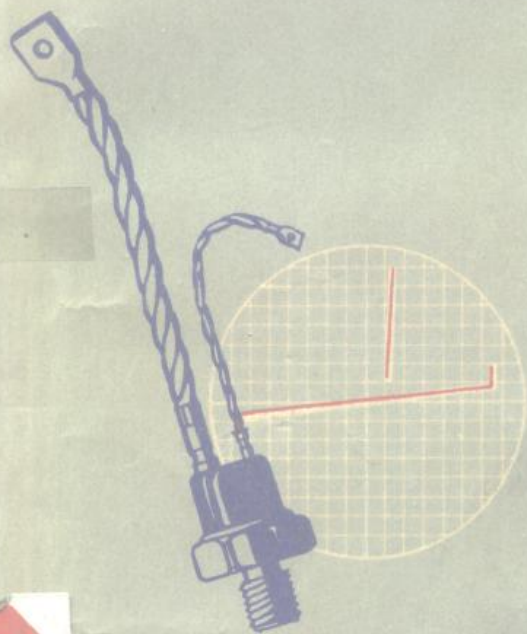


可控硅整流元件 制造工艺



可控硅工艺调查组

14

科学出版社

可控硅整流元件 制造工艺

可控硅工艺调查组

科学出版社

1971

内 容 简 介

本书是“京津地区电气传动自动化专业情报网”组织的“可控硅工艺调查组”调查了全国有关单位的研制和生产情况后编写的。全书共分两大部分：第一部分共十五章，叙述了扩散-合金法工艺，其中包括从单晶硅的选择、元件制造工艺到各种规格管壳的封装，并介绍了扩散中的充氩气封管、气相纯化、钼粉压片成型、塑料封装等新工艺以及对大电流高电压元件的探讨；第二部分共六章，介绍了全扩散工艺（扩散、氧化、光刻、蒸发等）以及一次全扩散工艺。

书中还给出了必要的公式、曲线、图表和部分设备的照片；书后附录有3CT系列可控硅整流元件一机部部颁标准。

本书可供从事可控硅整流元件研制和生产的工人、科技工作者以及有关人员参考。

可控硅整流元件制造工艺

科学出版社出版

北京西直门外三里河路2号

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971年9月第一版 1971年9月第一次印刷

定 价： 0.50 元

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。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

需要把我们工作中的主要经验，包括成功的经验和错误的经验，加以总结，使那些有益的经验得到推广，而从那些错误的经验中取得教训。

前 言

七十年代是一个伟大的年代。国内外形势一派大好，我们伟大的社会主义祖国，欣欣向荣，蒸蒸日上。在伟大领袖毛主席关于“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针的指引下，各条战线取得了辉煌的成就。电子工业也和其他工业一样，出现了一个群众运动的新局面。

可控硅整流元件是当前正在迅速发展的电子技术中的一种新型大功率半导体器件。它与闸流管、水银整流器、磁放大器、电动机-发电机组等相比，具有体积小、重量轻、效率高、寿命长、运行中无噪音、无毒、无磨损、无须预热、使用维护方便等显著优点。目前已被广泛应用于矿山机械、轧钢、有色金属冶炼、石油化工、机床、电机励磁、轻纺、广播以及国防军工等各个方面。可控硅整流元件的应用，使半导体器件进入了强电领域，为提高我国工业自动化水平创造了有利的条件。

在可控硅整流元件的研制与生产中，一直贯穿着两条路线的激烈的斗争。在史无前例的无产阶级文化大革命中，电子工业战线上的广大革命职工批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇宣扬的“电子工业神秘论”和依靠少数“技术权威”，实行技术垄断的反革命修正主义路线，遵循伟大领袖毛主席关于“**什么工作都要搞群众运动，没有群众运动是不行的**”的伟大教导，坚持**自力更生，艰苦奋斗**，因陋就简、土法上马、土洋结合的方针，大搞群众运动。

电子工业战线上的广大工人群众、革命干部、革命知识分子坚持毛主席亲自批示的“**鞍钢宪法**”，开展了生产斗争、阶级

斗争和科学实验三大革命运动，狠批了刘少奇一类政治骗子所散布的“唯生产力论”和“中国工业要以电子为中心”等种种谬论，创造了许多新产品、新工艺、新设备、新材料，为我国电子工业高速度发展做出了新贡献。

为了总结交流制造可控硅整流元件的先进经验和先进工艺，更好地促进它的研制和生产，我们“京津地区电气传动自动化专业情报网”在一机部、北京市和天津市革委会的亲切关怀和支持下，组织了一个由十四个单位参加的“可控硅工艺调查组”^{*}，于一九七〇年六月至九月对我国一些省市的有关单位进行了调查学习，在调查过程中，我们得到了各地领导部门和兄弟单位的大力支持和热情帮助，在此，表示衷心的感谢！

本书是调查后将材料加以归纳整理而编写成的。由于我们学习毛泽东思想不够，调查的深度和广度也很有限，加之当前电子技术发展迅速，因此肯定还有些先进工艺没有总结进去，缺点错误一定不少，希望读者批评指正。

可控硅工艺调查组

1971年7月

^{*} 参加“可控硅工艺调查组”的单位是：

北京椿树整流器厂	天津电子器件厂
北京变压器厂	天津第二电子器件厂
清华大学	天津第三半导体器件厂
北京电机修理厂	天津煤矿设备厂
北京低压电器厂	天津向东半导体器件厂
北京冶金仪表厂	电气传动设计研究所
北京照明器材厂	一机部电器科学研究院

目 录

第一部分 扩散-合金工艺

第一章 单晶材料的选择	(1)
1.1 电阻率的选择	(1)
1.2 少数载流子寿命	(3)
1.3 位错密度	(4)
1.4 用区熔单晶制造可控硅整流元件	(6)
1. 区熔单晶的特点	(6)
2. 直拉单晶与区熔单晶的比较	(7)
3. 区熔单晶制造可控硅整流元件时需注意的问题	(8)
第二章 硅片的机械加工	(10)
2.1 切片	(10)
1. 硅单晶切片的定向问题	(10)
2. 如何考虑硅片切片的厚度	(12)
3. 切片工艺	(14)
2.2 割圆	(16)
2.3 磨片	(18)
第三章 硅片的清洁处理与腐蚀	(20)
3.1 硅化学腐蚀的基本原理	(20)
3.2 去砂、去油	(21)
3.3 去金属离子	(22)
3.4 腐蚀	(23)
3.5 影响腐蚀速度的因素	(24)
3.6 适用于硅片的几种腐蚀剂	(27)

3.7	钴盐处理及操作	(27)
3.8	扩散前硅片的腐蚀工艺流程	(29)
第四章 石英管的制备与杂质源的配制		(30)
4.1	石英管的制备与处理	(30)
1.	石英管的选用	(30)
2.	石英管的处理	(30)
3.	抽真空封管与充氩气封管	(31)
4.	封管真空度的讨论	(33)
4.2	杂质源的选用	(34)
1.	纯铝杂质源	(35)
2.	提高纯铝扩散的表面浓度	(36)
3.	纯镓杂质源	(36)
4.	铝-硅-镓合金杂质源	(37)
4.3	铝-硅-镓合金的配制	(38)
4.4	含镓硅粉杂质源的配制	(40)
第五章 真空闭管扩散		(41)
5.1	扩散温度的选择	(42)
5.2	扩散时间的计算	(42)
5.3	扩散系数	(44)
5.4	如何提高同一管扩散片扩散参数的一致性	(45)
5.5	扩散工艺	(46)
5.6	如何减少扩散片少子寿命的下降	(47)
5.7	如何提高扩散工艺的生产效率	(49)
5.8	扩散后常遇到的几个问题	(50)
第六章 扩散片的测量与讨论		(52)
6.1	结深的测量	(52)
6.2	表面浓度的测量	(52)
6.3	根据扩散片电压和漏电流的测试结果,在工艺中 采取的相应措施	(59)
6.4	重金属杂质的吸收	(60)

第七章	合金的配制	(62)
7.1	对N型合金材料的要求	(62)
7.2	对P型合金材料的要求	(63)
7.3	合金中常用的一些材料的性质	(63)
7.4	N型合金的配制工艺	(65)
7.5	P型合金的配制工艺	(67)
第八章	烧结	(69)
8.1	合金法形成管芯的过程	(69)
8.2	烧结工艺	(73)
	1. 石墨模具与石墨粉的准备	(73)
	2. 硅片、钼片、铝片、金-铋片、金-硼-镓片的处理	(74)
	3. 装模	(75)
	4. 压力问题	(76)
	5. 烧结	(77)
8.3	烧结深度的选择	(77)
8.4	管芯烧结质量的探讨	(80)
	1. 平坦性与外形问题	(80)
	2. 金-铋片的尖角问题	(81)
	3. 正向电压低于反向电压	(81)
	4. 反向电压低于正向电压	(81)
	5. 触发功率大的问题	(82)
	6. 完全不能导通问题	(83)
8.5	用短路发射极提高元件特性	(83)
8.6	提高烧结效率	(88)
第九章	管芯的磨角与表面处理	(89)
9.1	管芯通过表面处理及磨角减小表面电场	(89)
9.2	球面磨角器与磨角设备的改进	(92)
	1. 凹形球面磨角介绍	(93)
	2. 凹形球面模具的特点	(94)
	3. 磨角工艺与出现的主要问题	(96)
9.3	机械化半自动磨角的试验	(97)

9.4	提高元件耐压的几种磨角结构	(99)
9.5	表面钝化与直接涂覆法	(102)
9.6	二氧化硅溅射膜	(103)
9.7	氢氟酸-硝酸气相钝化	(106)
9.8	介绍几种新的表面钝化方法	(107)
第十章 综合利用,变“废”为“宝”		(109)
10.1	废有机溶剂的回收	(109)
10.2	废酸的综合利用	(112)
10.3	从含金王水中提取黄金	(112)
10.4	废管芯的回收	(113)
1.	废可控硅管芯改做整流元件	(113)
2.	废可控硅管芯金与钼片的回收	(114)
第十一章 焊接		(115)
11.1	焊料的选择、搪锡及清洁处理	(115)
11.2	焊接(钎焊)	(117)
11.3	焊接中出现的问题	(120)
1.	喷锡与流锡球	(120)
2.	管芯电参数下降	(121)
3.	热疲劳	(122)
11.4	硬焊与平板结构元件	(123)
11.5	用导电胶代替焊料粘接的问题	(125)
第十二章 元件的管壳结构与制备		(126)
12.1	螺栓式结构管壳	(126)
1.	玻璃管壳的制作	(126)
2.	陶瓷管壳的制作	(130)
3.	管壳金属件的加工	(133)
12.2	平板式结构管壳	(136)
12.3	用钼粉压制钼片	(137)
1.	压制工艺	(138)
2.	烧结工艺	(140)

3. 对烧好铝片的检验	(142)
12.4 电镀与化学镀	(143)
第十三章 元件的封装	(149)
13.1 点焊	(149)
13.2 氩弧焊	(152)
13.3 冷挤压	(153)
13.4 锡焊	(154)
13.5 环氧树脂封装	(154)
13.6 高温塑料封装	(157)
第十四章 高纯水的制备	(162)
14.1 应用离子交换树脂制备高纯水原理	(162)
14.2 怎样使用离子交换树脂	(163)
14.3 制取高纯水的装置	(167)
14.4 应注意的几点	(168)
第十五章 高电压大电流元件	(170)
15.1 高电压元件	(170)
1. 提高元件耐压水平的途径	(170)
2. 高电压元件的设计问题	(174)
15.2 大电流元件的设计问题	(179)
1. 增大结片面积和提高电流密度	(179)
2. 提高电流上升率的问题	(180)

第二部分 全扩散工艺

第十六章 一次扩散	(190)
16.1 涂层扩散	(190)
16.2 携带气体扩散	(192)
16.3 一次扩散中几个常见问题的讨论	(193)
第十七章 氧化	(196)

· v ·

17.1	氧化的目的与要求	(196)
17.2	抛光	(196)
17.3	氧化工艺	(197)
17.4	氧化层厚度的测量	(198)
第十八章 光刻 (201)		
18.1	光刻的目的	(201)
18.2	光刻工艺与制版	(201)
第十九章 二次扩散 (207)		
19.1	不同杂质源的二次扩散	(207)
	1. 以磷钙玻璃为杂质源的二次扩散	(207)
	2. 以磷酸二氢铵为杂质源的二次扩散	(209)
	3. 以三氯氧磷为杂质源的二次扩散	(209)
19.2	二次扩散中出现的问题的讨论	(210)
第二十章 烧结与真空蒸发 (212)		
20.1	烧结	(212)
20.2	真空蒸发的基本原理与设备	(213)
20.3	真空蒸发对加热器的要求	(215)
20.4	真空蒸发前的准备与工艺操作	(216)
20.5	管芯热处理工艺	(217)
20.6	真空蒸发的注意事项与问题讨论	(217)
第二十一章 其他全扩散工艺 (220)		
21.1	挖槽法	(220)
21.2	一次全扩散工艺	(221)
附录 (232)		

第一部分 扩散-合金工艺

第一章 单晶材料的选择

在可控硅整流元件的制造中,选用什么样的单晶材料,是能不能做好高质量元件的一个关键问题。一般的单晶材料都标有电阻率、寿命、位错密度等几个参数。目前一般元件制造厂普遍选用N型硅单晶,电阻率在 30—80 欧姆·厘米 ($\Omega \cdot \text{cm}$) 之间,寿命在 100 微秒以上,位错密度小于 $10^4/\text{厘米}^2$ 。但也有的厂采用电阻率小于 10 欧姆·厘米,寿命 30 微秒以下,位错密度为 $10^4/\text{厘米}^2$ 的硅单晶,也能做出合格的元件。毛主席教导我们:“大家明白,不论做什么事,不懂得那件事的情形,它的性质,它和它以外的事情的关联,就不知道那件事的规律,就不知道如何去做,就不能做好那件事。”要使元件能符合设计的要求,首先要弄清材料的各项参数对元件性能的影响。

1.1 电阻率的选择

电阻率是反映硅材料导电性能的一个最基本的参数,它一般说来能反映出材料中掺杂杂质的含量,因此,它与 p-n 结的雪崩击穿电压有直接关系。我们知道,当 p-n 结加上反向电压以后,在阻挡层中产生一个很强的电场,使电子、空穴高速运动,撞击出新的电子、空穴对,如果材料中杂质浓度高,空间电荷层展宽得就比较窄,使 p-n 结内电场更强,雪崩击穿就

会在更低的电压下发生。雪崩击穿电压与电阻率的关系，由结两面电阻率较高那一面的电阻率所决定。当电阻率大于 15 欧姆·厘米时有下列经验公式：

$$V_B \approx 126\rho_n^{0.63 \pm 0.01}$$

V_B ——p-n 结的雪崩击穿电压

ρ_n ——原始硅片的电阻率

因此选择高电阻率的硅片能提高结的雪崩击穿电压，从而直接提高可控硅整流元件的耐压水平。

但是，正如毛主席教导我们的：“**世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。**”选用高电阻率材料虽然可使雪崩击穿电压提高，但电阻率提高以后又会对其他因素产生影响，原因是：(1)可控硅整流元件的耐压水平还与穿通电压有关系，电阻率愈高，加上反向电压后，空间电荷层扩展愈宽，当空间电荷层扩展到相邻的 p-n 结时，元件就开始转折，因此为了避免穿通就必须选取长的基区宽度，这又要求材料的少数载流子寿命要相应提高，否则会使正向压降增大；(2)如果选取的材料电阻率过高，就对表面有更高的要求，否则击穿就会首先在表面发生。如目前国内一般采用的磨角腐蚀方法，表面耐压水平一般在 1500 伏左右。例如我们选用电阻率在 90—120 欧姆·厘米范围内的单晶材料，它的雪崩击穿电压虽然可以达到 2000 伏左右，但是如果仍然采用一般的磨角腐蚀方法，那么当电压加到 1500 伏左右，还远没有达到材料的雪崩击穿电压时，就会发生表面击穿；(3)电阻率并不能完全反映出单晶的质量，在我们通常使用的 N 型硅单晶中，实际不仅含有 N 型杂质，还会包含一定数量的 P 型杂质，它们在电学中的作用是互相抵消的，电阻率由二者之差来决定，这就是杂质的补偿。往往有些单晶电阻率很高，但包含的 N 型和 P 型的杂

质均很多,这种材料一般包含有较多的晶格缺陷,杂质分布也极不均匀,不可能做出高质量的元件。

1.2 少数载流子寿命

少数载流子(简称“少子”)的寿命是材料的另一个重要参数。制出元件的性能好坏与少子寿命值大小有很大关系。如对长基区来说,少子寿命低,会使正向压降与漏电流增大;对短基区来说,能使控制极电流增大,甚至使元件不能导通。寿命值为什么能影响元件的性能呢?如图 1.1 所示,可控硅整流元件的转折条件是由 $p_1-n_1-p_2$ 的电流放大系数 α_1 及 $n_1-p_2-n_2$ 的电流放大系数 α_2 决定的,

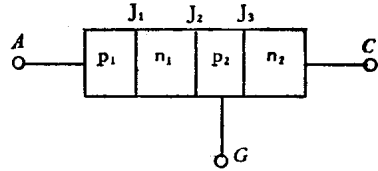


图 1.1

当 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 时,元件开始过渡到导通状态。由于注入长、短基区的空穴和电子都是少数载流子,它们在基区主要是靠扩散形式运动,并随时间按指数衰减。

$$n = n_0 e^{-t/\tau}$$

τ 为指数衰减的时间常数。

如开始注入时少子浓度为 n_0 , 经过一段时间 τ 以后少子衰减到 $\frac{n_0}{e}$, 这段时间表征少子存在的时间长短, 定义为少子寿命。少子在基区能否顺利通过是由基区的少子寿命及基区有效宽度(即空间电荷层以外的宽度)决定的, 如果寿命值低, 说明少子在基区损失得比较多, α 值小, 就需要更大的控制极电流才能使元件满足转折条件。如果少子损失得太多, 有可能使 α 过小, 以致元件不能导通。此外寿命值也直接影响正

向压降和漏电流，因为元件在导通后有大量的电子和空穴注入基区，这就大大提高了基区的导电能力—即电导调制作用。电导调制使正向压降变小。但是电导调制作用的强弱又与基区内少子寿命和基区长度有关，如果基区内少子寿命短，少子扩散长度就小，来不及穿过整个基区就复合掉了，使基区部分区域的体压降增大，造成大的正向压降；同时元件在反向及正向未导通以前，基区内如有较多的复合中心存在，电子和空穴就会通过它们而复合，造成很大的漏电流。

硅材料经过扩散工艺以后，寿命值一般下降1—2个数量级，所以通常希望选用寿命高一些的单晶，同时在工艺过程中尽量减少寿命值的损失。少子寿命与硅中金、铜、铁等杂质的含量有关，它们起着复合中心的作用，少数载流子很容易通过它们与多数载流子复合，所以在工艺过程中要尽量避免这些杂质的沾污。另外寿命值在热处理后下降的多少还与材料的含氧量及晶格缺陷等有关，它们同样起着复合中心的作用，有些材料表面看起来参数还比较好，但做不出好的管子，原因也就在这里。

1.3 位 錯 密 度

在单晶中原子排列是很规则的。但是由于材料在制造过程中受热应力的作用，破坏了晶格的整齐排列，就会在硅材料体内形成位错线。位错线与表面的交点可以通过腐蚀观察到，一般指的位错密度就是单位体积中位错线的长度。由于硅片一般较薄，可简单的认为位错线是上下贯穿的，因此在测量中就可用单位面积上位错线与表面交点的腐蚀坑数目来计算。位错如果分布得比较均匀，对元件的影响较小，如 10^4 /厘米²的位错密度，只要在工艺中适当的注意，也能做出好的元

件。片面追求无位错的材料不仅不必要，而且是错误的，因为这样将使材料利用率大大降低。在选择单晶材料时要尽量避免采用位错集中的区域，这些位错集中的区域在扩散中容易使杂质集中，位错束还能使扩散层中出现管道，使反向击穿电压严重降低，一些有害杂质沿位错线的快速扩散和积累会引起很大的漏电流。用直拉法制得的(111)方向的单晶，位错多集中在周界，中心位错密度较小，在割圆时应适当加以注意。

毛主席教导我们：“世间一切事物中，人是第一个可宝贵的。在共产党领导下，只要有了人，什么人间奇迹也可以造出来。”

我国从事可控硅整流元件生产的广大革命职工并没有受材料这些参数的束缚，而是了解它，掌握它，运用它。他们敢想敢干敢于实践，在实践中摸索出在硅单晶材料的参数较差的条件下，制造出合格的可控硅整流元件的方法。例如：对于位错密度大，材料缺陷较多的硅单晶，在烧结时采取缩短恒温时间，适当加快降温速度的方法，防止烧结渗透太深，以提高元件的转折电压；也有的采用加厚硅片厚度及加大扩散结深的方法，即使烧结渗透较深，也能保证正向转折电压不会降得太多。又如硅单晶材料的寿命较低，则可以在扩散工艺中采取缓慢降温到 650°C 左右，再加长低温恒温的时间（20小时左右），可以使硅材料的寿命损失得较少，这样对正向压降、控制极特性都有所改善。

通过对硅单晶材料的选择，说明了我们只要应用辩证的方法，一分为二的观点来分析事物，完全可以合理利用材料，充分发挥材料性能，造出高水平的元件来，这也批判了资产阶级学术“权威”照抄洋框框，片面强求高电阻率高寿命的单晶硅作为制造可控硅整流元件的材料的错误理论，证明了“卑