

电工及电子学

(三)

湖北农业机械学院印

目 录

第三篇 半导体电路基础	1
第一章 半导体二极管及整流电路	1
内容提要	1
1—1 半导体二极管	1
一、半导体二极管的单向导电性	1
二、半导体的导电性能及 P 型半导体, n 型半导体	3
三、 $P-n$ 结的特性——单向导电性	4
四、半导体二极管的伏安特性及参数	7
五、用万用表检查二极管	11
1—2 单相整流电路	11
一、单相半波整流电路	11
二、单相桥式整流电路	13
三、单相全波整流电路	15
1—3 三相整流电路	17
一、三相半波整流电路	17
* 二、三相桥式整流电路	19
1—4 滤波电路	21
一、电容滤波器	22
二、电感滤波器	24
三、复式滤波器	25
1—5 倍压整流电路	25
本章小结	26
思考题与习题	28
第二章 半导体三极管及交流放大器	29
内容提要	26
2—1 半导体三极管	29
一、三极管的结构和符号	29
二、三极管的电流放大作用	31
三、三极管的特性曲线	32
四、三极管的主要参数	35
五、利用万用表检查三极管	38
2—2 基本放大电路	40
一、共发射极基本放大电路	40
二、电路的放大现象	41
三、电路图的简化及习惯画法	42
2—3 分析放大电路的计算法	43
2—4 分析放大电路的图解法	48
一、确定放大器的静态工作点	48
二、动态工作情况的分析以及求放大倍数	50
三、分析电路参数对直流负载线与静态工作点的影响	52

四、静态工作点与波形失真的关系	52
五、交流负载线	54
* 六、共发射极基本交流放大器的设计	56
2—5 放大器工作点的稳定	57
一、分压式电流负反馈偏置电路	59
二、电压负反馈偏置电路	61
三、利用热敏元件补偿电路	61
2—6 多级放大器	62
一、阻抗匹配和输出电阻	62
二、阻容耦合放大器	64
三、变压器耦合放大器	68
2—7 交流功率放大器	66
一、单边功率放大器	70
二、推挽功率放大器	72
2—8 放大器中的负反馈	75
一、反馈的基本概念	75
二、负反馈对放大器性能的改善	76
三、反馈方式	77
* 四、负反馈的判别和几种典型的负反馈电路	77
(1)射极输出器	78
(2)两级放大器采用电压串联负反馈电路	80
(3)多级放大器采用电流串联负反馈电路	80
(4)单级放大器采用电流串联负反馈电路	81
(5)单级放大器采用电压并联负反馈电路	82
(6)两级放大器采用电流并联负反馈电路	82
本章小结	83
思考题与习题	84
第三章 直流放大器与相敏整流放大器	89
内容提要	89
3—1 直接耦合放大器	89
3—2 差动放大器	91
一、什么叫零点漂移	91
二、平衡差动式放大电路	91
三、单端式差动放大电路	93
* 3—3 相敏整流器	94
* 3—4 相敏放大器	96
本章小结	98
思考题与习题	98
第四章 可控整流主电路与触发电路	99
内容提要	99
4—1 可控硅元件	99
一、可控硅的结构及符号	99
二、可控硅的工作原理	100
三、可控硅的阳极伏安特性	102

四、可控硅的主要参数	104
五、可控硅使用注意点	104
4-2 单相可控整流电路	105
一、单相半波可控整流电路	105
二、单相半波桥式整流电路	107
* 4-3 三相可控整流电路	108
一、三相半波可控整流电路	108
二、三相半控桥式整流电路	111
4-4 可控硅元件的选择	114
一、平均值与有效值的关系	114
二、常用整流电路的计算用表	115
三、可控硅元件选择举例	118
4-5 电感性负载与续流二极管	121
4-6 可控硅的保护和串并联	123
一、可控硅发生过电流的原因及其保护	123
二、可控硅发生过电压的原因及其保护	124
三、可控硅串并联	126
4-7 可控硅触发电路	127
一、可控硅对触发电压的要求	127
二、单结晶体管触发电路	129
本章小结	138
思考题与习题	142
第五章 脉冲技术基础	144
内容提要	144
5-1 概述	144
一、脉冲技术的研究对象及其发展	144
二、典型的脉冲波形和参数	145
三、常用的基本脉冲电路及基本组成	146
5-2 RC 电路	146
一、直流电路的复习	146
二、电容充放电过程的复习	148
三、 RC 电路的应用	149
5-3 三极管开关特性	151
一、三极管的三种工作状态	152
二、三极管的导通与截止状态	152
三、三种状态小结	153
5-4 门电路	154
一、二极管门电路	155
二、三极管“非”门电路	156
5-5 双稳态触发器	161
一、触发器的两个稳定状态	161
二、触发器的翻转	164
三、触发输入方式	164
四、应用举例	167

5-6 单稳态触发器	170
一、电路的引出	170
二、工作原理	171
三、单稳态电路应用	172
5-7 多谐振荡器	173
一、集基耦合多谐振荡器的工作原理	173
二、振荡幅度和振荡频率	176
5-8 施密特触发器	176
一、工作原理	177
二、滞后特性	178
三、施密特触发器的应用	178
本章小结	179
思考题与习题	179
第六章 LC振荡器	182
内容提要	182
6-1 自激振荡	182
一、放大器的自激振荡	182
二、正弦波振荡的条件	183
6-2 LC回路中的电磁振荡	185
6-3 典型LC振荡线路分析	186
一、变压器反馈振荡线路	186
二、电感反馈振荡线路	188
三、电容反馈振荡电路	189
6-4 LC自激振荡器应用举例	190
一、接近开关	190
二、XCT-101型调节仪表线路	192
本章小结	196
思考题与习题	196
附 录	197
一、本书常用符号说明	197
二、国产半导体器件型号命名法	199
三、常用半导体元件参数表	200

第三篇 半导体电路基础

第一章 半导体二极管及整流电路

内 容 提 要

发电厂输送到车间的电流都是交流电，但是许多电气设备和自动控制系统中则需要直流电。在半导体技术蓬勃发展的今天，采用半导体器件组成的整流电路就能方便地把交流电转换成直流电。

半导体整流电路的基本原理是建立在整流元件的单向导电性的基础上，而整流二极管以及各种半导体器件是由 $p-n$ 结构成的，因此，我们在这一章里，首先要对半导体 $p-n$ 结这一共性问题 and 半导体二极管的特性、参数进行讨论，然后研究几种常用的半导体整流电路以及如何选用半导体整流元件的问题。

1-1 半 导 体 二 极 管

一、半导体二极管的单向导电性

常见的半导体二极管的外观形状如图1-1所示。在管壳上面通常标有一个箭头 $\left(\frac{\downarrow}{|}\right)$ ，就是半导体二极管(以后简称二极管)的代表符号，有箭头的一端是它的阳极(用 a 表示)，而另一端是它的阴极(用 k 表示)。由于它有两个电极，故由此得名，称为二极管。

毛主席教导我们“一切真知都是从直接经验发源的。”二极管有什么电特性呢？通过下面一个简单的实验，就可以建立初步的感性认识。

“有比较才能鉴别”。首先看看大家熟知的电阻元件的导电特性。图1-2是简单的纯电阻电路，如果在电路两端加上一个电池，其电压极性是上正下负，则电路中有电流流过，灯也就亮了，电流流过负载的方向是由上到下；当外加电压的极性改变为上负下正后，电路中同样有电流通过，灯泡仍是亮的，不过电流的方向改变了，此时电流是从下往上流过负载。

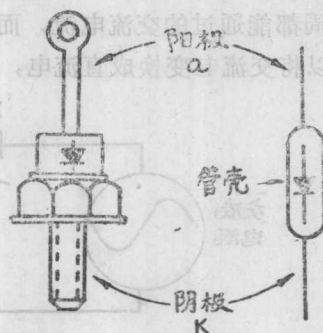


图1-1 二极管外形

可见在电路中的电阻元件两个方向的导电性都是一样的。简言之，电阻元件两个方向都能导电。而二极管的情况就不同，若将二极管按图1—3(a)所示接法，即将电池的正极接二极管的阳极 a ，电池的负极接二极管的阴极 k （这种接法称正向接法），此时电路中的灯亮了，电路中有电流通过，电流的方向是从电池的正极（高电位）出发，经二极管的阳极流向阴极，然后通过灯泡（负载）回到电池的负极（低电位）。若将电池的极性倒过来，如图1—3(b)所示，即电池的负极接二极管的阳极 a ，电池的正极接二极管的阴极 k （称反向接法），此时灯泡不亮，说明电路中无电流流过（其实有很少的漏电流）。

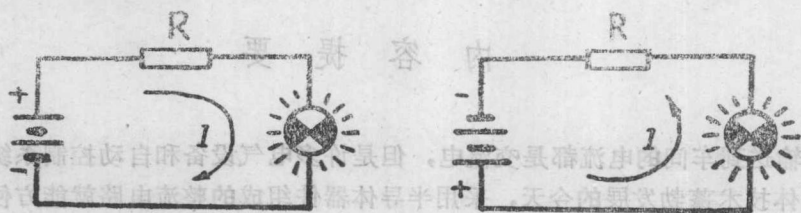
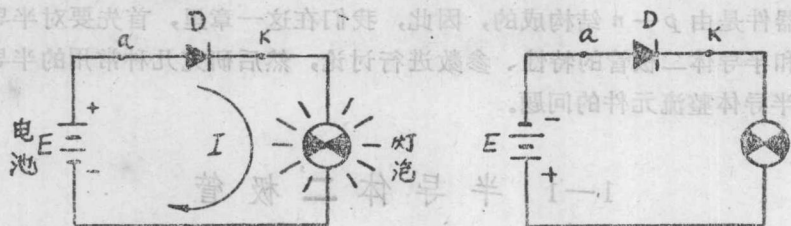


图1—2 电阻元件导电能力与电源极性无关



(a) 正向接法有电流

(b) 反向接法无电流

图1—3 二极管的单向导电性实验

通过上面的实验，我们发现二极管两个方向的导电能力是不同的，电流只能顺着二极管箭头所示方向流通，而不能逆着箭头所示的方向流通。这就是说二极管具有单方向导电的性能。

显然，如果将上述实验电路中的电池换成交流电源，如图1—4所示，那么在交流电源正半周，电路中有电流流过，在电源的负半周没有电流流过，因此流过负载电阻 R 上的电流不是正负半周都能通过的交流电流，而是单方向的脉动式的直流，可见利用二极管的单向导电特性就可以将交流电变换成直流电，这就是我们常说的“整流”。

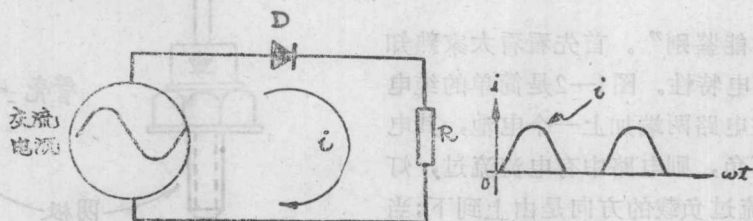


图1—4 利用二极管将交流变换为直流的情况

上述实验只说明二极管具有单向导电特性，但是“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学分析方法。”

为什么二极管具有单向导电性？它的实质是什么？毛主席教导我们：“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性”，为了弄清这个问题，必须对半导体的性能有个初步认识。

二、半导体的导电性能及 p 型半导体， n 型半导体

（一）什么叫半导体？

首先让我们复习一下物理学中的基本常识，什么叫导体，什么叫绝缘体。

导体——就是容易导电的物体。银，铜，铝等金属都是良好的导体。导体为什么容易导电呢？大家知道物质属性与其内部原子结构有关，在导体中原子核外层电子受原子核的束缚力很小，因此导体中存在大量的能自由运动的电子，这些自由电子就是运载电荷的工具（简称载流子），它们在外加电压作用下就会定向运动形成电流；由于导体中存在着大量自由电子，所以导体的导电性能很好。

必须指出，导体中虽然存在大量带负电荷的自由电子，但是通常导体本身仍是不带电的中性物体，因为导体中原子核的正电荷和核外电子的负电荷在数量上总是相等的。

绝缘体——就是不容易导电的物体。这类物体的原子核与核外的电子结合很紧，电子不能自由运动，因此绝缘体中自由电子很少（即载流子少），所以它的导电性能很差。橡皮，陶瓷，玻璃，塑料，胶木等就是很好的绝缘材料。

那么，什么是半导体呢？半导体就是说它的导电性能介于导体和绝缘体之间的这类物质。它们既不象导体那样容易导电，也不象绝缘体那样不容易导电，也就是说，半导体中的载流子不象导体里面那样多，又不象绝缘体里面那样少。锗，硅，硒以及绝大多数金属氧化物都属半导体。

由上述可知半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间，用它作导体不大恰当，用它作绝缘体又不可靠，所以长期以来没有引起人们的注意。只是后来人们通过科学实验，发现半导体具有一些可贵的性能，把它应用于生产斗争中，促使电子技术发生了重大变革。

下面我们来看看半导体具有什么特性。

（二）半导体的特性

1. 半导体对热和光反应很敏感。

半导体是一种晶体结构，电子和原子核排列都是很整齐的。纯净的半导体（即不含杂质）它的晶体结构十分完整，这种半导体叫本征半导体。本征半导体中的电子和空穴数量很少，导电能力远比导体差。

温度对半导体的导电能力有很大影响，当温度升高后，它的导电能力会显著增加。这是由于受热后，半导体中就有不少的电子获得足够的能量摆脱原子核的束缚而成为自由电子，温度越高自由电子越多，半导体的导电性能就越好。人们利用半导体材料的这种特性可以做成自动控制用的热敏元件（如热敏电阻）。

当光线照射在半导体上，半导体的导电能力也显著增加，利用这种特性做成了各种自动控制用的光电元件（如光电二极管，光电三极管，光敏电阻等）。

由此可见半导体受到热和光的作用，导电能力都有显著的变化。其原因是半导体在外界条件作用下产生了大量自由电子的缘故。值得注意的是，半导体是一种晶体结构，核外电子是整齐排列的，当产生了一个自由电子后，必然在晶格上出现一个空位，这个空位就叫空穴。

因此自由电子和空穴是成对出现的，故称电子——空穴对，空穴也能参加导电，是半导体中特有的一种载流子。可以这样来理解：原子本来是中性的，原子核带正电，而电子带负电，一旦电子受热其能量增大，从而摆脱原子核对它的约束而成为自由电子，在晶格上就出现了带正电荷的空穴。由于异性相吸引的道理，空穴可以吸引邻近原子中的电子来填补这个空位置，而使空穴转移到邻近的原子上，所以可以视为空穴在晶体中移动而形成电流。因此在半导体中存在着两种导电的工具（两种载流子），即

自由电子：用符号“ $\cdot$ ”表示，带负电，用字母“ n ”表示

空穴：用符号“ $\circ$ ”表示，带正电，用字母“ p ”表示

在本征半导体中所形成的自由电子和空穴的数量总是相等的。其导电特性如图1—5所示。图（a）是在低温下的本征半导体，没有自由电子，故不导电， $I=0$ 。图（b）是在加热后的本征半导体，存在有自由电子和空穴，故可导电， $I_{\text{总}} = I_{\text{电子}} + I_{\text{空穴}}$ 。

2. p 型半导体和 n 型半导体

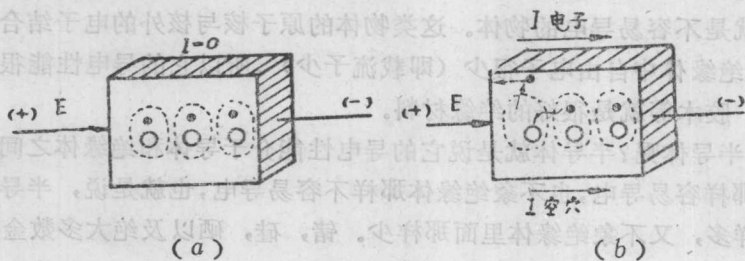


图1—5 本征半导体的导电性能

在纯净的半导体（如单晶硅，四价元素）中加入少量的硼，由于硼是三价元素，从而破坏了半导体的对称结构，形成晶格中出现空穴过剩。这种半导体由于空穴数大大多于自由电子因而主要靠空穴导电。这种类型半导体叫空穴型半导体，简称 p 型半导体，如图1—6(a)所示。

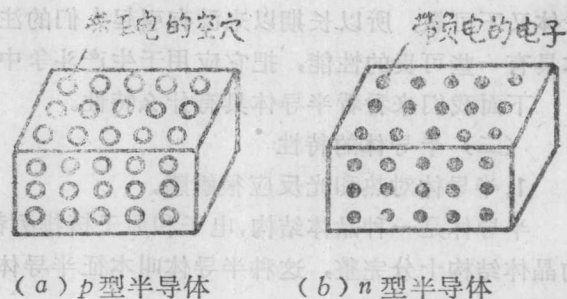


图1—6 p 型和 n 型半导体示意图

若在纯净的半导体（如单晶硅）中加入少量的磷（五价元素），因而在晶格上出现电子过剩。这种半导体由于自由电子数大大多于空穴因而主要靠电子导电。这种类型半导体叫电子型半导体，简称 n 型半导体，如图1—6(b)所示。

必须指出，不论是 p 型还是 n 型半导体，它们总有一种载流子占多数，但它们本身是不带电的中性物质。正如导体中虽有大量自由电子，但导体本身并不带电一样。而且 p 型半导体和 n 型半导体，仅仅是导电性能增加了，单独拿来应用，价值不大，仅作为半导体器件的原材料。如果将 p 型和 n 型半导体结合在一起就会产生一个奇妙现象。

三、 $p-n$ 结的特性——单向导电性

把 p 型半导体和 n 型半导体结合在一起，在两者的交界处会形成一个叫做 $p-n$ 结的特

殊薄层。 $p-n$ 结具有单向导电的特性。二极管之所以具有单向导电性,就是它具有一个 $p-n$ 结。不仅二极管是由 $p-n$ 结构成,许多半导体元件都是由 $p-n$ 结构成。 $p-n$ 结是半导体元件的基本结构,例如放大管是用两个 $p-n$ 结组成,可控硅是用三个 $p-n$ 结组成。许多半导体元件的特性都可用 $p-n$ 结理论进行解释,故掌握 $p-n$ 结单向导电性是很重要的,它是掌握半导体性能的一把“钥匙”,是我们学好半导体电路的重要入门。

(一) $p-n$ 结的形成

如果把一块 p 型半导体和一块 n 型半导体结合在一起,在它们的交界处就要发生电子和空穴的扩散运动,如图 1—7 所示。

什么叫扩散运动呢?举一个常见的例子来说明。把兰墨水滴在一盆清水中,兰墨水就会慢慢扩散开来,使整盆水变成兰色。这种物质由浓度大的地方向浓度小的地方运动就叫扩散。扩散是分子运动的结果,是受扩散力的作用而产生的。

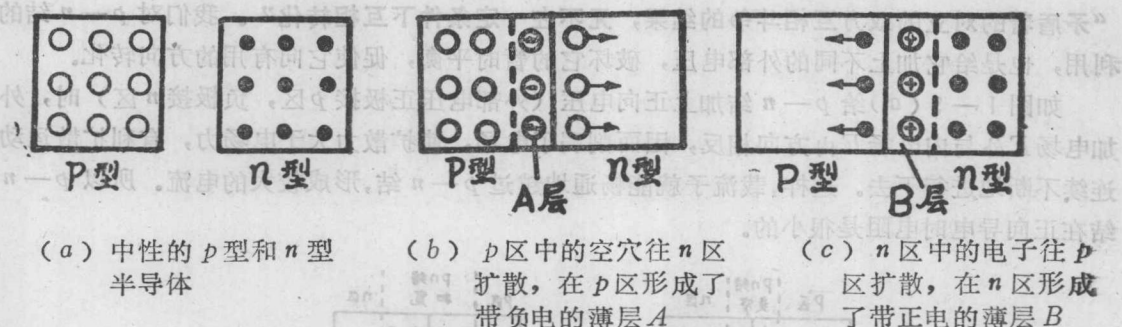


图 1—7 载流子的扩散运动

在半导体的 $p-n$ 结中,载流子的扩散运动也是如此。大家知道, p 型半导体中空穴多,而 n 区几乎没有空穴,也就是 p 型区中空穴浓度大,于是空穴就由 p 区向 n 区扩散,随着扩散的进行, p 区空穴减少了,那么原来是中性的 p 型区因失去了带正电的空穴而出现了一层带负电的空间薄层 A (图 1—8 中用 $\ominus$ 表示)。同理, n 型半导体中电子浓度大,而 p 区几乎没有电子,所以 n 区电子要向 p 区扩散,结果在 n 区出现了带正电的空间薄层 B (图 1—8 中用 $\oplus$ 表示)。

两种载流子的扩散是同时进行的。由于扩散的结果,在其界面附近形成一个带电薄层,它的 p 侧带负电, n 侧带正电。因而产生一个内电场,内电场的作用方向是由正电荷指向负电荷,如图 1—8 所示。

这个带电薄层就是所谓的 $p-n$ 结,厚度大约为 10^{-3} — 10^{-4} 毫米。以上所述是 $p-n$ 结的形成过程。

值得注意的是,这个称为 $p-n$ 结而实质是内电场在起作用的东西是由扩散作用而产生的。有扩散才有内电场。那么这个内电场对扩散有什么影响呢?不难看出,这个内电场所产生的电场力是阻止扩散运动继续进行的,一个

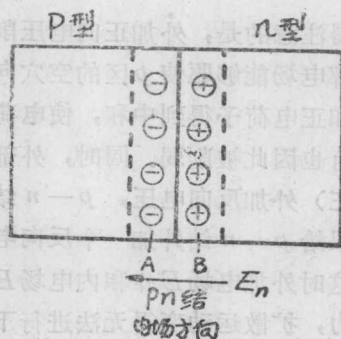


图 1—8 空穴和电子扩散运动所形成的内电场—— $p-n$ 结

是要扩散，而另一个是阻止扩散进行，于是由带电薄层 AB 所产生的电场力与扩散力形成了一对矛盾，这就是 $p-n$ 结载流子运动的主要矛盾。

在扩散开始的时候，扩散力大于电场力，因此扩散接连不断进行。随着扩散的进行， $p-n$ 结电荷区不断加深，电场力不断增强，当电场力等于扩散力的时候，就达到了相对的平衡，对立的双方得到了暂时的统一。

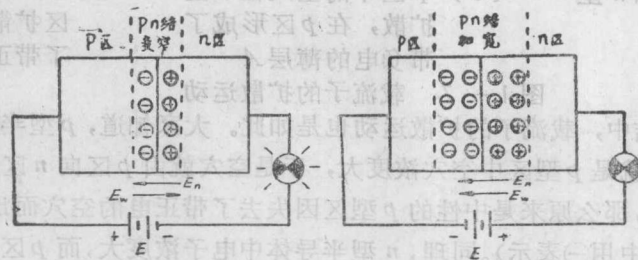
毛主席说：“一切事物中包含的矛盾方面的相互依赖和相互斗争，决定一切事物的生命，推动一切事物的发展”。从本质上讲， $p-n$ 结就是扩散力与电场力这对矛盾相互伴随而存在，有扩散才有电场，因此是互相依赖的。但它们方向相反，互相对抗，共存于同一个 $p-n$ 结中。当建立起一定宽度的电荷区后，电场力与扩散力达到了相对的暂时平衡，矛盾得到暂时的统一。

(二) 外加正向电压， $p-n$ 结导通

“对立的统一是有条件的、暂时的、相对的，而对立的互相排除的斗争则是绝对的”。

“矛盾着的对立的双方互相斗争的结果，无不在一定条件下互相转化”。我们对 $p-n$ 结的利用，也是给它加上不同的外部电压，破坏它的暂时平衡，促使它向有用的方向转化。

如图1-9(a)给 $p-n$ 结加上正向电压（外部电压正极接 p 区，负极接 n 区）时，外加电场 $E_{外}$ 与内电场 $E_{内}$ 方向相反，因而削弱了电场，使扩散力大于电场力，有利扩散运动连续不断地进行下去。这样，载流子就能畅通地越过 $p-n$ 结，形成较大的电流。所以 $p-n$ 结在正向导电时电阻是很小的。



(a) 加正向电压，导通

(b) 加反向电压，不导通

图1-9 $p-n$ 结的单向导电特性

值得注意的是，外加正向电压削弱内部电场力的过程，也就是 $p-n$ 结电荷区变窄的过程。外部电场能够驱使 p 区的空穴向右移动， n 区的电子向左移动，从而使原来电荷区的负电荷子和正电荷子得到中和，使电荷区的电荷量减少，这样也就使得 $p-n$ 结变窄，内部电场力 $E_{内}$ 也因此被削弱。同时，外部电源是源源不断地向半导体提供空穴和电子的源泉。

(三) 外加反向电压， $p-n$ 结截止

如果给 $p-n$ 结外加一个反向电压（外加电压正极接 n 区，负极接 p 区）如图1-9(b)所示。这时外加电场 $E_{外}$ 和内电场 $E_{内}$ 的方向一致，使总的电场力增加。由于电场力远远大于扩散力，扩散运动变得无法进行下去。

同时，外部电场的力量，驱使 p 区的空穴向左移动， n 区的电子向右移动。在电荷区的左边，由于空穴移走，使负电荷量增加，电荷区变宽；同理，右边由于电子移走，使正电荷

量增加,也使电荷区变宽。电荷区变宽这件事本身也造成内电场 E 内进一步加强,使载流子的扩散难于进行。

能否说, $p-n$ 结截止时,电路中电流为零呢?“完全的纯是没有的,……不纯是绝对的,纯是相对的。”因此,我们必须注意到,尽管 p 型半导体的载流子绝大多数是空穴,也仍然存在极少量的电子,它们将反着电场的方向由 p 区向 n 区运动。同样, n 型半导体也总是存在极少量的空穴,它们将沿着电场方向由 n 区向 p 区运动。在电场作用下,这些少数载流子的运动就构成了很微弱的 $p-n$ 结反向电流。由于反向电流很小,所以说 $p-n$ 结外加反向电压时它的电阻很大,基本上不导电。

必须指出, p 区中极少量的电子和 n 区中极少量的空穴,随温度增加而急剧的增加,所以 $p-n$ 结的反向电流也是随温度的增加而急剧增加的。如果我们把室温 25°C 时硅管的反向电流当作1,则当温度升高时,反向电流急剧增加,如下表所示:

环境温度	25°C	55°C	95°C	140°C
反向电流	1	10	100	1000

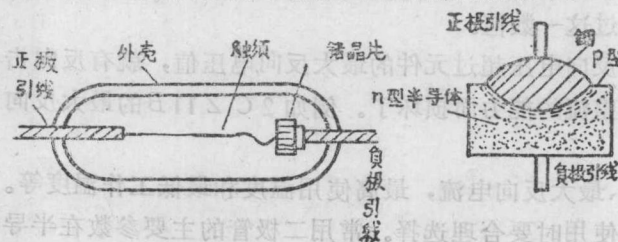
所以在使用半导体元件时,必须考虑到环境温度对半导体元件特性的影响这样一个重要因素。

四、半导体二极管的伏安特性及参数

(一) 半导体二极管的结构及型号

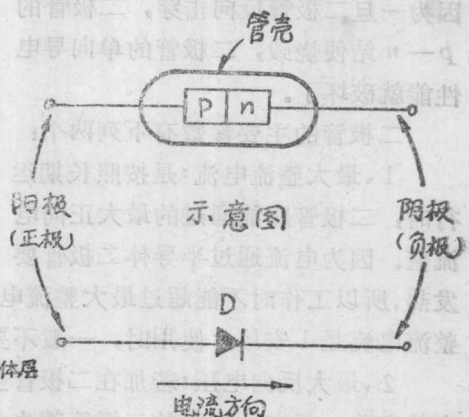
在 $p-n$ 结两端接上电极引线,并用管壳密封好就构成二极管,它的结构示意图和代表符号如图1—10(c)所示。对应于 p 区的引线为二极管的阳极,对应于 n 区的引线为阴极。由于二极管是由一个 $p-n$ 结构成的,因此它具有单向导电性,其代表符号箭头所指的方向就表示电流能流通的方向。

二极管根据不同情况,如按外形结构,材料,功率及应用范围等等,可分成各种类型。根据结构的不同可分成点接触型和面接触型,如图1—10(a)(b)所示。点接触型由于接触面小,不能通过大的电流,多用于高频信号的检波,脉冲技术以及小电流的整流器中,面接触与点接触相反,由于接触面大,可以通过较大的电流,多用于低频大电流的整流器中。



(a) 点接触型

(b) 面接触型



(c) 代表符号

图1—10 二极管结构示意图及代表符号

按照半导体材料来分类,常用的有锗二极管和硅二极管。半导体二极管的型号很多,我们往往用一个符号来代表它的名字。例如2AP1,其中2表示二极管,A表示n型锗材料为基础组成,P表示普通管,1则是编号。又如2CZ11,其中C表示由n型硅材料为基础组成,Z表示整流管。

我国规定的半导体器件型号命名方法见表1—1。

半导体二极管的种类和规格是很多的,但是只要掌握所有二极管的共性,即它的单向导电性能,再根据使用的具体条件,便能够很方便地选择和应用。

(二) 二极管的伏安特性及参数

为了进一步弄清二极管的单向导电性能,我们常常把加在二极管两端电压的数值同流过二极管的电流数值间的关系画成曲线。由于电压用伏特表示,电流用安培或毫安表示,所以电压与电流的关系曲线又常称为伏安特性。如图1—11所示。从特性曲线可以清楚地看到:当二极管在正向电压作用下(即二极管的正极接电源正极,负极接电源负极时),电流很容易通过二极管,即二极管正向导通,这说明二极管的正向电阻很小。当二极管在反向电压作用下(即二极管的正极接电源的负极,负极接电源正极时),反向电流极小,可以看成电流基本上不通过二极管,即二极管反向不导通,这说明二极管的反向电阻很大。反向电阻愈大,则反向电流愈小,这表示二极管的反向关断性能好。但当反向电压升高到一定数值时,反向电流就会突然剧增,这叫做二极管的“反向击穿”,此反向电压数值称为最大反向电压。这是一个很重要的参数,因为一旦二极管反向击穿,二极管的p—n结便烧毁,二极管的单向导电性能就破坏了。

二极管的主要参数有下列两个:

- 1、最大整流电流:是按照长期运行时,二极管所能通过的最大正向电流值。因为电流通过半导体二极管要发热,所以工作时不能超过最大整流电流,否则就会因过热而损坏。例如2CZ11B容许的最大整流电流是1安培,使用时,一般不要超过这一数值。

- 2、最大反向电压:若加在二极管上的反向电压超过元件的最大反向电压值,就有反向击穿的危险。反向击穿了二极管就失去了整流的能力而损坏了。例如2CZ11B的最大反向电压不可超过400伏。

还有一些其他参数,如最高工作频率、最大反向电流,最高使用温度和最低工作温度等。对于不同的二极管,也有不同的参数,在使用时要合理选择。常用二极管的主要参数在半导体器件手册中均可查到。

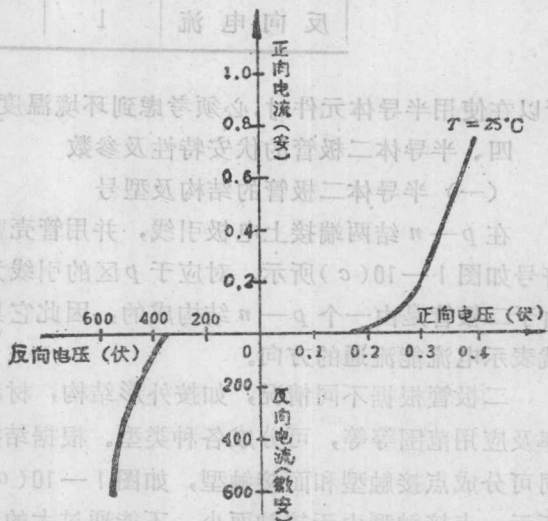


图1—11 硅二极管2CZ11B的伏安特性曲线

表1—2常用二极管的参数举例

(1) 2AP1~7检波二极管, (点接触锗管, 在电子设备中做检波和小电流整流用)

参 型 数 号	最大整流 电 流 (mA)	最大反向 工作电压 (峰值) (V)	最高工作 频 率 (KHZ)
2AP1	16	20	150
2AP2	16	30	150
2AP3	25	30	150
2AP4	16	50	150
2AP5	16	75	150
2AP6	12	100	150
2AP7	12	100	150

(2) 2CP10~20整流二极管 (面结型硅管, 在电子设备中主要作整流用)

参 型 数 号	最大整流 电 流 (A)	最大反向 工作电压 (V)	最高工作 频 率 (KHZ)
2CP10	100	25	50
2CP11	100	50	50
2CP12	100	100	50
2CP13	100	150	50
2CP14	100	200	50
2CP15	100	250	50
2CP16	100	300	50
2CP17	100	350	50
2CP18	100	400	50
2CP19	100	500	50
2CP20	100	600	50

1000~1001	1	1000~1001
000~001	2	000~001
000~002	3	000~002
000~003	4	000~003
000~004	5	000~004
000~005	6	000~005
000~006	7	000~006
000~007	8	000~007
000~008	9	000~008
000~009	10	000~009
000~010	11	000~010
000~011	12	000~011
000~012	13	000~012
000~013	14	000~013
000~014	15	000~014
000~015	16	000~015
000~016	17	000~016
000~017	18	000~017
000~018	19	000~018
000~019	20	000~019

表1—1 国产半导体器件型号组成的符号及其意义

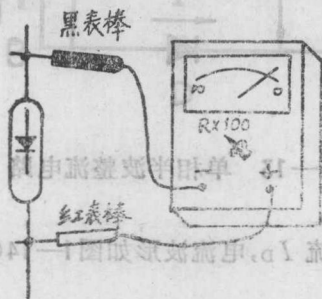
国 家 标 准				GBQ94—64			
GUOJIA				BIAOZHUN			
1964年2月27日批准				实施日期1964年7月1日			
第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用数字表示器件电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性。		用汉语拼音表示器件类型		用数字表示器件序号	
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义	意 义	
2.	二极管	A	N型锗材料	P	普通管	如一、二、三部分相同，仅第四部份不同，则表示同类型管，即在某些性能上有所差别。	
		B	P型锗材料	V	微波管		
		C	N型硅材料	W	稳压管		
		D	P型硅材料	C	参量管		
3.	三极管	A	PNP锗材料	Z	整流管		
		B	NPN锗材料	L	整流堆		
		C	PNP硅材料	S	隧道管		
		D	NPN硅材料	U	光电管		
示 例 锗 二 极 管 2 A P 11 普通管 N型，锗材料 二极管				K	开关管		
				X	低频小功率管 (截止频率 $<3\text{MHz}$ ，耗散功率 $<1\text{W}$)		
				G	高频小功率管 (截止频率 $\geq 3\text{MHz}$ ，耗散功率 $<1\text{W}$)		
				D	低频大功率管 (截止频率 $<3\text{MHz}$ ，耗散功率 $\geq 1\text{W}$)		
				A	高频大功率管 (截止频率 $\geq 3\text{MHz}$ ，耗散功率 $\geq 1\text{W}$)		
				T	可控整流管		
				序号			
				普通管			
				N型，锗材料			
				二极管			

(3) 2C Z系列整流二极管 (用于电子设备中作整流用)

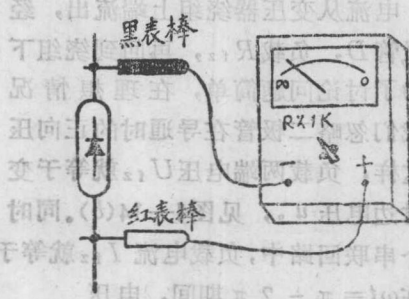
型号	参数 最大整流电 (A)	最大反 工作电压 (V)	最大整流电 时的正向管压降 (V)
2C Z 11A—H	1	100~800	≤ 1
2C Z 12A—G	3	50~600	≤ 0.8
2C Z 13A—G	5	50~600	≤ 0.8
2C Z 14A—F	10	50~600	≤ 0.8
2C Z—1	1	30~1000	≤ 0.55
2C Z—10	10	30~1000	≤ 0.65
2C Z—200	200	30~1000	≤ 0.7

五、用万用表检查二极管

在实际工作中有时需要判断二极管质量好坏和正负极性，最简便的方法是用万用表来测量。测量时应注意将量程拨在 $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ 档（若用 $R \times 1$ 档电流太大，用 $R \times 10K$ 以上档电压较高，可能损坏管子，都不宜采用）



(a) 正向电阻小



(b) 反向电阻大

图 1—12 用万用表检查二极管

测量的方法是：将万用电表的黑笔（在欧姆档时，黑笔是接表内电池的正极，红笔接表内电池的负极）接二极管的正级，红笔接负极，如图1—12(a)所示，并将欧姆档放在 $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ 档，此时电表读数在 $100 \sim 1000$ 欧左右，此值愈小愈好，阻值太大，表示元件质量不好。然后再将红笔接二极管的正极，黑笔接二极管的负极，如图1—12(b)所示，万用电表的读数应大于数百千欧以上，一般应在500千欧以上。此值太小则失去单向导电作用。若为无穷大，则表示管子内部已断裂。

我们在实际工作中，常常需要的是分辨二极管的正负极，这只要用万用电表把元件量一量，如读数较小的一次中，则接万用电表黑笔的那一端是正极，接万用电表红笔那一端是负极。

一般在二极管上都有颜色标志极性。2AP1~2AP7和2AP11~2AP17的外壳上用色点标出正极，而在2AP9~2AP10则用色点标出负极。

1—2 单相整流电路

通过第一节的学习，我们初步了解到利用二极管的单向导电性可以将交流电转变成直流电，以解决供电电源为交流电而生产需要直流电这一矛盾。利用二极管来实现整流的电路总称之为整流电路。下面介绍几种常用的整流电路。

为了分析方便，我们常把二极管看作是理想的开关元件，即当二极管正向导通时相当于短路（开关接通），当二极管反向截止时相当于开路（开关断开）。

一、单相半波整流电路

单相半波整流电路如图1—13所示。它是由电源 u_1 、变压器 B 、整流二极管 D 和负载 R_{LZ} 组成。

（一）电路的工作原理

电源 u_1 是供给交流电压，变压器 B 是用来变换电压的，变压器付方电压 u_2 的大小则根据负载 R_{LZ} 需要的直流电压决定。

图1—14(a)所示是电压 u_2 的波形图， u_2 是一个交流电压，根据整流元件 D 的单向导电特

性,它在正向电压作用下才导通,即只允许正方向电流通过。因此,在正半周波时,即 $\omega t=0-\pi$ 周期间, u_2 处在正半周,假定这时变压器付边绕组输出电压 u_2 上端正,下端负,二极管 D 就受到正向电压作用而导通,电流从变压器绕组上端流出,经过二极管 D ,负载 R_{fz} ,再回到绕组下端。为了讨论问题简单,在理想情况下,我们忽略二极管在导通时的正向压降,这样,负载两端电压 U_{fz} 就等于变压器付边电压 u_2 ,见图1—14(b)。同时在一个串联回路中,负载电流 I_{fz} 就等于流过二极管的电流 I_D ,电流波形如图1—14(c)所示。

图1—13 单相半波整流电路

在 $\omega t=\pi-2\pi$ 期间,电压 u_2 处在负半周,变压器付边绕组输出电压上端负,下端正,二极管 D 承受反向电压而截止,没有电流通过。见图1—14(d)。此时电源电压加不到负载上去,负载电压 U_{fz} 就等于零。

在 $\omega t=2\pi-3\pi$ 期间, u_2 又处在正半周,电路中工作情况与前相同。这种整流电路里只采用一只整流元件,负载电压只利用了电源电压的半个周波,所以叫做半波整流。

(二) 电路基本的数量分析

我们不仅要掌握整流电路的工作原理,而且要注意到它的数量分析,才能掌握其规律性,才能在实际工作中应用。

从半波整流电路中得到的电压,其正负极性不随时间变化,但数值大小是随时间变化的,这种电压叫脉动电压。这种脉动直流电压的大小用它的平均值表示,如图1—14(b)中虚线所示。这个平均值是在 $0-2\pi$ 期间把虚线上面的凸出部分填平虚线下面凹陷部分得出来的。这个负载电压平均值 U_{fz} 也就是直流电压表读出的电压数值,其大小等于半波面积在一个周期内的积分。即

$$\begin{aligned} U_{fz} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2 \end{aligned} \quad (1-1)$$

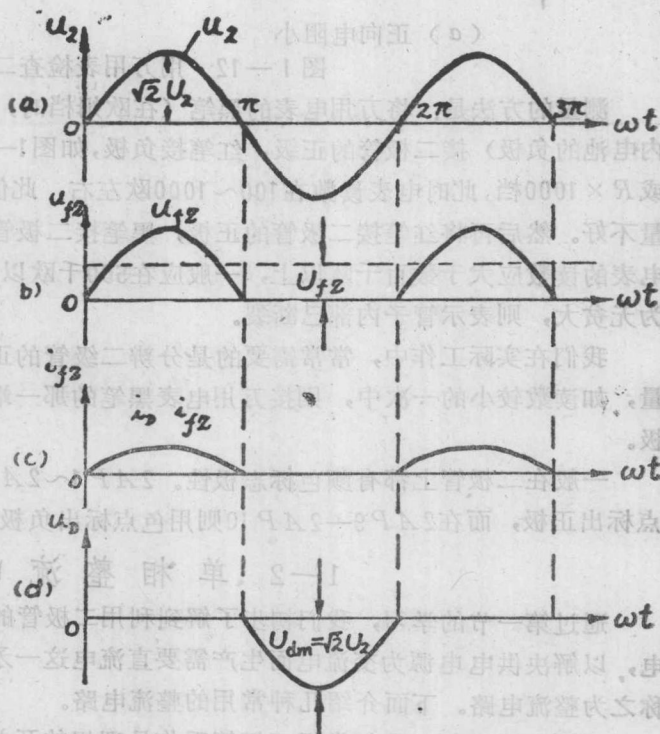


图1—14 单相半波整流波形图

但数值大小是随时间变化的,这种电压叫脉动电压。这种脉动直流电压的大小用它的平均值表示,如图1—14(b)中虚线所示。这个平均值是在 $0-2\pi$ 期间把虚线上面的凸出部分填平虚线下面凹陷部分得出来的。这个负载电压平均值 U_{fz} 也就是直流电压表读出的电压数值,其大小等于半波面积在一个周期内的积分。即