

大功率硅可控整流元件 及其应用

(译文集)

上 集

科学出版社

大功率硅可控整流元件
及其应用
(译文集)
上集

科学出版社

1971

内 容 简 介

这本译文集是根据 1969 年在伦敦召开的“大功率硅可控整流元件及其应用”的会议论文集,结合我国社会主义建设的需要编译的。共分上下两集出版(上集为元件部分共 18 篇,下集为应用部分共 38 篇)。上集介绍了 4000 伏硅可控整流元件的设计,提高电压可达 7000 伏的双正斜角结构和工艺,以及元件的化学液冷方式等。下集介绍了控制触发的现代技术,硅可控整流器在下列几方面的应用:高频感应加热,电解,开关及各种电源;铁道电机车的运行控制,直流脉冲调速;高压直流输电,交流电机的励磁、调频、调速,遥控中应用硅可控装置改变动力系统波形等方面。

这本译文集可供从事硅可控技术工作的广大工人和科技人员参考。

大功率硅可控整流元件及其应用

(译文集)

上 集

科 学 出 版 社 出 版

北京西直门外三里河路 2 号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971 年 8 月第 一 版 1971 年 8 月第一次印刷

定 价: 0.38 元

毛主席語录

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。

对于外国文化,排外主义的方针是错误的,应当尽量吸收进步的外国文化,以为发展中国新文化的借镜;盲目搬用的方针也是错误的,应当以中国人民的实际需要为基础,批判地吸收外国文化。

……一切外国的东西,如同我們对于食物一样,必須经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动,送进唾液胃液肠液,把它分解为精华和糟粕两部分,然后排泄其糟粕,吸收其精华,才能对我们的身体有益,决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

前 言

我国自文化大革命以来,特别是“九大”以后,工人阶级和革命群众高举“九大”团结胜利的旗帜,遵照伟大领袖毛主席关于“抓革命,促生产”的方针,开展了革命大批判,以革命带动生产,大搞群众运动,使生产和科研等各条战线均取得很大成绩。

硅可控整流技术,近十年来发展很快。这种元件具有快速、灵敏、体积小、节电等优点,因此在许多行业的自控系统上已被广泛采用。

根据伟大领袖毛主席要“洋为中用”的伟大教导,我们根据 1969 年在伦敦召开的关于“大功率硅可控整流元件及其应用”的会议论文集编译了这本译文集,分上下两集出版(上集为元件部分共 18 篇,下集为应用部分共 38 篇),作为我国从事硅可控技术的广大工人、技术人员在工作中的参考。

这本译文集介绍了元、器件方面的发展趋势为高电压大电流,主要在于改进控制极结构,改变管芯的几何形状以提高元件的正(或反)向阻断电压、额定电流和提高 P-N 结温升。在提高元件的容量方面,提出采用双面冷却和化学液冷却的方式。在非电动机的应用上强调了四个方面:控制保护与可靠性,交流开关,逆变器与直流开关,大电流的应用。在电动机的应用方面,论述了以可变电源经过硅可控整流装置供电给电动机,以达到调速的目的。此外还介绍了用于直流电机的硅可控变流器,用于直流牵引电机车的硅可控直流开关和用于交流电机的硅可控逆变器三种装置等。

· 09554 ·

伟大领袖毛主席教导我们：“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”在编译过程中，我们对原论文集中，作者极力吹嘘本国垄断企业的“技术成就”，吹捧他们的厂商和商品，鼓吹金钱和利润挂帅，抹杀劳动人民的功绩等方面问题作了删节，但还可能存在其它缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

大功率硅可控整流元件的工作性能与可靠性的设计.....	(1)
高压硅可控整流元件的一种新边缘外形.....	(11)
4000 伏硅可控整流元件的设计和特性	(18)
硅可控整流元件静态和动态等离子区扩展的观察	(27)
用复合辐射研究硅可控整流元件动作现象的一种 方法.....	(35)
扩散后的硅片中低电平体电流的分析.....	(42)
在硅可控整流元件结温计算中通态温度系数的影 响.....	(49)
硅整流元件和硅可控整流元件的平板形和压接式 设计.....	(58)
大功率硅可控整流元件的化学液冷与结构.....	(65)
瞬态热阻的测量及其在确定硅可控整流元件额定 值上的应用.....	(72)
陡电流脉冲下硅可控整流元件的阻抗.....	(82)
大功率高电压硅可控整流元件及其应用.....	(89)

工业电动机传动和牵引用变流器的双向冷却硅可控整流元件.....	(97)
作周期性负载变化的半导体器件额定值的确定...	(112)
关于电瓶车控制用的硅可控整流元件的额定值的设计方法.....	(120)
保护硅二极管和硅可控整流元件用的快速熔断器.....	(129)
保护大功率硅可控整流元件用的快速大电流熔断器.....	(139)
保护硅可控整流元件用的充液熔断器.....	(149)

大功率硅可控整流元件的工作性能与可靠性的设计

1. 引言

在过去,硅可控整流元件的性能是受到严格限制的,并且在参数上必须有所牺牲,要得到高电压,就得允许低额定电流,要选择合适的 dv/dt 时则触发性能就差。十年前由于双扩散硅可控整流元件的发展,几乎完全解决了这些矛盾,由于采用了压接式制造大面积器件工艺,解决了焊料的热疲劳问题,完全实现了双扩散大功率硅可控整流元件的优越性。目前大功率元件的性能和可靠性是基本的设计课题。为了论证这一点,就要仔细研究一个典型的大功率硅可控整流元件的某些设计特征,并注意到双扩散结构和压接法的优越性。

2. 半导体的管芯

任何硅可控整流元件,要使某一个参数为最佳值就必须牺牲几项其它的性能。以下述三种最佳参数设计要求和牺牲的参数作为例子:

最佳参数	基区厚度	发射极效率和基区寿命	牺牲参数
高电压	厚	高	低电流与低 di/dt
高 di/dt	薄	高	低电压与低 dv/dt
高 dv/dt	厚	低	低电流,低 di/dt 与高控制极电流

由上表可见,左面列出的最佳参数是彼此矛盾的,要求单

个元件这些参数的性能都好是不可能的。目前对产品的制造提出了新的设计,对制造过程的控制也有了相当的改进。这些新的设计将在下面进行讨论,并可看出制造过程的控制及精确性对实现设计要求是很必要的。提出双扩散法就是为了这个目的,其效果已由实践证实。

2.1 双扩散法

双扩散法就是采用两次连续的扩散,形成硅可控整流元件的三个半导体结。

扩散层的厚度用调节扩散时间进行精确控制,精密的内部 P -型层是在同一表面上通过二次扩散形成的,其均匀性是可以保证的。这些优越性对大面积元件也都适用,采用双扩散法可在最后一层用选择扩散法制出各种需要的图形,这就是微电子学中常用的光刻掩蔽技术。

2.2 高电压

元件表面性质的控制是制造高电压硅可控整流元件的主要问题之一。元件的耐压能力首先决定于半导体材料的体电阻率和厚度。但只有在表面电场降低至足以消除过早的表面击穿的可能性时,才能实现其全部耐压能力。通常解决这个问题是采用图 1(a) 所示的两个斜角,图中线的顶部斜角减小正向阻断结上的表面电场。陡的底部斜角减小反向阻断结上的表面电场。要增加耐压能力,必须减小线的顶部斜角的角度(见图 2),在电压为 3000 伏时,角度必须低于 1° 。表 1 所列的额定电流低的缺点主要是由于浅斜角使导通面积受到较大的损失。图 1(b) 表示只使结附近表面电场高的一部分表面倾斜,可避免这一缺点。

要使这种倾斜置于正确的位置(即经过正向阻断结)需要良好的技术,而这种技术并不难掌握。可采用一种简单的方法来表示结的位置,这种方法就是用在四氯化碳中的钛酸钡

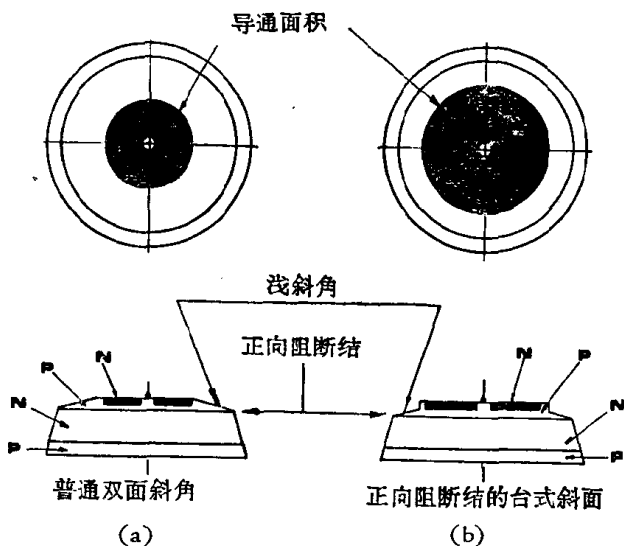


图 1

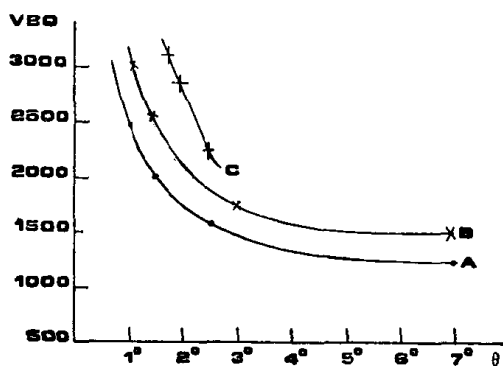


图2 PNP 击穿电压与斜角角度的关系曲线

A—表面浓度 10^{18} 扩散深度 8.3×10^{-3} 厘米

B—表面浓度 10^{18} 扩散深度 8.9×10^{-3} 厘米

C—表面浓度 10^{18} 扩散深度 8.9×10^{-3} 厘米

悬浮液将半导体表面覆盖,然后在正向阻断结上加反向偏压,钛酸钡粒子就沿最大电场线聚集,显出一条很细的离结很近的白线。

虽然上面提到了 3000 伏硅可控整流元件的斜角为 1° ,而

实际上,在大直径元件上这种斜角的结构几乎是不可能的,然而 2° 斜角则是完全可能的,图 2 表明减小杂质分布的梯度(曲线 c),3000 伏的硅可控整流元件是肯定能制造的。

2.3 高 di/dt

再参考表 1,一个具有良好的 di/dt 能力的硅可控整流元件与高耐压是不相容的,这是由于高电压元件的管芯结构较厚,因而增加了元件内部的损耗。

di/dt 值或硅可控整流元件触发后的阳极电流受到限制,这是因为在元件全部面积导通前,开始只有一小部分面积导通。

改进 di/dt 的一种方法,就是依靠增加开始导通面积,而不需增加控制极电流,这一机构叫作“引进场导通”^[2-4]。

这种方法完全适合于双扩散工艺和电镀接触系统,图 3

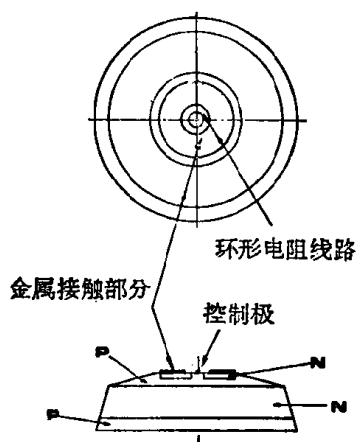


图 3 全扩散硅可控整流元件中的触发导通电场

表示的环状电阻通路,它的作用是使主电流接触处和靠近控制极的反射极边缘之间产生电场。

该电场使阴极边缘上起始导通点扩展到主电流接触下较大的点上,由此很快就产生正向电流。

2.4 高 dv/dt

获得高的 dv/dt 能力就是使硅可控整流元件对陡上升电压所引起的结容电流不敏感,该电流的作用与控制极电流类

似,它经过发射结可以使硅可控整流元件导通。所以要硅可控整流元件对结容电流不敏感,也就会使它对小的控制极电

流不敏感,同时还会引起元件内部的高损耗,降低使用功率。

虽然短路发射极结构早已被采用了,而且有助于解决这个问题,但是短路发射极结构始终没有发挥其最大的优点。获得高 dv/dt 能力,并能保持控制极的敏感性和低损耗。唯一方法是利用一种分布短路点,其中一个实例如图 4 所示。短路点使电容电流不流经发射结,否则它将使器件导通,该电流的横向通路必须短,否则沿通路的电压降将超过正向偏置的发射极电压,使电流还流过发射结。

虽然短路点减少了总的导通面积,但可以使这损失保持最小,短路点的排列如图 4 所示,对相同的效果来说,减小短路点的面积和间隔,则短路点的总面积就减小了。但这只在短路点是完全圆形的,而且在圆周上没有间断时才适用。

有效的短路发射极的另一主要优点是提高元件的允许结温,分布短路点效果和电容电流一样增加结的漏电流,使室温下的耐压能力保持到 150°C ,这样高的结温使硅可控整流元件的功率控制能力比结温为 125°C 时增加很多。这种改进在高电压硅可控整流元件中是容易做到的,从而能抵消额定电流的降低。

2.5 电镀的阴极接触

双扩散的硅可控整流元件的阴极接触面作成一個电镀区是很方便的。但对大面积器件来说,就产生了在阴极上作适当的接触以获得最佳的电流扩展的问题,压接法的出现已经

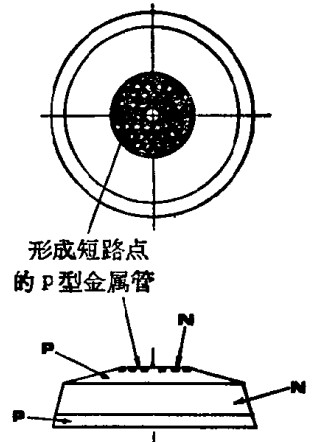


图 4 全扩散硅可控整流元件中的短路发射极

完全解决了这些问题。

3. 元件的封装

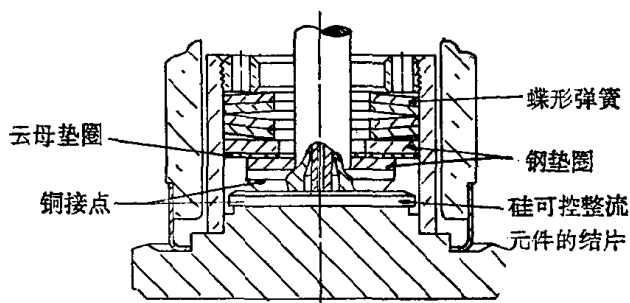
实现一个半导体结片全部工作性能和可靠性要完全依靠封装结构的设计。即使是最可靠的大功率结片,若不进行封装和提供足够的电和热的接触也是无用的。大功率半导体的压接式结构的出现,使得封装设计的许多问题已经部分地得到解决了。热疲劳已不再是个问题,但是在这方面还存在关系到压接系统本身的其它问题。有三个主要设计特性和问题是值得注意的:

- a) 压接系统的起始电离电压。
- b) 阴极交界面系统的长期可靠性。
- c) 最大额定值接触系统的设计。

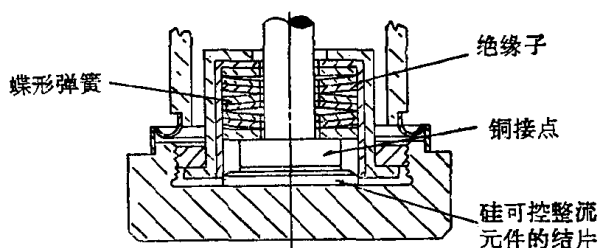
3.1 起始电离电压

图 5(a) 是一个典型的压接式硅可控整流元件的部分横截面。由图可见,元件的总电压是加在云母绝缘垫圈上的。根据系统的几何图形,好象在云母层内发生电离。为了检验这个理论,用一个绝缘子代替半导体结片进行封装。然后将它们放在介电损耗分析仪上进行测试。起始电离电压的测定在 0.9—1.2 千伏范围内。很明显,“传统”压接系统对低电压器件是有用的,而用于高压元件就要使绝缘子处于电离条件,因而使得长期可靠性发生疑问。

起始电离电压低的主要原因是由于云母绝缘子两边的钢垫圈的几何形状。为了克服这个问题,钢/云母/钢的装配用一个相同厚度的陶瓷垫圈代替,在介电损耗分析仪上重复上述试验,起始电离电压范围为 2.4 千伏—2.6 千伏。新部件经适当机械加工后表明,不仅改进了器件的可靠性,而且还降低了成本。



(a) 典型的压接式硅可控整流元件



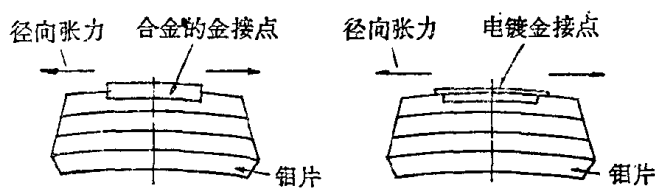
(b) 改进短期超负荷容量的压接式硅可控整流元件

图 5

3.2 界面系统的可靠性

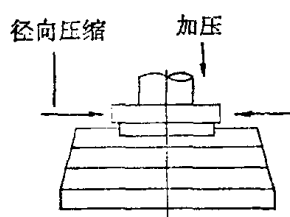
双扩散器件的许多优点是由于阴极结的无应力性质，压接法又突出了这一特点。图 6 表示两个半导体结片，图 6(a) 用合金扩散技术制成，图 6(b) 用双扩散技术制成。当硅片与钼片或钨片进行合金的过程中，由于热膨胀系数不同，会产生某种程度的翘曲，图 6 的两个结片都有一点径向张力，当它们进行压接安装时，如图 6(c) 和 6(d)，可以看到双扩散结片（见图 6(d)），由于它的均匀性，已经自然地将应力消除，而合金扩散结片的阴极结，因为是金区的合金，是受压缩的，故周边容易破碎。

双扩散半导体结片的阴极接触是电镀区，它产生小的电流扩展，因此使用这种型式的器件，需要有外加电流扩展，设

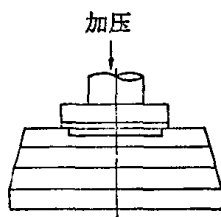


(a) 合金扩散

(b) 双扩散



(c) 合金扩散压接式



(d) 双扩散压接式

图 6 结 片

计者可假定电流扩展达到了铜接触部件(见图 5(a)), 这就产生了一个问题, 就是在外壳内部超净条件下, 电镀的硅片与铜接触是纯粹的压力接触, 在热循环的影响下, 将会很快地破坏器件的阴极区, 为了解决这个问题, 在硅片和铜接触之间放一个带有活动的金或银垫圈的浮动的钼垫圈, 一边一个, 下面的垫圈连接铜和硅片电镀层, 上面的垫圈连接钼和铜, 由于膨胀系数的不匹配, 上面垫圈的下表面和下面垫圈的上表面之间允许一种自由滑动, 因此电流扩展达到钼垫圈, 同时保证阴极界面没有热疲劳。

3.3 接触装配

通常的压接结构已在讨论电离问题中谈到, 借助于压接弹簧和绝缘系统的重新安置, 在电流容量方面可能有较大改进, 图 5(b) 中示出了这种新装置, 其绝缘采用壳式, 置于弹簧

外面,使弹簧提高到阴极位置,并使阴极接触占满弹簧的整个内径,因而在短时间的超负载下使阴极接触变成一个重要的散热器,如同变相浪涌或磨床传动情况下,一倍于全负荷 15 秒的情形。

这一系统已经用于大功率硅可控整流元件和普通整流元件,对性能有很大改进。

根据这个设计特点,得到一个逻辑结论,从而有效地发展了一个双面式装置,散热器在元件的两侧,早期的双面式结构依靠一个薄金属膜将热传递到外面的散热器,而现在的双面式结构中,全部散热器保证与硅可控整流元件的管芯紧密接触,不受外界条件的影响,保证了短时期超负荷的能力良好。一个典型的用双面式元件的交流开关装置示于图7,额定电流为 1200 安(有效值),额定电压为 1500 伏。

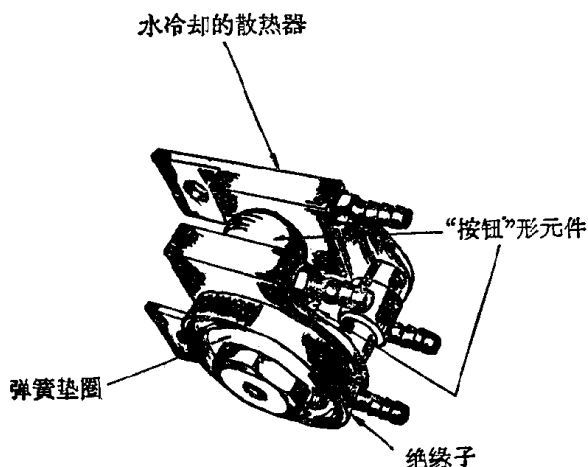


图 7 交流开关

4. 结 论

半导体制造中采用的双扩散技术,避免了许多传统上必