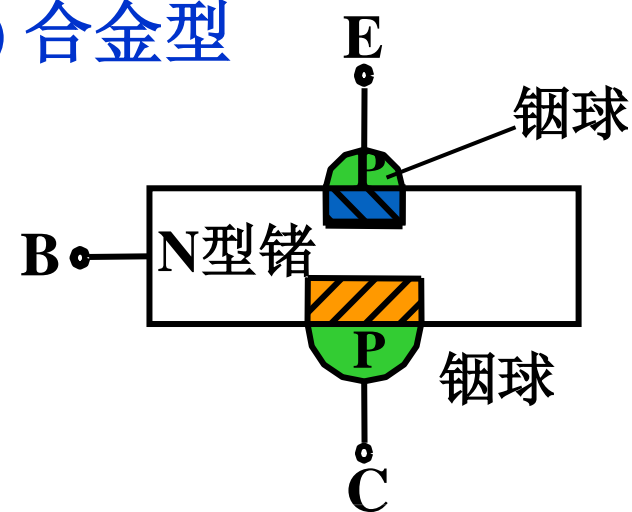
双极型晶体管

1. 基本结构

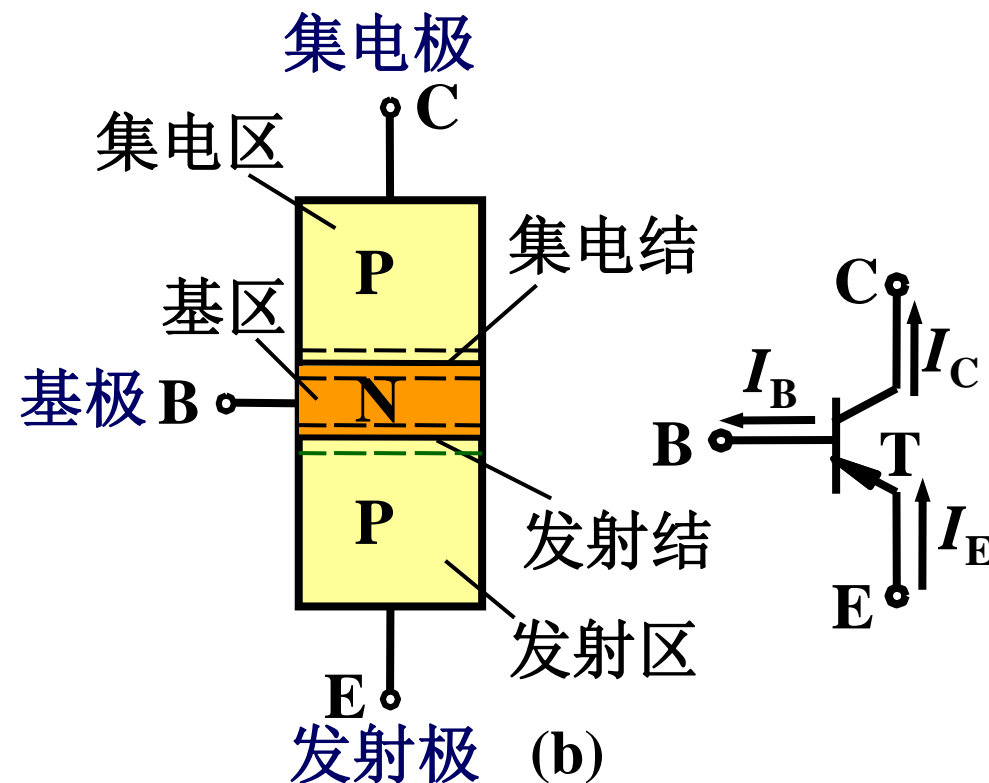
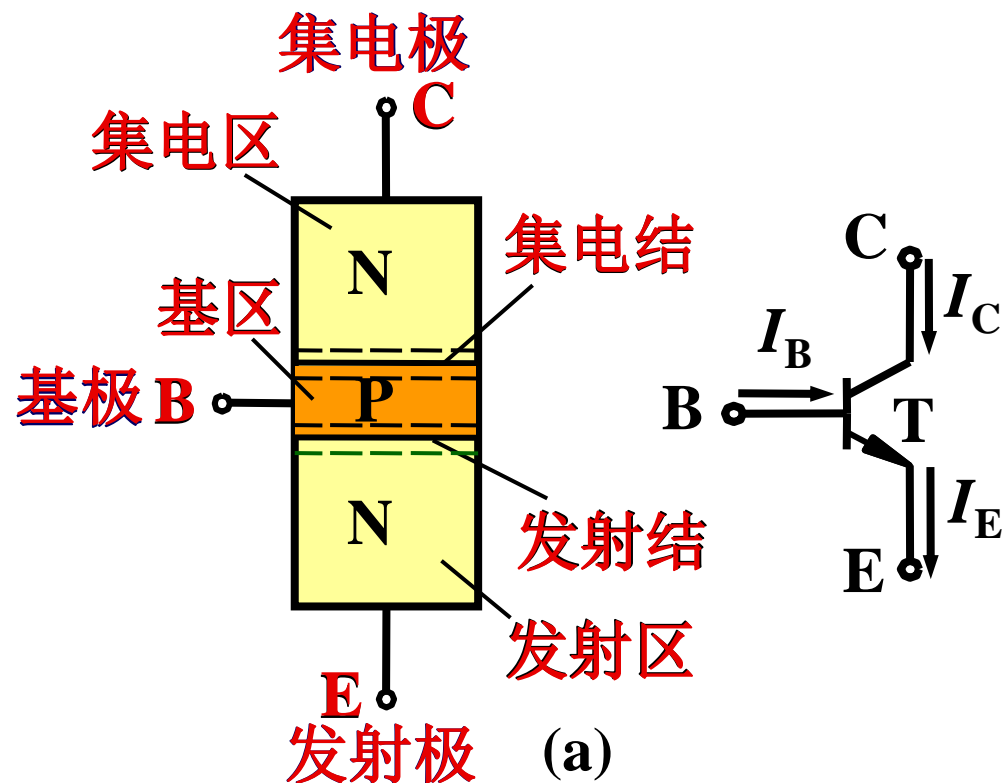
(a) 平面型



(b) 合金型



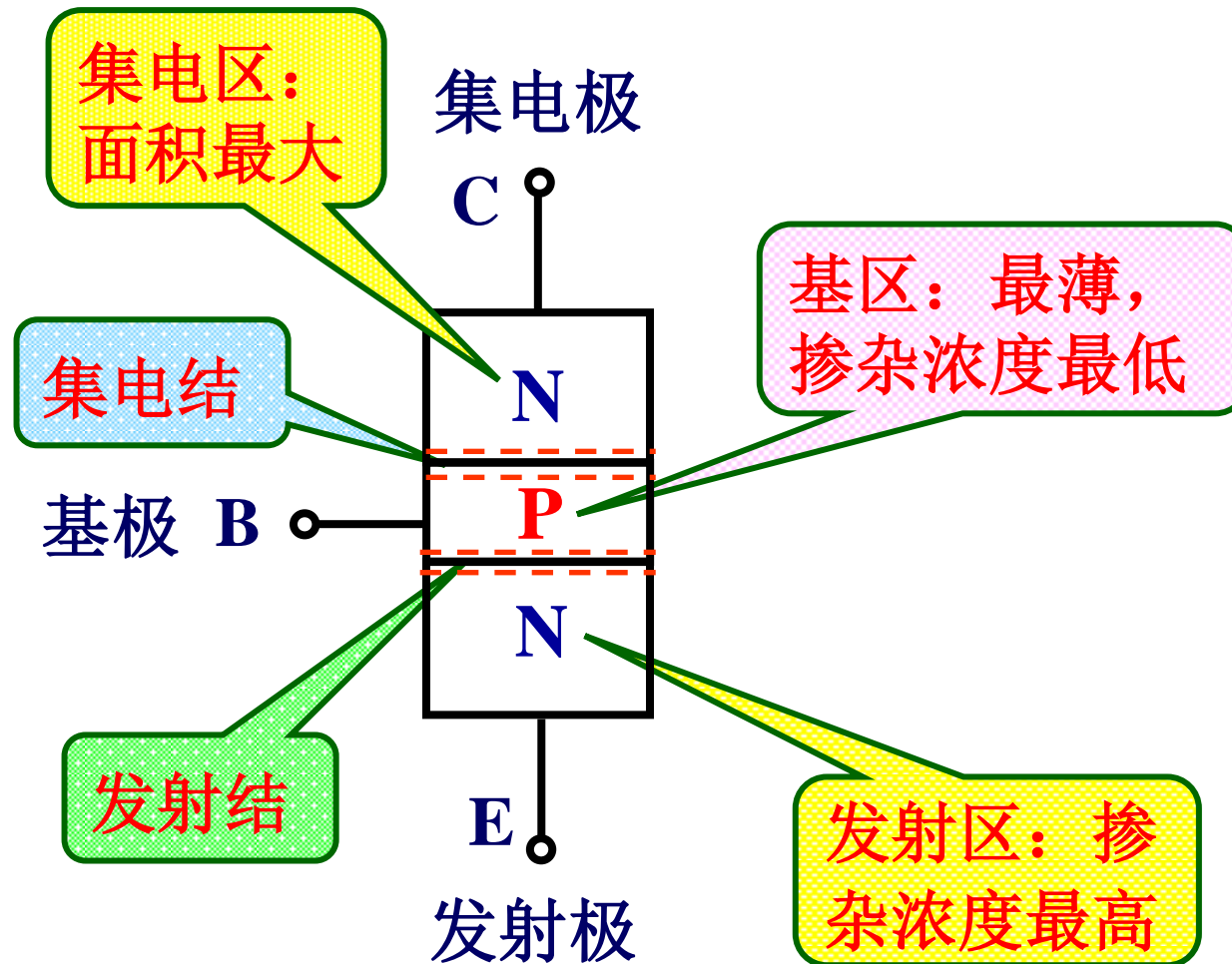
常见双极性晶体管的外形图



晶体管的结构示意图和表示符号

(a)NPN型晶体管; (b)PNP型晶体管

结构特点:



2. 电流分配和放大原理

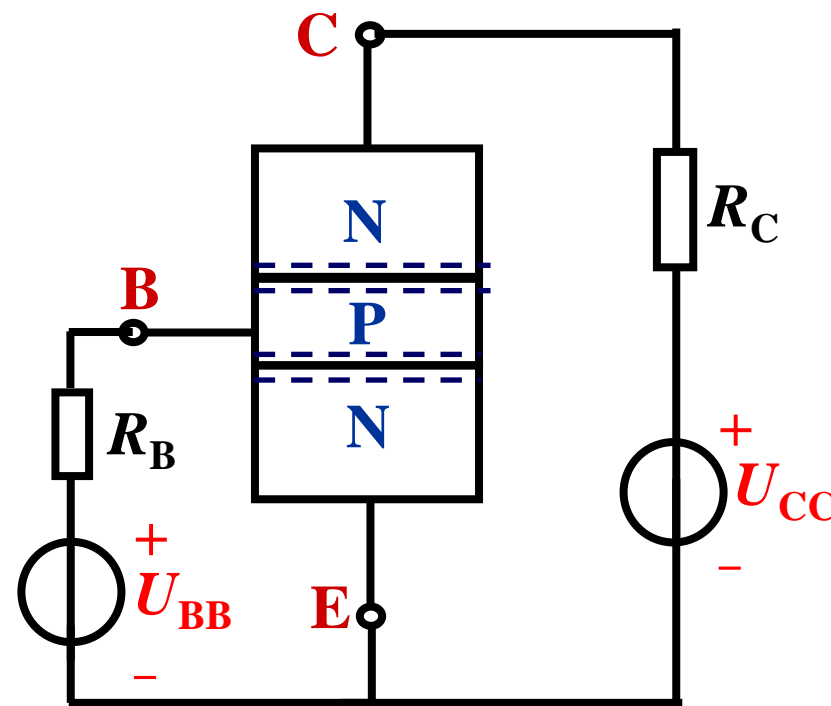
(1) 晶体管放大的外部条件

发射结正偏、集电结反偏

从电位的角度：

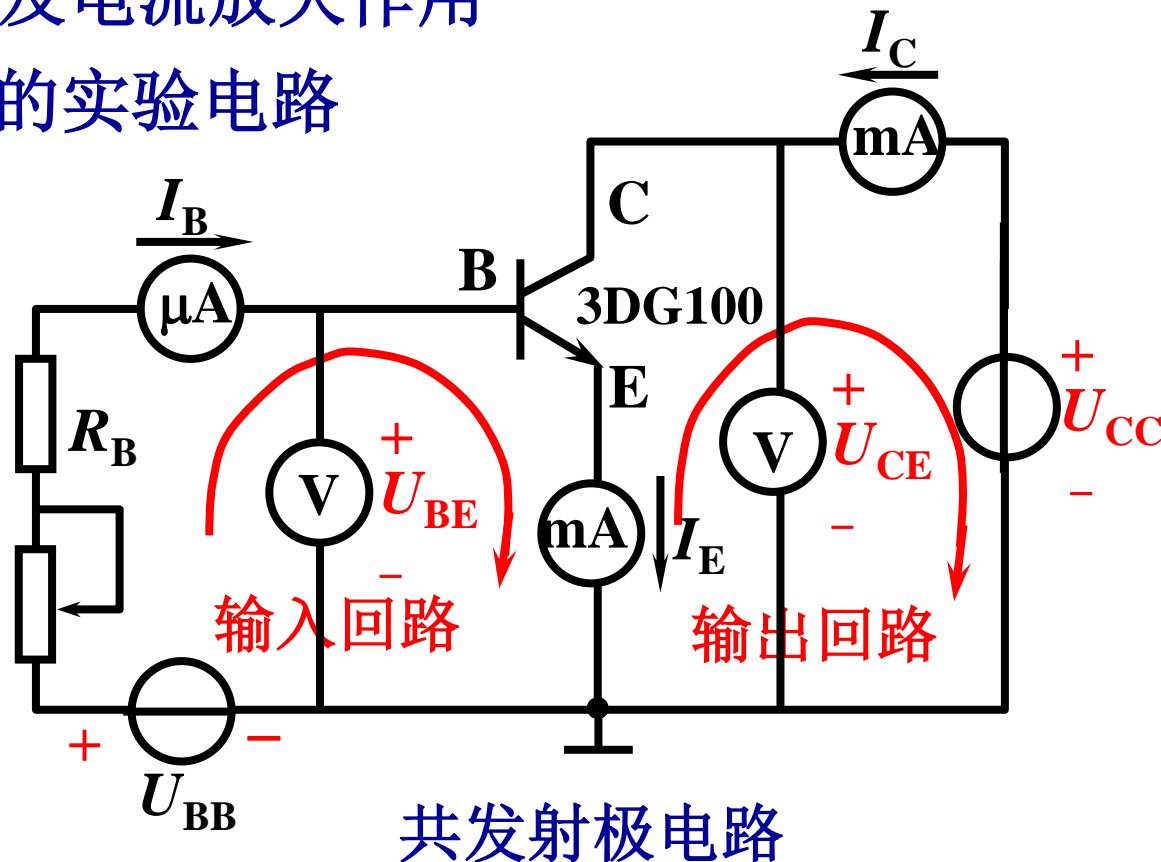
NPN $V_B > V_E$ $V_C > V_B$

PNP $V_B < V_E$ $V_C < V_B$



(2) 各电极电流关系及电流放大作用

晶体管电流放大的实验电路



设 $U_{CC} = 6\text{ V}$ ，改变可变电阻 R_B ，则基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 都发生变化。

晶体管电流测量数据

$I_B(\text{mA})$	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

A green starburst graphic with a black outline, containing the word '结论:' in red.

结论:

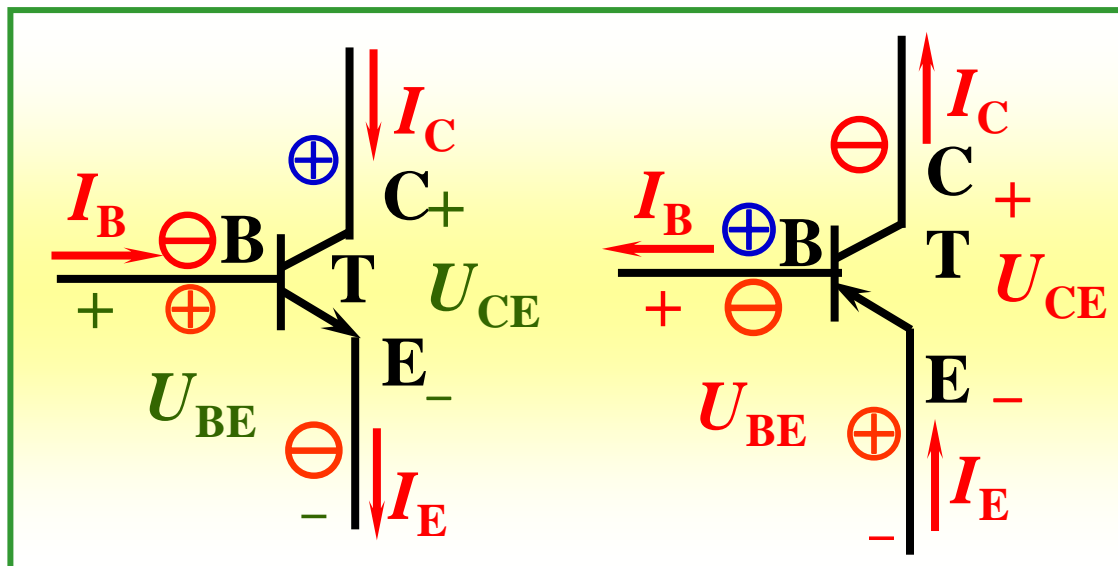
(1) $I_E = I_B + I_C$ 符合基尔霍夫定律

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

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

把基极电流的微小变化能够引起集电极电流较大变化的特性称为晶体管的电流放大作用。

(4) 要使晶体管起放大作用，发射结必须正向偏置，集电结必须反向偏置。



电流方向和发射结与集电结的极性

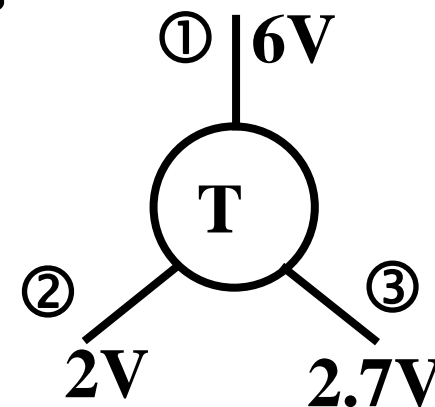
(a) NPN 型晶体管; (b) PNP 型晶体管

硅管: $|U_{BE}| \approx 0.7V$ NPN: $U_C > U_B > U_E$

锗管: $|U_{BE}| \approx 0.3V$ PNP: $U_C < U_B < U_E$

(1) 硅管、NPN管; (2) ① 集电极; ② 发射极; ③ 基极

例: 已知三极管三个电极的对地电压, 试判断它们的极性、材料、并确定三个电极。

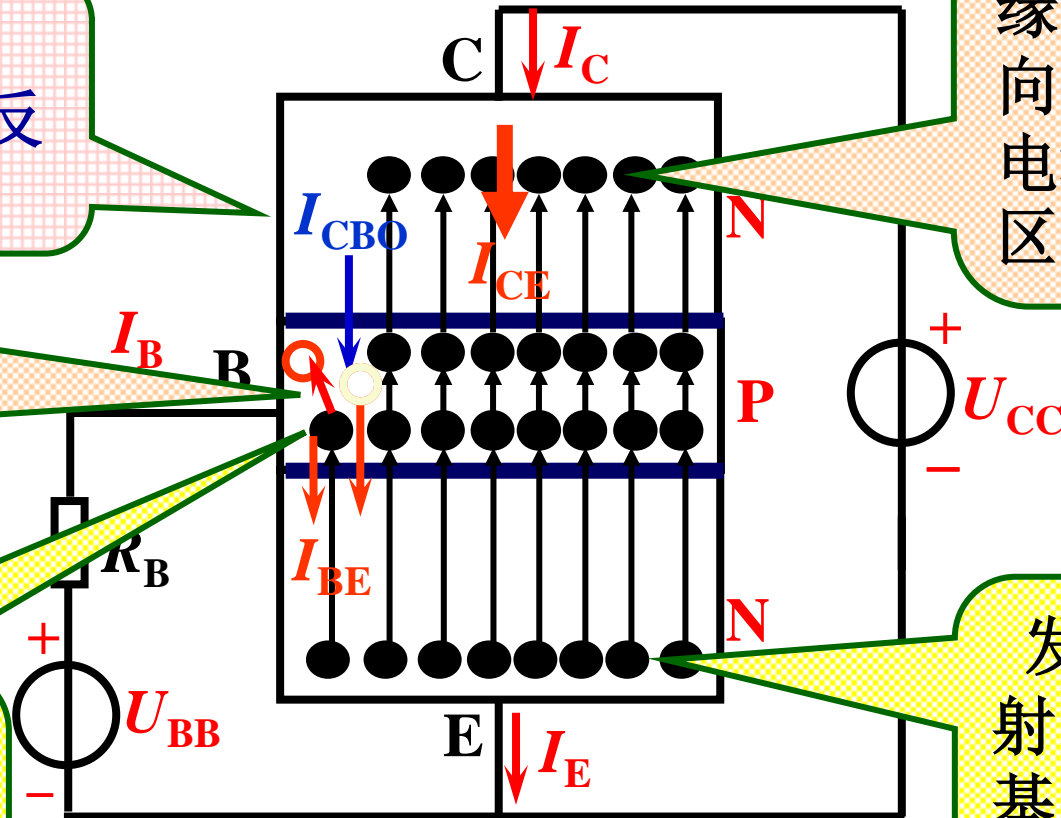


(3) 晶体管内部载流子的运动规律

集电结反偏，由少子形成的反向电流 I_{CBO} 。

基区空穴向发射区的扩散可忽略。

进入P区的电子少部分与基区的空穴复合，形成电流 I_{BE} ，多数扩散到集电结。



扩散到集电结边缘的自由电子被反向偏置的集电结的电场吸引到达集电区，形成电流 I_{CE} 。

发射结正偏，发射区电子不断向基区扩散，形成发射极电流 I_E 。

(3) 晶体管内部载流子的运动规律

$$I_C = I_{CE} + I_{CBO} \approx I_{CE}$$

$$I_B = I_{BE} - I_{CBO} \approx I_{BE}$$

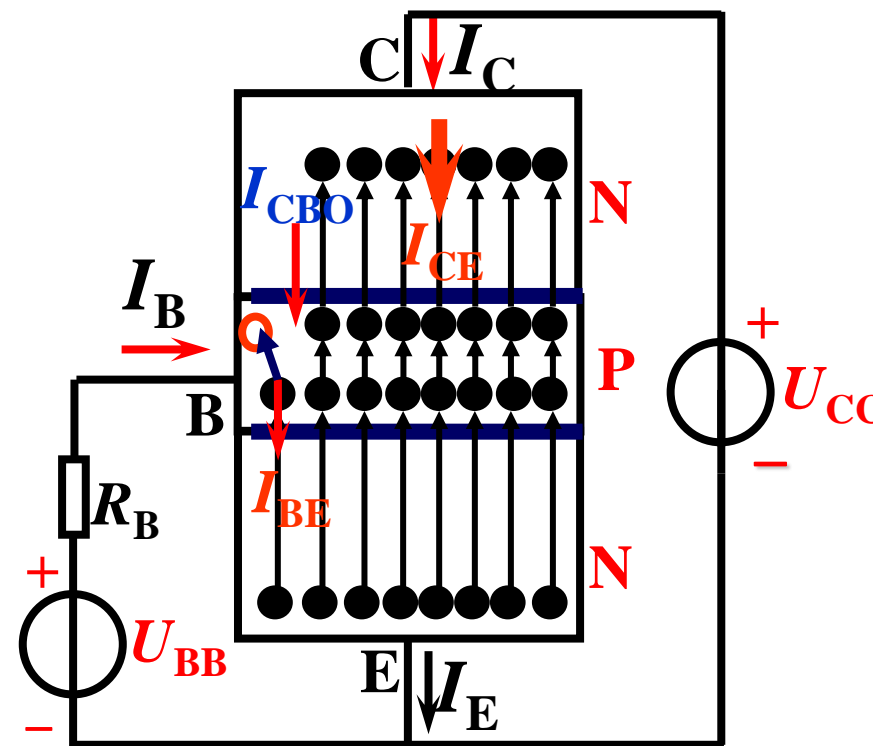
$$\bar{\beta} = \frac{I_{CE}}{I_{BE}} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B + I_{CBO}} \approx \frac{I_C}{I_B}$$

称为共发射极放大电路电流放大倍数

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

若 $I_B = 0$, 则 $I_C \approx I_{CEO}$ 集-射极穿透电流

忽略 I_{CEO} , 有 $I_C \approx \bar{\beta} I_B$ 实现电流放大作用。



3. 特性曲线

即晶体管各电极电压与电流的关系曲线，是晶体管内部载流子运动的外部表现，反映了晶体的性能，是分析放大电路的依据。

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

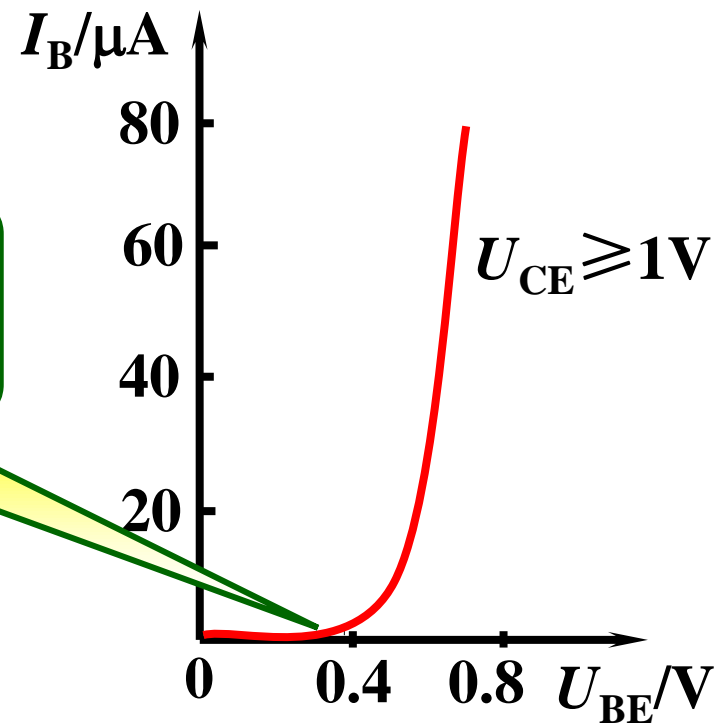
特点：非线性

死区电压：硅管
0.5V，锗管0.1V

正常工作时发射结电压：

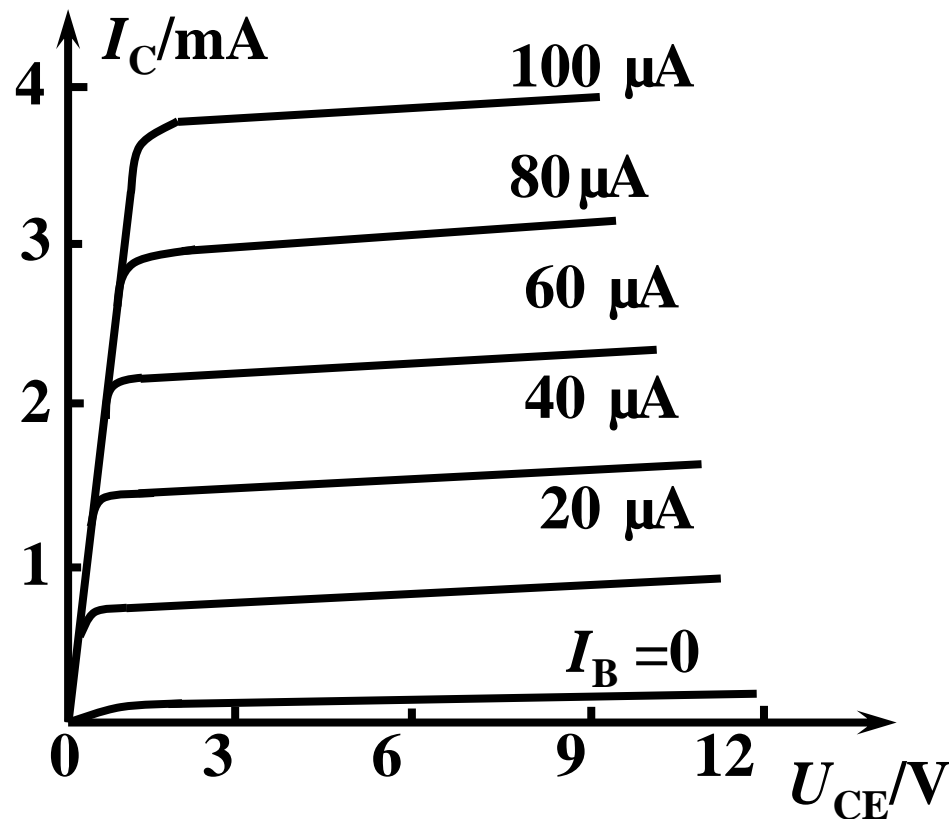
NPN型硅管： $U_{BE} \approx (0.6 \sim 0.7) \text{ V}$

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

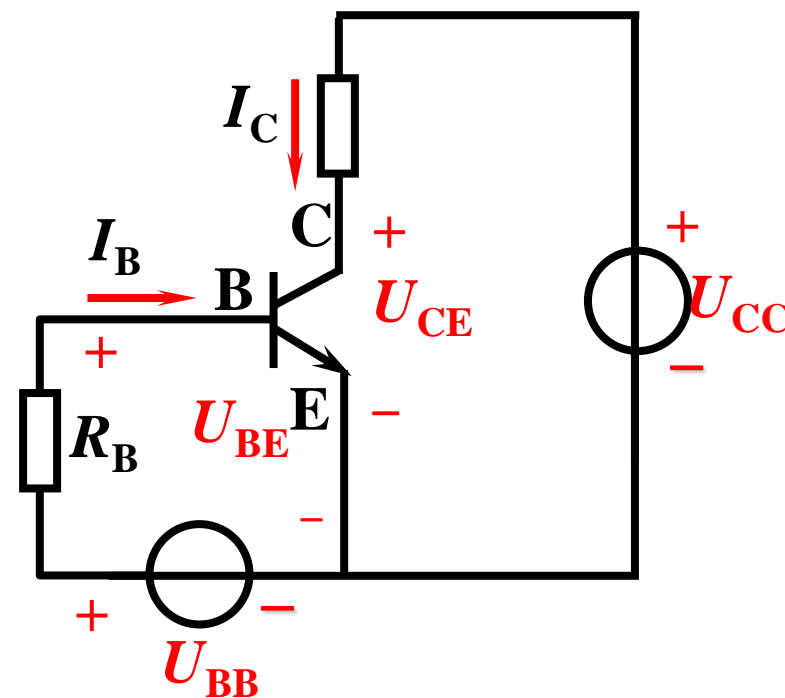


3DG100晶体管的输入特性曲线

(2) 输出特性 $I_C = f(U_{CE})|_{I_B = \text{常数}}$



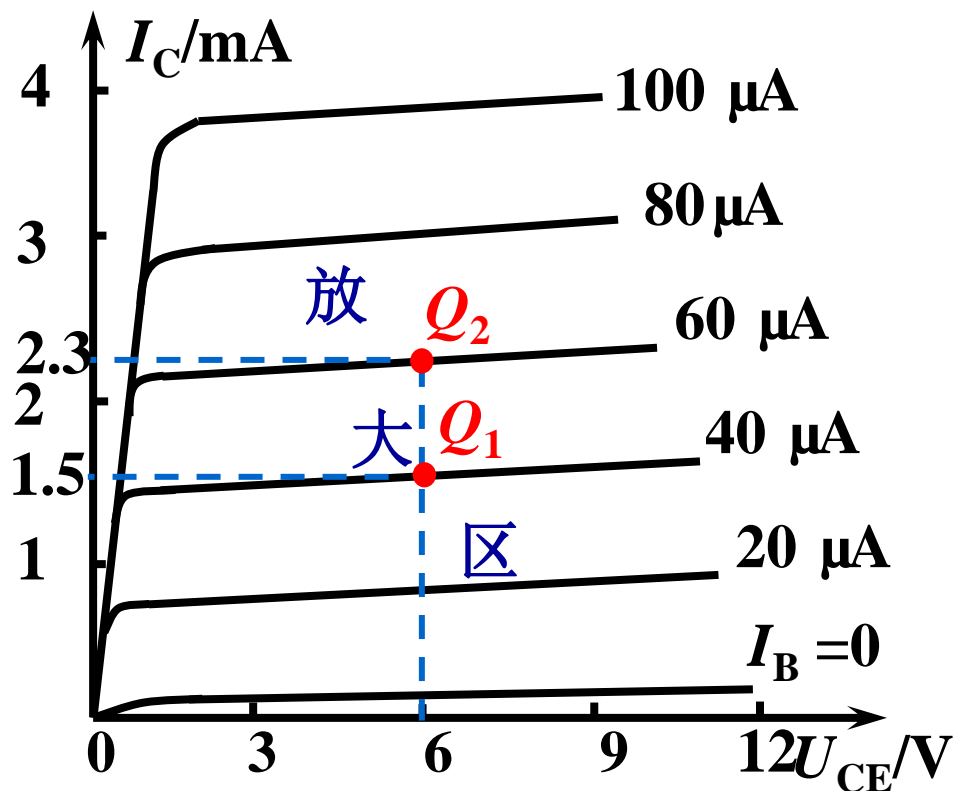
3DG100晶体管的输出特性曲线



共发射极电路

(2) 输出特性 $I_C = f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$

晶体管有三种工作状态，因而输出特性曲线分为三个工作区。



3DG100晶体管的输出特性曲线

① 放大区

$I_C = \beta I_B$ 具有恒流特性。

晶体管工作于放大状态。

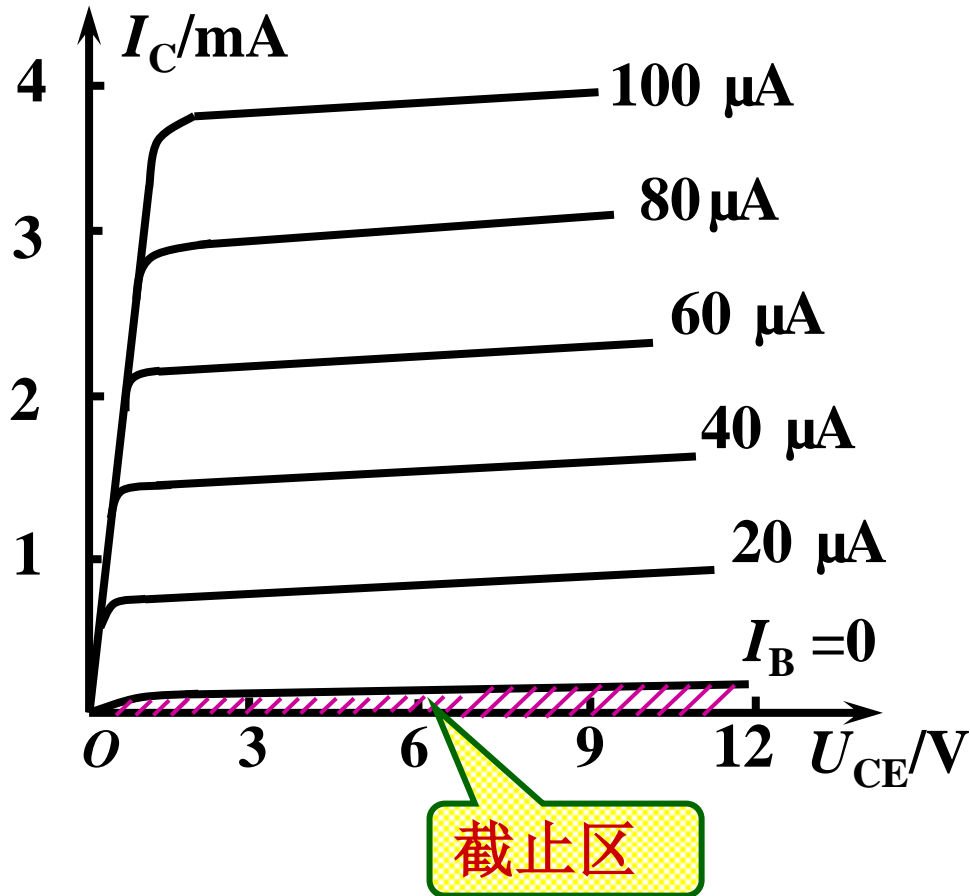
发射结正偏，集电结反偏。

对 NPN 型管：

U_{BE} 约为 0.7V， $U_{CE} > U_{BE}$ 。

② 截止区

$I_B = 0$ 的曲线以下的区域称为截止区。



$I_B = 0$ 时, $I_C = I_{CEO}$ (很小)

对于硅管, $I_{CEO} < 1\mu A$ 。

对于锗管, I_{CEO} 约为几十~几百微安。

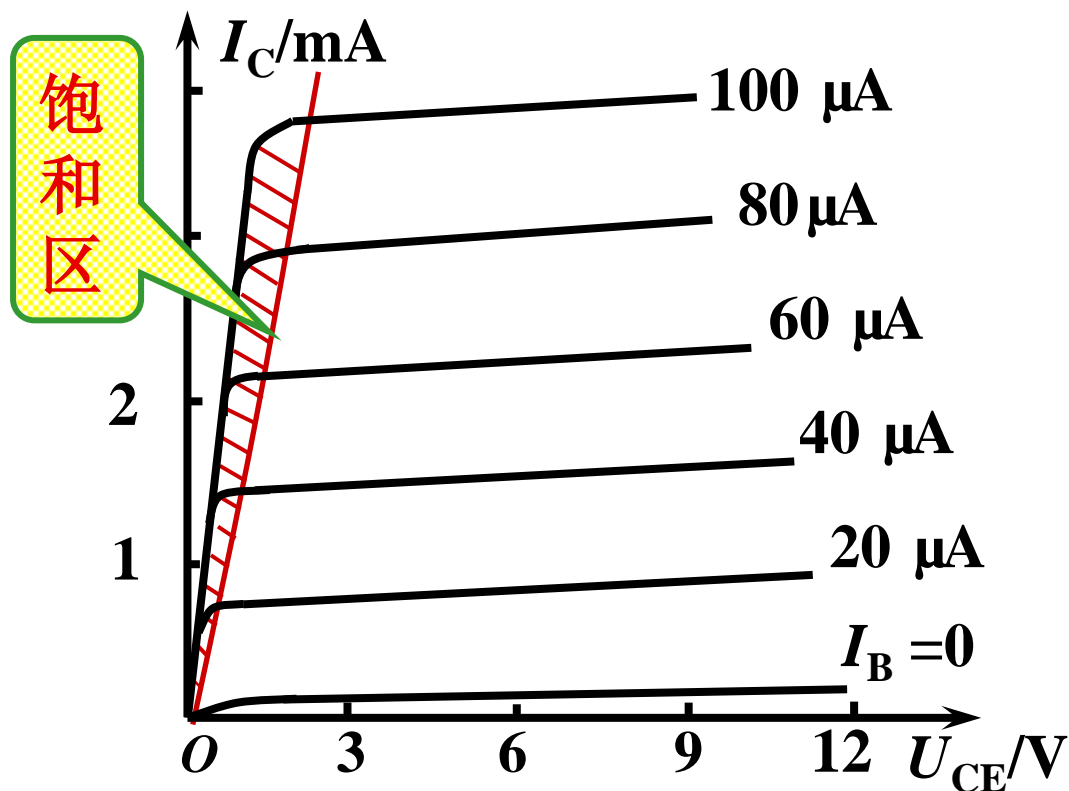
发射结和集电结均处于反向偏置。

若忽略 I_{CEO} (穿透电流)

$$I_C \approx 0, U_{CE} \approx U_{CC}$$

③ 饱和区

发射结和集电结均正向偏置，晶体管工作于饱和状态。



在饱和区， $\beta I_B \geq I_C$ ，

深度饱和时，硅管 $U_{CES} \approx 0.3V$ ，

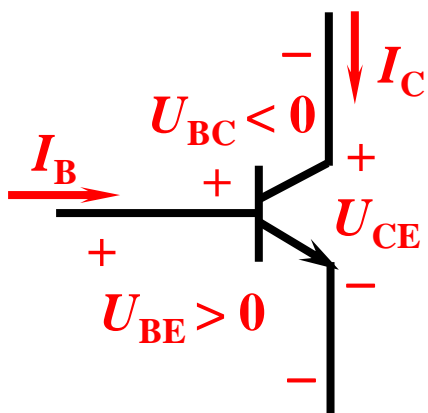
锗管 $U_{CES} \approx 0.1V$

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

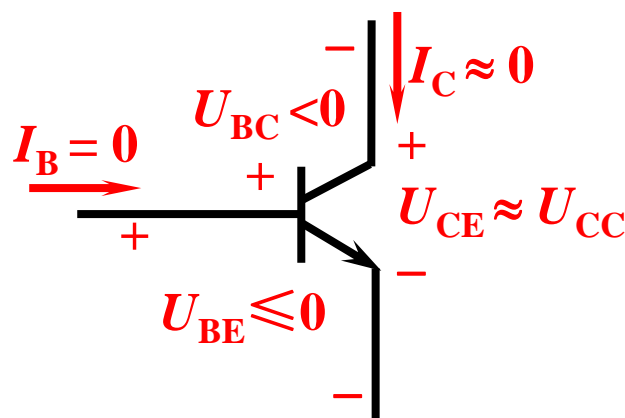
在模拟放大电路中，晶体管工作在放大状态。在数字电路中，晶体管工作在截止或饱和状态。

判断管子的工作状态：

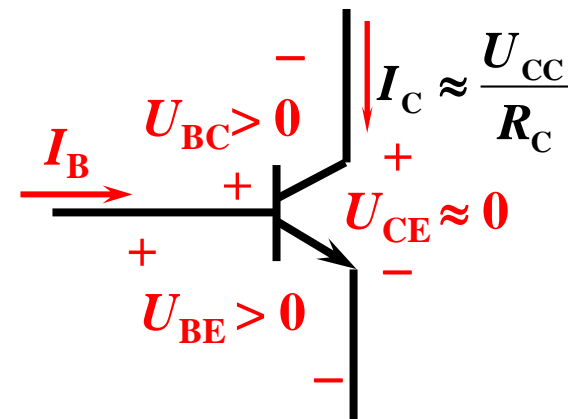
- 发射结正偏、集电结反向偏，为放大状态。
- 发射结和集电结均正向偏置，为饱和状态。
- 发射结和集电结均反向偏置，为截止状态。



(a) 处于放大状态



(b) 处于截止状态



(c) 处于饱和状态

4. 主要参数

(1) 电流放大系数 $\bar{\beta}$, β (共发射极电路)

直流电流放大系数

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

交流电流放大系数

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

$\bar{\beta}$ 和 β 的含义不同，
对于理想输出特性，
可认为 $\bar{\beta} = \beta$ 。

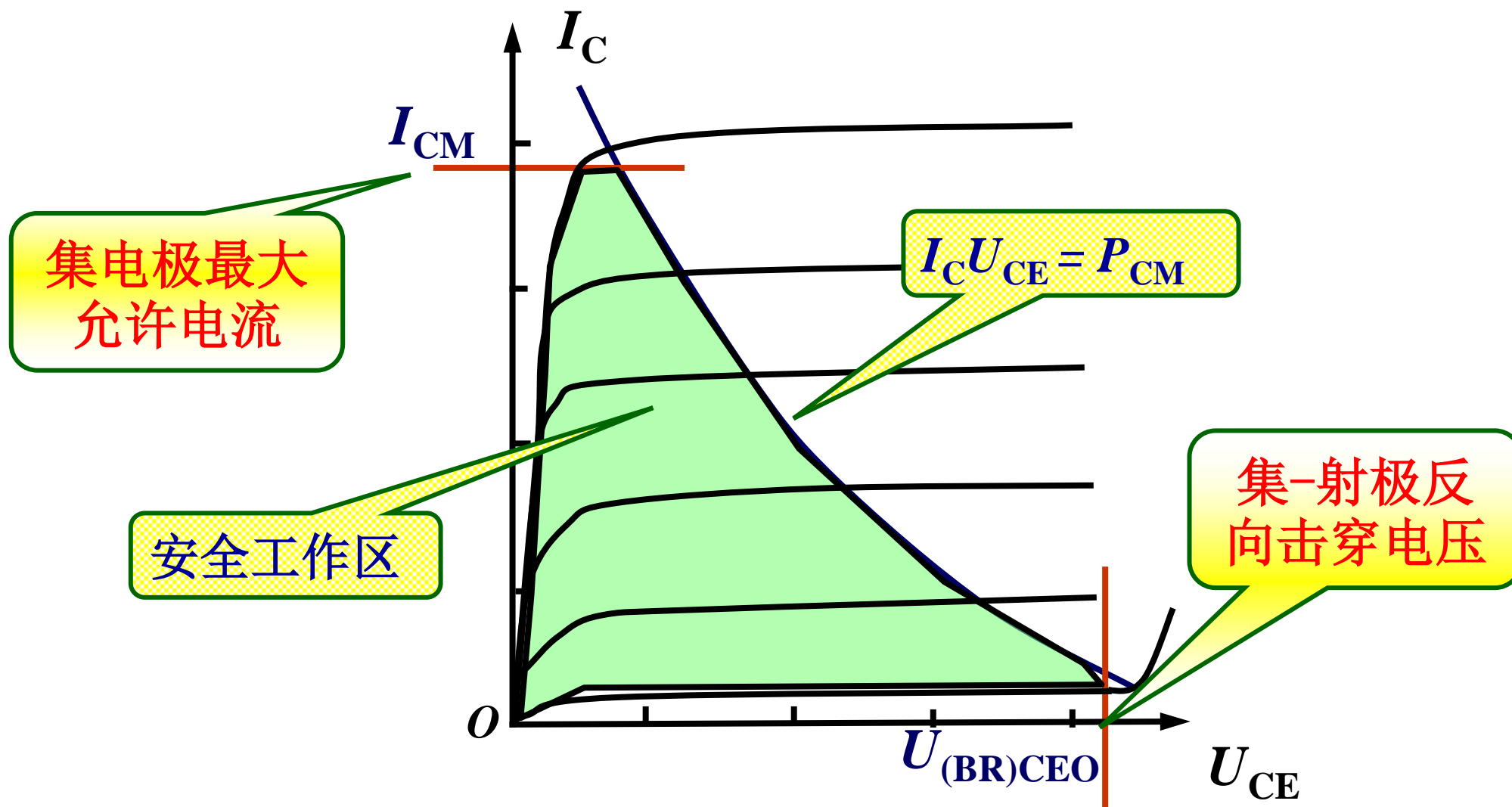
(2) 极间反向电流

包括集-基极反向截止电流 I_{CBO} 和集-射极反向截止电流 I_{CEO} ，其中
 $I_{CEO} = (1 + \bar{\beta})I_{CBO}$ ，两者受温度影响大，其值越小越好。

(3) 极限参数

包括 I_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 和 P_{CM} 三个极限参数。

由三个极限参数可画出晶体管的安全工作区。



小 结

1. 三极管放大的外部条件

发射结正偏，集电结反偏

2. 各电极电流关系及电流放大作用

(1) $I_E = I_B + I_C$

(2) $I_C \approx \bar{\beta} I_B$

3. 特性曲线

