

微机械振动陀螺的耦合误差和隔离耦合的结构设计

李文望, 孙道恒

(厦门大学 机电系, 福建 厦门 361005)

Coupling Effect and the Structural Schematic Design of Decoupled Micromachined Vibrated Gyroscope

LI Wen-wang, SUN Dao-heng

(Department of Mechanical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

摘要 微机械振动陀螺是近几年发展起来的新型惯性元件, 其误差源主要有微机械结构的 Brownian 噪声、电路噪声、机械耦合误差及电子机械耦合误差等, 这些误差严重影响陀螺仪的精度。本文提出了单级隔离耦合和双级隔离耦合的结构方案, 有效减小机械耦合误差, 提高精度。

关键词 微陀螺 机械耦合误差 悬浮效应 隔离耦合

中图分类号 V 241.554

文献标识码 A

文章编号 2001-2257(2001)06-0045-03

Abstract Silicon micromachined gyroscope is a new type of inertial sensor developed in recent years, whose error resource often comes from brownian noise, electronic noise, mechanical coupling effects and electromechanical crosstalk, etc. These errors would affect the precision of gyroscope greatly. The structural schemes of the single decoupled and double decoupled were proposed in this paper. The mechanical coupling error could be reduced greatly and be made more precise by applying these types of structure.

Key words micromachined gyroscope mechanical coupling error levitation effect decoupled

0 引言

微机械振动陀螺具有体积小、重量轻、可靠性高、抗冲击、易于数字化和智能化、能大批量生产等一系列优点, 受到许多国家的高度重视, 纷纷投入人

力和物力大力进行开发。由于机械耦合误差和电子耦合误差是影响机械振动陀螺精度的重要因素, 因此本文提出的改善陀螺仪的结构设计, 可以有效地减小耦合误差, 提高精度。现以微机械梳状驱动陀螺为例进行讨论。

1 微机械梳状驱动陀螺的工作原理

简单结构的没有隔离耦合的梳状驱动平板式振动陀螺如图 1 所示。带有梳状电极的长方体多晶硅

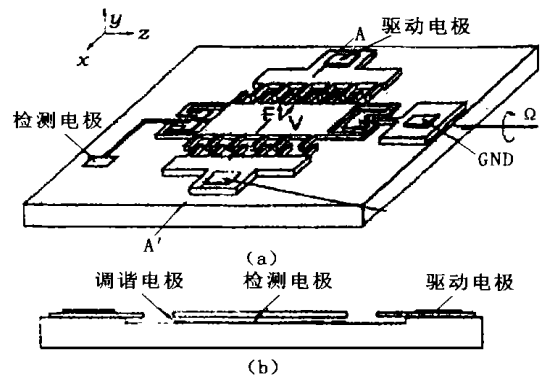


图 1 微机械梳状驱动陀螺

平板通过挠性支臂与单晶硅底座相连, 并被支悬在底座上方, 在固定的梳状电极上施加带有直流偏置, 相位相差 180° 的交流电压时, 将产生沿驱动轴交变的静电驱动力, 从而引起平板沿驱动轴作交变线振动, 当壳体绕输入轴以角速度 Ω 相对惯性空间转动时, 将形成沿输出轴交变的哥氏惯性力, 由此引起平板沿输出轴作线振动, 且振幅与输入角速度 Ω 成正比, 此振幅可由平板与底座之间电容的变化检测。

2 微机械梳状驱动陀螺的机械耦合误差和悬浮效应

微机械梳状驱动陀螺的误差源, 主要有微机械结构的 Brownian 噪声、电路噪声、机械耦合误差及

收稿日期 2001-06-27

《机械与电子》2001(6)

电子机械耦合误差等,这里仅讨论与隔离耦合结构设计有关的机械耦合误差及电子机械耦合误差中的悬浮效应。

2.1 机械耦合误差

由制造工艺的不完善引起的质量不对称(如大小、质量等)、梁的弹性不平衡、阻尼不对称等都能造成机械耦合误差。这里仅分析由质量的不对称造成的正交误差。假设陀螺在平面的振动(沿x轴方向)方程为:

$$x(t) = x_0 \sin \omega t$$

当陀螺敏感到绕z轴的输入角速度 Ω 时产生的哥氏加速度为:

$$y_c^{\circ\circ} = 2\Omega \dot{x}(t) = 2\Omega x_0 \omega \cos \omega t \quad (1)$$

与常规的陀螺一样,由于加工工艺的欠缺,质心不与驱动轴重合,意味着驱动振动在输出轴方向产生一个分量 δ ,说明即使没有输入角速度 Ω ,也会有输出信号产生,这就是机械耦合误差。设该误差信号在输出轴上产生的加速度为:

$$y_q^{\circ\circ} = \delta x_0 \omega^2 \sin \omega t \quad (2)$$

注意误差式(2)与哥氏加速度式(1)的相似之处:都是振动频率为中心的正弦信号。但哥氏加速度与驱动信号同相,而这种由质量的不平衡引起的误差与驱动信号的相位差为 90° ;因此该误差被称为正交误差。

哥氏加速度与正交误差的幅值之比为:

$$\frac{y_c^{\circ\circ}}{y_q^{\circ\circ}} = \frac{\omega \Omega}{\delta \omega}$$

通常正交误差是远远大于哥氏加速度的。可见此结构对制造工艺和解调电路提出了苛刻的要求。

2.2 悬浮效应

由梳状叉指的特殊结构引起的电场分布不对称而产生的电子机械耦合误差,称为悬浮效应。这里有两种情况:

a 微结构的静电驱动。要求在其下有一个接地平面,用于屏蔽相当大的垂直场,以避免结构被吸至衬底和结构的运动不稳定。接地平面产生不平衡的静电场分布,如图2a所示,导致方向向上的力作用于运动叉指上,结构向上运动。

b 当振动质量受到哥氏惯性力作用引起振动时,固定叉指和运动叉指会互相错开,如图2b所示,使得它们之间的电场分布不对称,从而产生向上或向下的力。

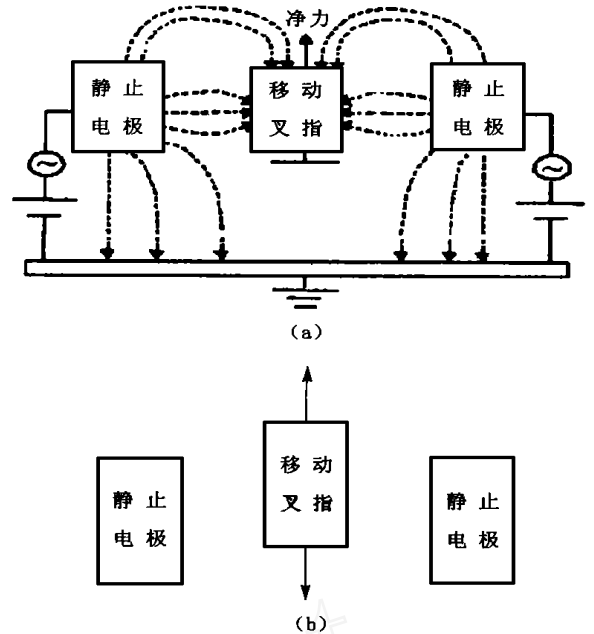


图2 悬浮效应

3 隔离耦合的微机械振动陀螺的结构设计

上节所分析的机械耦合误差和悬浮效应可以通过改变结构设计来减少输出误差。

3.1 隔离耦合的原理

没有隔离耦合的简单力学模型如图3a所示。由

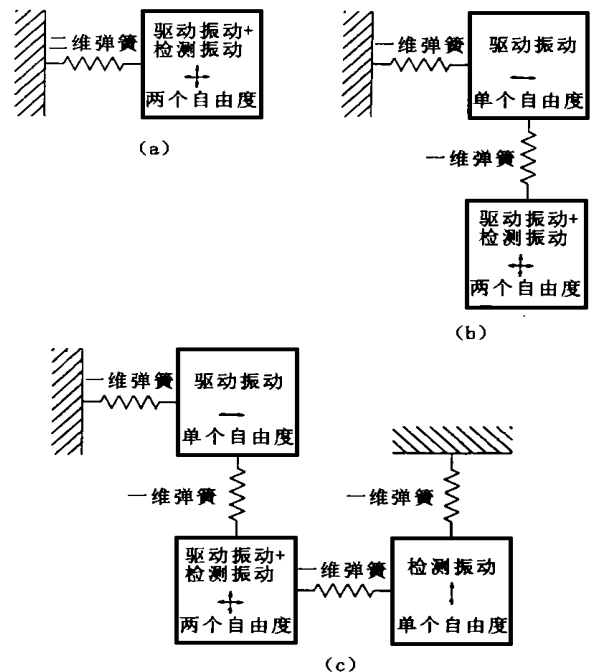


图3 力学模型

1条二维弹簧和1个检测质量组成,这个检测质量具有驱动振动和检测振动两个自由度。单级隔离耦

《机械与电子》2001(6)

合的简单力学模型如图 3b 所示,其中有 2 条一维弹簧,第 1 条弹簧限制了驱动部分只能沿一个方向振动,第 2 条弹簧限制了检测质量相对于驱动部分只有一个方向的振动. 双级隔离耦合的简单力学模型如图 3c 所示,由 3 条一维弹簧和 3 块可动质量组成,这种方法对于驱动振动和检测振动都是一维的.

3.2 单级隔离耦合结构设计

单级隔离耦合梳状驱动平板式振动陀螺的结构如图 4 所示. 其特点是驱动部分和检测部分有各自

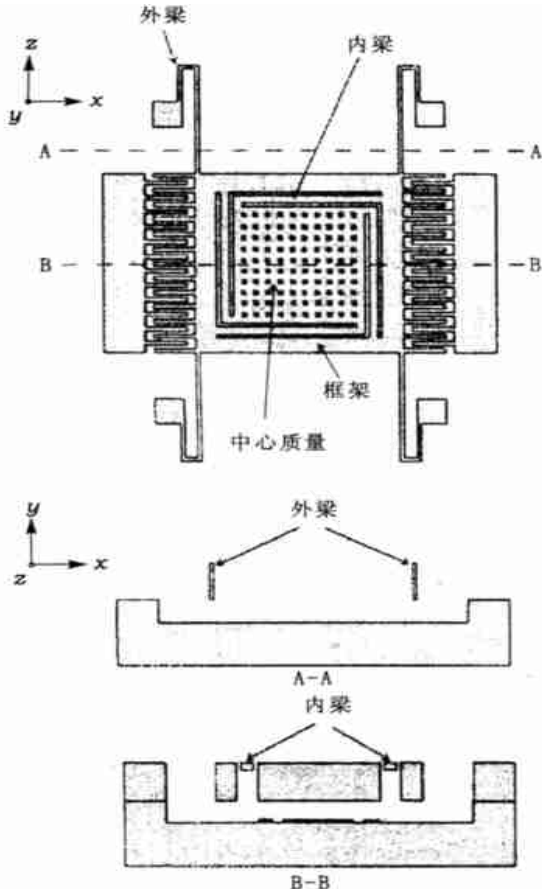


图 4 单级隔离耦合的结构

独立的梁,振动质量通过 4 条梁(内梁)支撑与支悬在底座上方的框架连接,其它结构与没有隔离耦合的梳状驱动平板式振动陀螺一样,陀螺仪工作时,对于驱动振动形式,外梁沿着 x 方向弯曲,而内梁不会产生变形,对于检测的振动形式,内梁沿着 y 方向弯曲,而外梁不会产生变形,表明外梁和内梁各自对 y 和 x 方向有很好的刚度,它们在两种振动形式中有各自的独立性. 由于驱动振动形式对检测部分的梁没有影响,所以它们之间的机械耦合就很弱.

3.3 双级隔离耦合的结构设计

经过对单级隔离耦合的梳状驱动平板式振动陀

《机械与电子》2001(6)

螺的分析可以看出,检测模态的质量运动有两个自由度,这样固联在振动质量的检测电极反映了两个方向的运动,从而存在着另一个误差源. 为了解决这个问题,可采用双级隔离耦合,其结构如图 5 所示.

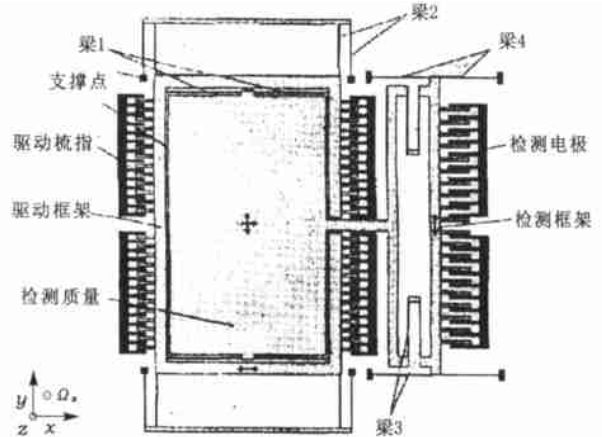


图 5 双级隔离耦合的结构

当陀螺仪工作时,振动质量一方面随驱动力的交变沿着 x 方向振动,另一方面在哥氏惯性力作用下沿着 y 方向振动,而右边检测部分单独支悬在底座上通过梁 3 和梁 4 与振动质量相连,使得检测部分只有沿着 y 方向的振动,隔离了 x 方向的振动.

4 结束语

采用隔离耦合的设计,可以降低制造误差使结构不对称引起的耦合,还可以降低检测模态的振动影响梳状驱动电极间的电场对称所引起的“悬浮效应”,这样就可以大幅度提高陀螺仪的精度.

参考文献:

- [1] 阮爱武 硅微机械陀螺仪的新进展及其方案分析[J] 中国惯性技术学报,1998,2:67-72
- [2] 李万玉,阮爱武 微机械梳状驱动音叉陀螺的误差源研究[J] 航空学报,1999,9:426-429
- [3] Yoichi Mochida, Masaya Tamura A Micromachined Vibrating Rate Gyroscope with Independent Beam for the Drive and Detection Modes[J] Sensors and Actuators, 2000, 80:170-178
- [4] Kawai H, Atsuchi K, Tamura M. High-Resolution Microgyroscope Using Vibratory Motion Adjustment Technology[J] Sensors and Actuators A, 2001, 90:153-159

作者简介 李文望 (1966-),男,福建省永春县人,讲师,硕士研究生,主要从事 MEMS 研究和机械 CAD/CAM 教学.