

文章编号 1004-924X(2011)12-2927-08

基于自停止腐蚀技术的 H 型谐振式微机械压力传感器

李玉欣*, 陈德勇, 王军波, 焦海龙, 罗振宇

(中国科学院 电子学研究所 传感技术国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 为了提高压力传感器的精度并抑制温漂, 提出了一种基于自停止腐蚀技术的“H”型双端固支梁、电磁激励、差分检测的微机械(MEMS)谐振式压力传感器。首先, 通过有限元分析仿真优化了传感器的机械参数, 得到了较高的灵敏度和分辨率。然后, 基于浓硼扩散自停止腐蚀原理, 采用 MEMS 体硅标准工艺加工出一致性较好的传感器样品。最后, 采用非光敏 BCB, 在真空高温高压条件下将硅片与谐振器黏和键合完成了传感器的真空封装, 并设计了应力隔离的后封装方法以降低温漂。实验结果表明: 传感器的检测范围为 0~120 kPa, 满量程非线性度低于 0.02%, 准确度达到 0.05% FS, 加入应力隔离后在 -40~70 °C 的温度漂移不高于 0.05%/°C。该传感器能够实现大量程高精度的压力测量, 有效地抑制了温漂, 具有较高的性能指标。

关键词: 微机械压力传感器; 谐振式压力传感器; 双端固支梁; 差分检测; 黏和键合

中图分类号: TP212.12 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111912.2927

H type micro-machined resonant pressure sensor based on self-stopped etch technique

LI Yu-xin*, CHEN De-yong, WANG Jun-bo, JIAO Hai-long, LUO Zhen-yu

(State Key Laboratory of Transducer Technology, Institute of Electronics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

* Corresponding author, E-mail: liyuxin107@mails.gucas.ac.cn

Abstract: In order to increase accuracy and reduce temperature drifts of pressure sensors, a micro-machined resonant pressure sensor with H-type doubly-clamped lateral beams was proposed based on electromagnetically driving and differential detection. First, Finite Element Method(FEM) analysis was performed to guarantee the sensitivity and the resolution of the sensor. Then, based on the boron-diffusion self-stopped etch technique, a sensor sample with good uniformity was achieved by a standard bulk Micro-electro-mechanical System(MEMS) process. Finally, the vacuum package of the sensor was accomplished by adhesive bonding using non-photosensitive BCB(Benzocyclobutene, DVS-BCB-3022-46) and stress isolation. Experimental results show that the nonlinearity is lower than 0.02% in 0 to 120 kPa with a accuracy of 0.05% FS, and the temperature drift is less than 0.05%/°C in -40 °C to 70 °C. The sensor can suppress temperature drifts and realize pressure measurement in wide measuring range and higher precision.

收稿日期: 2011-04-12; 修订日期: 2011-05-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60772018NSFC); 国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2007AA04Z318)

Key words: Mirco-electro-mechanical pressure sensor; resonant pressure sensor; doubly-clamped lateral beam; differential detection; Adhesive bonding

1 引言

谐振式 MEMS 压力传感器是压力传感器的一个典型代表,它将微机械加工技术、半导体 IC 工艺和谐振传感器技术有机地结合在一起,不仅具有传统机械谐振传感器精度高、稳定性好等优点,还具有体积小、功耗低、与 IC 兼容、成本低等优点,另外,谐振式 MEMS 压力传感器多为数字输出,易与计算机匹配组成高精度、高稳定性的微型机和电测控系统。高精度谐振式 MEMS 压力传感器在现代航空航天领域起着十分重要的作用,是飞机、卫星、火箭发动控制系统、工业控制系统、大气、宇宙数据检测系统中迫切需要的传感器。谐振式 MEMS 压力传感器已经成为当今国际上研究和开发的热点。虽然目前市场上的压力传感器以电容式和压阻式为主,但是谐振式 MEMS 压力传感器比一般的电容式和压阻式压力传感器的精度高,性能好(相较而言,最好的硅压阻式压力传感器长期精度达 0.1%FS 左右,而谐振式 MEMS 压力传感器测量精度是它的 10 倍以上)。因此,谐振式 MEMS 压力传感器具有很高的现实意义和研究价值^[1]。

谐振器的品质因数和传感器的封装方式对谐振式压力传感器的性能有重要的影响,因此,在谐振式压力传感器的设计制作中要考虑提高谐振器的品质因数和选择可长时间保持真空并可以有效地降低应力的封装方式^[2-3]。影响品质因数的因素主要有材料本身特性、谐振子结构和加工工艺等。材料特性是由其晶格结构和分子运动状态决定的,本文选择了现在 MEMS 加工工艺较成熟的单晶硅作为加工材料,单晶硅制作的谐振器的品质因数可以达到 10^5 量级,完全符合谐振式压力传感器的性能需要;选择了一种差分检测的双端固支的“H”型谐振梁作为谐振器,这种结构具有很好的振动特性和敏感特性,并且真空条件下有很高的品质因数;选择了 MEMS 体加工工艺,这种流片加工工艺简单易实现,并可以减小体应力,有助于提高品质因数^[4-7]。

本文选择了封装温度较低的黏和键合封装方

式,键合的材料为国际上流行的有机粘结材料 BCB(Benzocyclobutene),BCB 具有较低的介电常数,出色的热学化学和力学稳定性,其用于黏着键合时具有高度的平整化能力、固化温度低、固化过程中不需催化剂且没有副产品、固化过程中收缩率可以忽略、良好的粘结性能等突出的优点,可以长时间地保持真空和降低封装产生应力^[8]。

2 工作原理

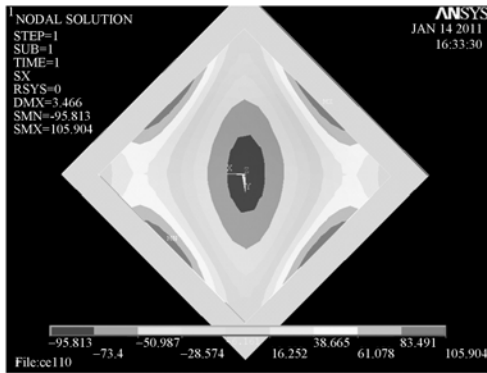
2.1 传感器结构设计

设计传感器要采取各种方法提高谐振器的品质因数,品质因数主要取决于材料的晶格结构和分子运动状态。晶格结构完整、内部阻尼小的材料,品质因数就相对高一些。谐振器结构主要是通过与外界环境的耦合影响品质因数,因此设计谐振器时一定要考虑隔振效果,以避免谐振器与外界的耦合。根据以上的分析本文选择了硅结构的“H”型的谐振梁作为谐振子^[9],如图 1 所示,这种结构具有很好的振动特性和敏感特性,并且真空条件下有很高的品质因数。



图 1 “H”型谐振梁结构图
Fig. 1 “H” style resonant beam

利用 ANSYS 对压力敏感膜进行应力仿真分析。对压力敏感膜模型设定单元类型,材料属性,划分网格,在背面加 100 kPa 压力负载,得到 x 轴向应力分布,如图 2 所示(y 轴向应力分布规律与此一致)。从图中可以看出,膜的中间部位受压应力,并且在中心处为最大;两边部位所受为张应力,靠近固支端的应力最大。这里着重分析矩形压力敏感膜的对角线上的应力分布情况。对角线上的应力呈对称分布,根据其应力分布情况,可以在对角线上选出关于对角线中心对称的等长度的 4 条线段,每条线段上的平均应力大小相等。

图 2 压力敏感膜 x 轴向应力分布Fig. 2 Stress distribution of diaphragm on x -axis

根据这个性质,采用了梁膜一体的双端固定梁结构形式,谐振梁的两端固定支在正方形压力膜突出的锚点上。梁结构水平振动,并对其中同一侧的两组梁的输出频率进行差分,从而可以在增大灵敏度的同时抵消部分外界环境的影响,其整体结构如图 3 所示。

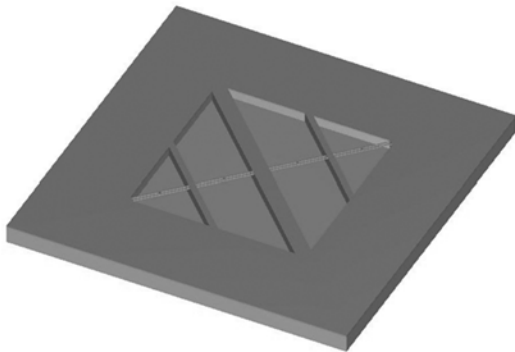


图 3 谐振器示意图

Fig. 3 Schematic diagram of proposed resonator

对谐振器进行模态分析,得到谐振器的振动模态,其中水平一阶振动模态(如图 4 所示)激振容易,功耗小,并对压力比较敏感,所以检测模态选择水平一阶振动模态。

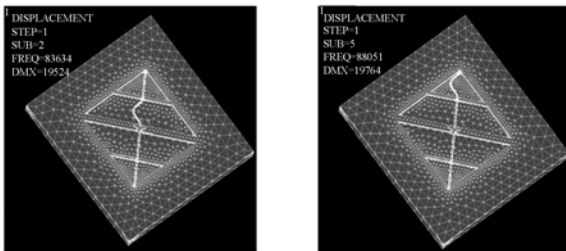


图 4 谐振器的检测模态

Fig. 4 Flexural modes of proposed resonator

2.2 传感器激励方式选择

谐振式压力传感器的激励方式主要有:电热激励、静电激励、光激励、电磁激励及压电激励等。电热激励是利用温度差导致的热应力激振,其工艺制作相对容易,但抗干扰能力和温度性能较差;静电激励是利用两个电极间的静电力激振,由于需要两个电极间距较小,因而对制作工艺有较高要求,并且电容检测也相对较难;光激励一般有 4 种方法:调制光激励、脉冲光激励、噪声调制光激励、自谐振光激励,其特点是抗电磁干扰能力强,但光学系统复杂,自激振荡稳定性较差;电磁激励是利用通有电流的导体在磁场中受安培力作用而进行受迫振动,其工作稳定,但由于必须外加恒定磁场,因而难以实现微型化;压电激励是利用逆压电效应激振,其原理简单,振动稳定,易于闭环检测,但加工工艺与集成电路工艺不兼容,不利于集成化和智能化。

通过对比各种激励方式的优缺点,及参考国内外的成功经验,传感器的激励方式选择工作稳定,检测简单的电磁激励方式。这种激励方式可以使传感器具有更高的品质因数和稳定性。

2.3 谐振梁的固有频率计算

谐振器为双端固定梁,根据弹性理论得到其无阻尼水平振动微分方程^[10]:

$$EI \frac{\partial^4 \omega(x, t)}{\partial x^4} - \sigma A \frac{\partial^2 \omega(x, t)}{\partial x^2} = -\rho A \frac{\partial^2 \omega(x, t)}{\partial t^2}, \quad (1)$$

其中, E 是材料的杨氏模量, I 是转动惯量, $\omega(x, t)$ 是梁的动挠度, $A = bh$ 是横截面积, σ 是轴向应力, ρ 是材料密度, b 是梁宽度, h 是梁厚度, 且 $h > b$ 。求解该微分方程可得谐振梁一阶振动模态的固有频率为:

$$f_0 = f_1(0) = \frac{4.73^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{A\rho}} = 1.028 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{b}{l^2}. \quad (2)$$

由式(2)可知谐振梁的固有频率主要取决于谐振梁的长度 l , 宽度 b 。

2.4 差频检测理论分析

设压力敏感膜为 $2a \times 2a \times t$ 的立方体,其厚度均布载荷为 q ,大小等于待测压力 p 。计算得 x, y 方向的轴向应力 σ_x, σ_y :

$$\sigma_x \Big|_{z=t/2}^{y=0} = \frac{3a^2 q}{\pi^2 t^2} \left[2 \cos \frac{\pi x}{a} + \mu (1 + \cos \frac{\pi x}{a}) \right], \quad (3)$$

$$\sigma_y \Big|_{z=t/2}^{x=0} = \frac{3a^2 q}{\pi^2 t^2} \left[2 \cos \frac{\pi y}{a} + \mu (1 + \cos \frac{\pi y}{a}) \right]. \quad (4)$$

由式(3),(4)得到 x, y 方向的轴向应力分布规律一致。带入 $\mu = 0.22$ 可知, 当 $x/a \in (-0.532, 0.532)$ 时, 所受应力为张应力, $\sigma_x > 0$; 当 $x/a \in (-1, -0.532) \cup (0.532, 1)$ 时, 所受应力为压应力, $\sigma_x < 0$ 。

取 $x=0$, 得到加入应力后的频率与固有频率的关系为:

$$f = f_0 \left[1 + \frac{p}{2p_c} \right]. \quad (5)$$

继而得到灵敏度:

$$S = \frac{f_0}{2p_c} = \frac{0.095(1+\mu)}{\sqrt{E\rho}} \cdot \frac{a^2}{t^2b}, \quad (6)$$

压力膜在不同位置的轴向应力的正负是不同的, 这意味着膜在不同位置的拉伸情况不同, 在拉伸不同位置的谐振器频率变化方向也不同, 利用压力膜的这种敏感特性, 可以制作具有差频效果的传感器。

设 σ_0 为参考应力, 则传感器的 n 阶模态的谐振频率可展开为:

$$f_n(\sigma) = f_n(0) \left[1 + \frac{1}{2} \alpha - \frac{1}{8} \alpha^2 + \frac{1}{16} \alpha^3 - \dots + \frac{1}{(-2)^n} \alpha^n \right], \quad (7)$$

$(\alpha = \frac{\sigma}{\sigma_0})$.

2 个谐振梁在受到相同的气压信号时其应力 σ 是相反的, 两个谐振梁的频率-应力关系式相减得到两谐振梁的差频:

$$f_n^+(\sigma) - f_n^-(\sigma) = f_n(0) \left[\frac{1}{2} \alpha + \frac{1}{16} \alpha^3 + \dots + \frac{1}{2^{2n-1}} \alpha^{2n-1} \right], \quad (\alpha = \frac{\sigma}{\sigma_0}). \quad (8)$$

两个谐振梁的差频滤去了二次项, 相比之下, 差频检测线性化的精度更高, 线性范围可以提高一倍, 同时也提高了传感器的准确度。

3 传感器的制作

单晶硅具有良好的机械性能和热稳定性能, 可以用于制作高性能的传感器; 但是使用单晶硅制作谐振梁不可避免地需要硅-硅键和工艺及硅减薄工艺, 这些都为谐振器的制作增加了难度和成本, 为了克服以上问题, 本文采用了扩散硅制作谐振器的方法。浓硼扩散硅与普通硅在 KOH 溶液中的腐蚀速率比大约为 100 : 1, 因此在湿法腐蚀释放谐振器的同时可以在衬底上得到压力膜, 从而可以把谐振器与压力膜制作在同一衬底上,

避免了谐振器与压力膜键合。谐振器制作采用了体微加工工艺, 工艺相对简单, 并且根据单晶硅的各向异性腐蚀特性, 采用对角放置谐振器(释放时腐蚀(110)面), 使谐振梁的释放更加容易。另外, 待测压力并不直接作用于谐振器, 而是通过压力膜间接改变谐振器的刚度来改变谐振频率以提高压力灵敏度, 这是因为固支薄膜具有应力放大作用, 应力的放大倍数正比于薄膜尺寸与厚度之比的平方。

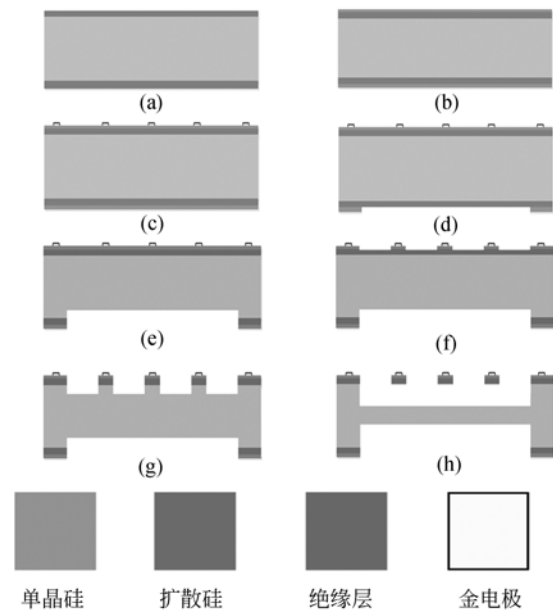


图 5 谐振器的制作工艺

Fig. 5 Fabrication process of proposed resonator

主要工艺步骤如图 5 所示: (1) 首先清洗浓硼扩散硅片(扩散层厚度为 $30 \mu\text{m}$), 如图 5(a) 所示。(2) 在扩散硅表面制作氮化硅和氧化硅的绝缘层, 如图 5(b) 所示。(3) 用 LIFT-OFF 的方法制作谐振器的电极, 如图 5(c) 所示。(4) 刻蚀压力敏感膜 ($5.2 \text{ mm} \times 5.2 \text{ mm}$) 表面的绝缘层, 如图 5(d) 所示。(5) 用反应离子深刻蚀 (Deep Reactive Ion Etching, DRIE) 工艺刻蚀扩散硅层, 如图 5(e) 所示。(6) 刻蚀谐振器表面的绝缘层, 如图 5(f) 所示。(7) 深刻蚀工艺制作谐振梁, 如图 5(g) 所示。(8) KOH 腐蚀释放谐振梁, 并进一步减薄压力膜, 控制腐蚀时间, 保证压力敏感膜的厚度为 $150 \mu\text{m}$ 左右, 如图 5(h) 所示。图 6 为制作的谐振器扫描电镜照片。

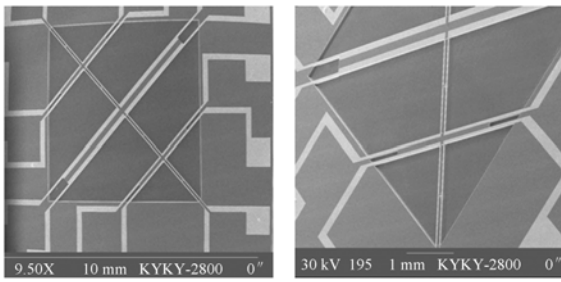


图 6 谐振器的扫描电镜照片

Fig. 6 SEM photos of proposed resonator

4 传感器的封装

MEMS 传感器的封装起着机械支撑传感器、隔离环境和保护芯片等重要作用,封装的优劣很大程度上决定着传感器的实际性能,因此,优良的封装方法对 MEMS 传感器的设计制作至关重要。本文提出了一种使用 BCB 黏和键合的真空封装方式^[11-12]。BCB 具有低的介电常数,出色的热学、化学和力学稳定性。其用于封装键合时具有高度的平整化能力、固化温度低、固化过程中不需催化剂且没有副产品、固化过程中收缩率低、良好的粘结性能等突出优点。本文选择的真空封装方式是单芯片的 BCB 直接键合工艺,只需要一套真空加热设备即可完成。封装步骤如下图 7 所示。首先,在清洗好的单晶硅片上旋涂增黏剂 AP3000 和 BCB 3022-46,然后在 90 °C 热板上预烘 1 min,如图 7(a)所示;之后在真空腔室中加热加压完成键合,如图 7(b)所示。在器件表面加压,器件表面保持 4 个大气压的压强,并按照台阶升温的方法升温至 250 °C,之后稳定加热 1 min^[13]。

谐振器的支撑装置选择可伐合金管座,但是由于可伐合金和硅的热膨胀系数不同,不可避免地会引入热应力,导致传感器的温度系数过大,影响谐振器的性能。为了降低应力造成的温度漂移,本文提出了一种单端固定的应力隔离方法。芯片本身由两组差分结构构成,其中任意一组差分结构即可满足检测需求,因此将隔离层设置在芯片的一端,芯片另一端的差分结构则可获得较小的温度漂移。隔离的支撑基片采用 3 mm×3 mm 的单晶硅片,传感器各部分使用 WD3620 环氧胶粘结,基片支撑点选在芯片一端的直角处,如图 8 所示。

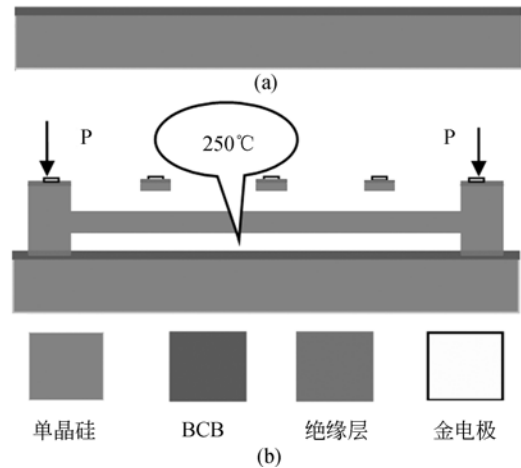
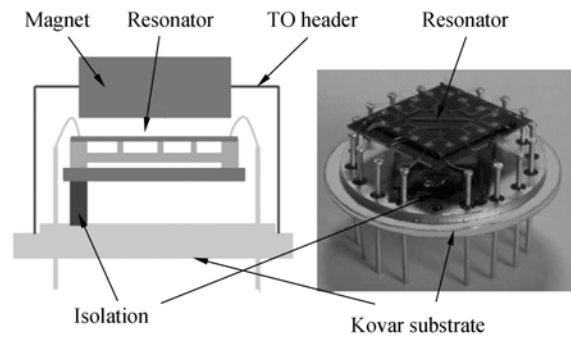


图 7 谐振器的黏和键合工艺流程

Fig. 7 Adhesive bonding process of proposed resonator



(a) 应力隔离层示意图 (b) 应力隔离层照片

(a) View of stress isolation layer (b) Photo of stress isolation layer

图 8 应力隔离层

Fig. 8 Stress isolation layer

5 测试结果

通常一个谐振式传感器需要通过开环与闭环 2 个测试环节来分析传感器的工作特性。开环方法通常用于检测谐振器 Q 值、线性振动的最大驱动电压和幅频特性等参数;而闭环测试则主要测定传感器的灵敏度、线性度、迟滞、温度特性及时漂等动态参数。

使用 HP3562A 动态信号分析仪在大气条件下开环测试传感器,输入电压为 50 mV,得到的开环测试曲线如图 9 所示。传感器谐振模态的中心频率 $f_0 = 84\ 733\ \text{Hz}$, 3 dB 带宽为 42.3 Hz, 计算得到 Q 值为 2 003,表明传感器在大气条件下工作时具有较高的 Q 值,容易闭环检测。闭环检

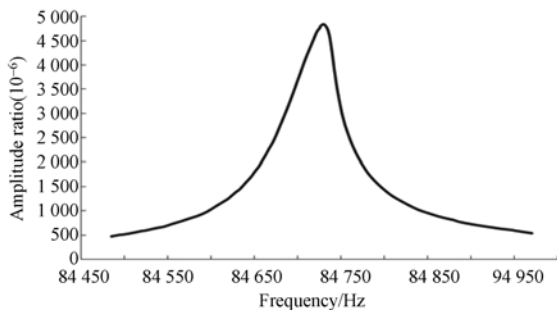


图 9 开环测试曲线

Fig. 9 Output of opened-loop testing

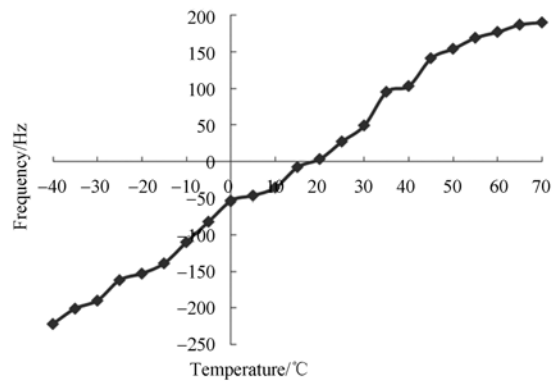


图 12 -40~70 °C 的温度漂移曲线

Fig. 12 Temperature drifts from -40 °C to 70 °C

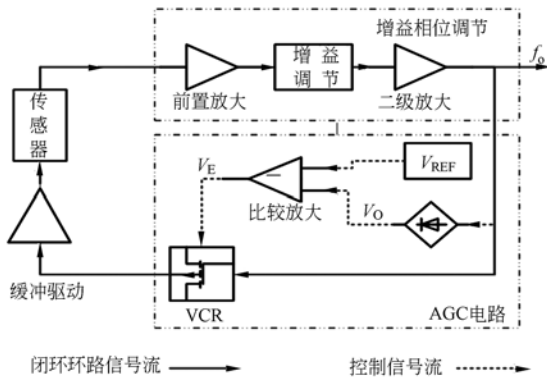


图 10 闭环检测电路

Fig. 10 Closed-loop testing circuits

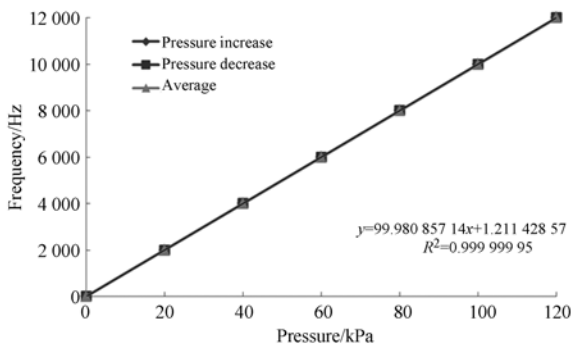


图 11 传感器在 0~120 kPa 内的压力输出曲线

Fig. 11 Voltage output of transducer in pressure of 0 ~120 kPa

测采用电磁检测的方式,通过正反馈使谐振器自激振荡,使激励信号自动跟踪谐振频率,从而可以准确地测定传感器灵敏度、温漂等输出特性。闭

环检测电路如图 10 所示。谐振式压力传感器的检测量程是 0~120 kPa。在 0~120 kPa 对传感器进行输出测试,每间隔 20 kPa 记录输出频率,得到的压力测试曲线如图 11 所示,非线性度不高于 0.02%,准确度为 0.05%FS。在真空条件下,经过应力隔离的传感器在 -40~70 °C 的温度漂移不高于 0.05%/°C,温度漂移曲线如图 12 所示。

6 结 论

本文设计制作了一种基于自停止腐蚀技术的 H 型高精度的电磁式微机械谐振式压力传感器,选择了“H”型谐振梁作为谐振子,通过应力仿真得出了差分检测结构,提高了传感器的准确度并降低了温漂。采用 MEMS 体硅标准工艺加工出传感器样片,设计了黏和键合的方式,使用 BCB 完成了谐振器的真空封装,真空度高,并可长时间保持真空。提出了在传感器非敏感部分设置缓冲层的应力隔离方法,使得传感器的温度性能显著提升。谐振式压力传感器的检测量程是 0~120 kPa,非线性度不高于 0.02%,压力检测误差不高于 0.05%,在 -40~70 °C 的温度漂移不高于 0.05%/°C。测试表明传感器具有较高的综合性能,易于实现批量加工,为传感器的实用化研究提供了基础。

参考文献:

[1] WANG J B, CHEN D Y, LI Y X, et al.. A mi-

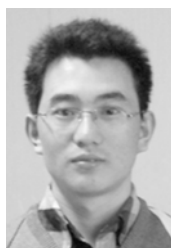
cromachined resonant pressure sensor with DETFs resonator and differential structure[C]. IEEE Sensors Conference, 2009:1321-1324.

- [2] GREENWOOD J C, SATCHELL D W. Miniature silicon resonant pressure sensor [J]. *IEEE Proceedings*, 1988, 135(5):369-372.
- [3] ZARNIK M S, BELAVIC D. Feasibility study of a thick-film PZT resonant pressure sensor made on a prefired 3D LTCC structure [J]. *International Journal of Applied of Ceramic Technology*, 2009, 6(1):9-17.
- [4] 陈李, 陈德勇, 王军波, 等. 高性能电磁式微机械振动环陀螺[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(8):1915-1921.
CHEN L, CHEN D Y, WANG J B, *et al.*. High performance electromagnetic micro-machined ring vibration gyroscope [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1915-1921. (in Chinese)
- [5] 陈李, 陈德勇, 王军波. 微机械振动环陀螺[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(8):1344-1349.
CHEN L, CHEN D Y, WANG J B. Micromachined vibrating ring gyroscope [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1344-1349. (in Chinese)
- [6] 马洪宇, 黄庆安, 秦明. 谐振式 MEMS 温度传感器设计[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(9):2022-2027.
MA H Y, HUANG Q A, QIN M. Design of resonant MEMS temperature sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(9):2022-2027. (in Chinese)
- [7] 石然, 袁安萍, 苏岩. 硅微谐振式加速度计的实现及性能测试[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(12):2583-2589.
SHI R, QIU A P, SU Y. Implementation and experiments of micromechanical differential silicon resonant accelerometer [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(12):2583-2589. (in Chinese)
- [8] 赵钰. 新型 MCM 介质材料——光敏 BCB[J]. *电子元器件应用*, 2002, 4(3):43-46.
ZHAO Y. New dielectrical material for MCM- photosensitive BCB [J]. *Electronic Component & Device Applications*, 2002, 4(3):43-46. (in Chinese)
- [9] CHEN D Y, WANG J B, LI Y X, *et al.*. A novel laterally driven micromachined resonant pressure sensor[C]. *Sensors Conference*, 2010:1727.
- [10] 刘猛, 王军波, 李玉欣, 等. 电磁激励谐振式 MEMS 压力传感器闭环控制电路研究[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(8):1066-1069.
LIU M, WANG J B, LI Y X, *et al.*. Research on closed loop control for resonant MEMS pressure sensor with electromagnetic excitation [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2010, 23(8):1066-1069. (in Chinese)
- [11] 龙乐. MEMS 封装技术的发展及应用[J]. *电子与封装*, 2005, 3(5):1-5.
LONG L. Progress and application for MEMS packaging technologies [J]. *Electronics and Packaging*, 2005, 3(5):1-5. (in Chinese)
- [12] 许薇, 王玉传, 罗乐. 玻璃浆料低温气密封装 MEMS 器件研究[J]. *功能材料与器件学报*, 2005, 11(3):343-346.
XU W, WANG Y CH, LUO L. Wafer level hermetic package of MEMS by glass solder at low temperature[J]. *Journal of Functional Material and Devices*, 2005, 11(3):343-346. (in Chinese)
- [13] LIU Y F, LIU W P, LI S H, *et al.*. Low temperature wafer level hermetic package with benzo-cyclobutene material [J]. *Semiconductor Photonics and Technology*, 2006, 12(1):39-42.

作者简介:



李玉欣(1985—),男,山东菏泽人,博士研究生,2007年于青岛大学获得学士学位,主要从事 MEMS 器件设计,谐振式 MEMS 压力传感器的制作与封装,微弱信号检测等方面的研究。E-mail: liyuxin107@mails.gucas.ac.cn



焦海龙(1984—),男,陕西延安人,博士研究生,2008年于中国矿业大学获得学士学位,主要从事 MEMS 传感器电子电路、微弱信号检测、嵌入式系统等方面的研究。E-mail: jaohailong2010@163.com



王军波(1973—),男,河北石家庄人,副研究员,1995年、1998年于吉林工业大学分别获得学士和硕士学位,2002年于清华大学获得博士学位,主要从事 MEMS 物理量传感器、生化传感器的设计、加工、封装及微弱信号检测等方面的研究。E-mail: jbwang@mail. ie. ac. cn



罗振宇(1987—),男,湖北荆州人,硕士研究生,2009年于北京理工大学获得学士学位,主要从事物理量传感器的设计, MEMS 传感器的制作等。E-mail: oreilzy@gmail. com

导师简介:



陈德勇(1967—),男,研究员,1989年于清华大学获得学士学位,2002年于中科院电子学研究所获得博士学位,主要从事 MEMS 加工技术,基于 MEMS 技术的微结构物理量传感器的设计、制作、封装及测试和微执行器及智能微系统等方面的研究。E-mail: dychen@mail. ie. ac. cn

● 下期预告

准分子激光相位掩模制备大晶粒尺寸多晶硅

张 健,林广平,张 睿,崔国宇,李传南

(吉林大学 电子科学与工程学院 集成光电子学国家重点联合实验室

吉林大学实验区,吉林 长春 130012)

为扩大晶粒尺寸并降低晶粒间界缺陷对多晶硅薄膜晶体管的不良影响,采用准分子激光相位掩模的方法制备了大晶粒尺寸的多晶硅薄膜。首先,在无相位掩模时利用不同能量密度的准分子激光对非晶硅薄膜晶化,通过扫描电镜观测晶粒尺寸,确定超级横向生长的能量窗口;然后,在该能量密度下采用周期为 1 073 nm 的相位掩模板对入射光束进行相位调制,在样品表面形成人工可控的横向温度梯度,使非晶硅熔化并横向生长结晶为多晶硅;最后,对薄膜特性进行测量,并与非晶硅薄膜和超级横向生长制备的多晶硅薄膜进行比较。结果表明:超级横向生长制作的多晶硅薄膜与无相位掩模板制作的多晶硅薄膜相比,其平均晶粒尺寸提高一个数量级,达到了 228.24 nm;薄膜电阻率降低一个数量级,为 $1.89 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$;其晶粒分布规则有序。该方法能有效提高多晶硅薄膜的电学特性,且适用于高质量多晶硅薄膜器件的制作。