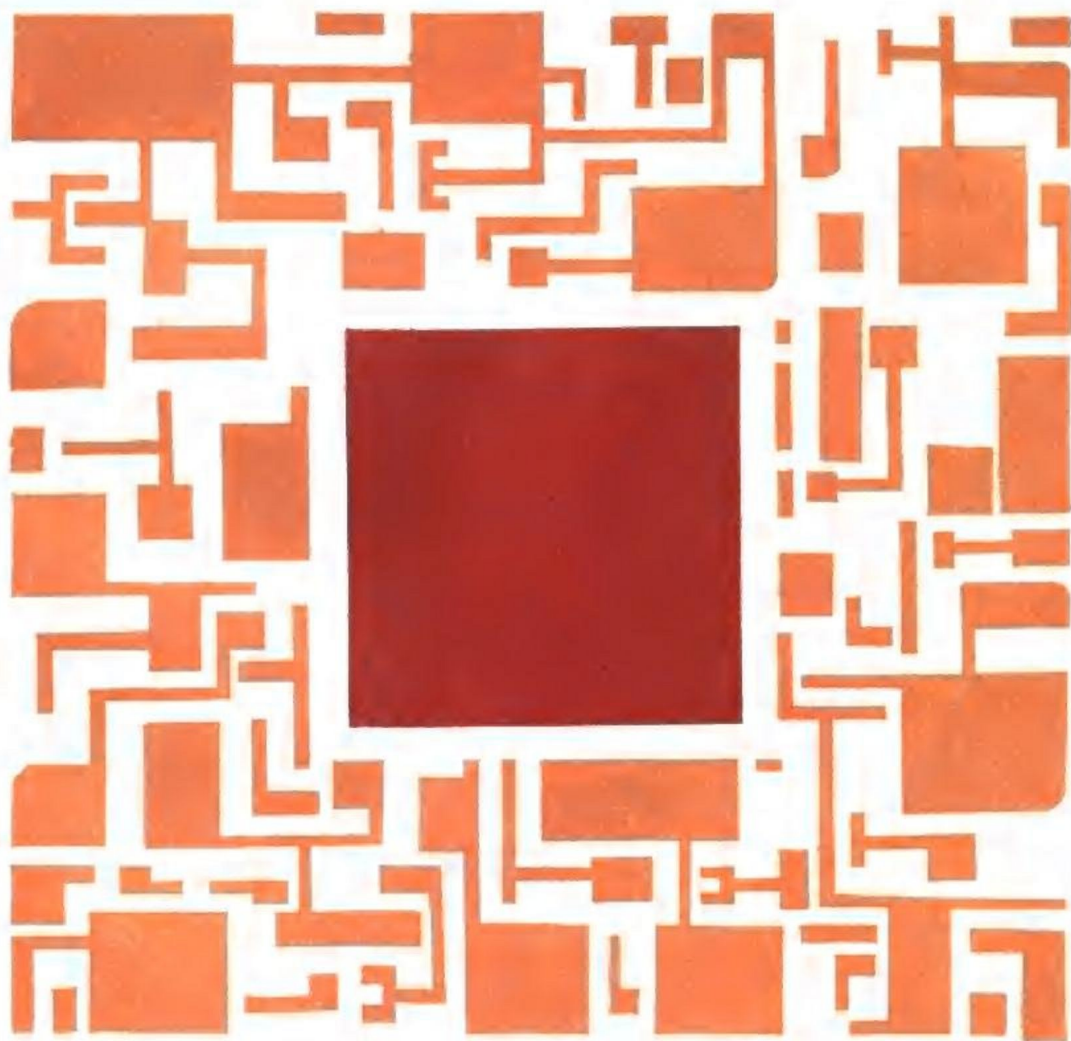




技工学校电工类通用教材

电子技术基础



劳动人事出版社

本书是根据劳动人事部培训就业局审定颁发的《电子技术基础教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

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；阐述了电工设备中各类晶体管放大电路、整流电路、晶闸管电路以及振荡电路、数字电路的工作原理、分析方法与实际应用。

本书也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材以及职工的自学用书。

本书由周绍传主编，龙竟云参加了第二章部分编写工作；邓时惕、伍必成审稿，邓时惕主审。

电 子 技 术 基 础

劳动人事部培训就业局组织编写

责任编辑：张 伟

劳动人事出版社出版
(北京市和平里中街12号)

1201工厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 14印张 343千字

1988年4月北京第1版 1988年4月北京第1次印刷

印数：130 000册

ISBN 7-5045-0098-4/TM·007 (课) 定价：2.60元

前 言

为了培养合格的中级电气技术工人，我局委托有关省、市劳动人事部门负责组织编写了一套电工类技工学校教材。包括：机械知识、电工基础、电子技术基础、电工材料、电机与变压器、电力拖动与自动控制、电力系统及运行、安全用电、电工仪表与测量、维修电工生产实习以及内外线电工生产实习等11种。这套教材在编写时注意了理论联系实际及其科学性、先进性。反映了电工专业的新技术、新工艺、新材料、新设备，并一律采用了国家统一规定的新标准。它适合于招收初中毕业生、学制为三年的电工类技工学校使用，也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材。

技工学校电工专业教学计划中规定开设的政治、语文、数学、物理、制图、企业管理等课程，均采用机械类技工学校的教材。其中数学、物理、制图三门课程另组织编写了教学大纲。

由于编写时间紧促，经验不足，缺点错误在所难免，望各地区、各部门在使用中提出宝贵意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局

一九八七年六月

目 录

第一章 晶体二极管和三极管.....	1
§ 1—1 半导体材料.....	1
§ 1—2 PN 结.....	3
§ 1—3 晶体二极管.....	6
§ 1—4 晶体三极管.....	10
§ 1—5 晶体管的使用.....	23
习题一.....	26
第二章 放大电路.....	29
§ 2—1 放大器的基本概念.....	29
§ 2—2 单级交流小信号放大电路.....	33
§ 2—3 静态工作点的稳定.....	40
§ 2—4 多级交流小信号放大器.....	43
§ 2—5 功率放大器.....	46
§ 2—6 直流放大器.....	57
§ 2—7 反馈与振荡电路.....	62
§ 2—8 开关电路.....	72
§ 2—9 集成放大电路.....	79
习题二.....	83
第三章 整流与稳压电路.....	85
§ 3—1 整流电路.....	85
§ 3—2 整流元件的串并联与保护.....	97
§ 3—3 滤波电路.....	100
§ 3—4 整流电路元器件及选用.....	105
§ 3—5 稳压电路.....	110
§ 3—6 实际直流稳压电源分析.....	117
习题三.....	121
第四章 晶闸管及其应用.....	122
§ 4—1 晶闸管结构及工作原理.....	122
§ 4—2 晶闸管可控整流电路.....	130
§ 4—3 晶闸管的选择与使用.....	146
§ 4—4 晶闸管的串并联与保护.....	150
§ 4—5 触发电路.....	155

§ 4—6	特殊晶闸管及其应用.....	171
§ 4—7	晶闸管整流电路的调试.....	176
§ 4—8	晶闸管在电工设备中的其它应用.....	180
习题四	185
实验一	晶体二极管的特性与检测.....	189
实验二	晶体三极管的特性与检测.....	192
实验三	低频小信号电压放大器.....	195
实验四	直流放大器.....	198
实验五	整流滤波电路.....	201
实验六	串联型稳压电路.....	204
实验七	晶闸管简单测试.....	206
实验八	简易晶闸管调压电路.....	209
附录一	常用二极管特性.....	213
附录二	常用三极管特性.....	214
附录三	分贝表.....	217

第一章 晶体二极管和三极管

半导体器件是近50年发展起来的新型电子器件，其中使用最多最广泛的是晶体二极管与三极管，它们和电阻、电容、电感一样，是构成各种各样电子线路的基本元器件。本章介绍半导体材料的基础知识和半导体敏感元件，二极管、三极管的特性与测试，为以后学习掌握各种放大电路、整流电路打下基础。

§ 1-1 半导体材料

由于二极管、三极管都是用半导体材料制成的，要了解它们的工作原理与特性，就要首先了解半导体的特性。

一、导体、绝缘体和半导体

我们知道，物质是由分子构成的，分子是由原子构成的，原子中有带正电的原子核和带负电的电子。电流，就是电子按一定方向流动形成的。

有的物质，例如金属中的金、银、铜、铝、铁等，以及非金属中的石墨、碳等，它们的原子核对外层电子的吸引力小，大量电子容易脱离原子核的束缚成为能移动的自由电子，因而对电流的阻力很小，只有约 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 欧姆·厘米。我们把这类具有良好导电本领的物体称为导体。

另一些物质如塑料、陶瓷、石蜡等，它们的原子核对电子的吸引力大，电子不容易移动，因此它们对电流产生的阻力很大。我们把这类没有导电的本领或导电本领极弱，电阻率高达 $10^6 \sim 10^{18}$ 欧姆·厘米的物体称为绝缘体。

此外还有一类物质，例如硅、锗以及许多金属的氧化物或硫化物，它们的导电能力介于导体和半导体之间，这类物质就是我们要研究的半导体。半导体绝大多数是晶体，因而把用半导体材料做成的二极管、三极管通称为晶体管。

二、半导体的导电特性

半导体既非良导体，又非绝缘体，为什么会引起人们很大兴趣呢？原因并不在于它的导电能力介于导体和绝缘体之间，而在于半导体具有独特的性质，即在不同条件下，它的导电能力差别极大，一会儿象导体，一会儿又象绝缘体。这是什么原因呢？下面就从半导体导电的机理说起。

纯净的半导体材料，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以后，同时它在它原来的位置上就留下一个空位，称为“空穴”。空穴由于失掉一个电子而带正电。有了这样一个空穴，由于正负电相吸引，附近的电子就会来进行填补，于是又会出现新的空穴，又有邻近的电子来填补，……从而形成电子的运动。这种情况也可以看作是空穴在进行与未填补的电子流动方向相反

的运动即正电荷的移动。为了区别于自由电子的运动，就把这种正电荷的移动叫做“空穴”运动，实质上是电子填充空穴所产生的运动。这种情况很象是大家在剧场里看戏，前排走掉一个人，出现了一个空位子，后面的观众填补空位依次换到前排坐，看起来似乎空位在向后排运动一样，实际上椅子本身并没有移动。

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1-1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

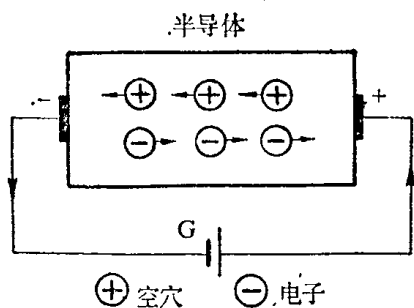


图 1-1 载流子运动方向

空穴的移动。也就是说，由于自由电子和空穴都是载运电流的带电粒子，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。

由于纯净半导体中两种载流子都不多，所以半导体在常温下导电能力很差，它的电阻率介于导体与绝缘体之间。

三、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。

（一）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。使用热敏特性好的半导体材料如氧化铜、氧化锌、五氧化二铝等，可制成电阻值对温度非常敏感的热敏电阻器。热敏电阻种类繁多，一般按阻值温度系数来分，有随温度升高阻值减小的负温度系数热敏电阻与阻值随温度升高而增大的正温度系数热敏电阻两类；按阻值随温度变化的速度和大小来分，有缓变型和实变型两类；按受热方式来分，有直热式和旁热式两类；其外形有棒状、片状、珠状、线管状、薄膜和厚膜等。图1-2(a)是热敏电阻的符号和部分产品的外形封装，符号中表示温度变化的 θ 也可以标作 t° 。热敏电阻具有对温度灵敏度高，热惰性小，体积小的优点，在生产生活与科研中应用非常广泛。例如，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；装进恒温箱或恒温电炉，可以监测内部温度变化；缝进家用电热毯可以调节温度等。

有的半导体材料受热能产生电动势。例如把导体与半导体、或两种半导体材料两端互焊成回路，两端焊头分别处于不同温度（温度高的一端叫热端、工作端；温度低的一端叫冷端、自由端），回路中就产生电动势，这种现象叫热电现象，这样的组合叫热电偶。把仪表接入回路中，测量电动势就知道热电偶两端的温差，其测量范围可达 $-180\sim 2000^\circ\text{C}$ 之间。热电偶广泛应用于工业测温中，目前生产和使用的电热炉温度指示仪表和温度调节仪表大多使用热电偶作感温元件来进行远距离测量、记录、指示和自动控制。热电偶外形很多，图1-2(b)是其中一种。利用半导体材料的热电现象，还可以制成各种温差发电装置。

（二）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。使用光敏特性好的材料如硫化镉、硫化铅等可以制成具有各种光谱特性的紫外光敏、红外光敏和可见光敏电阻器，光敏电阻符号与部分产品外形封装见图1-2(c)。光敏

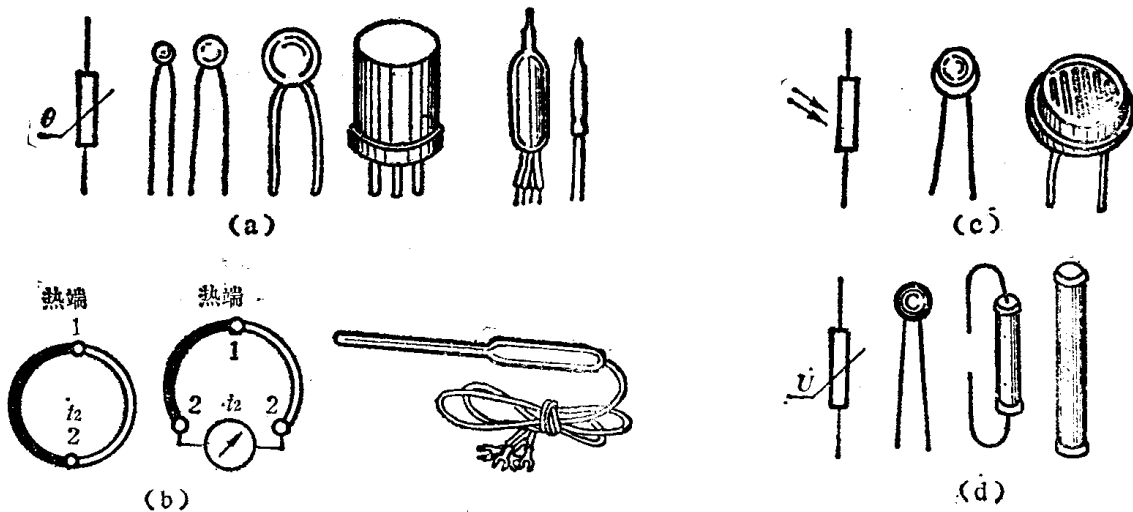


图 1-2 电工设备中常用敏感元件的符号与外形

- (a) 热敏电阻符号和外形 (c) 光敏电阻符号和外形
 (b) 热电回路与热电偶外形 (d) 压敏电阻符号和外形

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装置，红外光报警器等各种光电自动控制系统，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。

(三) 压敏特性 有的半导体材料如碳化硅等，在所承受的电压升高到某一特定值时，其电阻值会急剧下降，可用来制作压敏电阻。压敏电阻品种也很多，按结构和制造过程大致分为体型、结型、单颗粒状和薄膜状几种。它们的共同特点是：具有承受电压范围宽、过压时允许通过电流大、电压温度系数小、寿命长、体积小等优点，在电子线路中用于稳压和过压保护。压敏电阻的符号和部分产品的外形封装见图1-2(d)，符号中表示电压变化的 V 也可以标作 U 。

(四) 磁敏特性 有的半导体材料对磁场的变化较敏感，其阻值随穿过它的磁通密度增大而增大，可以用来制成磁敏电阻器。磁敏电阻在测量技术、自动控制和信息处理方面有广泛用途。例如测量磁场强度、频率、功率，制作受磁场变化控制的可变电阻器、无触点电位器、无触点开关等元器件。

(五) 其它敏感特性及元件 利用某些半导体材料承受压力时电阻变化的力阻效应，可以制成各种力敏电阻，用来测定大电机工作中定子的振动位移，制作各种力—电转换装置。利用吸附气体后发生氧化或还原反应使导电率变化的半导体材料，可以制成气敏电阻，用来监测电气设备过热、起火等事故。此外还有湿敏、嗅敏、味敏等许多半导体敏感特性和相应元件就不一一介绍了。

有趣的是，还有一些特殊半导体材料，它们的上述某些特性还能逆转。例如有的材料通过电流后，能发生冷热变化，这就是半导体冰箱的致冷原理；有的半导体材料通电能激发出不同亮度、色度的光，这就是半导体激光器的原理。

§ 1-2 P N 结

一、P型材料和N型材料

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），就可能使它的导电能力大大增加。人们利用掺杂质的方法，制造了许多不同性质、不同用途的半导体器件。

若是在半导体硅、锗中掺入镉、铝、硼等元素，将会产生大量空穴，这类半导体的导电作用主要靠空穴，故称为空穴型半导体，或称P型半导体、P型材料。

若是在半导体硅、锗中掺入锑、磷、砷等元素，会增加大量自由电子，使半导体主要靠电子导电，故称为电子型半导体，或称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型材料中的载流子数量，相应地就控制了它的导电能力。

N型和P型半导体，都是电中性的，对外不显电性。这主要是由于半导体和掺入的杂质都是电中性的，而且掺杂过程中既不丧失电荷也不从外界得到电荷，只是在半导体中出现了大量可以运动的电子或空穴，并没有破坏整个半导体内正负电荷的平衡状态。

二、PN结

P型半导体和N型半导体结合在一起，它们的交界面就形成一个PN结。PN结是晶体管中最基本的结构，是一切半导体器件的共同基础。晶体管具有许多重要的特性，关键正是由于存在PN结，因此掌握PN结的原理十分重要。

我们知道气体会充满整个空间，一滴蓝墨水滴进清水中会把整杯清水染成淡蓝色，这种现象称为扩散。扩散的规律总是从浓度大的地方扩散到浓度小的地方。我们在一块硅或锗的晶体两边分别掺入不同的杂质，一边成为N型，一边成为P型。由于N型半导体中有大量电子，P型半导体中有大量空穴，它们都要向对方扩散。在交界处，有的电子与空穴碰在一起，复合之后不带电了，有的越过交界面进入对方靠近交界面的区域，由于同性相斥，先扩散过去的载流子会排斥同类载流子继续扩散过来，如图1-3。

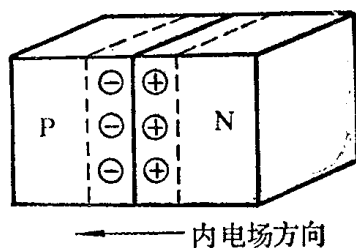


图 1-3 PN结的形成

这样扩散的结果，在交界面附近便形成一个空间电荷区，它就是PN结。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。显然，这个电场产生的电场力将阻止电子，空穴继续扩散，所以空间电荷区又叫阻挡层。

这样，就有两种力影响载流子的运动，一种是由于载流子浓度差而产生的扩散力，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。PN结的厚度极薄，仅有几个微米，但阻挡载流子继续扩散的电场却很强，它在半导体器件中起着决定器件性能的关键作用。

三、PN结的单向导电性

了解了PN结内部的矛盾运动，就很容易理解PN结的单向导电性。把P区接电源正极，N区接电源负极，如图1-4(a)，叫做正向偏置，这时外加电场与PN结内部电场方向相反。当外加电场小于PN结内部电场时，内电场起作用，阻止空穴与电子扩散；但当外加电场大于内部电场时，就克服了内部电场的阻碍，相当于PN结变薄了，大量空穴沿外加电场方向顺利通过PN结流向负极，大量电子也克服内电场的阻碍流向正极，从电流表上看到电流从正极

流到负极。同时还可以观察到，正向偏置电压越大，从正极到负极的电流也越大。因为这个电流是由外加正向电压产生的，所以叫做正向电流。正向电流较大，意味着PN结正向导通时的电阻变小了。

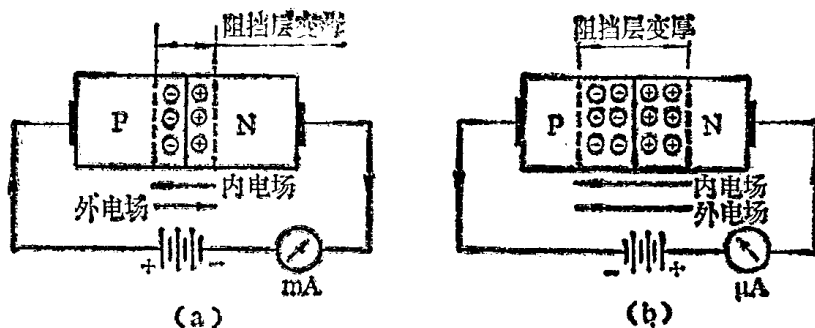


图 1-4 PN结的单向导电特性
(a) 加正向电压 (b) 加反向电压

现在我们把电源极性调换一下，即P区接电源负极，N区接电源正极叫做反向偏置，电流表指示极小，如图1-4(b)。这是因为外加电场与PN结内电场方向相同，使PN结阻挡电子与空穴向对方移动的能力更强，相当于PN结变厚，阻值加大了，电流基本上不能流通，只有极少数能量很大的载流子受外加电场作用，偶尔“漏”过了PN结，叫做反向漏电流。反向电流很小，意味着PN结在反向偏置时，电阻变得很大了。

综上所述，PN结正、反向导电特性相差很大，正向容易导电，类似电阻很小的导体；反向导电很困难，类似电阻很大的绝缘体。也就是说，PN结使电流只能从P区流向N区，不能反过来流，这就是PN结最重要的特性——单向导电性。二极管、三极管及其它各种半导体器件的工作特性，都是以PN结的单向导电性为基础的。

四、PN结的其它特性

形成PN结的半导体材料不同，工艺不同和结的大小不同，使得PN结除了单向导电性这一最基本的特性以外，还可能具有某些其它特性。

(一) PN结的变阻特性 PN结好比一个“阀门”，能控制电子与空穴的流通，它对载流子流通呈现的阻挡作用，称为结电阻。

首先，“阀门”本身的大小不同，容许流通的载流子多少也不同。我们从工艺上控制PN结的大小，就可以制造出工作电流值大小不同的半导体器件来。所以，大功率的晶体管其PN结都比较大，而小功率晶体管的PN结就比较小。

其次，“阀门”开得大小不同，对载流子的阻力也就不同。PN结对电流的阻力受外加偏置电压控制，外加电压大小不同时，结电阻也就随之变化，正向偏置电压大，载流子流通较多，相当于结电阻小；反之相当于结电阻大。所以通过控制外加电压大小，就可以把PN结当作一个变阻器使用。PN结的这一特性在电子技术中得到广泛应用。例如，使用变阻效应明显的半导体材料，可制出叫做PIN管的二极管，它的PN结的结电阻能随外加电压而显著变化。

此外，“阀门”开关的快慢，决定了载流子流通与截断状态转换的快慢。用特殊工艺制作的PN结，能随外加电压极性和大小的变化，迅速转换导通与截止工作状态，导通后结电阻

很小，截止时结电阻极大，从而制造出各种快速工作的半导体器件，如开关二极管、开关三极管、快速晶闸管等。

(二) 变容特性 构成PN结的P型和N型半导体材料都导电。反向偏置时，中间的PN结起阻碍导电的作用，电阻极大，近似于绝缘。因此，PN结相当于一个两片导体中间夹一层绝缘介质的电容器，这个电容称为结电容。

由于结电容的存在，当工作在高频时，PN结的结电容对高频阻抗很小，高频信号能直接从结电容通过，这样就破坏了PN结的单向导电性。因此结电容限制了晶体管的工作频率，工作在不同频率电路中的各种半导体器件对结电容有不同的要求。控制PN结的大小和厚薄，可以制作出结电容很小的PN结，在高频和超高频段使用的半导体器件，例如高频三极管，它们的结电容都很小。

我们知道，电容器的容量与电容两个极片之间的距离成反比。PN结的厚度受外加反向电压大小影响，调整外加反向偏置电压，连续改变PN结厚薄，也就连续改变了PN结结电容的大小。如果选择合适的半导体材料，可以制作出结电容随外加电压显著变化的变容二极管，它在自动控制、自动调整的电子设备中用途很多。

(三) 感温特性 温度变化会引起半导体中载流子数量和运动速度的变化，所以温度变化时，PN结的内电场随之变化，为克服内电场使PN结流过恒定电流所需的外加偏置电压也就变化了。如果我们保持电流不变来测量外加电压变化情况，就可间接知道PN结所处环境温度的变化量。利用这一特性，已经制出了各种各样的半导体感温器件，它们能在 $-200\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内把温度变化转换为电信号的变化，供各种检测、自控设备使用。

(四) 感光特性 半导体材料对光很敏感，当光照射到PN结时，光的能量激发出的自由电子和空穴叫做光生载流子。在反向偏置电压作用下，光生载流子穿过PN结参与导电，使反向漏电流大大增加，这个电流称作光电流。光电流会随入射光强度的变化而相应变化，这样就把光的亮度变化转换为电信号变化。利用PN结的感光特性，已经制成了种类繁多的半导体光电器件，如各种光电池、光敏二极管、光敏三极管、光控晶闸管等，它们在太阳能电源以及各种电器保护装置和控制设备中得到了广泛应用。

反过来，有一些特殊半导体材料制成的PN结，能把电信号转化为光信号，在流过正向电流时能发出红、绿、黄等颜色的光，发光亮度随电流强度变化。利用这一特性，制成的半导体发光器件如发光二极管，普遍使用在各种电器中作信号指示器。

有一些半导体材料制作的PN结，对人们看不见的红外光、紫外光很敏感，或通电后能发出红外光线，可用在各种检测、警报设备中。

上面介绍的一些PN结特性，在电工设备中已经得到应用，PN结还有许多特性，这里就不一一介绍了。

总之，PN结最重要的性能就是单向导电性，它是一切半导体器件的基础。其它种种性能如光、热对半导体PN结的影响，在我们不需要时应尽力避免，在需要时则可利用它的这些特性研制出许多新型器件。

§ 1-3 晶体二极管

一、二极管的结构

把PN结的P区和N区各接出一条引线，再封装在管壳里，就构成一只二极管。P区引出端叫正极、N区引出端叫负极，见图1-5(a)。

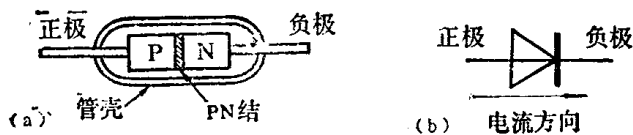


图 1-5 二极管结构与符号

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

二极管的内部结构，可以大致分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管的结构见图1-6(a)。它的特点是结的面积小，因而结电容小，适用于高频工作，但不能通过很大的电流，因此主要用于小电流整流和高频时的检波等。

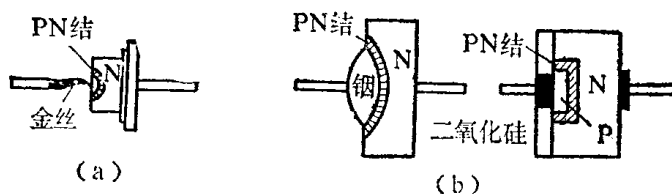


图 1-6 点接触和面接触二极管示意

(a) 点接触型 (b) 面接触型

面接触型二极管的结构见图1-6(b)。它的管芯由于PN结的面积大，允许通过较大的电流。但这种结构的结电容也大，只能在较低的频率下工作。目前常用的是硅合金整流管，工作温度可高达150~200℃。

小电流的二极管常用玻璃壳或塑料壳封装，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1安以上的二极管，工作时PN结温度较高，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1-7从左到右是从小功率到大功率的各种二极管封装形式。

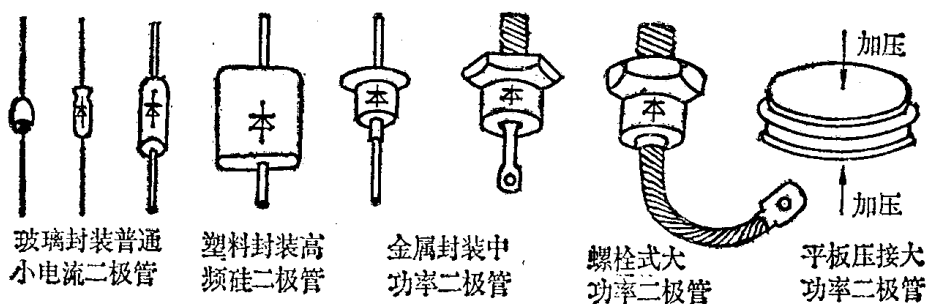


图 1-7 二极管的常见封装形式

二、二极管的伏安特性曲线

在电子技术中，常用伏安特性曲线来描述电子器件的特性。所谓伏安特性曲线，就是在

直角坐标系中，用曲线直观地表示加在某一器件上的电压与流经该器件的电流之间的对应关系。

PN结内部的矛盾运动规律，反映到外部电路就是电压和电流的关系。所谓二极管的伏安特性就是加到二极管两端的电压 U_V 和通过二极管电流 I_V 的关系曲线。



图 1-8 测量二极管伏安特性
(a) 正向特性 (b) 反向特性

利用图1-8的电路来测量，以 U_V 为横坐标， I_V 为纵坐标，可以得到图1-9所示的硅二极管2CZ54D的伏安特性曲线。

当二极管两端电压 U_V 为零时，电流 I_V 也为零，所以特性曲线从坐标原点O开始。

(一) 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，说明这一段当正向电压增加时正向电流增加甚微。这是由于外加电压较小，还不足以克服PN结内电场对载流子运动的阻挡作用，因而只有极少数载流子能越过PN结。OA段被称作二极管特性的死区。

当正向电压继续上升到某一值时（硅二极管约0.7伏，锗二极管约0.3伏），PN结内电场几乎被全部抵消，内阻很小，正向电流急剧增加，特性曲线陡直如AB段，电压与电流的关系近似于直线。在电子技术中，称这类情况叫线性关系，特性曲线的这一段称作线性段。曲线中AB段是二极管的正向导通区，由图可见，在AB段中正向直流电流变化很大，而二极管两端承受的正向电压却变化很小，导通后管子两端的正向电压称为二极管的正向电压（管压降） U_F 。

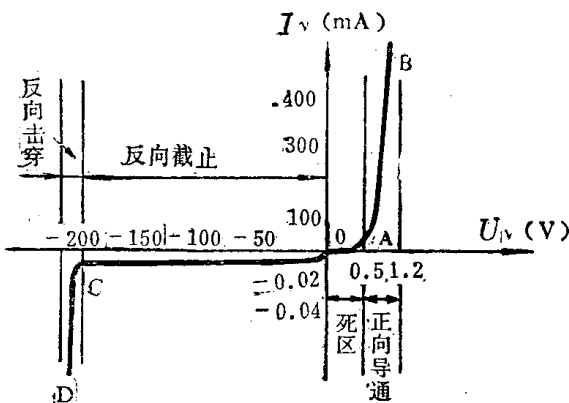


图 1-9 二极管的伏安特性曲线

(二) 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。由于反向电压加强了PN结内电场，使二极管呈现很大电阻，载流子很难“漏”过PN结，所以OC段反向电压增加时，反向电流增加极小，硅二极管约几十微安，锗二极管约几百微安。这个反向电流称作反向直流电流 I_R 。如果 I_R 较大，说明管子质量不好，OC段称为反向截止区。

当反向电压增大到超过某一个值时（图中C点），反向电流急剧加大，如图中CD段，这叫反向击穿，C点对应的电压就叫反向击穿电压。这是由于外加反向电压太高时，少数载流子在强电场作用下能量很大，运动速度极高，将其它被束缚的电子撞击出来，被撞出来的电子又高速运动去撞出别的电子，使二极管中电子与空穴迅速增加，冲过PN结。这种连锁反

应很象雪崩，叫雪崩击穿。曲线上CD这一段称为反向击穿区。

除了某些专门利用雪崩现象的二极管，如我们以后要介绍的稳压管以外，一般来说，二极管一旦击穿，就失去单向导电性，失去使用价值了。所以，二极管在电路中工作时，任何时候承受的反向电压都不允许超过反向击穿电压。

我们知道，温度对半导体是有显著影响的。温度越高，会有更多电子能量加大而挣脱原子核束缚，成为自由电子，使半导体材料中空穴与电子数量增加。所以当温度上升后，在同样正反向电压下，正反向电流都会增加，管压降 U_F 降低，反向击穿电压也会降低。锗管比硅管受温度影响更大，一般温升 1°C ， I_R 大约增加一倍。

各种各样的二极管，虽然正反向电流随外加电压上升的速度不一样，但其伏安特性曲线基本形状是相似的，它不是一条直线，所以二极管是一种非线性元件。

三、二极管的主要参数

在电工设备中要使用各种各样的二极管，选管时当然首先考虑参数。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两个：

(一) 最大整流电流 常称额定工作电流，它是指长期使用时，允许流过二极管的最大平均电流。这个电流与管子两端正向电压降 U_F 的乘积，就是使管子发热的耗散功率，所以二极管正向电流不能无限制增加，如果电流过大，PN结会过热击穿。应用时，管子的实际工作电流要低于额定最大整流电流值。大电流工作的大型二极管，还要注意使散热条件符合手册规定。

(二) 最高反向工作电压 常称额定工作电压，它是指为保证二极管不致反向击穿而规定的最高反向电压，实际应用时选定的二极管最高反向工作电压通常为反向击穿电压的二分之一以下。

此外，还有最大反向电流、最高工作频率、结电容等参数，都可以在半导体手册中查到。

四、二极管的型号与类型

按照国家标准GBZ49-74的规定，国产二极管的型号由五个部分组成，见表1-1。

表1-1 晶体二极管的型号

第一部分(数字)	第二部分(拼音)	第三部分(拼音)	第四部分(拼音)	第五部分(拼音)
电极数目	材料与极性	二极管类型	二极管的序号	规格号
2—二极管	A—PNP B—NPN C—PNP D—NPN E—化合物 材料	P—普通管 W—稳压管 Z—整流管 L—整流堆 K—开关管 F—发光管 U—光电管	表示某些性能与参数上的差别。	表示同型号中的档别。

例 2CP12是N型硅制作的普通二极管。

2CZ14是N型硅制作的整流二极管。

2CZ14F是2CZ14型硅整流管系列中的F档。

依据制作材料分类，二极管主要有锗二极管与硅二极管两大类。

(一) 锗二极管 采用金属锗 (Ge) 制作, 它的正向电阻小, 导通电压低, 约0.3伏, 一般制成点接触的小功率二极管。在电工设备中主要用于信号检测等。

(二) 硅二极管 采用材料来源充足的半导体单晶硅 (Si) 制作。它在反向电压下的漏电流比锗管小得多, 但是导通电压较高, 约0.7伏, 一般用在信号较强的电路中。可以制成各种不同用途的二极管, 在电工设备中主要用于整流。

依据用途分类, 电工设备中较常用的二极管有四类:

1. 普通二极管 如2AP1~2AP10, 2CP1~2CP20等, 用于信号检测、取样、小电流整流等。

2. 整流二极管 如ZP、2CZ等系列, 广泛使用在各种电源设备中做不同功率的整流。

3. 开关二极管 如2AK1~2AK4, 电工设备中用于控制、开关电路中。

4. 稳压二极管 如2CW、2DW等系列, 用在各种稳压电源和晶闸管电路中。

随着电子技术的发展, 出现了种类繁多的各种新型二极管, 表1-1中只是列举了电工设备中常用的几种类型。下面介绍各种电子电路时, 还将比较详尽地说明有关的二极管特性。

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, 甚至可能烧毁管子和其它元件。有的二极管没有任何极性标志, 或一时身边没有手册可查。这时可以根据二极管的单向导电特性, 很方便地用万用表来简单判断管子的好坏和管脚的极性。

(一) 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, 当测得电阻值很大时, 红表笔所接是二极管正极, 而黑表笔所接是二极管的负极。如图1-10所示。

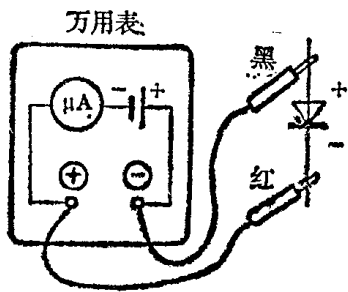


图 1-10 判断二极管极性

(二) 判断二极管的好坏

用万用表测二极管正反向电阻, 如果正向电阻几十到几百欧, 反向电阻200千欧以上, 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二极管时, 获得的阻值是不同的。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管子测得的阻值读数就不一样。例如用 $R \times 100$ 档测某一只2CP22, 读数为正向电阻500欧, 反向300千欧, 而改用 $R \times 1K$ 档, 则为正向4千欧, 反向550千欧以上, 若管子正反向电阻差别都大, 就可以认为管子是好的。此外测小功率管子如2AP1之类时, 不宜用电压较高的 $R \times 10K$ 档, 以免烧坏管子。

§ 1-4 晶体三极管

一、三极管的结构

在一块极薄的硅或锗基片上制作两个PN结，并从P区和N区引出接线，再封装在管壳里，如图1-11所示的结构，就构成了晶体三极管。一般把基片称为基区，两个PN结分别按其作用称作集电结和发射结，集电结连接的区域称为集电区，与发射结相连的区域叫做发射区。在使用时，需要把各个区域与外电路连接，因此在发射区、基区、集电区制作引出电极，分别叫做发射极、基极、集电极，用字母e表示发射极，b表示基极，c表示集电极。依据基片材料是P型还是N型半导体，晶体管有NPN型和PNP型两种。在电路图中，分别用两种不同的符号来表示，如图1-11(a)和(b)所示。两种符号的区别在于发射极箭头的方向不同，它表示发射结加上正向电压时的电流方向。

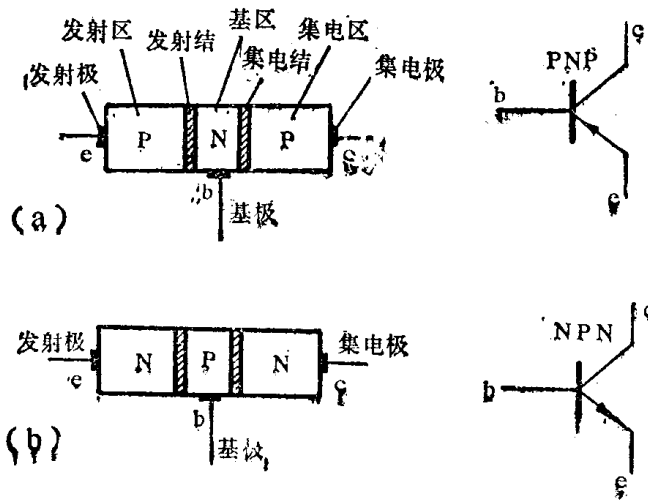


图 1-11 三极管的结构与符号

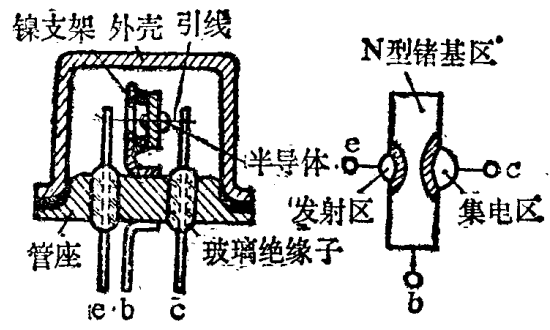


图 1-12 合金法工艺制作的三极管

晶体三极管的制造工艺很多，图1-12是用“合金法”制作的三极管结构示意图。

功率大小不同的三极管有着不同的体积和封装形式。图1-13是常见的国产三极管封装和外形。从图中可以看出绝大多数大、中、小型晶体三极管采用金属封装；3DG13A、3DG46等超小型三极管采用陶瓷环氧封装；近年来越来越多的管型如图中3DG201B、3DG57B、CD568等采用硅酮塑封；大功率晶体三极管如图中3DD6、3DA5、3AD11等的集电极常制成螺栓形，以便于和散热器组成一体。

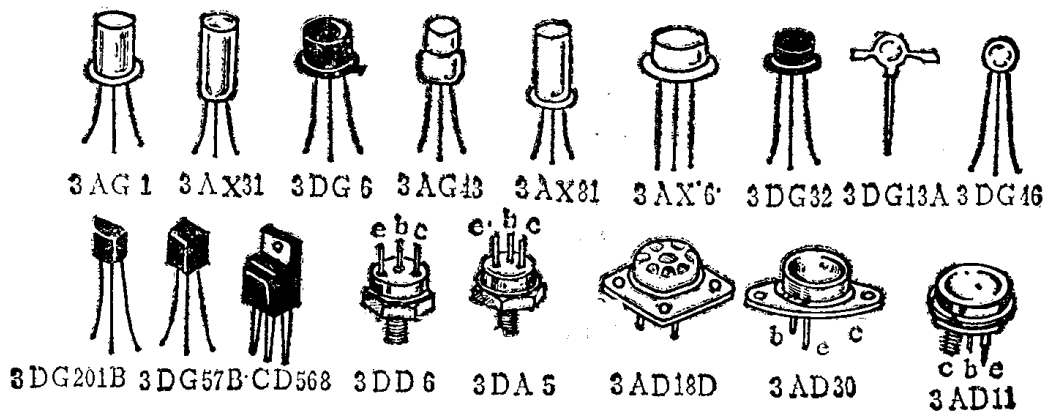


图 1-13 三极管的外形封装

二、三极管的放大作用

三极管的放大作用是指给晶体三极管输入端送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。下面以一只硅NPN型三极管为例来分析它的放大原理。

(一) 三极管内的电流分配

在图 1-14 的试验电路中，有三条支路的电流通过三极管：流过集电极的电流 I_C ，流过基极的电流 I_B 和流过发射极的电流 I_E ，其方向如图所示。基极电源 U_{BB} 通过 R_B 与 R_W 在基极与发射极之间的发射结上加了正向偏置电压 U_{BE} 。集电极电源 U_{CC} 通过 R_C 给集电极、发射极之间加上电压 U_{CE} 。

调节 R_W 的阻值，控制三极管基极偏置电压，就能改变基极电流大小， 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 ，就会得到一组相应变化的 I_C 和 I_E 值，如表 1-2 所示。

表 1-2

晶体三极管的电流分配关系

毫安

项 目	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

从表 1-2 中可以看出，每一组数据都满足下列关系式

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

这个关系式表明了三极管中的电流分配规律，即发射极电流等于集电极电流与基极电流之和，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。下面我们再通过图 1-15，以三极管内载流子运动的情况来说明形成这一电流分配规律的内在原因。

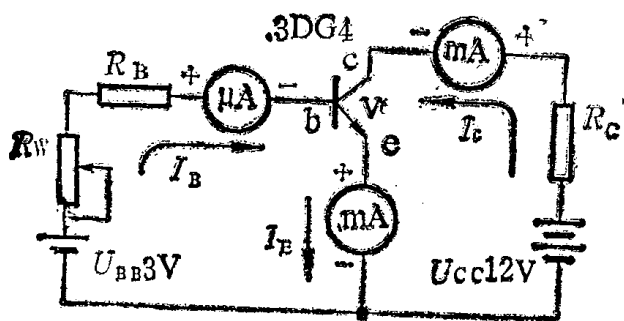


图 1-14 三极管放大实验

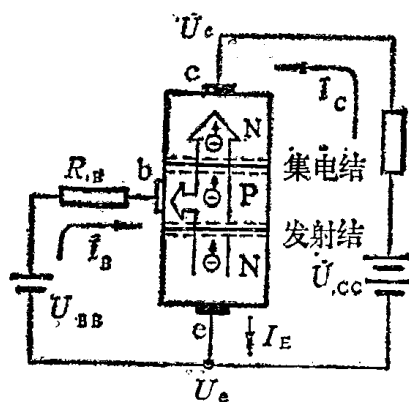


图 1-15 三极管内电流分配

由图可见，由于 U_{BE} 正向加到发射结上，抵消了发射结的内电场，N 区浓度很大的电子大量向基区扩散，形成发射极电流 I_E ；由于基区做得很薄，而且集电极上加了较高正电压 U_{CE} ，集电区内正电场很强，吸引力大，所以扩散到基区的电子绝大部分穿过基区被集电极收集，形成集电极电流 I_C ；其中只有极小部分被基区较小的正向电场吸引而流向基极，与基极