

硅微机械加工光波导压力传感器的设计

许高攀, 胡国清

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 随着波导材料的研究和进展, 采用新的波导材料设计出了一种波导式压力传感器, 就光波导压力传感器的原理和特性作了一个简要阐述, 对它的工艺流程作了详细的描述。

关键词: 光波导压力传感器; 硅微机械法; 结构; 原理; 特性

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2002)01-0060-03

Design of silicon micro machined wave guide pressure sensor

XU Gao-pan, HU Guo-qing

(Dept. of Mech. and Elec. Engin., Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract With the development and research of wave guide material, the new wave guide materials were adopted to design a new optical wave guide pressure sensor. The structure, character and principle of the optical wave guide pressure sensor were expounded here. The fabrication process was discussed.

Key words: optical wave guide pressure sensor; silicon micro machined; structure; principle; character

0 引言

光波导压力传感器是在硅微机械与光纤组合式传感器研究基础上发展起来的, 随着纳米材料的发展和研究, 采用新的材料来取代原来的 SOI (silicon on insulator) 结构, 改用 NOA-PMMA-SiO₂ 结构, 由于 PMMA (聚甲基丙烯酸甲脂, 俗称有机玻璃) 具有优良的光学特性及低热零点漂移且有较好的抗冲击特性, 而 NOA73 是一种很通用的光学粘附剂, 采用这种新结构具有成本低、易于制造和残余应力小、抗冲击能力强、受环境影响因素小等特点。所以对这一结构的压力传感器进行了初步的研究和设计^[1~5]。

1 结构和原理

该光波导压力传感器, 就是集成硅微机械光压力传感器, 它利用 MEMS 加工技术, 将传输、获取信息的光波导以及具有良好机械性能的硅膜和光电转换 PN 结光电探测器, 集成在一块三维硅基片上。这种传感器具有灵敏度高、抗干扰能力强、自身无需电源、防爆、成本低和可靠性高等优点。它特别适于在特殊的环境中应用^[3]。

该光波导压力传感器的结构如图 1 所示。

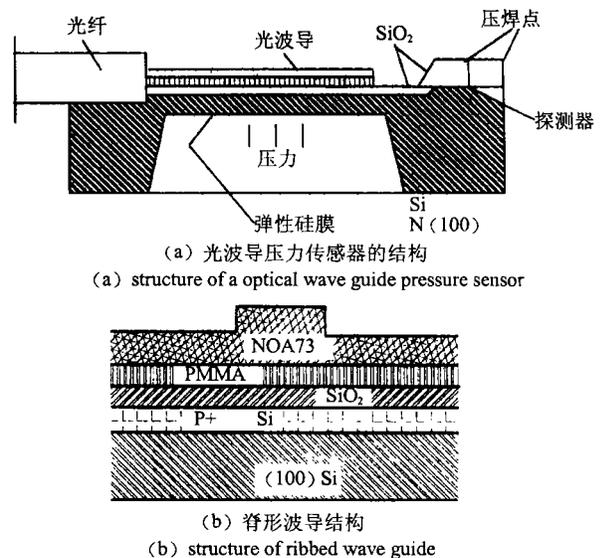


图 1 硅光波导压力传感器的结构及脊形波导结构

Fig 1 Structure of the optical wave guide pressure sensor and structure of ribbed wave guide

由半导体激光器产生的激光, 通过固定在 V 形槽中的光纤耦合到位于弹性硅膜表面的脊形光波导, 用 PN 结光电探测器检测脊形光波导输出端的光信号。该结构采用了 NOA-PMMA-SiO₂ 结构的脊形光波导, 根据光波导理论取脊宽 5 μm 脊高

0.15 μm, 包层 PMMA 和 SiO₂ 分别为 2 μm 和 0.2 μm。脊形光波导的输出端采用劈形波导使输出光耦合到 PN 结光电探测器^{1~3]}。

在压力 p 变化时弹性硅膜将产生形变, 使集成在硅膜上的脊形光波导同时弯曲。由光波导理论可知, 脊形光波导的弯曲将造成光能量的损失。所以在输入光强一定的条件下, 当被测压力发生变化时, 脊形光波导输出端的光强会随之变化, 最终改变光电探测器的输出电压, 从而实现压力检测。光通过光纤在传感器 V 形槽处耦合到脊形光波导, 在输入光强一定的情况下, 获得了 PN 结光电探测器输出光电压与被测压力的拟合曲线, 如图 2 所示。

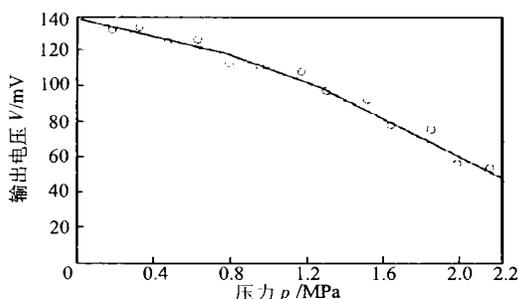


图 2 硅光波导压力传感器的拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve of the wave guide pressure sensor

由该曲线可知, 当压力越大, 光在波导上损失的能量也越大, 因此光电探测器端的输出电压就越小, 由此可以探测出压力的大小。

2 制造工艺

该光波导压力传感器是将硅弹性膜、脊形光波导和光电探测器一体化集成在一块三维硅基片上, 因此必须考虑到三者制造工艺的特点及其工艺的兼容性。设计选用的材料是 N 型(100) 双面抛光硅片, 电阻率为 15 ~ 20 Ω · cm, 厚度为 200 μm 左右。在硅片上用双面对准光刻与常规的集成电路工艺相结合, 并配以正面和背面的各向异性腐蚀技术, 从而制作成集成硅微机械光波导压力传感器^{6 7]}。其主要工艺流程如图 3 所示。

(1) 硅片双面同时热生长 300 nm 的 SiO₂, 正面光刻, 用 KOH 加适量异丙醇进行各向异性腐蚀, 形成敏感弹性硅膜表面与光电探测器的一定高差, 形成固定输入光纤的 V 型槽;

(2) 去掉原热生长的 SiO₂ 后, 重新双面生长 2 μm 厚的优质 SiO₂ 层;

(3) 正面光刻, 扩散生长一层 3 ~ 4 μm 的重掺杂硼, 光刻出 PN 结光电探测器的引出孔, 蒸镀, 反刻, 完成光电探测器的制作;

(4) 用 LPCVD 法在晶体上表面先淀积一层 2 μm 厚的优质 PMMA, 控制其折射率为 $n = 1.48$, 再淀积一层 2 μm 厚的 NOA, 控制其折射率为 1.55;

(5) 正面光刻, 腐蚀形成 NOA - PMMA - SiO₂ 结构的脊形光波导;

(6) 用 LPCVD 双面淀积一层 150 nm 厚的优质 Si₃N₄ 膜作保护层;

(7) 背面光刻, 各向异性腐蚀, 形成敏感弹性硅膜;

(8) 等离子刻蚀去掉保护膜 Si₃N₄, 完成集成硅微机械光压力传感器芯片的制造;

(9) 测试, 完成传感器的封装。

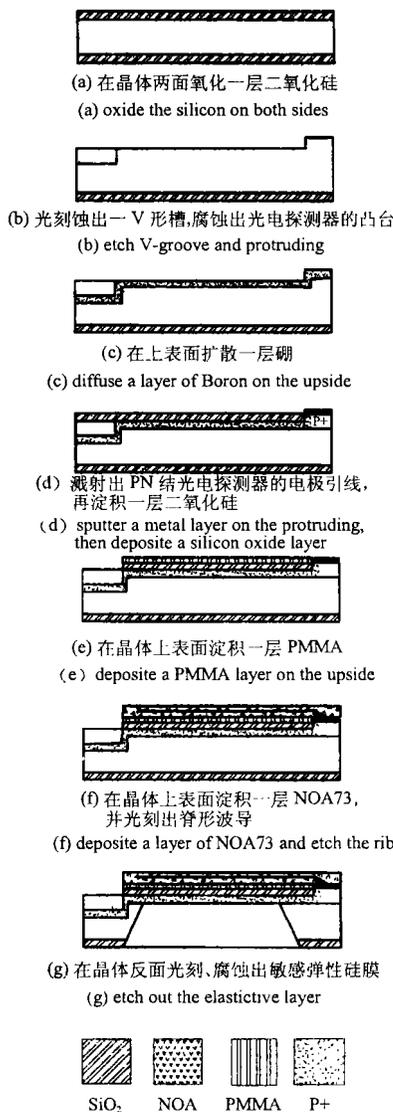


图 3 硅光波导压力传感器的制造工艺

Fig. 3 Fabrication process of wave guide pressure sensor

3 关键技术

具有 NOA - PMMA - SiO₂ 结构的脊形光波导对波长为 632.8 nm 的光有较好的传输性能, 光的损耗较低, 而 632.8 nm 波长的光波正好在硅 PN 结光

电探测器的峰值光谱范围。因此应选用具有波长为 632.8 nm 的带尾纤半导体激光二极管作光源,采用 NOA-PMMA-SiO₂ 结构的脊形光波导,以提高传感器的灵敏度^[1~3]。

集成硅微机械光压力传感器的性能与传感器的内部结构和制造工艺密切相关。

(1) 传感器探测压力的范围和灵敏度与脊形波导和硅膜的几何尺寸、硅膜腐蚀表面的不平度及应力密切相关,因此必须精心设计。

(2) NOA-PMMA-SiO₂ 结构脊形波导的好与坏直接影响传感器的性能,在工艺制作中必须严格控制各层介质膜的厚度和折射率,保证介质膜的均匀。注意温度的控制,消除各介质层之间的应力。在光刻腐蚀过程中,要保证脊形光波导端面的垂直度,避免在腐蚀中产生的端面壁倾角大于波导的临界角,产生波导端面处全内反射的弊端。

(3) PN 结光电探测器的灵敏度、暗电流及动态范围是影响传感器灵敏度和分辨力的关键因素之一,在结构和工艺设计中必须全面考虑。在制作工艺中除按标准的集成电路工艺制作 PN 结外,还需采取一定的措施,如吸杂工艺等,以便尽可能提高光电探测器的灵敏度,减小暗电流,增大动态范围。

4 结 论

利用常规半导体集成电路工艺与硅的各向异性

腐蚀技术相结合研制的集成硅微机械光压力传感器,集硅微机械传感器和导波光学传感器的优点于一体,具有灵敏度高、抗干扰能力强、自身无需电源、防爆、成本低和可靠性高等优点。但采用这种结构的压力传感器也有它的不足之处,如 PMMA 在长期受压时容易产生断裂,蠕变性大。

参考文献

- [1] 靳 伟, 廖延彪, 张志鹏, 等. 导波光学传感器: 原理与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1-37.
- [2] 林学煌. 光无源器件 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998. 113-182.
- [3] 赵策洲. 半导体导波光学器件理论及技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 45-87.
- [4] Dooyoung Hah, Euisik Yoon, Songcheol Hong. An optomechanical pressure sensor using multimode interference couplers with polymer waveguides on a thin P+-Si membrane [J]. *Sensors and Actuators*, 2000, 79: 204-210.
- [5] 秦秉坤, 孙雨南. 介质光波导及其应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991. 3-8.
- [6] 施 敏. 半导体器件物理与工艺 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 245-340.
- [7] 黄庆安. 硅微机械加工技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1996. 343-347.

作者简介:

许高攀(1976-), 男, 福建省泉州市人, 厦门大学机电工程系硕士研究生, 从事微机电方向研究。

广州有色金属研究院简介

广州有色金属研究院建于 1971 年, 是目前中国南方最大的从事有色、稀有金属及其它领域开发研究的机构。设有新材料、化工冶金、选矿工程、精细化工、机电设备和工程设计等 13 个研究室(所、中心); 依托本院建立了“国家钛及稀有金属粉末冶金工程技术研究中心”、“有色金属行业材料表面工程研究重点实验室”、“广东省表面工程技术研究开发中心”。并建立了质检、信息、节能、环保等行业及地区监督服务机构。自有成果评定以来, 共取得重大科研成果 292 项, 其中获国家发明奖和中国专利 25 项, 获国家级奖励 48 项, 省部级奖励 208 项。近年来根据国家和广东省的发展战略, 本院及时调整专业方向, 加强了材料学科的应用基础研究和应用开发研究。同时, 在市场引导下, 不断拓展专业领域, 其研究专业还包括黑色金属、非金属、精细化工及机电一体化等, 几乎涵盖了大部分工业领域。

关于敏感元器件与传感器的产品介绍:

1. 生产致冷器件原料

高纯碲、硒、铋、锑是生产电子致冷器件的重要原料, 我单位运用先进的工艺生产的高纯碲, 各项指标均达到国家标准, 品质优良, 受到客户的普遍认可。纯度达到 99.999%。

2. 高纯纳米及超细氧化铋、氧化铟及稀土纳米氧化物

地 址: 广州市玉山

邮 编: 510651

电 话: 020-37239015

联系人: 顾 珩

E-mail: ky ch@mail.gzrinm.com