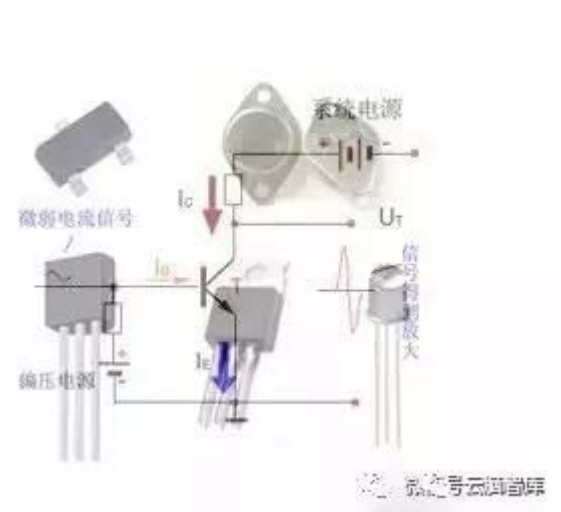


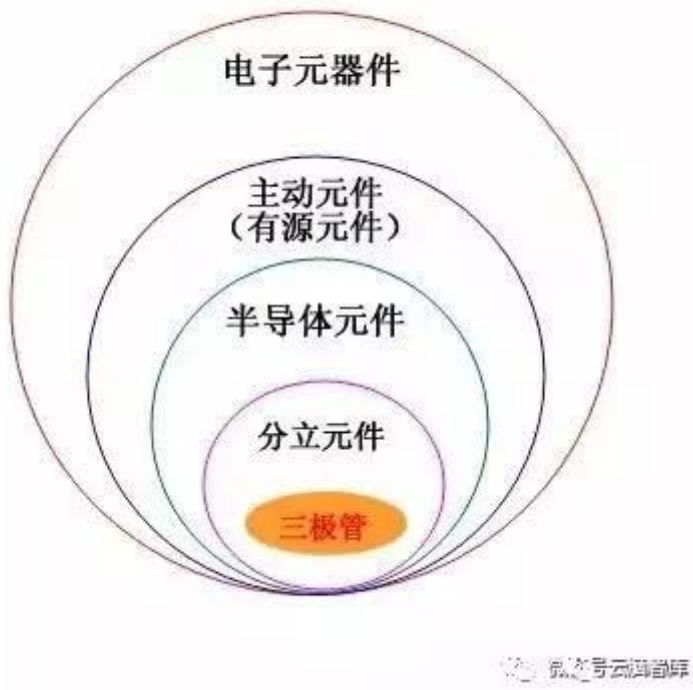
图说三极管

硬件十万个为什么 今天



"晶体三极管，是半导体基本元器件之一，具有电流放大作用，是电子电路的核心元件"

在电子元件家族中，三极管属于半导体主动元件中的分立元件。



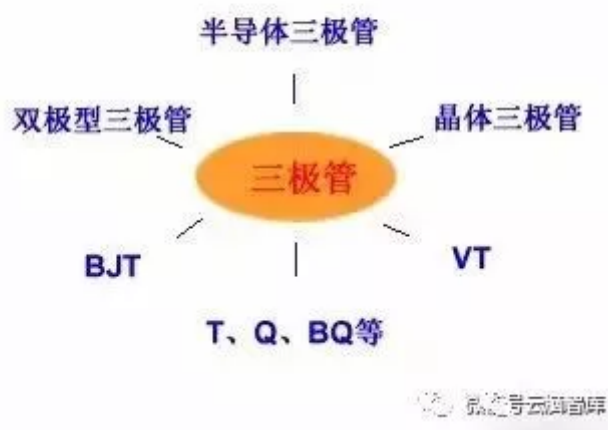
广义上，三极管有多种，常见如下图所示。



狭义上，三极管指双极型三极管，是最基础最通用的三极管。

本文所述的是狭义三极管，它有很多别称：

三极管的别称



三极管的发明

晶体三极管出现之前是真空电子三极管在电子电路中以放大、开关功能控制电流。



真空电子管存在笨重、耗能、反应慢等缺点。

二战时，军事上迫切需要一种稳定可靠、快速灵敏的电信号放大元件，研究成果在二战结束后获得。

晶体三极管的发明

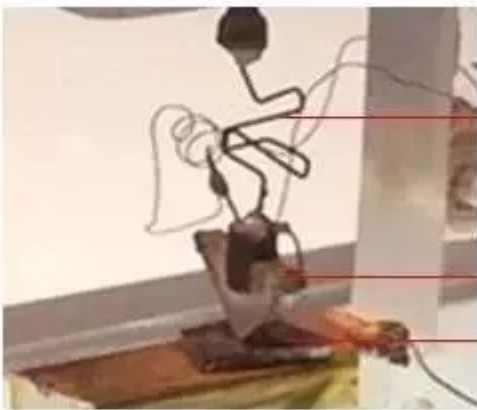


发明时间：
战后的1947年

发明机构：
美国贝尔实验室

发明人(3人共同)：
巴丁
布莱顿
肖克利

第一只晶体三极管是锗材料做的



压力弹簧

表面金箔楔子

N型锗晶体

晶体三极管3名共同发明人同获1956年诺贝尔物理学奖

来源：网络

早期，由于锗晶体较易获得，主要研制应用的是锗晶体三极管。硅晶体出现后，由于硅管生产工艺很高效，锗管逐渐被淘汰。

经半个世纪的发展，三极管种类繁多，形貌各异。

各种各样的三极管外观



小功率三极管一般为塑料包封；

大功率三极管一般为金属铁壳包封。

三极管核心结构

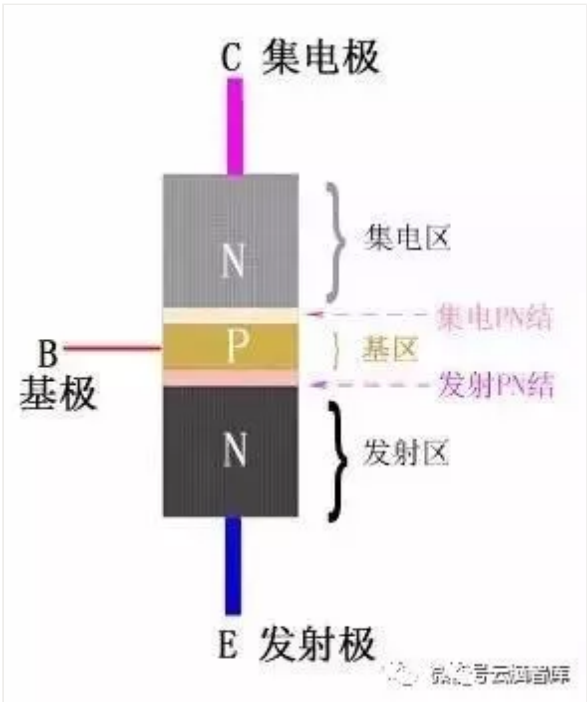
核心是“PN”结

是两个背对背的PN结

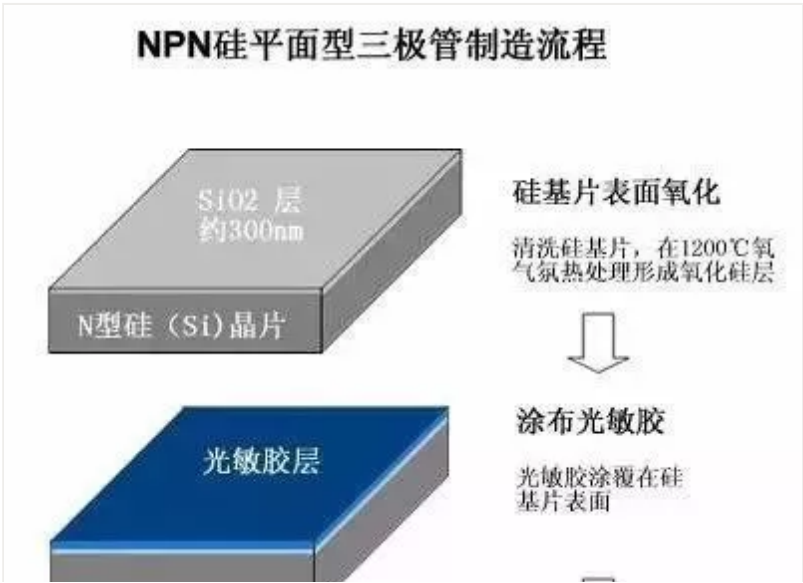
可以是NPN组合，也或是PNP组合

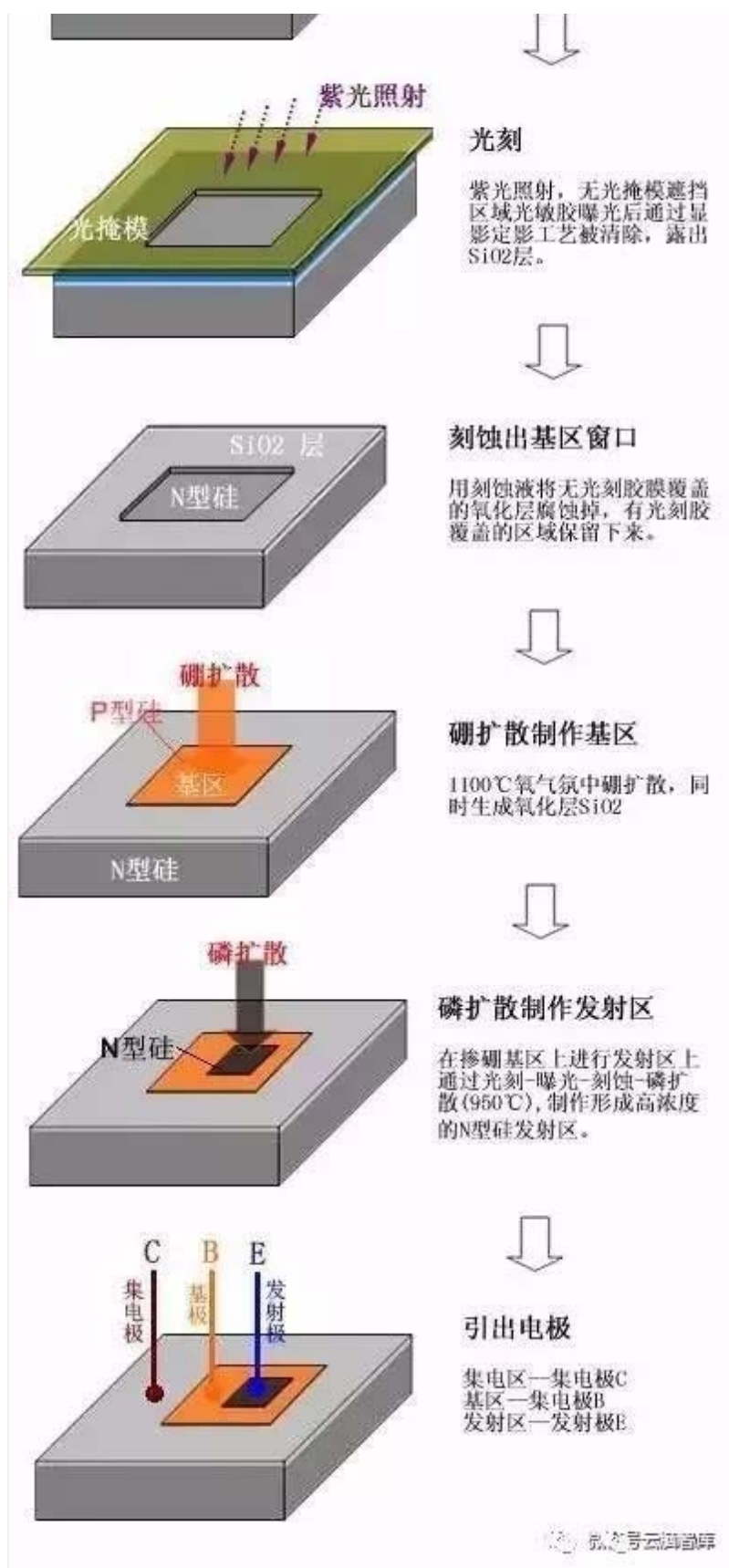
由于硅NPN型是当下三极管的主流，以下内容主要以硅NPN型三极管为例！

NPN型三极管结构示意图

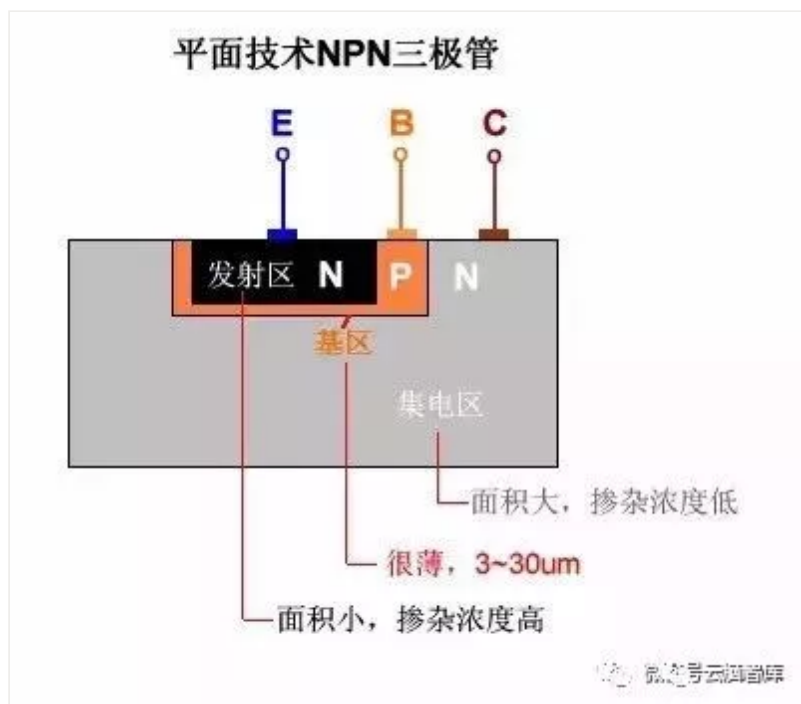


硅NPN型三极管的制造流程





管芯结构切面图



工艺结构特点：

发射区高掺杂：为了便于发射结发射电子，发射区半导体掺杂浓度高于基区的掺杂浓度，且发射结的面积较小；

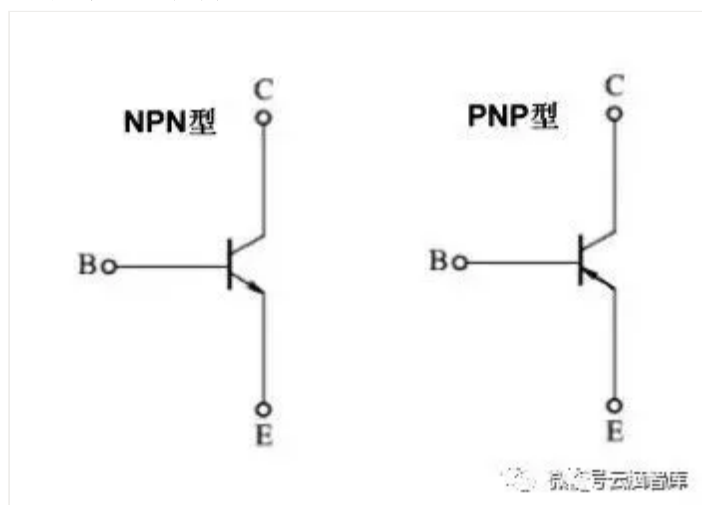
基区尺度很薄：3~30 μm ，掺杂浓度低；

集电结面积大：集电区与发射区为同一性质的掺杂半导体，但集电区的掺杂浓度要低，面积要大，便于收集电子。

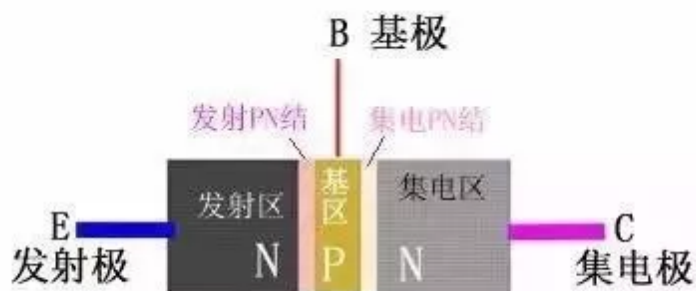
三极管不是两个PN结的简单拼凑，两个二极管是组成不了一个三极管的！

工艺结构在半导体产业相当重要，PN结不同材料成份、尺寸、排布、掺杂浓度和几何结构，能制成各种各样的元件，包括IC。

三极管电路符号



三极管电流控制原理示意图

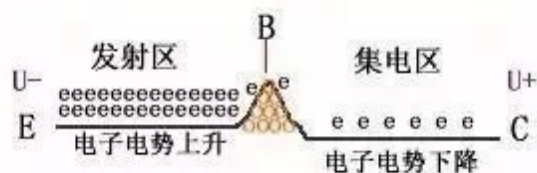


当集\射\基极间没有外加电压时



发射区浓厚的电子被基区势堆挡住不能流到集电区

当集电极C与发射极E之间加上电压时



刚开始,会有极少量发射区电子会流到集电区,但基区势堆仍然挡住绝大多数的发射区电子流到集电区

当集-射极加上电压同时,在基极加一正电压



大量发射区电子被吸引上基区势堆顶部,电子会自动会跌入到势堆集电区一侧,由此产生源源不断的电流。

可通过控制基极电压的“有无”来实现集-射电路上电流的通断（开关）；

可通过控制基极电压的“大小”来实现集-射电路上电流的大小。

三极管基本电路

外加电压使发射结正向偏置，集电结反向偏置。



集/基/射电流关系：

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = \beta * I_B$$

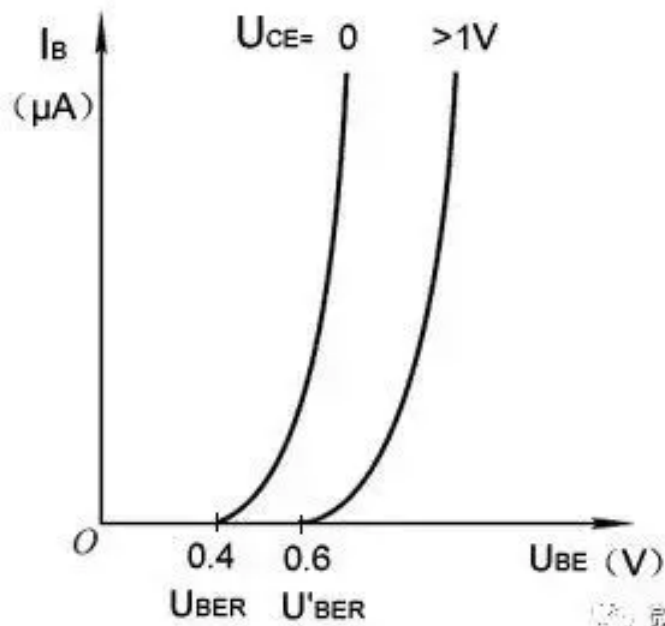
如果 $I_B = 0$, 那么 $I_E = I_C = 0$

三极管特性曲线

输入特性曲线

集-射极电压 U_{CE} 为某特定值时，基极电流 I_B 与基-射电压 U_{BE} 的关系曲线。

三极管输入特性曲线



U_{BER} 是三极管启动的临界电压，它会受集射极电压大小的影响，正常工作时，NPN硅管启动电压约为0.6V；

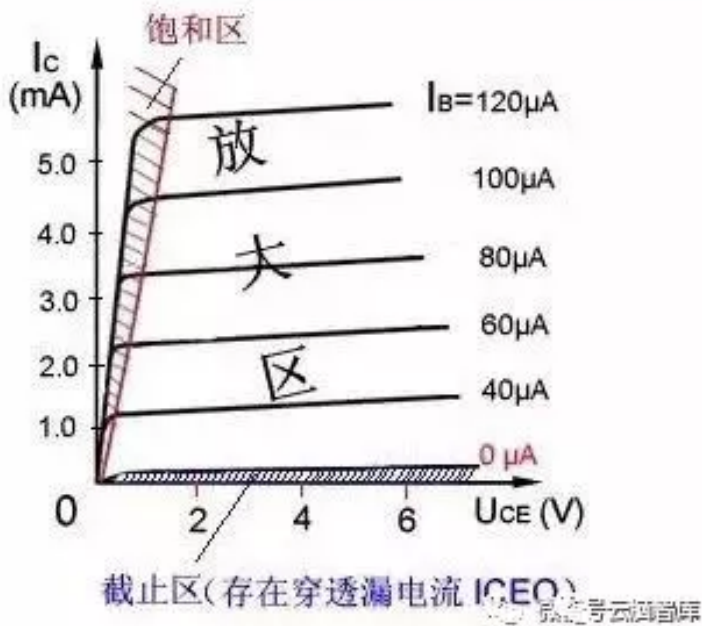
$U_{BE} < U_{BER}$ 时，三极管高绝缘， $U_{BE} > U_{BER}$ 时，三极管才会启动；

U_{CE} 增大，特性曲线右移，但当 $U_{CE} > 1.0V$ 后，特性曲线几乎不再移动。

输出特性曲线

基极电流 I_B 一定时，集极 I_C 与集-射电压 U_{CE} 之间的关系曲线，是一组曲线。

三极管输出特性曲线



当 $I_B = 0$ 时, $I_C \rightarrow 0$, 称为三极管处于截止状态, 相当于开关断开;

当 $I_B > 0$ 时, I_B 轻微的变化, 会在 I_C 上以几十甚至百多倍放大表现出来;

当 I_B 很大时, I_C 变得很大, 不能继续随 I_B 的增大而增大, 三极管失去放大功能, 表现为开关导通。

三极管核心功能：

放大功能：小电流微量变化, 在大电流上放大表现出来。

开关功能：以小电流控制大电流的通断。

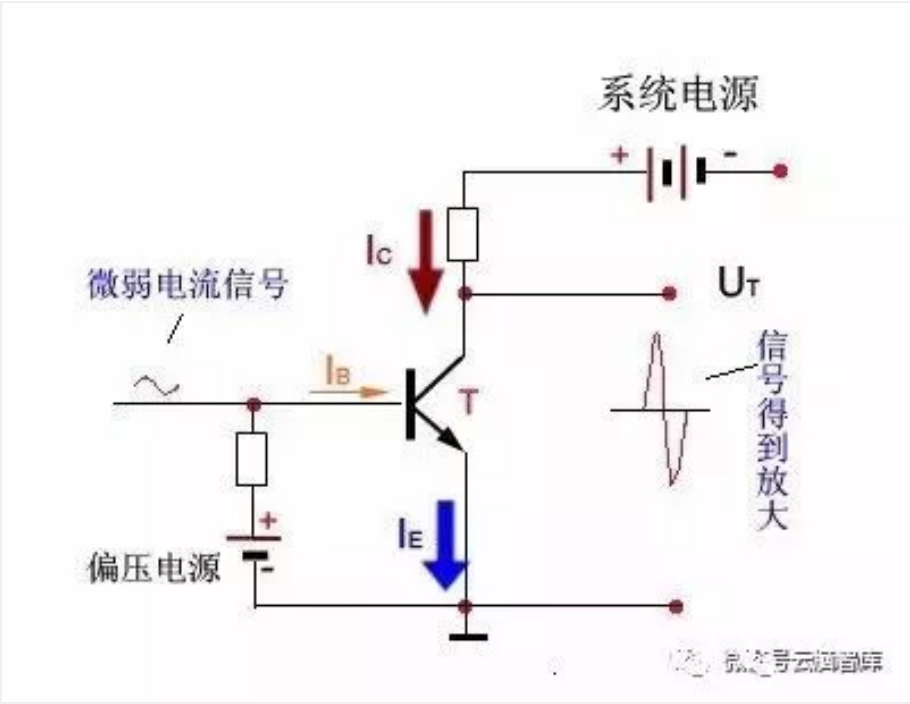
三极管的放大功能

$$I_C = \beta * I_B \quad (\text{其中 } \beta \approx 10 \sim 400)$$

例：当基极通电流 $I_B = 50 \mu A$ 时, 集极电流:

$$I_C = \beta I_B = 120 * 50 \mu A = 6000 \mu A$$

微弱变化的电信号通过三极管放大成波幅度很大的电信号, 如下图所示：



所以，三极管放大的是信号波幅，三极管并不能放大系统的能量。

能放大多少？
哪要看三极管的放大倍数 β 值了！

首先 β 由三极管的材料和工艺结构决定：
如硅三极管 β 值常用范围为：30~200
锗三极管 β 值常用范围为：30~100
 β 值越大，漏电流越大， β 值过大的三极管性能不稳定。

其次 β 会受信号频率和电流大小影响：
信号频率在某一范围内， β 值接近一常数，当频率越过某一数值后， β 值会明显减少。
 β 值随集电极电流 I_C 的变化而变化， I_C 为mA级别时 β 值较小。一般地，小功率管的放大倍数比大功率管的大。

三极管主要性能参数

三极管性能参数较多，有直流、交流和极限参数之分：

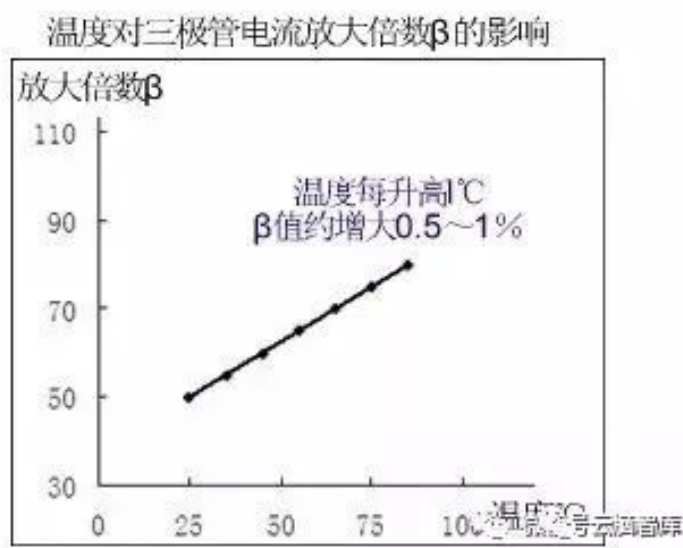
| 类型 | 参数项 | 符号 | 意义 |
|----|----------|----------|--|
| 直流 | 共射直流放大系数 | β | 无交变信号输入，共射电路集基电流的比值。 $\beta = I_C / I_B$ |
| | 共基直流放大系数 | α | 无交变信号输入，共基极电路集射的比值。 |
| | | | |

| | | | |
|------------------|-------------|------------|--|
| 参 数 | 集-射 反向电流 | I_{CEO} | 基极开路，集-射极间反向电流，又称漏电流、穿透电流。 |
| | 集极 反向电流 | I_{CBO} | 射极开路时，集电结反向电流（漏电流） $I_{CEO} = \beta I_{CBO}$ |
| 交 流 参 数 | 共射交流放大系数 | β | 共射电路，集基电流变化量比值： $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ |
| | 共基交流放大系数 | α | 共基电路，集射电流变化量比值： $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$ |
| | 共射截止频率 | f_β | β 因频率升高3dB对应的频率 |
| | 共基截止频率 | f_α | α 因频率升高而下降3dB对应的频率 |
| | 特征频率 | f_T | 频率升高， β 下降到1时对应的频率。 |
| 极 限 参 数 | 集极最大电流 | I_{CM} | 集极允许通过的最大电流。 |
| | 集极最大功率 | P_{CM} | 实际功率过大，三极管会烧坏。 |
| | 集-射极击穿电压 | U_{CEO} | 基极开路时，集-射极耐电压值。 |

温度对三极管性能的影响

温度几乎影响三极管所有的参数，其中对以下三个参数影响最大。

（1）对放大倍数 β 的影响：

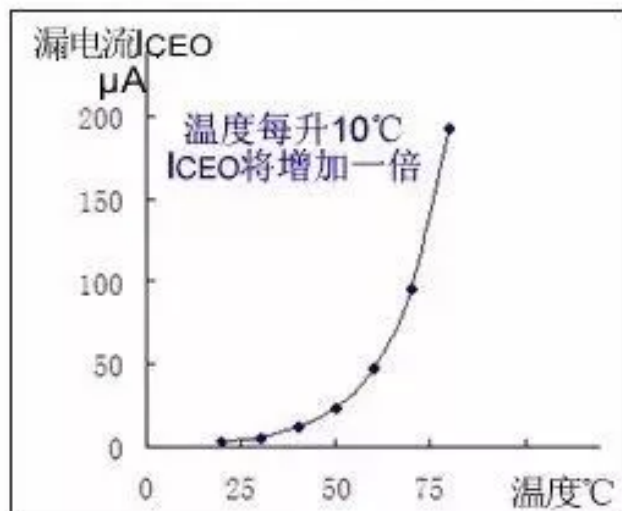


在基极输入电流 I_B 不变的情况下，集极电流 I_C 会因温度上升而急剧增大。

（2）对反向饱和电流（漏电流） I_{CEO} 的影响：

I_{CEO} 是由少数载流子漂移运动形成的，它与环境温度关系很大， I_{CEO} 随温度上升会急剧增加。温度上升10℃， I_{CEO} 将增加一倍。

温度对三极管集射漏电流的影响



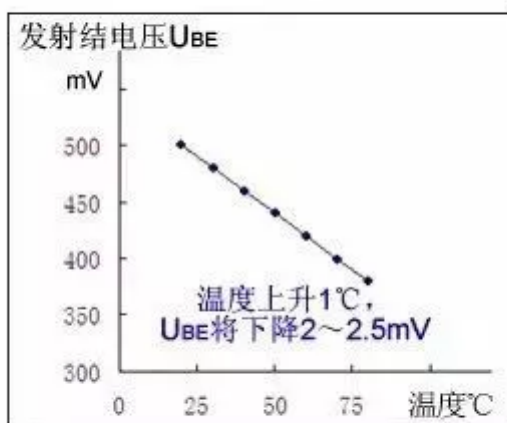
来源: 电子技术基础

虽然常温下硅管的漏电流 I_{CEO} 很小，但温度升高后，漏电流会高达几百微安以上。

(3) 对发射结电压 U_{BE} 的影响：

温度上升 1°C ， U_{BE} 将下降约 2.2mV 。

温度对发射结电压 U_{BE} 的影响



来源: 电子技术基础

温度上升， β 、 I_C 将增大， U_{CE} 将下降，在电路设计时应考虑采取相应的措施，如远离热源、散热等，克服温度对三极管性能的影响。

三极管的分类

| 分类角度 | | 种类 | 说明 |
|------|-----|-----------|------|
| 从技 | 按材料 | 硅三极管 0.6V | 一般地： |

| | | | |
|---------------|----------|---|----------------------|
| 术工 艺 | | 锗三极管 0.3V | 锗管为PNP型 硅管为NPN型 |
| | 按结构 | PNP型 NPN型 | |
| | 按制造工艺 | 平面型 合金型 扩散型 | 高频管多为扩散型 低频管多为合金型 |
| 从性 能 | 按频率 | 低频管 <3MHz 中频管 3~30(MHZ) 高频管 30~500 (MHZ) 超高频管 >500MHZ | |
| | 按功率 | 小功率 $P_{CM} < 0.5W$ 中功率 $0.5 < P_{CM} < 1w$ 大功率 $P_{CM} > 1w$ | |
| | 功能 用途 | 放大管 开关管 高反压管 光电管 带阻尼管 数字管 | |
| 从封 装外 形 | 按封装材料 | 金属封装 玻璃封装 陶瓷封装 塑料封装 薄膜封装 | 塑料封装为主流 金属封装成本较高 |
| | 按封装形式 | 引线式 TO 贴片式 SOT | 贴片式正逐步取代引线式。 |

三极管命名标识

不同的国家/地区对三极管型号命名方式不同。还有很多厂家使用自己的命名方式。

中国大陆三极管命名方式

| 3 | D | D | 12 | X |
|----------------|--------------------------------------|--|----|-----|
| 2：二极管 3：三极管 | A：PNP锗 B：NPN锗 C：PNP硅 D：NPN硅 | X：低频小功率 G：高频小功率 D：低频大功率 A：高频大功率 | 序号 | 规格号 |

例：3DD12X NPN型低频大功率硅三极管

日本三极管型号命名方式

| 2 | S | D | 13 | B |
|---|---|---|----|---|
| | | | | |

| | | | | |
|-------|-----|----------|-------|-----|
| 0：光电管 | 注册标 | A：PNP高频管 | 电子协会登 | 改进型 |
| 1：二极管 | 识 | B：PNP低频管 | 记顺序 | 号 |
| 2：三极管 | | C：NPN高频管 | | |
| | | D：NPN低频管 | | |

例：2SC1895 高频NPN型三极管

美国电子工业协会（EIA）三极管命名方式

| JANS | 2 | N | 2904 | A |
|------------|-----------------|-------|---------|-----|
| JANTX：特军级 | 1：二极管 | EIA注册 | EIA 登 记 | 不 同 |
| JANTXV：超特军 | 2：三极管 | 标识 | 顺序号 | 档别 |
| JANS：宇航级 | “n”：n个PN 结元件 | | | |
| （无）：非军用品 | | | | |

例：JANS2N2904 宇航级三极管

欧洲三极管命名方式

| B | C | 208 | A |
|------|---------|-------|-------------|
| A：锗管 | C：低频小功率 | 登记顺序号 | β 的档别 |
| B：硅管 | D：低频大功率 | | |
| | F：高频小功率 | | |
| | L：高频大功率 | | |

例：BC208A 硅材料低频小功率三极管

三极管封装及管脚排列方式

关于封装：

三极管设计额定功率越大，其体积就越大，又由于封装技术的不断更新发展，所以三极管有多种多样的封装形式。

当前，塑料封装是三极管的主流封装形式，其中“TO”和“SOT”形式封装最为常见。

关于管脚排列：

不同品牌、不同封装的三极管管脚定义不完全一样的，一般地，有以上规律：

规律一：对中大功率三极管，集电极明显较粗大甚至以大面积金属电极相连，多处于基极和发射极之间；

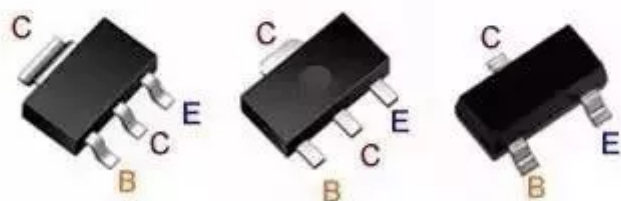
规律二：对贴片三极管，面向标识时，左为基极，右为发射极，集电极在另一边；

三极管常见封装及管脚排列

TO封装 (Transistor Outline)



SOT封装 (Small Outline Transistor)



由于电流较大或散热需要，功率较大的三极管集电极引脚一般较大或面积较大，较好辨认。

图 2-1-1 三极管封装及管脚排列

基极 — B 集电极 — C 发射极 — E

三极管的选用原则

考虑三极管的性能极限，按“2/3”安全原则选择合适的性能参数。：

集电极电流 I_C ：

$$I_C < 2 / 3 * I_{CM}$$

I_{CM} 集极最大允许电流

当 $I_C > I_{CM}$ 时，三极管 β 值减小，失去放大功能。

集极功率 P_W ：

$$P_W < 2 / 3 * P_{CM}$$

P_{CM} 集极最大允许功率。

当 $P_W > P_{CM}$ 三极管将烧坏。

集-射反向电压 U_{CE} :

$$U_{CE} < 2/3 * U_{BVCEO}$$

U_{BVCEO} 基极开路时,集-射反向击穿电压

集/射极间电压 $U_{CE} > U_{BVCEO}$ 时,三极管产生很大的集电极电流击穿,造成永久性损坏。

工作频率 f :

$$f = 15\% * f_T$$

f_T — 特征频率

随着工作频率的升高,三极管的放大能力将会下降,对应于 $\beta = 1$ 时的频率 f_T 叫作三极管的特征频率。

此外,还应考虑体积成本,优先选用贴片式三极管。

本文来自《云脑智库》