

文章编号: 1000-6893(1999)04-0362-03

硅谐振梁式压力微传感器边界结构参数优化

樊尚春¹, 李明明², 宋治生¹

(1. 北京航空航天大学 302 教研室, 北京 100083)

(2. 中国中兴通讯公司 开发一部, 广东 深圳 518004)

OPTIMIZATION OF THE BOUNDARY STRUCTURAL PARAMETERS OF A SILICON RESONANT BEAM PRESSURE MICROSENSOR

FAN Shang-chun¹, LI Ming-ming², SONG Zhi-sheng¹

(1. Faculty 302, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

(2. The First Development Department, Zhongxing Telecom LTD., Shenzhen 518004, China)

摘要: 对一种硅谐振式压力微传感器敏感结构的边界结构参数进行了优化设计。所讨论的敏感结构以方形硅膜片作为一次敏感元件, 直接感受被测压力。在膜片的上表面制作浅槽和硅梁, 以硅梁作为二次敏感元件, 间接感受被测压力。为减少敏感结构内外能量耦合, 提高振子的 Q 值, 采用有限元仿真分析的方法, 优化敏感边界结构参数。

关键词: 微传感器; 结构优化; 能量耦合

中图分类号: V241.7 **文献标识码:** A

Abstract: The boundary structural parameters of a silicon resonant pressure microsensor are optimized in this paper. The preliminary sensing unit of the above sensor is a square silicon diaphragm, which senses the measured pressure directly. And the final sensing unit of the above sensor is a silicon beam resonator, which is attached on the upper surface of the above diaphragm. The above silicon beam senses the measured pressure indirectly. Based on reducing the boundary structural disturbances of the sensing structure for the above microsensor and increasing the Q factor of the beam resonator, the boundary structural parameters of the sensing structure are optimized by using the finite element method.

Key words: microsensor; structural optimization; energy coupling

硅谐振式压力微传感器是当前传感器技术领域研究的热点之一, 也是研制新一代的分布式大气数据计算机的关键技术^[1~4]。图 1 给出了本文所研究的硅谐振式压力微传感器的敏感结构部分。它由方膜片、谐振梁和边界隔离部分构成。其工作原理为: 以方形硅膜片作为一次敏感元件, 直接感受被测压力。在膜片的上表面制作浅槽和硅梁, 以硅梁作为二次敏感元件, 间接感受被测压力。外部压力 P 的作用使硅膜片上表面产生相应的变形, 进而引起硅梁的变形, 导致其刚度发生变化, 从而梁的固有频率将随外部压力的变化而变化。通过检测谐振梁的固有频率的变化, 即可间接测出外部压力的变化。对于硅谐振式压力微传感器, 为提高硅梁谐振子的 Q 值, 减少外界干扰对谐振子的影响, 设计、选择恰当的边界结构参数至关重要。

1 方法及工具

图 1 所示结构中, 有效敏感部分是方膜片和

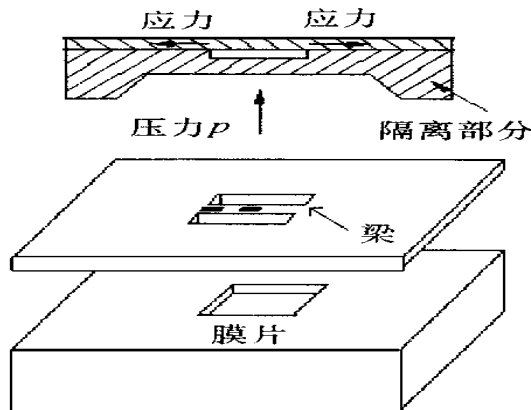


图 1 硅谐振式压力微传感器敏感结构

梁谐振子。因敏感结构十分微小, 工作中容易受到外界干扰, 从而影响到敏感结构的稳定性及传感器的性能。依图 1 压力微传感器的实际敏感结构, 减少敏感结构内外能量耦合的有效手段是增加隔离部分的厚度和宽度, 但厚度和宽度太大将导致

传感器的体积增大、重量增加。因此选择恰当的边界结构参数, 即隔离部分的厚度和宽度可以有效地减少敏感结构内外的能量耦合, 提高敏感结构的抗干扰能力。敏感结构是基于方膜片的静力特性及谐振梁的频率特性工作的, 其中又以方膜片的应力特性尤为重要。为此本文主要基于隔离部分对方形膜片应力特性的影响规律, 对隔离部分的厚度和宽度进行优化。由于隔离部分的引入大大增加了结构的复杂性, 解析分析已无法进行。所以采用有限元数值解法来进行分析。本文采用 ALGOR 有限元结构分析软件来进行。

(1) 网格划分及单元选择 考虑到整个结构、受力状态和边界条件的对称性, 取 1/4 结构体进行分析, 如图 2 所示。为提高计算精度, 采用三维六面体单元, 在网格划分上, 结构均匀的部位, 单元取的大一些、疏一些; 结构有突变的部位, 单元取的小一些、密一些。

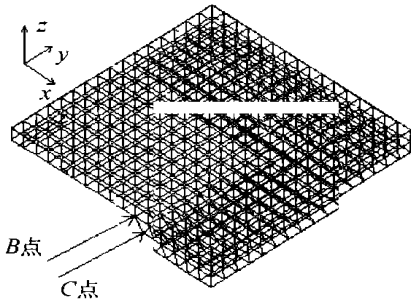


图2 方膜片有限元划分示意图

(2) 边界条件 依实际情况, 有如下边界条件: 力边界条件: 取满量程压力 $P = 0.1 \text{ MPa}$ 作用于膜片下表面; 位移边界条件: 结构的 4 个侧面及底面固支。

由于分析 1/4 结构体, 应引入对称面上的边界条件, xz 平面上的点需满足: $v = 0, \delta w / \delta y = 0$; yz 平面上的点需满足: $u = 0, \delta w / \delta x = 0$; 其中: u, v, w 分别为方膜片沿 x, y, z 轴的位移。

2 有限元仿真计算实例

一硅谐振式压力微传感器敏感结构部分的几何参数为: 方形硅膜片的边长和厚度分别为 4 mm 和 0.2 mm ; 谐振梁长、宽、厚和浅槽深度分别为 $1200 \mu\text{m}, 80 \mu\text{m}, 12 \mu\text{m}$ 和 $2 \mu\text{m}$; 硅材料的弹性模量、密度和泊松比分别为: $E = 1.3 \times 10^{11} \text{ N/m}^2, \rho = 2.33 \times 10^3 \text{ kg/m}^3, \nu = 0.278$ 。

根据图 1 谐振敏感结构的特点, 这里重点考察在满量程压力 ($P = 0.1 \text{ MPa}$) 作用下, 隔离部分与方膜片的连接点 B, 以及隔离部分内端点 C 处

的应力变化情况。

图 3 和图 4 给出隔离部分内宽度为膜厚的 6 倍时, C, B 两点处的正应力随其厚度与膜厚之比变化的分布曲线。图 5 和图 6 给出隔离部分厚度为膜厚的 6 倍时, C, B 两点处的正应力随其内宽度与膜厚之比变化的分布曲线。图中 X, Y, Z 分别为沿 x, y, z 轴的正应力。

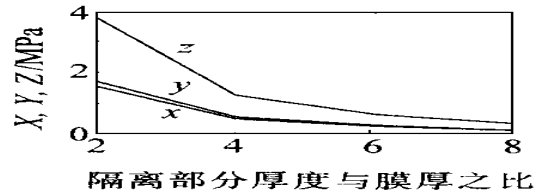


图3 C点正应力随隔离部分厚度与膜厚之比的变化规律

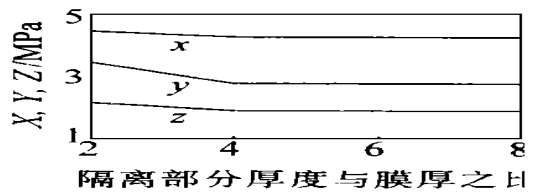


图4 B点正应力随隔离部分厚度与膜厚之比的变化规律

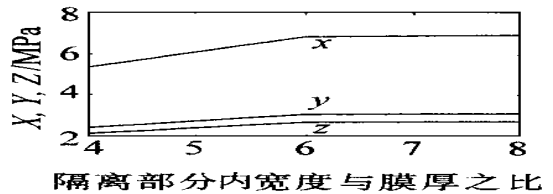


图5 C点正应力随隔离部分内宽度与膜厚之比的变化规律

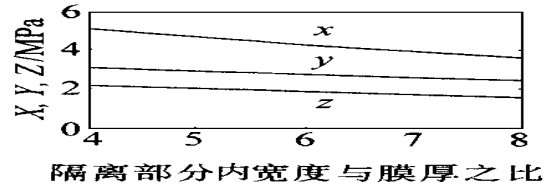


图6 B点正应力随隔离部分内宽度与膜厚之比的变化规律

3 结论

由以上分析过程及相应的曲线可以看出: 当敏感结构的隔离部分内宽度和厚度选择为膜片宽度的 6 倍左右时, 就可以很好地减小敏感结构内外能量的耦合程度。

参考文献

- [1] Beeby S P, Tudor M J. Modeling and optimization of micromachined silicon resonators [J]. J. Micromech

Microeng, 1995, 5: 103~105.

- [2] Hauptmann P. Resonant sensors and applications (Invited Paper) [J]. Sensors and Actuators, 1991, A-27: 371~377.
- [3] Luo R C. Sensor technologies and microsensor issues for mechatronics systems (Invited Paper) [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1996, 1: 39~49.
- [4] Parsons P, Glendinning A, Angelidis D. Resonator sensor for high accuracy pressure measurement using silicon technology [A]. Schlumberger Industries Aerospace. Transducer Division, IEEE AES Magazine, 1992. 45~48.

作者简介:



樊尚春 1990年在北京航空航天大学获工学博士学位。后留校在自动控制系统任教。1994年破格晋升为教授,1997年增补为博士导师。在国内外发表论文60多篇。研究方向:硅微结构传感器、谐振式直接质量流量传感器、仪表,传感器的建模与仿真、检测技术与自动化装置。



李明明 1998年在北京航空航天大学获工学硕士学位。现在深圳中兴通讯股份有限公司传输开发部工作。主要从事光传输系统的开发研究工作。



宋治生 1993年获北京理工大学计算机科学工程学士学位,后在洛阳613研究所工作,现在北京航空航天大学自动控制系统测试计量技术及仪器专业攻读硕士学位。从事谐振式传感器研究。