



可控硅技术

武鋼修建部电修車間
武 汉 鋼 鉄 学 院 編
武鋼鋼鐵研究所科技情报小組

中国工业出版社

可控硅技术

武鋼修建部电修車間
武 汉 鋼 鉄 学 院 編
武鋼鋼鐵研究所科技情报小組



中国工业出版社

本书介绍了可控硅原理,可控硅的串并联及其保护,整流和逆变原理,主回路参数选择及其计算,可控硅的触发线路,可控硅控制系统中的直流放大器与调节器,可控硅应用线路。此外还阐述了半导体,半导体电路等基础知识。

可控硅技术

武钢修建部电修车间

武汉钢铁学院编

武钢钢铁研究所科技情报小组

(只限国内发行)

冶金工业部科技情报研究所书刊组编辑
产品标准

中国工业出版社出版

新华书店发行

中国工业出版社第一印刷厂印刷

1971年5月第一版 1971年5月第一次印刷

15165·4901(冶金-723) 每册1.60元

26-17-5

毛主席語录

世間一切事物中,人是第一个可寶貴的。在共产党领导下,只要有了人,什么人間奇迹也可以造出来。

政治工作是一切經濟工作的生命綫。在社会經濟制度发生根本变革的时期,尤其是这样。

我們不能走世界各国技术发展的老路,跟在别人后面一步一步地爬行。我們必須打破常規,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期內,把我国建設成为一个社会主义的現代化的强国。

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

前 言

在六十年代迅速发展起来的可控硅整流元件，是电子技术中一种新型的大功率半导体器件。它具有体积小、重量轻、效率高、寿命长和使用維修方便等优点。可控硅技术已在我国国民經济各部門得到广泛的应用，并取得显著效果。

无产階級文化大革命前，叛徒、內奸、工賊刘少奇及其在科技界代理人推行一条反革命修正主义科技路线，大肆宣揚“电子技术神秘論”，扼杀我国电子工业的发展，妄图讓我們跟在洋人后面一步一步地爬行，真是罪該万死！无产階級文化大革命的滾滾洪流，彻底摧毁了以刘少奇为首的資产階級司令部，刘賊的反革命修正主义路线彻底破了产，毛主席的无产階級革命路线深入人心。武汉鋼鐵公司广大电气工人，遵照毛主席关于“我們必須打破常規，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的現代化的强国”的伟大教导，大破“电子技术神秘論”，大搞电子技术革命，把可控硅技术应用到冶金生产上，取得很大成果。

为了貫徹执行毛主席提出的教育必須为无产階級政治服务，必須同生产劳动相結合的伟大方針，武汉鋼鐵学院革委会配合武鋼电修車間革命領導小組，开办了可控硅技术学习班。为了进一步滿足广大工人学习和掌握可控硅技术的要求，我們在学习班讲稿的基础上，根据讲课当中工人提出的意見进行了修改和补充，編写成《可控硅技术》一书。

由于我們活学活用毛主席著作不够，水平有限，书中錯誤和不妥之处可能不少，請予批評指正。

編 者

1970年11月

目 录

第一章 可控硅 (SCR) 的工作原理	1
1-1 什么是半导体	1
1-2 P型半导体和N型半导体	1
1-3 P-N结的形成及其单向导电性	3
1-4 可控硅整流器工作原理	7
第二章 可控硅整流器的串并联及其保护	17
2-1 串联	17
2-2 并联	18
2-3 过电流保护	20
2-4 过电压保护	21
2-5 可控硅整流器误动作的防止	24
第三章 变流原理	25
3-1 单相半波整流电路	25
3-2 单相全波整流电路	30
3-3 单相桥式整流电路	31
3-4 二相零式整流电路	32
3-5 二相式整流电路	33
3-6 三相半波整流电路	35
3-7 三相桥式整流电路	38
3-8 双星形中点带平衡电抗器的整流电路	40
3-9 电感负载对整流电路的影响	43
3-10 变压器漏感对整流电路的影响	45
3-11 有源逆变电路的工作原理	46
3-12 可逆电路	49
3-13 无源逆变电路的工作原理	60
第四章 主回路的参数选择	68
4-1 可控硅的参数选择	68
4-2 变压器的设计	76
4-3 电抗器的设计	86

第五章 半导体放大电路	98
5-1 放大器三种基本接法	98
5-2 低频放大器的图解分析法	103
5-3 直流偏置电路	109
5-4 半导体三极管的参数及其测试	112
5-5 半导体低频电压放大器	119
5-6 半导体功率放大器	122
第六章 半导体脉冲电路	127
6-1 触发概念	127
6-2 典型脉冲波形和参数	127
6-3 锯齿波发生器	128
6-4 尖顶波发生器	130
6-5 二极管限幅器	131
6-6 晶体三极管的开关特性与三极管限幅器	133
6-7 矩形波发生器	134
6-8 双稳态触发器	135
6-9 多谐振荡器	141
6-10 单稳态触发器	146
6-11 脉冲变压器	147
6-12 间歇振荡器	148
6-13 箝位器	149
第七章 可控硅的触发线路	151
7-1 控制极的基本特性	151
7-2 可控硅作为无触点开关的触发线路	152
7-3 可控硅的相位控制触发线路	156
7-4 采用单结晶体管 (DJG) 的触发线路	165
7-5 同步波形为正弦波的晶体管触发线路	173
7-6 同步波形为锯齿波的晶体管触发线路	182
7-7 带SCR脉冲放大器的触发线路	188
7-8 带脉冲分配器的触发线路	195
7-9 三角形波移相控制触发线路	198
7-10 变频逆变器用带双稳态触发器的触发线路	201
第八章 可控硅控制系统中的直流放大器与调节器	205
8-1 可控硅移相控制讯号的形成	205
8-2 直流放大器	205
8-3 自动调节系统的反馈原理	211
8-4 PID调节器	214

第九章 可控硅的应用线路·····	219
9-1 电磁离合器可控硅调速系统·····	219
9-2 可控硅交流调压线路·····	221
9-3 800轧机压下装置可控硅励磁系统·····	223
9-4 低频同步发电机可控硅励磁·····	229
9-5 可控硅在龙门刨床上的应用·····	233
9-6 电机車可控硅励磁线路·····	241
9-7 串联电感式变频调速线路·····	245
9-8 串联两极管式三相变频调速线路·····	259
9-9 DJL70型单晶炉可控硅加热系统及可控硅直流调速装置·····	261
9-10 可控硅—电动机式电弧炉电极自动调节系统·····	269

第一章 可控硅 (SCR) 的工作原理

毛主席教导我们：“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，这才是可靠的科学的分析方法。”

1-1 什么是半导体

导体和绝缘体的主要区别是物质的电阻率不同。电阻率就是物质单位长度及单位截面积的电阻值。金属导体的电阻率很小，一般为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 欧姆/厘米；绝缘体的电阻率很大，一般为 $10^{14} \sim 10^{18}$ 欧姆/厘米。所谓半导体，顾名思义，就是导电性能处在金属导体和绝缘体之间的物体。例如截面积为 1 平方厘米的金属导体，每十公里长的电阻值为 1 欧姆，同样截面积的绝缘体每毫米长的阻值就是 1000 兆欧，同样截面积的半导体锗每毫米长阻值是 6 欧。自然界中一百零几种元素中有 3/4 以上是金属导体，13 种为绝缘体，而半导体只有几种，如锗、硒、硅（矽）等。

金属导体的电阻率具有正的温度系数，即当温度上升时，金属的导电能力减低了。但大多数绝缘体则与此相反，它的电阻率具有负的温度特性，当温度上升时，绝缘体的导电能力增强了。半导体的电阻率也具有负的温度系数。在金属导体和绝缘体中，如果杂质含量不超过千分之一，它的电阻率变化是微不足道的，但在半导体中，杂质对半导体的电阻率影响非常大。如半导体材料锗中只要含杂质一千万分之一，则电阻率就下降到原来的十六分之一。实际中所应用的半导体元件很少是用纯硅纯锗的，而是在硅、锗中掺入杂质，即杂质半导体。由于掺入的杂质不同，可以得到两种基本类型的半导体，即 P 型半导体和 N 型半导体。

1-2 P 型半导体和 N 型半导体

一、从原子结构谈起

宇宙间所有的物质都是由原子组成。原子中间都有一个“原子核”和若干绕核不停地旋转的电子。不同元素的原子所含的电子数目是不同的。电子带有负电荷，原子核带正电荷。正电荷的数目刚好和全部电子的负电荷数相等，所以原子是呈中性的。

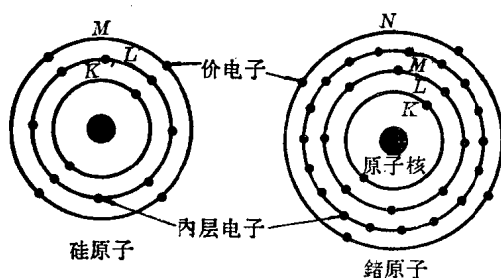


图 1-1 硅锗的原子结构

电子围绕原子核运动，和太阳系中行星围绕太阳运转相似。在核的引力作用下，电子分几层按完全确定的轨道运行，而且各层容纳的电子数目也有一定规律。如图 1-1 所示。在硅和锗两种元素的电子结构中，硅有 14 个电子，分布在三层上，各层为 2、8、4 个电子。锗原子有 32 个电子，按 2、8、18、4 排列。原子最外层电子，

道电子往往沒有填滿到規定数目。我們把最外层的电子叫做“价电子”。

在晶体中电子受外界作用，由于外层电子离核心較远，所受束縛力最小，所以在外界影响下，它可以克服原子核的引力而脫离原子自由行动，成为“自由电子”。这些自由电子在电場力的作用下产生运动，就形成了电流。

导体、半导体或絕緣体的区分，主要是看最外层电子数。外层电子数从1个到8个，越少越容易被激发出来，越多就越要拉别的电子，到了8个就处于飽和状态，就抱成一团，圍繞在核周围运动，形成很稳定的結構，这是絕緣体。金属导体原子最外层电子数目一般为1至2个，原子核对它的束縛力很弱，这些电子由于热运动总要跑出来成为自由电子。这些自由电子在外界电場作用下很快移动形成电流，这就是导体导电的原因。如銅的最外层电子数为3个，銀的最外层电子数为1个。半导体一般最外层电子数目为4个。这些电子中，少数电子由于热运动，能量大的就脫离原子核的束縛跑出来，成为自由电子。

二、电子导电和空穴导电

鍺是典型的半导体元素，是制造半导体管的主要材料之一。我們以鍺为例說明半导体的导电性能。

鍺原子在鍺晶体內整齐地排列着。各原子之間有互相排斥的力量，而每个原子除吸引住自己的价电子外，还吸引住相邻原子的价电子。因此，两个相邻原子的价电子便成对地存在，这一对电子同时受两个原子的束縛，为两个原子所共有；而这两个原子也通过这一对电子被联系起来。这个电子对起了“鍵”（联結）作用。所以我們叫它为“共价鍵”。这时，每个鍺原子最外层电子都填滿8个，处于稳定的束縛状态，价电子就不能到处自由运动，即沒有自由电子，鍺原子就具有絕緣体的性能。

一定溫度下，晶格中的共价鍵的价电子有一定的功能，其中动能大的电子就有可能脫离鍵的束縛而成为自由电子，于是就留出一个“空位子”，我們把这个“空位子”叫做“空穴”。其它的方法，如光照、强电場作用、射线輻射等，都可能产生电子和“空穴”。由于原子本身正电荷和負电荷数量相等，故原子失去电子后，整个原子带正电荷，称之为阳离子。阳离子容易吸引相邻原子的价电子来填补电子离开而留下的空位，使相邻原子又出現空穴；而这新出現的空穴，又可能被别的电子所填充。电子这样不断地填充空穴，就使空穴的位置不断在原子間轉移。空穴的轉移而形成的电流称为“空穴电流”。而原来失去的电子，在晶体中运动形成“电子流”。由于空穴和电子都带有电荷，它們的运动都形成电流，所以統称它們为載流子。

一切不含杂质的晶格完整的半导体叫做“本征半导体”。因为它晶格完整，如果有一个电子从共价鍵中释放出来，必定留下一个空穴，所以本征半导体中电子和空穴都是成对地出現的，它們的数目相等，当加上外电場后，便形成电子电流和空穴电流，总的电流是两者之和。如沒有外場作用，电子和空穴的运动是杂乱无章的，結果互相抵消，沒有淨电流出現。在电場作用下，本征半导体会产生导电現象，这种导电叫做“本征导电”。

三、P型半导体和N型半导体

本征半导体不容易导电，但是只要适当地加一些杂质，其导电性能就会大大地改善。

例如：在鍺晶体中掺入很少的一些三价元素銦，銦的价电子为三个，它加入之后和鍺

組成晶格，銻原子的三个价电子只能分別和相邻的三个鍺电子組成共价鍵，这样与它相邻的第四个鍺电子缺少一个可以形成“共有”电子对的电子，于是留下一个空穴，如图 1-2 所示，因此加入一点銻所产生的空穴是十分可观的，远远超过本征半导体因热运动而产生的空穴。显然这种半导体在电場的作用下的导电現象，主要是空穴导电所致；当然也有在电場的作用下“跑动”的电子，但这种电子的数目极少，叫做“少数載流子”，而将空穴叫做“多数載流子”。这种“空穴型半导体”也叫做“P 型半导体”。

如果把一些五价元素，如砷掺入鍺晶体中，砷有五个价电子，它和鍺原子的四个价电子組成共价鍵后，留下一个剩余电子，如图 1-3 所示。这个剩余电子就可以自由地在晶格中自由振蕩，若在外电場的作用下就会形成电子流。当掺入少量砷以后，产生大量剩余电子。这种半导体称为“电子型半导体”，或叫做“N 型半导体”。在这种半导体中电子是“多数載流子”，空穴是“少数載流子”。

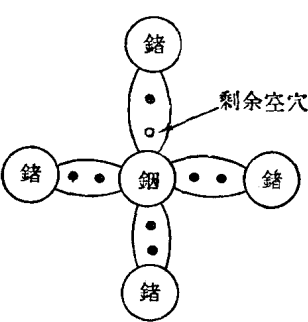


图 1-2

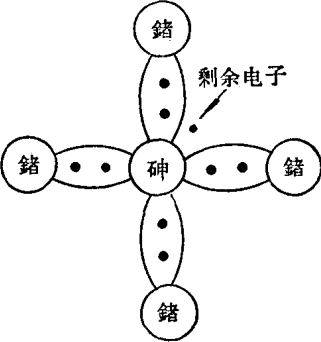


图 1-3

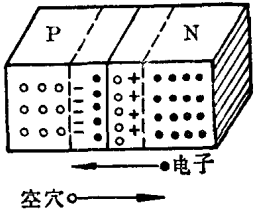


图 1-4 P-N 結的形成

1-3 P-N 结的形成及其单向导电性

一、P-N 結的形成

P 型和 N 型半导体紧密相連組成的一个整体，就叫做 P-N 結。P-N 結是由扩散而形成的。扩散就是物质从浓度大的地方向浓度小的地方跑。例如在一杯清水中滴入一滴墨水，能把一杯水染蓝，就是由于扩散的結果。

若把 P 型半导体和 N 型半导体結合在一起，由于 P 区空穴浓度大于 N 区空穴浓度，N 区电子浓度大于 P 区电子浓度，因此在交界处必然会产生載流子的扩散运动。載流子扩散的結果，使分界处的电子和空穴互相复合，靠 N 区的一边少了电子，形成正电荷的积累；而靠 P 区的一边少了空穴，形成負电荷的积累，如图 1-4 所示。由于在交界面附近形成了正負电荷的积累，就使交界处形成一个电場(即产生一个靜电位差，称位垒或势垒)，此电場靠 N 型为正，靠 P 型为負，它阻止了电子[空穴]再繼續流动，使之达到所謂“动态平衡状态”，这就是交界处的情况，通常称为阻挡层。因为是由 P 型 N 型結合而成的，故称为 P-N 結。

上述让 P 型和 N 型两块半导体“接触”，并非简单地使之靠在一起，而是用合金法、扩散法、外延法等特殊加工而成的。

二、P-N 結的单向导电性

若在 P-N 結两端加一电压，它的极性在 P 区为正、N 区为负，如图 1-5(a) 所示，则外加电场和阻挡层电场相反，P-N 結势垒因此被削弱，这时 N 区大量电子容易通过 P-N 結向 P 区扩散，P 区大量空穴容易通过 P-N 結向 N 区扩散。流过 P-N 結的电流等于空穴电流和电子电流之和。[注意：这是多数载流子形成的]电流沿外电场方向大大增加，这个方向就是正向导电方向，正向电压加得越高，阻挡层电场被削弱的越厉害，扩散就更容易进行，正向电流就越大。即当 P 接电源正端 N 接电源负端时，这种接法我们叫做“正向接法”。



图 1-5

当外加电压的极性在 N 区为正、P 区为负时，这种接法我们叫做“反向接法”。图 1-5(b) 中外加电场和阻挡层电场相同，外加电场起着增强阻挡层电场作用，多数载流子[即 N 区中的电子和 P 区中的空穴]不能扩散被合成电场阻挡，由扩散所形成的电流等于零。但这时只有少数载流子——P 区的电子和 N 区的空穴，受外电压的作用，形成微弱的反向电流。掺有杂质的半导体的少数载流子是不多的，因此反向电流很小。所以，在反向电压只有零点几伏时，反向电流就饱和了。

可见 P-N 結的导电性与加于两端的外加电压的方向有关，即正向連結时 P-N 結的电阻很小，反向連結时 P-N 結的电阻很大。这种性能就叫做 P-N 結的单向导电性。

三、半导体二极管的伏安特性

利用 P-N 結的单向导电的性能制成二极管，则半导体二极管的电流和外电压有密切的关系。下面，我们可以用实验的方法得二极管的伏安特性，如图 1-6 所示。(a) 为接正

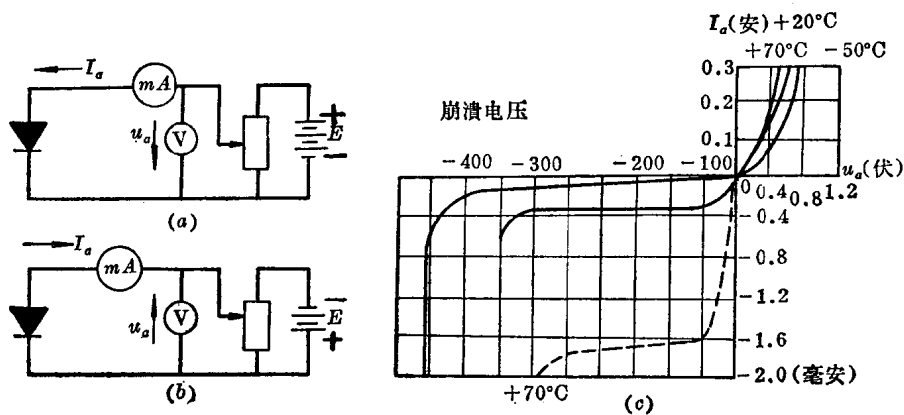


图 1-6 2AP77 型半导体二极管的伏安特性

向电压的线路，(b)为接反向电压的线路。根据测量数据我们可以作出如图 1-6(c) 的伏安特性曲线。从图中可以看出，实际得出的曲线形状与上节的理论分析基本上符合，但曲线上反映出一些未曾分析到的现象，现分析如下：

1. 当外加正向电压时，电流的增加与电压的增加成直线关系，并服从欧姆定律。因正向电压增加，阻挡层电场减弱，扩散继续进行。电压越高，扩散更容易进行，故电流也随之增大。

2. 当反向电压达到一定值后，反向电压再增加，反向电流几乎不再增加，达到饱和值。这是由于少数载流子数目有限，虽然外加电压使位垒提高，但反向电流几乎保持不变，这个电流叫做反向饱和电流 $I_{s,r}$ 。

3. 当反向电压增加到某一定值，电流急剧增加，这种现象称为崩溃现象（或击穿），这时的电压称为崩溃电压（或击穿电压），这个电流称为崩溃电流。崩溃现象有两种：一种是电崩溃，一种是热崩溃。

4. 在任何电压下，通过二极管的电流是随着二极管的温度升高而增加的[图 1-6(c) 虚线所示]，这是由于温度升高时，半导体的束缚电子受热激发，摆脱束缚状态，产生更多的电子—空穴对而参与导电之故。

四、半导体二极管的构造和类型

二极管根据其结构可分为点接触型和面接触型两种。在半导体收音机中，用作检波的半导体二极管是点接触型二极管，它的结构如图 1-7 所示，(a) 是内部结构示意图，(b) 是它的外形，(c) 是它在电路中的代表符号。点接触二极管的管芯是由一根细的金属丝压在 N 型晶体薄片上构成的，金属触须的一端焊上引线便成为二极管的正极，负极是晶片所接的底座，密封在玻璃壳内。其有些管子的外壳上涂有黑漆，以防光线照射影响管子特性，在外壳上用色点标出极性。

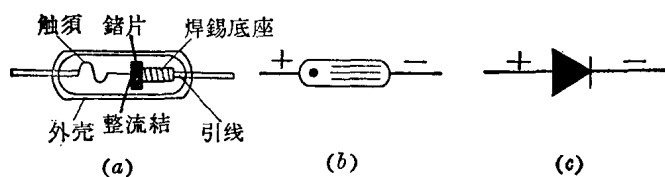


图 1-7

我们常见的整流用的二极管是面结型的。它的特点是由于接触面（整流结）比较大，所以正向允许通过的电流较大，一般可以通过几百毫安，而特殊大功率整流二极管可达几百安培。

由于各种型号的二极管特性不一样，故须要根据实际要求选用，表 1-1 列出几种常用国产半导体二极管供读者选用时参考。

就二极管本身来讲，它的寿命比电子管、离子管长得多，但决定因素是人而不是物。只有正确地使用二极管，才能保证它的寿命，那末，我们首先要正确地认识二极管，即认识二极管的参数和使用特点。

表 1-1 几种常用国产半导体二极管的特性和用途

型 号	结 构	主 要 用 途	最大整流电流 (mA)	最大反向电压 (V)	最高工作频率 (Mf)
2AP1	点接触式	整流检波	16	10	150
2AP2	点接触式	整流检波	16	25	150
2AP3	点接触式	整流检波	25	25	150
2AP4	点接触式	整流检波	16	50	150
2AP5	点接触式	整流检波	16	75	150
2AP6	点接触式	整流检波	12	100	150
2AP7	点接触式	整流检波	12	100	150
2AP9	点接触式	整流检波		10	
2AP10	点接触式	整流检波		20	
2AP11	点接触式	整流检波	25	10	40
2AP12	点接触式	整流检波	40	10	40
2AP13	点接触式	整流检波	20	30	40
2AP14	点接触式	整流检波	30	30	40
2AP15	点接触式	整流检波	30	30	40
2AP16	点接触式	整流检波	20	50	40
2AP17	点接触式	整流检波	15	100	40
2AP21	点接触式	整流检波	50	10	150
2AP22	点接触式	整流检波	16	30	150
2AP23	点接触式	整流检波	25	40	150
2AP24	点接触式	整流检波	16	50	150
2AP25	点接触式	整流检波	16	50	150
2AP26	点接触式	整流检波	16	100	150
2AP27	点接触式	整流检波	8	150	150
2AP28	点接触式	整流检波	16	100	180
2AP71	面接触式	整 流	300	50	0.05
2AP72	面接触式	整 流	300	100	0.05
2AP73	面接触式	整 流	300	150	0.05
2AP74	面接触式	整 流	300	200	0.05
2AP75	面接触式	整 流	300	300	0.05
2AP76	面接触式	整 流	300	350	0.05
2AP77	面接触式	整 流	300	400	0.05
2CP1	面接触式	整 流	400	100	0.05
2CP2	面接触式	整 流	400	200	0.05
2CP3	面接触式	整 流	400	300	0.05
2CP4	面接触式	整 流	400	400	0.05
2CZ11A-J	面接触式	整 流	1,000	100~1,000	0.001

二极管的参数有如下几项：

1. 整流电流：在有效负载的半波整流线路中，通过二极管的电流在一个周期内的平均值（直流分量）。

2. 最大允许反向电压幅值：二极管参数的变化不超过规定允许值时的最大反向电压幅值。

3. 最大反向电流：在二极管两端加上最大反向电压时的反向电流值。此数值越小越

好。最大反向电流过大，会使管子整流效率下降，甚至可能把管子烧坏。

4.最高使用温度：二极管在长期工作中，所允许的工作温度。它与环境温度有关，环境温度高，则因散热不易，引起P-N结温度升高，超过这个温度时，反向电流增大，因而影响工作，甚至把管子损坏。

除了上述参数之外，还有瞬变过程中电流的最大幅值，最高频率等几个参数，在半导体管子手册中很容易查到，这里就不一一叙述了。

在了解半导体二极管参数之后，还要知道它的测试方法。用万用表的电阻挡来测量判别正负极，对点接触型二极管要用 $R \times 100$ 或 $R \times 1,000$ 挡测量，不可用 $R \times 1$ 或 $R \times 10,000$ 挡，因前者电流太大，后者电压太高，都会损坏晶体二极管。如果量出的电阻为几百欧时，与电表负笔连接的一端为正端，另一端则为负端。这是因为万用表内装有电池，其电池的正极接在万用表的负端，电池的负极接在万用表的正端。这个电阻一般称为晶体二极管的正向电阻。好的晶体管正向电阻为100~1,000欧左右，愈小愈好。如果量出的电阻有几百千欧，那么接表负笔一端为阴极，另一端为阳极。这时量出的电阻叫做反向电阻，一般在500千欧以上。此值太小失去单向导电作用；此值无穷大，则此管子已坏。

1-4 可控硅整流器工作原理

可控硅是继半导体二极管、三极管之后，为适应生产发展的需要而创造出的一种新型的可控制的半导体元件，全名为“可控的硅整流元件”，有时为了书写方便，简称“可控硅”常用英文缩写的[SCR]来表示。

我们前面所讲的，由一个P-N结组成的半导体二极管，也是一个整流元件，但其整流出来的直流电压是不可调的。而可控硅，其整流电压可以进行调节。再加上可控硅具有重量轻，体积小，效率高，开关速度快，维护简单，操作方便等优点，因而广泛地应用于交直流电机的调速，电机励磁，可控整流，逆变，无触点交直流开关，变频，温度控制，稳压器，电焊机等许多方面。

在无产阶级的文化大革命前，我国搞的硅元件制造，由于在大叛徒、大内奸、大工贼刘少奇修正主义的科研路线的干扰和破坏下，大搞“神秘化”，推行洋奴哲学，爬行主义，因此，生产的可控硅最大电流只不过50安培，而且产量很少，应用更少。在无产阶级的文化大革命中，我国广大工人阶级，批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在各地的代理人所推行的洋奴哲学、爬行主义，以及在反革命修正主义路线下所搞的神秘化，用毛泽东思想作统帅，发扬革命精神，在短短的时间内，可控硅的制造和应用都得到了飞速的发展。

一、什么是可控硅

毛主席说：“辩证唯物论的认识论把实践提到第一的地位，认为人的认识一点也不能离开实践，排斥一切否认实践重要性、使认识离开实践的错误的理论。”

从外形看，可控硅很象一般硅二极管，但是多一个电极—控制极。图1-8(a)是5安培可控硅的外形图，(b)是它的代表符号，三个电极是阳极，阴极，控制极，它们分别用符号A、C、G代表。

一般半导体二极管的反向电阻很大，而正向电阻很小，但可控硅却不同，它不仅加反

向电压时，电阻很大，就是加正向电压时，电阻也很大。在图 1-9 (a)、(b) 中可控硅的阳极和阴极不管是接电源正极还是负极，可控硅都不能流过电流，即灯泡不亮。我们说，

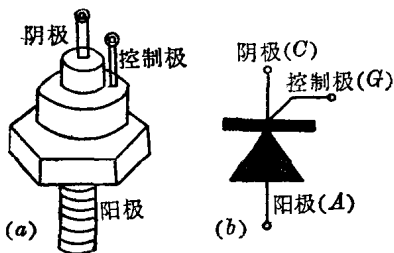


图 1-8 可控硅外形及代号

这时可控硅处于断开状态。如果在控制极上加一个正电压（对阴极而言）就有一个小电流由控制极流向阴极（这个电流叫触发电流，一般只有几毫安），这时如果阳极对阴极有一个正电压时，就有电流从阳极流向阴极，这时可控硅处于导通状态。

在图 1-9 (c) 中，控制极和阳极都同时加有正电压，这时可控硅就象开关一样把电路接通，电灯就亮了，这时即使撤去触发电压，阳极电源依然畅通，除非使阳极电位对阴极电位为零或比阴极负，阳极电流才会停止。由上看出，当阳极 A 上加正电压，阴极 C 上加负电压时，此时如果在控制极 G 上加一正电压，使 G、C 之间有一电流产生，那么阳极 A 与阴极 C 就有电流通过。这时我们就说可控硅整流器导通了。如果我们在控制极上不加电压，也就是使 $G \rightarrow C$ 之间没有电流，那么可控硅整流器就不可能导通。因此控制极 $G \rightarrow C$ 的电流，就可以控制可控硅的导通，也就是说控制极 G 具有控制可控硅的导电时刻，但当可控硅导通以后，控制极 G 就失去了作用。G 只能控制其导通，而不能控制其断开。

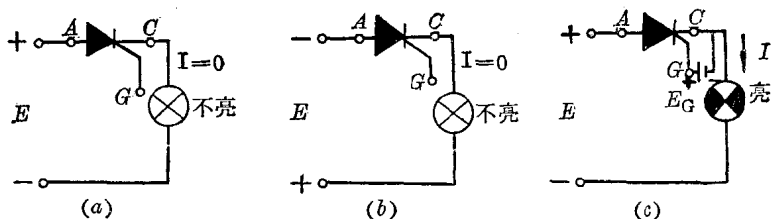


图 1-9

当 A 上加负电压，C 上加正电压，则不论控制极 G 如何加电压，可控硅均不能导通，这种接法叫做可控硅整流器受到反向电压的作用，简称反向电压。

因此，要使可控硅导通，必须同时满足两个条件：

1. 可控硅阳极为正电压；
2. 控制极加入正信号电压。

为了说明可控硅内部的导电过程，我们先讨论晶体三极管的工作情况。

二、半导体三极管的结构和符号

每一个半导体三极管都是由两个 P-N 结构成，按照他们的作用分别叫做“发射结”和“集电结”，见图 1-10 (a)，两个“结”把一块完整的晶体分成三个区。如果两边是空穴导电的 P 型区，而中间是电子导电的 N 型区，我们就称它为 P-N-P 型半导体三极管；反

之，如果两边是N型区，中间是P型区，就叫N-P-N型半导体三极管。半导体三极管三个区域，按照其作用不同分别叫做发射区、基区和集电区，半导体三极管三个电极分别叫做发射极（常用拉丁字母“e”表示）、基极（用“b”表示）和集电极（用“c”表示）。半导体三极管符号如图1-10(b)，(c)所示。(b)为P-N-P型半导体三极管，(c)为N-P-N型半导体三极管。

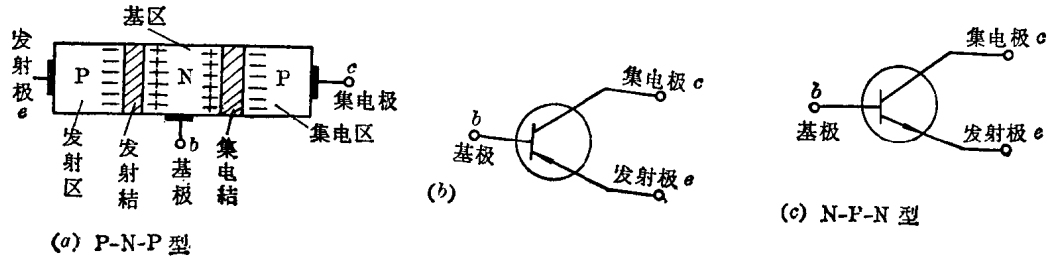


图 1-10 半导体三极管结构符号图

我们用大家熟悉的低频半导体三极管3AX1来说明晶体管的构造。它是在厚约100微米（一微米等于 $\frac{1}{1000}$ 分之一米）的N型锲片，两边各放一块钼粒，放在模子中加热，使钼熔化在锲中，便产生两个P区，它们和N区的交界处各形成一个P-N结，于是就得到一个P-N-P管芯[图1-11(a)]，焊上引线，封装在管内就成了一个半导体三极管。图1-11(b)是它的剖面结构示意图。这类管子的基极引线直接焊在底座上，并且和外壳相通。用这种方法制成的叫做合金三极管。合金法工艺简单，价格低廉，缺点是结的厚度不易精确控制，工作频率不高。另一种是扩散半导体。扩散法的优点是结的厚度可以精确控制，可以获得很薄的扩散层，因而工作频率可以大大提高。如3AG11~3AG13即属此型，适宜在高频下工作。除此以外，还可以用外延法，生长法等很多种方法制造，这里就不多谈了。

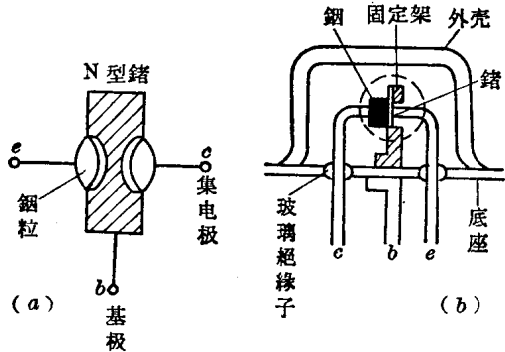


图 1-11 3AX1半导体三极管内部结构图

三、P-N-P型半导体三极管的工作原理

毛主席说：“我们的实践证明：感觉到了的东西，我们不能立刻理解它，只有理解了的东西才更深刻地感觉它。”

下面我们简述半导体三极管的工作原理，对它的本质有一定的理性认识，进一步发挥“认识的能动作用”。

P-N-P型，N-P-N型，这两种类型晶体管工作原理基本类似，现在我们就P-N-P型进行讨论。

我们知道，在P-N结两端不加电压，电子和空穴的扩散受P-N结阻挡层电场阻止，