

高灵敏度 QVBA 限位结构设计研究

林丙涛¹, 周 倩¹, 曾小珊¹, 唐光庆², 满 欣¹, 周本清¹, 李 海¹

(1. 中国电子科技集团公司第 26 研究所, 重庆 400060; 2. 中国人民解放军驻重庆气体压缩机厂军事代表室, 重庆 400050)

摘 要: 石英振梁加速度计(QVBA)具有检测精度高、准数字输出的特点, 灵敏度是影响其性能的一个重要指标参数。针对现有石英振梁加速度计灵敏度低的问题, 设计了一种高灵敏度石英振梁加速度计。它采用在石英摆片上下位置施加一对限位片, 既可对石英摆片的最大位移量进行限制以提高器件的抗冲击性能, 又可增加石英摆片振动过程中的阻尼力以提高器件的抗振动性能, 降低了加速度计一阶模态谐振频率的限制条件, 有效提高了加速度计的灵敏度。最后依据加速度计的结构特点设计出了相应的工艺制作方案, 并加工出了差分结构的加速度计样机, 经测试其灵敏度为 65.74 Hz/g, 10 min 零位稳定性为 15.8 μg 。

关键词: 石英振梁加速度计; 限位片; 灵敏度; 差分; 阻尼

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A

Design of High Sensitivity QVBA Restrainer

LIN Bingtao¹, ZHOU Qian¹, ZENG Xiaoshan¹, TANG Guangqing², MAN Xin¹, ZHOU Benqing¹, LI Hai¹

(1. 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

2. Chinese People Liberation Army Military Deputy Station of Chongqing Gas Compressor Factory, Chongqing 400050, China)

Abstract: Quartz vibrating beam accelerometers (QVBA) are particularly attractive for their high precision and frequency output, and the sensitivity is an important factor which influences its performance. A new QVBA structure is performed to improve the sensitivity, in which one pair of restrainers is mounted above and under the quartz reed. The anti-shock performance of QVBA is enhanced for the maximum displacement of quartz reed is restrained by restrainer and the ability to resist vibration is enhanced too for the improvement of damp applied on the quartz reed, so the sensitivity of QVBA can be improved since the restriction of its first-order modal frequency is decreased. The manufacturing process of the QVBA is designed by which the differential QVBA is manufactured. Under room temperature, the sensitivity of the differential QVBA is 65.74 Hz/g and bias stability is 15.8 μg in 10 min.

Key words: quartz vibrating beam accelerometer; sensitivity; restrainer; differential; damp

0 引言

石英振梁加速度计(QVBA)利用振梁受到轴向应力时谐振频率发生变化的性质来检测输入的加速度, 具有检测精度高, 准数字输出及量程范围宽等优点^[1], 在数字信号处理领域已开始逐步取代传统的力平衡式加速度计。

目前, QVBA 有双振梁和单振梁两种结构。美国的 Kearfott 公司采用双振梁结构^[2], 振梁和质量块等其他辅助结构分开制作, 然后通过粘接等方式组装到一起, 制作工艺繁琐不适合大批量生产。法国 Onera 创新性地将 QVBA 的所有结构制作于单一芯片结构上^[3], 且可通过微机电系统(MEMS)工艺一体化制作, 体积小、成本低且装配简单, 综合精

度已达 300 μg , 单个芯片的直径为 $\varnothing 6$ mm, 产品已实现批量化生产并在载体导航、制导及工业控制领域大量应用。

然而, 由于法国 Onera 的 QVBA 未施加任何保护装置及其一阶模态的谐振频率需高于 2 000 Hz 以满足环境使用要求, 致使器件的灵敏度进一步提升的难度较大(目前两个器件差分后的灵敏度为 24 Hz/g), 制约了加速度计性能的提高。

为了在满足环境使用要求的条件下提高加速度计的灵敏度, 设计了一种带有限位片的高灵敏度 QVBA。它采用在 QVBA 的摆片上、下位置分别施加一个限位片, 当石英摆片端部的位移等于其与限位片的间距时, 摆片端部碰触到限位片上, 其位移被限制到很小的范围, 器件的抗冲击能力得到有效提

收稿日期: 2013-11-05

作者简介: 林丙涛(1982-), 男, 河南漯河人, 工程师, 博士, 主要从事 MEMS 力学器件设计及工艺技术研究。E-mail: linbt1982@gmail.com。

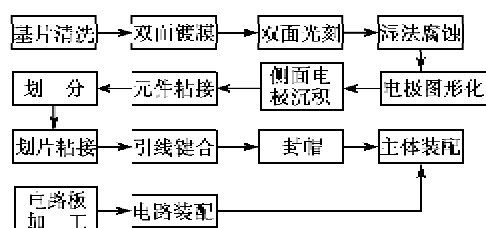


图3 石英振梁加速度计加工工艺流程

石英材料的微加工方式有湿法腐蚀和干法刻蚀两种,干法刻蚀速率低(约几十纳米每分)且成本较高^[5],本文中所设计的 QVBA 的刻蚀深度达到几百微米,若采用干法刻蚀时间过长,因此石英晶体的三维深槽体加工选择采用湿法腐蚀法进行。

目前较常用的石英晶体腐蚀液为氢氟酸(HF)十氟化铵(NH₄F)的混合溶液^[6],NH₄F 作为 HF 腐蚀石英晶体时的缓冲剂,可有效降低 HF 的钻蚀能力,使基片表面的掩蔽膜可耐长时间的高温钻蚀^[7]。

腐蚀溶液中的 HF 组分的钻蚀能力较强,光刻胶的致密性不高,无法作为石英腐蚀时的掩蔽膜^[8],通常选择 Cr/Au 双层金属膜层作为石英湿法腐蚀时的掩蔽膜层。此外,湿法腐蚀的温度要综合考虑腐蚀表面粗糙度和腐蚀速率两个因素^[9],在本文中通过选择合适的腐蚀温度及腐蚀液浓度加工出了粗糙度较小的振梁表面,振梁背面腐蚀后的表面质量如图 4 所示。

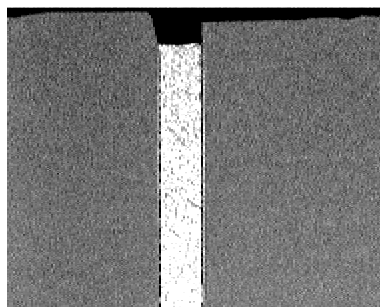


图4 振梁背面腐蚀质量

4 性能测试

图 5 为 QVBA 的 10 min 零位稳定性的测试曲线。由图可知,未经差分时,单个敏感器件的频率随时间的推移成下降态势,这是因为器件及其电路开始工作后发热导致温度逐步升高,在测试时间内未达到温度平衡状态,由于两个器件的结构参数相近,因此随温度的变化趋势及速度也相近,经差分后的输出频率信号对温度漂移的抑制水平明显提高。器件 1 的标度因数为 31.713 Hz/g,器件 2 的标度因数为 34.027 Hz/g,差分后的加速度计的标度因数为两者之和,即 65.74 Hz/g,经计算差分后的 QV-

BA 的 10 min 零位稳定性为 15.8 μ g。

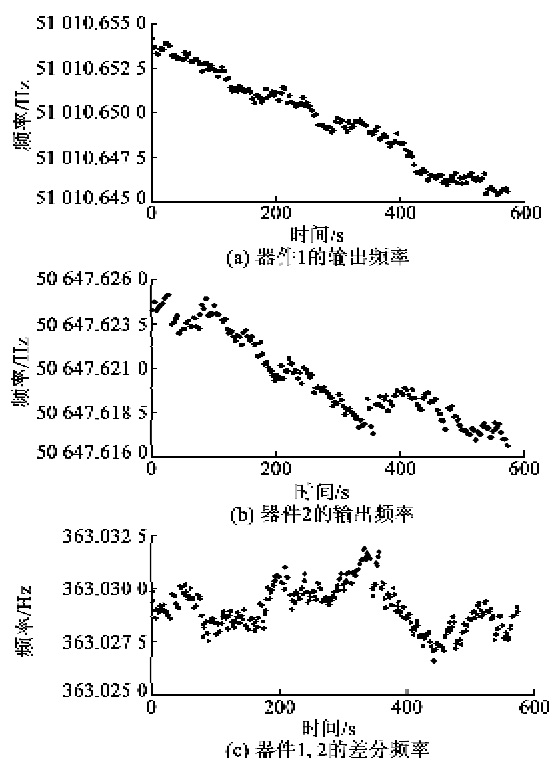


图5 10 min 零位稳定性测试曲线

5 结束语

针对现有石英振梁加速度计受限于一阶模态频率需大于 2 000 Hz 的条件,其灵敏度无法进一步得到有效提升的问题,设计了一种在石英摆片上、下位置施加限位片的石英振梁加速度计结构。该加速度计的抗冲击和抗振动性能均得到大幅提升,降低了一阶模态频率的限制条件。设计了合理的加速度计器件加工工艺方案,并对关键工序石英湿法腐蚀的控制要点进行了阐述。制作出了与设计吻合较好的加速度计器件,经测试,单个器件的灵敏度大于 30 Hz/g,差分后的加速度计灵敏度为 65.74 Hz/g,10 min 零位稳定性为 15.8 μ g。

参考文献:

- [1] 邓宏论. 石英振梁加速度计概述[J]. 战术导弹控制技术, 2004, 47(4): 16-23.
DENG Honglun. Overview of quartz vibrating beam accelerometer[J]. Control Technology of Tactical Missile, 2004, 47(4): 16-23.
- [2] 赵君轶, 邢馨婷, 杨中柳. 线加速度计的现状与发展趋势综述[J]. 计测技术, 2007, 27(5): 1-4.
ZHAO Junzhe, XING Xinting, YANG Zhongliu. The summary of present situation and tendency of the linear accelerometer[J]. Metrology & Measurement Technology, 2007, 27(5): 1-4.

(下转第 579 页)