

技工学校教材

电子技术基础

浙江水电技工学校

张樟焕

主编



中国水利水电出版社

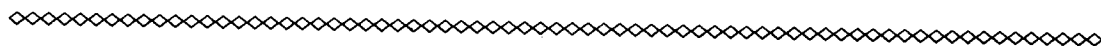
www.waterpub.com.cn

电子技术基础

理工类教材

机械工业出版社

技工学校教材



电子技术基础

浙江水电技工学校 张樟焕 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书介绍了电工常用电子器件的结构,基本工作原理、特性、主要参数与检测方法,阐述了晶体管放大电路、整流电路、晶闸管电路以及振荡电路、数字电路的工作原理。主要内容有:晶体二极管和晶体三极管、放大和振荡电路、数字电路、交流整流与直流稳压、晶闸管可控整流与触发电路。

本书可作为技工学校水电站和机电运行与检修专业课教材,也可供具有电工基础知识的工人、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/张樟焕主编. —北京:中国水利水电出版社,2001.5
技工学校教材

ISBN 7-5084-0506-4

I. 电… II. 张… III. 电子技术-基础理论-技工学校-教材

IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 80145 号

书 作 出 版	名 者 版	技工学校教材 电子技术基础 浙江水电技工学校 张樟焕 主编 中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sale@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(发行部)
发 行 经 售		新华书店北京发行所 全国各地新华书店
排 印 规 版 印 定	版 刷 格 次 数 价	中国水利水电出版社微机排版中心 水利电力出版社印刷厂 787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 246 千字 2001 年 5 月第一版 2001 年 5 月北京第一次印刷 0001—3100 册 13.20 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本教材根据水利部颁发的“电子技术基础教学大纲”并结合本专业实际应用情况编写。本书介绍了电工常用电子器件的结构，基本工作原理、特性、主要参数与检测方法，阐述了晶体管放大电路、整流电路、晶闸管电路以及振荡电路、数字电路的工作原理。本书在内容的阐述方面很少作定量计算，而着重于电路原理的分析，注意联系实际，力求文字通俗易懂，并结合技工学校教学特点和当前电工设备、电子技术应用实际情况，适当反映一些新技术。通过本书的学习，要求掌握基本电子线路的工作原理，了解它们在工业上的一般应用，为今后进一步钻研电子技术，并且参与适当的技术改革和设计奠定基础。

全书共五章，其中第一章，第二章的第一～六节由浙江水电技工学校张樟焕编写；第二章的第七～九节，第三章的第一～三节由黄河水利职业技术学院李炎编写；第三章的四、五节，第五章由广东水利电力职业技术学院陈德章编写；第四章由山东水利技校孟凡军编写。全书由张樟焕主编，并由广东水利电力职业技术学院周宝銮主审。

由于编者水平有限，时间仓促，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

1999年9月

目 录

前 言

第一章 晶体二极管和晶体三极管.....	1
第一节 半导体的基本知识	1
第二节 PN 结的形成和特性	2
第三节 晶体二极管	4
第四节 晶体三极管	7
第五节 其它晶体管	16
习题一	18
第二章 放大和振荡电路	20
第一节 单级小信号放大电路	20
第二节 共发射极放大电路的分析	24
第三节 偏置电路及静态工作点的稳定	33
第四节 多级放大电路	35
第五节 放大电路中的负反馈	37
第六节 功率放大器	41
第七节 直流放大电路	46
第八节 集成运算放大器	54
第九节 正弦波振荡器	63
习题二	70
第三章 数字电路	73
第一节 脉冲电路基本知识	73
第二节 门电路	80
第三节 译码显示电路	93
第四节 触发器	97
第五节 寄存器和计数器	100
习题三	104
第四章 交流整流与直流稳压	107
第一节 单相整流电路	107
第二节 三相整流电路	113
第三节 滤波电路	117
第四节 稳压电路	120
第五节 集成稳压器	123
习题四	124

第五章 晶闸管可控整流与触发电路.....	126
第一节 晶闸管的结构和工作原理	126
第二节 晶闸管单相可控整流电路	132
第三节 晶闸管三相可控整流电路	138
第四节 晶闸管的触发电路	141
第五节 晶闸管的应用	149
第六节 特殊晶闸管及其应用	153
习题五	159
实验	160
参考文献	161

第一章 晶体二极管和晶体三极管

1948年，世界上第一个晶体三极管试制成功，标志着电工技术领域中的一个新时代的开始，近50年来，半导体技术有了飞跃的发展。由于半导体器件具有体积小，重量轻，耗电省，寿命长，工作可靠等优点，因此在工、农业生产，科学技术及国防建设中应用十分广泛。

本章首先介绍半导体的特性和PN结的形成，晶体二极管、晶体三极管的特性与测试，为以后各章学习打下基础。

第一节 半导体的基本知识

自然界里所有的物质，按其导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。导体的导电性能很好，如金、银、铜、铝、铁等。绝缘体的导电性能差，如塑料、陶瓷、玻璃等。

金属导体中由于原子外层的电子受原子核的束缚力很小，因此有大量的电子能够挣脱原子核的束缚而成为自由电子，它们能在外电场的作用下定向运动而形成电流。

绝缘材料中，原子外层的电子受原子核的束缚力很大，能形成自由电子的机会非常小。因此，绝缘材料的导电性能差。

半导体的原子结构比较特殊，它既不象导体的外层电子，容易挣脱原子核的束缚，也不象绝缘体的外层电子，受原子核的束缚很紧。因此，半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间。

晶体管一般是用半导体材料硅(Si)和锗(Ge)制成的，因此晶体管有硅管和锗管之分。它们的外层电子都是四个。通常，原子的外层电子叫价电子，有几个价电子叫几价元素。硅和锗都是四价元素。

半导体材料硅和锗的原子结构如图1-1所示。

一、半导体的导电特性

纯净半导体也叫本征半导体，其导电性能是很差的，当温度低到绝对零度时，电子被原子核牢牢吸引，其特性相当于绝缘体，不能导电。但随着温度升高，会有少数电子受热或光激发获得足够的能量，挣脱核的束缚成为自由电子。每当一个电子挣脱了束缚而成为自由电子后，同时它在它原来的位置上就留下一个空位，我们称它为“空穴”。电子是带负电的，原子核是带正电的，两者数量相等，所以在一般情况下，原子是中性的，不表现带电性。如果跑出去一个

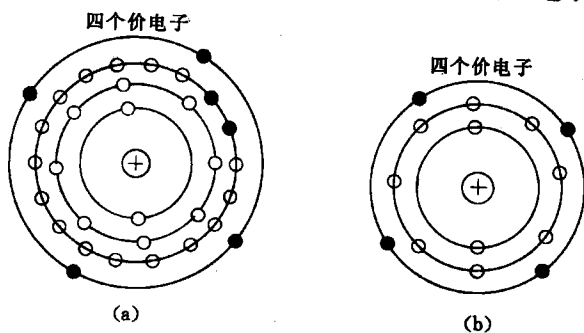


图 1-1 锗和硅的原子结构
(a) 锗原子；(b) 硅原子

电子，原子的中性就被破坏，而显出带正电，这样一来，有空穴的原子就能吸引电子，也就是说附近半导体元素（Si 或 Ge）的外层电子就会来填补这个空穴，于是又会出现新的空穴，它又由邻近的电子来填补……，从而形成价电子填补空穴的运动。这种情况也可以看作是空穴在进行与填补空穴的电子流方向相反的运动即正电荷的移动。我们把这种正电荷的移动叫做“空穴”运动，实质上是电子填补空穴所产生的运动。打个比方，比如大家坐在剧场里看节目，如果前排走了人出现一个空位，后面的人依次填补空位向前坐，看起来好象空位子在向后运动一样，实际上椅子本身没有动。

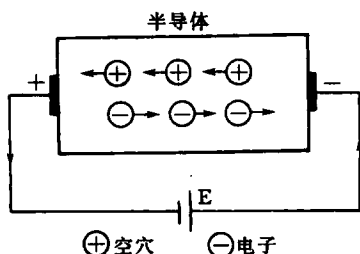


图 1-2 载流子运动方向

由此可见，在外加电压的作用下，自由电子将移向正极，而空穴将移向负极，于是在电路中就形成了电流，如图 1-2 所示。电路中形成的电流由两部分组成，即自由电子的移动和空穴的移动产生的电流，其大小为二者之和，方向是空穴移动的方向。由于自由电子和空穴都是运载电荷的带电粒子，因此，把它们称为“载流子”。在半导体中，不仅有电子载流子，还有空穴载流子，这是半导体导电区别于其它导体导电的一个重要特征（金属只有自由电子一种载流子）。

二、半导体材料的敏感特性

半导体材料的导电能力，受外界条件的影响（如温度、亮度等）会发生很大的变化。利用这一特点，人们制成了各种敏感元器件，广泛应用于电子技术各个领域。

(1) 热敏特性。外界环境温度的变化对半导体材料的电阻有显著的影响，温度升高，会使半导体材料中的电子获得更多能量，更容易摆脱原子核的束缚，导致自由电子和空穴数量随之发生变化，从而使材料导电能力改变，这就是半导体的热敏特性。利用半导体材料的热敏特性可制成电阻值对温度非常敏感的热敏电阻。将热敏电阻放进电机绕组中，可以监测电机温升，判断是否缺相、断相；装进恒温箱可以监测内部温度变化等。

(2) 光敏特性。半导体材料受光照后，载流子数量会增加，光线强弱变化，材料的电阻值随之升降。利用半导体材料的光敏特性可以制成各种光敏电阻器，光敏电阻应用也十分广泛，如路灯的自动启闭，冲床、切纸机的光电制动保护，电机的超速保护装置，还有科研、国防、医疗及家用电器，电子玩具等许多方面都用到了光敏电阻。

此外，半导体材料还有压敏特性、磁敏特性等，这里就不一一介绍了，总之，有选择的利用各种半导体材料的敏感特性。人们制成了各种敏感元器件，广泛应用于工农业生产、科研及日常生活中。

第二节 PN 结的形成和特性

一、P 型半导体和 N 型半导体

纯净的半导体导电能力很差，但是如果有选择地加入某些其它元素（称为杂质），就会使它的导电能力大大增加。

如果在半导体硅、锗中掺入硼、铝、硼等三价元素，将会产生大量空穴。在这种半导

体中，空穴的数量大大多于自由电子，因而主要依靠空穴导电，空穴就成为这种半导体的多数载流子，而电子则是这种半导体的少数载流子。这种类型的半导体称为空穴型半导体，或P型半导体，P型材料。

如果在半导体硅、锗中掺入锑、磷、砷等五价元素，将会增加大量的自由电子。在这种半导体中，自由电子的数量大大多于空穴，因而导电主要依靠自由电子。由此可见，电子是这种半导体的多数载流子，而数量很少的空穴，则是这种半导体的少数载流子。这种类型的半导体称为电子型半导体，或N型半导体、N型材料。

在掺杂时，如果控制杂质的数量，就能控制P型材料和N型材料的载流子数量，相应地就控制了它的导电能力。

二、PN结

利用特殊的制造工艺把P型半导体和N型半导体结合在一起时，由于P型半导体中的空穴数量多，N型半导体中的自由电子数量多，也就是说P区的空穴浓度比N区的空穴浓度大，N区的电子浓度比P区的电子浓度大，因此就在两区交界面处产生了多数载流子的扩散运动。所谓扩散运动，就是载流子由浓度高的地方向浓度低的地方扩散运动，即P区的多数载流子（空穴）向N区扩散，同时N区的多数载流子（电子）向P区扩散，这样扩散的结果，在交界面附近便形成了一个空间电荷区，这个空间电荷区就是PN结。如图1-3所示。

在空间电荷区内靠近N型区的一边存在着正电荷，在靠近P型区的一边存在着负电荷。因此，在PN结内产生一个方向由正电荷指向负电荷的内电场。内电场对多数载流子和少数载流子的作用是不同的，它对多数载流子的扩散起阻挡作用，所以空间电荷区又叫阻挡层。而对少数载流子起漂移作用，帮助它们轻易地越过空间电荷区。

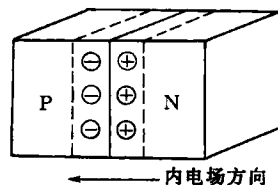


图 1-3 PN 结的形成

这样，有两种力影响载流子运动，一种是由于浓度差异而产生的扩散力，同时还有扩散的结果产生的电场力。当这两个力相等时，扩散终止，达到动态平衡。可见，PN结是扩散力与内电场力平衡的结果。

三、PN结的单向导电性

如果在PN结的两端外加一个直流电压，其方向是P区接正，N区接负，如图1-4(a)所示。这个外加电压称为正向电压，也称正向偏置。外加电压所产生的电场（外电场）与空间电荷区的内电场方向相反，因而削弱了内电场，相当于空间电荷区变薄。这样，多数载流子就能顺利的通过PN结而形成较大的电流，其方向是从P到N，称为正向电流。这时PN结所表现的电阻（正向电阻）是很小的，PN结处于导通状态。

如果给PN结外加一个反向电压，即N区接正，P区接负，如图1-4(b)所示。这个外电压称为反向电压，也称反向偏置。这时外加电场与PN结内电场方向相同，使PN结阻挡多数载流子继续扩散的能力加强，相当于PN结变厚，阻值加大，电流基本上不能通过。但是，在P型半导体中还存在少数载流子（电子），N型半导体中还存在少数载流子（空穴）。这些极少量的少数载流子，在反向电压的作用下漂移过PN结，叫做反向漏电流，反向漏电流很小，其方向从N到P。这时PN结表现出的电阻（反向电阻）很大，可以认为

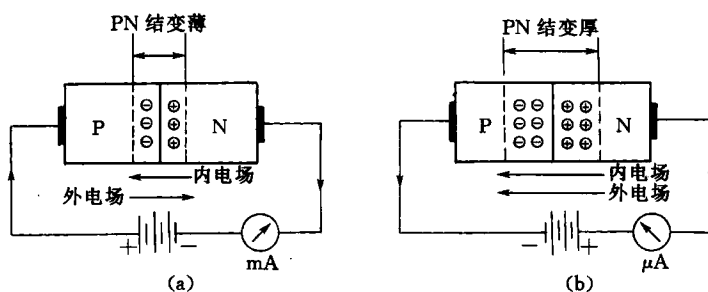


图 1-4 PN 结的单向导电特性
(a) 加正向电压 PN 结导通；(b) 加反向电压 PN 结截止

基本上是不导电的，PN 结处于截止状态。

由此可见，PN 结在电路中具有单向导电的作用。在正向电压作用下，电流可以顺利通过，PN 结导通。在反向电压作用下，阻止电流通过，PN 结截止。

必须指出的是：反向电流是由少数载流子所形成的。而 P 区中极少量的自由电子和 N 区中极少量的空穴都是由热运动产生的，所以 PN 结的反向漏电流受温度的影响较大，在使用半导体器件时，必须考虑到环境温度对它的影响这一重要因素。

第三节 晶 体 二 极 管

一、晶体二极管的结构

晶体二极管（又称半导体二极管，简称二极管），实际上就是在一个 PN 结的两端接上电极引线做成管心，并以管壳封装加固而成。其 P 区的引线称为阳极或正极，N 型区的引线称为阴极或负极，如图 1-5 所示。



图 1-5 二极管的结构与符号
(a) 结构；(b) 符号

二极管的符号如图 1-5 (b)，为表示二极管具有单向导电性，箭头表示正电流方向。二极管外壳上一般都印有符号表示极性。

根据内部结构不同，二极管可分为点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的特点是由于接触面小，不能通过很大的电流，但是接触面小，极间电容（PN 结电容）也小，适用于高频电路中工作。因此主要用于高频检波、脉冲电路和小电流整流等。面接触型则相反，由于接触面大，可以通过较大的电流，但极间电容大，不宜在高频电路中使用，主要用于低频大电流的整流。

小电流二极管常用玻璃壳或塑料封装，大电流管子尺寸较大，为便于散热，一般使用金属外壳。导通电流在 1A 以上的二极管，工作时 PN 结的温度较高，要加装散热器帮助冷却，往往把正极制成螺栓，以便与散热器组装成一体。近年来，大功率管逐渐采用平板压接式，寿命比螺栓式更长。图 1-6 从左到右是从小功率到大功率的各种二极管封装形式。

二、二极管的伏安特性

为了正确地使用二极管，需要了解它的电压—电流关系曲线，又称伏安特性曲线。图

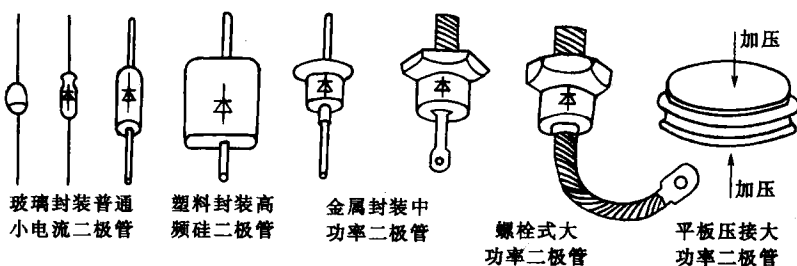


图 1-6 二极管的常见封装形式

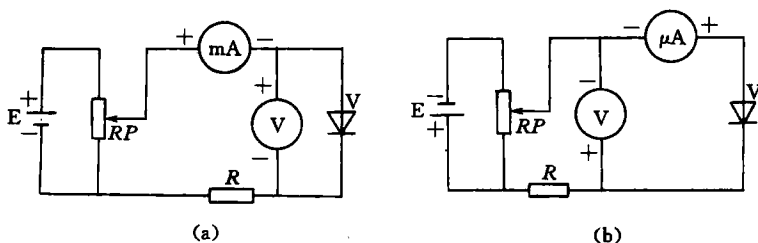


图 1-7 测试二极管伏安特性的电路

(a) 测正向特性；(b) 测反向特性

1-7 是测量二极管伏安特性的电路，改变可变电阻 RP 的大小，就可以用电表测出不同数值的端电压下流过二极管的电流。把所得的数值画在直角坐标图上，就可得到图 1-8 所示的伏安特性曲线。

1. 正向特性

二极管承受正向偏置电压时，电流与电压的关系叫正向特性。曲线中 OA 段比较平缓，说明这一段由于外加电压很低，外加电压所产生的外电场还不足以克服 PN 结内电场对载流子扩散运动所造成的阻力，电路中基本上没有电流通过。这一段电压称为“死区电压”。硅二极管的死区电压约 $0 \sim 0.6V$ （图中 $0 \sim A$ ）之间，锗二极管的死区电压约为 $0 \sim 0.2V$ （图中 $0 \sim B$ ）之间。

当外加电压超过死区电压继续上升到某一值时（硅二极管约 $0.7V$ ，锗二极管约 $0.3V$ ），电流随电压的增加而有明显上升。二极管呈导通状态。二极管一经导通，电流便迅速增加，正向电阻已变得很小。

2. 反向特性

二极管承受反向偏置电压时，电流与电压的关系叫反向特性。二极管在反向电压的作用下，反向电流极小，可以认为二极管基本上是不导通的， OC 段称为反向截止区。反向电流越小，说明二极管的反向电阻越大，反向截止性能越好。一般硅管的反向电流要比锗管小得多（通常硅管约为几微安到几十微安，而锗管可达几百微安）。

当反向电压增加到一定数值时，反向电流就会突然剧增，如图中 CD 段，二极管失去了单向导电性而被“反向击穿”。这时所加的反向电压数值称为“反向击穿电压”。二极管正

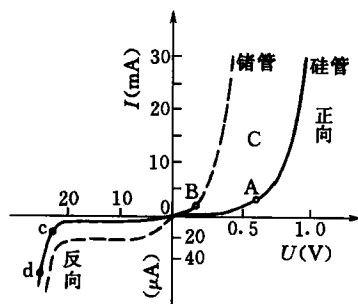


图 1-8 二极管的伏安特性曲线

常工作时，是不允许出现这种情况的。

二极管的特性受温度影响很大。当温度升高时，正、反向电流都随着增大，而反向击穿电压则要下降。一般硅二极管 PN 结允许的工作温度比锗二极管高，因此，在同样的 PN 结的面积条件下，硅管允许通过的电流比锗管大，这也是硅管的优点之一。所以大功率的二极管几乎都是硅管。

三、二极管的主要参数

二极管的参数规定了二极管的适用范围，它是合理选用二极管的依据。晶体管手册中所载二极管参数很多，在电工生产实践中最主要考虑的参数有最大整流电流和最高反向工作电压两个。

1. 最大整流电流 I_{FM}

这是指长期使用时，二极管允许通过的最大正向平均电流值。如果电流太大，发热过甚，就会把 PN 结烧坏。在选用二极管时，工作电流不能超过它的最大整流电流。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

这是指二极管工作时，所能承受的反向电压峰值。为了防止二极管因反向击穿而损坏，通常标定的最高反向工作电压为反向击穿电压的二分之一。

此外，还有最大反向电流、最高工作频率、结电容等参数在实际应用时也要注意。

四、二极管的型号

二极管的品种很多，各种二极管都用不同的型号来表示。国产二极管的名称由五部分组成，其符号意义，见表 1-1。

表 1-1 二极管型号说明

第一部分 (数字)	第二部分 (汉语拼音字母)	第三部分 (汉语拼音字母)	第四部分 (数字)	第五部分 (汉语拼音字母)
电极数目： 2—二极管	材料与极性： A—N 型锗 B—P 型锗 C—N 型硅 D—P 型硅	二极管类型： P—普通管 W—稳压管 Z—整流管 K—开关管 E—发光管 U—光电管	二极管序号： 表示同一类型中某些 性能与参数的差别	规格号： 表示同型号中的档别

例如：2CP6 是 N 型硅普通二极管；
2AK6 是 N 型锗开关二极管；
2CZ14F 是 2CZ14 型硅整流管系列中的 F 档。

五、二极管的检测

在使用二极管时，必须注意极性不能接错，否则电路不仅不能正常工作，甚至可能烧坏管子和其它元件，一般二极管都有极性标志，但也有的二极管没有任何极性标志。这时可以根据二极管的单向导电性，用万用表来判断管子的好坏和管脚的极性。

1. 判断二极管的管脚极性

用万用表 $R \times 100$ 档或 $R \times 1k$ 档，测量二极管的正反向电阻。如图 1-9 所示。

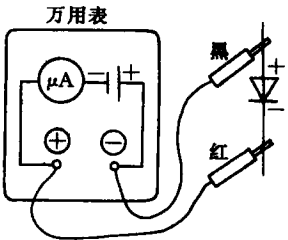


图 1-9 判断二极管极性

如果二极管是好的，总会测得一大一小两个阻值。由于万用表的红表笔接表内电池负极，黑表笔接表内电池正极，而二极管正向偏置时，阻值较小，所以当测得阻值较小时，黑表笔所接的是二极管正极，红表笔所接的是二极管负极。反过来，当测得阻值很大时，红表笔所接是二极管正极，而黑表笔所接是二极管的负极。

2. 判断二极管的好坏

用万用表测二极管正向电阻，如果测得正向电阻几十到几百欧，反向电阻几百千欧，可以认为二极管是好的；如果正反向电阻无穷大，是管子内部断路；如果反向电阻很小，是管子内部短路；如果正反向电阻比正向电阻大得不多，则是管子质量不佳，使用起来效率较低。

要注意的是：实际使用万用表各档测量同一只二极管，测得的阻值是不同的。这是因为PN结的阻值是随外加电压变化的，而万用表测电阻时，各档的表笔端电压不一样，所以万用表不同电阻档从同一只管子测得的阻值就不一样。此外，测小功率管子时，不宜用电流较大的 $R \times 1$ 档或电压较高的 $R \times 10k$ 档，以免烧坏管子。

第四节 晶体三极管

一、晶体三极管的结构、符号、类型

1. 结构和符号

晶体三极管（又称半导体三极管或晶体管，简称三极管）是放大电路中的主要元件，它是在一块极薄的硅或锗基片上制作两个PN结，并从三个区中引出接线，再封装在管壳里，就构成了三极管，其结构如图1-10所示。

从三个区所分别引出的三个电极就是管脚。基区的引出电极称为基极，用符号 b 表示，发射区和集电区引出的电极一个是发射极，用符号 e 表示，一个是集电极，用符号 c 表示。要注意的是，虽然发射极和集电极都是同类型的P型或N型半导体，但是发射极的半导体所掺入的杂质比集电极要多，也就是说，它们不是对称的，所以不能互换。

半导体三极管，发射区与基区交界处的PN结称为发射结，集电区与基区交界处的PN结称为集电结。

PNP型和NPN型三极管符号中发射极箭头方向，表示管内电流方向。PNP型和NPN型的电流方向是相反的。三极管的文字符号用 V 表示。

图1-11是几种常见的国产三极管的封袋和外形。功率大小不同的三极管有着不同的体积和封装形式。早期生产的三极管有的采用玻璃封装；超小型三极管采用陶瓷环氧封装；大

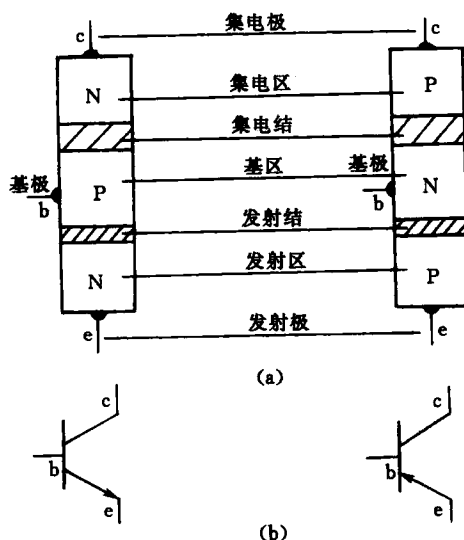


图 1-10 三极管的结构与符号
(a) 结构；(b) 符号

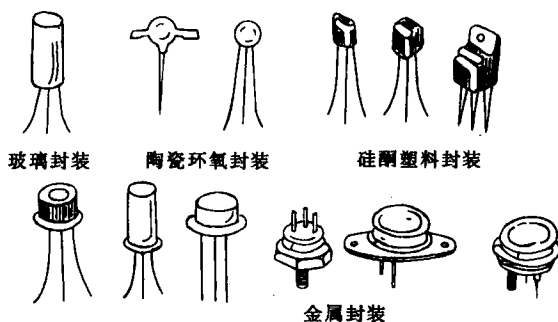


图 1-11 几种晶体三极管的外形封装

多数大、中、小型晶体三极管采用金属封装；近年来有的三极管采用硅酮塑封；大功率晶体三极管的集电极常制成螺栓形，以便于和散热器组成一体。

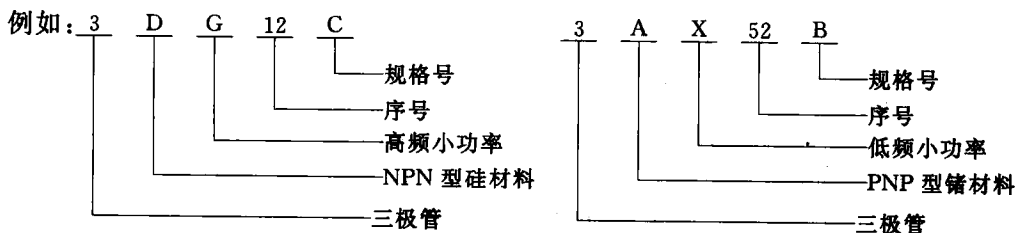
2. 类型

(1) 型号：各种三极管都有自己的型号，按照国家标准 GB249—74 的规定，国产三极管的型号也是由五个部分组成，见表 1-2。

表 1-2

三极管型号说明

第一部分 (数字)	第二部分 (拼音)	第三部分 (拼音)	第四部分 (数字)	第五部分 (拼音)
电极数目： 3—三极管	材料和极性： A—PNP 锗 B—NPN C—PNP D—NPN K—开关管 CS—场效应器件	三极管类型： X—低频小功率管 G—高频小功率管 D—低频大功率管 A—高频大功率管 U—光电器件	三极管序号： 表示某些性能与参数上的差别	规格号： 表示同型号三极管的档别



3DG12C 是 NPN 型硅高频小功率三极管中的 C 档。

3AX52B 是 PNP 型锗低频小功率三极管中的 B 档。

(2) 分类：

1) 依据制造材料的不同，三极管分为锗管与硅管两类。它们的特性大同小异。硅管受温度影响较小，工作较稳定，因此在电工设备上常用硅管。

2) 依据三极管内部结构，分为 NPN 型和 PNP 型两类。目前我国生产的硅管多数是 NPN 型（也有少量 PNP）。

3) 按工作频率来分，能在 3MHz 以上高频信号电路中工作的称为高频三极管。工作频率低于 3MHz 的称为低频三极管。由于电工设备中电源频率较低，大都使用低频三极管。

二、三极管的电流放大作用

三极管的放大作用是指在三极管的输入端输入一个变化的微弱电信号，便能在输出端得到一个较强的电信号，也就是说三极管能把信号的功率放大。

1. 三极管内的电流分配

为了使三极管能起放大作用，在它的发射结上应加以正向电压（或称正向偏置），这样才能使发射区的多数载流子通过发射结而注入基区形成发射极电流，进入基区的截流子大

部分扩散到集电结附近，只有少量被复合。形成基极电流 I_B 。在集电结上应加反向电压（或称反向偏置）。于是在集电结上有一较强的电场，从而把由发射区注入到基区中的多数载流子的大部分拉向集电区，而形成集电极电流 I_C 。

图 1-12 和图 1-13 分别为 NPN 型和 PNP 型三极管的线路图。

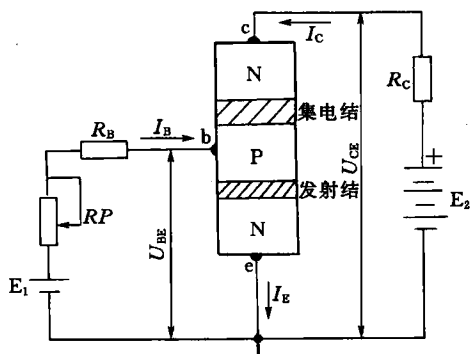


图 1-12 NPN 型三极管的线路图

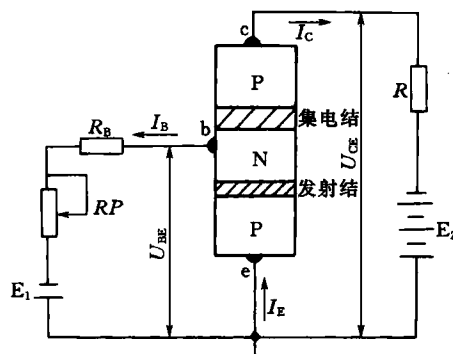


图 1-13 PNP 型三极管的线路图

调节图 1-12 中电位器 RP 的阻值，控制三极管基极电压，就能改变基极电流的大小，基极电流 I_B 的变化引起集电极电流 I_C 的变化。这样每调整一次 I_B ，就得到一组相应变化的 I_C 和 I_E 的值，如表 1-3 所示（3GE4 的实验数据）。

从表 1-3 中可以看出，每一组数据都满足下列关系式

$$I_E = I_B + I_C \quad (1-1)$$

式 (1-1) 表明了三极管中的电流分配规律，即发射极电流等于基极电流与集电极电流之和，也就是说流进管子的电流等于流出管子的电流，符合扩展的电流节点定律。

2. 三极管的电流放大作用

分析表 1-3 的数据，当基极电流 I_B 从 0.01mA 变化到 0.02mA 时，集电极电流 I_C 从 1.09mA 上升到 1.98mA。这两个变化量的比为

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1.98 - 1.09}{0.02 - 0.01} = 89$$

即 I_C 的变化约为 I_B 变化的 89 倍。当基极电流有一微小变化时，能引起集电极电流的较大变化，也就是说很小的 I_B 变化控制了较大的 I_C 变化。这就是三极管的电流放大作用。

ΔI_C 表示集电极电流的变化量， ΔI_B 表示基极电流的变化量，两者之比称为三极管的交流（动态）电流放大系数，用符号 β 表示，即

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1-2)$$

电流放大作用是三极管的主要特性， β 值的大小表示电流放大能力的强弱，是三极管的主要参数。

表 1-3 三极管电流分配

测量次数 电流 (mA)	1	2	3	4
I_B	-0.0035	0	0.01	0.02
I_C	0.0035	0.01	1.09	1.98
I_E	0	0.01	1.10	2.00

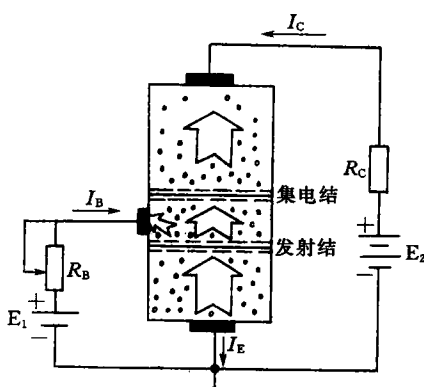


图 1-14 NPN 型三极管中载流子运动示意图

那么三极管为什么有上述特性呢？为了进一步理解三极管的电流放大作用，下面来讨论 NPN 型三极管内部载流子的运动过程。

(1) 发射区向基区发射电子的过程。从图 1-14 可知，电源 E_1 通过一个限流电阻 R_B 接在基极 b 和发射极 e 上，所以发射极上加的是正向电压。在这个正向电压的作用下，N 型发射区的多数载流子电子就源源不断地越过 PN 结而注入到基区，形成发射极电流 I_E ，其方向如图 1-14 所示。注意，电流方向与电子运动方向相反。

(2) 电子在基区的扩散和复合过程。发射区的电子通过发射结进入基区后，使基区靠近发射结一侧的电子很多，靠近集电结一侧的电子较少，因而形成浓度上的差别，于是这些电子便继续向着集电区方向扩散。电子在基区扩散的过程中，同时又与基区的空穴相遇而复合，但由于基区很薄，杂质浓度很低，而且在集电结附近又有一较强的电场，因此，从发射区进入基区的电子只有极少的部分（约百分之几）与基区的空穴相复合，形成很小的基极电流 I_B ，而绝大部分的电子继续向集电区方向扩散。

(3) 集电区收集电子的过程。集电结上加的是反向电压，它的作用是使集电结的内电场增强。从发射区注入基区的自由电子，在 N 型发射区中虽然是多数载流子，但是到达基区（P 型区）后，却成了少数载流子。因此，在增强的集电结内电场的作用下，到达集电结边缘的自由电子将不断漂过集电结到达集电区，被集电极收集，形成集电极电流 I_C ，如图 1-14 所示。

综上所述，要使三极管具有电流放大作用，一方面要满足内部条件，即基区做得很薄且掺杂很轻。另一方面要满足外部条件：对 NPN 型三极管，c、b、e、三极的电位必须符合 $U_c > U_b > U_e$ 。才能起到电流放大作用；对于 PNP 型三极管，电源的极性与 NPN 型管子相反，应符合 $U_c < U_b < U_e$ 。条件才能起放大作用。概括来说，就是要满足发射结正偏，集电结反偏。

三、三极管的输入、输出特性曲线

为了正确地使用三极管，需要了解它的伏安特性曲线。三极管常用的特性曲线为输入特性和输出特性曲线。在实际应用中，通常用三极管特性图示仪直接观察，也可用图 1-15 的电路进行测试逐点描绘。

1. 输入特性曲线

当三极管的集电极与发射极之间电压 U_{CE} 保持为某一定值时，基极电流 I_B 与基极电压 U_{BE} 之间的关系，称为三极管的输入特性。

以 3DG130C 为例，按图 1-14 实验电路测试，当 U_{CE} 分别固定在 0 和 1V

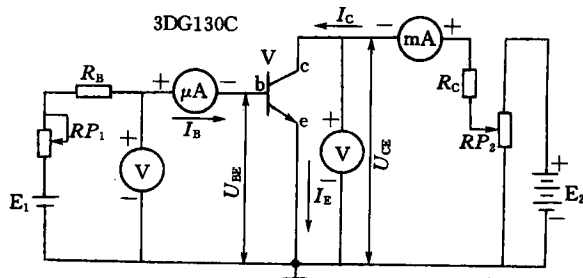


图 1-15 测量三极管输入、输出特性实验电路