



硅可控整流元件

北 京 变 压 器 厂
《硅可控整流元件》编写组

科 学 出 版 社

硅可控整流元件

北 京 变 压 器 厂
《硅可控整流元件》编写组

(内部资料·注意保存)

科 学 出 版 社

I 9.7.0

内 容 简 介

硅可控整流元件是一种新型大功率的半导体器件。为了适应硅可控整流元件生产发展的需要,由北京变压器厂《硅可控整流元件》编写组编写了这本书。

本书共分十一章。第一、二章简要地介绍了硅可控整流元件及其工作原理;第三至八章以扩散-合金法为重点,较详细地介绍了硅可控整流元件制造工艺和工艺原理;第九章介绍了特性的测试;第十、十一章介绍了提高元件水平的途径和硅可控整流元件的派生元件及其有关工艺。书后附录中还介绍了供半导体工业用水——高纯水的制备,和几种常用相图、常用金属材料、p-n 结染色显示法等。

本书可供硅可控整流元件生产工人及技术人员阅读,也可供从事工业生产自动化及从事硅可控整流元件应用的同志参考。

硅 可 控 整 流 元 件

(只限国内发行)

北 京 变 压 器 厂
《硅可控整流元件》编写组

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 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

*

1970 年 7 月 第 一 版 开本: 87×1092 1/32
1970 年 7 月 第一次印刷 印张: 9 1/2 插页: 2
印数: 0001—125,000 字数: 213,000

统一书号: 15031·260

本社书号: 3602·15—7

定 价: 0.70 元

毛主席语录

领导我們事业的核心力量是中国共产党。

指导我們思想的理論基础是馬克思列宁主义。

工人阶级必須领导一切。

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經驗，有所发现，有所发明，有所創造，有所前进。停止的論点，悲观的論点，无所作为和驕傲自滿的論点，都是錯誤的。

毛主席语录

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。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在別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现代化的强国。

前 言

经过波澜壮阔的无产阶级文化大革命锻炼的我国工人阶级,满怀为伟大领袖毛主席争光,为伟大的社会主义祖国争光的雄心壮志,在毛主席“**工人阶级必须领导一切**”的伟大指示指引下,浩浩荡荡地登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台。过去被资产阶级反动权威看不起的广大工农兵群众,如今昂首阔步地迈进了科技、出版阵地,著书立说。这是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利!是毛主席革命路线的伟大胜利!也是无产阶级文化大革命的丰硕成果。让我们千遍万遍地高呼:

伟大领袖毛主席万岁! 万岁! 万万岁!

敬祝伟大领袖毛主席万寿无疆!

在这一派大好形势下,我们以战无不胜的毛泽东思想为指针,以“老三篇”为座右铭,以《矛盾论》、《实践论》为武器,遵照毛主席“**备战、备荒、为人民**”,“**独立自主、自力更生**”的伟大教导,在兄弟单位的大力协助下,以工人为主体,工人、革命干部、革命技术人员三结合,编写了《硅可控整流元件》这本书。

硅可控整流元件,是一种新型大功率半导体器件,在工业革命中用途极广。为了适应我国电子工业的飞速发展,我们遵照毛主席“**要认真总结经验**”的教导,总结了前一阶段生产中的一体会,供战斗在硅可控整流元件生产和应用战线上的战友们参考。

本书是共产主义大协作的结晶!在编写过程中,许多工厂、学校、科研单位给予了大力支持和热情帮助,提供了先进

经验和宝贵意见,给我们以极大的鼓舞和鞭策,我们在此表示衷心的感谢。

由于我们学习毛主席著作不够,技术水平不高,实践经验又不多,所以,本书一定会存在不少缺点和错误。我们热忱希望制造和应用硅可控整流元件的战友和广大工农兵群众批评指正。

同志们! 战友们! 让我们高举毛泽东思想的伟大红旗,以战斗的姿态,跃进的步伐,沿着毛主席亲自制定的“**鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义**”的总路线,奋勇前进吧!

目 录

第一章	发展中的硅可控整流元件	(1)
第二章	硅可控整流元件的原理	(5)
2.1	硅可控整流元件的简单介绍	(5)
2.2	半导体、p 型半导体和 n 型半导体	(8)
2.3	p 型半导体和 n 型半导体的导电原理	(11)
2.4	硅整流元件的心脏——p-n 结	(17)
2.5	为什么 p-n 结正、反向导电能力不一样	(19)
2.6	p-n 结的雪崩击穿	(23)
2.7	p-n 结的相互作用	(24)
2.8	电流放大系数 α	(27)
2.9	硅可控整流元件的工作原理	(30)
2.10	硅可控整流元件的控制极是怎样起作用的	(33)
第三章	硅可控整流元件的生产流程	(36)
3.1	扩散-合金法的生产流程	(36)
3.2	硅可控整流元件生产中应注意的问题	(36)
第四章	硅片的机械加工和清洁处理	(39)
4.1	选用什么样的硅单晶	(39)
4.2	硅片的机械加工	(43)
4.3	硅片的清洁处理	(51)
第五章	扩散	(57)
5.1	扩散法制造 p-n 结	(57)
5.2	采用什么样的方法扩散	(59)

5.3	怎样选择扩散片的参数	(64)
5.4	怎样控制扩散表面浓度	(67)
5.5	如何控制扩散结深	(73)
5.6	结深、表面浓度和 p-n 结耐压的测量	(78)
5.7	电阻率和长基区宽度对元件特性的影响	(83)
第六章 烧结		(87)
6.1	合金法制造 p-n 结	(87)
6.2	两种常用的烧结方法	(90)
6.3	怎样选择和控制在烧结温度	(95)
6.4	怎样控制烧结深度	(100)
6.5	合金结平坦性的讨论	(103)
6.6	控制极电流大了怎么办	(108)
6.7	没有整流特性的接触——欧姆接触	(113)
6.8	合金材料的选择和配制	(116)
第七章 管芯的表面处理		(120)
7.1	表面处理的重要性	(120)
7.2	管芯表面电场的集中和表面的沾污	(121)
7.3	管芯为什么要磨角	(123)
7.4	管芯的腐蚀清洗	(130)
7.5	表面保护的方法	(130)
7.6	怎样使用有机硅漆	(131)
7.7	怎样得到二氧化硅膜	(133)
7.8	卧式溅射和立式溅射	(134)
7.9	硅橡胶在表面保护中的应用	(142)
第八章 元件的结构和封装		(145)
8.1	对元件的封装有哪些要求	(145)
8.2	管壳材料的演变	(147)
8.3	怎样把元件焊封成型	(153)

8.4	硬焊和压接式结构·····	(160)
8.5	平板式结构·····	(163)
第九章 特性的测试·····		(167)
9.1	硅可控整流元件伏安特性的测试·····	(168)
9.2	硅可控整流元件控制极特性的测试·····	(171)
9.3	正向压降的测量·····	(173)
9.4	p-n 结温升的测试·····	(175)
9.5	正向阻断电压上升率的测试·····	(180)
9.6	开关时间的测试·····	(187)
9.7	过载电流及其测试·····	(193)
第十章 元件性能的提高·····		(201)
10.1	怎样提高元件的工作电压·····	(203)
10.2	怎样提高元件的高温特性·····	(212)
10.3	短路发射极·····	(217)
10.4	怎样减小硅可控元件的漏电流·····	(222)
10.5	元件的压降与温升·····	(224)
10.6	元件的控制极特性·····	(227)
10.7	电流上升率的提高·····	(231)
10.8	参数、特性间的关系·····	(235)
10.9	伏安特性的分析·····	(238)
第十一章 硅可控整流元件的派生元件及有关工艺···		(246)
11.1	硅双向可控元件·····	(246)
11.2	控制极可关断的硅可控整流元件·····	(250)
11.3	硅快速开关元件·····	(254)
11.4	制造硅可控整流元件的双扩散方法·····	(259)
附录 I 高纯水的制备·····		(268)
附录 II ·····		(284)

II. 1	几种常用的金属材料及其特性	(284)
II. 2	几种常用的相图	(286)
II. 3	p-n 结染色显示法	(288)
II. 4	金刚砂磨料的规格及其表示方法	(289)
II. 5	扩散表面浓度查对表	(290)

第一章 发展中的硅可控整流元件

“大海航行靠舵手，干革命靠毛泽东思想”。在毛主席发出“**中国应当对于人类有较大的贡献**”伟大号召的鼓舞下，我国电子工业正在蓬勃发展，广大革命职工，乘无产阶级文化大革命的强大东风，高举“九大”团结、胜利的旗帜，坚持“**独立自主、自力更生**”的方针，为我国电子工业的飞速发展，做出了很大的贡献。

伟大领袖毛主席教导我们：“**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。**”采用现代化电子技术，是实现毛主席这一伟大指示的一项很具体的措施。它能够大大提高劳动生产率，大大提高产品质量，而且能够大大节约原材料。大量的事实说明：现代化的电子工业的发展，将促进我国工业的大跃进，将是在我国进行人类历史上一个新的工业革命的出发点。

在六十年代迅速发展起来的硅可控整流元件，是电子技术中一种新型的大功率半导体器件，它被广泛地应用在电气化、自动化技术当中，成为工业革命不可缺少的重要环节。

我国整流技术的发展，并不是一帆风顺的。是跟在别人后面，按电子管、离子管、电动机-发电机组、水银整流器、机械整流器、半导体整流器的老路，一步一步地爬行，还是打破常规，尽量采用先进技术；是寄托在外国技术、外国设备的引进上，还是坚定不移地走自己工业发展的道路，迅速赶上和超过世界先进水平——这两种思想、两条道路、两条路线一直在激烈搏斗着。

在史无前例的无产阶级文化大革命中,我国工人阶级紧跟毛主席的伟大战略部署,夺回了被党内一小撮走资派篡夺的那一部分权力,高举《**鞍钢宪法**》的大旗,深入持久地开展了革命的大批判,彻底砸烂了叛徒、内奸、工贼刘少奇鼓吹的“爬行主义”、“洋奴哲学”、“专家治厂”、“技术第一”等修正主义黑货,粉碎了反革命修正主义路线的束缚,掀起了一场制造和应用硅可控元件的人民战争。

“不懂技术怎么办?”大家首先学习毛泽东思想,举办各种类型的毛泽东思想学习班,满怀着为伟大领袖毛主席争光,为伟大社会主义祖国争光的雄心壮志,吃在车间,睡在车间,学习在车间,战斗在车间,不搞出硅可控元件,决不下火线。**“从战争学习战争——这是我们的主要方法。”**

“没有设备怎么办?”大家不当伸手派,自己动手制造出各种专用土设备,硬是用手摇钻把硅片割下来,在用煤油桶做的扩散炉里扩散出第一炉硅片。

“没有油漆屋面,没有空调,能搞半导体吗?”大家**“破除迷信,解放思想”**,因陋就简,硬是在木板棚、土房子里摆开战场,自己动手,创造条件,昼夜奋战,迎来了硅可控元件的诞生。

这就是我们中国工人阶级的志气,这就是“穷棒子”精神,这就是抗大的作风,这就是**“自力更生”、“艰苦奋斗”**,**“精神变物质”**的巨大威力!这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利!

“灿烂的思想政治之花,必然结成丰满的经济之果,这是完全合乎规律的发展。”在这场翻天覆地的战斗中,许多不久前还是半导体门外汉的工人,如今成了攀登科学技术高峯的闯将。许多不久前还和电子工业不相干的塑料、纸盒、钮扣……等工厂,如今已能成批生产硅可控元件。半导体技术已经从专家的书本中解放出来,为我国工人阶级所掌握。

我们工人阶级掌握了硅可控元件，就能利用它更好地向全世界革命人民宣传战无不胜的毛泽东思想，就能更有力地支援国防现代化的建设，并且将为整个国民经济全面技术改造，创造有利条件。目前，硅可控元件在广播、调光、摄影、造纸、坦克、军舰、有色冶炼、轧钢可逆拖动、机床无级变速、电机励磁、电力牵引、电炉控温、印染、石油钻井、化工等许多方面得到广泛的应用，显示出极大的优越性。

硅可控整流元件比电动机-发电机组、闸流管、引燃管（可控的水银整流器）、磁放大器等旧式可调节的整流设备，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、使用维修方便等显著优点。

硅可控整流元件，与普通硅整流元件相比，除了具有“可控整流”的特点之外，它又具备了一系列新的可贵的功能：

“逆变”——把直流电能转变为交流电能。例如硅光电池利用阳光产生了直流电，需要逆变成交流电，才能供一些仪器使用。

“变频”——把交流电能从一种频率转变为另一种频率。交流电机的调速就要用到它。

“交流调压”——代替硅钢片、铜线制成的调压器、饱和电抗器，调节交流电压。

“无触点开关”——能够快速接通或切断大功率的电路，而又不产生火花，符合防爆、防潮的要求。

.....

总之，硅可控元件已经成为弱电控制与强电输出之间的得力桥梁。

近来，在硅可控整流元件的基础上，人们的认识又出现新的飞跃，进一步研制成硅双向可控元件、控制极可关断的硅可控整流元件、硅快速开关元件等派生元件。半导体强电器件

的发展日新月异,半导体的秘密正在不断地被劳动人民所揭示,新产品、新工艺、新技术不断涌现。它将更好地服务于社会主义建设和国防现代化建设。

但是,半导体器件过载能力较差,无论是过电压,还是过电流,都容易引起损坏,需要从线路上加以保护。此外,在提高应用频率,以及提高单个元件的电压、电流等方面,硅可控元件都面临着许多新课题。在伟大领袖毛主席“**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**”的伟大教导指引下,我国工人阶级一定能够攻克这些难关,登上硅可控元件的技术最高峰,为电子工业的大跃进作出更大贡献!

革命在发展,人民在前进。我们要在战无不胜的毛泽东思想指引下,狠抓革命,猛促生产,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!

我们的目的一定要达到。

我们的目的一定能够达到。

第二章 硅可控整流元件的原理

这一章介绍硅可控整流元件的原理。这些理论知识是人们在长期生产实践中总结出来的。毛主席教导我们：“**感觉只解决现象问题，理论才解决本质问题。**”毛主席的教导充分地阐明了理论的重要性。在硅可控整流元件的生产过程中，可以应用这些理论来帮助分析、解决一些问题，而理论本身也将 在生产实践中得到检验和进一步发展。

2.1 硅可控整流元件的简单介绍

毛主席教导我们：“**理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识，这就是辩证唯物论的认识论。**”遵照这一教导，我们现在就来对硅可控整流元件做一番“**由表及里**”、“**由浅入深**”的了解。

硅可控整流元件的结构有好几种类型（将在第八章里详细说明），图 2.1 是螺栓型和平板型硅可控整流元件的外形。但不论哪一种结构，心脏部分则是共同的，就是具有 $p-n-p-n$ 结构的管芯，如图 2.2 所示。 p_1 层通过铝片和下钼片连起来作为硅可控整流元件的阳极，上面分别通过金锑片和金硼钼片引出阴极和控制极。

硅可控整流元件究竟具有什么特殊性能，才使它获得那么广泛的应用呢？

第一，硅可控整流元件的反向具有“阻断”电流的能力。也就是说，当阳极加上负电压、阴极加上正电压，尽管电压加

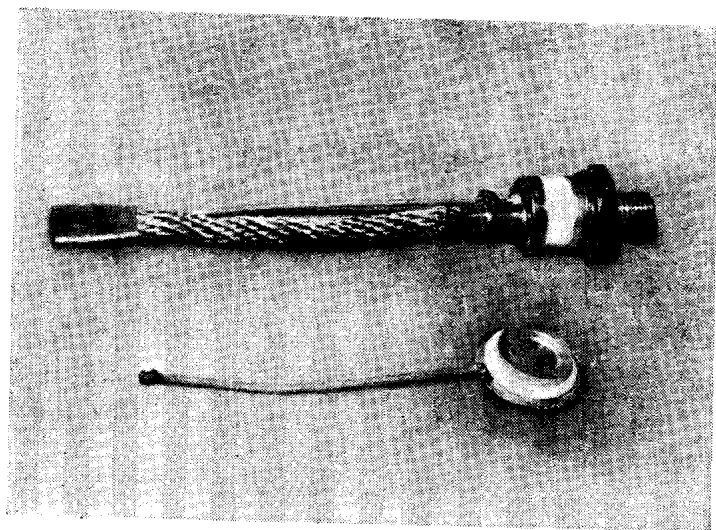


图 2.1 螺栓型和平板型硅可控整流元件的外形

得很高,流过硅可控整流元件的电流却很小。

第二,硅可控整流元件的正向(阳极加正电压,阴极加负电压)也具有“阻断”电流的能力;可是当电压超过某一数值以后,正向会变为“导通”的状态,也就是流过的正向电流变成很大,它上面的电压却降到 1 伏左右。

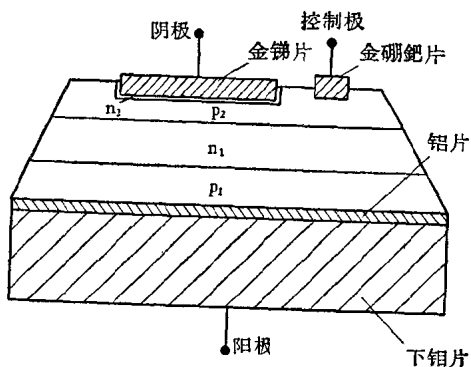


图 2.2 硅可控整流元件的管芯