

晶体管使用手册

(美) 约翰·迪·仁克 著



JING TI GUAN
SHI YONG SHOU CE

福建科学技术出版社

晶体管使用手册

〔美〕约翰·迪·仁克著

姚源金 编译

*

福建科学技术出版社出版

(福州得贵巷27号)

福建省新华书店发行

福建新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 19.875印张 442千字

1984年4月第1版

1984年4月第1次印刷

印数: 1—20,520

书号: 15211·22 定价: 2.25元

前 言

近几年来，我国电子工业发展很快，广大群众手中的收录机、电视机、洗衣机、电子玩具等家用电器日益增多。为帮助无线电专业人员和广大群众熟悉国内外晶体管的使用与代用，更好地用好家用电器，我们编译了这本《晶体管使用手册》。

《手册》主要是根据〔美〕约翰·迪·仁克著的《晶体管手册》一书编译而成的。它从理论与实践两个方面比较详细地叙述了单结、双结型和场效应晶体管的工作原理、特性及其在电路中的应用，提供了可调单结晶体管、双栅 MOS 场效应管等新型器件的有关内容。对晶体管基础理论、晶体管测试与晶体管应用中的设计计算等作了重点论述。书中还列举了国外各类晶体管的典型实例、数据表的解释、典型参数值、参数选择原则、选择范围、计算图表、曲线、测试电路、设计的经验公式和简化的计算公式等。附录中还编进了近几年来我国进口的收录机、彩色和黑白电视机部分最新机型中采用的国外晶体管的主要参数与中外晶体管型号对照表。因此，《手册》对电子维修人员、无线电工人和有关工程技术人员、高等院校有关专业师生，以及无线电业余爱好者来说，是一本很好的工具书。

《手册》第一、二两章由柯庆平同志审校，第三、四两章由陈光增同志审校，第五章由曾庆东同志审校，第六章由叶世禄同志审校。全书由中国科学技术大学庄镇泉副教授审

定。蒋宗荣、马一君、王容善、黄桂水同志对《手册》初稿提出了宝贵意见。王志东、应琇、唐娟宝等同志也为本书的出版做了许多工作。在此，一并致以衷心谢意。

由于编译者学识水平所限，错讹之处在所难免，祈请读者给予批评指正。

编译者

1982年10月

目 录

第一章 晶体管基础	(1)
一、半导体基础知识.....	(1)
二、晶体结 (二极管) 基础.....	(2)
三、双结或双极型晶体管基础.....	(4)
四、场效应管.....	(8)
五、单结管.....	(10)
六、晶体管的基本结构特点.....	(10)
七、晶体管与温度关系.....	(12)
八、晶体管参数.....	(22)
第二章 双结 (双极型) 晶体管	(35)
一、双结晶体管类型.....	(35)
二、双结晶体管基本电路的连接方式.....	(40)
三、双结晶体管放大器基础.....	(43)
四、有关双结晶体管的标号、偏置和极性规定.....	(44)
五、共发射极放大器.....	(45)
六、共基极放大器.....	(51)
七、共集电极放大器 (射极跟随器)	(53)
八、利用负载线求双结晶体管的特性.....	(54)
九、双结晶体管的偏置电路.....	(56)
十、双结晶体管数据表的说明.....	(69)
十一、不同频率下双结晶体管参数的确定.....	(75)
十二、不同温度下双结晶体管参数的确定.....	(87)

十三、双晶体管的实际测试·····	(93)
第三章 场效应晶体管·····	(112)
一、结型场效应晶体管 (JFEL) ·····	(112)
二、金属—氧化物—半导体晶体管 (MOSFET) ···	(116)
三、MOS 场效应管的等效电路·····	(119)
四、场效应管的工作方式·····	(120)
五、实际的 MOS 场效应管·····	(120)
六、场效应管的优缺点·····	(126)
七、场效应管的工作区·····	(128)
八、零温度系数点·····	(131)
九、MOS 场效应管的操作·····	(135)
十、MOS 场效应管的保护·····	(136)
十一、双栅 MOS 场效应管的三极管接线·····	(141)
十二、场效应管的特性参数·····	(143)
十三、场效应管的优点及其局限性·····	(164)
十四、 I_D 或 V_{GS} 的温度系数·····	(170)
十五、场效应管基本电路的设计·····	(171)
十六、场效应管基本电路小信号工作的分析·····	(174)
十七、场效应管的测试·····	(179)
第四章 单晶体管·····	(201)
一、单晶体管的工作原理·····	(202)
二、可调单晶体管的工作·····	(207)
三、单晶体管的构造·····	(209)
四、单晶体管的特性·····	(210)
五、可调单晶体管的特性·····	(223)
六、可调单晶体管 and 单晶体管特性的比较·····	(233)
七、单晶体管基本张弛振荡器·····	(234)

八、选通硅可控整流器的单结触发电路·····	(252)
九、典型的可调单结晶体管电路·····	(261)
十、单结晶体管的测试·····	(266)
第五章 晶体管的音频应用·····	(276)
一、晶体管放大器频率响应特性·····	(276)
二、晶体管放大器的耦合技术·····	(282)
三、晶体管放大器按工作点分类·····	(287)
四、单结晶体管再生式放大器·····	(293)
五、双结晶体管基本放大级·····	(294)
六、场效应晶体管的基本放大级·····	(299)
第六章 晶体管的射频应用·····	(306)
一、射频放大器的谐振电路·····	(306)
二、基本射频放大器设计探讨·····	(309)
附录一 本手册正文中各类典型晶体管的主要参数···	(332)
附录二 部分进口收录机用晶体管的主要技术参数···	(338)
附录三 部分进口彩色、黑白电视机常用晶体管的主要技术参数·····	(367)
附录四 常用的部分国外晶体管主要技术参数 (国外管外形附图) ·····	(431)
附录五 中外晶体管型号对照表·····	(548)

第一章 晶体管基础

一、半导体基础知识

物质可以分为绝缘体、导体和半导体。

电子被紧紧地束缚在它们原子核周围的那些物质（即不存自由电子），称为绝缘体。电压加在绝缘体上，也没有自由电子形成的电流通过。属于绝缘体的有：橡胶、玻璃、某些陶瓷材料、电木和某些塑料。

含有许多自由电子，并且当电压加在它上面时很容易产生电流的那些物质，称为导体。铜、银和某些金属都是电的良导体。

本章谈到的这样材料：它们的导电能力介于导体和绝缘体之间，这就是半导体，如锗、硅等。

在许多半导体和绝缘体之间要严格地划分一条界线是困难的。术语“半导体”和“固体”常常交替使用。事实上，许多固体器件，诸如晶体管和二极管都是半导体。之所以使用“固体”这个术语，还由于晶体管没有象接触器、继电器那样的可动部分以及没有象真空管那样的灯丝或发热部件。

1. 半导体材料：晶体管中最通用的半导体材料是锗和硅。

锗和硅原子最外层轨道有四个电子。它们不是自由电子，当电压加到纯锗和硅上时，通过的电流非常小。当极微量的铋或砷原子掺入锗或硅的晶体中，那么半导体的导电性能将会有成千上万倍的增加，从而为半导体的应用开辟了广阔

的天地。

半导体制造中所使用的砷和锑称为杂质。如果杂质能在锗或硅中产生自由电子，这种半导体叫做电子型半导体，或简称N型半导体，因为这时电流主要是靠带负电荷的电子流造成的。在这种情况下，砷或锑原子称为施主。

2. 半导体空穴：一个原子，当它的外层轨道上失去一个电子时，原子中的空位（或空穴）使得原子带正电荷，原子不再是中性的了。在半导体中，由于缺乏一个电子而产生的空穴具有同一个电子等量的电荷，但它的极性与电子相反。同样，空穴流和电子流方向相反。

如果少量的铝、镓或铟原子掺入锗或硅晶体中，半导体将获得空穴，这个过程称为掺杂。空穴在半导体中同电子在N型半导体中以同样的方式运动，但空穴在被加到半导体的电源作用下，是从正端移向负端。这种半导体主要靠空穴导电，所以叫空穴型半导体，或简称P型半导体。在这种情况下，铝、镓或铟原子称为受主。

二、晶体结（二极管）基础

在半导体材料中，当一个自由电子遇到一个移动着的空穴，该电子就占据了空位，一个正的或负的电荷就不再存在了，即电荷中和了。当一个P型和一个N型晶体联结成一块简单的半导体（如图1—1所示），这时电流只能从一个方向通过。

假如，电源（如图1—2所示）接到半导体上，这时半导体处于正向偏置的情况。空穴将由电池的正极端而推向结面*；同样电子亦由电池的负极端推向结面。在结上，电子和

*注：两区的交界面就是结。

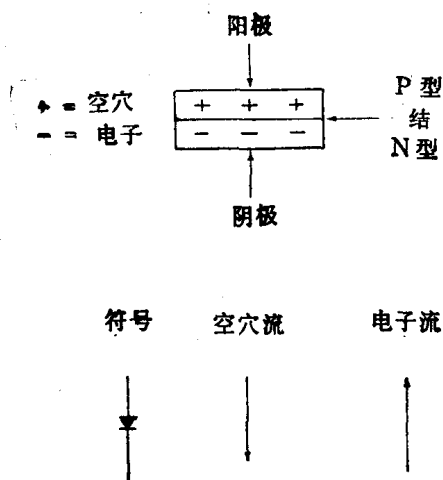


图1—1 P型和N型晶体形成基本晶体结

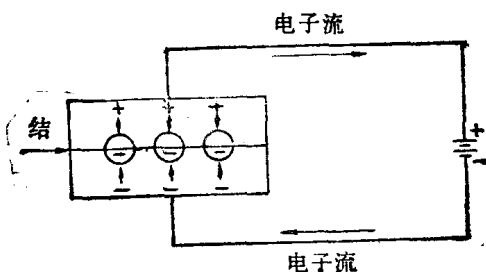


图1—2 基本结（或二极管）中正向偏置

空穴复合。而进入半导体N区的电子便补充了与空穴复合的电子。同样，由于正电压的吸引，电子离开P区，同时产生了新的空穴。这种电子的运动，即从电源的负端经过结面再到电源的正端形成了一个电子流。因此，半导体正向偏置时，有电流通过半导体。

当电源极性反接（如图1—3所示）时，半导体处于反

向偏置的情况。空穴由于负电压的作用离开结面；而电子由于正电压的作用也离开结面。这样，很少或者没有电子与空穴在结面上复合，因之就不形成电流。

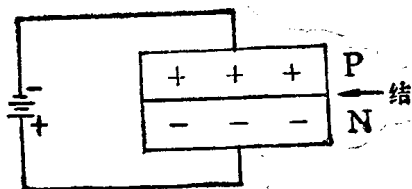


图1—3 基本结（或二极管）反向偏置

实际上，总有很少量的电子和空穴在结附近，因而允许有一非常小的电流通过。这一小电流是我们所熟悉的漏电流，通常在几个微安范围之内（或毫微安）。

当 P区和 N区是在同一块晶体中形成时，这时半导体称为二极管。两区的交界面就是“结”。P区端叫阳极，N区端叫阴极。

三、双结或双极型晶体管基础

这种晶体管是在二极管结基础上，附加第二个结做成的。因此，这种晶体管叫做双结晶体管或双极型晶体管。

对于晶体管中两个结的安排有两种方式：NPN，这是 P型半导体材料（空穴型）处于两个 N型半导体材料（电子型）之间；而PNP，是N型材料（电子型）居于两个 P型材料（空穴型）之间。

对于上述结的任何一种安排法，双结晶体管都有三个组成部分（如图 1—4 中的 NPN 型所示）：发射极，发射电子；集电极，收集电子；基极，通过控制集中在基极两边的两个结电荷来控制电子流。

图 1—5 表示双结晶体管的偏置电路。如图所示，射—基结将很容易通过电流，因为该结处于正向偏置。集—基结

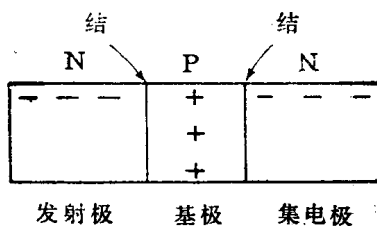
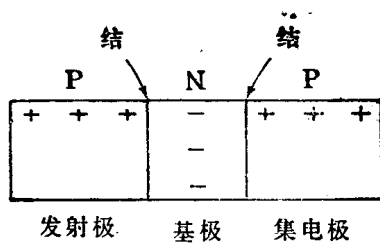


图1—4 NPN和PNP双结晶体管示意

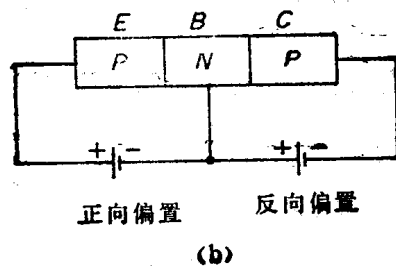
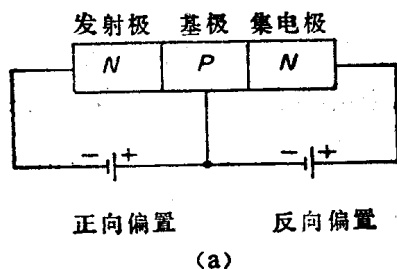


图1—5 晶体管偏置电路

将没有电流通过（小的漏电流除外）因为该结处于反向偏置。

注意，NPN晶体管基极电压的极性与PNP晶体管基极电压的极性是不同的，这样效果才是相同的。例如，图1—5（a）所示，发射极相对于基极是负的（NPN），形成正向偏置；而在图1—5（b）中，发射极相对于基极是正的（PNP），也同样形成正向偏置。同理，对于NPN和PNP晶体管两者集电极都是反向偏置。

1. 双结晶体管的工作原理：双结晶体管在正常工作时，发射极与基极之间以及发射极与集电极之间都有电流通过，而集电极与基极之间没有电流。发射极与集电极之间通过的电流最大，因为在这两个极之间有大的电位差存在（等于射—基电压与集—基电压之和），这就使多数载流子（PNP中带正电的空穴和NPN中带负电的电子）经过基区扩散，从发射极到集电极。其中少量的载流子在基区中同电荷（NPN中的正电荷和PNP中的负电荷）复合。

如果射—基电流增加，从发射极出来的大量载流子对于集电极都是有效的。而这可以通过使PNP晶体管的基极更负或NPN晶体管基极更正来达到。

若降低射—基电压，那末从发射极出来的载流子将减少，从而使射—集电流减少。

由于产生大的发射极电流所需要的基极电压非常小（对于锗管约0.2伏，对于硅管约0.5伏），因而输入晶体管的功率是低的。所以，集电极必须加上更高的电压，则发射极的绝大部分电流才能流进集电极。结果说明，输给外负载的（同集电极电路串联的负载）较大的功率是被发射极电路中较小的功率所控制。晶体管的功率增益（输出功率对输入功率

的比值) 在一些放大器中约为40,000或更高。

2. NPN晶体管工作原理: 在 NPN 晶体管中, 射-基正向偏置引起电子从发射极向基极运动 (如图 1—6 (a) 所示)。电子流通过薄基区进入集电区, 其中只有10%的电子同基区空穴复合, 余下90%的电子被集电极正电压吸引。在大多数双结晶体管中, 基区如此之薄, 以使基极电流达到最小值。这可以在基区材料上掺入少量的杂质来做到。事实上, 基区的材料只是杂质浓度小的P型或N型, 而发射极或集电极材料的杂质浓度就大。

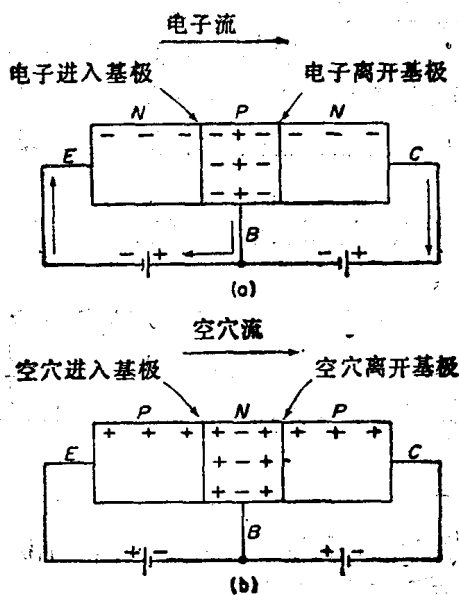


图1—6 NPN和PNP晶体管工作原理

3. PNP晶体管工作原理: 在 PNP 晶体管中, 射-基极间正向偏置引起了空穴流向基区 (如图 1—6 (b) 所示)。基区也是相对较薄的 (并且高纯度), 大多数空穴经过这里

进入集电区。空穴被集电极的负电压吸引，并在这里被电源的电子中和。

4. 双结晶体管符号和标记的规定：晶体管在示意图中用适当的符号表示。在少数情况下，晶体管用方框图表示。图1—7画出了NPN和PNP双结晶体管的符号及其相应的方框图。

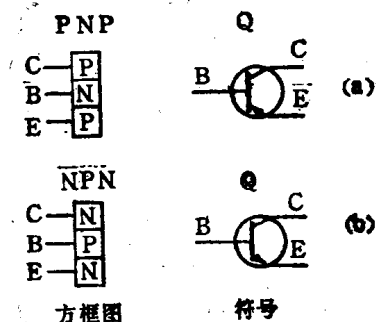


图1—7 基本双结晶体管符号及其参考标记

NPN和PNP晶体管符号的唯一差别是在于发射极上的箭头方向。NPN晶体管的箭头离开基极而PNP的箭头指向基极。

通常用字母C、E、B表示集电极、发射极、基极的缩写符号。

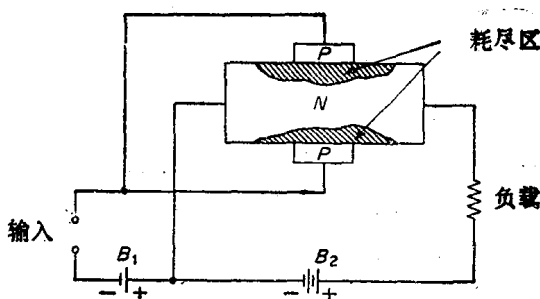
表示整个晶体管的标记是字母Q。许多个晶体管相应地可以写成 Q_1 ， Q_2 ， Q_{101} ， Q_{301} 等等；晶体管也可用字母T甚至V表示，但这些字母标记现在已经用得很少了。

四、场效应管

场效应晶体管(FET)和双结晶体管一样，是由PN结组成的，然而它的工作原理却完全不一样。

如图1—8所示，由电池 B_2 产生的初级电流通过N区和负载电阻R。在N型材料中，初级电流是由电子流组成的。

电池 B_1 对两个P区相对于N区加一个反向偏置。电池负



符号

图1—8 基本耗尽型场效应晶体管 (FET)

端经输入端的信号源在两个P区形成闭路。当正弦波信号加到输入端时,将使加到 B_1 上的反向偏置电压发生增减变化。

当反向偏压加在场效应管上时,该反偏引起载流子离开PN结的移动而形成了耗尽区。当反向偏压加大时,耗尽区更加扩大,使留在两耗尽区之间的N区减少,因而载流子电流亦减小。输入信号能使反向偏置增加或减少,这样,N区中的耗尽区亦随之增大或减小,结果输入信号就控制了N区电流的大小。

可见,小的输入信号可以控制大的输出电流。通过N区亦即通过负载电阻的大电流在电阻上产生一个大的电压降。这样,一个小的输入电压的变化引起了大的负载(输出)电压的变化。

除了耗尽型场效应管外,还有增强型场效应管。场效应管将在第三章中给予详尽论述。

五、单结管

不同于双结晶体管或场效应管，单结晶体管（UJT）是一个负阻器件。在正常情况下，单结晶体管的输出电流甚至在输入信号减小的情况下还能增加。

单结晶体管是用一个N型硅材料同另一种元素结合形成一个PN结而做成的（如图1—9所示）。一个单结晶体管有一条发射极引线，两条基极引线，没有集电极引线。

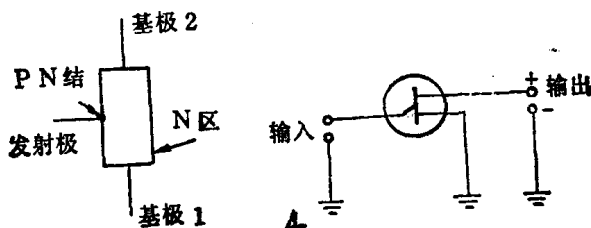


图1—9 基本单结晶体管（UJT）

当加到发射极上的电压是反偏时（或零电压），基极材料作为通常的电阻工作。因为发射极是这个“电阻”的抽头，发射极和地之间存在电位差。

当正偏压加到发射极时，形成了通常晶体管的特性，发射极和基极 1 之间的电阻减少了，引起电流加大。然后减少发射极电压，但电流却继续增加。事实上，一个单结晶体管是一个开关，直到电路断开或输入电压完全为零时，这个“开关”仍然没有“断开”。

六、晶体管的基本结构特点

各种晶体管芯（双结、场效应、单结）都封装在管壳里，并引出同外电路连结用的端引线，管壳是保护半导体材