

微型及超微型压力传感器的开发

王 冰, 尤彩红, 王文襄

(昆山双桥传感器测控技术有限公司, 江苏昆山 215325)

摘要: 介绍了外径为 $\Phi 2$ mm 的超微型压力传感器芯片的设计与结构的封装。改微型传感器已成功用于空气动力学试验及生物医学, 科学测试及研究中, 尤其在高精度的流体动力学测试中, 如风洞测试系统中, 要求传感器不仅具有良好的动态特性, 而且为了减少对测量流场的影响, 提高测量的精度, 对传感器的尺寸要求更加小型化。

关键词: 超微型; 原位测量; 微电子机械技术

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1002-1841(2009)增-0180-02

Design of Miniature and Super-miniature Pressure Sensor

WANG Bing, YOU Cai-hong, WANG Wen-xiang

(Kunshan Shuangqiao Sensor Measurement Controlling Co., Ltd., Kunshan 215325, China)

Abstract: The design and package of super-miniature pressure sensor whose diameter only 2 mm was introduced. This transducer repeated the change law of fluid field under the condition of not disturbing the state of fluid field in its original position or location based on the limit of installing position. This sensor has successfully used in aerodynamics research, wind tunnel experiment, biomedicine application and much scientific research.

Key words: Super-miniature; original position measurement; MEMS

0 引言

在压力场的测量及许多航空航天测量中, 在空气动力学研究的风洞测量中, 在流体力学缩模试验中, 常常要求极小的传感器外形尺寸以求得对流场的极小扰动或影响。这种应用要求中的传感器还常常伴随有动态频响的要求, 因而排除了扫描阀式测量及导管、细管引出式测量的可能性。开发这样的传感器就要求, 一是有小直径尺寸的超微型压力敏感芯片的设计与制作, 二是采用微封装技术实现特别要求的小尺寸外形及安装方便性。

在近代微型传感器通常指最大径向尺寸小于 10 mm 的传感器, 超微型传感器则指最大径向尺寸小于 2.5 mm 的微传感器, 在市售产品中绝大多数都是采用 MEMS 硅压阻压力传感器技术制作的。最充分利用外径尺寸的传感器微封装为圆柱形, 即俗称探针型微传感器, 也称压力探针, 与之最合理相配的压力敏感芯片则应是外廓正方形, 压力敏感膜片正方形; 或外廓圆形, 压力敏感膜片圆形。

标准的硅体微机械加工方法制造的外方内方的压力敏感芯片, 当尺寸为 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 或 $1.5\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ 之间时, 适合用作外形典型尺寸为 $\Phi 3\text{ mm}$ 左右的微型压力传感器, 而欲制作外形典型尺寸为 $\Phi 2\text{ mm}$ 左右或更小的超微型压力传感器时, 则要采用特殊的设计与工艺来获取超微型压力敏感芯片。

1 超微型压力敏感芯片的设计

适用于外径 $\Phi 2\text{ mm}$ 左右的超微型压力传感器的压力敏感芯片的设计有 2 种, 一种是 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 外尺寸的外方内方芯片, 一种是外径 $\Phi 1.5\text{ mm}$ 外圆内圆芯片。

典型的 MEMS 微制造是怎样限制了芯片尺寸的进一步缩

小, 见图 1, 当用各向异性湿法腐蚀制作压力薄膜时, 腐蚀腔四壁 (111) 面因晶向的各向异性原因, 形成与 (100) 面间 54.74° 的夹角, 从而当压力敏感区四周边固支的方形压力平膜形成时, 在周边固支处出现的斜支区域既不能布置压力敏感电阻, 又不能作为外引线引出压焊垫块, 它们成了多余的浪费, 也成了缩小芯片尺寸设计的最大障碍, 当腐蚀深度为 $300\text{ }\mu\text{m}$ 时, 这斜支区的宽度可达 $212\text{ }\mu\text{m}$, 芯片的径向尺度无谓地被加大了 0.424 mm 。这对超微型芯片的获得是不能容忍的。

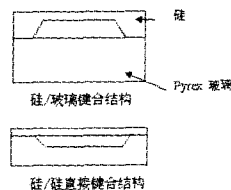


图 1 2 种结构的绝对压力传感器示意图

采用下面的设计可以解决该问题。以各向异性腐蚀为辅, 以硅/硅键合为主形成四周固支的方平膜力敏结构, 见图 2, 在下硅片上各向异性浅腐蚀以确定膜片形状和尺寸及双面光刻对准标志见图 2 (a) 将上硅片与下硅片硅/硅键合见图 2 (b), 减薄并抛光形成周边固支平膜力敏结构见图 2 (c), 在双面光刻对准下, 在硅膜上制作压阻式敏感全桥见图 2 (d), 用蒸发或溅射工艺制作金属互连及引线见图 2 (e), 若键合是在真空下进行的, 则划分后就成为外方内方的超小型绝压芯片。 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 的这种芯片已制作出来, 在大量应用中, 其敏感膜区尺寸为 $0.6\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ 。 $0.8\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 的这种芯片正在制作中。若需要表压式芯片, 硅/硅键合可在空气中进行, 然后金属互连后, 用 RIE 法在硅片背面刻穿一小孔即成见图 2 (f)。

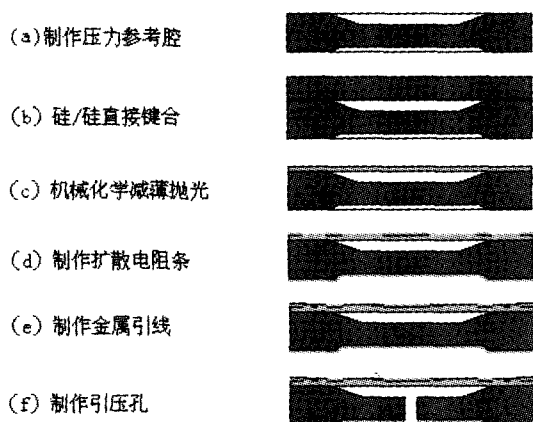


图2 全硅型压力传感器敏感芯片主要工艺制作流程

敏感全桥的设计均可按(100)面上的方形平膜标准设计查表或CAD法进行,值得提出的是,从热学平衡与可靠性角度考虑,电阻条掺硼掺杂区的宽度不宜小于 $6\text{ }\mu\text{m}$,不能从片面追求平均应力来减小这个设计参数。

外径 $\Phi 1.5\text{ mm}$ 、敏感薄膜为同心圆 $\Phi 0.9\text{ mm}$ 的外圆内圆微型芯片传统的方法是采用各向同性腐蚀制成,但需要采用厚度小于 $150\text{ }\mu\text{m}$ 的1寸半小硅圆超薄双抛片投片,并严格控制 $\text{HNO}_3\text{--HF}$ 腐蚀液的比例与温度以控制减小侧向腐蚀,工艺掌握要求苛刻。现代的方法是采用干法深刻蚀技术形成,但深度刻蚀下如何保证最终 $15\text{ }\mu\text{m}$ 左右的薄膜厚度控制以及昂贵的刻蚀加工成本是这一工艺方法很少有人问津的原因。

2 微封装设计与实施

通常采用薄壁不锈钢毛细管作为微型传感器的外壳封装材料,设计中采用了外径为 $\Phi(2\pm 0.1)\text{ mm}$ 的毛细管,壁厚为 0.15 mm ,采用特制的微型花键管作为内引线转接器实现金丝内引线与特制超细电缆的连接,焊接采用进口的应变计专用微型双用焊机实施,该焊机可微型点焊和微型铅焊。

超微型封装中的另外一个问题是测压端和参考腔间的密封,机械手段不可能采用,胶封是常用的方法,要特别注意的是材料的亲合力,及与绝缘的兼容性,与无应力封装的兼容性。

最终实现的超微型传感器 CYG502 的微封装是外径为 $\Phi 2.1\text{ mm}$,长度为 18 mm ,探针型结构,微型引出电缆为 $\Phi 1.7\text{ mm}$,表压参考压力引出毛细管 $\Phi 0.3\text{ mm}$,绝压无毛细管,如图3所示。

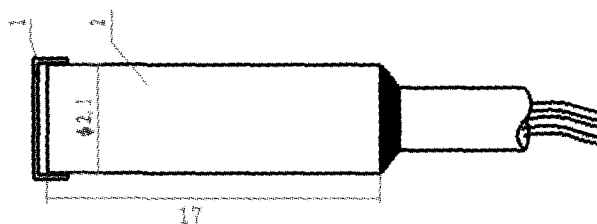


图3 CYG502 传感器结构示意图

微封装限制了最终产品的机械强度,因此测试计量和应用都有特别的要求。在多数情况下,建议用硅橡胶粘接法作为测试和使用中的连接和密封,在量程更大时,可采用硅橡胶O型圈侧挤密封联接法。

3 结束语

开发的微型和超微型压力传感器已成功用于空气动力学试验及生物医学,科学测试及研究中,制成的绝压和表压传感器的最低量程为 100 kPa ,最大量程为绝压 5 MPa ,动态频响优于 100 kHz 。

参考文献:

- [1] 王文襄. 空气动力学试验中的压阻压力传感器. 全国空气动力学测控技术交流会, 2002.
- [2] 王文襄. 轮胎压力传感器敏感元件的设计与研制. 汽车电子世界网, 2004.
- [3] 李科杰. 新编传感器技术手册. 北京: 国防工业出版社, 2002: 500.
- [4] 李忻, 车录峰, 王跃林. 一种超薄硅薄膜的制作方法. 功能材料与器件学报, 2002 (8): 388-400.
- [5] JOHNSON RH, KARBASSI S, SRIDBA U, et al. A high-sensitivity ribbed and bossed pressure transducer. Sensors and Actuators, 1992, 35: 93-99.

作者简介: 王冰 (1981—), 工程师, 硕士研究生, 微电子学与固体电子学。

(上接第145页)

- [5] DEWAN N, SINGH S P, SREENIVAS K, et al. Influence of temperature stability on the sensing properties of SAW NO_x sensor. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 124: 329-335.
- [6] BALDINI F, CAPOBINCHI A, FALAI A, et al. Reversible and Selective Detection of NO_2 by Means of Optical Fibres. Sensors and Actuators B: Chemical, 2001, 74 (1): 12-17.
- [7] MIURA N, GEYU L, YAMAZOE N. Mixed Potential Type NO_x Sensor Based on Stabilized Zirconia and Oxide Electrode. Journal of Electrochemical Society, 1996, 143 (2): 33-37.
- [8] KIM T S, KIM Y B, YOO K S, et al. Sensing Characteristics of DC

Reactive Sputtered WO_3 Thin Films as an NO_x Gas Sensor. Sensors and Actuators B: Chemical, 2000, 62 (2): 102-108.

- [9] 汪国忠, 张立德, 牟季美. 纳米氧化镍微粉的制备及光吸收谱. 物理化学学报, 1997, 13 (5): 445-448.
- [10] 杨建湘, 李朝晖, 高德淑, 等. 纳米氧化镍的制备及表征. 精细化工中间体, 2003, 33 (6): 53-55.
- [11] 王兢, 吴娜, 吴凤清, 等. 纳米氧化镍气敏材料制备及表征. 仪器仪表学报, 2004, 25 (4): 249-250.

作者简介: 钟铁钢 (1984—), 博士, 主要从事半导体化学气体传感器和固体电解质气体传感器的研究。

E-mail: zhongtg07@mails.jlu.edu.cn