

# 4.双极结型晶体（三极）管

## 4.1. 结构特点

## 4.2 能带结构

## 4.3. 电流分配关系

## 4.4. 放大作用

## 4.5. 三种组态

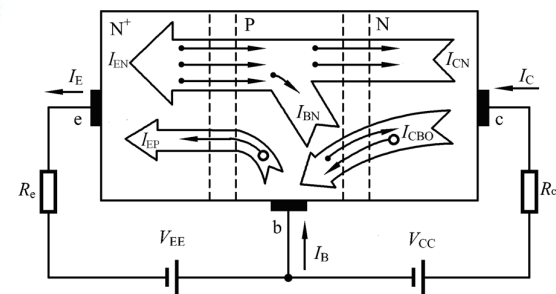
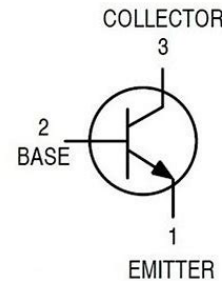
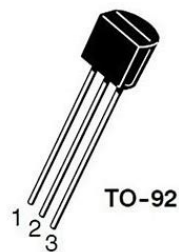
## 4.6. 参数 $\beta$ 的定义

## 4.7. I-V 特性曲线

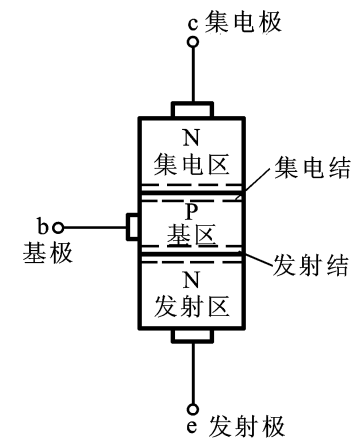
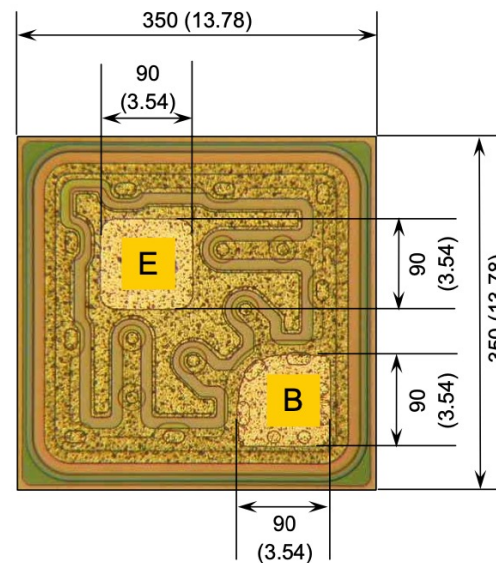
## 4.8. 主要参数

由于三极管内有两种载流子  
(自由电子和空穴)参与导电,  
故称为双极结型三极管或  
**BJT** (Bipolar Junction  
Transistor)。

2N2222

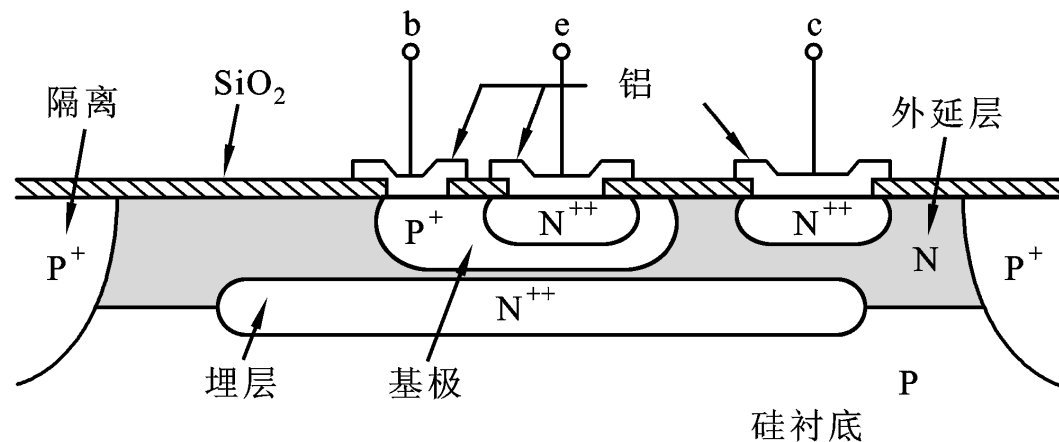


Die Dimensions in  $\mu\text{m}$  (mils)

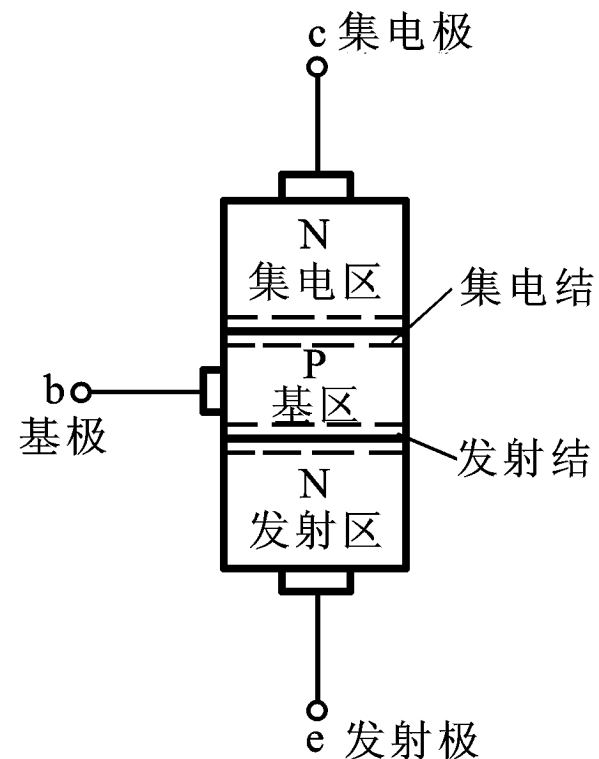


## 4.双极结型晶体管4.1. 结构特点

- 作为发射极的N型半导体掺杂的浓度最高，比集电极N型材料的掺杂浓度高很多，这样在工作时才能有大量的电子从发射极注入基极。

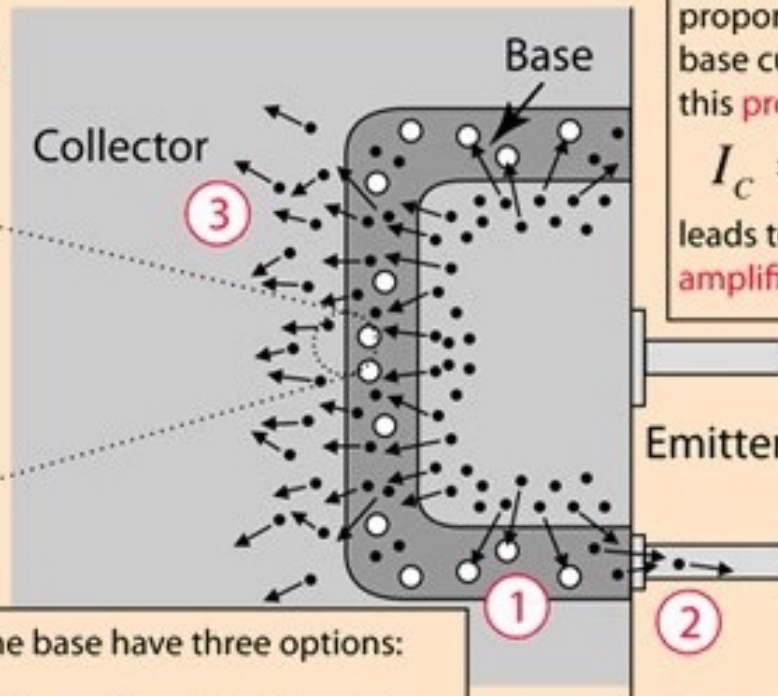
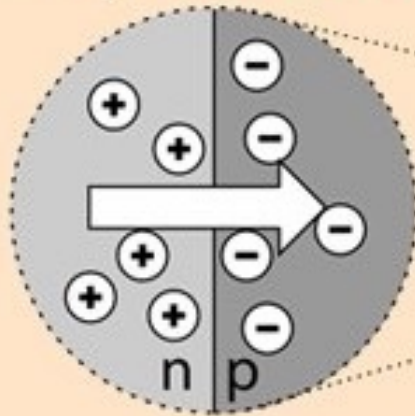


- 集电区掺杂浓度低于发射区，且面积大；
- 基区很薄，一般在几个微米至几十个微米，且掺杂浓度最低。



## 4.双极结型晶体管4.1. 结构特点

There is a large electric field across the collector-base junction in the **depletion zone** caused by the **reverse bias**.



The collector current in a **transistor** is proportional to the base current, and this **proportionality**

$$I_C = \beta I_B$$

leads to **current amplification**.

Electrons moving from the emitter to the base have three options:

- ① Combine with holes in the base. Holes are the majority carriers in the p-type material.
- ② Diffuse through the base and out the base connection.
- ③ Diffuse across the base region into the depletion layer of the collector-base junction where they are swept by the electric field into the collector.

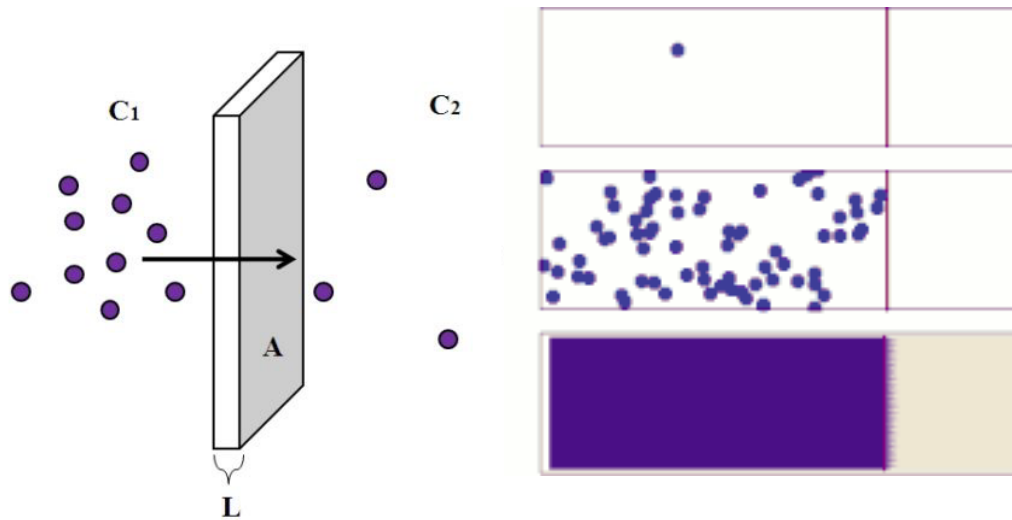
About 99% of the conduction is by process 3!!

- 基区很薄，一般在几个微米至几十个微米，且掺杂浓度最低。

## 4.双极结型晶体管4.1. 结构特点： 如何理解扩散

1855年，德国的菲克（A. Fick）对扩散现象进行了定量描述，“溶解物的扩散... 完全受分子力的影响，其规律如同... 热在导体中传播规律”

扩散速率 $J$  ( $\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )：单位时间内某种组分通过单位面积扩散的物质的量。



$J$  = flux of particles (number of particles per area and time incident on a cross-section) [ $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]

$D$  = diffusion coefficient [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ]

$C$  = concentration of particles [ $\text{m}^{-3}$ ]

$$j = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$



Adolph Eugene Fick

## 4.双极结型晶体管4.1. 结构特点： 如何理解扩散

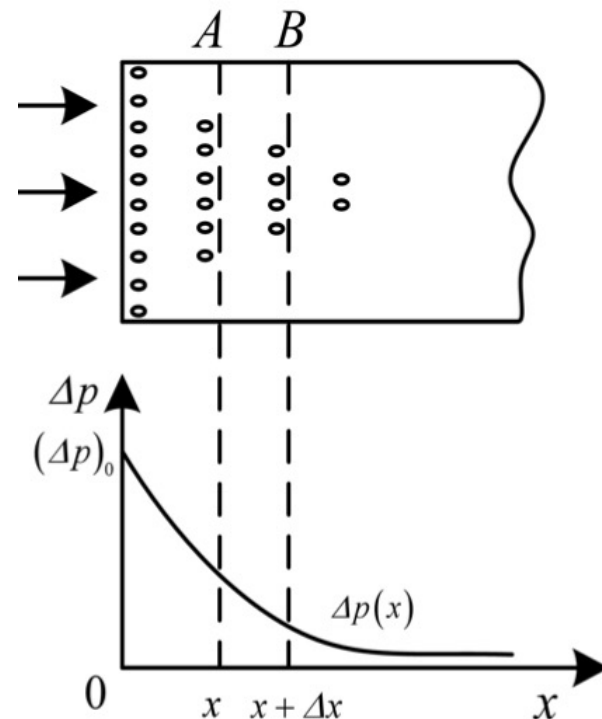
电注入，引起非平衡载流子由表面 向内部扩散。  
扩散运动是非平衡载流子的主要运动形式之一。  
**扩散流密度 $S_p(x)$** ：单位时间由于扩散通过垂直于x轴单位面积的载流子数。

$$S_p(x) = -D_p \frac{d\Delta p(x)}{dx}$$

扩散定律

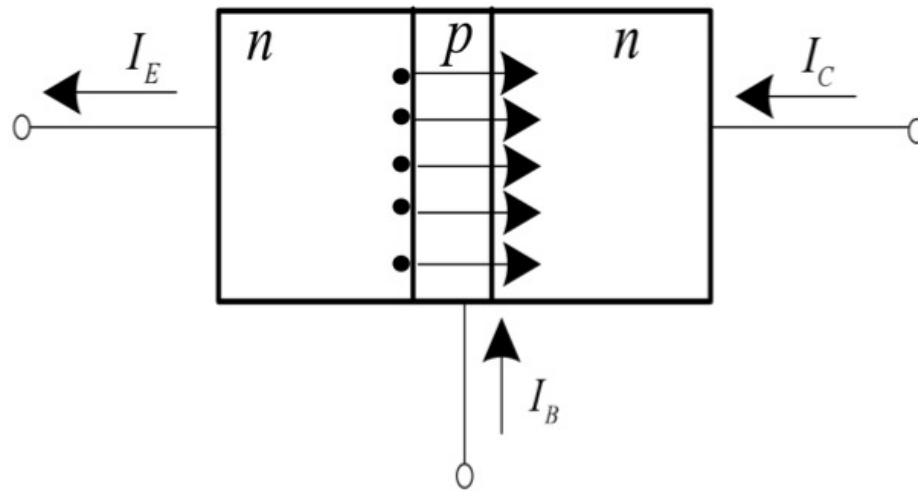
**空穴扩散系数 $D_p$** ：

表示在单位浓度梯度下，单位时间内通过单位面积的空穴数目；反映了非平衡少子扩散能力的强弱；**负号表示扩散由高浓度向低浓度方向进行。**

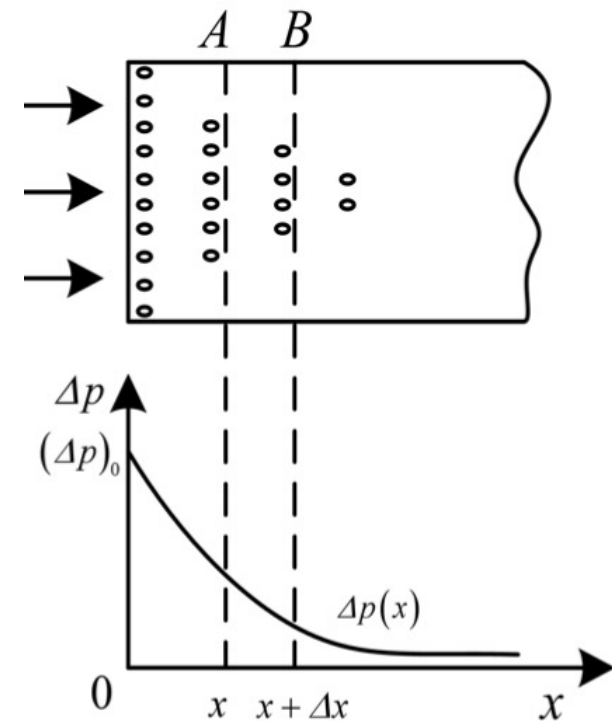


载流子（空穴）在样品中传输时，会不可避免与样品中的电子复合，使得其浓度下降。

## 4.双极结型晶体管4.1. 结构特点： 如何理解扩散



- 1) 在样品厚度很薄时，非平衡载流子（电子）来不及复合就扩散到了样品的另外一端。
- 2) 在晶体管结构中，基区宽度比扩散长度小得多，从发射区注入基区的非平衡载流子（电子）大多数直接扩散到了集电区形成了集电极电流 $I_C$ ，少部分与基区的空穴复合形成了基极电流 $I_B$ 。
- 3) 基区很薄，一般在几个微米至几十个微米，且掺杂浓度最低。

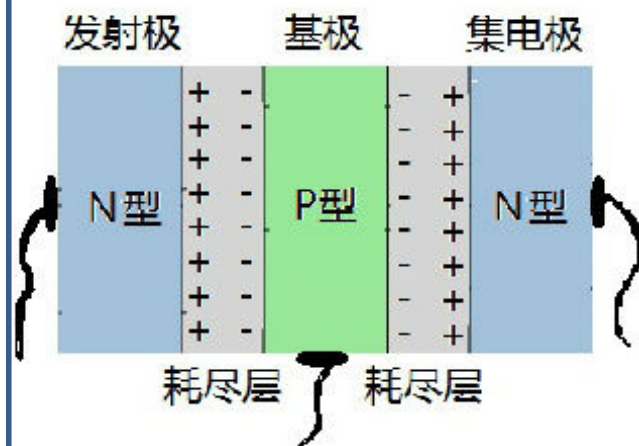


### 基区宽度调制效应 (P164)

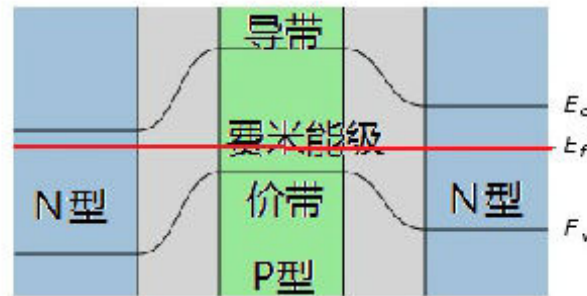
耗尽层的长度与复合效率有关，通过控制耗尽层可以调控基极电流。



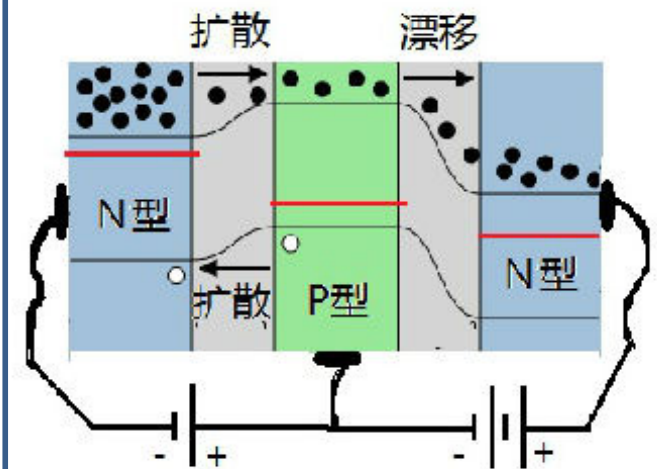
## 4.双极结型晶体管4.2 能带结构



(a) NPN 三明治



(b) 平衡时的能带

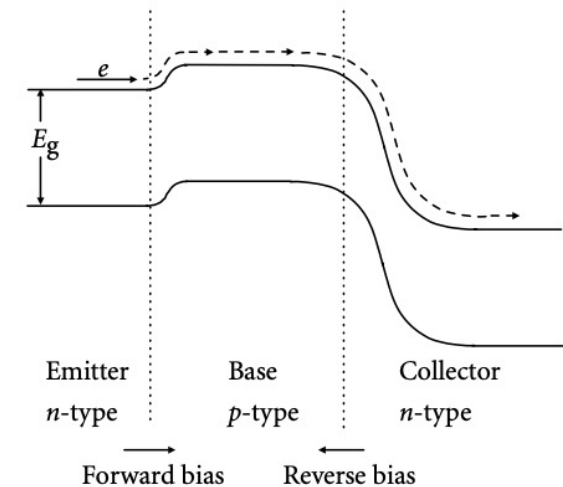


(c) 工作状态

图aP型N型半导体的接触界面附近，会形成耗尽层。

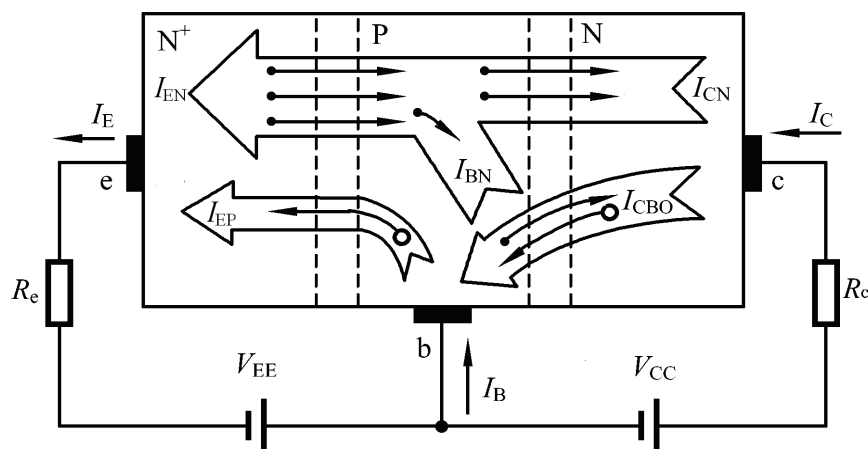
图b则显示出这个三明治半导体结构的能带弯曲情形。

图c描述BJT是如何工作的。发射极和基极间的正向偏压减小了第一个pn结的势垒，而集电极的反向偏压则增加了第二个pn结的势垒。由于发射极的N型半导体掺杂高，电子密度大，电子大量扩散到中间的P区。因为中间层非常薄，电子在集电极反向电场的作用下，漂移到右边的N型半导体中，形成集电极电流。



## 4.双极结型晶体管

### 4.3. 电流分配关系



$I_{CN}$ ：由发射区扩散到基区的电子（少子）在反偏电场作用下漂移到集电区所形成的电流。

$I_{CBO}$ ：集电区的少子（空穴）在反偏电场作用下漂移到基区所形成的电流。

$$I_E = I_B + I_C$$

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

设  $\alpha = \frac{\text{传输到集电极的电流}}{\text{发射极注入电流}}$

即 
$$\alpha = \frac{I_{nC}}{I_E}$$

通常  $I_C \gg I_{CBO}$

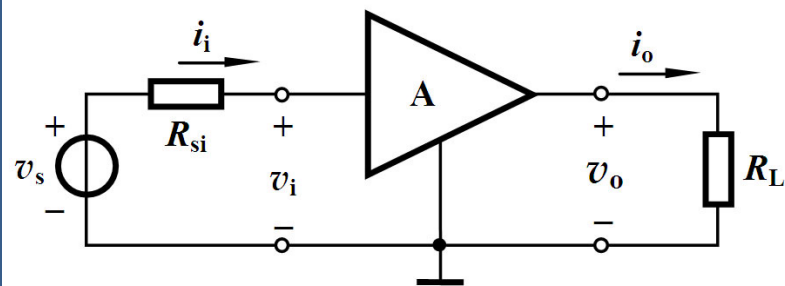
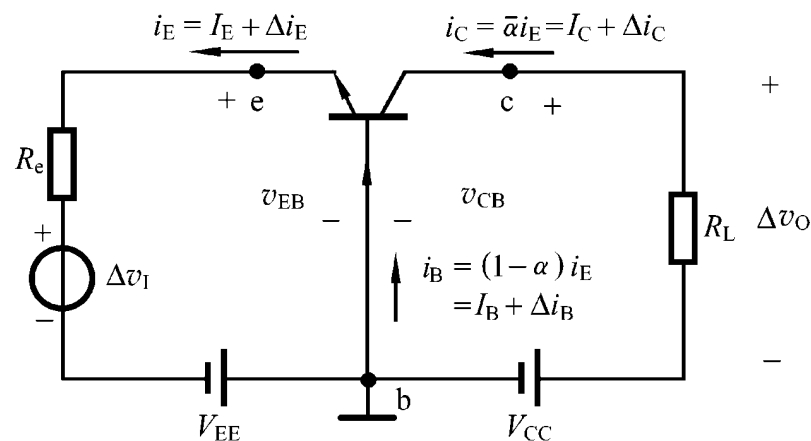
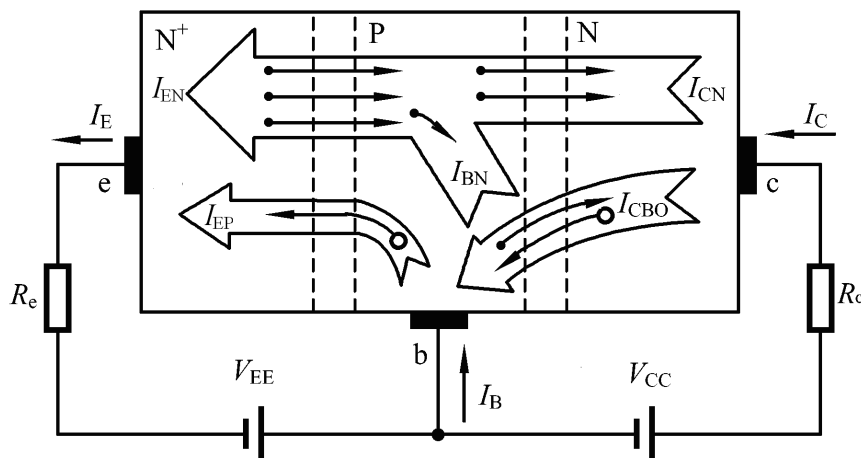
则有 
$$\alpha \approx \frac{I_C}{I_E}$$

$\alpha$  为电流放大系数。它只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关，与外加电压无关。一般  $\alpha = 0.9 \sim 0.99$ 。



## 4.双极结型晶体管 4.4. 放大作用

设  $\alpha = \frac{\text{传输到集电极的电流}}{\text{发射极注入电流}}$



电压增益

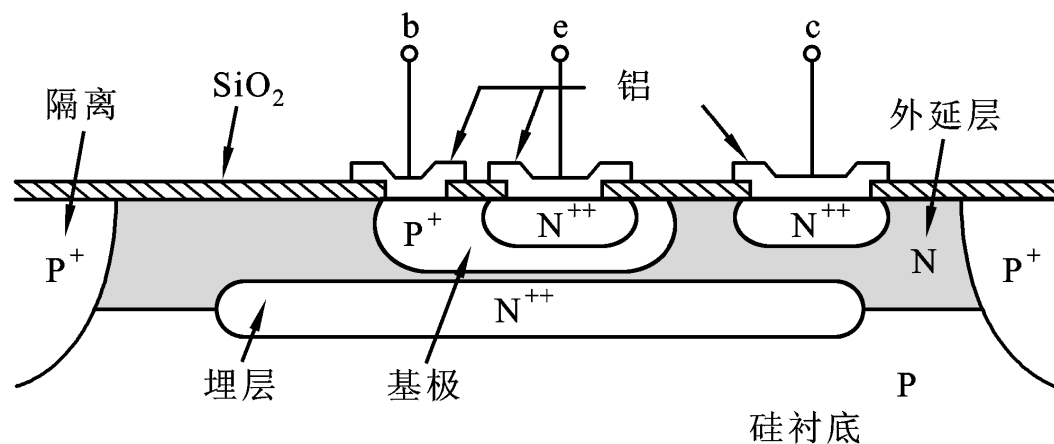
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o R_L}{i_i R_i} = \frac{\alpha i_i R_L}{i_i R_i} = \frac{\alpha R_L}{R_i}$$

## 4.双极结型晶体管 4.4. 放大作用

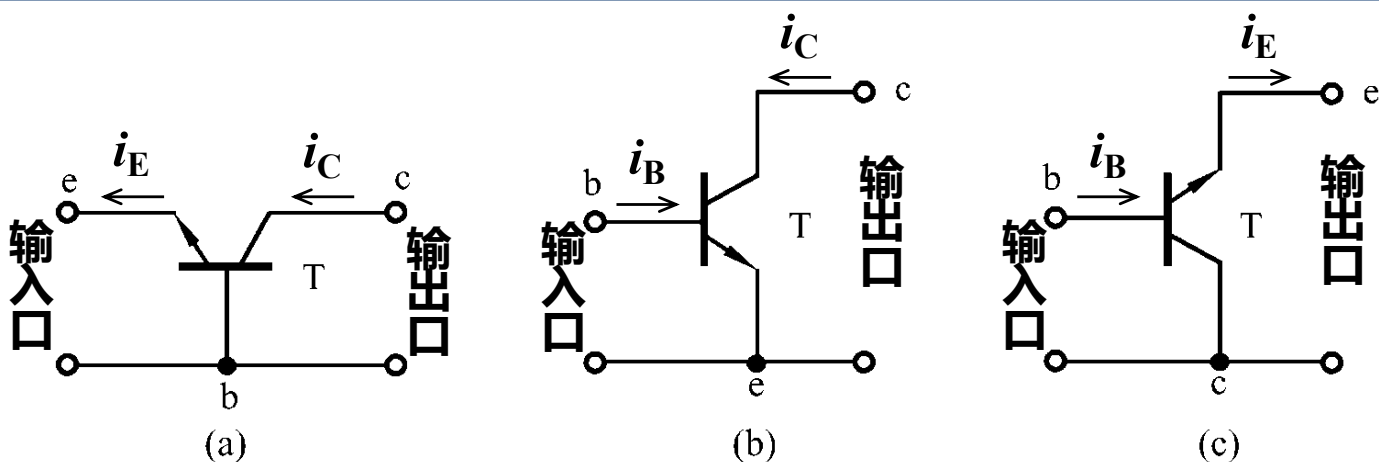
**综上所述，三极管的放大作用，主要是依靠它的发射极电流能够通过基区传输，然后到达集电极而实现的。**

### 实现这一传输过程的两个条件是:

- (1) **内部条件:** 发射区杂质浓度远大于基区杂质浓度, 且基区很薄。
- (2) **外部条件:** 发射结正向偏置, 集电结反向偏置。



## 4.双极结型晶体管4.5.三种组态



$$i_C = \alpha i_E$$

$$i_C = \beta i_B$$

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

**共基极接法**，基极作为公共电极，简称**CB**；

**共发射极接法**，发射极作为公共电极，简称**CE**；

**共集电极接法**，集电极作为公共电极，简称**CC**。

从工程师或者技术人员应用的角度。在解决电路设计问题中，工程师需要将晶体管看成是电流放大器件模型，这样就方便工程师通过建立的黑盒子模型来设计包含有晶体管器件的电子线路。

## 4.双极结型晶体管 4.6. 参数 $\beta$ 的定义

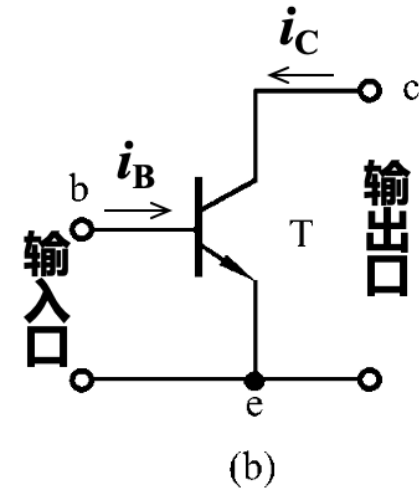
设  $\alpha = \frac{\text{传输到集电极的电流}}{\text{发射极注入电流}}$

又设  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

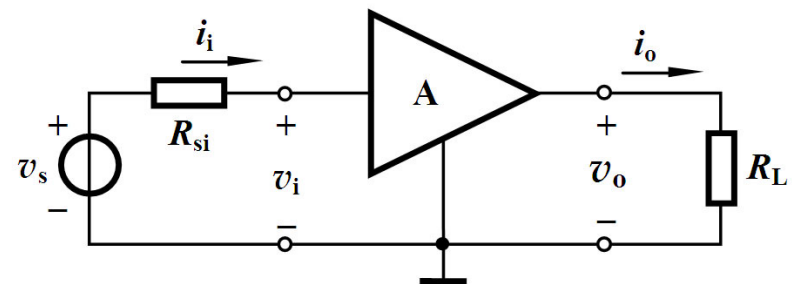
当  $I_C \gg I_{CEO}$  时,  $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$

$I_{CEO}$ :基级开路, 集射两极之间的反向电流, 又称为反向电流漏电流

$\beta$  是基级与发射极之间的电流放大系数。只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关, 与外加电压无关。一般  $\beta \gg 1$ 。



$$i_C = \beta i_B$$



$$\text{电流增益 } \beta = A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

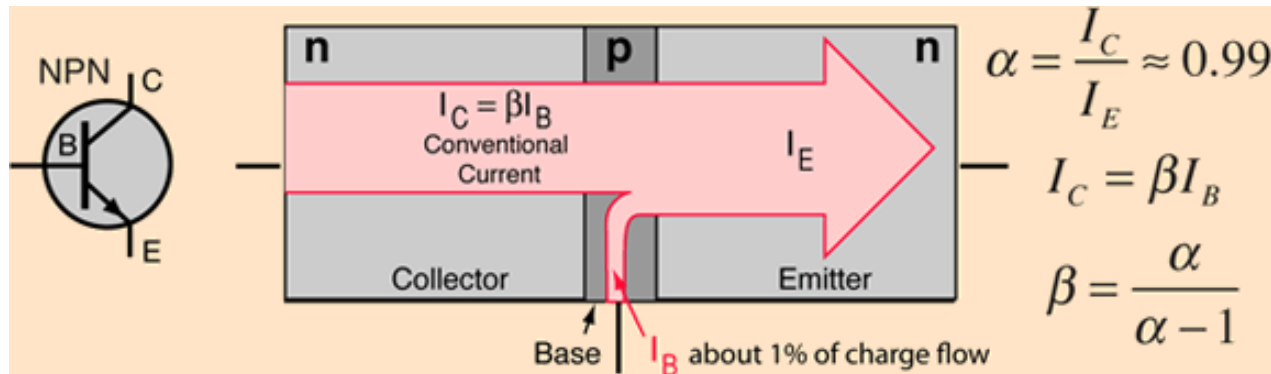
## 4.双极结型晶体管 4.6. 参数 $\beta$ 的定义

设  $\alpha = \frac{\text{传输到集电极的电流}}{\text{发射极注入电流}}$

$\alpha$  只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关，与外加电压无关。  
一般  $\alpha = 0.9 \sim 0.99$ 。

又设  $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

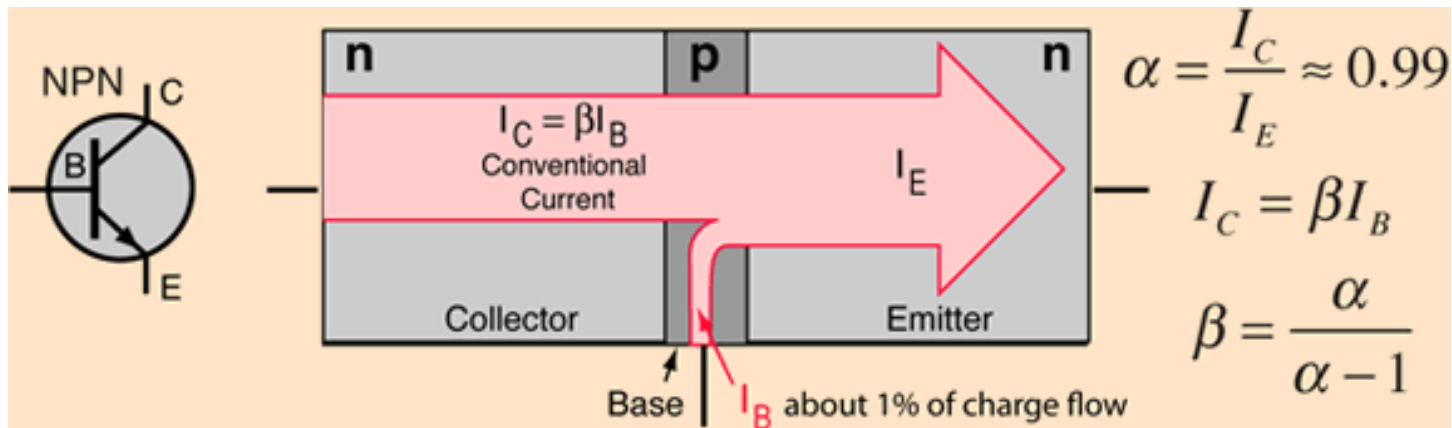
$\beta$  是基级与发射极之间的电流放大系数。  
只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关，与外加电压无关。一般  $\beta \gg 1$ 。



**注意：到底小的基极电流如何影响大的集电极电流？**

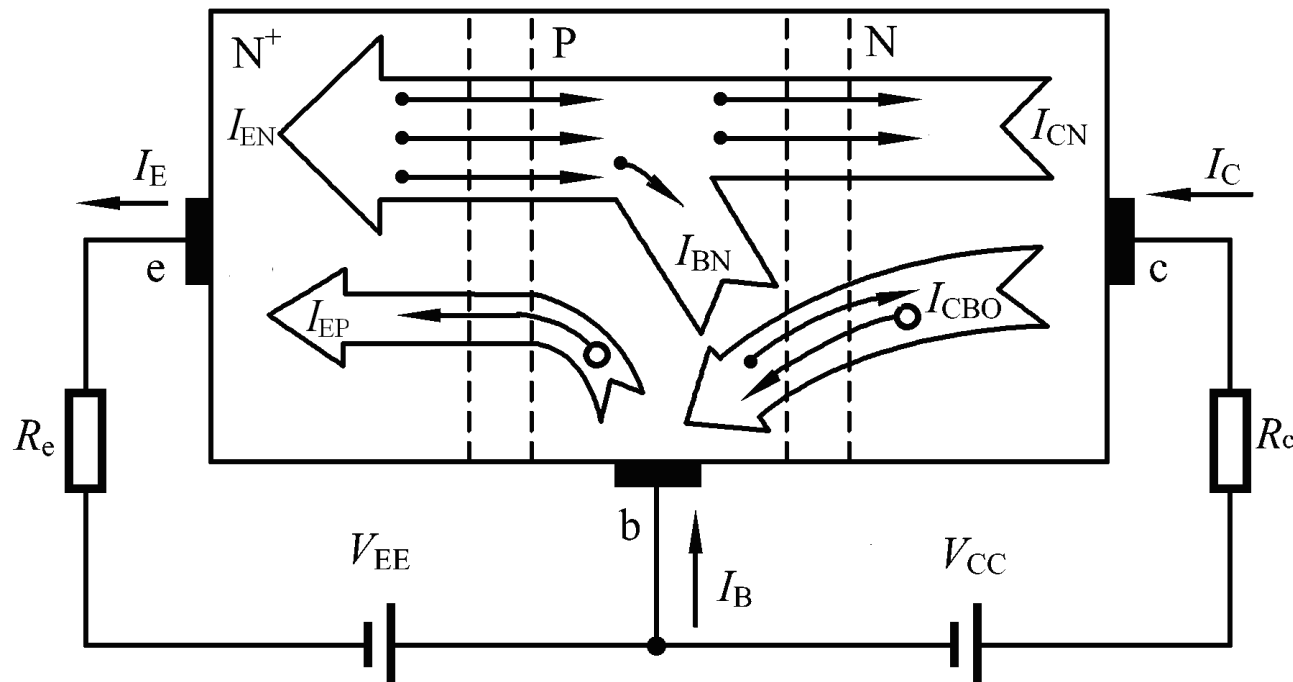
$$\begin{aligned} I_C + I_B &= I_E \\ \therefore I_C + \frac{1}{\beta} I_C &= I_E \\ \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_C &= \frac{1}{\alpha} I_C \\ 1 + \frac{1}{\beta} &= \frac{1}{\alpha} \\ \beta &= \frac{\alpha}{1 - \alpha} \end{aligned}$$

## 4.双极结型晶体管 4.6. 参数 $\beta$ 的定义



$$I_{EP} = 0$$

$$I_{CBO} = 0$$

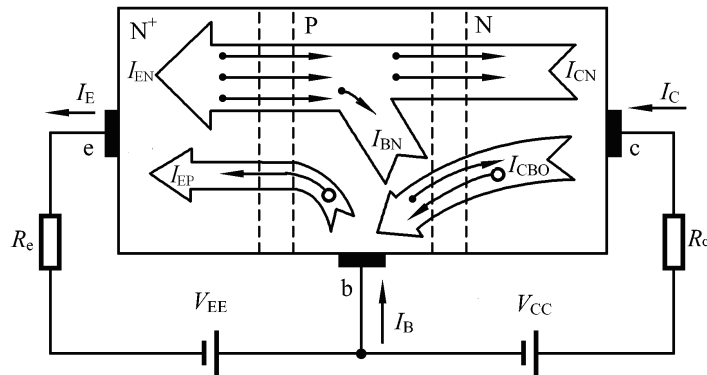


$$I_{EP} \neq 0$$

$$I_{CBO} \neq 0$$



## 4.双极结型晶体管 4.6. 参数 $\beta$ 的定义



$I_{CN}$ ：由发射区扩散到基区的电子（少子）在反偏电场作用下漂移到集电区所形成的电流。

$I_{CBO}$ ：集电区的少子（空穴）在反偏电场作用下漂移到基区所形成的电流。

设  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

试证明：当  $I_C \gg I_{CEO}$  时， $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$

作为发射极的N型半导体掺杂的浓度  
比集电极N型材料的掺杂浓度高很多。

证：根据  $I_E = I_B + I_C$  (1)

其中  $I_C = I_{nC} + I_{CBO}$  (2)

代  $\alpha = \frac{I_{nC}}{I_E}$  入(2)，得：  $I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$  (3)

代 (3) 入 (1)，得  $I_E = I_B + \alpha I_E + I_{CBO}$  (4)

$$(1-\alpha)I_E = I_B + I_{CBO}$$

$$I_E = \frac{(I_B + I_{CBO})}{(1-\alpha)}$$

$$\alpha I_E = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} (I_B + I_{CBO})$$

$$I_{CN} = \beta (I_B + I_{CBO})$$

$$I_C - I_{CBO} = \beta (I_B + I_{CBO})$$

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

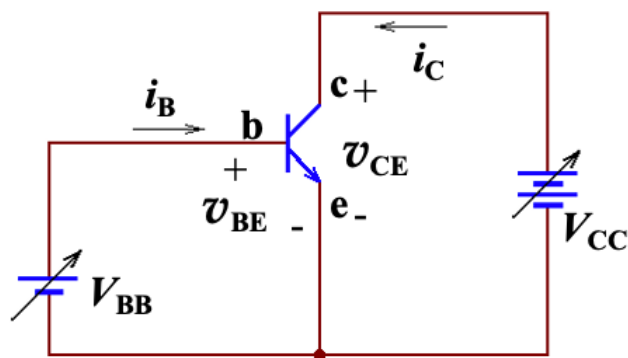
当  $I_C \gg I_{CEO}$  时， $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$

## 4.7. I-V 特性曲线: 1) 输入特性

### 1. 输入特性曲线

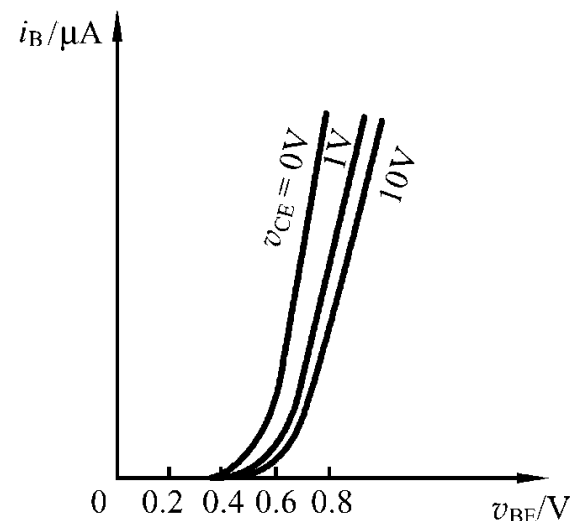
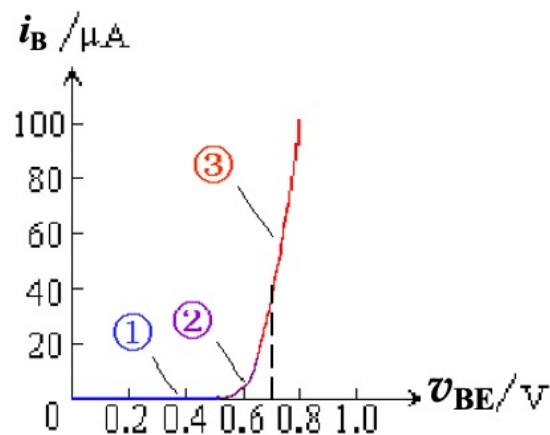
(以共射极放大电路为例)

$$i_B = f(v_{BE}) \mid v_{CE} = \text{const}$$



(1) 输入特性曲线的三个部分

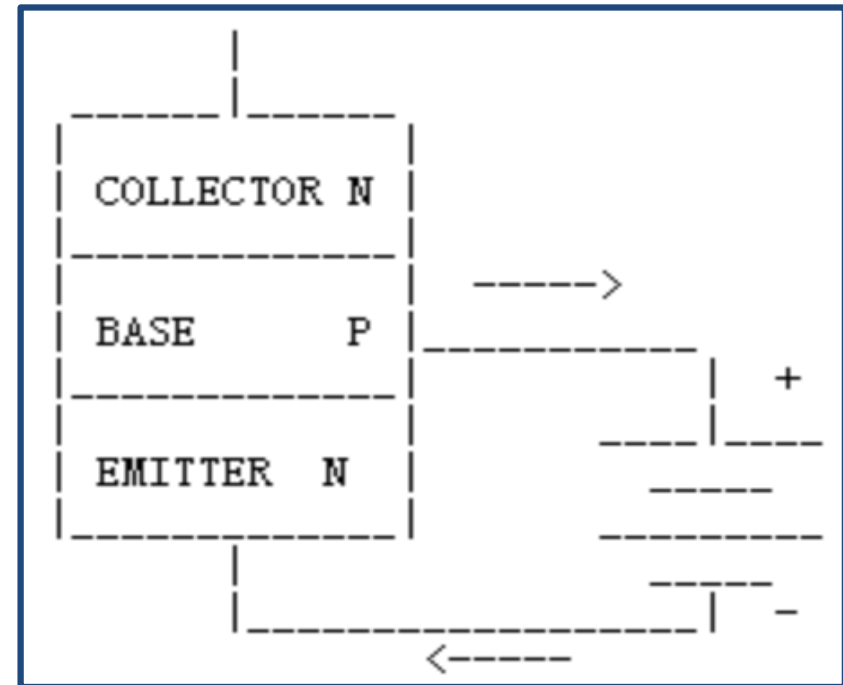
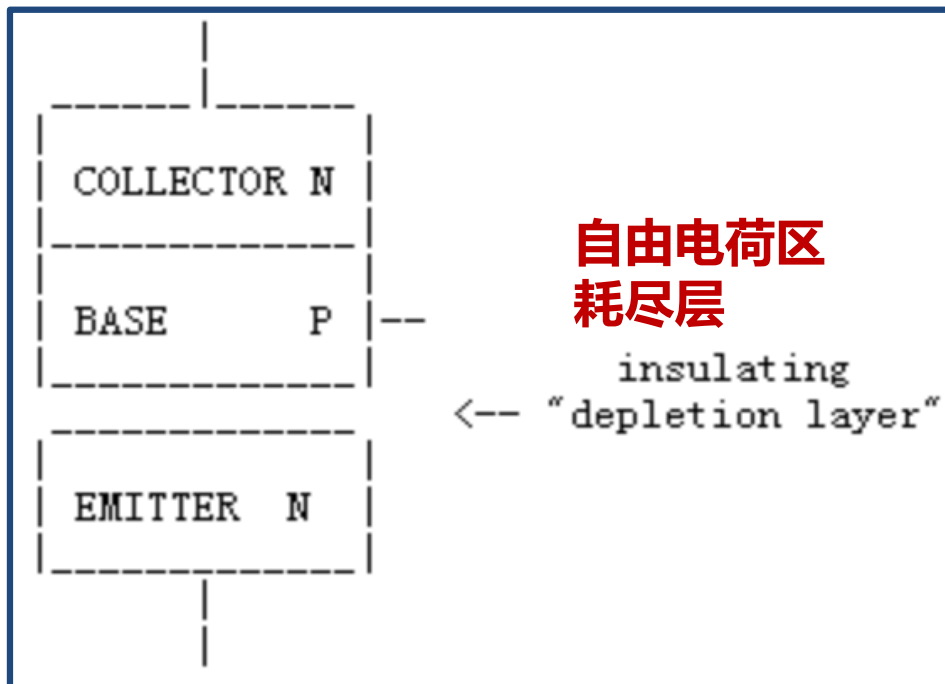
①死区、②非线性区、③近似线性区



(2) 当  $v_{CE}=0V$  时, 相当于发射结的正向伏安特性曲线( $v_{BC}=v_{BE}>0$ )。

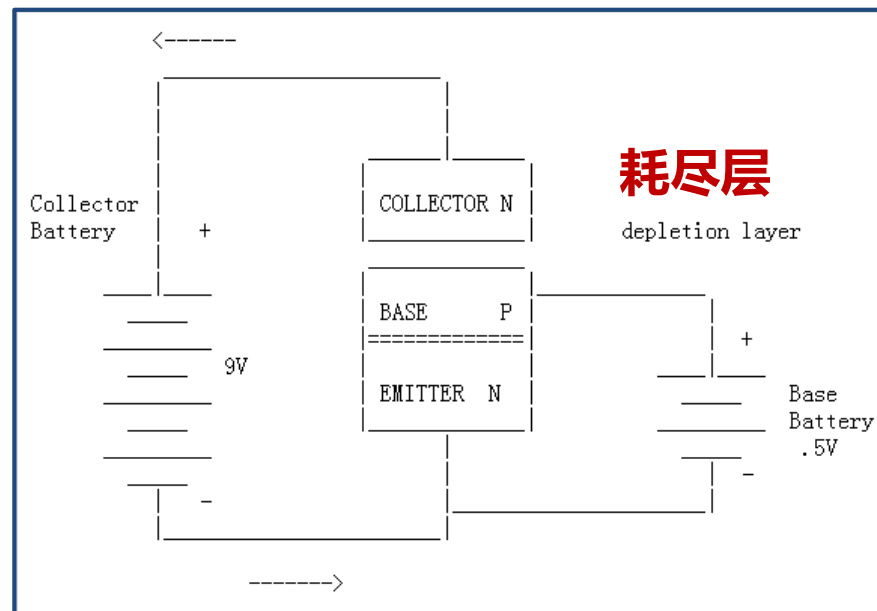
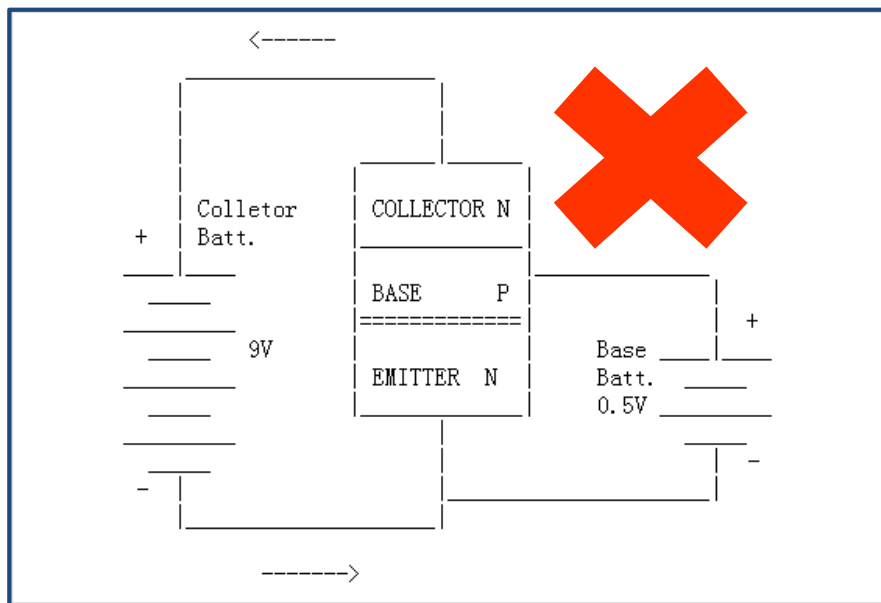
(3) 当  $v_{CE} \geq 1V$  时, 集电结已进入反偏状态( $v_{BC}=-(v_{CE}-v_{BE})<0$ ), 收集载流子能力增强, 基区复合减少, 同样的  $v_{BE}$  下  $I_B$  减小, 特性曲线右移。

## 4.7. I-V 特性曲线：1) 输入特性

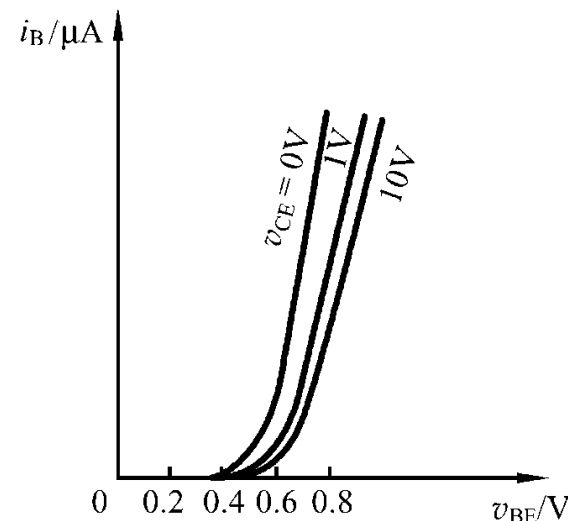


- 1) B-E电压增加，**耗尽层**变薄，反之变厚。这是因为施加的电压驱动着p型和n型中的载流子做相向运动，从而改变它们之间由扩散效应所形成**耗尽层**的厚度。
- 2) 当**耗尽层**薄到一定程度时，在B-E电压的驱动下，载流子会如同“崂山道士的穿墙术”一般穿越**耗尽层**而移动到对应区域（量子隧穿效应）。
- 3) 可以将这个**耗尽层**看成由电压控制的开关。这个开关是一个比例开关，流过的电荷多少与施加电压之间存在关系。当施加足够大的电压时，开关闭合。

## 4.7. I-V 特性曲线: 1) 输入特性



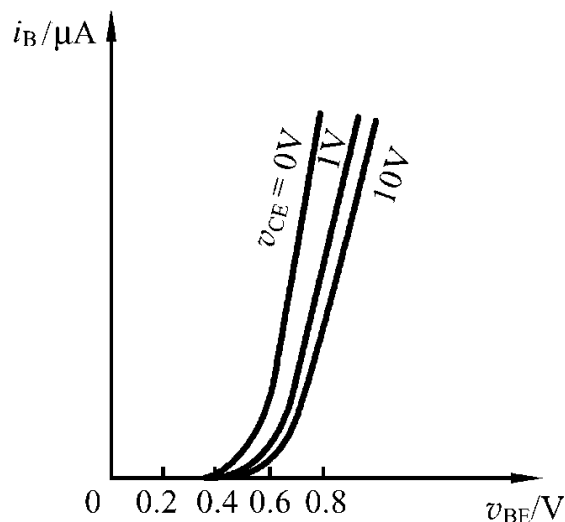
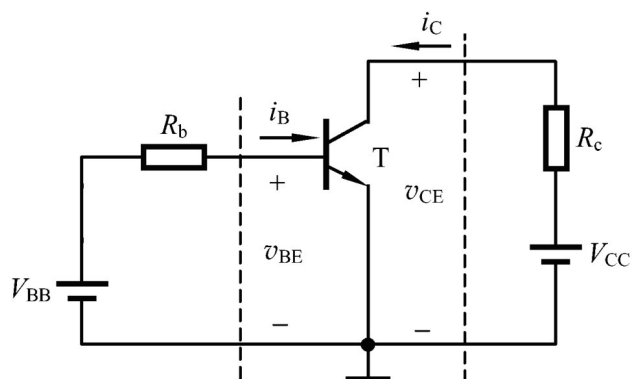
集电结反偏，在集电结形成一个耗尽层，耗尽层的厚度与内电场成正比，内电场越大，厚度越大，越有利于少子的移动，在耗尽层内电场的作用下，从发射结到基极中的电子更容易被集电结收集。因此三极管输入特性曲线中，集电结电压的增大会使得曲线向右平移。



## 4.7. I-V 特性曲线: 1) 输入特性

(以共射极放大电路为例)

$$i_B = f(v_{BE}) \big|_{v_{CE} = \text{const}}$$



**基区宽度调制效应**

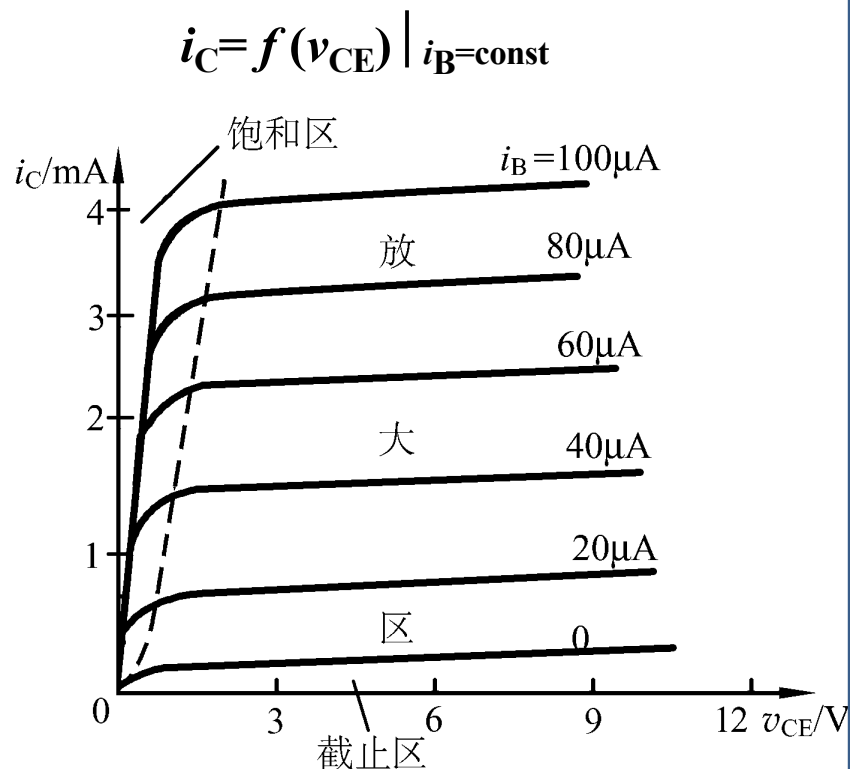
当  $0 < v_{CE} < 1\text{V}$  时, 集电结处于正偏或反偏电压很小的状态, 集电区收集电子的能力很弱, 而基区的复合作用较强, 这时同样的  $v_{BE}$  下  $I_B$  较大。

当  $v_{CE} \geq 1\text{V}$  时, **集电结已进入反偏状态**

( $v_{BC} = -(v_{CE} - v_{BE}) < 0$ ), **收集载流子能力增强, 基区复合减少**, 同样的  $v_{BE}$  下  $I_B$  减小, 特性曲线右移。

当  $v_{CE} \geq 10\text{V}$  时, **集电结电压的增加不会改变载流子的收集能力**, 只要  $v_{BE}$  不变, 则从发射区扩散到基区的电子数目不变, 所以可以近似认为  $v_{CE} \geq 10\text{V}$  后输入特性曲线是重合的。

## 4.7. I-V 特性曲线 2) 输出特性曲线



输出特性曲线

集电结  $v_{BC} = -(v_{CE} - v_{BE})$

$v_{BE}$  约为 0.7V (硅管)

放大区:

$i_C$  平行于  $v_{CE}$  轴的区域, 曲线基本平行等距。

此时, 发射结正偏, 集电结反偏。

集电结收集的电子数量不变, 可认为集电结电流恒定不变。

截止区:

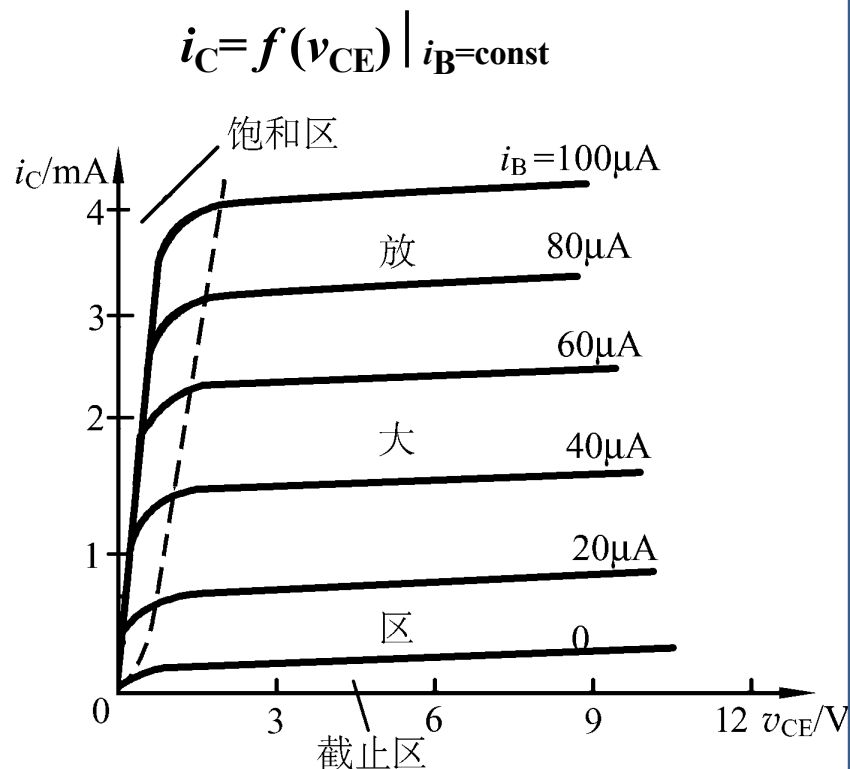
$i_C$  接近零的区域, 相当  $i_B = 0$  的曲线的下方。

此时,  $v_{BE}$  小于死区电压, 发射结不满足正偏条件。

集电结电流由内电场作用下的漂移电流所构成。



## 4.7. I-V 特性曲线 2) 输出特性曲线



输出特性曲线

集电结  $v_{BC} = -(v_{CE} - v_{BE})$

$v_{BE}$  约为 0.7V (硅管)

### 饱和区:

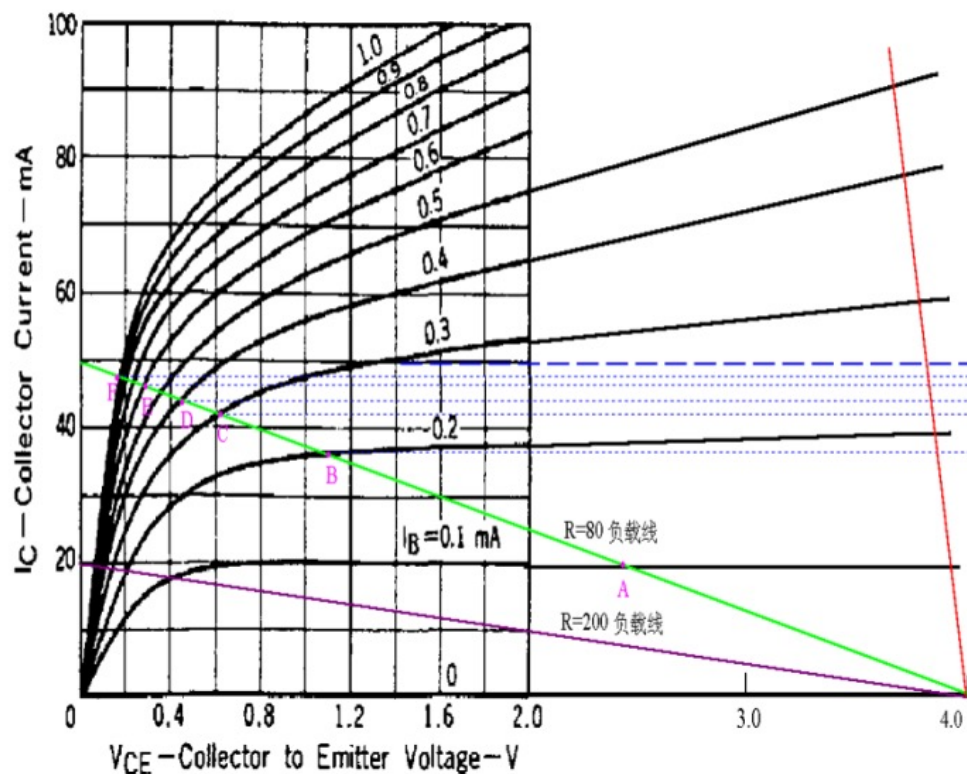
该区域内, 一般  $v_{CE} < 0.7\text{V}$  (硅管)。此时, **发射结正偏, 集电结正偏或反偏电压很小。** 集电结收集了部分从发射区到基区的电子,  $i_B$  的增大, 不会有对应  $i_C$  的增大, 这意味着晶体管进入了饱和区。

当集电结电压从正偏逐渐变为反偏时, 所收集电子的数量增多, 集电结电流增大。。

$i_C$  明显受  $v_{CE}$  控制,  $v_{CE}$  越大  $i_C$  越大。

## 4.7. I-V 特性曲线 2) 输出特性曲线：饱和区

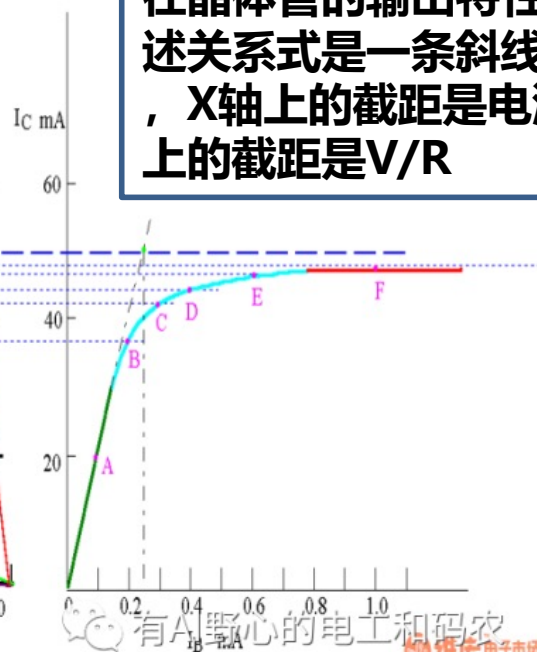
COLLECTOR CURRENT  
vs. COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE



如果电源电压为 $V$ ，负载电阻为 $R$ ，那么 $V_{ce}$ 与 $I_c$ 受以下关系式的约束：

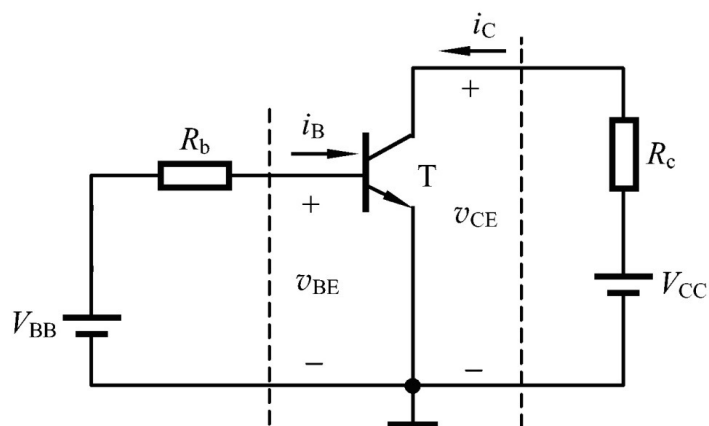
$$I_c = (V - V_{ce}) / R$$

在晶体管的输出特性曲线图上，上述关系式是一条斜线，斜率是  $-1/R$ ，X轴上的截距是电源电压 $V$ ，Y轴上的截距是 $V/R$



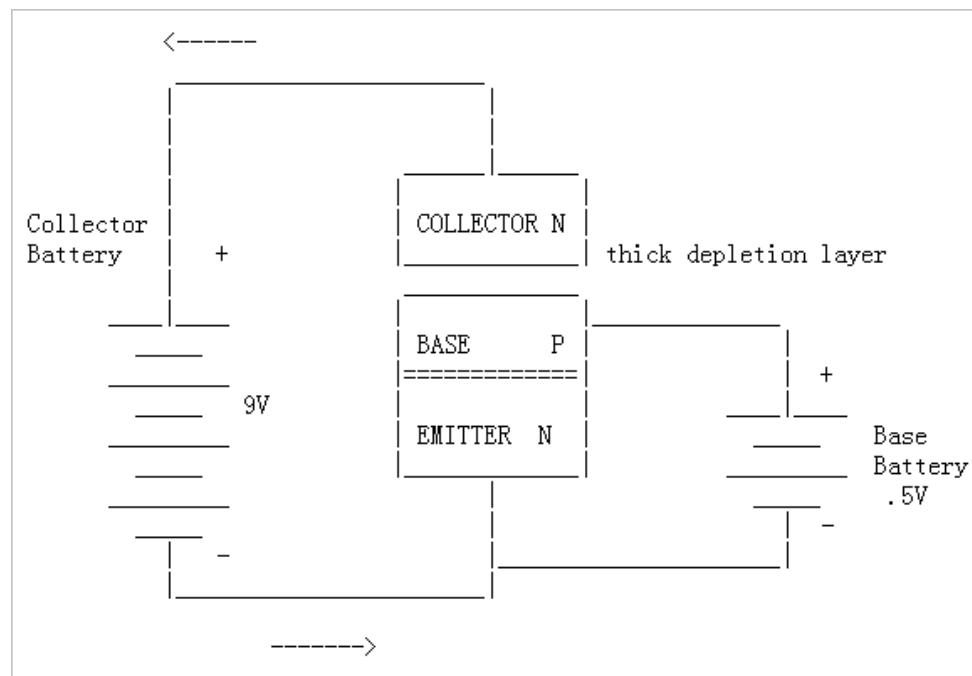
电源电压为4V，绿色的斜线是负载电阻为80欧姆的负载线， $V/R=50\text{mA}$ ，图中标出了 $I_b$ 分别等于0.1、0.2、0.3、0.4、0.6、1.0mA的工作点A、B、C、D、E、F。据此在右侧作出了 $I_c$ 与 $I_b$ 的关系曲线。根据这个曲线，就清楚地看出“饱和”的含义。

## 4.7. I-V 特性曲线 2) 输出特性曲线



从KVL方程来看：基极电流 $i_B$ 的变化，会使得 $i_C$ 变化，**可见 $v_{CE}$ 是一个变化量。**

从等效电路角度来看，可以认为CE之间是一个 $i_B$ 控制的**可变电阻。**



从发射结集电结电压和两个耗尽层厚度之间的关系来看，可以认为CE之间是一个 $i_B$ **控制的可变电压源。**

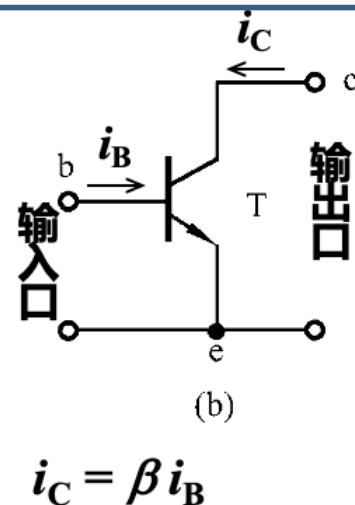
## 4.8. 主要参数 1. 电流放大系数

(1) 共发射极直流电流放大系数  $\bar{\beta}$

$$\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \Big|_{v_{CE}=\text{const}}$$

(2) 共发射极交流电流放大系数  $\beta$

$$\beta = \Delta I_C / \Delta I_B \Big|_{v_{CE}=\text{const}}$$

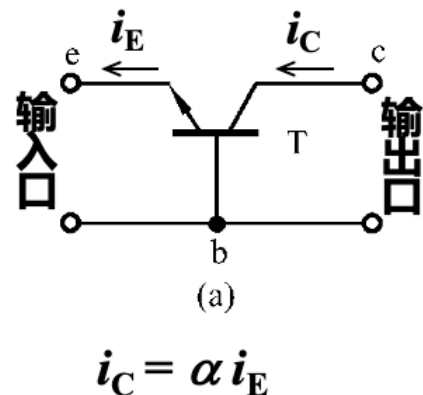


(3) 共基极直流电流放大系数  $\bar{\alpha}$

$$\bar{\alpha} = (I_C - I_{CBO}) / I_E \approx I_C / I_E$$

(4) 共基极交流电流放大系数  $\alpha$

$$\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E \Big|_{v_{CB}=\text{const}}$$

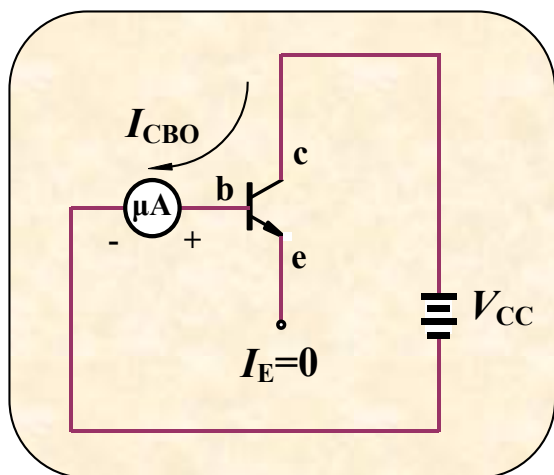


当  $I_{CBO}$  和  $I_{CEO}$  很小时,  $\bar{\alpha} \approx \alpha$ 、 $\bar{\beta} \approx \beta$ , 可以不加区分。

## 4.8. 主要参数 2. 极间反向电流

### (1) 集电极基极间反向饱和电流 $I_{CBO}$

发射极开路时，集电结的反向饱和电流。



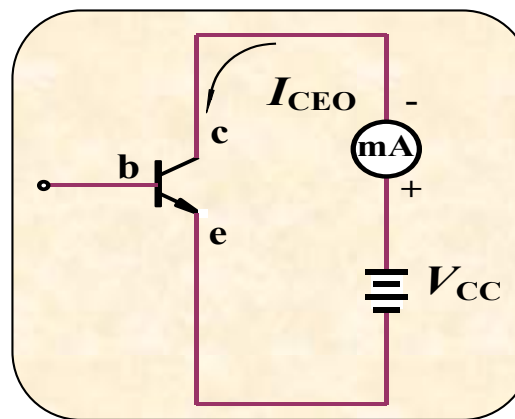
### 温度变化对 $I_{CBO}$ 的影响

$$I_{CBO} = I_{CBO(T_0=25^\circ\text{C})} \cdot e^{k(T-T_0)}$$

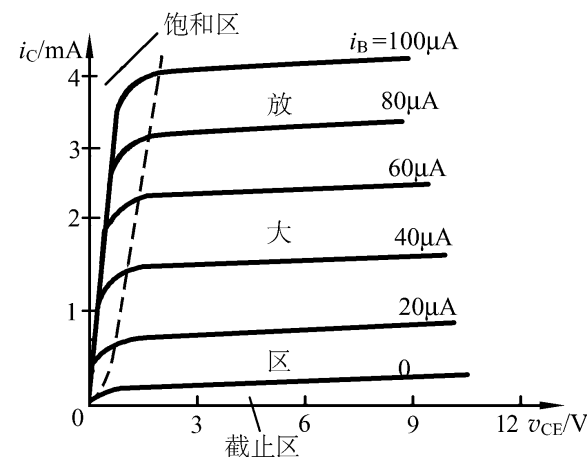
温度  $T \uparrow \rightarrow$  集电极电流  $\uparrow$

### (2) 集电极发射极间的反向饱和电流 $I_{CEO}$

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



即输出特性曲线  $I_B=0$  那条曲线所对应的  $I$  坐标的数值。  $I_{CEO}$  也称为集电极发射极间穿透电流。



## 4.8. 主要参数 3. 极限参数

### (1) 集电极最大允许电流 $I_{CM}$

集电极最大允许电流是指当集电极电流 $I_C$ 增加到某一数值，引起 $\beta$ 值下降到额定值的2/3或1/2时的 $I_C$ 值。

当集电极电流超过集电极最大允许电流时，虽然不致使管子损坏，但 $\beta$ 值显著下降，影响放大质量。

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

基区多子（空穴）浓度的增加，使得扩散的发射区电子复合比例增加，对应 $\beta$ 减小。

威布斯特效应是指BJT在大工作电流时、基区电导发生增大的一种现象。

例如：对n-p-n晶体管，当发射结电压较大、往基区大量地注入少数载流子（电子）时，相应地基区中也有大量的多数载流子（空穴）的积累（并维持与电子有相同的浓度梯度），这就相当于增加了基区的掺杂浓度，使得基区的电阻率下降。



## 4.8. 主要参数 3. 极限参数

### (2) 集电极最大允许功率损耗 $P_{CM}$

$$P_{CM} = I_C V_{CE}$$

### (3) 反向击穿电压

- $V_{(BR)CBO}$  :

发射极开路时的集电结反向击穿电压。

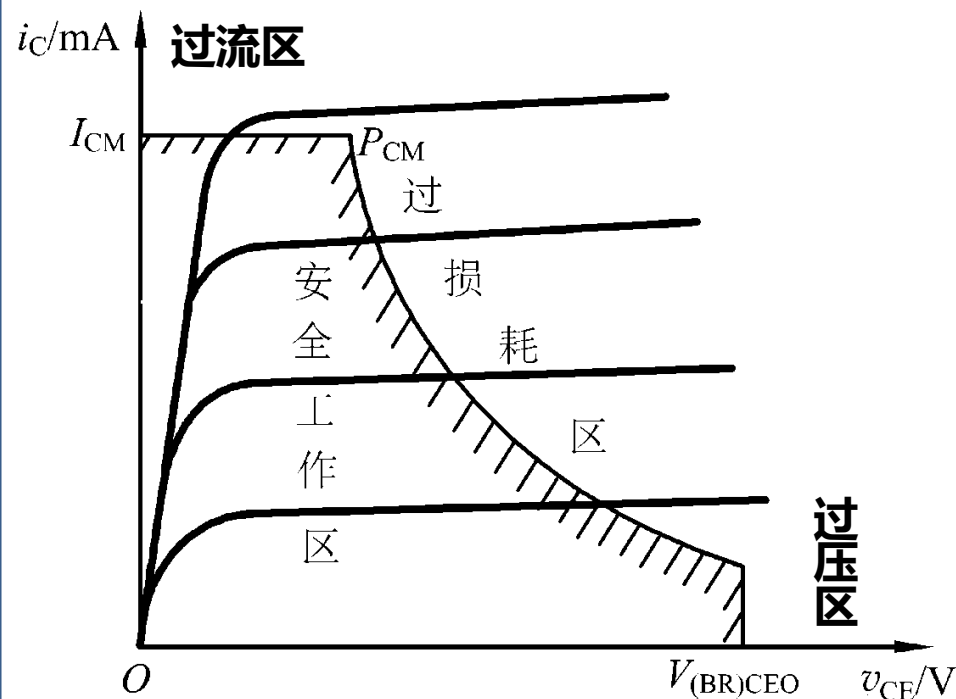
- $V_{(BR)EBO}$  :

集电极开路时发射结的反向击穿电压。

- $V_{(BR)CEO}$  :

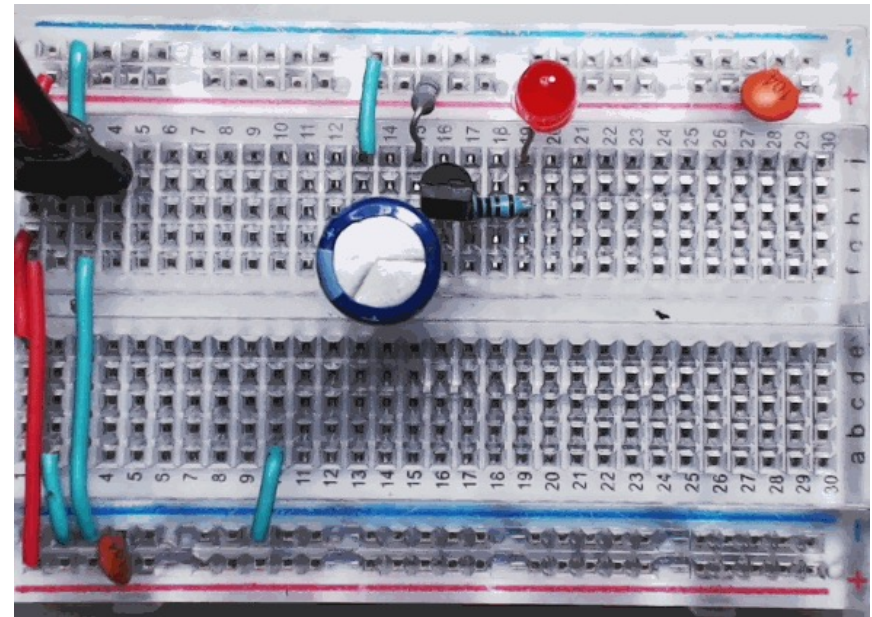
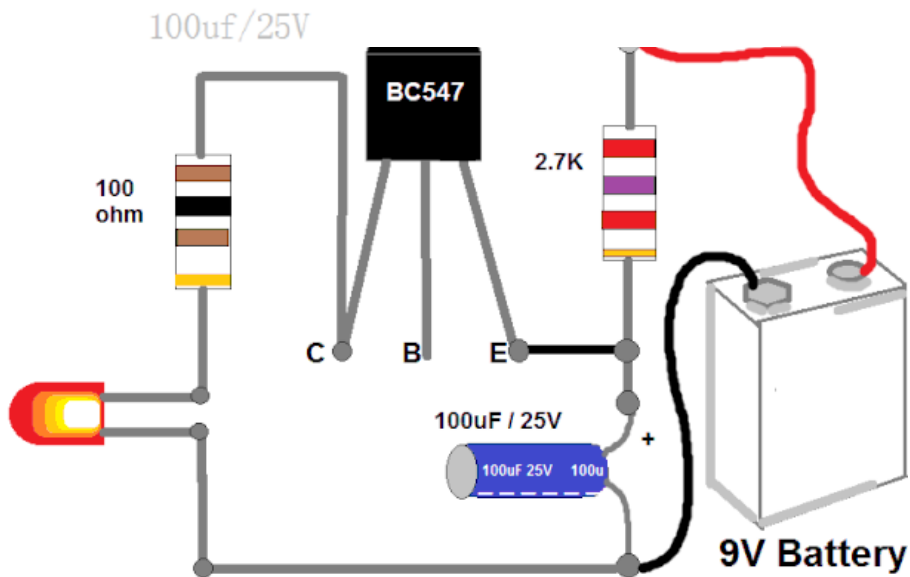
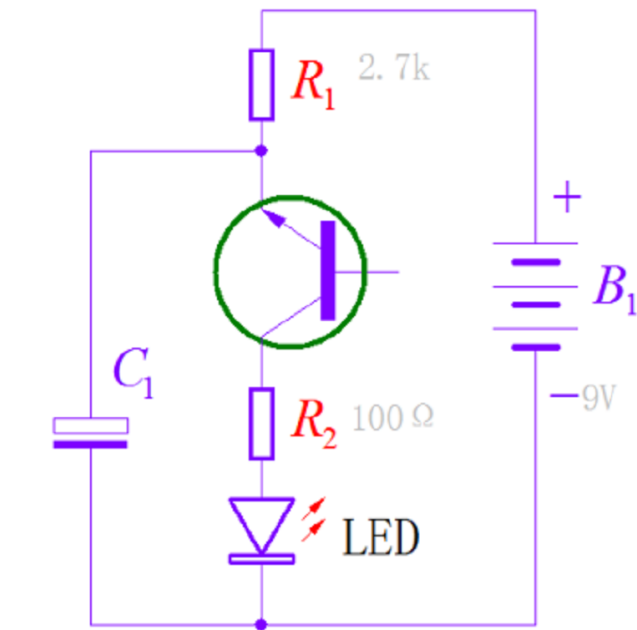
基极开路时集电极和发射极间的击穿电压。

由 $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 和 $V_{(BR)CEO}$ 在输出特性曲线上可以确定过损耗区、过电流区和击穿区。



输出特性曲线上的过损耗区和击穿区

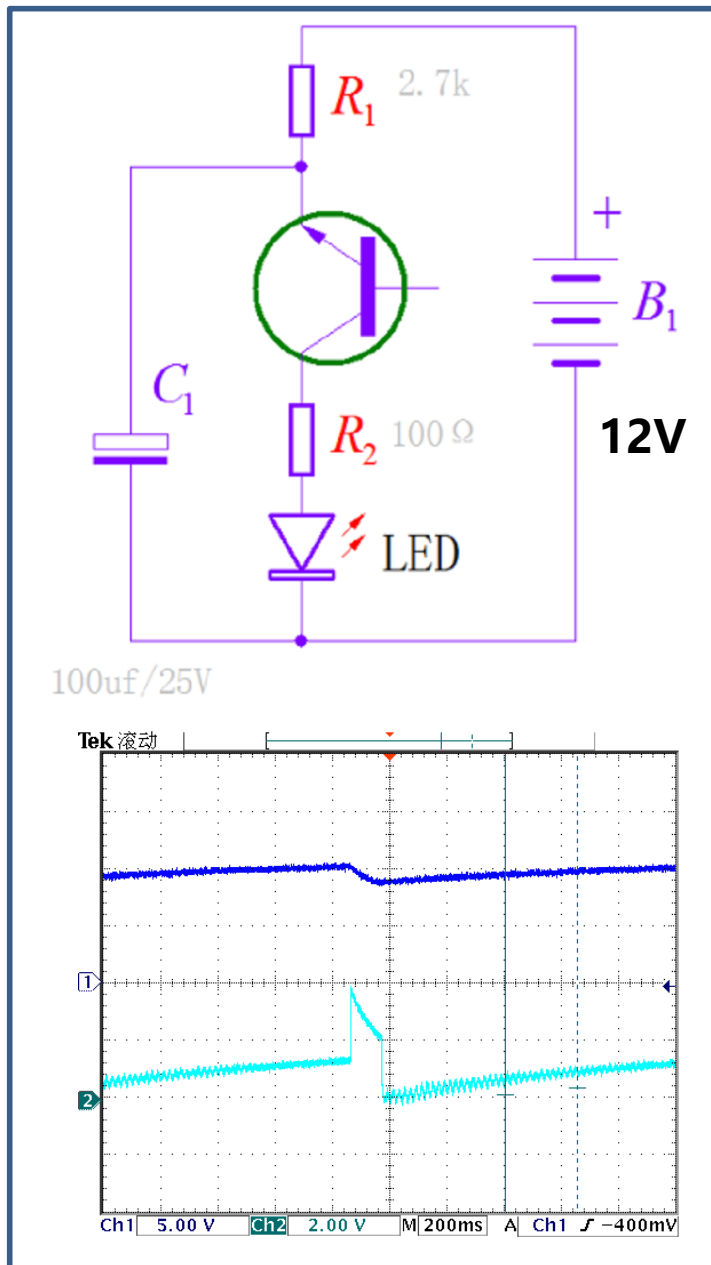
# 击穿特性应用电路：一个闪光LED驱动电路



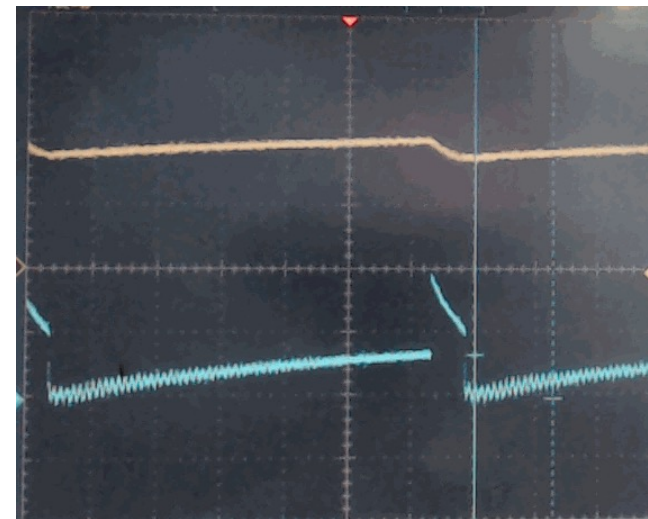
- 1) 电路中的有源器件BC547并没有进行正常的偏置，它的基极是悬空的。
- 2) NPN三极管也没有按照正常电压配置，集电极电位高于发射极，而是发射极的电位高于集电极。

**这个电路真的能够震荡工作吗？！！！！**

# 击穿特性应用电路：一个闪光LED驱动电路

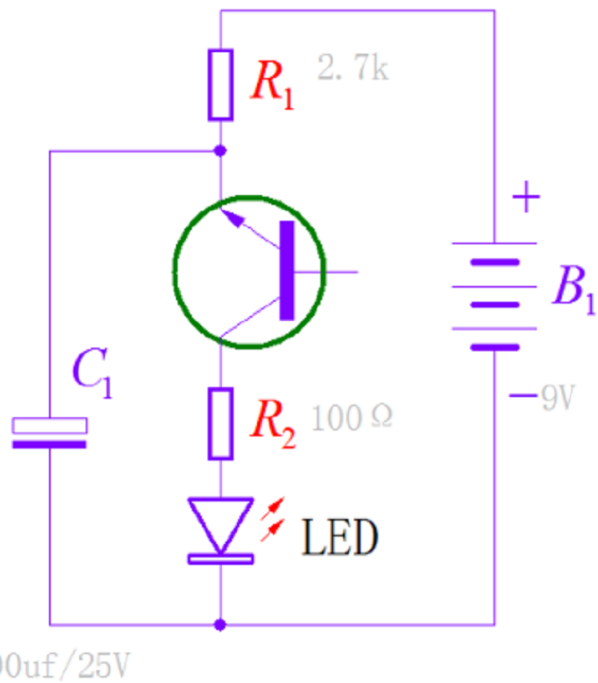


- 1) 当电源电压 (12V) 通过 $R_1$  (2.7k $\Omega$ ) 给 $C_1$  (100 $\mu$ F) 充电超过**10V左右**时, 晶体三极管开始被击穿。
- 2) 电容电压便通过击穿后的三极管、 $R_2$ 、LED开始放电, 从而引起 $C_1$ 电压开始迅速下降。
- 3) 随着 $C_1$ 电压减小, 放电电流减少一半的时候, 三极管重新恢复截止。电路又开始新的一个循环。

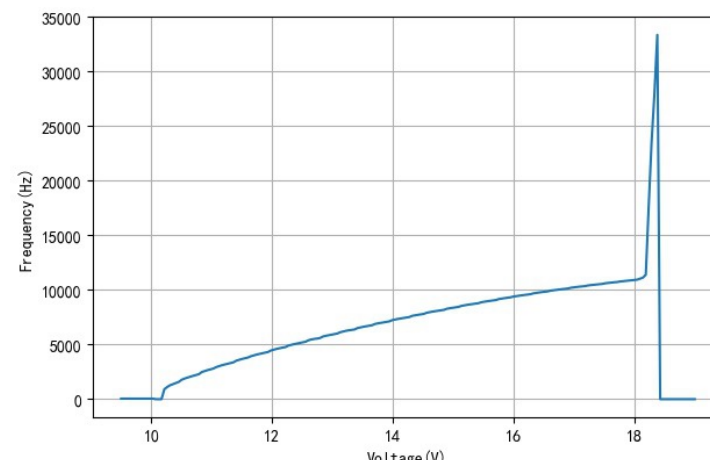


黄色：电解电容 $C_1$ 上的电压信号，  
青色：LED串联限流电阻 $R_2$ 上的电压信号

# 击穿特性应用电路：一个闪光LED驱动电路

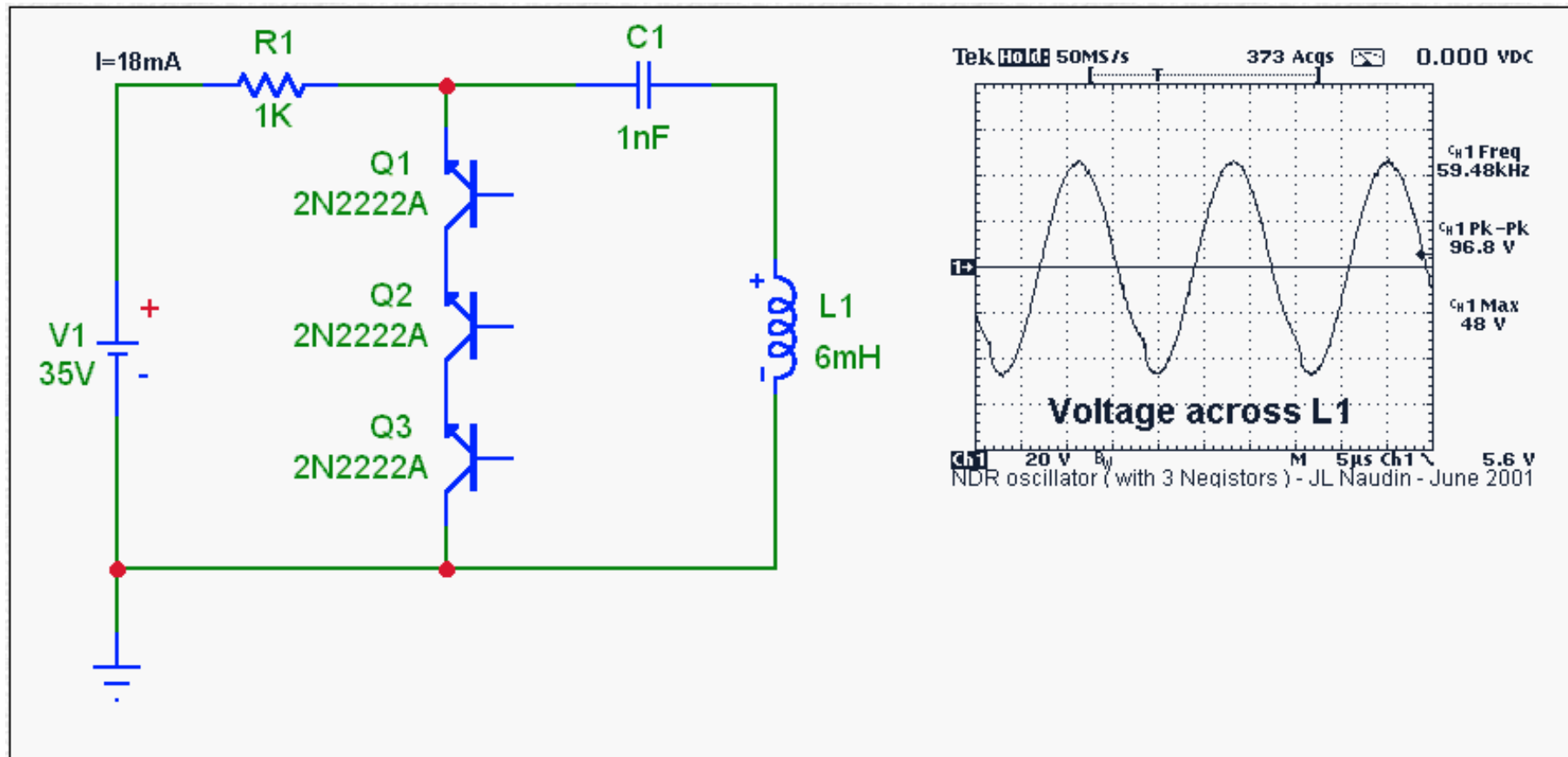


电路的工作电压需要大于三极管C-E反向击穿电压电路才能够开始震荡。  
随着供电电压增加，当它超过一定电压之后，流过 $R_1$ 的电流就会使得三极管在击穿之后始终保持导通状态，电路也会停止震荡。



震荡频率与工作电压之间的关系曲线。  
只有在工作电压处于10.2V到18.5V之间时，电路才能够正常震荡。

# 击穿特性应用电路：一个闪光LED驱动电路



## 4.8. 主要参数:温度的影响

### 1. 温度对BJT参数的影响

(1) 温度对 $I_{CBO}$ 的影响

温度每升高10

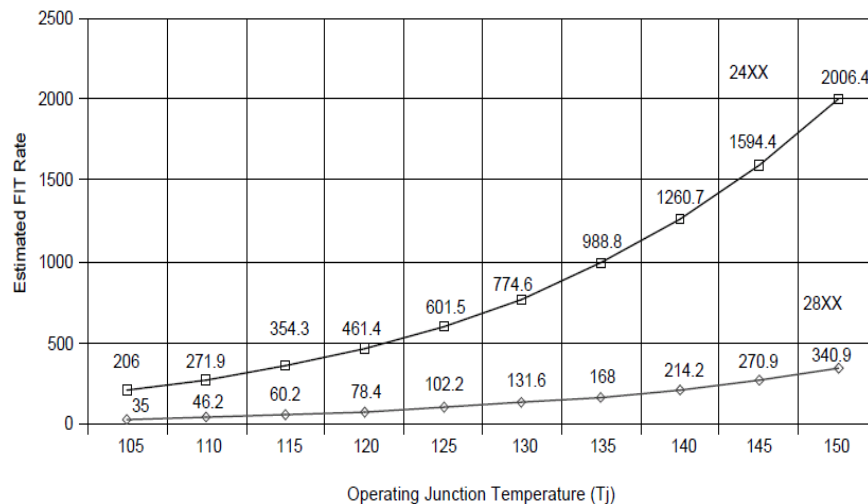
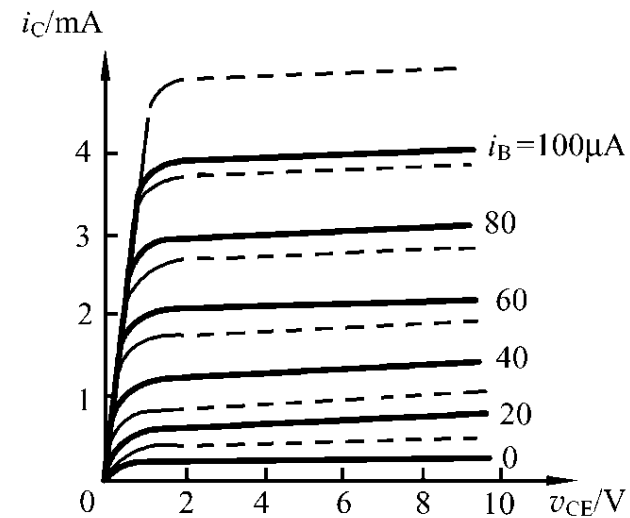
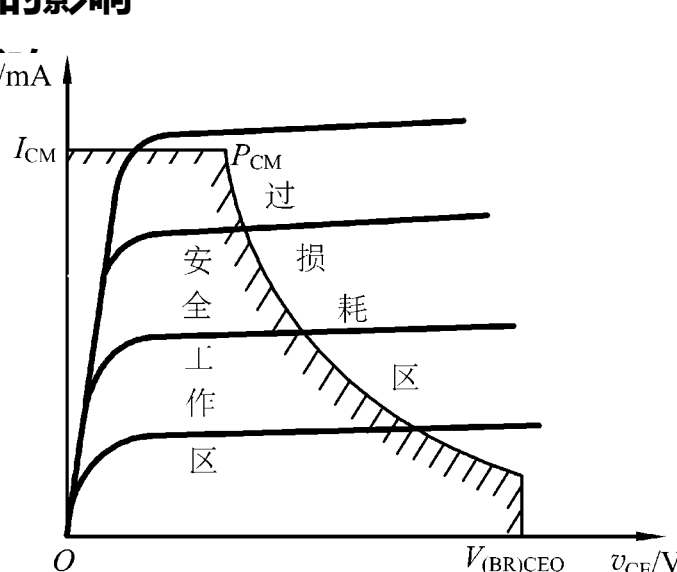
(2) 温度对 $\beta$ 的影响

温度每升高1°

(3) 温度对反向击穿电压的影响

温度升高时,

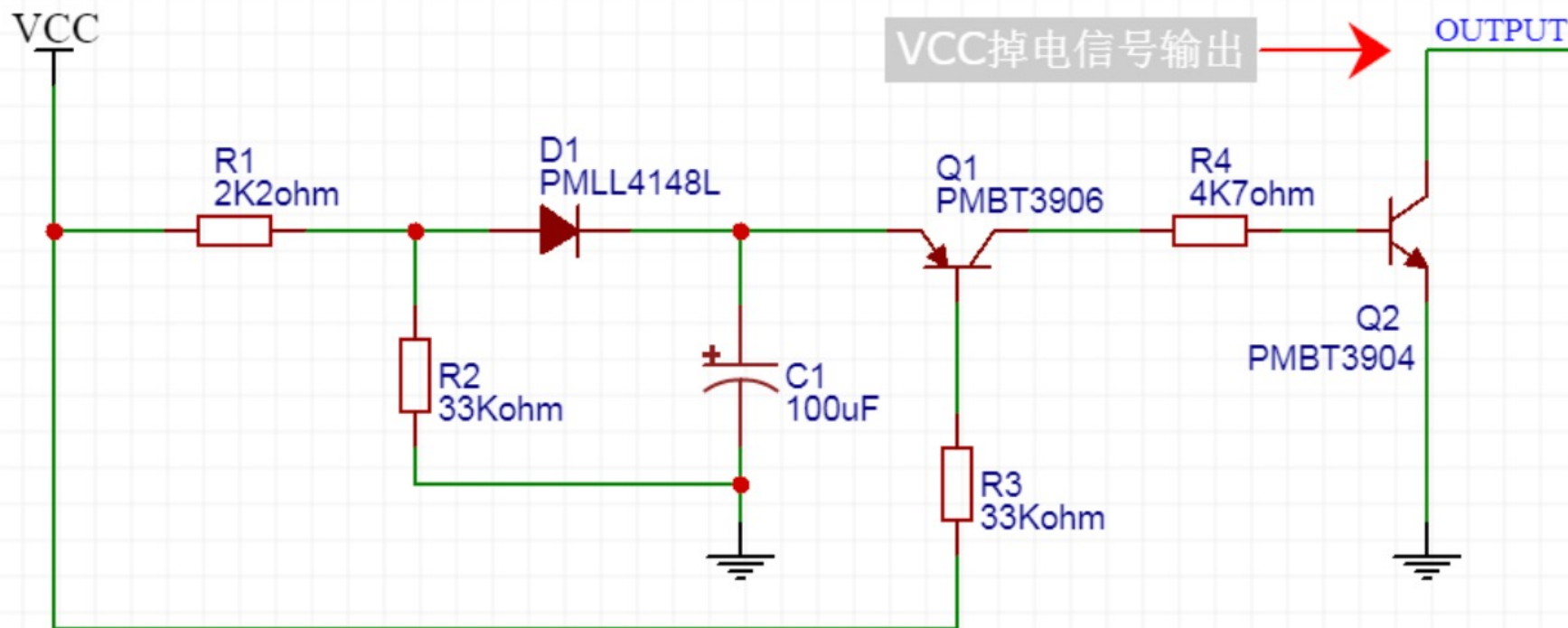
### 2. 温度对BJT特性的影响



- 1、温度的升高加剧了漏电流的产生  
如：信息存储在电容器上的时间受到漏电流的影响。
- 2、电子器件退化速率随温度的升高呈指数级上升，芯片系统整体可靠性下降。



# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路



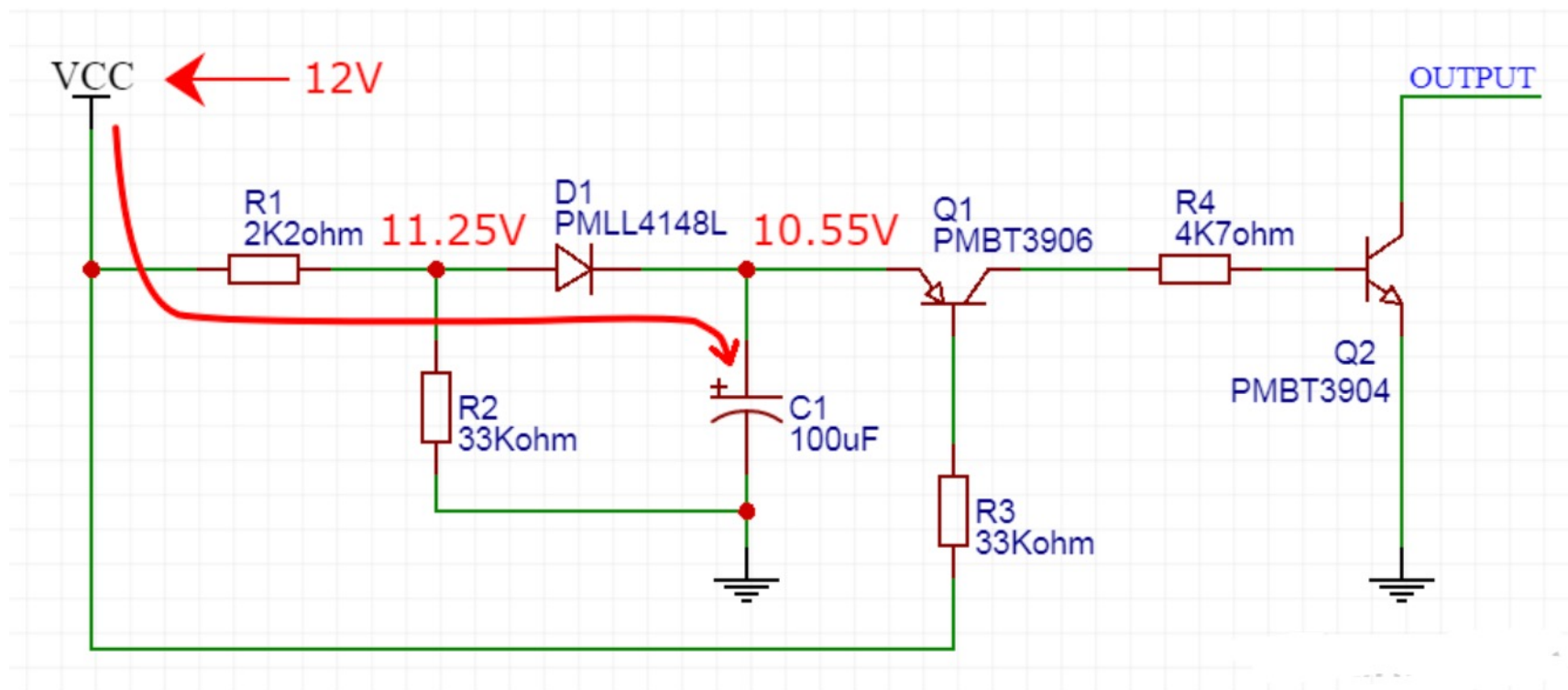
电压掉电监测电路，监测的是电压VCC。当VCC的电压下降到一定阈值时，三极管Q2导通，可以将外部电压拉到0V；否则Q2不导通，对外相当于开路。

这个电路在液晶电视里用得非常多。当直接拔掉液晶电视的电源时，这个电路会输出掉电信号给电视机功放芯片的静音（mute）控制脚，将功放静音。这样就能大大降低甚至消除由功放驱动的电话喇叭发出的爆破音。

# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路

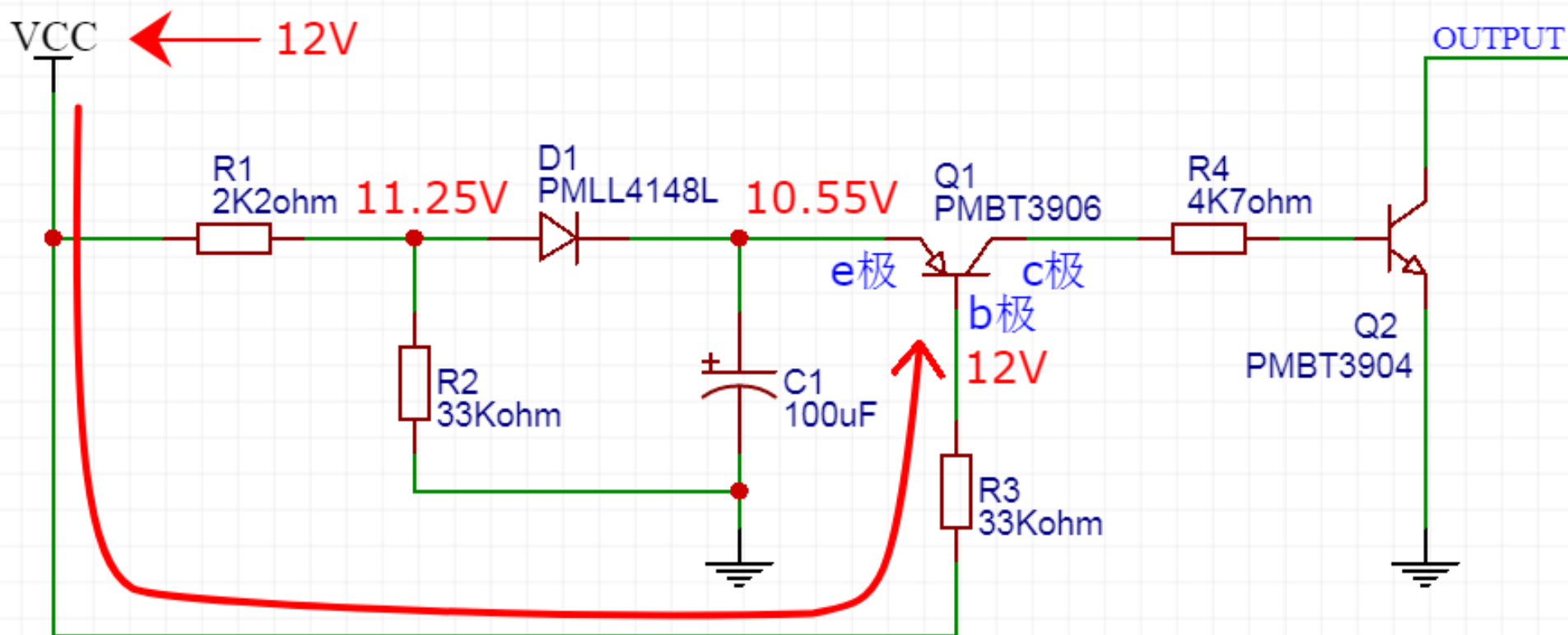
以VCC等于12V为例进行分析。

1、当VCC上电时，通过电阻R1、二极管D1对电容C1充电。VCC稳定在12V后，经过R1、R2的分压，D1的左边为11.25V。经过D1后降低了一个二极管压降，即0.7V，最终电容C1的电压被充到10.55V。



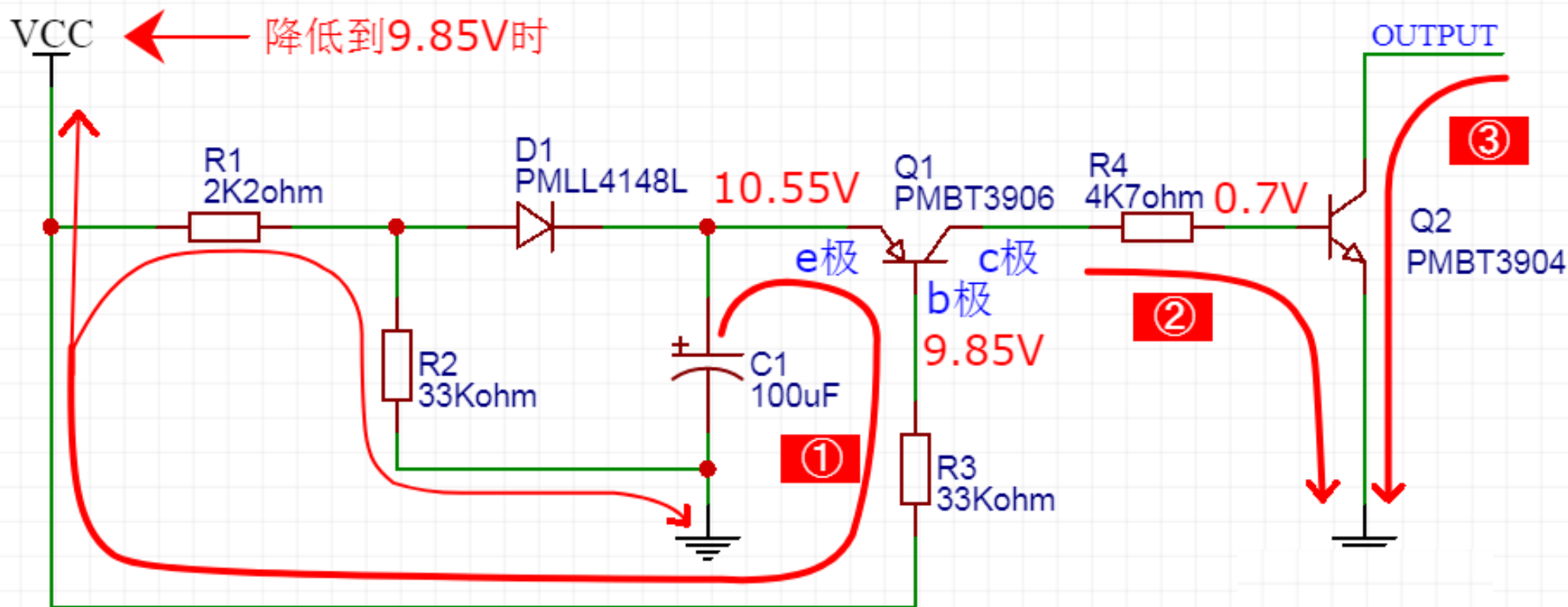
# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路

2、VCC稳定在12V后，Q1的b极也为12V。由于b极比e极电压还高，三极管Q1不导通。Q1不导通，则Q2的b极没有电压，Q2也不导通。



# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路

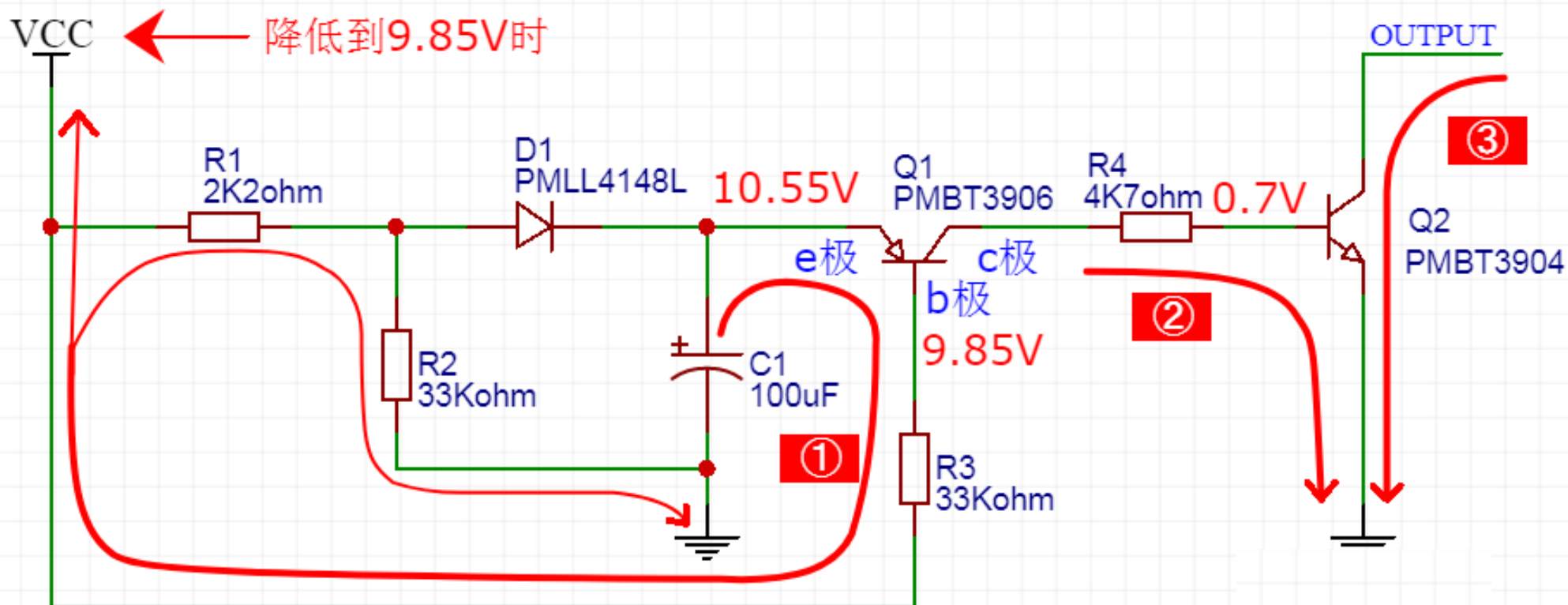
3、当VCC掉电时，需要掉到一定的阈值，Q2才会导通，并对外输出VCC掉电的信号。



放电回路①：当VCC降低到9.85V时，电容C1的电压为充满电时的10.55V，比Q1的b极（9.85V）高0.7V，C1通过Q1的eb极、电阻R3，分别放电到VCC，以及经电阻R1、R2到地。于是Q1被打开。（值得说明的是，放到VCC的电，最终通过VCC的各种负载，还是回到了地。）

# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路

3、当VCC掉电时，需要掉到一定的阈值，Q2才会导通，并对外输出VCC掉电的信号。

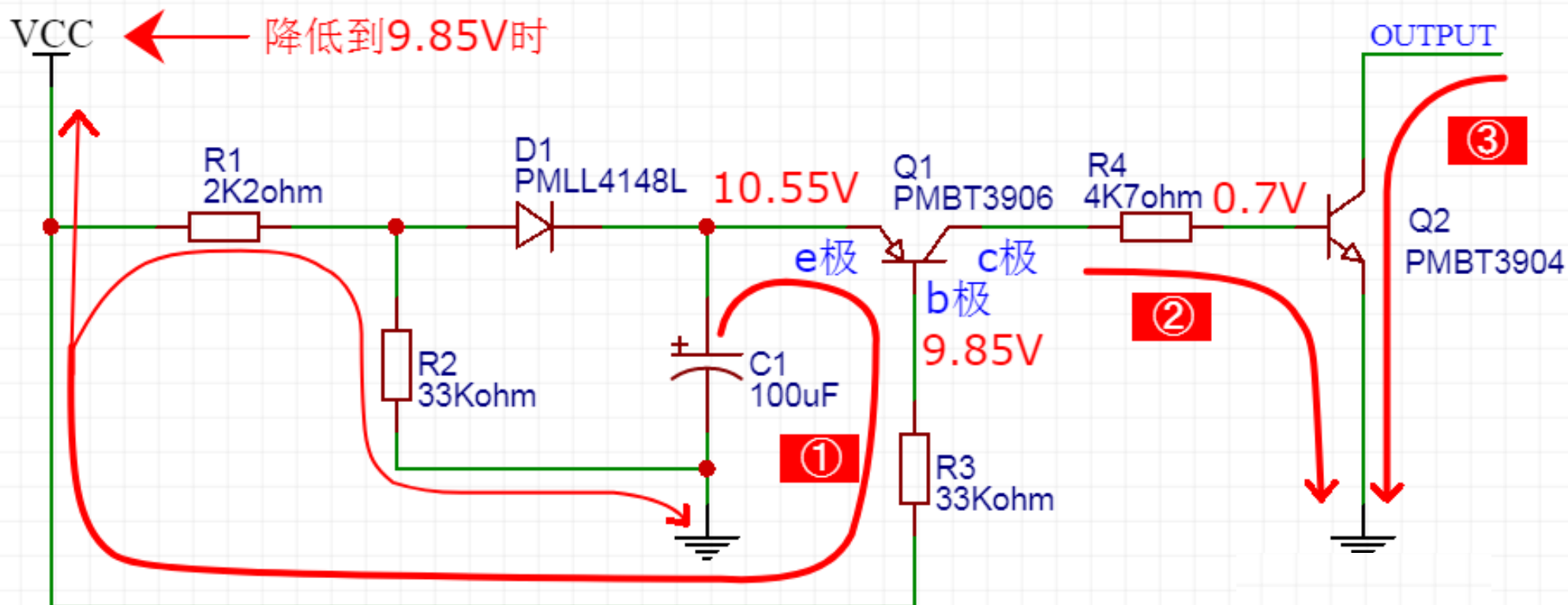


放电回路②：Q1被打开后，电容C1的电压通过Q1的ec极、电阻R4、Q2的be极到地。Q2的b极电压为0.7V，于是Q2被打开。

放电回路③：Q2被打开后，将外接的电路电压拉到地，通过这个动作告知外部电路：VCC掉电啦！

# 三极管应用电路举例：电压掉电监测电路

3、当VCC掉电时，需要掉到一定的阈值，Q2才会导通，并对外输出VCC掉电的信号。



可以设定电压侦测电路的响应阈值：方法是调整R1与R2的比值。上面的例子是VCC掉电到9.85V时，电路输出掉电信号。

可以设定电路输出掉电信号的持续时间：方法是调整C1的容值、电阻R3的阻值。如增大C1、R3和R4的值，可以延长C1放电的时间，也就延长了Q2持续拉低的时间，最终延长了电路输出掉电信号的持续时间。