

硅可控整流元件

(译文集)

科学出版社

73.269
566
C.3

硅可控整流元件

(譯文集)

第一机械工业部 西安整流器研究所 译
电器科学研究院

(内部资料·注意保存)

36484/14

科学出版社

1970

内 容 简 介

本书共编入十五篇文章，选自美、英、日专利及有关电子期刊、杂志。本书是提高硅可控整流元件质量的普及性读物，供从事这方面的广大工人和科技人员参考。

硅可控整流元件译文集

(只限国内发行)

第一机械工业部 西安整流器研究所 译
电器科学研究院

*

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登记证出字第 051 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 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1970 年 8 月第一次印刷 印张：4 3/4

印数：0001—93,000 字数：107,000

统一书号：15031·267

本社书号：3617·15—7

定 价：0.37 元

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。

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現代化的强国。

目 录

前言	(1)
制造硅半导体器件中扩散技术的改进	(2)
半导体可控整流元件	(5)
硅表面处理方法	(10)
半导体元件表面处理方法	(14)
半导体元件表面处理方法	(16)
半导体元件表面处理方法	(19)
台面式高压硅可控整流元件	(24)
控制极短路型硅可控整流元件的分析	(28)
不易烧毁的硅可控整流元件	(40)
硅可控整流元件的 di/dt 容量	(51)
硅可控整流元件的电流电压特性	(62)
具有可控雪崩的 TJI-2 系列大功率硅可控整流元件	(74)
用于高频的硅可控整流元件	(86)
硅的闭管扩散技术	(134)
硅可控整流元件技术最新焦点的探讨	(144)

前 言

硅可控整流元件，是电子技术领域中十分重要的控制元件。它已应用在我国冶金，同步发电机的励磁，机床，铁道，造纸，印染和其它行业部门，并显示出它有很大的优越性。

为了迅速地发展电子工业，生产更多更好的硅可控整流元件，以满足国民经济的迫切需要。我们根据伟大领袖毛主席“**洋为中用**”的教导，选译出十五篇有关提高硅可控整流元件质量的译文，供科研和生产部门广大革命工人和技术人员参考。

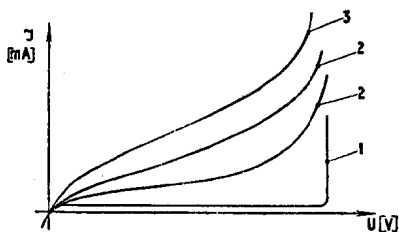
对于外国文化，我们要遵照毛主席的教导：“**应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜**”，“**应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。**”我们一定要遵循毛主席的伟大教导，对译文要进行分析 and 批判，吸收其正确的东西，通过试验，为我所用。

我们水平所限，译文中难免有错误之处，希读者提出批评指正。

制造硅半导体器件中扩散技术的改进

本文叙述硅半导体器件的制造工艺,其中至少有一个 $p-n$ 结是用扩散技术制成,扩散温度约为 1200°C 。

用已知的扩散工艺制造具有一个 $p-n$ 结硅半导体器件时,如 n 型硅,可以观察到扩散前少数载流子寿命为 1000 微秒,扩散后有显著的变化,约在 0.05—5 微秒之间,而且其扩散 $p-n$ 结的反向特性在软特性和硬特性之间有很大的不同。例如,大量生产硅半导体器件时,用同种工艺制得扩散 $p-n$ 结,其反向特性大不相同,如下图所示。横座标为反向电压,纵座标为反向电流,反向特性 2 为软特性,在硬特性 1 和非常软的特性 3 之间。硬特性 1 从小的反向电压直至击穿电压(由其材料决定)其反向电流几乎是恒定的,约为 1 毫安。击穿电压时,反向电流升高达到一很大值,此值几乎与电压无关。软特性 2 和 3 随着反向电压的增高,反向电流逐渐增加,如非常软的特性 3 在 800 伏左右可达约 200 毫安。



本文叙述的硅半导体器件的制造,是将一种导电类型的硅单晶加热到 1200°C 左右,扩散相反导电类型的杂质材料和钴或钠,在体内形成 $p-n$ 结。用这种方法

生产的半导体器件具有一致的硬特性,硬特性的反向电流小于或等于 1 毫安,只在击穿电压时,反向电流才突然上升。另

外,扩散温度在 1200°C 左右,少数载流子寿命的减少非常小,硅单晶少数载流子寿命约 1000 微秒,制得的扩散 $p-n$ 结其少数载流子寿命约为 100 微秒。另一优点是可以消除金接触或合金接触的合金过程的影响,特别是在较高合金温度时的影响,使其始终具有硬特性。

本工艺是将含有钴盐或钠盐的易挥发有机溶剂溶液加到 n 型或 p 型硅表面上,发生向内扩散,同时干燥。然后为了向内扩散,在 p 型或 n 型杂质扩散之前,将 n 型或 p 型硅进行热处理。

用加有钴盐或钠盐的液体腐蚀剂,将 n 型或 p 型硅腐蚀掉预定的厚度,被腐蚀的表面用蒸馏水清洗、干燥。为了向内扩散,在 p 型或 n 型杂质扩散之前将 n 型或 p 型硅进行热处理。

用能够轻微腐蚀硅的含有钴盐或钠盐的液态腐蚀剂处理 n 型或 p 型硅表面,被处理的表面用蒸馏水清洗、干燥。其后为了向内扩散,在 p 型或 n 型杂质扩散之前,将 p 型或 n 型硅进行热处理。

通过蒸发或电解使钴或钠附到 n 型或 p 型硅表面上,然后在杂质扩散前,将 n 型或 p 型硅进行热处理,使其先向内扩散。

用含有钴盐的易挥发的有机溶剂溶液或含有钴盐的液态腐蚀剂把硅腐蚀掉,使制造具有一个扩散 $p-n$ 结的硅半导体器件及在硅中的少数载流子寿命约为 $p-n$ 结形成之前的 $1/10$ 成为可能。在扩散硅中,少数载流子的真正寿命受钴盐溶液中钴的浓度的影响,增加钴浓度使少数载流子寿命延长。将含有钴盐的易挥发有机溶剂溶液加到硅表面上,少数载流子寿命又受硅单晶表面的光洁度的影响,随着表面粗糙度增加,少数载流子寿命也会增加。例如用钴浓度高的钴盐溶液加到磨后的硅晶体表面上可以获得高的少数载流子寿命。使用几

种适宜的钴盐也可以增加寿命,特别是含有钴盐的腐蚀剂,先将硅腐蚀去一定厚度,然后用含有钴盐的易挥发有机溶剂溶液一次或多次加到硅单晶表面上进行处理,用蒸馏水清洗、干燥。腐蚀清洗工艺可以用蒸馏水,或用含有钴盐或钠盐的蒸馏水,或用水溶性有机溶剂,如乙醇,并且可以加入钴盐或钠盐。下一步是为了向内扩散及形成 $p-n$ 结的热处理。

将硅表面浸入钴盐或钠盐溶液中,使硅表面与钴盐或钠盐溶液接触,浸入后,少量溶液继续粘附在硅表面上,干燥后,肉眼看不到的一层钴或钠的覆盖层留在被处理的硅表面上。

钴盐或钠盐溶液可用喷雾方法喷在硅表面上。

将硅片短时间放入含有钴盐或钠盐的沸腾腐蚀剂中,这种腐蚀剂对硅只有轻微的腐蚀作用,如在含有钴盐或钠盐的王水中腐蚀 10 分钟,则在硅表面吸附肉眼看不到的一层钴盐或钠盐。

钴盐使用硝酸钴或氯化钴较好,钠盐使用硫酸钠或氯化钠较好。

含有钴盐或钠盐的易挥发有机溶剂溶液有:

200 毫升甲醇含 50 毫克硝酸钴

200 毫升异丙醇含 50 毫克硝酸钴

200 毫升甲醇含 10 毫克氯化钠

含有钴盐及钠盐的对硅只起轻微腐蚀作用的液体腐蚀剂有:

100 毫升王水含 50 毫克硝酸钴

100 毫升王水含 50 毫克氯化钠

其显著的特点是将镓和钴由同一热处理扩散到 n 型硅中。还可以将镓和钠用同一热处理扩散到 n 型硅中。

此工艺可方便地用于制造各种硅半导体器件,如硅可控整流元件,或五层结构元件,以及要求硬特性,高反向击穿电压的其它元件。

译自英国专利 BP 1036430

半导体可控整流元件

本文叙述一般半导体可控整流元件，着重介绍具有杂质浓度梯度小的 $p-n$ 结的半导体可控整流元件。

杂质浓度梯度表示在距结不同距离上杂质浓度的变化，所谓梯度小，就是说杂质浓度的变化非常缓慢，而不是突然变化。半导体可控整流元件的 $p-n$ 结，如具有较小的杂质浓度梯度，则击穿电压高。为达此目的，所采用的方法是用两种同类型杂质进行扩散，一种杂质渗入到所要求的深度，使结部梯度较小，另一种是渗入到较浅点，使表面浓度较高。

图 1 为选用的 n 型半导体薄片 10 的横截面。

图 2 为用本法扩散后的薄片 10，扩散层 12 和薄片 10 形成 $p-n$ 结 14，其具有内侧部分 13（称为 p 型）和与内侧部分导电类型相同但杂质浓度高的外侧部分 15（称为 p^+ 型）。

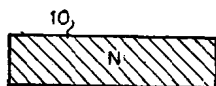


图 1

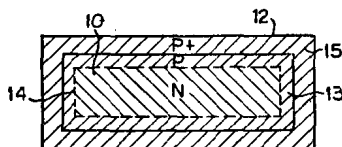


图 2

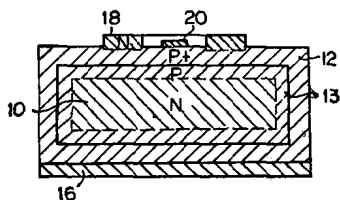


图 3

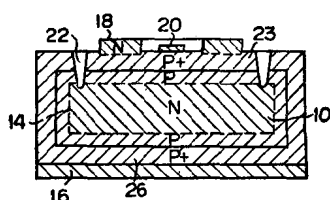


图 4

图 3 和图 4 表示连续的处理过程。在图 3 中, 扩散薄片 10 在下面有纯电阻接点 16, 在上面有环状 n 型区 18, 此 n 型区可用合金法形成。在 n 型区也有纯电阻接点, 在扩散层上有第二纯电阻接点。在图 4 中, 把图 3 结构用沟槽 22 把扩散层 13 和 15 分割成物理上不相同的两个部分。沟槽是圆形的, 围绕着环状 n 型区域。与此类似的方法是从器件的周围除去半导体以分割结部。

把图 4 所示之器件接通导线, 装入外壳中, 即是可控整流元件。此元件实际上由四个半导体区组成, 其中有 $p-n$ 结, 在上面的第一 n 型区 18 为阴极发射体, 接近扩散层的阴极发射体, 包括 p 型部分的 13 和 p^+ 型部分的 15, 为第一基区 23, 接点 20 为控制极接头, 最初的 n 型基片为第二基区, 扩散层下面为阳极发射体 26。

图 4 所示的元件, 适用于一切可控整流元件, 尤其是在需要提高击穿电压和工作温度时更为有利。第一基区的杂质浓度梯度有差别时, 可提高击穿电压, 但用这方法要使结部的杂质浓度梯度小, 同时又要取得较高的表面浓度是不可能的。

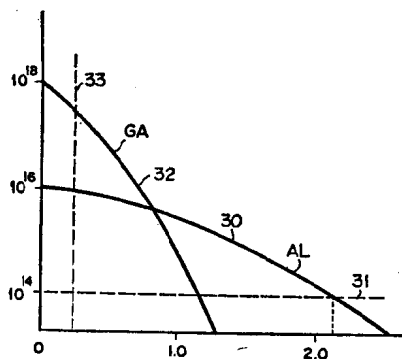


图 5

为了达到这一目的, 要进行同一类型的两种杂质的扩散, 使一种杂质渗入基片以形成所要求的 $p-n$ 结深, 另一种杂质渗入较浅以造成所要求的表面浓度。

图 5 表示在第一基区 23 内杂质浓度的变化状态。第一杂质铝的扩散曲线用第一曲线 30 表示, 铝的浓度在表面约为 10^{16} 原

子/厘米³,在约 2.5 密耳深处减少到 10^{14} 原子/厘米³左右(译者注:1 密耳 = 1/1000 吋)。水平的虚线表示 10^{14} 原子/厘米³,为初始基片内杂质浓度水平。用铝扩散 $p-n$ 结需要在比 2 密耳稍深的地方。由于铝是较快的扩散剂,所以渗入结部的杂质浓度梯度小。即结部铝扩散曲线的斜率比较小,击穿电压较高,但是结部杂质浓度梯度如此小,单一的杂质不能达到所要求的表面浓度。铝的表面浓度限制在 10^{16} 原子/厘米³左右,这对可控整流元件所要求的特性来说是太小了。限制铝的表面浓度的原因虽不很清楚,但可认为是由于半导体表面层的存在,妨碍了铝进一步向内部扩散的缘故。

第二曲线 32 表示第二杂质镓的扩散曲线。镓的扩散曲线表示表面浓度约为 10^{18} 原子/厘米³,表面浓度急剧下降不能达到铝扩散所能达到的结深。只用镓扩散形成 $p-n$ 结,表面浓度达到要求时,会出现几个缺点。用镓扩散要使结部杂质浓度梯度小,就需要长时间的扩散,这在经济上是不利的,而且通过结部漏电流不能小到所要求的值。用镓时,为保证结部杂质浓度梯度小,所以需要渗入深度,但表面浓度控制在 10^{18} 原子/厘米³是非常困难的。用镓扩散时,要在合理的时间內获得所要求的结特性和表面浓度需要非常高的温度,致使大部分半导体损伤,在一般的真空石英管内扩散实际上是不可能的。

垂直虚线 33 表示用合金形成的发射结的深度,此深度根据合金箔的厚度很容易确定,结部的掺杂水平选在约 6×10^{16} 原子/厘米³ $\sim 3 \times 10^{17}$ 原子/厘米³的范围内。

用同一类型的两种杂质向基片扩散,可以解决这些问题。除了第一基区 23 的杂质浓度梯度小使得击穿电压改进外,还可以使元件的连续反向电压增加。

在具有强掺杂 p^+ 层 15 的阳极区 26 中,如扩散区的电阻

率逐渐变化,则元件处于超导电状态,增加阳极—发射极的效率。

作为同一类型的两种杂质源是将两个杂质用适当的基片很好的混合或形成合金,其相对分量可根据逐渐变化的电阻率来确定。例如重量约 0.5~50 的镓和铝合金,对硅来说就可以提供所要求的表面浓度范围和渗入范围。将一定量的镓和铝放在 p 型硅上,用在真空中制造扩散合金方法可以制造镓-铝合金。用经过扩散处理的硅片放入真空石英管中的普通方法,使用杂质源。图 6 表示 p 型硅片和镓-铝合金杂质 42 作为扩散源。

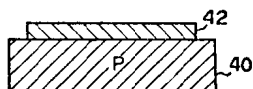


图 6

准备几块 n 型硅片,用三氯乙烯脱脂,在超声波清洗机中用甲醇清洗。硅片电阻率约为 10~50 欧姆-厘米 (杂质 10^{14} 原子/厘米³),厚度约为 12 密耳。洗净后

的硅片用 $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 2:1:1$ (体积比)组成的腐蚀剂腐蚀,干燥后放入洗净的石英管中。

将重量为 7% 的镓和 93% 的铝所形成的合金放在厚约 60 密耳的 p 型硅片上,在 10^{-10} 毫米水银柱的真空中,使合金熔融制成扩散源,将扩散源和硅片一起装入石英管中,将该管抽至 10^{-7} 毫米水银柱后,放入控制炉中,在 1230°C 的温度下加热 20 小时左右。

使用上述扩散方法可获得与图 5 曲线相类似的扩散曲线。对制成的元件进行试验,在 150°C 10 毫安漏电流下具有约 780 伏击穿电压,比普通器件的击穿电压高。

此法也可用于半导体和其它杂质的组合,要求所选用的杂质在基片中的扩散系数显著不同,至少有两倍之差。下面列举基片和杂质的几个例子,扩散快的杂质排在前面。

基 片	杂 质
n 型硅	Al 和 Ga 或 B
n 型硅	B 和 Tn* 或 B
p 型硅	P 和 Bi, As 或 Sb
n 型锗	In 和 Tl
p 型锗	As 和 Bi, As 或 Sb
p 型锗	Bi 和 P
p 型锗	Sb 和 P
n 型 In As	Zn 和 Mg
n 型 In As	Cd 和 Zn

此外,在半导体薄片 10 的整个面上形成扩散层 12,在此扩散层 12 上开沟 22,于是形成了图中所示的 $p-n-p-n$ 半导体。如只在半导体薄片 10 的两面形成扩散层 12,在此扩散层 12 的一面上形成 n 型区 18,也是一样的。

译自(日)特许公报 昭 43-1448

* 原文有误, Tn 可能为 In 或 Zn.——译者

硅表面处理方法

这里所介绍的是在硅表面形成一个稳定而平滑的保护薄膜的方法。

大家知道,硅单晶表面被化学腐蚀等方法清洁处理时,其表面容易被水分或其它物质的吸附所污染,在它构成半导体器件时,长时间地持续而稳定地保持一定的电学特性是困难的。

为了防止这种特性的劣化,已知有形成各种表面保护膜的方法,其中用 HF 蒸气和 NO_2 气体容积比为 60~100:1 的混合物处理的方法,是较为合理的方法。

本方法是对用 HF 蒸气和 NO_2 气体形成硅保护膜方法的改进,把作用气体中含有 0.5~10 毫克/升的水分的量作为本方法的重点。

也就是说,在蒸气化了的 HF 中,必然地要含有多量(通常为 20 毫克/升以上)的水分。所含有水分的量决定了形成的保护膜的性质,进而很大程度地决定了半导体器件的特性。采取控制水分量这个措施,可以提供形成一个形成有效的硅表面保护薄膜的方法。

使 HF— NO_2 气体作用到硅表面上,在形成薄膜的同时,必然地要伴随有腐蚀现象。

这时的腐蚀量与处理时间的关系,以图 1 所示的比例说明。这个图同时也表示了腐蚀速度与作用气体中的含水分量的关系。图中 A、B、C 曲线分别表示了水分量为 10.0 毫克/升、2.5 毫克/升、1.0 毫克/升的情况,正如图中所表示的那样,

随着水分量的减少, 腐蚀速度下降。

但是, 如果增加作用气体中的水分含量, 使腐蚀作用加强, 则当水分含量过多地超过 10 毫克/升时, 其腐蚀速度和腐蚀深度就会过大, 造成表面粗糙, 破坏了平滑性, 这种情况如图 2 (a) 所示。结果引起表面积增大, 形成的薄膜厚度不均, 容易吸附周围环境中的微量水分等, 不利于半导体器件的特性稳定。

图 3 曲线(a)表示用含有 20 毫克/升水分量的作用气体处理后的硅二极管的反向耐压特性, 如图所示, 开始时呈现出良好的特性, 随着时间的变化, 就出现了曲线(a)所示的降低。

但是, 如果作用气体中的水分含量减少到 0.5 毫克/升以下, 则腐蚀速度下降, 而且薄膜的形成需要很长时间, 在这期间带来了不必要的污染。用 $\text{HF}-\text{NO}_2$ 气体作用时, 由于腐蚀的结果, 在其硅表面上, 将是一面不断产生新的活性的清洁表面, 一面形成薄膜, 所以要求快速操作。

在这个方法中, 用于硅表面处理的气体容积比通常为 $\text{HF}:\text{NO}_2=60:1 \sim 100:1$ 。处理时, 用预先混合好的气体, 或用一种气体作用后再按其比例用另一种气体去作用都可以, 在这种情况下, 作用气体中的水分大部分来自于 HF 蒸气, 因此, 对水分含量的控制, 最好在 HF 蒸气侧边进行。

如果把硅表面暴露在适量水分的作用气体中, 则经过数秒至数 10 秒的时间, 就形成了如图 2 (b) 所示的理想的硅表面保护膜, 没有发现其反向耐压特性随时间而变坏的现象, 如

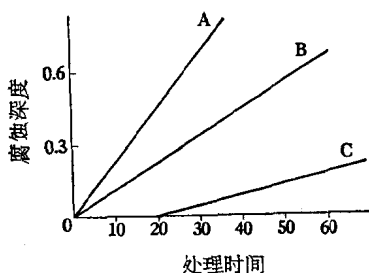
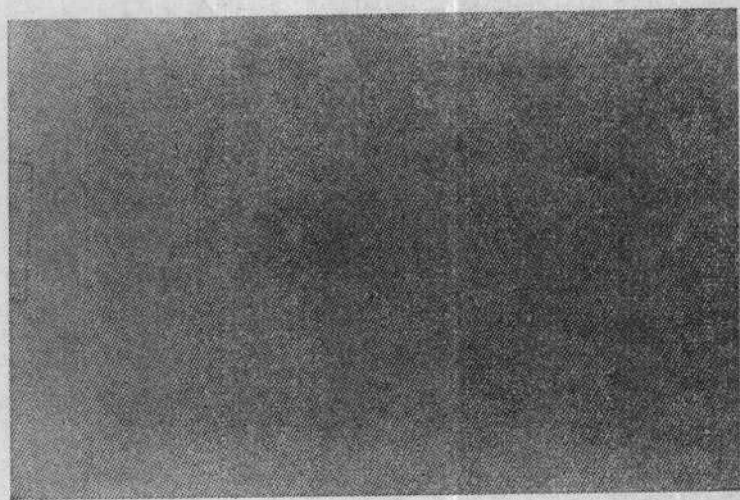
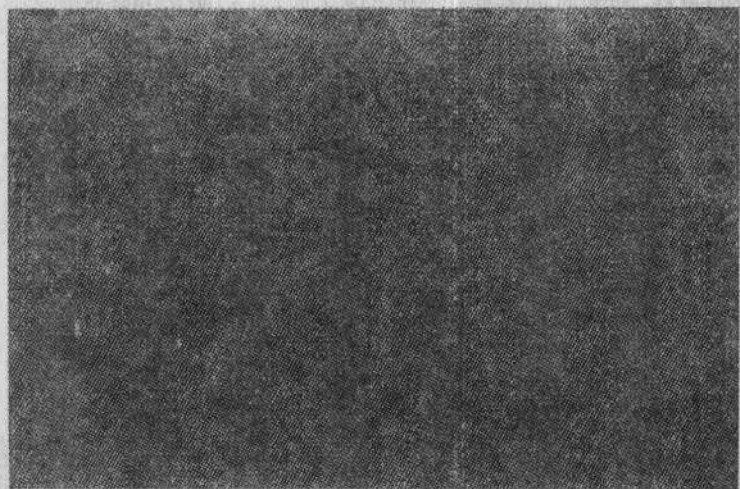


图 1 形成表面薄膜时, 腐蚀速度和处理时间的关系



(b)



(a)

图2 作用气体中水分含量对薄膜的影响。