

第二章

半导体三极管及其电路分析

2.1 半导体三极管

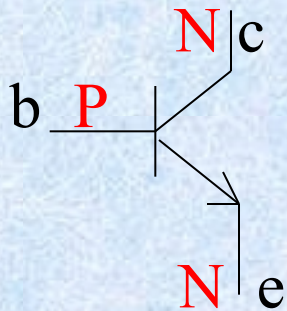
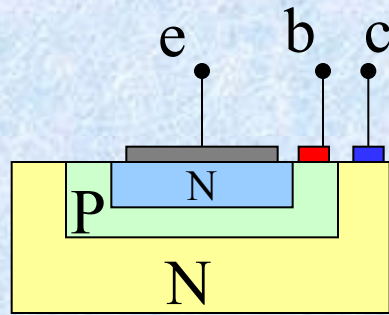
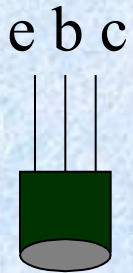
2.2 基本放大电路

2.3 半导体三极管电路的基本分析方法

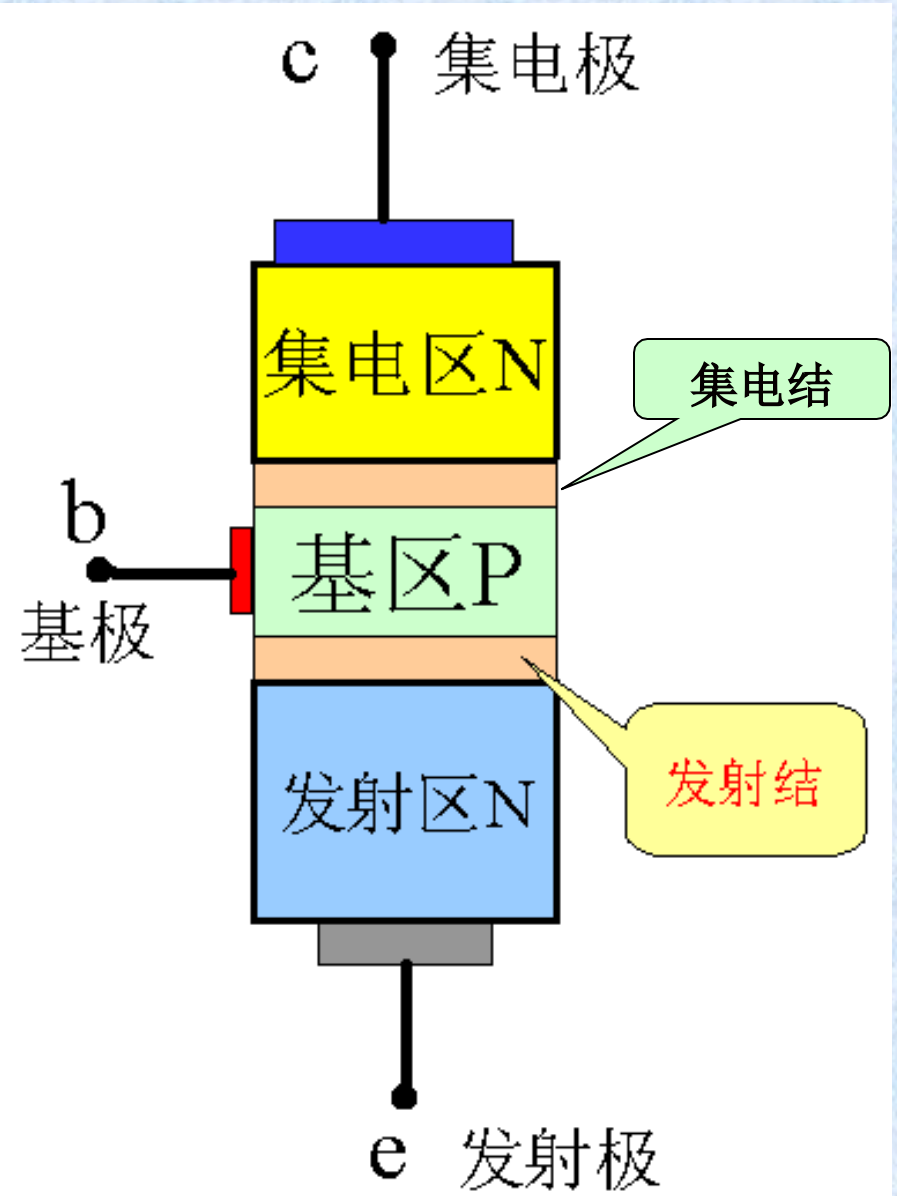
本章小结

§2.1 半导体三极管

一、结构与符号



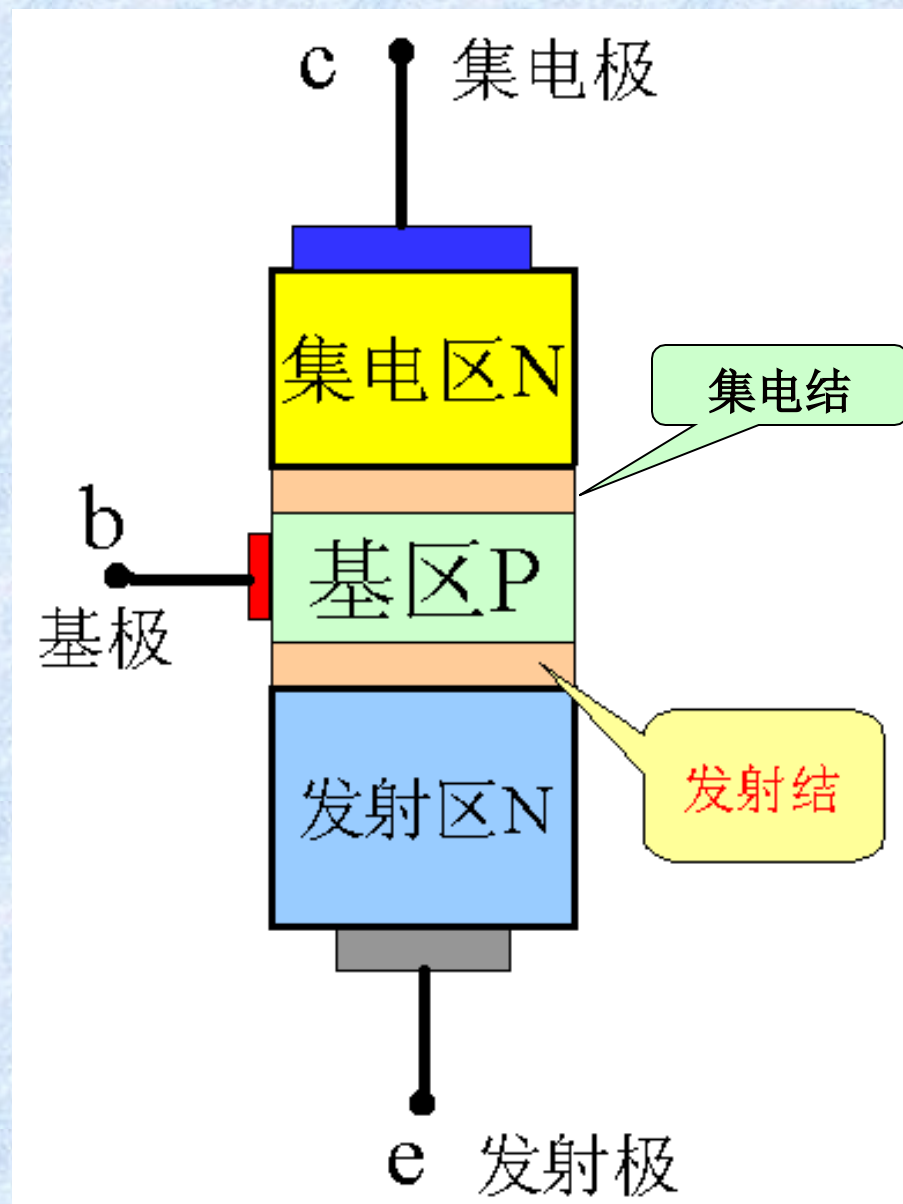
NPN 电路符号



• **结构特点：**是一个具有两个背靠背的PN结、三个电极的半导体器件。

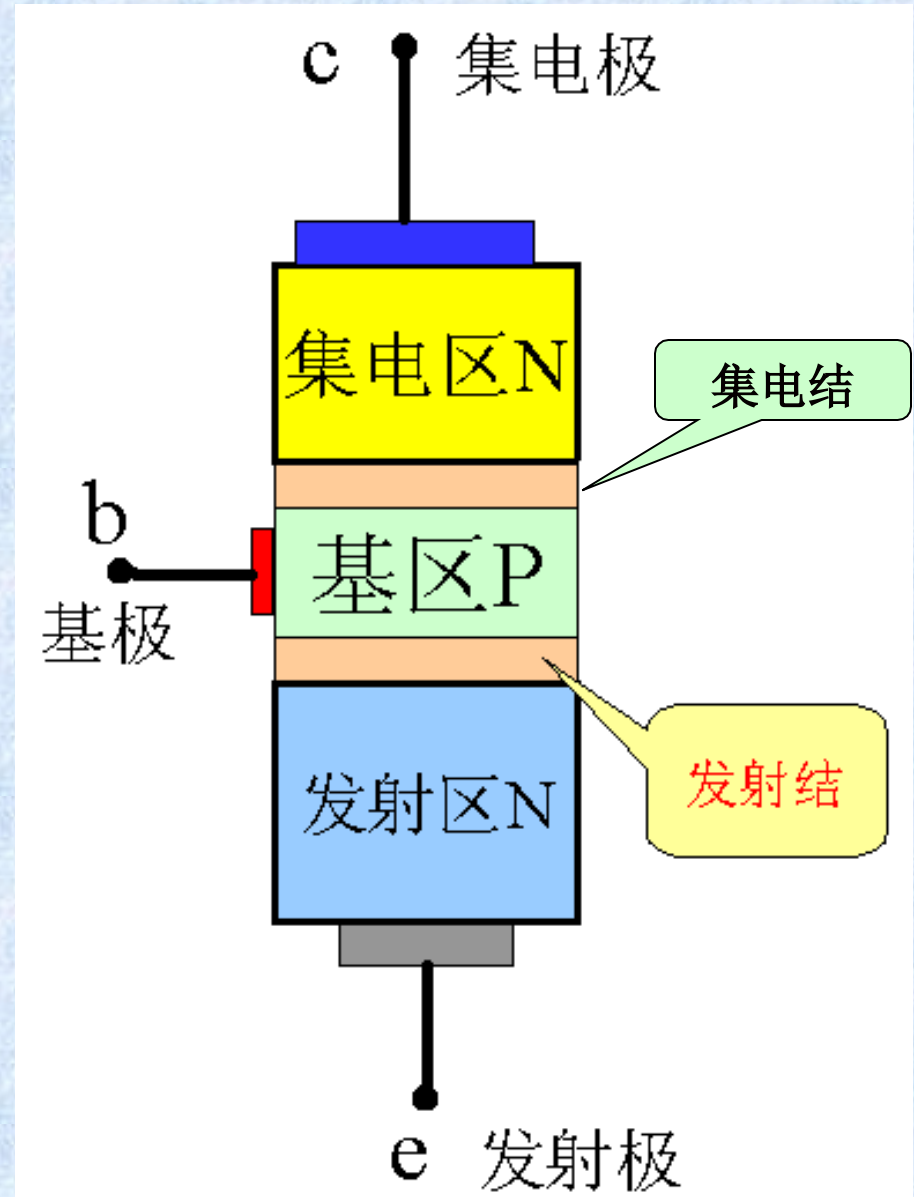
注意：

- ①发射区与集电区显然是同一半导体，但不能互换。原因是发射区掺杂浓度较高，主要任务是发射载流子；而集电区浓度较低，主要任务是接受载流子。（但它比基区浓度高。）



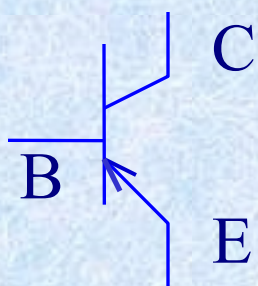
•②集电区的尺寸比发射区大，集电结比发射结厚。

•③基区掺杂浓度低而且很薄，几个微米~几十个微米，使发射区发射的载流子很容易穿过基区到达集电区（发射区比基区浓度高几百几千倍）任务是传送和控制载流子，同时复合部分电子，控制传送比例。

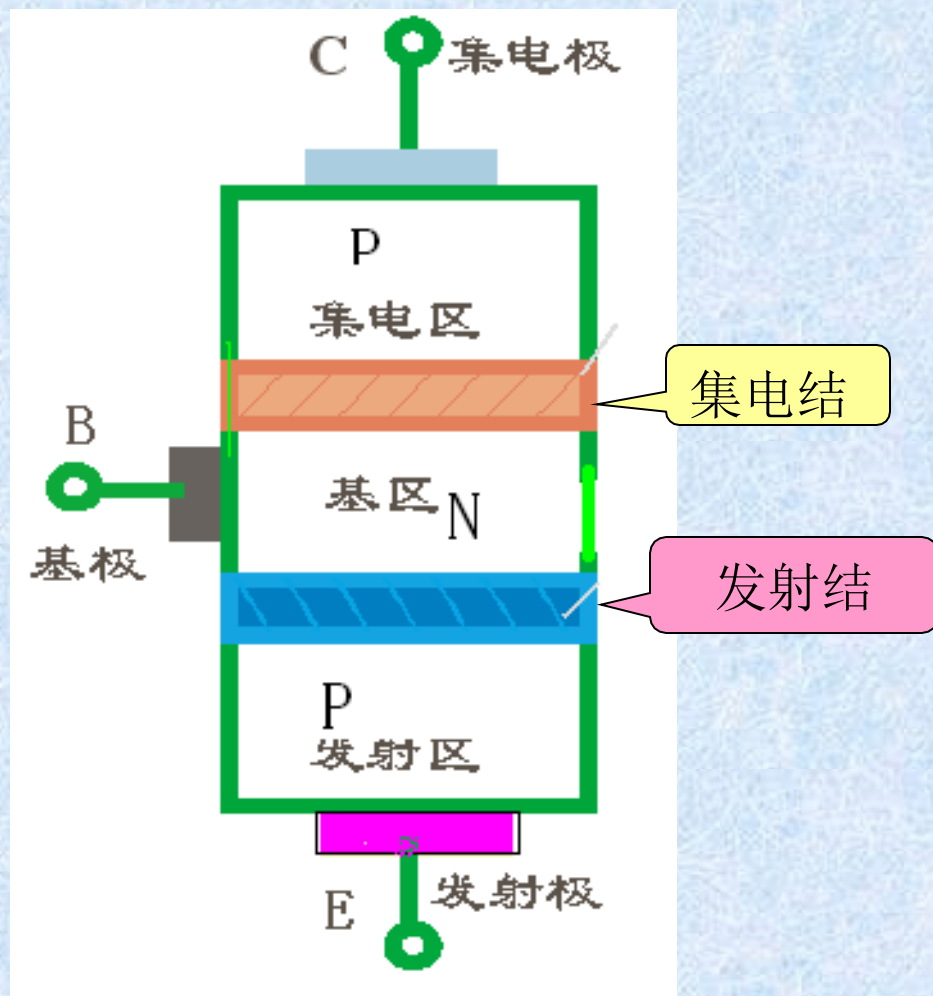


另一种型号的三极管为：PNP型
如图所示。

符号为：



箭头表示电流流向



NPN型管子大多由硅材料制成，PNP型管子通常用锗材料制成

三极管分类:

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 $< 500 \text{ mW}$

中功率管 $0.5 \sim 1 \text{ W}$

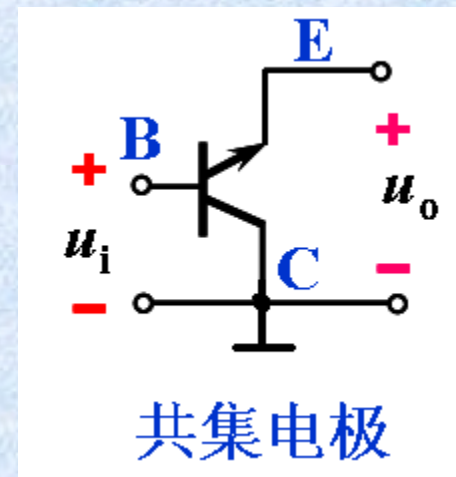
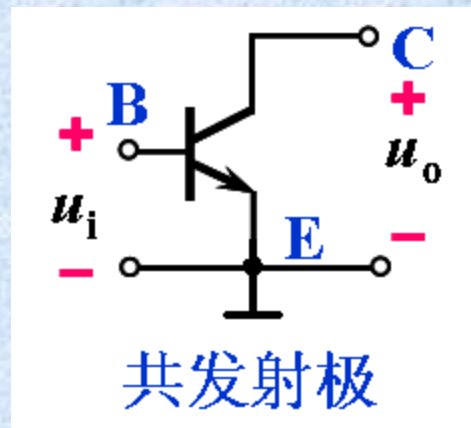
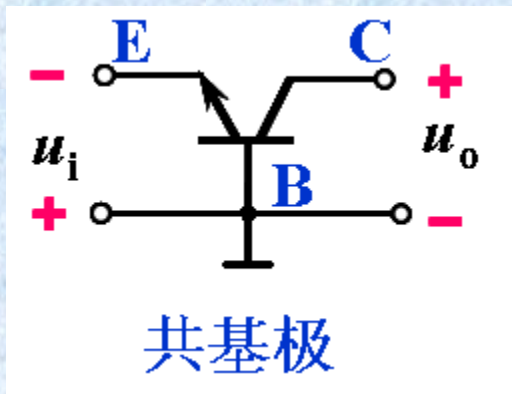
大功率管 $> 1 \text{ W}$

二、电流放大原理

1. 三极管放大的条件

内部条件	{	发射区掺杂浓度高	外部条件	{	发射结正偏
		基区薄且掺杂浓度低			集电结反偏
		集电结面积大			

2. 满足放大条件的三种电路(连接方式)



2.1.2三极管的工作原理

一、三极管的电流放大作用

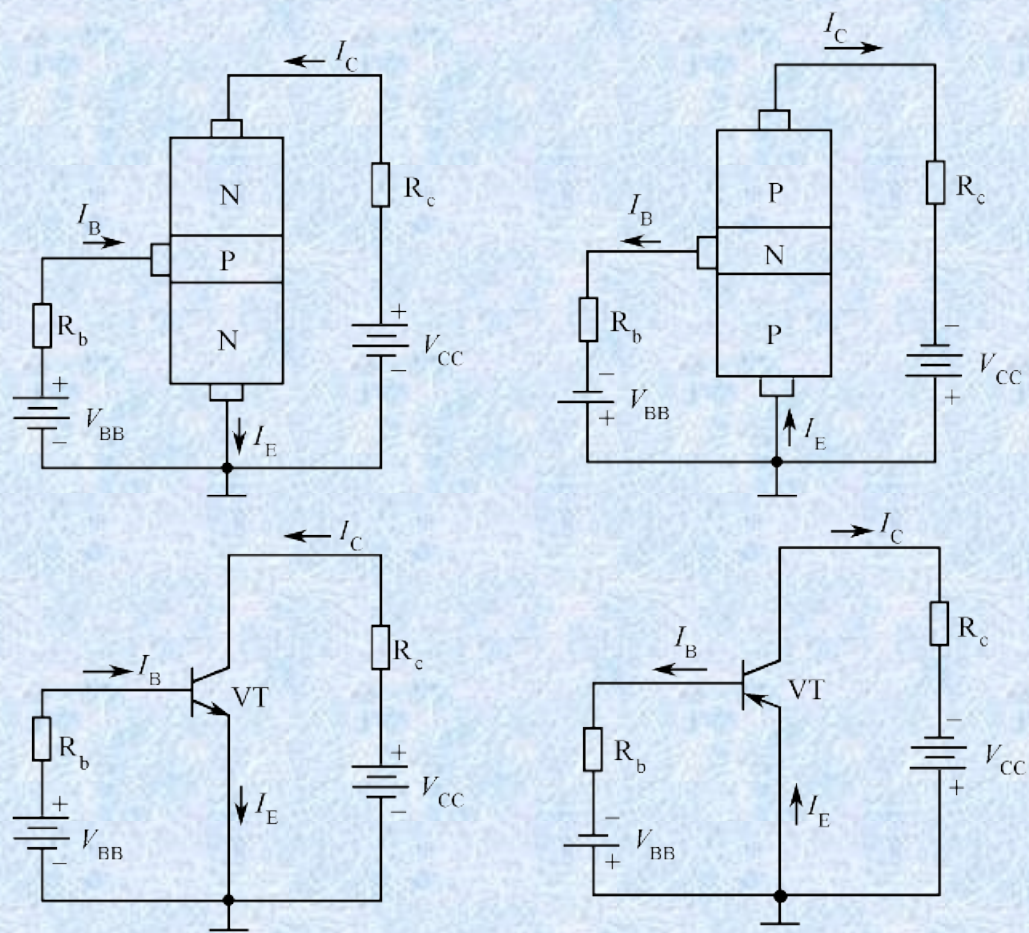
1. 三极管放大的条件

三极管实现电流放大的外部偏置条件：**发射结正偏，集电结反偏**，此时，各电极电位之间的关系是：

$$\text{NPN型} \quad U_C > U_B > U_E$$

$$\text{PNP型} \quad U_C < U_B < U_E$$

如图2.2所示。



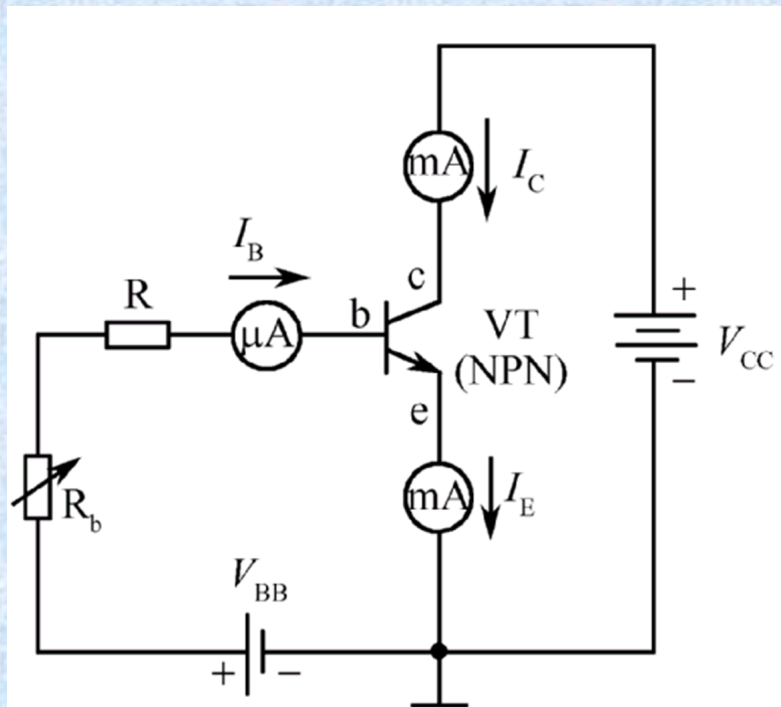
(a) NPN管

(b) PNP管

图2.2 三极管放大的外部偏置条件

2. 电流分配关系

图2.3是NPN管放大实验电路。



电路中的三极管的偏置满足发射结正偏，集电结反偏。

图2.3 放大实验电路

通常 I_{CBO} 、 I_{CEO} 均很小, 可以忽略不计。

$$\left\{ \begin{array}{l} I_E = I_C + I_B \\ I_C = \bar{\beta} I_B + I_{CEO} \\ I_E = (1 + \bar{\beta}) I_B + I_{CEO} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_E = I_C + I_B \\ I_C = \bar{\beta} I_B \\ I_E = (1 + \bar{\beta}) I_B \end{array} \right.$$

定义 $\bar{\beta}$ 为**三极管的共发射极直流电流放大系数**。

通常 $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 称为共射极交流电流放大系数。

调节 R_b ，改变 I_B 的大小，得出相应的 I_C 和 I_E 的数据，如表2.1所示。

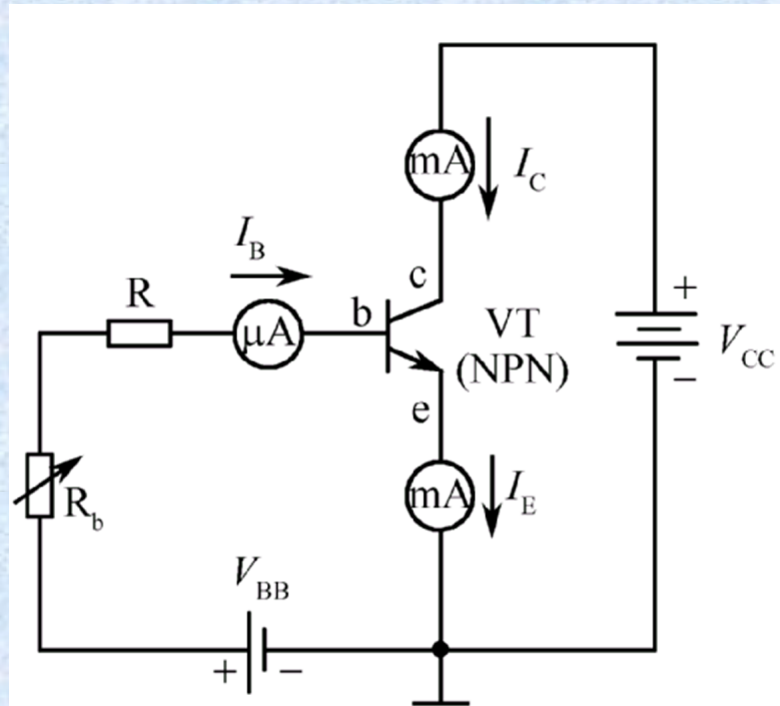


表2.1 电流放大实验数据

I_B (mA)	0.004	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
I_C (mA)	0.004	0.01	1.09	2.08	3.07	4.06	5.05
I_E (mA)	0	0.01	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10

由表可得：三极管各电极电流分配关系是：

$$I_E = I_B + I_C$$

由于基极电流很小，因而 $I_E \approx I_C$ 。

3. 放大作用的实质

由上述实验结果可知，当 I_B 有一微小变化时，能引起 I_C 较大的变化，这种现象称为三极管的电流放大作用。

电流放大作用的实质是通过改变基极电流 I_B 的大小，达到控制 I_C 的目的，而并不是真正把微小电流放大了，因此称三极管为电流控制型器件。

例2.1 测得工作在放大状态的三极管两个电极的电流如图2.4所示。

(1) 求另一个电极的电流，并在图中标出实际方向。

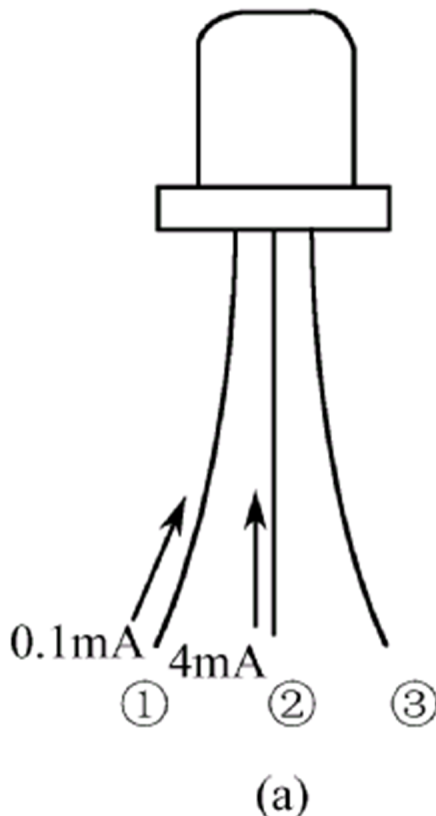


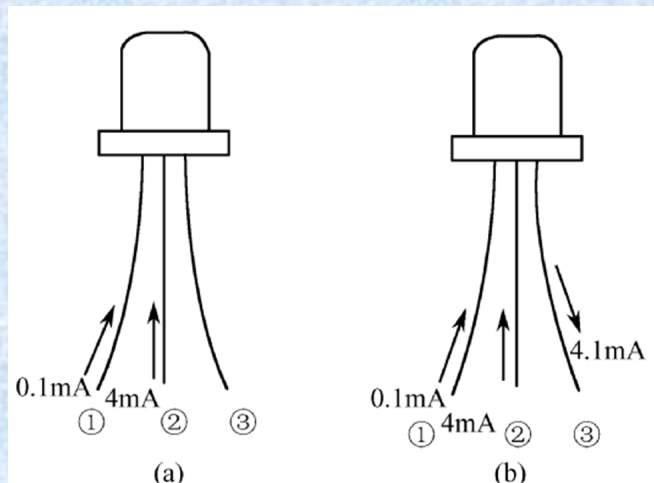
图2.4

(2) 标出e、b、c极，并判断出该管是NPN型还是PNP型管。

(3) 估算其 β 值。

解：

(1) 图2.4(a)中①、②管脚的电流均为流入，则③管脚的电流必为流出，且大小为 $0.1+4=4.1(\text{mA})$ ，如图



2.4(b)所示。

(2) 由于③管脚的电流最大，①管脚的电流最小，因此①管脚为**b**极，②管脚为**c**极，③管脚为**e**极。又由于③管脚的发射极电流为流出，故该管为**NPN**型管。

(3) 由于 $I_B = 0.1\text{mA}$ ， $I_C = 4\text{mA}$ ， 故：

$$\beta \approx \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{4}{0.1} = 40$$

二、饱和状态:

$$u_{CE} \leq u_{BE} \quad u_{CB} = u_{CE} - u_{BE} \leq 0$$

两个结正偏

特点: $I_C \neq \beta I_B$

三、截止状态:

$$I_B \leq 0 \quad I_C = I_{CEO} \approx 0 \quad \text{两个结反偏}$$

总结：

放大状态电流分配关系确定 $I_E = I_C + I_B$
 $I_C = \overline{\beta} I_B$ $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 有电流放大作用

三极管发射结正偏，集电结反偏时有电流放大作用

三极管有三种工作状态：放大、饱和、截止。

都是导通状态

例2.2 若测得放大电路中工作在放大状态的三个三极管的三个电极对地电位 U_1 、 U_2 、 U_3 分别为下述数值，试判断它们是硅管还是锗管？是NPN型还是PNP型？并确定c、b、e极。

$$(1) U_1 = 2.5V \quad U_2 = 6V \quad U_3 = 1.8V$$

$$(2) U_1 = -6V \quad U_2 = -3V \quad U_3 = -2.7V$$

$$(3) U_1 = -1.7V \quad U_2 = -2V \quad U_3 = 0V$$

晶体管三个工作区的特

点：

● 发射结正偏, 集电结反偏

放大区：● 有电流放大作用, $I_C = \beta I_B$

● 输出曲线具有恒流特性

● 发射结、集电结处于反偏

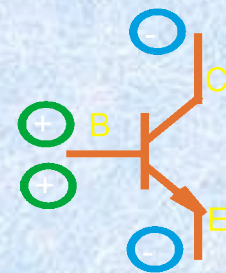
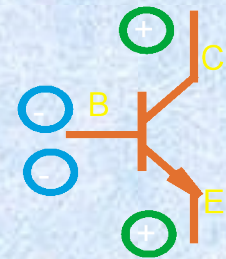
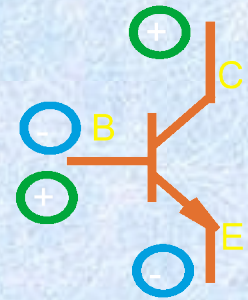
截止区：● 失去电流放大作用, $I_C \approx 0$

● 晶体管C、E之间相当于开路

● 发射结、集电结处于正偏

饱和区：● 失去放大作用

● 晶体管C、E之间相当于短路



$$(1) U_1 = 2.5V \quad U_2 = 6V \quad U_3 = 1.8V$$

解:

(1) 由于 $U_{13} = U_1 - U_3 = 0.7V$, 故该管为硅管, 且1、3管脚中一个是e极, 一个是b极, 则2脚为c极。又因为2脚电位最高, 故该管为NPN型, 从而得出1脚为b极, 3脚为e极。

(2) 由于 $|U_{23}| = 0.3V$, 故该管为锗管, 且2、3管脚中一个是e极, 一个是b极, 则1脚为c极。又因为1脚电位最低, 故该管为PNP型, 从而得出2脚为b极, 3脚为e极。

$$(2) U_1 = -6V \quad U_2 = -3V \quad U_3 = -2.7V$$

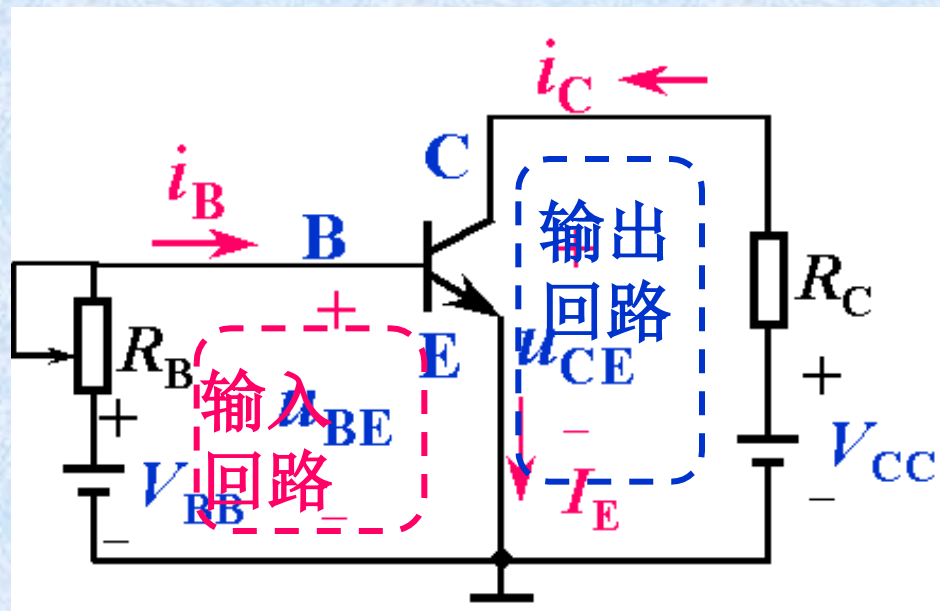
$$(3) U_1 = -1.7V \quad U_2 = -2V \quad U_3 = 0V$$

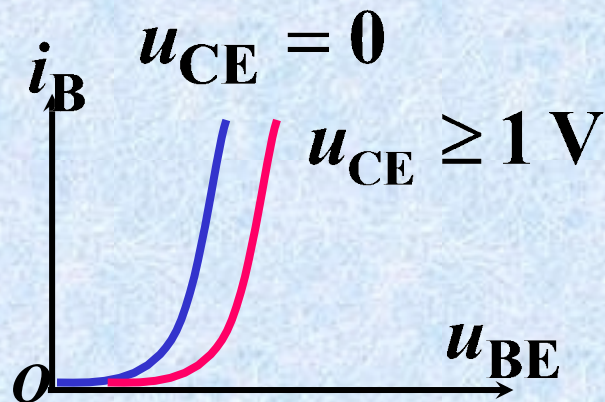
(3) 由于 $|U_{12}| = 0.3V$ ，故该管为锗管，且1、2管脚中一个是e极，一个是b极，则3脚为c极。又因为，3脚电位最高，故该管为NPN型，从而得出1脚为b极，2脚为e极。

2.1.3 三极管的伏安特性曲线

一. 输入特性曲线

$$i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE}=\text{常数}}$$
$$u_{CE} = 0$$





曲线是非线性的，也存在一段死区，当外加 U_{BE} 电压小于死区电压时，三极管不能导通，处于截止状态。

$u_{CE} > 0$ 特性右移 (因集电结开始吸引电子)

$u_{CE} \geq 1\text{ V}$ 特性基本重合 (电流分配关系确定)

所以实际用的就是 $>1\text{ V}$ 的那根线。

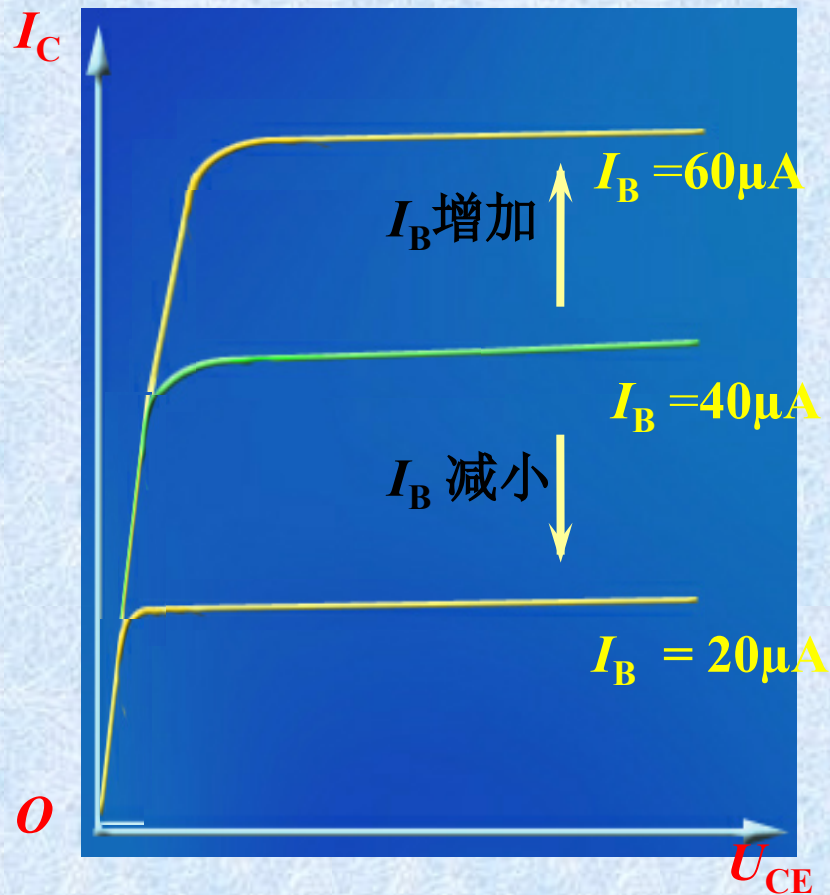
导通电压 $U_{BE(\text{on})}$ { 硅管: $(0.6 \sim 0.8)\text{ V}$ 取 0.7 V
 锗管: $(0.2 \sim 0.3)\text{ V}$ 取 0.2 V

二. 输出特性曲线

是指 i_B 为某一常数时，三极管的输出电流 i_C 与输出电压 u_{CE} 之间的关系曲线。

$$i_C = f(u_{CE}) \Big|_{i_B = \text{常数}}$$

当 I_B 取值不同时，就有一条不同的输出特性曲线



当 I_B 取值不同时，就有一条不同的输出特性曲线，如图 2.6 所示。

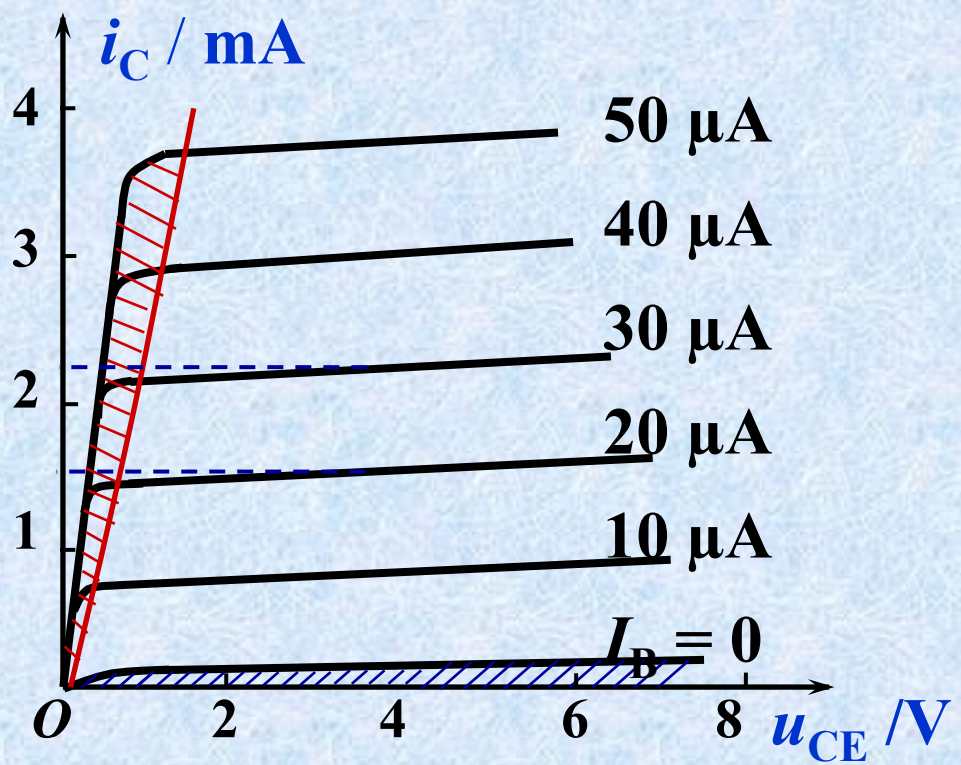
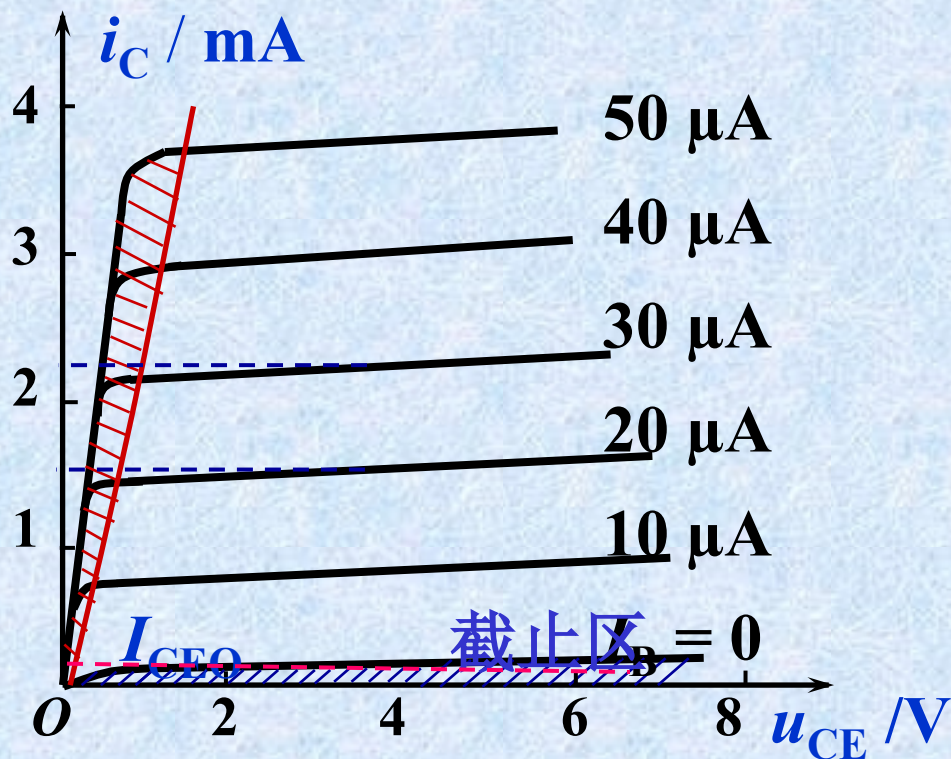


图2.6 三极管的输出特性曲线

三. 三极管的三个工作区

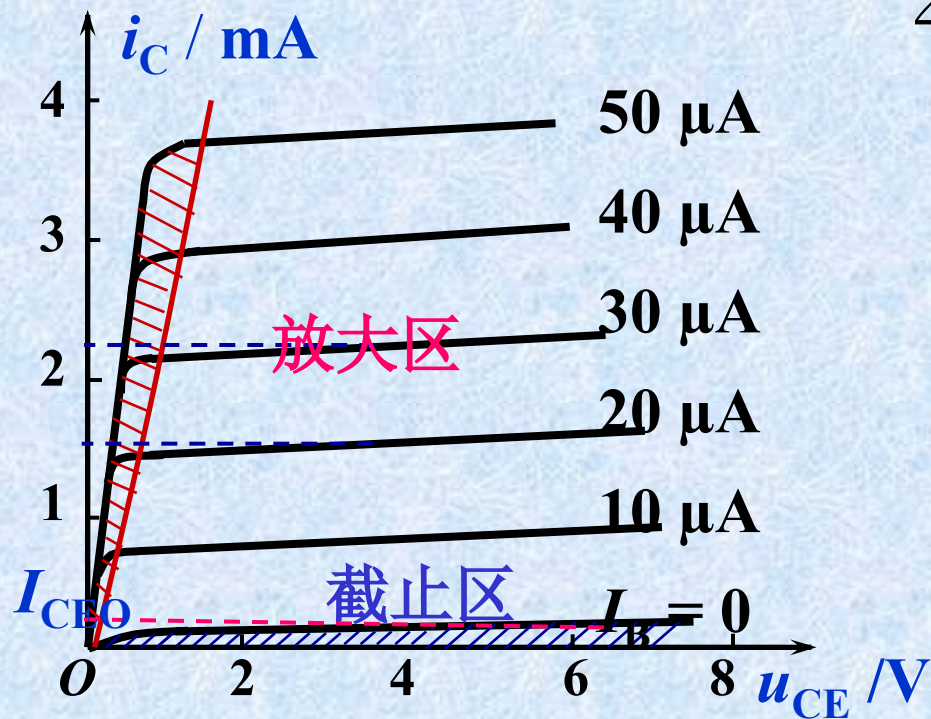


1、截止区

三极管输出特性曲线中， $I_B=0$ 的输出特性曲线以下，横轴以上的区域称为截止区。

其特点是：发射结和集电结均为反偏，

各电极电流很小，相当于一个断开的开关。



2、 放大区：

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

条件：

发射结正偏
集电结反偏

特点：

水平、等间隔

此时 I_C 受控于 I_B ；同时 I_C 与 U_{CE} 基本无关，可近似看成恒流。此区内三极管具有电流放大作用。

3、饱和区

输出特性曲线中，

$U_{CE} \leq U_{BE}$ 的区域，即

曲线的上升段组成的

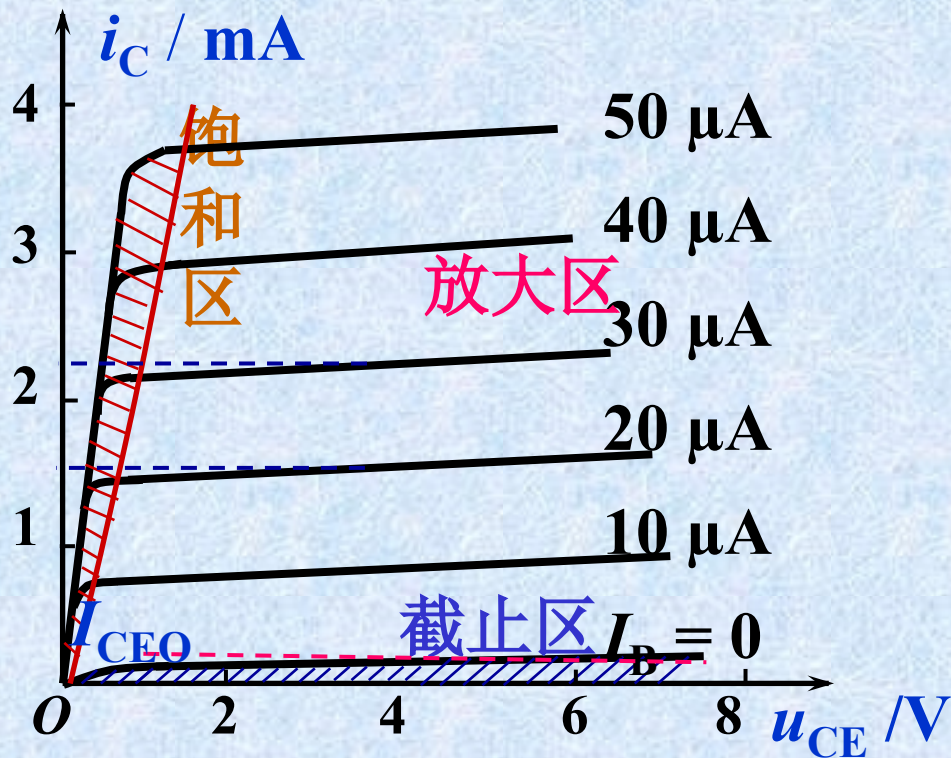
区域称为 **饱和区**。

饱和区的特点是：发射结和集电结均为正偏。

工作在此区的三极管相当

于一个闭合的开关，没有

电流放大作用。

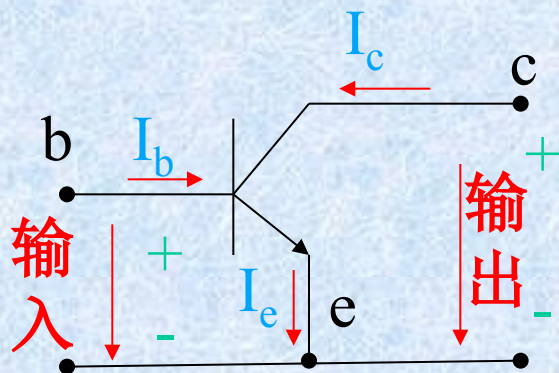


2.1.4 晶体三极管的主要参数

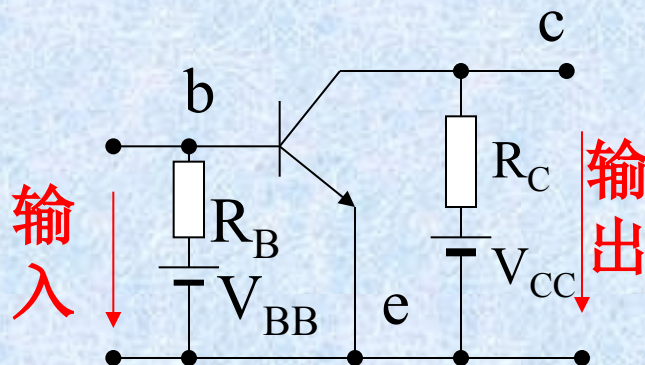
一、电流放大系数

1、共发射极连接

输入端 b e; 输出端 c e



原理图



实际电路图

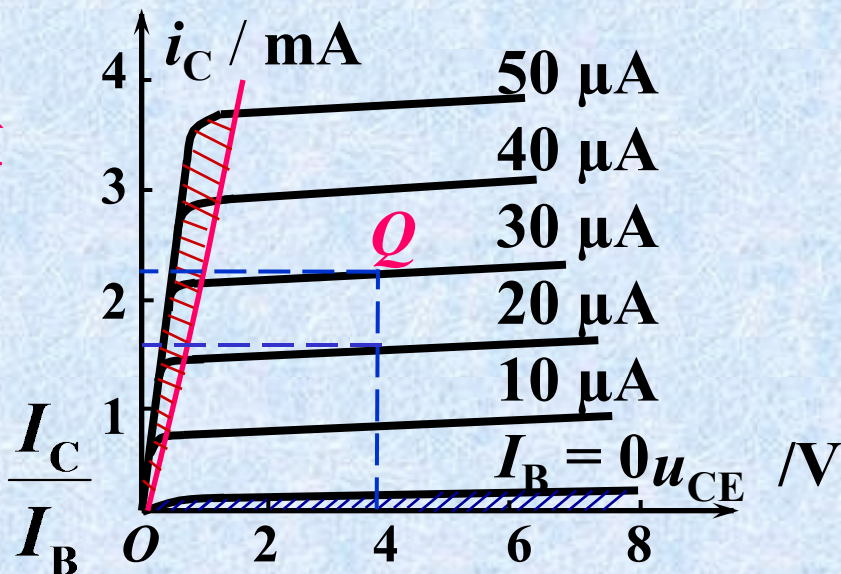
$$I_c = \beta I_b$$

$$I_e = (1 + \beta) I_b$$

(1). 共发射极电流放大系数

$\bar{\beta}$ — 直流电流放大系数

$$\bar{\beta} = \frac{2.45 \times 10^{-3} \text{ A}}{30 \times 10^{-6} \text{ A}} \approx 82 \approx \frac{I_C}{I_B}$$



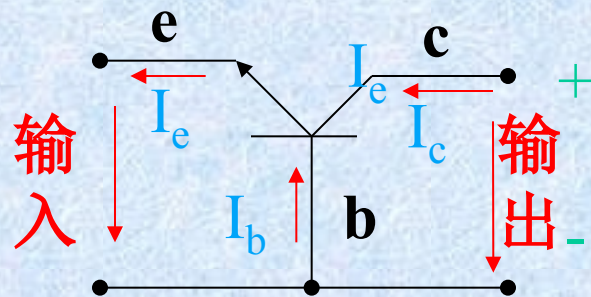
β — 交流电流放大系数

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{(2.45 - 1.65) \times 10^{-3} \text{ A}}{10 \times 10^{-6} \text{ A}} = \frac{0.8}{10} = 80$$

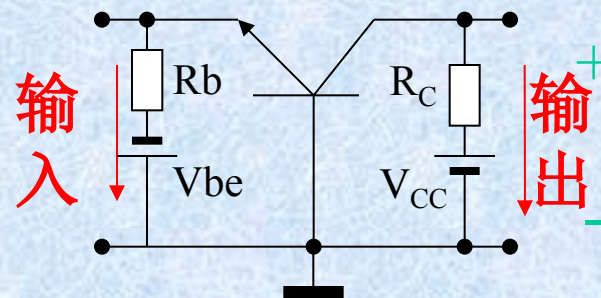
(2). 共基极电流放大系数

$$0.98 < \alpha < 1$$

输入端 **e b**; 输出端 **c b**



原理图



实际电路图

共基极电流放大倍与共射极电流放大倍的关系

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e}; \quad \alpha = \frac{\beta I_b}{(1+\beta)I_b} = \frac{\beta}{(1+\beta)}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_C + I_B} = \frac{\bar{\beta}}{1+\beta} = \frac{\beta}{1+\beta}$$

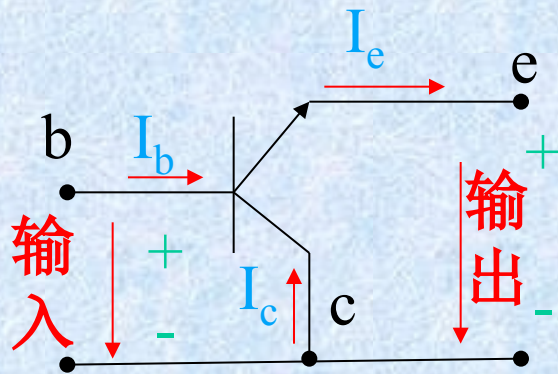
$$\bar{\alpha} = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{80}{80+1} = 0.988$$

(3). 共集电极电流放大系数

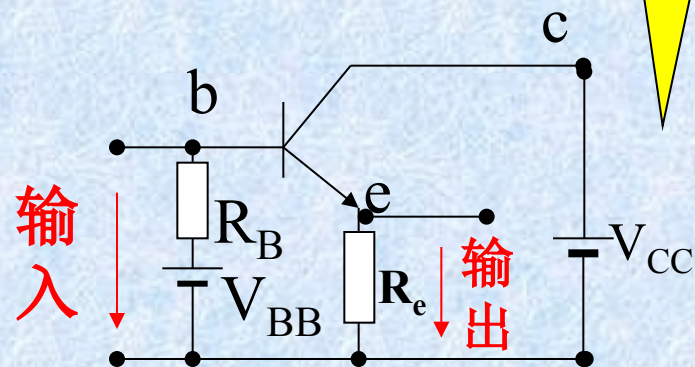
共集电极连接

输入端 **b** **C**; 输出端 **C** **e**

直流电压源
对信号短路



原理图

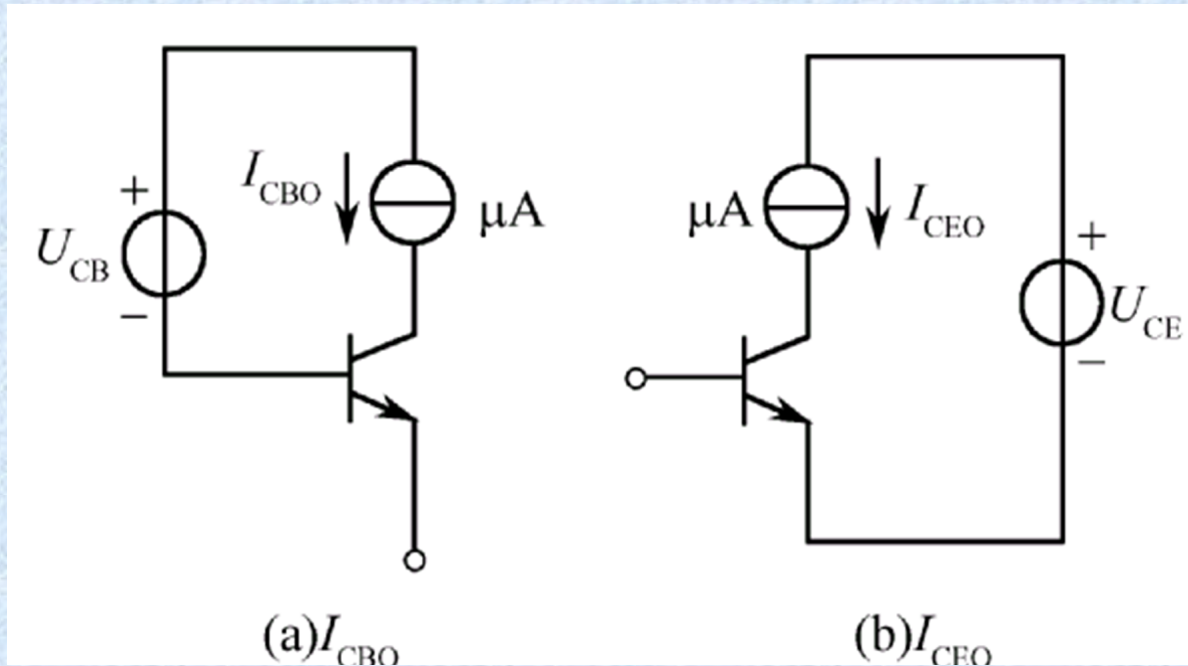


实际电路图

$$I_e = (1 + \beta) I_b$$

二、极间反向饱和电流

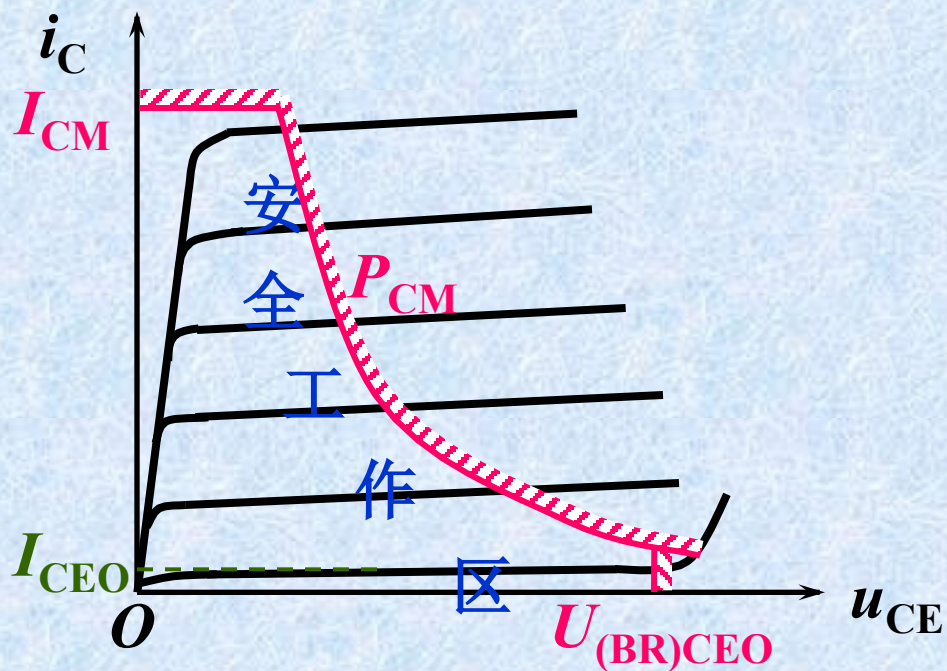
CB 极间反向饱和电流 I_{CBO} ，CE 极间反向饱和电流 I_{CEO} 。



穿透电流 I_{CEO} 与 I_{CBO} 之间的关系为：

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

三、极限参数



1. I_{CM} — 集电极最大允许电流，超过时 β 值明显降低。

2. P_{CM} — 集电极最大允许功率损耗 $P_C = i_C \times u_{CE}$ 。

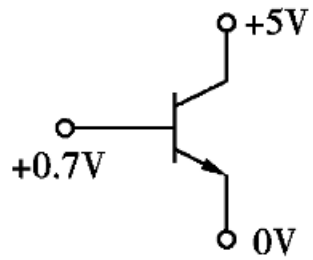
3. $U_{(BR)CEO}$ — 基极开路时 C、E 极间反向击穿电压。

$U_{(BR)CBO}$ — 发射极开路时 C、B 极间反向击穿电压。

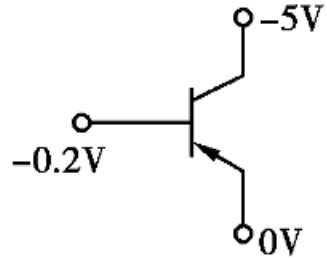
$U_{(BR)EBO}$ — 集电极极开路时 E、B 极间反向击穿电压。

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

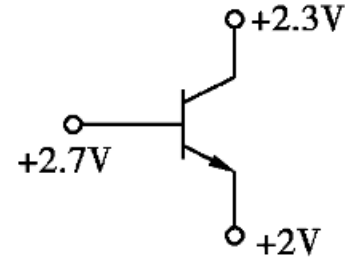
习题



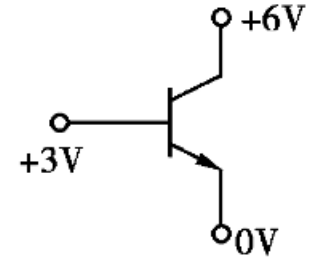
(a)



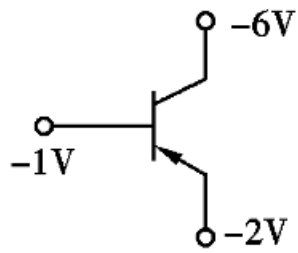
(b)



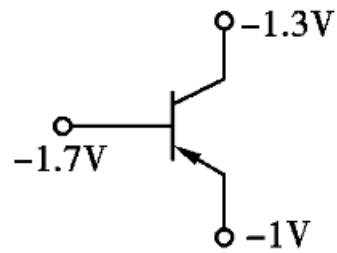
(c)



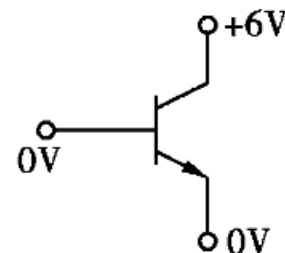
(d)



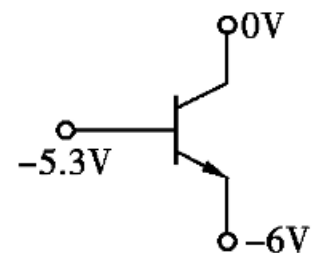
(e)



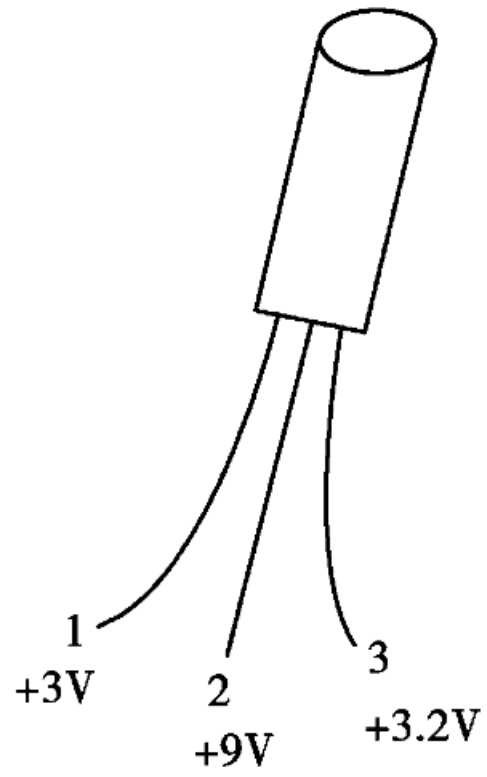
(f)



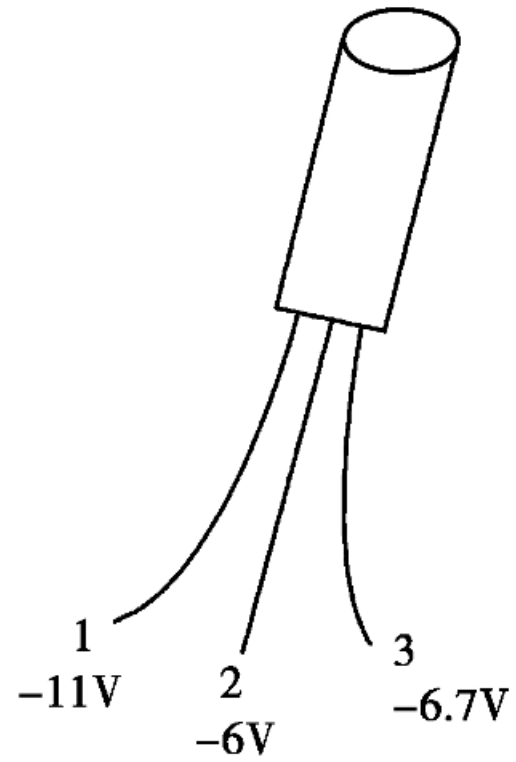
(g)



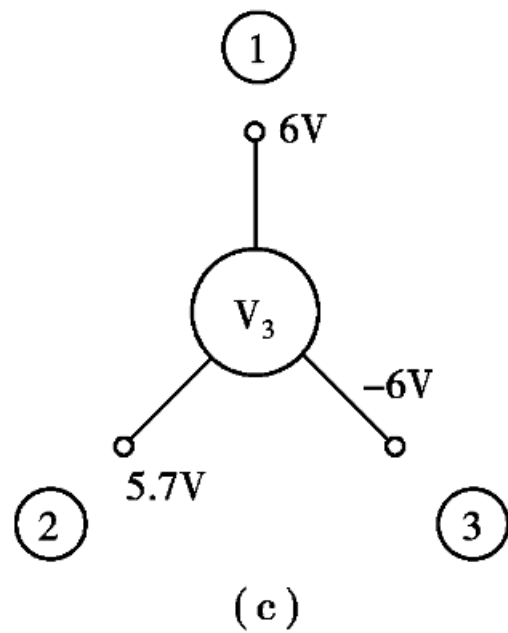
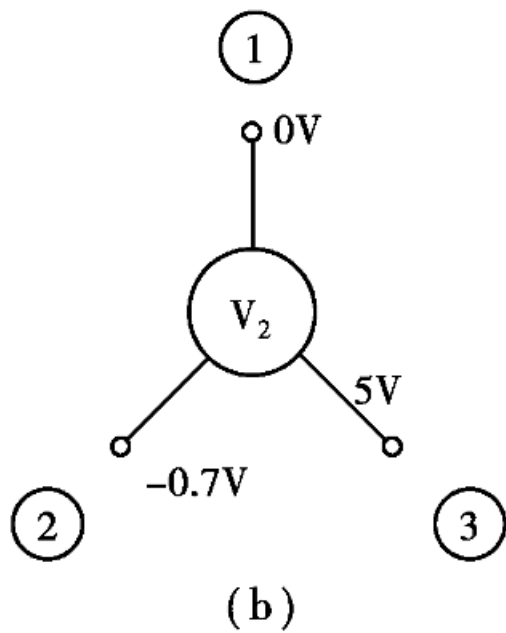
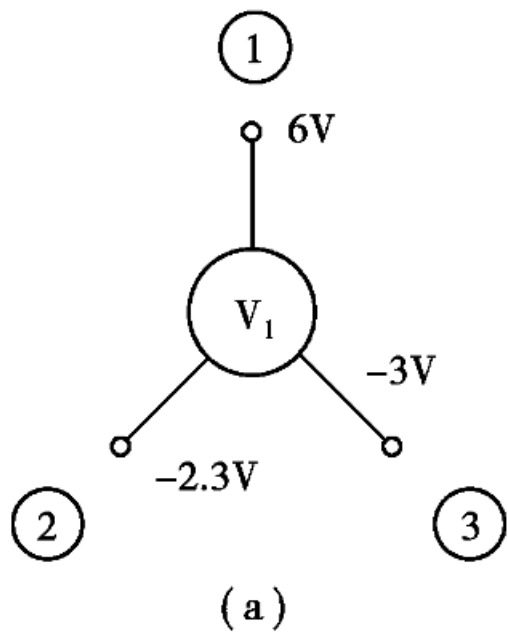
(h)



(a)



(b)



§ 2.2 三极管基本应用电路

三极管放大电路有三种形式

共射放大器

共基放大器

共集放大器

以共射放大器为例讲解工作原理

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/908046035103006107>