

电子技术讲座(一)

晶体管整流电路

(修訂本)

上海市业余工业大学编

科学出版社

内 容 简 介

本书首先介绍晶体二极管的伏安特性及主要参数，接着讨论了工业生产中常用的单相半波、单相全波、单相桥式、三相桥式及倍压整流电路的工作原理、元件参数的选择，单相小功率整流变压器等，并列举了应用实例。书中还简单介绍了可控硅的工作原理及它的应用。附录中介绍电路的基本知识及常用的晶体二极管参数。

电子技术讲座共四本，分别是：《晶体管整流电路》、《晶体管放大与振荡电路》、《晶体管收音机》、《晶体管开关电路》。

晶 体 管 整 流 电 路

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972 年 12 月第二版 1972 年 12 月第一次印刷

定 价： 0.28 元

目 录

第一章 晶体二极管	1
第一节 半导体	1
第二节 p-n 结	3
第三节 晶体二极管	7
本章小结	12
第二章 整流电路	14
第一节 单相半波电阻负载整流电路	14
第二节 单相全波电阻负载整流电路	17
第三节 单相桥式电阻负载整流电路	21
第四节 三相桥式电阻负载整流电路	24
第五节 整流元件的串联和并联	27
第六节 整流元件的过电流、过电压保护	30
第七节 滤波器	32
第八节 倍压整流电路	38
第九节 小功率整流变压器	41
本章小结	58
第三章 应用实例	60
一、直流能耗制动	60
二、交流弧焊机改制成交直流两用弧焊机	64
三、硅整流设备代替交、直流发电机组	67
四、GCA 系列硅整流设备	69
五、静电喷漆高频高压发生器	71

第四章 可控硅简介	75
第一节 可控硅整流元件工作情况	75
第二节 可控硅整流元件应用举例	78
本章小结	86
附录一 电路基本知识	88
第一节 电路	88
第二节 交流电	93
第三节 电容	96
第四节 RC 电路	99
第五节 线圈	103
第六节 RL 电路	110
第七节 变压器	112
附录二 常用晶体二极管参数	115
附录三 电气元件图形符号	122

第一章 晶体二极管

电子工业是国民经济的重要部分。解放前,我国工业极为落后,几乎没有电子工业,甚至连整流器也要靠进口。解放后在党和毛主席的英明领导下,我国工人阶级破除迷信,解放思想,坚持贯彻执行毛主席的“**独立自主,自力更生**”的伟大方针,从无到有,由小到大的建立起自己的半导体工业,大大加快了电子工业发展速度。

我国电子工业的发展过程中,两条路线斗争是十分激烈的。电子工业战线上的广大革命职工,遵照毛主席关于“**路线是个纲,纲举目张**”的指示,狠批了刘少奇一类骗子拚命兜售的“电子神秘论”、“电子中心论”等黑货,“**以钢为纲**”,大力发展电子工业。无产阶级文化大革命以来,半导体元件、设备的品种和产量都有较大幅度的增长,很多品种在质量方面达到和超过了国际先进水平,许多高、精、尖的原料和产品都立足国内,完全摆脱了依赖国外进口的局面。

半导体电子技术在现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防事业中应用越来越普遍了,那么半导体究竟是什么呢?

第一节 半 导 体

1. 导体、绝缘体和半导体

大家知道,电线都是用铜或铝做成的,因为电能通过铜线

或铝线传导到需要的地方去；而在铜线或铝线外面常常包着一层橡皮或塑料，与外界隔绝，因为电不能通过橡皮或塑料传导出。

容易导电的物体，我们通称为导体，象银、铜、铝等一般金属都是良好的导体。反之，不容易导电的物体，我们称它们为绝缘体（又叫非导体），如橡皮、塑料、石英、玻璃等都是绝缘体。

在我们周围的世界中，除了上面说的导体和绝缘体外，还存在着一大类其他的物质，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，它们的导电性能介于导体和绝缘体之间。**这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。**我们把这类物质叫做半导体。半导体的种类非常多，象锗、硅、硒等，以及大多数金属的氧化物和硫化物（例如氧化亚铜），许多金属间的化合物（例如二锑化三镁、锑化铜等）都是半导体。

从上面讨论可以知道，世界上的物体按导电的本领分，可以分成三类：导体、绝缘体和半导体。

2. 半导体的独特“脾气”

半导体既不能作导体，又不能作绝缘体，为什么会引起人们很大的兴趣呢？原因并不在于它的导电能力介于导体与绝缘体之间，而在于半导体具有一种独特的“脾气”，即同一块半导体，它的导电能力在不同情况下会有非常大的差别，一会儿它象地地道道的导体，但一会儿又象典型的绝缘体。人们正是利用半导体的这种独特的“脾气”，做成各式各样的有用器件。

当外界温度升高时，半导体的导电能力就增加许多，温度下降一些，它的导电能力也下降许多，也就是说半导体的导电

能力与温度间有着密切的关系。人们利用半导体这种性质将它做成自动控制用的热敏元件(如热敏电阻等)。

当有光线照射在某些半导体上时,它们表现出导体的性质,导电能力很强;但在没有光照时,它们又象绝缘体一样不导电。于是人们就巧妙地利用半导体的这种独特“脾气”,做出各种各样的自动化控制用的光电器件和元件(如光电二极管、光电三极管和光敏电阻等)。

如果在纯净的半导体中适当地掺入极微量的杂质如硼、磷等,那么半导体的导电能力就会有上百万倍的增加。这是半导体最显著、最突出的性质。正因为半导体具有这样独特的特性,人们利用掺杂质的方法,制造出不同性质、不同用途的半导体器件,才使本来不受人们注意的半导体一跃而成为今天无线电电子技术的主要器件。

第二节 p-n 结

1. p 型半导体、n 型半导体

前面我们已经知道在纯净的半导体中加入极微量的杂质,能使半导体的导电能力增加许多倍,我们称加有杂质的半导体为杂质半导体。

但是并不是在半导体中随便加些杂质就能使半导体具有我们需要的性质。这也就是说,杂质是有选择的,不是随便加的。而且所加杂质的数量也是有严格规定的。只有加入一定种类和一定数量的杂质,才能使半导体的性质符合我们的要求。

加到半导体中的杂质可以分成两种类型。一种杂质加到半导体中去后,在半导体中会产生许多带负电的电子,这种半

导体叫做电子型半导体(也叫 n 型半导体)。另一种杂质加到半导体中会产生许多缺少电子的空位,我们把这些缺少电子的空位叫做空穴,这种半导体叫做空穴型半导体(也叫 p 型半导体)。

对于锗和硅半导体来说,最常用的一类杂质是锑、磷和砷等元素。这些元素加入后,半导体变成 n 型半导体了。常用的另一类杂质有铟、铝、镓和硼等元素,加入这些杂质后,半导体就变成 p 型的了。因此,加入两种不同类型的杂质能制成两种不同类型的半导体。

2. p - n 结

如果设法使一块完整的半导体的一部分是 n 型的,另一部分是 p 型的,象图 1-1 中所画的那样。这时在 p 型同 n 型

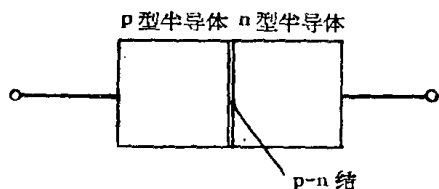


图 1-1 p - n 结

半导体相结合的地方,会形成一个叫做 p - n 结的特殊薄层。这个薄层有一个很特别的性能,就是对于电流有单方向导通的能力。如果我们

将 p 型半导体部分连接至电池的正电极, n 型半导体部分连接至电池的负电极,这时电流能通过 p - n 结流通,如图 1-2 所示。

如果换一个方向

连接,也就是说把 p 型部分接到电池的负电极, n 型部分与电池的正电极连接,这时电流不能通过 p - n 结流通,如图 1-3 所

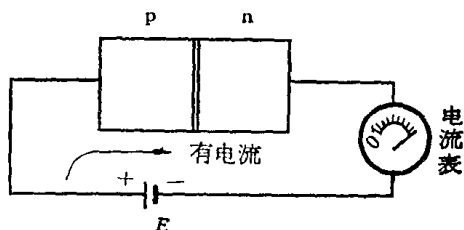


图 1-2 电流能通过 p 型半导体流至 n 型半导体

示。

这说明 p-n 结有一个单向导电的特性, 我们常用这样的符号 $\circ \rightarrow \text{---} | \text{---} \circ$ 来表示电流只能从左向右流而不能从右往左跑, 这就是晶体二极管的符号。p 型半导体的一端叫正极 (也叫阳极), n 型半导体一端叫负极 (也叫阴极), 电流只能从正极向负极流, 而不能反过来流。p-n 结的单向导电特性构成了晶体二极管、晶体三极管以及其他许多半导体器件基本作用原理的基础。

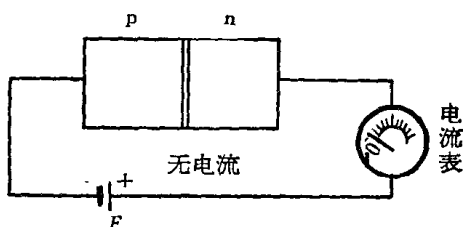


图 1-3 电流无法经过 n 型半导体流到 p 型半导体

3. p-n 结的伏安特性

为了进一步弄清 p 型半导体及 n 型半导体合在一起形成的 p-n 结的单方向导电性能, 常常把加在 p-n 结两端电压的数值同流过 p-n 结的电流间的关系画成曲线。由于电压用伏特表示, 电流用安培、毫安或微安表示, 所以电压与电流的关系又常称伏安特性。

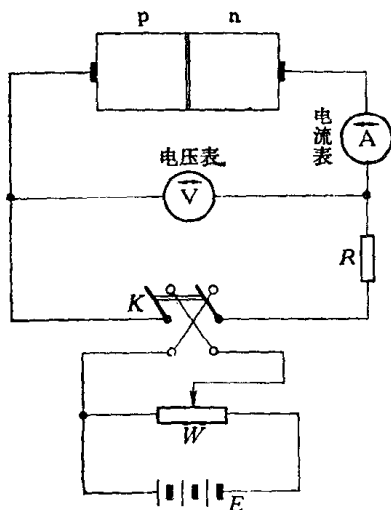


图 1-4

p-n 结伏安特性可用如图 1-4 的方法测量, 它测得的典型

曲线如图 1-5 那种形状,横坐标表示所加电压的大小,纵坐标表示流过 p-n 结的电流的大小。

当 p-n 结两端不加电压时,流经 p-n 结的电流也为零,在图 1-5 上即是横坐标和纵坐标的交点 O 点。

当 p-n 结正向连接时 (p 型区域接电源正端, n 型区域接电源负端), 流经 p-n 结的电流随着 p-n 结两端电压的逐渐增加而缓缓增加, 如图 1-5 上的 OA 段, 当电压从零增加到 0.2 伏时, 电流也从零增加到 1 毫安。当正向电压超过一定值 (如 0.2 伏) 时, 正向电流随着正向电压的增加就非常显著了, 如图 1-5 上的 AB 段。

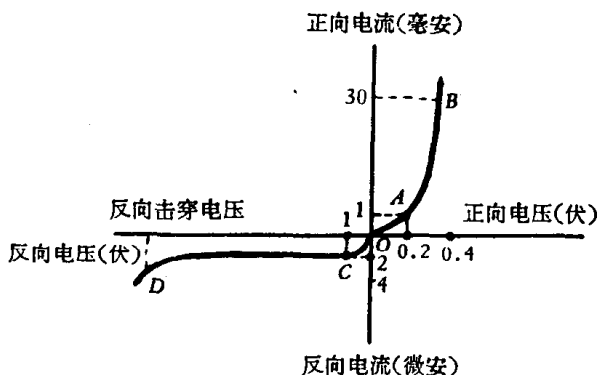


图 1-5 p-n 结的伏安特性曲线

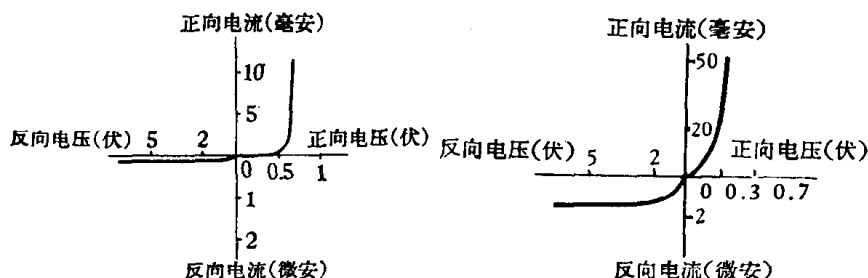
当 p-n 结反向连接时 (p 型区域接电压负端, n 型区域接电压正端), 反向电流随着加在 p-n 结上的反向电压的增加而略有增加, 如图 1-5 上的 OC 段, 电压从零增加到 1 伏, 电流从零增加到 2 微安。但当反向电压继续增加时, 反向电流几乎保持原来的值不变, 这个电流称为反向饱和电流, 如图 1-5 上的 CD 段。

当反向电压增加到一定的数值时, p-n 结从原来的不容易导电就向着和自己相反的方面转化了去, 反向电流就会很

快增加,这就表示 p-n 结已经不能承受而被击穿了,这个电压通常叫反向击穿电压。

从上面的讨论可知, p-n 结的单方向导电并不是绝对的,只是说明一个方向容易导电,相反方向则不容易导电。

对于用不同的半导体材料和不同结构、不同工艺制作的晶体二极管,伏安特性也有差异。正向电流随正向电压上升的快慢程度有时差别较大,反向电流的大小差别更大。但伏安特性曲线基本形状是相似的。



(1) 硅晶体二极管的伏安特性曲线 (2) 锗晶体二极管的伏安特性曲线

图 1-6 晶体二极管的伏安特性曲线

图 1-6 是某小功率硅和锗晶体二极管的伏安特性曲线。从曲线可以看出,锗晶体二极管正向电流上升很快,对应于曲线转折点(拐弯点)的正向电压要比硅晶体二极管来得小。但是锗晶体二极管的反向电流比硅晶体二极管要大得多(几十倍以至几百倍)。

第三节 晶体二极管

晶体二极管实际上就是由一个 p-n 结所构成,有时也叫做半导体二极管。它具有单方向导电的性能。

1. 晶体二极管的分类

晶体二极管根据不同的情况,如按外形、结构、材料、功率及应用等等,可分成各种类型。

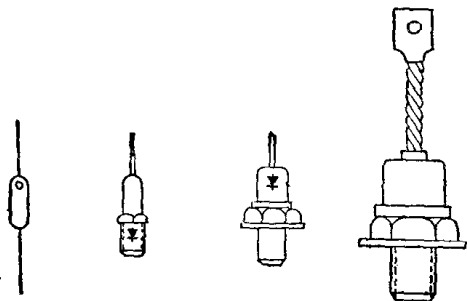


图 1-7 晶体二极管外形



图 1-8 晶体二极管符号

常见的晶体二极管的外形有如图 1-7 的几种,它们都有二个极:一个正极(即 P 型半导体引出线)、一个负极(即 n 型半导体引出线)。它的符号如图 1-8 所示。

根据结构不同,二极管可以分成点接触型和面接触型两种,如图 1-9 所示。

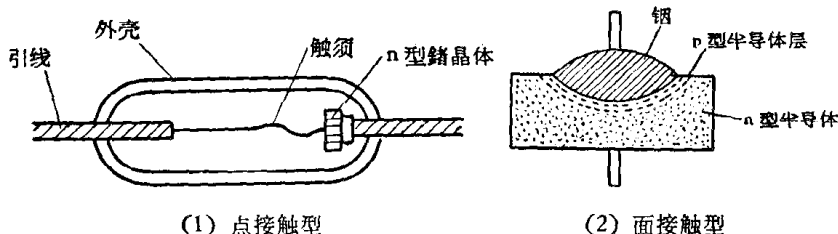


图 1-9

点接触型由于接触点小,不能通过大的电流,但正因为接触点小,所以电容小,可用于高频信号的检波、脉冲技术或微小电流的整流中。面接触型则与点接触型相反,由于接触面大,可以通过较大的电流,但它的电容大,因此不能用于高频线路中。

根据半导体材料不同,二极管可分为锗二极管、硅二极管及硒片、氧化铜等等。上面谈的都是锗、硅二极管,现在再介绍一下硒片,它在工业上还是常用的。

硒整流元件已有几十年历史,效率比锗、硅二极管低些,它独特的优点是过载能力强,不象别的二极管那样娇,但硒整流元件的体积较大,常用它作为小功率的整流元件。

硒整流元件做成片状,一面是光滑的,它就是阳极(p型区),

另一面是毛糙的,它就是阴极(n型区),硒片形状如图1-10所示,斜线所画表示毛糙面。

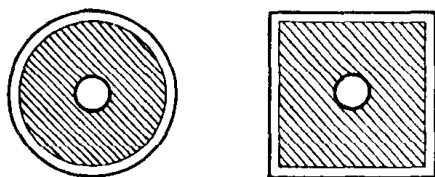


图 1-10 硒片

每一硒片所能承受反向电压有效值C级为20伏,D级为25伏,F级为30伏,硒片每平方厘米允许通过的电流XLP型为25毫安,XTP型为40毫安。在需要通过较大的电流与承受更大的电压时,就可将许多硒片并联或串联起来,象图1-11所示那样。



图 1-11

这样的并联串联组合叫做硒堆。究竟要用几片进行并联和串联,应根据所要求的整流电流及电压的大小以及每片硒片所能承受的电流电压来确定。

2. 晶体管的命名方法

晶体管的种类很多,每个晶体管我们都用一个符号来代表它的名字。但名字也不是随便取的,它有一定的道理,看到了名字就可以大致了解这个晶体管的特性。

目前我国晶体管名字由四部分组成,其命名方法如表 1-1 所示。

表 1-1

第一部分 (数字)	第二部分	第三部分 (拼音)	第四部分 (数字)
电极数目	材料和极性	晶体管类型	晶体管序号
2——二极管 3——三极管	二极管 { A——n 型锗 B——p 型锗 C——n 型硅 D——p 型硅 三极管 { A——pnp 锗 B——npn 锗 C——pnp 硅 D——npn 硅	P——普通管 V——微波管 W——稳压管 C——参量管 Z——整流管 L——整流堆 S——隧道管 U——光电管 K——开关管 X——低频小功率管 (截止频率 $f_a < 3$ 兆赫, 耗散功率 $P_c < 1$ 瓦) G——高频小功率管 ($f_a \geq 3$ 兆赫, $P_c < 1$ 瓦) D——低频大功率管 ($f_a < 3$ 兆赫, $P_c \geq 1$ 瓦) A——高频大功率管 ($f_a \geq 3$ 兆赫, $P_c \geq 1$ 瓦) T——可控整流器	第一、二、三部分相同, 仅第四部分不同, 则是在某些性能参数上有差别。

例如: 2AP1 2 表示二极管; A 表示由 n 型锗为基础组成; P 表示普通管; 1 则是编号。

2CZ11 表示由 n 型硅组成用作整流的二极管。

3. 晶体二极管的主要参数

晶体二极管的寿命很长,一般可达十万小时以上。但是,如果我们使用不妥当、不合理,就可能使晶体二极管很快损坏。为了正确使用它,我们就必须掌握晶体二极管的参数。

晶体二极管的主要参数有下列两个:

(1) 最大整流电流: 是按照长期运行时晶体二极管能通过的最大正向电流值。因为电流通过晶体二极管要发热, 所以不能太大, 否则要损坏。

对于大功率的晶体二极管, 为了降低它的温度, 以便提高最大整流电流, 要在电极上装上散热片。散热片的尺寸有一定的规定, 在使用时不可忘记装上, 以防止二极管过热而烧坏。此外, 还可采用风冷、水冷和油冷等, 以达到散热的目的。

(2) 最大反向电压: 若加在二极管上的反向电压超过此管的最大反向电压值, 二极管就有反向击穿的危险。二极管一旦反向击穿就失去整流的能力而损坏了。

还有一些其他参数, 如最高工作频率、最大反向电流、最大瞬时电流、最高使用温度和最低工作温度等, 对于不同的晶体二极管, 也有不同的极限值, 在有些场合也要适当给予注意。总之, 只要我们合理地使用, 就可使每个晶体二极管发挥它的作用, 既安全又耐久地正常运行。

常用晶体二极管的主要参数见附录二。

4. 利用万用表测量晶体二极管

利用普通的万用表可以粗略地测量一下晶体二极管, 确定那一端是它的正极, 那一端是负极, 并约略地看出二极管的正反向电阻值(二极管正向容易导电, 所以电阻小; 反向不容易导电, 所以电阻很大)。我们希望这两个阻值相差越大越好。若两者相差不多, 则表明这个二极管性能不好或完全坏了。

测量时, 把万用表拨到“欧姆档”($R \times 100$ 或 $R \times 1000$), 用表棒分别正反向测量二极管的两端, 即可读到两个阻值, 一个大, 一个小, 小的即是晶体二极管正向电阻, 大的即是二

极管的反向电阻（一般小功率晶体二极管的正向电阻约几百欧,反向电阻约几十千欧,大功率晶体二极管的电阻相应要小得多),图 1-12 就是测量过程。

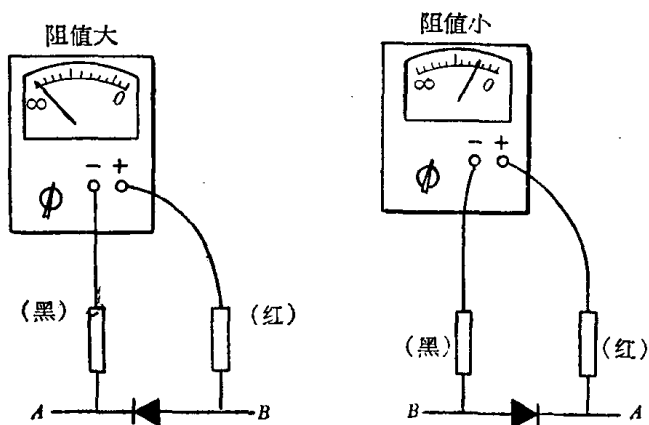


图 1-12

我们知道,普通万用表在电阻档时黑表棒带正电,红表棒带负电,所以由图 1-12 可以判断出二极管 A 端相当于负极, B 端相当于正极。

本章小结

1. 世界上的物体按导电性能分,可以分成三类: 导体、绝缘体和半导体。半导体除了导电性能介于导体与绝缘体之间外,还有三个特点:

- (1) 随着温度的升高,导电性能显著增加;
- (2) 光照能使半导体的导电性能大大增加;
- (3) 极微量的外加杂质能使半导体的导电性能有上百万倍的增加。

2. 杂质半导体有 P 型半导体和 n 型半导体两种。在 P 型

半导体和 n 型半导体相结合的地方，形成一个叫做 p-n 结的特殊薄层，p-n 结具有单向导电性能，这个特性构成了晶体二极管，利用这个特性还可以构成晶体三极管以及其他许多半导体器件。

3. 晶体二极管都有二个极：正极（也叫阳极，即 p 型半导体引出线）和负极（也叫阴极，即 n 型半导体引出线）。晶体二极管的种类很多，根据各种不同用途应选用不同类型的管子。晶体二极管的主要参数有二个：最大整流电流和最大反向电压，使用时不得超过此值，以免损坏管子。