

集成硅微悬臂梁融合式传感器制造技术*

温志渝 费龙 钟先信 胡松 王晓兰

(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:简要地描述了以各种微结构的硅悬臂梁作为敏感元件构成的不同用途的新型融合式传感器及其列阵;介绍了硅微悬臂梁融合式传感器的设计和制造工艺;对笔者正在研究的硅微悬臂梁与光纤组合式列阵传感器作了初步的报道。研究结果表明这是一种很有前途的技术。

关键词:硅微悬臂梁;融合式传感器;微细加工技术

1 引言

随着半导体微细加工技术的迅速发展,人们已成功地制造出以硅为材料的各种不同结构的微型悬臂梁,并巧妙地构成了不同用途的各种融合式传感器及其列阵。Petersen 将镀有金属薄膜的二氧化硅悬臂梁用于光调制器列阵和微型机械开关中^[1,2]。特别是高速发展的半导体微细加工技术和“IC”工艺的兼容,使这类融合式传感器得到了迅速的发展。W. Benecke 等人成功地研制了“选频压阻振动传感器”^[3]。这种传感器是由一系列具有相邻谐振频率的硅悬臂梁谐振子组成,可以用于发生振动的许多领域。L. M. Roylance 等人研制了带质量块的微型加速度传感器^[4]。J. A. Dziuban 等人将硅微悬臂梁巧妙地与光探测器、光纤融合一体,研制出微型光压力传感器^[5]。孙曦庆等人成功地研制了“微多晶硅梁开关振荡器”^[6]等。

硅微梁作为一种简单的微机械结构,能很方便地实现各种用途的传感器。而这类传感器的突出优点是它的输出是数字输出,能减少智能化所需的量化介面。尤其是与光电探测器、光纤等相融合。还能将自身安全和干扰、灵敏性结合在一起。便于远距离传输信息,无需时域分析,有利于实时在线检测分析。因而倍受众多学者的青睐。

本文重点介绍了硅微悬臂梁融合式传感器的设计和制造技术,并对笔者正在研究的硅微悬臂梁与光纤组合式列阵传感器作了初步的报道。

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1994年12月15日

2 硅微悬臂梁的设计

2.1 悬臂梁的固有频率

硅微悬臂梁融合式传感器的性能和设计与悬臂梁的固有频率有密切关系。在由一系列的悬臂梁构成的列阵中,各悬臂梁的固有频率是设计时要确定的关键参数。它主要取决于各悬臂梁的几何形状和尺寸。这类传感器的特性在其固有频率及其附近发生显著变化。要设计符合要求的悬臂梁结构的融合式传感器,必须根据整体结构和制造工艺合理设计悬臂梁的几何结构和尺寸。根据机械振动理论,简单结构的悬臂梁在无阻尼情况下的第一固有频率可由下式表示:

$$f = 3.52/2\pi(EI/\mu L^2)^{1/2}$$

式中 E 是材料的扬氏模量, I 是梁横截面的惯量矩, L 是梁的长度。在实际中,所用梁的结构都是复合梁,因而应从具体情况考虑有效的“ EI ”和“ μ ”。

为了增加悬臂梁的灵敏度,有时在梁的自由端加一定的质量块。此时,可根据 Roylance 等人导出的频率近似式进行计算:

$$f = 1/2\mu(EI/ML^3 * (2 + 6c + c^2)/(2/3 + 4c + 10.5c^2 + 14c^3 + 8c^4))^{1/2}$$

式中 M 是梁的端点质量, L 是梁的长度, $c=l/L$, l 是端点质量块中心到梁的距离。

2.2 设计中必须注意的问题

集成硅微悬臂梁融合式传感器的设计,必须综合全面地考虑悬臂梁与其它器件或电路的结构和集成化,以及传感器的一体化封装。特别是悬臂梁的制造和其它集成器件或处理电路的制造工艺的兼容性。这是设计和制造这类融合式传感器的关键。

同时,为了保证传感器的设计性能,必须获得设计时悬臂梁融合式传感器的几何形态和尺寸。故在设计版图时,要根据具体工艺情况和硅的各向异性腐蚀机理,对光刻掩膜版进行图形补偿和一定修正^[7]。

3 硅微悬臂梁融合式传感器制造技术

在集成硅微悬臂梁融合式传感器的制造工艺中,必须认真仔细地考虑硅的各向异性深腐蚀和半导体 IC 工艺的兼容性。一般情况是首先完成除悬臂梁结构成形以外的其它集成器件或处理电路等的制造工艺,再各各向异性深腐蚀形成悬臂梁,最后进行封装完成。

3.1 硅微悬臂梁的制造技术

硅微悬臂梁是利用半导体微细加工技术,根据硅的各向异性腐蚀机理,在硅片上各向异性刻蚀而成。一般选用 N 型 $\langle 100 \rangle$ 双面抛光硅片,厚度在 $200\mu\text{m}$ 左右,选用合适的腐蚀液,在腐蚀过程中保持恒温 and 振动。主要工艺如图 1 所示。(1)硅片双面热生长 1500\AA 的 SiO_2 ,再 LPCVD 淀积 1500\AA 的优质 Si_3N_4 作保护膜。(2)光刻,扩散等完成悬臂梁上的电阻等,以及其它集成器件或处理电路的制造。(3)蒸 AL、返刻、合金完成有关集成器件或电路。(4)低温淀积 Si_3N_4 ,镀铬作保护膜。(5)采用双面光刻技术,对背面进行光刻和各向异性深腐蚀,留下厚度为所需厚度的二倍。(6)正面光刻及各向异性腐蚀形成悬臂梁。(7)去掉悬臂梁及引出压焊点上的铬、 Si_3N_4 、和 SiO_2 保护膜。

3.2 多晶硅悬臂梁的制造技术

多晶硅悬臂梁的制造与硅悬臂梁的制造工艺略有不同,前者工艺比后者简单。主要利用了 SiO_2 的钻蚀,无须双面光刻。为设计集成传感器提供了更大的自由度。其主要工艺如图 2 所示。(1)硅片热生长 1500\AA 的 SiO_2 和 1500\AA 的 Si_3N_4 。(2)光刻,各向异性腐蚀悬臂梁区域。(3)LPCVD 淀积 SiO_2 。(4)光刻多晶硅与硅的连接孔,同时进行其它集成器件的制造工艺。(5)LPCVD 淀积多晶硅,并进行其它集成器件的制造工艺。(6)蒸 AL、返刻、合金等。(7)等离子刻蚀多晶硅,同时用缓冲的氢氟酸溶液腐蚀掉 SiO_2 ,从而形成多晶硅悬臂梁,并去掉悬臂梁

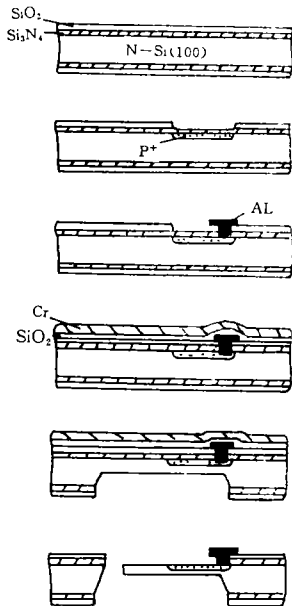


图 1 硅悬臂梁工艺流程图

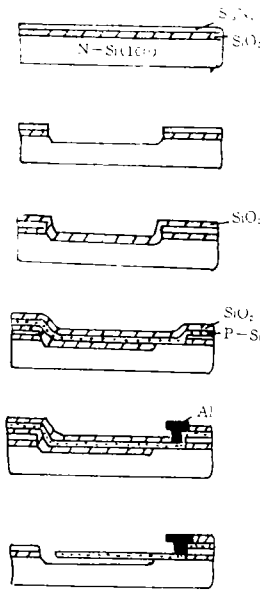


图 2 多晶硅悬臂梁工艺流程图

及其引出焊点上的保护膜。

4 实验结果及讨论

为了研制硅微悬臂梁与光纤组合式列阵传感器,重点研究了硅微悬臂梁的微细加工工艺与 IC 工艺的兼容性,图 3 是这种传感器的结构示意图。它主要是由硅微悬臂梁列阵、硅 V 型槽列阵和光纤组成。它是通过光信号来探测硅微悬臂梁随被测信号的变化而变化的原理来测得被测信号的^[8]。其制造工艺基本类似上述。笔者在硅微悬臂梁与光纤组合式列阵传感器的研制中,重点研究了硅的各向异性深腐蚀工艺、膜厚的精确控制、深腐蚀后表面光洁度以及传感器的一体化封装^[9]。研制的硅微悬臂梁与光纤组合式列阵传感器,应用于声光探测的实验系统中,获得了较满意的实验结果^[8]。实验表明,传感器的性能与悬臂梁表面对位精度和距离密切相关。因此必须精心设计与控制工艺条件,才能保证传感器的性能。

5 结束语

利用半导体微细加工技术与 IC 工艺的兼容性,可以制成各种不同用途的新型集成硅微悬

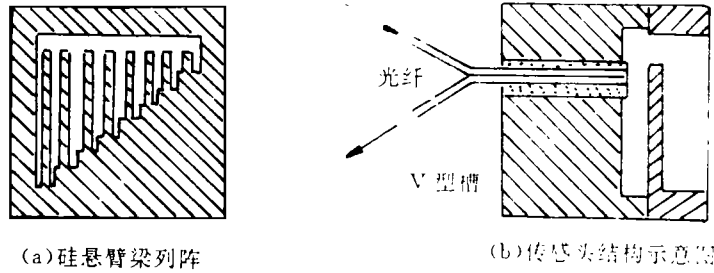


图3 传感头结构示意图

臂梁融合式阵列传感器。这种技术工艺简单,又与IC工艺兼容,在集成传感器等电子器件中具有极强的生命力,是一种很有前途的技术。

参 考 文 献

- [1]K. E. Petersen, Appl. Phys. Lett, 1971, **31**:521
- [2]K. E. Petersen, IBM J. Res Develop, 1979, **23**:376
- [3]W. Beneoke et al., Proc. Transducers, 1985:105
- [4]L. M. Roylance et al., IEEE Trans, 1979, ED-26:1911-1917
- [5]J. A. Dziuban. et al., Sensors and Actuators, 1992, A-32:628-631
- [6]孙曦庆、李志坚等, 半导体学报, 1993, **14**(66):331-336
- [7]B. Puers and W. sansen, Sensors and Actuators, 1990, **A21-A23**:1036-1041
- [8]温志渝, 钟先信等, 硅微机械与光纤组合式阵列传感器. 仪器仪表学报, 1995, **16**(1):336-341

Productive Technique for Integrated Micro-machining Silicon Cantiliver Hybrid Sensor

Wen Ziyu, Fei long, Zhong Xianxing, Hu Song and Wang Xiaolan

(The Open Laboratory for Optoelectronic Technology and Systems of

The State Education Commission of China, Chongqing University, Chongqing 630044)

Abstract

This paper briefly describes the novel hybrid sensors and sensor arrays which use micro-machining silicon cantiliver as key element. The design and productive process are presented also. A hybrid optical fiber and micro-machining silicon cantiliver sensor which is been re-searching is reported. The studying results showed that it is a helpfull technique.

Key words: Mico-machining silicon cantiliver, Hybrid sensor, Micro-processing technique