

# 可控硅入门

《可控硅入门》编写小组

湖南人民出版社

# 可控硅入门

《可控硅入门》编写小组

湖南人民出版社

一九七一年元月

## 内 容 简 介

本书是为了适应我国电子工业高速度发展的新形势而编写出版的。内容包括：半导体、p-n结和晶体管的初步概念；可控硅的结构、制法、特性、发热与散热、型号与参数；可控硅的主电路及触发电路；可控硅元件的选择、保护与串并联；可控硅的应用举例。

本书是普及性读物，在写法上力求由浅入深，可供广大工人、技术人员和革命师生作为基础知识的参考。

## 可 控 硅 入 门

\*

湖南人民出版社出版  
湖南省新华书店发行  
湖南省新华印刷二厂印刷

\*

1971年4月第一版

1971年4月第1次印刷

书号：15109·09 定价：三角三分

（只限国内发行）

## 毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。  
指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。  
人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

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。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们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。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

## 前 言

高速度地发展现代电子工业，对于我国科学技术赶超世界先进水平，有着重大的意义。它将直接加速我国工农业现代化、科学文化现代化和国防现代化的建设。

六十年代迅速发展起来的可控硅，是一种新型的大功率半导体器件。它是用弱电控制强电的桥梁。它的用途极广，是电子工业中关键性的元件之一，为我国实现工业自动化、电子化开辟了一条崭新的途径。

但是，我国发展电子工业并不是一帆风顺的，曾经受到叛徒、内奸、工贼刘少奇反革命修正主义路线的干扰和破坏。是跟在洋人后面一步一步地爬行，还是打破常规尽量采用先进技术；是寄托在外国资料、外国技术和设备的引进上，还是**独立自主、自力更生**地走自己工业发展的道路；是把电子技术“专业化”、“神秘化”，还是把电子技术从“专家”的实验室里解放出来，普及于广大工农兵；是依靠“专家”、“权威”冷冷清清地仿制外国产品，还是发动群众，打一场电子工业的人民战争——这两条路线一直在激烈搏斗着。

**“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。”**无产阶级文化大革命，彻底摧毁了以叛徒、内奸、工贼刘少奇为首的资产阶级司令部，粉碎了刘少奇扼杀电子工业的阴谋。我

国工人阶级，在伟大领袖毛主席关于“**工人阶级必须领导一切**”的伟大教导指引下，胸怀朝阳，浩浩荡荡地登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台，彻底摧毁了刘少奇所鼓吹的“技术第一”、“专家治厂”、“洋奴哲学”、“爬行主义”等反革命修正主义路线的束缚，掀起了大办电子工业的热潮。目前，制造和应用可控硅的群众运动正在向纵深发展，广大工农兵迫切地需要了解有关半导体、可控硅的基本知识。

为了适应电子工业的高速度发展的新形势，在湖南省机械局的支持下，由湘潭电机厂、湖南省机械研究所组成的编写小组编写了这本书。在编写过程中，得到了湖南大学等单位的许多工人、技术人员和革命的知识分子的热情帮助，给我们提供了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于我们活学活用毛泽东思想不够，实践经验又不足，本书可能存在不少的缺点和错误，希望革命读者批评指正。

# 目 录

第一章 可控硅概述 .....	(1)
第二章 半导体基本知识 .....	(4)
一、半导体、n型半导体和p型半导体 .....	(4)
二、p-n结的整流原理 .....	(9)
三、p-n结的相互作用——晶体三极管的放大原理 .....	(15)
第三章 可控硅的结构和工作原理 .....	(20)
一、可控硅的结构 .....	(20)
二、可控硅的制法 .....	(23)
三、可控硅的工作情况及其原理 .....	(25)
第四章 可控硅的特性和参数 .....	(30)
一、阳极伏安特性 .....	(30)
二、控制极特性 .....	(36)
三、发热与散热 .....	(38)
四、型号和参数 .....	(40)
五、判别元件好坏的简易方法 .....	(44)
第五章 可控硅主电路的工作原理 .....	(46)
一、可控硅整流电路 .....	(46)
1. 单相半波整流电路 .....	(47)
2. 单相桥式整流电路 .....	(49)
3. 三相桥式半控整流电路 .....	(53)
4. 电感性负载下的整流电路 .....	(56)
5. 可逆输出整流电路 .....	(61)
二、可控硅无触点开关和可控硅交流调压电路 .....	(63)
1. 交流开关 .....	(63)
2. 交流调压电路 .....	(64)
3. 直流开关 .....	(65)



三、可控硅逆变电路·····	( 67 )
1.单相逆变电路·····	( 67 )
2.单相桥式并联逆变电路·····	( 71 )
3.三相桥式并联逆变电路·····	( 72 )
第六章 可控硅元件的选择、保护与串并联·····	( 78 )
一、可控硅元件的选择·····	( 78 )
1.可控硅“耐压”的选择·····	( 78 )
2.“工作电流”的选择·····	( 79 )
二、可控硅的保护·····	( 81 )
1.可控硅的过电流保护·····	( 81 )
2.可控硅的过电压保护·····	( 83 )
三、可控硅的串并联·····	( 89 )
1.可控硅的串联·····	( 89 )
2.可控硅的并联·····	( 90 )
第七章 可控硅触发电路·····	( 92 )
一、阻容桥式移相触发电路·····	( 93 )
二、单结晶体管移相触发电路·····	( 99 )
1.单结晶体管的工作原理和特性·····	( 99 )
2.单结晶体管弛张振荡电路·····	( 101 )
3.单结晶体管移相触发电路·····	( 105 )
三、晶体管脉冲触发电路·····	( 109 )
1.同步电压为正弦波的晶体管脉冲触发电路·····	( 109 )
2.同步电压为锯齿波的晶体管脉冲触发电路·····	( 112 )
四、逆变器控制电路·····	( 113 )
1.单相逆变器的脉冲分配电路·····	( 114 )
2.三相逆变器的脉冲分配电路·····	( 116 )
第八章 可控硅应用举例·····	( 122 )
一、可控硅交流调压器·····	( 122 )
二、小功率直流电动机调速·····	( 123 )
三、滑差电机调速·····	( 129 )
四、可控硅电镀电源·····	( 133 )
五、鼠笼式异步电动机变频调速·····	( 140 )

## 第一章 可控硅概述

可控硅是用硅材料做的，可以由我们控制的整流元件。它比电动机——发电机组、闸流管、引燃管、磁放大器等旧式整流设备，具有体积小、重量轻、效率高、寿命长、运行中无噪声、无毒、无磨损、无须预热、使用维修方便等优点。它与普通整流元件相比，除了同样可作整流外，还具有一系列独特的可贵功能。例如：

1. 可控整流——将交流电变成直流电并控制其大小。被广泛应用于直流电动机调速、电解、电焊、电镀电源中。

2. 逆变——将直流电变成交流电。应用于滑环电机的串激调速、直流电机的再生制动等。

3. 变频——把交流电从一种频率转变为另一种频率。例如用作中频电源和交流电机的变频调速等。

4. 交流调压——将某种交流电压变成另一种交流电压。就代替了硅钢片、铜线制成的调压器和饱和电抗器等。

5. 无触点开关——能快速接通或断开大功率的电路，又不产生火花，既防爆又防潮而且耐震。它可以代替防爆开关、接触器、有触点的继电器等电气设备。

由于可控硅有上述可贵功能，所以被广泛应用于冶金、机床、造纸、电力机车、电力、化工、矿山、石油、造船、航空、

国防以及农牧业等各个领域，取得了显著的效果。它不仅大大地提高了劳动生产率和产品质量，而且能够大大地节约原材料，成为电气化、自动化技术中不可缺少的重要电子元件。

然而任何事物总是“一分为二”的。可控硅和其它半导体器件一样，存在过载能力差的弱点，无论是过电压或过电流都容易损坏，而且它的抗干扰能力也较差。这些缺点需要我们在生产实践中进一步克服。

伟大领袖毛主席指出：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”目前，可控硅技术正在迅速发展，在可控硅的制造工艺方面，除了广泛采用的扩散——合金法外，还发展了双扩散法和外延法。可控硅的产量猛增，质量逐步提高，成本大大降低，耐高压大电流元件不断涌现。近年来人们又从不同的应用角度提出更新的要求，从而发展了不少新型的元件。它们的工作原理基本上与普通可控硅类似，像它的“兄弟姐妹”一样，所以又叫做派生元件。诸如应用在交流回路中的“双向可控硅”，就可以代替两个反向并联的可控硅元件，也不需要过电压保护；为了实现控制极能起关断电流作用，研制了“控制极可关断可控硅”；为了解决可控硅在高频下能快速正确工作，就制造了“硅快速开关元件”；还有用于自动化控制系统中，用光来控制“光控可控硅”等。

……运动在发展中，又有新的东西在前头，新东西是层出不穷的。可以断言，随着电子技术的发展，更先进的制造工艺的采用，可控硅元件及其派生元件，必将提高到更新的水平，

从而开拓出更广阔的应用领域。将为我国工业的电子化和自动化作出更多的贡献，更好地为我国社会主义建设和国防现代化建设服务。

## 第二章 半导体基本知识

由于可控硅是一种半导体器件，所以先粗浅地介绍一下有关半导体的一些基本知识。

### 一、半导体、n型半导体和p型半导体

大家知道，电线都是用铜或铝做的，因为电流能通过铜线或铝线传导到需要用电的地方去，这类容易导电的物体，我们就称为“导体”。而铜线或铝线外面常常包着一层橡皮或塑料，与外界隔绝，使得电流不能通过橡皮或塑料传导出去，这类不容易导电的物体，我们就叫它为“绝缘体”。

另外，还有一些物体，它们比绝缘体的导电能力强，比起导体的导电能力又差得远，即它们的导电性能介于导体和绝缘体之间。我们就把这些物体叫做“半导体”，如：硅、锗、硒、砷化镓、硫化锌之类。

物体的导电能力是用“电阻率”来衡量的。电阻率就是指长一厘米、截面为一平方厘米物体的电阻的大小。它的单位是欧姆·厘米。所以电阻率越小，导电能力就越强。反过来，电阻率越大，导电能力就越差。导体的电阻率很小，约为 $10^{-4}$ 欧姆·厘米以下；绝缘体的电阻率很大，约在 $10^9$ 欧姆·厘米以上；而半导体电阻率则介于两者之间，约为 $10^{-4} \sim 10^9$ 欧

姆·厘米。

实际上，半导体与导体、绝缘体的区别，并不在于其电阻率在数量上介于导体和绝缘体之间，而在于半导体具有一些特殊的“脾气”。它的导电性能特别容易受外界条件的影响而变化，因而很容易被人们控制。**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。**所以人们非常重视它的矛盾的特殊性，并加以研究，从而制造出得到日益广泛应用的半导体器件。

例如当外界温度升高时，半导体的导电能力就增强；温度一下降，它的导电能力就变差了。也就是说半导体的导电能力与温度有密切的关系。我们就可以利用半导体的这种特性，做成自动化控制用的热敏元件，如热敏电阻等。

又如当光线照在某些半导体上时，就表现出导体的性质，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控制用的光电器件，如光电二极管、光电三极管、光敏电阻等。

特别是，如果在纯净的半导体中，掺入不同类型和不同数量的杂质，就可以使半导体的导电性能变化很大，其电阻率也会成百万倍地改变，这是半导体非常显著、非常突出的特性。因此，我们只要控制所掺杂质的类型和杂质的数量，就可以制造出不同性质、不同用途的半导体器件来。

为什么半导体有如此可贵的特性呢？

我们知道，半导体和一切物质一样，都是由原子组成的，而每个原子又是由带正电的原子核和许多带负电的电子所组

成。原子核所带正电数量正好与电子所带负电的总数相等，互相中和，所以整个原子不显出带电。围绕着原子核运动的电子是分层分布的，例如，最常用的半导体材料硅的原子结构，如图 2—1 所示。

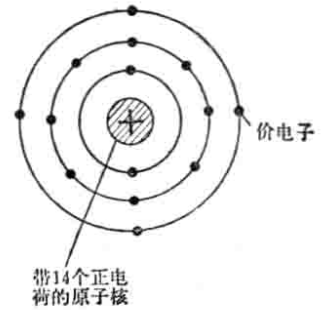


图 2—1 硅原子结构平面示意图

从图中可以看出，硅的原子核周围有14个电子，这些电子围绕着原子核运动，并且按一定规律分布在三个“层”上。这14个电子的分布情况是这样的：从里往外数，在第一层上有2个电子，第二层上有8个电子，在最外层上有4个电子。内层上的电子因靠近原子核被吸引得比较紧，最外层上的4个电子离原子核较远，吸引力小些，就容易受到外界影响而自由活动。因此，最外层的电子被称为“价电子”，而元素的许多性质往往与价电子有关。

做可控硅材料的“单晶硅”，就是由硅原子按一定规律整齐地排列而成的（由于“多晶硅”是由许多微小的单晶体杂乱无章排列而成的，故不能用来作可控硅）。在单晶硅中，每个硅原子靠4个价电子与最邻近的硅原子连结起来，构成4个键，叫做“共价键”。其平面示意图如图 2—2。这样，每个价电子就不能自由活动，所以

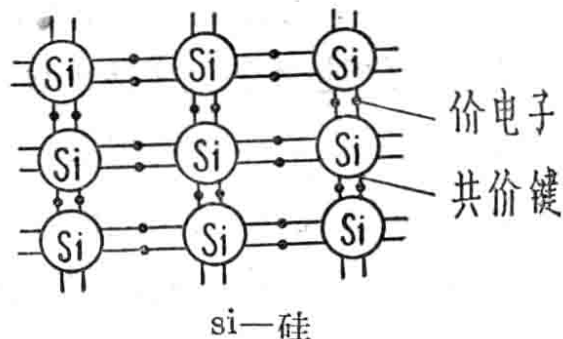


图 2—2 单晶硅原子结构平面示意图

纯净的单晶硅中，在通常情况下导电能力很差。

当有外界条件（例如光或热）作用下，价电子就得到足够的能量，挣脱共价键的束缚，跳出来而成为“自由电子”（简称“电子”），这种现象就叫“激发”。同时，在价电子原来的位置上就出现了带正电荷的“空穴”。在纯净的单晶硅中，电子和空穴是成对出现的。如果被激发出来的电子，填补到空穴上去，这样电子和空穴就同时消失，这种现象称做电子和空穴的“复合”。从它们的产生到复合所存在的平均时间叫做“寿命”。在纯净的单晶硅中，成对出现的电子和空穴，在外加电场作用下，电子就逆着电场方向的定向运动，空穴就顺着电场方向的定向运动，而形成电流。这种可以运动的带负电荷的电子和带正电荷的空穴统称为“载流子”。这就是光或热等外界因素有助于半导体导电的道理。

若在纯净的单晶硅中存在或掺入微量的五价元素锑（或磷、砷等），单晶硅中有些硅原子的位置就被锑原子所取代。

因为锑元素的原子最外层有5个价电子，其中4个价电子与相邻的硅原子组成共价键，多余的一个不受共价键的约束，只受锑原子微弱的约束，就很容易被激发出来到处乱跑，成为自由电子。如图2—3所示。

我们在单晶硅中所加入微量的锑杂质，虽然相对于硅是微量的，但是由于锑原子非常非常

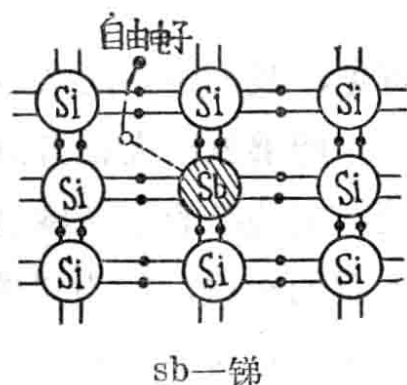


图2—3 n型单晶硅原子结构示意图



小，它的数目却是很多的，因每个锑原子带有一个自由电子，所以相当于增加了很多电子，有外加电压时，电子向正极方向运动，形成“电子流”，这就是“电子导电”，这种以电子导电为主的半导体，就是“n型半导体”。

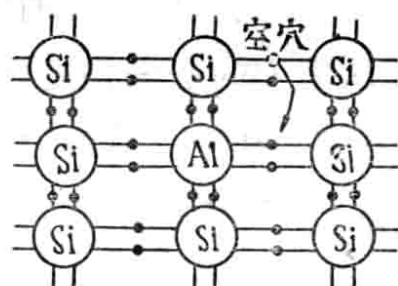
若在纯净的单晶硅中，掺入三价元素铝（或硼、镓等），单晶硅中有些硅原子的位置被铝原子取代，因为铝原子最外层只有三个价电子，与相邻的硅原子

组成共价键时，缺少一个电子而留下一个空位，这个空位很容易被邻近的价电子所填充，而使邻近的硅原子形成空穴，这样就相当于增加了许多空穴。见图 2—4。

有外加电压时，空穴就往负极方向运动，形成“空穴流”，称为空穴导电，这种以空穴导电为主的半导体，就是“p型半导体”。

可见，我们采用的杂质有两类：一类是掺进纯净的半导体中去后，能够放出大量自由电子的杂质，称为“施主杂质”；另一类是掺到纯净的半导体里面会形成很多空穴，具有“接受”电子性质的杂质，称为“受主杂质”。

但在实际的半导体中，总是既有施主杂质，又有受主杂质，它们的作用是互相矛盾的。施主杂质要把半导体变成n型的，受主杂质要把它变成p型的。但是，事物的性质主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。如果施主杂质占优势，



Al—铝

图 2—4 p 型单晶硅原子结构示意图