

学习情境二 晶体管 and 场效应管

第一单元 晶体管

情境导入

某单位需要制作一批高亮 LED 闪灯，形状不定，可以为直线、圆形、心形，颜色为彩色（三种以上），数量为20个，供电电压为4~5 V。如果电路不加驱动模块，4.5 V电压是不能正常驱动20个高亮LED的，所以要在电路中加入驱动模块。元件清单为：闪灯芯片TC4008一块、万能板一块、电阻（4.7 kΩ四个、100 Ω五个）、104电容、晶体管（9012四个）、发光二极管（绿、红、蓝、黄各五个）、电池盒一个。20个高亮LED分成四组，每组一种颜色，在电路板上排成心形图案，这四组LED分别由晶体管驱动，通过闪灯芯片TC4008控制，按照八种不同的方式闪烁，并依次循环。若在相对较黑的环境中使用，距离2 m 以外观看，灯光效果十分生动、有趣。那么怎么使用晶体管制作驱动电路呢？

学习导航

- 1.掌握晶体管内部载流子的流动方向和特性曲线，理解晶体管放大的实质。
- 2.掌握如何运用晶体管的特性曲线来解决实际问题。
- 3.掌握场效应管的结构、工作原理和特性曲线。

育人目标

了解我国半导体产品的发展历史，学习前辈的创新精神和爱岗敬业的高尚情操，坚定学生投身国家科技发展的信念。

知识目标

- 1.掌握晶体管的结构和类型。
- 2.熟悉晶体管的图形符号、电流放大作用、特性曲线、主要参数及温度对特性的影响。

技能目标

通过本单元的学习，掌握晶体管电极和管型的判别方法；能熟练使用晶体管制作驱动电路。

基础知识

晶体管又称三极管，是一种电流控制电流的半导体器件，其作用是把微弱信号放大成幅值较大的电信号，也用作无触点开关。晶体管是在一块半导体基片上制作两个相距很近的 PN 结，两个 PN 结把整块半导体分成三部分，中间部分是基区，两侧部分是发射区和集电区。

一、 晶体管的类型

晶体管的种类很多，按功率大小可分为大功率管和小功率管；按电路中的工作频率可分为超频管、高频管和低频管；按半导体材料不同可分为硅管和锗管；按结构不同可分为 NPN 型晶体管和 PNP 型晶体管；按安装方式可分为插件晶体管和贴片晶体管，如图2-1所示。



图 2-1 几种常见晶体管的外形

二、晶体管的基本结构

无论是 NPN 型晶体管还是 PNP 型晶体管，都分为三个区，分别为发射区、基区和集电区，由三个区各引出一个电极，分别称为发射极（e）、基极（b）和集电极（c），发射区和基区之间的 PN 结称为发射结，集电区和基区之间的 PN 结称为集电结。晶体管的结构示意图和图形符号如图2-2所示，其中发射极箭头所示方向表示发射极电流的流向。

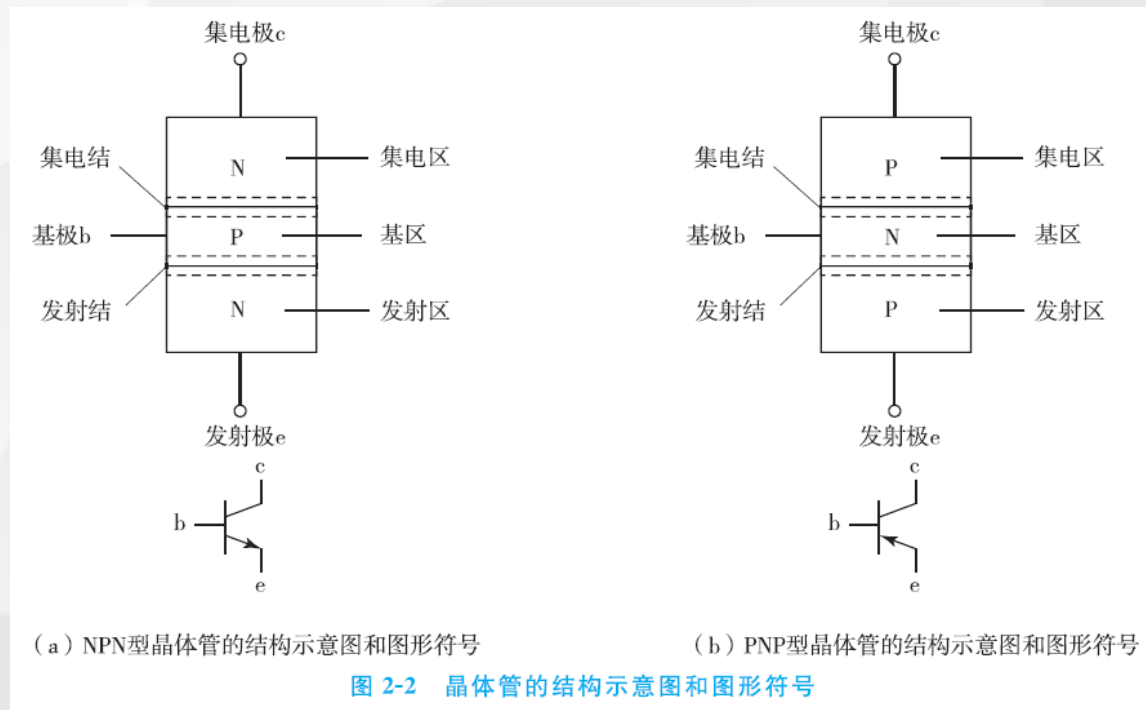


图 2-2 晶体管的结构示意图和图形符号

三、载流子的流动和晶体管的放大作用

晶体管按材料分为锗管和硅管，每一种又有NPN和PNP两种结构形式，使用最多的是NPN硅管和PNP锗管。两者的电源极性不同，但工作原理相同，下面仅介绍NPN硅管的电流放大原理。

NPN硅管由两块N型半导体中间夹着一块P型半导体所组成。

（一）晶体管放大的条件

1.外部条件

外部条件为发射结正偏，集电结反偏。当基极b电位高于发射极e电位零点几伏时，发射结处于正偏状态，而集电极c电位高于基极b电位几伏时，集电结处于反偏状态。

2.内部条件

在制造晶体管时，有意识地使发射区的多数载流子浓度大于基区的，同时将基区做得很薄，而且严格控制杂质含量。这样，一旦接通电源，由于发射结正偏，发射区的多数载流子（自由电子）及基区的多数载流子（空穴）很容易越过发射结互相向对方扩散，但因前者的浓度大于后者，所以通过发射结的电流基本上是电子流，称为发射极电流 I_E 。

第一单元 晶体管

(二) 晶体管的电流分配关系和放大作用

现以NPN硅管为例来说明晶体管各极间电流的分配关系及电流放大作用。如图 2-3所示， V_{BB} 为基极电源，与基极电阻 R_B 及晶体管的基极b、发射极e组成基极-发射极回路（称为输入回路）， V_{BB} 使发射结正偏； V_{CC} 为集电极电源，与集电极电阻 R_C 及晶体管的集电极c、发射极 e 组成集电极-发射极回路（称为输出回路）， V_{CC} 使集电结反偏。图2-3中，发射极 e 是输入、输出回路的公共端，改变可变电阻 R_B ，测基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射结电流 I_E ，结果见表2-1。这种接法称为共发射极放大电路。

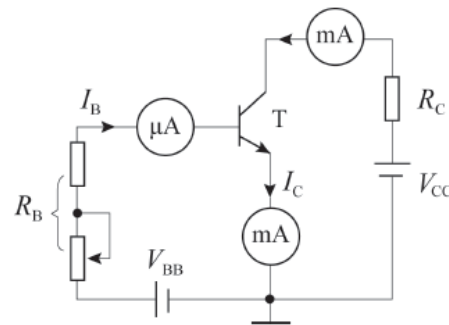


图 2-3 共发射极放大电路

表 2-1 晶体管电流测试数据

$I_B/\mu A$	0	20	40	60	80	100
I_C/mA	0.005	0.99	2.08	3.17	4.26	5.40
I_E/mA	0.005	10.01	2.12	3.23	4.34	5.50

第一单元 晶体管

从实验结果可得如下结论。

(1) $I_E = I_B + I_C$ 。此关系就是晶体管的电流分配关系，它符合基尔霍夫电流定律。

(2) I_E 和 I_C 几乎相等，但远大于基极电流 I_B ，从表2-1中第三列和第四列的实验数据可知 I_C 与 I_B 的比值分别为

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.08}{0.04} = 52, \quad \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.17}{0.06} = 52.8$$

I_B 的微小变化会引起 I_C 的较大变化，计算可得

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_{C4} - I_{C3}}{I_{B4} - I_{B3}} = \frac{3.17 - 2.08}{0.06 - 0.04} = \frac{1.09}{0.02} = 54.5$$

计算结果表明，微小的基极电流变化，可以控制比其大数十倍至数百倍的集电极电流的变化，这就是晶体管的电流放大作用。 β_1 、 β 称为电流放大系数。

四、晶体管的特性曲线

晶体管的特性曲线是用来表示各个电极间电压和电流之间相互关系的，它反映了晶管的性能，是分析放大电路的重要依据。特性曲线可由实验测得，也可在晶体管图示仪上直观地显示出来。下面以图2-3所示电路来测量晶管的各项参数。

(一) 输入特性曲线

晶管的输入特性曲线表示以 U_{CE} 为参考变量时 I_B 和 U_{BE} 的关系，即

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{常数}} \quad (2-1)$$

图2-5所示是晶管的输入特性曲线。由图可见，晶管的输入特性具有以下特点。

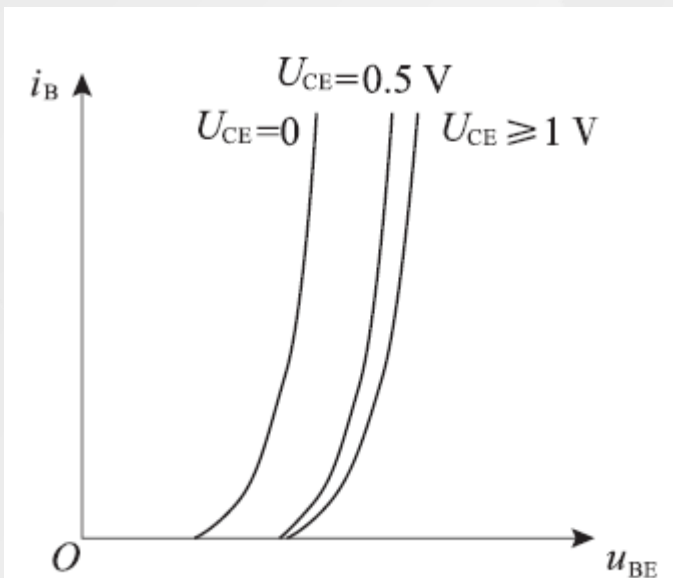


图 2-5 晶管的输入特性曲线

(1) 输入特性也有一个“死区”。在“死区”内， U_{BE} 虽已大于零，但 I_B 几乎仍为零。当 U_{BE} 大于某一值后， I_B 才随 U_{BE} 增大而明显增大。若为NPN型晶体管，和二极管一样，硅晶体管的死区电压 U_T （或称为门槛电压）约为0.5 V，发射结导通电压 U_{BE} 为0.6 ~ 0.7 V；锗晶体管的死区电压 U_T 约为0.2 V，发射结导通电压为0.2 ~ 0.3 V。若为PNP型晶体管，则发射结导通电压 U_{BE} 分别为-0.7 ~ -0.6 V和-0.3 ~ -0.2 V。

(2) 一般情况下，当 $U_{CE} > 1 V$ 以后，输入特性几乎与 $U_{CE}=1 V$ 时的重合，因为 $U_{CE} > 1 V$ 后， I_B 无明显改变了。晶体管工作在放大状态时， U_{CE} 总是大于 1 V的（集电结反偏），因此常用 $U_{CE} \geq 1 V$ 的一条曲线来代表所有输入特性曲线。

课堂讨论：

晶体管的输入特性曲线为什么像PN结的伏安特性曲线？为什么 U_{CE} 增大时曲线右移？为什么 U_{CE} 增大到一定值时曲线右移就不明显了？

(二) 输出特性曲线

晶体管的输出特性曲线表示以 I_B 为参考变量时 I_C 和 U_{CE} 的关系，即

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

图 2-6 所示是晶体管的输出特性曲线，当 I_B 改变时，可得一组曲线族，由图可见，输出特性曲线可分放大、截止和饱和三个区域。这三个区域的特点见表 2-2。

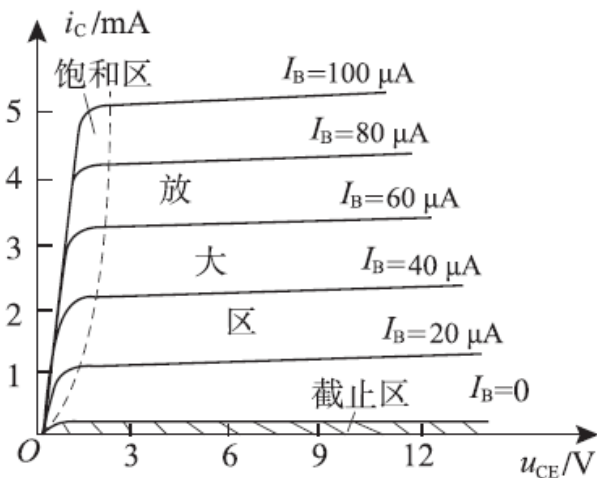


图 2-6 晶体管的输出特性曲线

表 2-2 截止区、放大区、饱和区的特点

区域	U_{BE}	I_C	U_{CE}
截止区	$< U_{on}$	I_{CEO}	V_{CC}
放大区	$\geq U_{on}$	$< \beta i_B$	$\geq U_{BE}$
饱和区	$\geq U_{on}$	$< \beta i_B$	$\leq U_{BE}$

第一单元 晶体管

(1) **截止区**。 $I_B = 0$ 的特性曲线以下区域称为截止区。在这个区域中，集电结处于反偏， $U_{BE} \leq 0$ ，发射结反偏或零偏，即 $V_C > V_E \geq V_B$ 。电流 I_C 很小，等于反向穿透电流 I_{CEO} 。工作在截止区时，晶体管在电路中犹如一个断开的开关。

(2) **饱和区**。特性曲线靠近纵轴的区域是饱和区。当 $U_{CE} < U_{BE}$ 时，发射结、集电结均处于正偏，即 $V_B > V_C > V_E$ 。工作在饱和区时， I_B 增大， I_C 几乎不再增大，晶体管失去放大作用。规定 $U_{CE} = U_{BE}$ 时的状态称为临界饱和状态，用 U_{CES} 表示，此时集电极临界饱和电流为

基极临界饱和电流为

$$I_{CS} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_C} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta}$$

当集电极电流 $I_C > I_{CS}$ 时，认为晶体管已处于饱和状态。 $I_C < I_{CS}$ 时，晶体管处于放大状态。

深度饱和时，硅晶体管的 U_{CE} 约为 0.3 V，锗晶体管的 U_{CE} 约为 0.1 V，由于深度饱和时 U_{CE} 约为 0，晶体管在电路中犹如一个闭合的开关。

(3) **放大区**。特性曲线近似水平直线的区域称为放大区。在这个区域中，发射结正偏，集电结反偏，即 $V_C > V_B > V_E$ 。其特点是 I_C 的大小受 I_B 控制， $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$ ，晶体管具有电流放大作用。工作在放大区时， β 约为一个常数， I_C 几乎按一定比例等距离平行变化。由于 I_C 只受 I_B 控制，几乎与 U_{CE} 的大小无关。此时，特性曲线反映出恒流源的特点，即晶体管可看作受基极电流控制的受控恒流源。

课堂讨论：

在晶体管的输出特性曲线中，为什么 U_{CE} 较小时 I_C 随 U_{CE} 变化很大？为什么进入放大状态后，其输出特性曲线几乎是横轴的平行线？

五、晶体管的主要参数

晶体管的参数是用来表示晶体管各种性能的指标,是评价晶体管的优劣和选用晶体管的依据,也是计算和调整晶体管电路时必不可少的根据。晶体管的主要参数有以下几个。

(一) 电流放大系数

(1) 共射直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 。它表示集电极电压一定时,集电极电流和基极电流之间的关系,即

$$\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \quad (2-5)$$

(2) 共射交流电流放大系数 β 。它表示在 U_{CE} 保持不变的条件下,集电极电流的变化量与相应的基极电流变化量之比,即

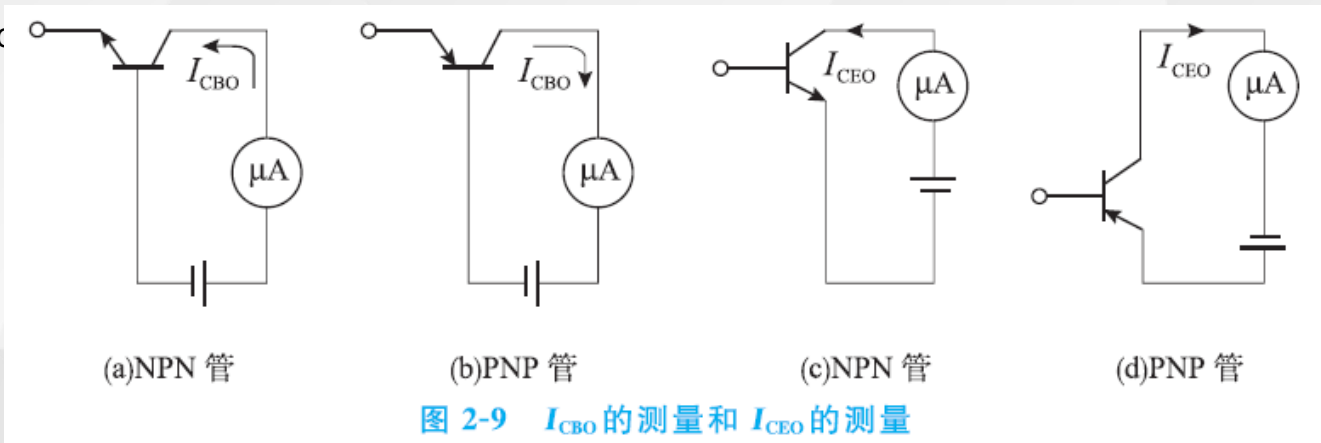
$$\beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = \text{常数}} \quad (2-6)$$

(二) 极间电流

(1) **集电极反向饱和电流 I_{CBO}** 。 I_{CBO} 是指发射极开路，集电极与基极之间加反向电压时产生的集电极电流，可以用图2-9a、b所示的电路测出。手册上给出的 I_{CBO} 都是在规定的反向电压之下测出的。反向电压大小改变时， I_{CBO} 的数值可能稍有改变。另外， I_{CBO} 是少数载流子电流，随温度变化而变化，影响晶体管工作的稳定性。作为晶体的性能指标， I_{CBO} 越小越好，硅管的 I_{CBO} 比锗管的 I_{CBO} 小得多，大功率管的 I_{CBO} 较大，使用时应予以注意。

(2) **穿透电流 I_{CEO}** 。 I_{CEO} 是基极开路，集电极与发射极间加电压时的集电极电流，由于这个电流由集电极穿
过基区流到发射极，故称为穿透电流。测量 I_{CEO} 的电路如图2-9c、d所示。根据晶体管的电流分配关系可知：

$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 。故



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/406020214242011013>