

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>7</sup>

G02B 6/136

G02B 6/12

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00134267.3

[43]公开日 2001年6月6日

[11]公开号 CN 1298110A

[22]申请日 2000.11.29 [21]申请号 00134267.3

[30]优先权

[32]1999.11.30 [33]US [31]09/451,433

[71]申请人 朗迅科技公司

地址 美国新泽西州

[72]发明人 谢亚宏 约瑟夫·西姆罗维奇

阿勒克赛·格勒波夫

阿兰·J·布鲁斯

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

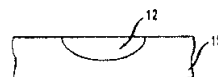
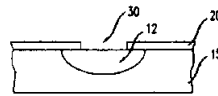
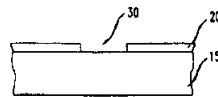
代理人 罗亚川

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图页数 1 页

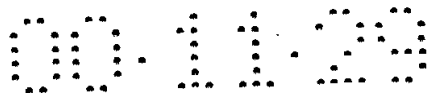
[54]发明名称 制造一种光学装置的方法

[57]摘要

用于在一种硅基片上制作一种基于硅石的光学装置的工艺过程被公开。该装置有一个在硅基片中形成的覆盖层。该装置也有一个活性区,而且该活性区被形成于该覆盖层上。该覆盖层是通过在该硅基片中形成一个多孔硅区域而制成的。该多孔硅然后被氧化和变密实。在变密实之后,该装置的活性层在该覆盖层上形成。



ISSN 1008-4274



## 权 利 要 求 书

---

1. 用于制造一种光学装置的方法，包括：  
在一个硅基片中形成一个多孔硅区；  
将该多孔硅区氧化；  
使该多孔硅区变密实；以及  
在变密实的多孔硅上形成一个光学装置的活性部分
2. 权利要求 1 的方法，其中的多孔硅区由阳极化形成。
3. 权利要求 2 的方法，其中的多孔硅区由阳极化之前在该硅基片上形成的一个遮挡层所确定。
4. 权利要求 1 的方法，其中的多孔硅的密度约为百分之四十四。
5. 权利要求 1 的方法，其中的多孔硅区通过在一种含氧气的气体中将该基片加热到约 850℃ 到约 1150℃ 的温度而被氧化。
6. 权利要求 5 的方法，其中氧化步骤的时间长度足够长，以便能将多孔硅区基本上完全氧化。
7. 权利要求 1 的方法，其中被氧化的多孔硅使用能将氧化的多孔硅转变为硅石的条件而被变密实。
8. 权利要求 7 的工艺流程，其中的多孔硅通过在含氧气的气体中将基片加热而变密实。
9. 权利要求 1 的工艺流程，还包括在氧化步骤之前对该多孔硅区进行稳定。



## 说 明 书

---

### 制造一种光学装置的方法

本发明涉及各种光学装置，特别是平面光学波导。

光纤通讯系统正在变得更为流行。除光纤本身之外光纤通讯系统使用很宽种类的用于接收、发送和利用光学信号的光学装置。集成光学装置的一种类型是一种在硅基片上制造的硅石光学电路。这种装置的基本结构在 Henry C. H. 等在 IEEProc. - Optoelectron. Vol. 143, No. 5, pp. 263 - 280 (1996) 上的“Silica-based optical integrated circuits”一文中作了描述。该波导由三层制成：这些层是一个下覆盖层（按 Henry 的说法被认为是基层）、芯子层和上覆盖层。下覆盖层将基本模式和硅基片隔离开。这样隔离能防止光学信号经由硅石-硅（基片）界面泄漏掉。这一界面和其它波导界面不同，不能完全反射。上覆盖层的折射率被选择得接近等于基层的折射率。

下覆盖层由未掺杂的或轻微掺杂的硅石制成。这是最坚固的一层，它保持着附着于其上的芯子在成形后不会移动。其它的玻璃是掺杂程度较高的二氧化硅。

提出了多种多样的制造各种硅石-硅光学装置的工艺方案。这样的工艺方案一般要求基层被沉积到硅基片的表面上。当前用于制作下覆盖层的技术有像低压强化学蒸汽沉积（LPCVD）和高压强氧化（HiPOX）这样的沉积技术。虽然这些技术能提供可以接受的下覆盖层，但它们似乎有些慢。因而要寻求用于制作硅石-硅光学装置的下覆盖层的另外的技术。

本发明的目的是一种用于制造在其硅基片中制作有下覆盖层的光学装置的技术。该下覆盖层制作时首先是在硅基片中形成一个多孔硅的区域。在基片中形成多孔硅区的简捷办法是一个在该技术方面精通



熟练的人所熟知的。如果用电解技术制作多孔硅，那是有利的。在电解技术中，硅在一种电解溶液中进行阳极化处理。这样一种技术在 Unagmi . T . 等在 *Semiconductor Technologies* , Vol.8, chap.11,pp.139-154(OHMSHAT and North Holland Publishing company 1983)上，在这里被包括在参考文献中的“An Isolation Technique Using Oxidized Porous Silicon”一文中进行了叙述。

硅基片被选择性地进行阳极化处理以在其中形成多孔硅区。基片在阳极化之前通过在硅基片上形成一层遮挡层而被选择性地阳极化。此遮挡层之中至少有一个开口。垫在下面的硅基片表面通过这样的开口而露到外面。

同样该多孔硅区的孔隙度基本上也是一种设计选择上的问题。材料的孔隙度是由基片（即硅晶片）的掺杂程度和用来形成多孔区的阳极化条件决定的。阳极化条件如外加电压和相关电流密度以及 HF 溶液的浓度和 PH 值被选择得足以获得所希望的孔隙度。在测定孔隙度时，必须考虑由产生多孔硅引起的硅密度下降以及多孔硅随后的氧化所引起的膨胀。多孔硅区域体积的膨胀或缩小得到控制，使该波导的结构不因多孔硅区的产生和该区域随后的氧化所引起的体积变化而过分受力。

由于多孔硅在氧化前后的相对体积已知，体积的膨胀和收缩很容易控制。准确地说，多孔硅的热氧化使其体积增大 2.2 倍。如果多孔硅的密度（密度是孔度的逆关系，因而密度加孔度等于 1）不低于硅密度的百分之四十四就很好。如果多孔硅的密度不低于硅密度的百分之四十四，则氧化后的多孔硅的体积将不超过转变成多孔硅的硅区的体积。也就是说，多孔硅的体积增加（2.2）的结果使得被氧化的硅的体积大致等于硅在被转化成为多孔硅之前的体积。在数学上，0.44（相对于硅密度的多孔硅密度）的 2.2 倍约为 1。使阳极化之前的硅的体积和氧化过的多孔硅的体积之间有接近相等的关系可以避免由体积膨胀和收缩所引起的受力和非平面化。

相反，如果多孔硅的密度大大低于硅密度的百分之四十四，则氧



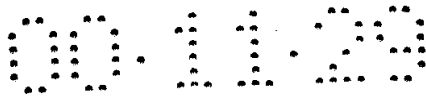
化和密实后的多孔硅区的表面将低于该基片表面的其它部分。因此，为了避免有一个大大高于或低于该基片表面的硅石区，如果该多孔硅能有硅密度的百分之四十四的密度（这相应于百分之 56 的孔度）就很好了。

多孔硅区的尺寸基本上是设计选择的问题。多孔硅区的深度和大小取决于随后在该区形成的波导的大小。

在基片中形成多孔硅区之后，该区被氧化。该多孔硅在一种含氧气的气体中在高温（例如 850℃ 至 1150℃）下被氧化。非多孔硅在这种条件下也会被氧化。但多孔硅的氧化速率大大高于基片中硅块的氧化速率。硅块被氧化的量可以忽略不计。如果有必要，被氧化的硅块以后可以去掉。准确地说，在多孔硅区中硅骨架的尺寸约为 100 埃。此外，整个多孔硅区（通常为 10-20 微米厚）被同时暴露于氧化环境中。因而，将整个多孔硅区转变成  $\text{SiO}_2$  块的氧化过程是在只氧化大约 100 埃的 Si 块的各个条件（例如流速、 $\text{O}_2$  气中的 H 含量、炉温、以及氧化时间）下进行的。在晶片的非多孔区中最后得到的  $\text{SiO}_2$  薄层不需对下覆盖层进行任何重大冲击便可很容易地在氧化后去掉。

这时被氧化的多孔硅被变得密实而形成硅石。在本发明的范围内，密实化牵涉到多孔硅的多孔结构的毁坏。密实化是通过在含氧气的气体中对基片进行加热完成的。同样，硅块也被氧化，但和密实的速度相比氧化速度很慢。从而，硅块只是程度很低地受到氧化，而且如有必要，被氧化的多孔硅可以很容易地去掉。

在基片上形成覆盖层后，平面光学装置的制造即告完成。通常用于制造平面光学装置的技术和材料被认为是合适的。因此在此不对在被氧化和变密实的多孔硅上用于制作平面光学装置的制造技术作详细讨论。芯子是在被氧化和变密实的多孔硅区上形成，并被蚀刻形成图形。然后在芯片上形成一层上覆盖层。从这种方式制作得益的装置的例子包括有平面波导、用于稠密波分复用（DWDM）系统的波长 Add-Drop(WAD)、在铒掺杂的光纤放大器系统中用于色彩补偿的动态波长补偿器：Mach-Zehnder (MZ) 开关、可调谐滤波器、以及 Y



分路开关。

本发明相对其中下覆盖层被沉积在基片上的工艺程序有某些优点。一个例子是像在同一芯片上带有波导的激光器这样的光学装置的集成化。这种集成化要求波导的芯子和该光学装置准确对中。当该波导芯子是被沉积在一个本身被沉积在硅基片表面的下覆盖层上时，这种对中是困难的。如果为了获得最佳性能而使该光学装置必须位于硅基片表面，则这一对中问题更为严重。

在以往技术的工艺程序中，这一对中要求有另加的加工步骤。例如，硅基片被局部预先蚀刻到和下覆盖层所希望的厚度相等的深度。然后将足够多的下覆盖层材料填充或过量地填充到蚀刻出的沟槽中。然后再将复合的薄片进行机械抛光，以从除沟槽以外的所有区域去除覆盖层。有选择地遮挡和湿性蚀刻是机械抛光的一种替代办法。芯玻璃然后仅在沟槽区的顶部被沉积和成形以将波导限定仅在沟槽区的顶部。这种技术能为硅基片表面提供通路。但是要为光学装置相对于波导芯子的垂直对中提供一个公共基准表面，则要求有许多复杂的加工步骤（例如蚀刻、沉积、抛光等）。

图 1 表示的是一个其中的下覆盖层是一个在半导体基片中形成的变密实的多孔硅区的光学装置的例子。

图 2A - 2C 表示本发明的一个范例的过程的顺序。

本发明的目的是找到一种用于在硅基片上制成以硅石为基础的光学装置的方法。有许多种以硅为基础的光学装置。这样的装置对于该种技术方面的一个技术熟练人员是熟知的，因此在此不作详细叙述。为了方便，本发明的工艺过程将在关于一种简单的平面波导的制造的文中进行叙述。该种技术方面的一个技术熟练人员将很易理解，此工艺过程可以用于制造在硅基片上制成并要求有下覆盖层的整个范围的以硅为基础的光学装置。

图 1 表示平面波导的一般结构。它由三层组成：芯层 10、上覆盖层 11 和下覆盖层 12。在一个实施例中，所有三层都是硅石玻璃。芯层用磷掺杂。在另一些实施例中，芯层和上覆盖层用塑料制成。单独一层的厚度由设计选择决定。用于一种特殊应用的合适厚度很容易由一个在该技术方面熟练精通的人确定。

对本发明的该工艺过程参照图 2A-2C 作了说明。参照图 2A，下覆盖层是通过在硅基片 15 上沉积一个材料 20 的带图形的层（即一层遮挡层）而形成的。遮挡层 20 确定了希望的覆盖层区域 30，这是基片 15 的透过遮挡层 20 露出来的区域。遮挡层是使用常规的平版印刷技术制成的，这种技术在此不予说明，但是为一个在该技术方面熟练精通的人所熟知。

图 2A 上描述的结构被放置在一个阳极化槽中。基片 15 受到阳极化槽影响的部分被转变为多孔硅区 12（区域 12 的多孔性质在图中未表示出来）。阳极化沿各个方向均匀地进行，而该基片处于遮挡层 20 下面的部分被转变为多孔硅。从而，多孔硅区 12 大于遮挡层的开口 30。例如，深度  $15\mu\text{m}$  的多孔硅区也会向遮挡层 20 下面伸进  $15\mu\text{m}$ 。

各种各样的遮挡层材料被认为是合用的。合用的遮挡层材料包括光刻胶、氮化物、氧化物和碳化硅、多晶硅以及不溶于 HF 溶液的金属（例如金、铂等）。不同的遮挡材料对 HF 有不同的蚀刻阻力，因此应按照希望的蚀刻时间和工艺过程的复杂程度进行选择。

在基片 15 中形成多孔硅区之后，将遮挡层 20 从基片 15 上剥离。区域 12 是基本上完全被氧化的（多孔硅区域 12 的多孔性质在图中未表示出来）。在本发明的说明中，基本上完全被氧化的意思是选择条件以基本上达到多孔硅区的完全氧化。达到基本上完全被氧化的条件很容易由一个在该技术方面熟练精通的人确定。选取的条件取决于基片中该多孔硅区的尺寸。例如，通过在流动的湿性氧气（ $85^\circ\text{C}$  时湿度为 100%）中将多孔硅区加热到  $900^\circ\text{C}$  并将该多孔硅区在此条件下保持两小时达到  $15\mu\text{m}$  多孔硅区的完全氧化。由于多孔硅区 12 的氧化速率比硅基片 15 的氧化速率快得如此之多，基片 15 不会氧化得很严重。



在基片 15 被氧化的程度，这样的被氧化的硅容易用常规技术去除。基片 15 表面上形成的氧化物薄层未表示在图中。

氧化后，氧化的多孔硅区 12 被变密实。在变密实时，多孔硅区中的孔隙被压塌而多孔硅区则转化成密实的玻璃区。密实化的作用原理是粘滞流。因此，被氧化的多孔硅必须被加热到高于其玻璃转化温度 ( $T_g$ )，才能发生这种作用机制。密实化的适当条件很容易由在该技术方面熟练精通的人确定。例如，当氧化的多孔硅在湿性氧气气氛中经受高温（例如  $1150^\circ\text{C}$ ）约两小时密实化即发生。由于多孔硅区 12 密实化的速度比硅基片 15 氧化的速度快许多，基片 15 不会氧化得太厉害。在基片 15 氧化的程度，这样的被氧化的硅使用常规技术很容易去掉。

在某些实施例中，如果多孔硅在氧化和变密实之前能加以稳定是有利的。使用能在基片 15 的表面上制作若干氧化物单层的条件可以获得稳定化。合适的条件是一个在该技术方面熟练精通的人所熟知的。将芯片在干燥含氧气的气体中加热到约  $300^\circ\text{C}$  的温度约一小时可以使多孔硅稳定。如果多孔硅在氧化和变密实前曾在环境温度下在一种含氧气的气体中存放一段时间，则可选择稳定条件以防止多孔硅氧化。

参考图 1，之后使用这里没有说明的常规技术将芯片 10 制作在覆盖区 12 上。然后又使用常规技术将上覆盖层 11 制作在芯子 10 上。

### 例子

掺杂的、阻抗为  $0.01\Omega - \text{cm}$  的掺杂硅芯片被清洗并覆盖上一层感光防护材料 Shipley 1822。这种防护材料是从马萨诸塞州 Marlborough 的 shipley 公司得到的。该感光材料层是使用标准条件制作在硅基片上的。

一个图形被描绘到感光材料中。该图形明确表示了多种光学装置（即直线波导、耦合器和 Mach-Zender 装置）的下覆盖层。图形中最小的尺寸约在  $5\mu\text{m}$  到约  $7\mu\text{m}$ 。确定芯子使用同样的遮挡层。由于形成多孔硅的阳极化是一个各向同性的过程，多孔硅区伸入到了遮挡



层的下面。从而，多孔硅区的尺寸比遮挡层尺寸大了些（例如多孔硅区的深度为  $15\mu\text{m}$  同时该多孔硅区向遮挡层下伸进了  $15\mu\text{m}$  的距离）。图形是用标准的版印技术描绘在感光的防护材料中。首先通过使该防护层对图形辐射曝光将图像转移到感光材料中。然后通过去掉感光材料对辐射曝光的部分将图像显影成为图形。去掉感光材料的部分因而使这些部分下面的硅基片的表面露了出来。去掉部分的图形和遮挡图形相对应。

在图形显影之后，防护膜在  $150^\circ\text{C}$  烘烤两分钟。这是为了增加该防护膜在以后加工期间的稳定性。

带有图形遮挡层的基片然后受到一组对硅进行电化学蚀刻的条件的支配。这里使用的电化学电池是一种标准双槽电池。在 Lang. W. 等在 *Sensors and Actuators A 51*, pp. 31-36(1995)中就描述了这样一种电池。在双槽电池中，芯片被浸没在 HF 溶液中，使两侧被浸没在溶液中而芯片则在两个“半电池”之间形成一个屏障。两个铂电极位于芯片两侧的每个半电池中。芯片背侧的电接触是电镀形成的，而相应的铂电极为阳极。另一个半电池中的铂电极处于阴极电位。此二铂电极被连接到驱动电流流过芯片的电池。晶片的正面供作阳极蚀刻，而在遮挡层未覆盖的区域形成多孔硅。电解液是氢氟酸（HF）的 25% 重量的醋酸溶液。 $150\text{mA}/\text{cm}^2$  的电流密度得到的蚀刻速度为  $6.5\mu\text{m}/\text{min}$ ，而孔度约为 55%。在  $5-20\mu\text{m}$  厚的多孔层形成后电流截止而基底芯片从电池中移出。将遮挡层从基片表面剥离。防护膜在一个标准有机防护膜剥离器的槽中去除。

在基片中形成多孔硅区以后，基片被加热到  $300^\circ\text{C}$  并在氧气氛中保持两小时。基片在湿性（ $85^\circ\text{C}$  时 100% 湿度）氧气（流动）中被加热到  $900^\circ\text{C}$  并在此保持两小时。多孔硅被氧化，但在垂直方向没有可以测出的膨胀，也就是说它和基片表面仍然在同一平面内。因为和基片的其它表面相比多孔硅表面没有在高度上有增加或降低，由于多孔硅的区域的存在而使进一步处理变得复杂。

在湿性流动氧气中将芯片加热到  $1150^\circ\text{C}$  使多孔硅变密实。芯片在



此气氛中保持两小时。然后芯片以约每小时 100℃ 的速率被冷却到室温。

然后将一个掺杂的玻璃材料层沉积到变密实的多孔硅区上。该掺杂玻璃是用磷(重量百分之七)掺杂的硅石。该掺杂玻璃材料用 LPCVD 进行沉积。掺杂物在原位被引入玻璃。

光学装置的芯层然后通过使掺杂玻璃层加上图形而形成。一个蚀刻遮挡层形成在掺杂玻璃层上。该蚀刻遮挡层然后被加上图形,结果该蚀刻遮挡层的剩余部分确定了被制作的光学装置的芯层。该掺杂玻璃材料然后被使用反应性离子蚀刻(RIE)进行蚀刻。蚀刻之后,掺杂玻璃层的剩余部分即为该光学装置的芯层。RIE 蚀刻遮挡层的剩余部分然后被去除。

在基片的另一边形成另一层硅石玻璃。这层硅石玻璃是使用 LPCVD 从正硅酸四乙酯(TEOS)预聚器进行沉积。玻璃成分为硅石,用硼(百分之五重量)和磷(百分之二重量)掺杂。

对完成的装置进行评价,其性能合格。一个直线波导(长 6cm)的总插入损失约为 1.2dB。从而,波导的传输损失约为 0.2dB/cm。传输损失实际上更低,因为在总的 1.2dB 中,约 0.4dB 到约 0.5dB 是波导和输入与输出光纤之间的耦合损失。因此,波导的传输损失实际上约为 0.15dB/cm。

本发明通过一些专门的实施例和例子得到了说明。这些实施例和例子是为说明本发明而给出的,且除非根据权利要求,不会限制本发明。

说明书附图

图 1

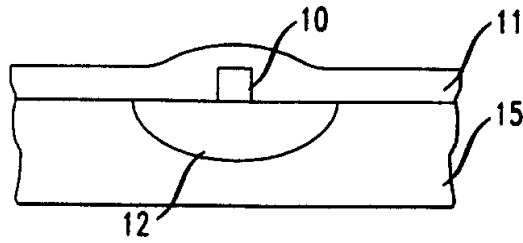


图 2A

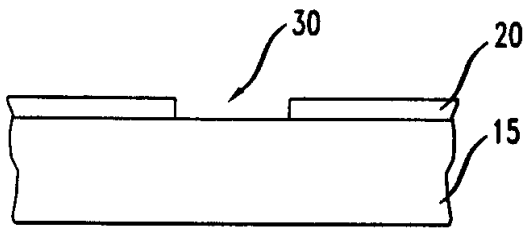


图 2B

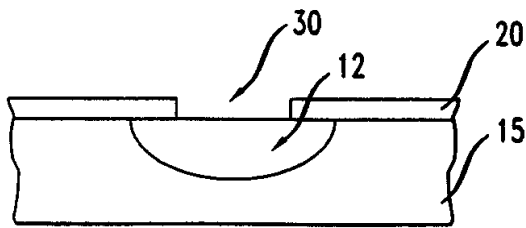


图 2C

