

硅微机械谐振式陀螺仪的技术研究

盛 平, 王寿荣, 许宜申

(东南大学 仪器科学与工程系, 江苏 南京 210096)

摘要:介绍了硅微机械谐振式陀螺仪的工作原理,设计了一种新型微机械谐振式陀螺,并用有限元方法进行了仿真,制造了一批样机,进行了初步的驱动特性实验。结果表明,该微机械谐振陀螺仪实际驱动模态的谐振频率与仿真值的最大误差小于 6%,满足设计要求。

关键词:陀螺;频率输出;双端音叉谐振器

中图分类号: TN710 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 8829 (2006) 10 - 0010 - 03

Research on Silicon Micromechanical Resonant Gyroscope

SHENG Ping, WANG Shou-rong, XU Yi-shen

(Department of Instrument Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The operating principle of a silicon micromechanical resonant gyroscope is introduced. A micromechanical resonant gyroscope has been designed, simulated and preliminarily tested. The drive characteristics of the gyroscope at atmospheric pressure are tested and the results indicated that the maximum error between the practical resonant frequencies and the simulative ones is within 6% meeting the design requirements.

Key words: gyroscope; frequency output; double-ended tuning fork resonator

由于电容检测具有温漂小、灵敏度高、可靠性好等优点,目前微机械陀螺仪多采用该种检测方式^[1]。但随着硅微惯性器件结构尺寸的不断缩小,使得检测输出信号的信噪比非常低。2002年,加利福尼亚大学伯克利分校的 A. A. Seshia 等人提出了硅微机械谐振式陀螺仪的设想并制作了原理样机^[2]。硅微机械谐振式陀螺仪的输出是频率信号,不易受到环境噪声的干扰,且在传输和处理的过程不易产生误差,易与数字电路接口。随着测频技术和数字信号处理电路的发展,谐振式陀螺仪的输出信号更便于信号的处理,有着良好发展前景^[3-5]。

1 微机械谐振陀螺仪的工作原理

微机械谐振式陀螺仪的结构主要分成 3 大块:陀螺质量块、杠杆传递部分和谐振器。其中,陀螺质量块用于敏感输入角速度,杠杆传递部分是用来放大哥氏 (Coriolis) 力,谐振器主要是把陀螺质量块输出给它的轴向哥氏力转化成相应的频率输出^[2]。本设计的微机械谐振式陀螺仪将输入角速率产生的哥氏力的变化

转换成谐振器谐振频率的变化,有效地避免了电容检测中的噪声干扰。微机械谐振式陀螺仪的结构示意图,如图 1 所示。

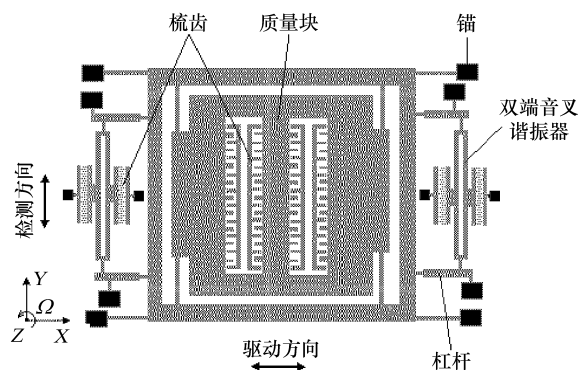


图 1 谐振式陀螺仪结构简图

2 结构形式和仿真

微机械谐振式陀螺仪的质量块与谐振器是通过杠杆机械结构传递哥氏力的,驱动部分和检测部分的运动都是一维的,且陀螺质量块驱动电路和谐振器的驱动电路是相互独立的,这样有效地隔离两部分驱动电路之间的相互干扰,并且在设计时可以分别独立设计。

2.1 陀螺质量块的结构形式及仿真结果

微机械谐振式陀螺中的陀螺质量块结构简图,

收稿日期: 2006 - 03 - 01

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2002AA812038)

作者简介: 盛平 (1977—), 男, 安徽桐城人, 博士研究生, 研究方向为微型仪表及微系统技术。

如图 2所示。采用内框架梳齿驱动,有驱动动齿、驱动静齿、检测动齿、检测静齿、内框架质量块、外框架质量块、内外框架支承梁以及基座组成^[1]。

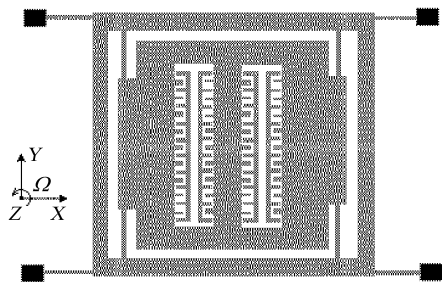


图 2 陀螺质量块的结构简图

在设计质量块的结构时,要尽量使各种干扰模式的固有频率比所需要的模式频率高,来抑制干扰振动模式。在本陀螺中通过设计使内框架沿 X 轴方向的振动为第一模式,外框架沿 Y 轴方向的振动为第二模式。用 ANSYS有限元分析软件仿真得到质量块的前 6 个模式的振型,如图 3所示。

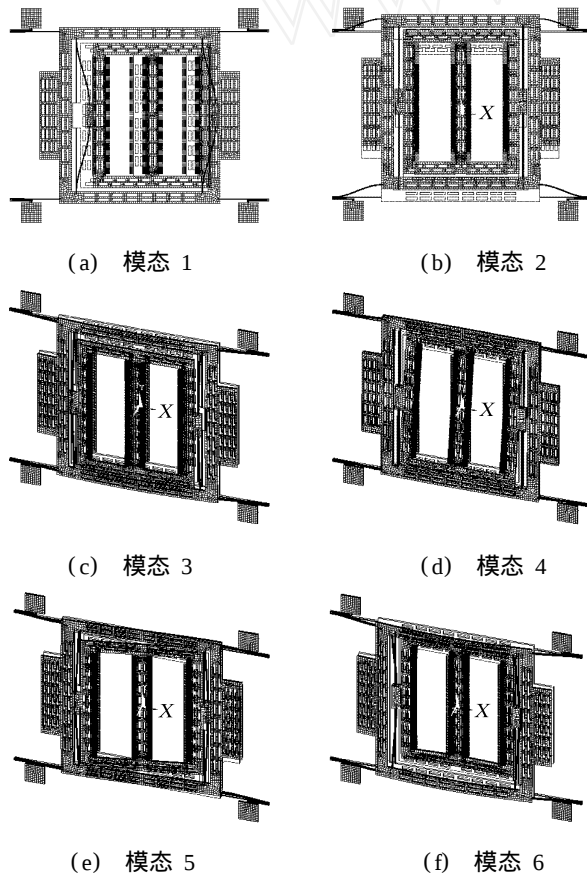


图 3 质量块前 6 个振动模式

图 3中模式 1为驱动模式;模式 2为检测模式;模式 3为内框架沿 Z 轴方向的运动;模式 4为内框绕 X 轴的摆动;模式 5为内框绕 Y 轴的摆动;模式 6为内、外框沿 Z 轴方向作反向运动。

前 6 个模式的固有频率,如表 1所示。

2 2 双端音叉谐振器的结构形式以及仿真

表 1 陀螺质量块前 6 个固有振动频率

模态数	1	2	3	4	5	6
频率 /Hz	10 184	10 325	11 503	18 003	23 444	29 624

双端音叉 (DETF; double-ended tuning fork)谐振器的结构简图,如图 4所示。DETF谐振器由一个可以往返运动的两侧带有梳指的质量块用直梁悬挂在基底上,其 A 、 B 两端采用适当的方法固定在基平面上。

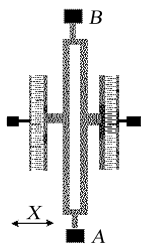


图 4 DETF的结构简图

设计中主要关心的是驱动模式,要让它成为主要模式,同时要防止有其他模式频率为驱动模式固有频率的 2 倍,避免与检测信号混淆,或引起不必要的其他模式运动。

图 5显示了用 ANSYS Block Lanczos算法仿真得到的谐振器的前 6 个基本振动模式。其中,模式 1 为同向模式;模式 2 为所需要的对称模式 (驱动模式);模式 3 为沿 Z 轴的振动模式;模式 4 为绕中心摆动的模式;模式 5 为绕中心对称摆动的模式;模式 6 为沿 Z 轴的反相摆动模式。

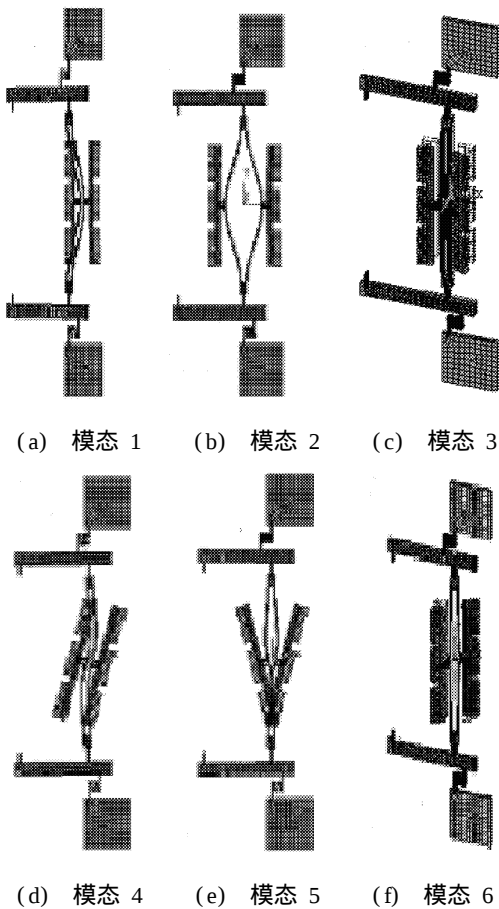


图 5 DETF谐振器的前 6 个基本振动模式

前 6 个模式的固有频率,如表 2 所示。

表 2 DETF 谐振器前 6 个固有振动频率

模式数	1	2	3	4	5	6
频率 /Hz	42 557	45 592	46 692	50 244	56 960	74 823

3 驱动测试及结果分析

图 6 为微机械谐振式陀螺仪的 SEM (scanning electron microscope) 照片。

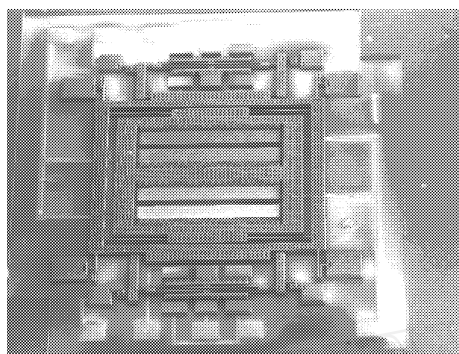


图 6 谐振式陀螺仪 SEM 照片

样品制造出来以后,对其进行了空气中驱动特性的测试。采用开环驱动方式,通过扫频方式来确定微机械谐振陀螺仪驱动模式的谐振频率,用频谱分析仪 (CF-920) 观察数据并加以记录。陀螺质量块和 DETF 谐振器的驱动特性曲线分别如图 7 和图 8 所示。测试数据表明,陀螺质量块的实际谐振频率为 9.625 kHz,取 3 dB 带宽, Q 值为 152.8, DETF 谐振器的实际谐振频率为 46.715 kHz,取 3 dB 带宽, Q 值为 191.5,频率相对误差小于 6%,满足设计要求。

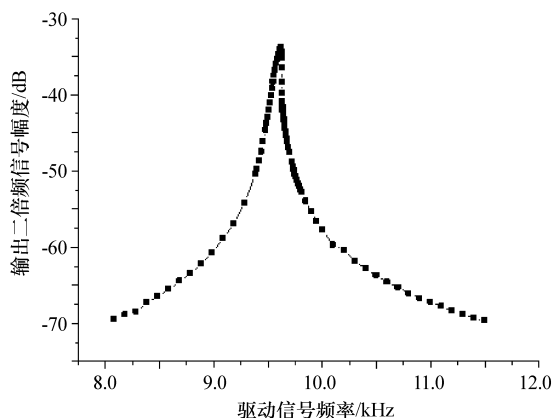


图 7 质量块驱动特性曲线

4 结束语

硅微机械谐振式陀螺仪是近年来发展起来的新型传感器,它输出的是频率信号,易与数字电路接口,便于信号的处理。笔者对硅微谐振式陀螺仪的工作原理进行了描述,运用有限元分析软件 ANSYS 进行了计

算与仿真,驱动测试结果表明,实际值与仿真值的最大误差小于 6%,符合设计要求。

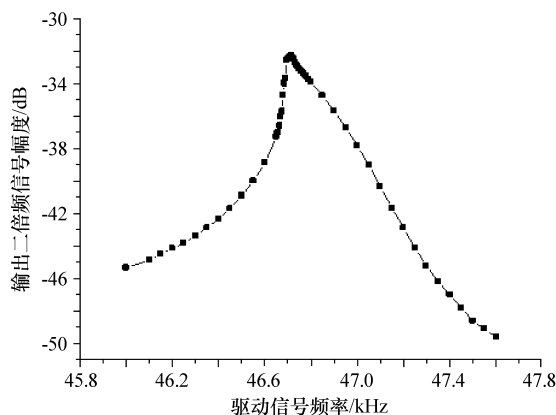


图 8 DETF 谐振器驱动特性曲线

参考文献:

- [1] 王寿荣. 硅微型惯性器件理论及应用 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [2] Seshia A A, Howe R T, Montague S. An integrated micro-electromechanical resonant output gyroscope [A]. 15th IEEE Micro Electromechanical Systems conference [C]. Las Vegas, NV, 2002: 20 - 24.
- [3] Elwenspoek M, Wiegink R. 硅微机械传感器 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003.
- [4] Albrecht T, et al. Frequency modulation detection using high-Q cantilevers for enhanced force microscope sensitivity [J]. Appl Physics, 1991, 69 (2): 15.
- [5] Roessig T A, et al. Surface micromachined resonant accelerometer [A]. Ninth International Conference in Solid State Sensors and Actuators [C]. 1997.

□

吴启迪为首届“西门子杯全国大学生过程控制仿真挑战赛”揭幕

8月23日,教育部副部长吴启迪莅临西门子(中国)有限公司为首届“西门子杯全国大学生过程控制仿真挑战赛”揭幕。

吴启迪副部长在开幕仪式上发表了关于高校理工科教育发展的精彩演讲。何维克先生代表西门子对各位宾客的到来表示欢迎,并介绍了西门子与高校合作的悠久历史,重申了西门子为中国教育事业培养优秀自动化人才的决心。随后吴副部长参观了西门子中国有限公司,并肯定了西门子在培养中国自动化人才方面的成绩,表示希望西门子与广大高校今后可以开展更紧密的合作。参赛选手们接下来参观了西门子工厂自动化工程有限公司,并充分感受到了西门子独特的文化氛围。

此次西门子杯全国大学生过程控制仿真挑战赛从6月8日开始举办,共分3个阶段,历时3个月,是国内过程控制及仿真专业的首次大赛。初赛共有22个大学代表队参赛,经过评审组对参赛队初赛方案的评审,将选出10支优胜队进入决赛。

□