

晶体管

一、晶体管的基本结构

二、晶体管类型

三、电流分配和电流放大作用

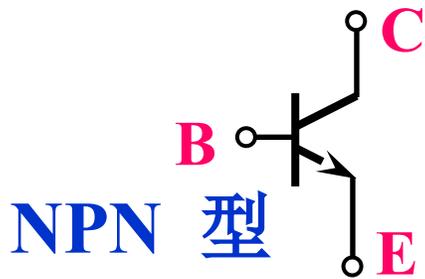
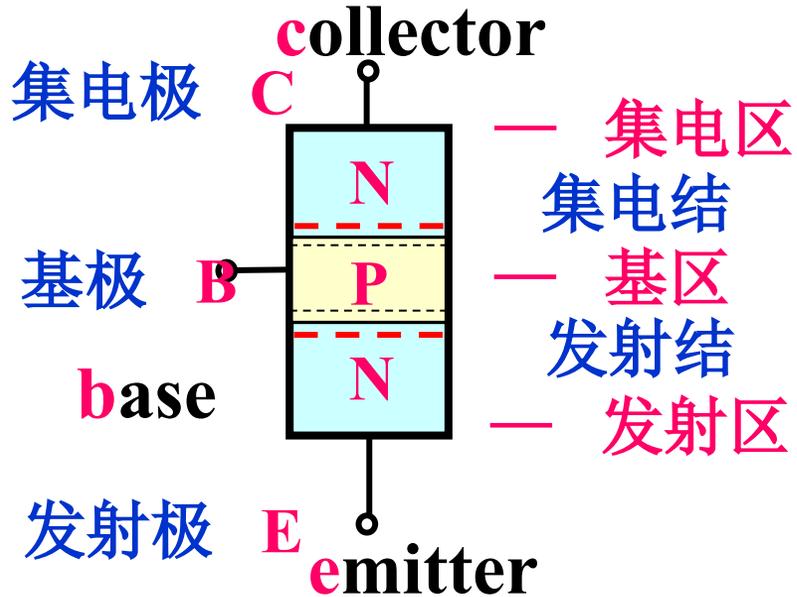
四、晶体管特性曲线

一、晶体管的基本结构

晶体管（三极管）是最重要的一种半导体器件。



三层半导体材料构成 NPN 型、PNP 型



*

各区主要作用及结构特点

:

发射区：作用：发射载流子

特点：掺杂

浓度高

基区：作用：传输载流子

特点：薄、掺杂

浓度低

集电区：作用：接收载流子

二、晶体管类型

按材料分：

硅管、锗管

按结构分：

NPN、PNP

按使用频率分：

低频管、高频管

按功率分：

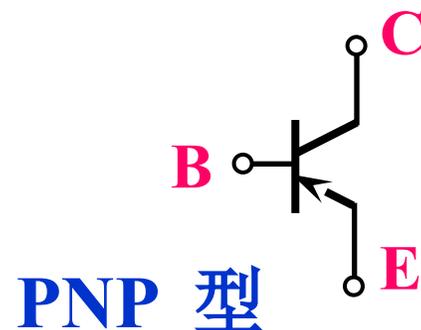
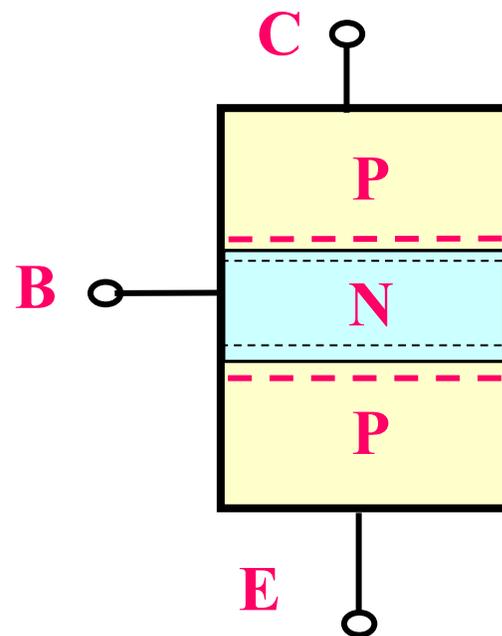
小功率管

< 500

mW

中功率管 $0.5 \sim 1$ W

大功率管 > 1 W



三、 电流分配和电流放大作用

1) 晶体管放大的条件

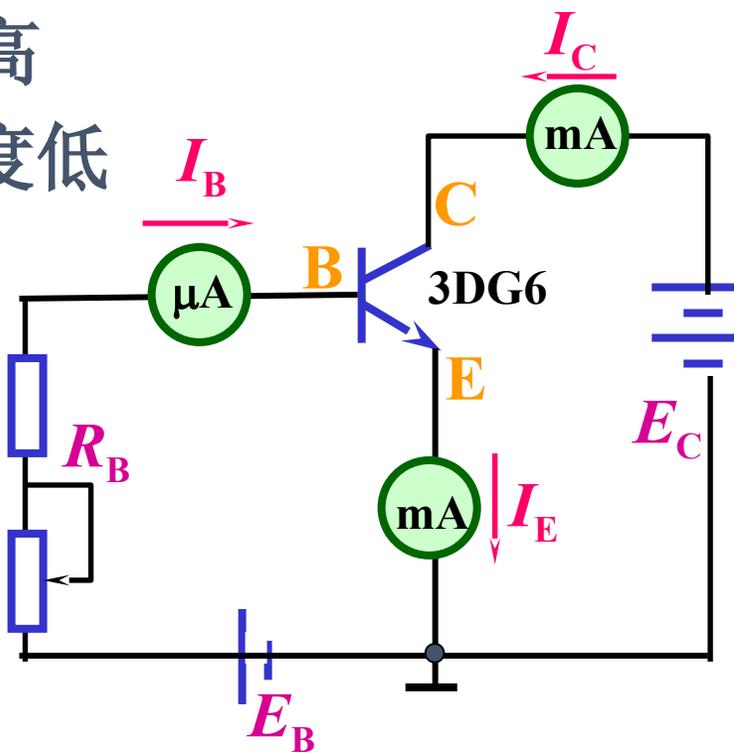
1. 内部条件 { 发射区掺杂浓度高
基区薄且掺杂浓度低
集电区面积大

2. 外部条件 { 发射结正偏
集电结反偏

2) 晶体管的电流分配和放大作用

电路条件： $E_C > E_B$ 发射结正偏

集电结反偏



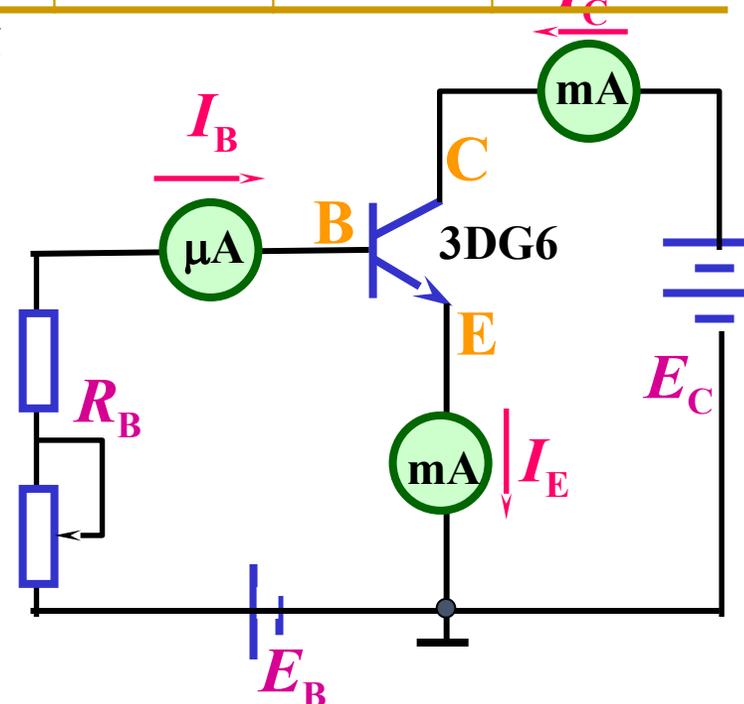
实验电路

1. 测量结果

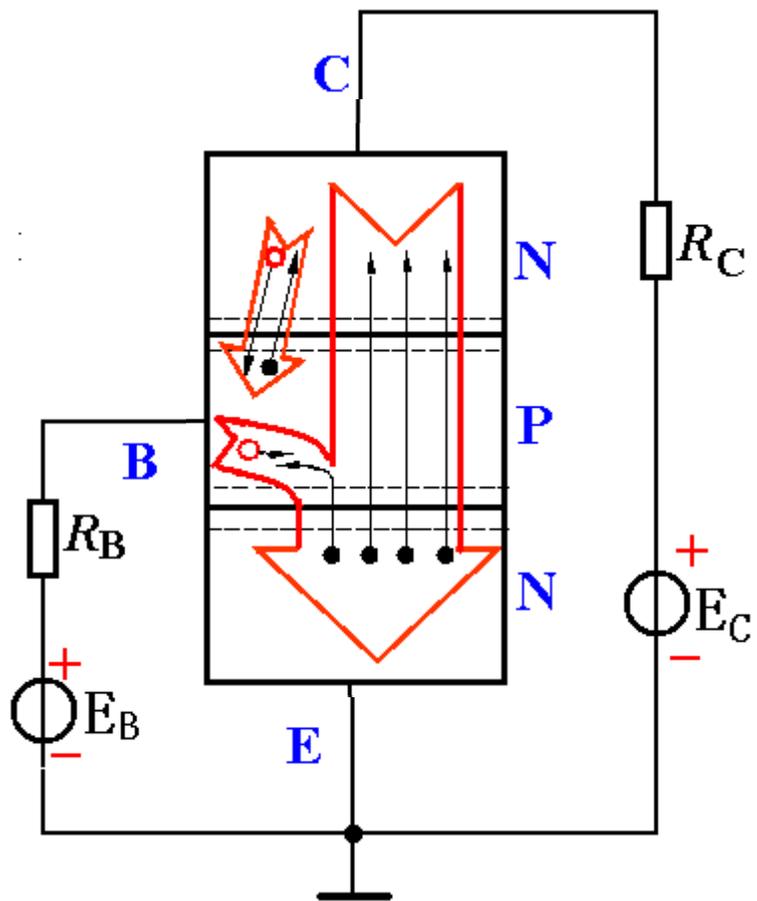
I_B/mA	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
I_C/mA	≈ 0.001	0.50	1.00	1.60	2.20	2.90
I_E/mA	≈ 0.001	0.51	1.02	1.63	2.24	2.95
I_C / I_B		50	50	53	55	58
$\Delta I_C / \Delta I_B$		50	60	60	70	

- (1) $I_E = I_C + I_B$ 符合 KCL 定律
- (2) I_C 和 I_E 比 I_B 大得多
- (3) I_B 很小的变化可以引起 I_C 很大的变化。

即：基极电流对集电极电流具有小量控制大量的作用，这就是晶体管的放大作用。



2. 晶体管内部载流子的运动规律



1) 发射区向基区注入多子电子，形成发射极电流 I_E 。

2) 电子到达基区后少数向 BC 结方向扩散形成多数与空穴复合，形成 I_{BE} 。

基区空穴来源 { 基极电源提供 (I_B)
集电区少子漂移 (I_{CBO})

$$\text{即 } I_{BE} = I_B + I_{CBO}$$

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

(3) 集电区收集扩散过来的载流子形成集电极电流 I_C

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

3. 晶体管的电流分配关系

$$I_B = I_{BE} - I_{CBO} \quad I_C = I_{CE} + I_{CBO}$$

当管子制成后，发射区载流子浓度、基区宽度、集电区面积等是确定的，故电流的比例关系确定，即：

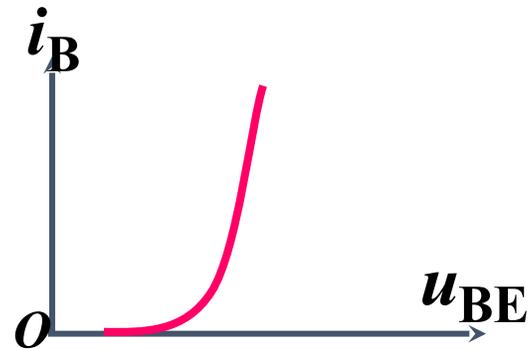
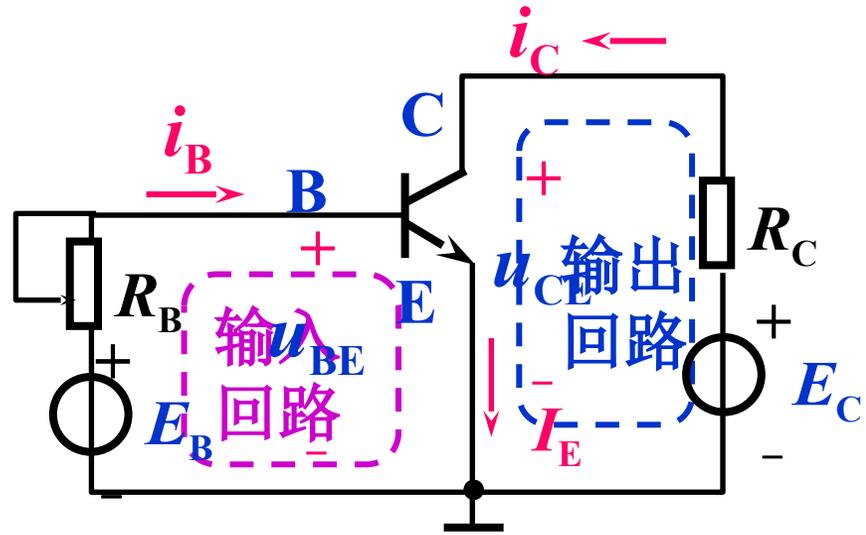
(直流电流放大倍数)

总结：

1. 晶体管在发射结正向偏置、集电结反向偏置的条件下具有电流放大作用。
2. 晶体管的电流放大作用，实质上是基极电流对集电极电流的控制作用。

四、晶体管特性曲线

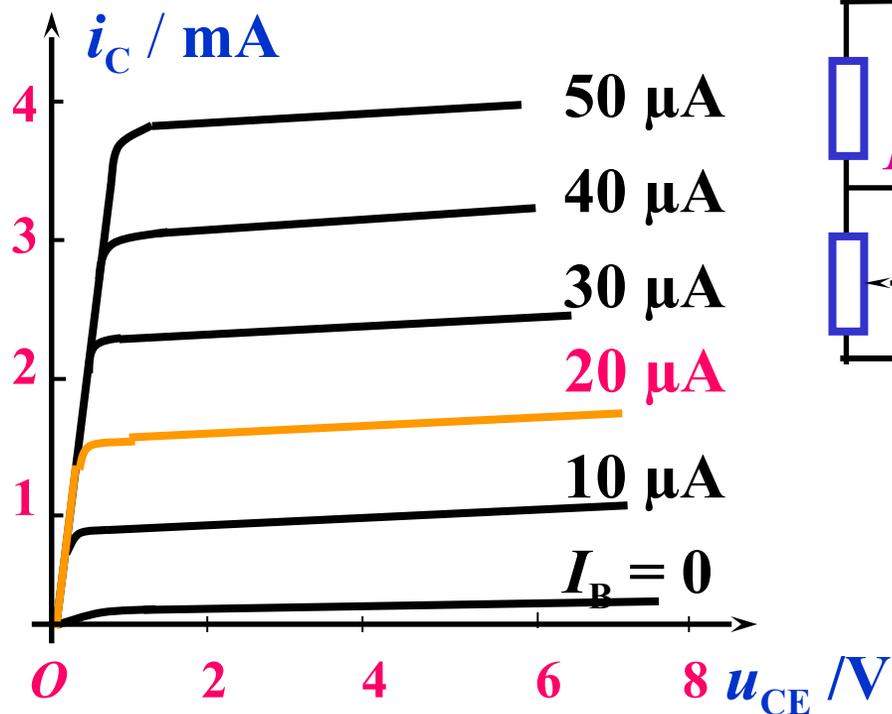
1) 输入特性



$u_{CE} \geq 1\text{ V}$ 与二极管的正向特性类似。（集电结反偏）

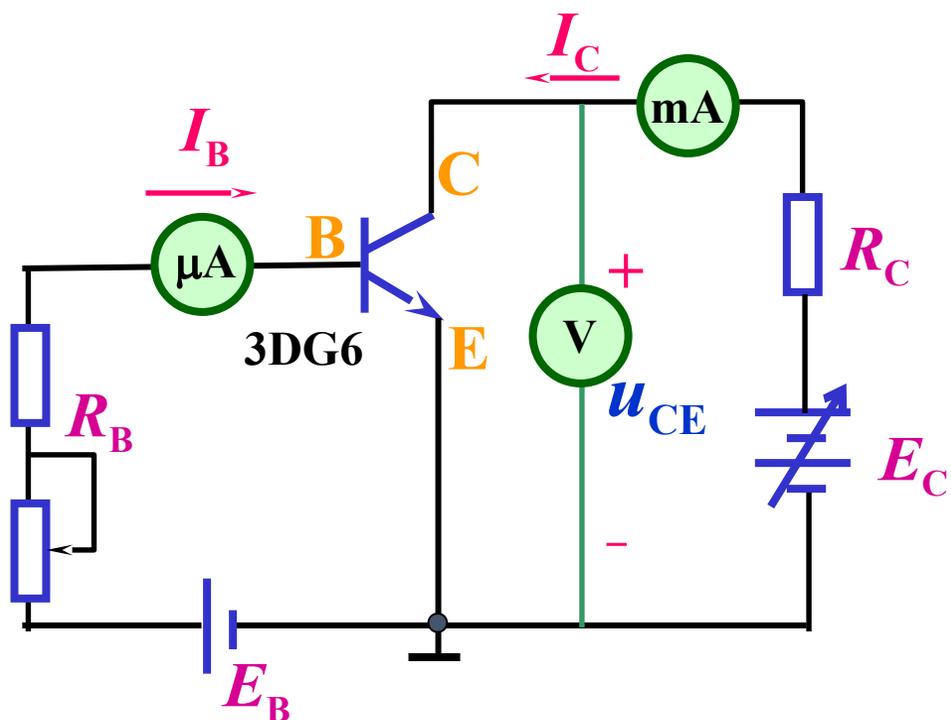
导通电压 U_{BE} $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si 管} : (0.6 \sim 0.7) \text{ V} \\ \text{Ge 管} : (0.2 \sim 0.3) \text{ V} \end{array} \right.$

2) 输出特性



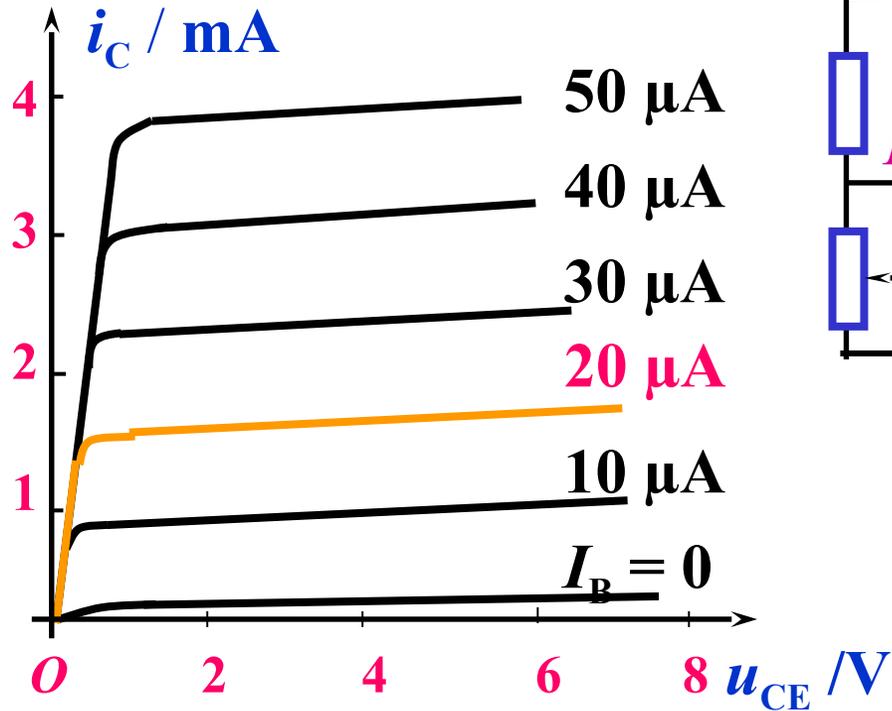
输出特性曲线

*

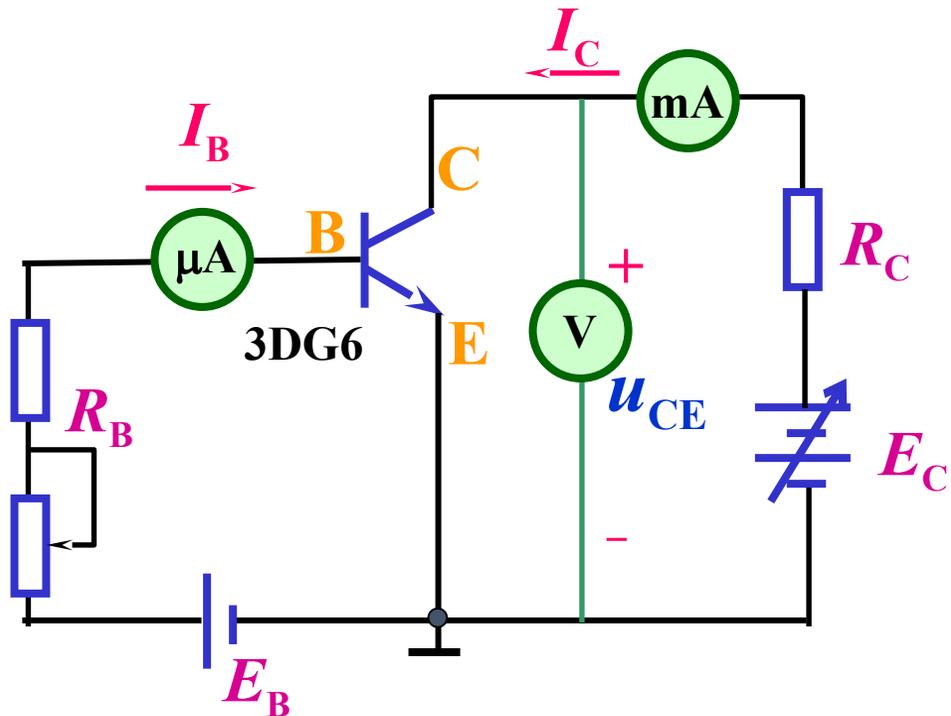


1. 调整 R_B 使基极电流为某一数值。
2. 基极电流不变, 调整 E_C 测量集电极电流和 u_{CE} 电压。

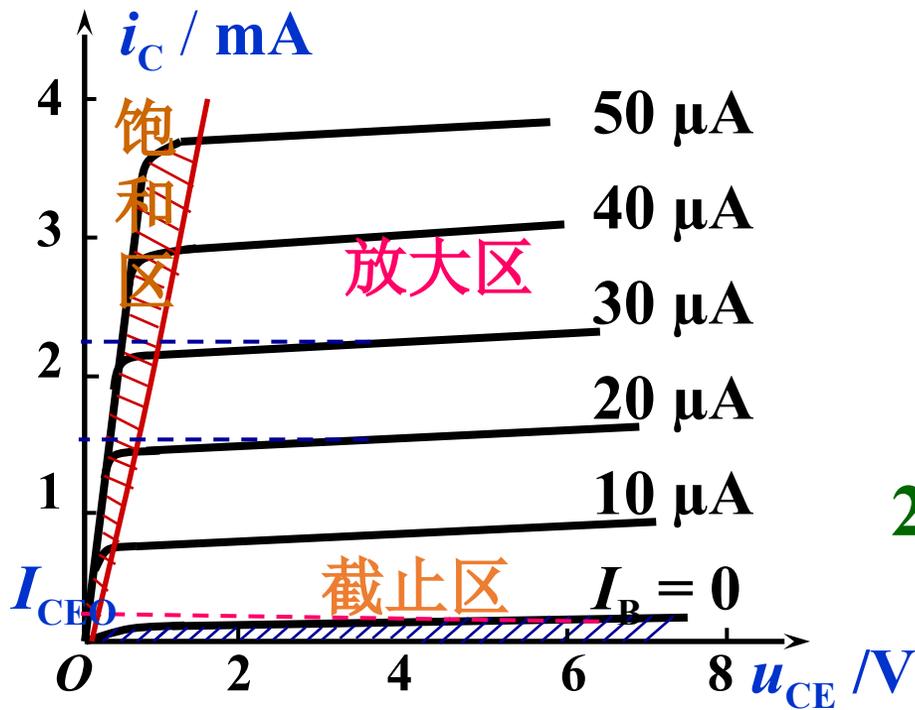
2) 输出特性



输出特性曲线



u_{CE} 较小时，不能保证集电结反向偏置，不能把处于基区的电子收集过来，没有电流放大作用， i_c 不受 i_B 的控制。当 u_{CE} 增加到一定值后，集电结反向偏置， i_c 受 i_B 控制。



输出特性曲线

1. 截止区: $I_B \leq 0$

$$I_C \approx 0$$

条件: 两个结反偏

*

2. 放大区: $I_C = \beta I_B$

条件: 发射结正偏

集电结反偏

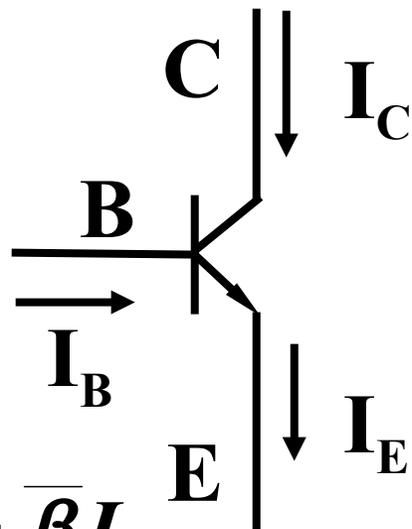
特点: 水平、等间隔

3. 饱和区:

$$U_{BC} > 0, \quad U_{BE} > 0$$

条件: 两个结正偏

特点: $I_C \neq \beta I_B$



特性归纳



输入特性

同二极管的正向特性

$$U_{BE} \uparrow \rightarrow I_B \uparrow$$



输出特性 (NPN 为例)

一组曲线 (一个 I_B 对应一条曲线)



放大区

$$U_{BE} > 0, U_{BC} < 0$$

发射结正偏, 集电结反偏

$$I_C = \beta I_B$$

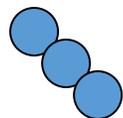
电流放大作用



截止区

$$I_B \leq 0$$

发射结反偏, 集电结反偏



饱和区

$$U_{BC} > 0, U_{BE} > 0$$

发射结正偏, 集电结正偏

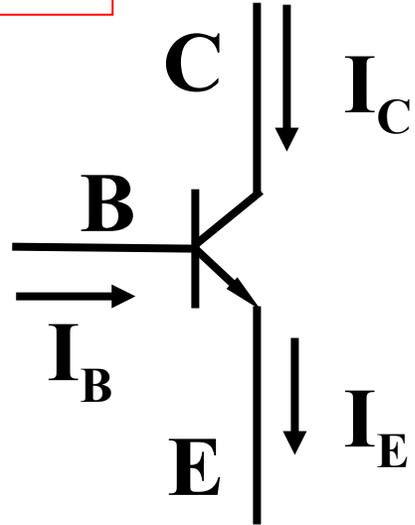
$$I_C \neq \beta I_B$$

无电流放大作用



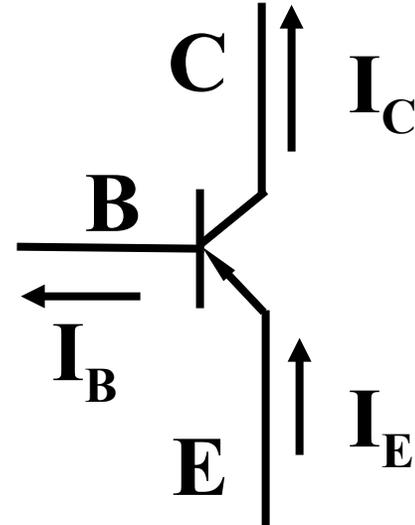
注意
!

只有：**发射结正偏，集电结反偏**，
晶体管才能工作在放大状态。



NPN 型三极管

$$V_C > V_B > V_E$$



PNP 型三极管

$$V_C < V_B < V_E$$