

几种新型集成硅微(型)传感器系统*

温志渝 费龙 胡松 钟先信

(重庆大学国家教委光电技术及系统开放实验室,重庆630044)

摘要 介绍了作者近年来在硅微机械加工技术和半导体集成电路技术相结合的基础上研制的硅微机械与光纤组合式阵列声传感器、集成硅微机械光压力传感器和微型多道成像光谱分析系统的结构、工作原理及制造工艺。

关键词: 微机械技术; 微型传感器系统; 硅悬臂梁; 集成光学; 多道成像光谱

1 引言

近年来,随着半导体微细加工技术的高速发展,微机械技术正向各个研究领域迅速渗透,同时又促使多学科(如微电子学,微执行器技术,微传感器技术,微机械,集成光学等)趋于综合集成,将微传感器、微执行器、微光学元件以及信号和数据处理装置一体化集成在一块普通的硅片上,导致了微型系统新概念的出现^[1]。人们正是在这种思想的指导下,利用常规的半导体集成电路工艺,配以各向异性腐蚀等特殊方法,将微电子技术、微机械技术和微光学综合集成,从而构成新型的微传感器系统。这种微型化的传感器系统,体积小、性能稳定可靠、抗振动抗干扰性能好,对电源和温度的控制要求较低,不需苛刻的使用和维护条件,又能形成批量生产,价格较低。它将和专用集成电路一样,具有广泛的应用前景。

本文介绍了作者近年来在硅微机械技术和半导体集成电路技术相结合的基础上研制的微机械与光纤组合式阵列声传感器^[2]、集成硅微机械光压力传感器^[3]和硅微型多道成像光谱分析系统的结构、工作原理和制造工艺。

2 硅微机械与光纤组合式阵列声传感器

硅微机械与光纤组合式阵列声传感器由传感器和光电探测器构成。传感头是由具有不同固有频率的三维硅悬臂梁阵列、硅V型槽阵列和光纤阵列组成,如图1所示。

硅悬臂梁阵列是由一组具有特定固有频率的三维硅悬臂梁谐振子组成,每根悬臂梁对应一根输入光纤和一根输出光纤,光纤由硅V型槽固定。固定光纤的硅V型槽阵列与硅悬臂梁阵列形成一体,从而构成传感头。由激光二极管提供的光源通过输入光纤投射到镀有铝膜的硅

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995年7月17日

悬臂梁表面,当被测信号激励硅悬臂梁阵列时,具有相应固有频率的硅悬臂梁便产生共振,此时,投射在硅悬臂梁表面的光被调制后经输出光纤传送到光电探测器,在实现信息获取的同时实现信号的频谱分析。

图2是这种阵列传感器的幅频特性曲线。

硅悬臂梁振动的阻尼系数非常小, (锐度 θ 值大),因而具有较高的灵敏度;由于利用了光提取和传输信息,所以传感器具有很强的抗电磁干扰能力;能直接获取频谱信息,由于采用了传感器阵列,在信息提出之前对被测信号进行了并行滤波处理,减少了后续信号处理的难度。在工艺水平进一步提高和找到有效的信息处理方法之后,这种传感器可望在实时语音识别方面有广泛的应用。

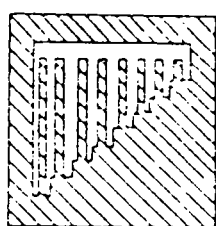
硅悬臂梁的制作工艺流程为^[4]:热生长 SiO_2 —Lpcvd 淀积 Si_3N_4 —正面一次光刻对位标记—各向异性腐蚀对位标记—背面光刻深腐蚀—正面光刻、腐蚀形成悬臂梁—去掉 SiO_2 和 Si_3N_4 —蒸 AL。

3 集成硅微机械光压力传感器

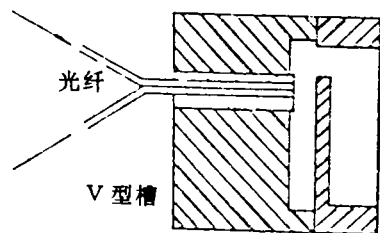
集成硅微机械光压力传感器的结构如图3所示,将硅弹性膜、传输获取信息的条形光波导、光电探测器和固定输入光纤的 V 型槽同时集成在一块三维硅基片上构成的。具有 SiO_2 — SiON — SiO_2 结构的条形光波导制作在硅弹性膜上面。它的输入端通过框架上的 V 型槽与输入光纤相耦合。输出端正对框架上的 PN 结光电探测器。

如图(3)所示。在压力 P 的作用下,硅弹性膜将产生形变,同时使集成在硅膜上的条形光波导也产生弯曲形变。由光波导微弯理论可知^[5],条形光波导的形变将造成光波导中光能量的损耗,所以在输入光强一定的条件下,当被测压力发生变化时,条形光波导输出端的光强将随之变化,改变了光电探测器的输出电压,最终实现压力检测。

在集成硅微机械光压力传感器的制作工艺中,考虑到硅弹性膜、条形光波导和光电探测器的特点及其工艺的兼容性,实验中采用了 N 型(100)双面抛光硅片,电阻率 $15-20\Omega\cdot\text{cm}$,厚度为 $200\mu\text{m}$ 左右。在硅片上用双面套准光刻与常规集成电路工艺相结合,配以正面和背面的各向异性腐蚀。其主要工艺流程是:一次氧化—正面一次光刻—浅腐蚀—二次氧化—正面二次光刻—扩 B—Lpcvd 两面淀积 Si_3N_4 —背面光刻—深腐蚀—等离子刻蚀正面 Si_3N_4 —Pecvd 淀积 SiON —Pecvd 淀积 SiO_2 —正面三次光刻—蒸 AL—返刻—合金—测试—封装。



(a) 硅微悬臂梁阵列



(b) 传感头结构示意图

图1 传感头结构示意图

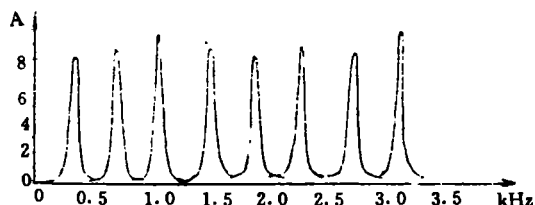


图2 幅频特性曲线

图4是集成硅微机械光压力传感器在输入光强一定的情况下获得的PN结光电探测器输出光电压与被测压力的关系曲线。

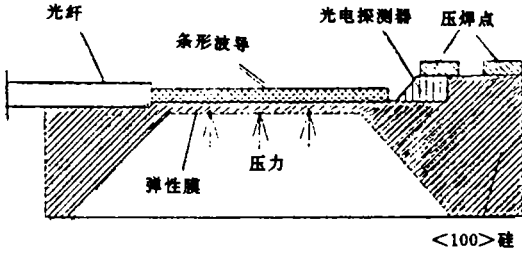


图3 传感器结构示意图

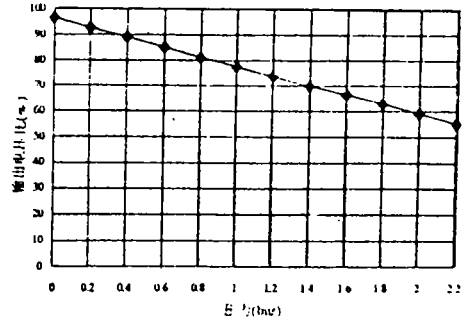


图4 传感器压力—输出电压曲线

这种传感系统集硅微机械和集成光学传感器的优点于一身。具有灵敏度高、抗干扰能力强、自身无需电源、防爆、成本低、可靠性高等优点,适用于特殊环境下使用。

4 硅微型多道成像光谱分析系统

硅微型多道成像光谱分析系统是利用半导体微细加工技术所具备的预组装方式以及高密度集成的特点,配以硅微机械技术(各向异性精密深腐蚀,硅—硅低温键合技术等),将庞大、复杂、分离的多道成像光谱分析系统中的分光系统、成像系统、高灵敏度自扫描光电二极管探测列阵以巧妙的组合方式混合集成在一块三维硅基片上,从而实现多道成像光谱分析系统的集成化和微型化。如图5所示。经过准直镜的光(即待测光信号)进入透射式衍射光栅 G、成像透镜,按不同波长被分离的光再经平面反射镜 M1、M2、M3将这些不同波长的光进一步分离,最终到达自扫描光电二极管探测列阵。待测光谱信息中所有光谱分布由自扫描光电二极管阵列输出。经信号处理,最终按二极管阵列的二极管号码来标识所测谱线。

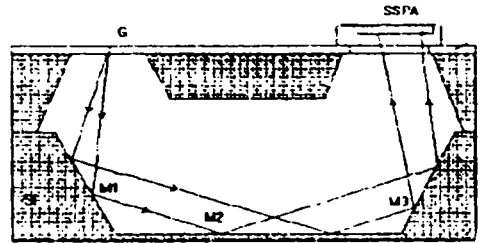


图5 结构示意图

该微系统主要由两块分别具有透射式光栅、微透镜、光电二极管探测列阵、增透膜和成像系统中的 M1、M2、M3 反射镜的 N 型硅片键合成一体,然后将已制作好的 CL512S 高灵敏度二极管阵列封装在上面一块硅片已定位的增透膜处,从而实现分光系统、成像系统和探测列阵的三维混合集成。其关键工艺和主要的难点是:

- (1)高灵敏度自扫描光电二极管阵列的制作。
- (2)下块成像系统中的 M1、M2、M3 反射镜的制作。
- (3)上块透射式衍射光栅、微透镜、探测器增透膜的制作。
- (4)上下硅片的精密对位和低温键合,形成分光系统和成像系统的三维集成。
- (5)自扫描光电二极管阵列、分光系统和成像系统的一体化封装。

这种多道成像光谱分析系统具有结构紧凑、体积很小抗振动抗干扰能力强、性能稳定可

靠、分辨率高、使用灵活、无需苛刻的使用维护条件等优点,可快速、实时、直观地获取信息。一旦研究成功,将在航天遥感、宇宙开发、矿藏勘探、公安侦破、红外识别、光电对抗等方面具有巨大的应用潜力。

5 结 语

作者近期的研究工作表明,利用微机械技术和常规的半导体集成电路加工工艺以及半导体微细加工技术所具有的预组装和高密度集成的特点,将微传感器、微执行器、微光学元件和处理电路等以巧妙的组合方式综合集成,是新型微传感器系统的重要发展方向。它的研究将具有十分重大的科学技术意义和广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] M. Edward Motamedi, Micro-opto-electro-mechanical Systems. *Optical Engineering*. 1994, 33(11):3505-3517
- [2] 温志渝等,硅微机械与光纤组合式阵列传感器. *仪器仪表学报*, 1995. 1, 336-341
- [3] 温志渝、费龙,集成硅微机械压力传感器. *半导体光电*, 待发表.
- [4] 温志渝,集成硅微悬臂梁融合式传感器制造技术. *光学精密工程*, 1995. 3(2), 47-50
- [5] D. 马库塞著,介质光波导理论. 北京:人民邮电出版社,1982

Review of Some Integrated Silicon Micro-sensor Systems

Wen Zhiyu, Fei Long, Hu Song and Zhong Xianxin

*(The Open Laboratory for Optoelectronic Technology and Systems of
The State Education Commission of China, Chongqing University,
Chongqing Sichuan 630044)*

Abstract

This paper reviews some integrated silicon micro-sensor systems, hybrid silicon micro-machine and optical fibre array sensor, integrated silicon micro-mechanical optical pressure sensor and micro-multichannel spectrum analyzer, which have been developed by authors in recent years. The structures, working principles and fabrication processes are briefly introduced.

Key words: Micro-mechanical technology, Micro-sensor system, Micro-machining silicon cantilever, Integrated optic, Multi-channel spectrum analyzer.