

高精度半球陀螺球面电极刻蚀

谭文跃¹,方 针¹,刘书海¹,余 波¹,李 陟¹,贺海平¹,邱海莲²

(1. 中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060;

2. 云南省机电一体化应用技术重点实验室 云南省先进制造技术研究中心,云南 昆明 650031)

摘 要:半球谐振陀螺球面电极的刻蚀精度直接影响了谐振子驻波的控制准确性,以及在特定方位角读出信号采集的精度。该文采用激光对准的方式实现了半球陀螺超高对称球面电极的刻蚀,克服了传统对准法的低精度缺陷,将控制电极和读出电极的位置偏差角降低 1 个数量级(误差角 $\pm 0.2^\circ$),有效提高了半球谐振陀螺制造精度。

关键词:半球谐振陀螺;电极刻蚀;空间球面球心;激光对准;偏差角

中图分类号: TN305.7;V666.1

文献标识码: A

Spherical Electrode Etching of High Precision Hemispherical Gyroscope

TAN Wenyue¹, FAN Zhen¹, LIU Shuhai¹, YU Bo¹, LI Zhi¹, HE Haiping¹, QIU Hailian²

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

2. Key Lab. of Electromechanical Integration Application Technology of Yunnan, Research Center of Advanced Manufacturing Mechnology of Yunnan, Kunming 650031, China)

Abstract: The etching accuracy of the spherical electrode of the hemispherical resonator gyro (HRG) directly influences the control accuracy of the oscillator standing wave and the accuracy of the readout signal acquisition at a given azimuth angle. In this paper, the laser alignment method is adopted to realize the etching of hemispherical ultra-high symmetrical spherical electrodes, which overcomes the shortcomings of the conventional alignment method. The position deviation angles of the control electrode and the readout electrode are reduced by one orders of magnitude (error angle $\pm 0.2^\circ$), which effectively improves the manufacturing accuracy of the hemispherical resonator gyro.

Key words: hemispherical resonator gyro (HRG); electrode etching; space sphere center; laser alignment; deviation angle

0 引言

半球谐振陀螺(HRG)是一种极具发展前景的新型高精度惯导级振动陀螺,具有寿命长,可靠性高,无磨损及长期稳定性好等特点。在美国,半球陀螺在空间应用的优越性已得到证明。目前由法国SAGEM公司开发的半球陀螺在海、陆、空等商用领域已开始批量应用^[1-3]。

半球谐振陀螺主要技术之一是谐振子驻波的控制技术,要求控制电极与读出电极间的信号幅度和相位很精确,电极的物理位置分布精度直接决定陀螺对谐振子驻波的控制能力^[1]。具有位置偏差或不均匀的电极分布都将增大陀螺对谐振子驻波的控制难度,直接影响半球谐振陀螺的精度,实现电极的精

确刻蚀是提高半球谐振陀螺性能的关键技术之一。

1 半球陀螺电极刻蚀误差

半球谐振陀螺电极均分布于激励罩和基座石英玻璃球面上,采用激光刻蚀金属薄膜来形成。为了实现球面电极的均匀分布和较小的位置偏差,需要在电极刻蚀前确定基准位置,因此,需对准样件空间球面球心和激光中心。

图1为现有对准技术示意图。目前样件空间球面球心-激光中心对准是采用激光穿孔对准法,该方法利用机械加工的手段在半球面直径上加工出1对孔洞,然后利用一束激光同时穿过这2个孔洞实现激光穿过空间球面球心,完成样件空间球面球心同激光中心的对准。

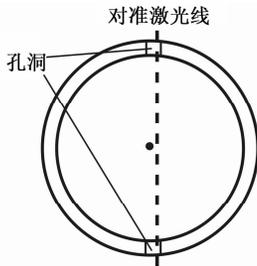


图 1 现有对准技术示意图

但一方面因机械加工存在精度限制,需两孔洞同时处于球面同一直径上较难,另一方面因孔洞存在一定宽度,纵使激光光束同时穿过两孔,也难以保证激光无偏差地穿过空间球面球心(见图 1)。图 2 为对准偏差引起的电极位置偏差角 θ 。对准偏差所引起的偏差角将导致内电极(读出电极)和外电极(控制电极)分布不一致,使本该测量谐振子驻波波节处信号的读出电极无法准确测量,在半球谐振陀螺中将引起较大的系统误差。

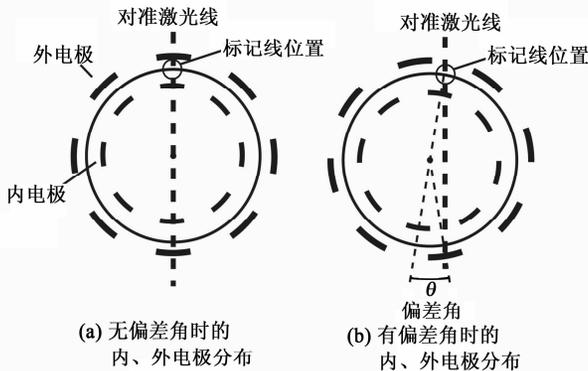


图 2 对准偏差引起的电极位置偏差角

现有对准法难以实现高精度的空间球面球心-激光中心对准,对准偏差较大,如基准直径为 $\varnothing 2\text{ mm}$,通过计算电极位置偏差角 θ 高达 $1.3^\circ \pm 0.4^\circ$,直接影响半球谐振陀螺的精度。

文献[1-4]已提出电极偏差角引起的误差,并在一定程度上可通过优化控制信号等进行补偿,但并未从根本上解决问题。因此,本文作者设计出一种基于激光对准法,其从工艺上解决偏差角问题,并在样品上解决了样品空间球面球心同激光中心的对准问题,可实现超高精度的样品球面球心对准。

2 球面空间球心的超高精度对准

图 3 为半球陀螺球面空间球心的超高精度对准法示意图。利用激光照射球面产生反射激光,通过判断入射激光同反射激光是否重合来实现对半球陀螺仪球面的定位和对准。

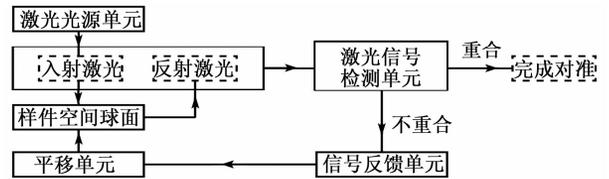


图 3 样品球面空间球心超高精度对准的方式示意图

图 4 为具体实现超高精度球面球心对准的装置示意图。首先由激光器产生一束入射激光照射于样品(此处以半球陀螺仪激励罩为例),该激光为竖直平面扫射,要求能覆盖样品球面及球面边缘部分,其中照射于样品球面的部分激光通过球面反射形成反射激光。由于入射激光照射在样品球面上会显现一条连续线条状激光,该束激光通过样品球面反射将产生一条连续的激光纹路,并显现于样品上。

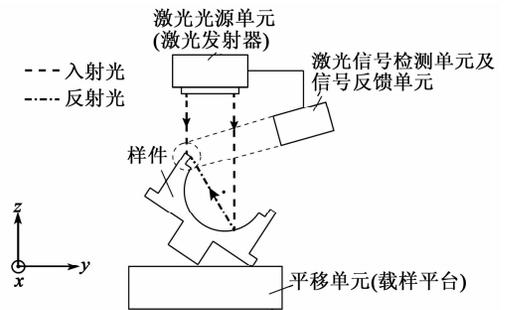


图 4 超高精度球面球心对准的装置示意图(侧面图)

若竖直向下照射的入射激光不通过球面空间球心,即存在偏差角,如图 5(a)所示,在样品边缘处将出现不重合的两条激光条纹,一条为原入射于样品边缘的激光条纹,另一条为经样品球面反射得到的反射条纹。这种由于球面空间球心未对准而引起的入射激光和反射激光条纹不重合,可通过水平移动固定样品的载样平台(图 3 平移单元)来实现重合和对准。通过水平移动载样平台,当入射激光刚好通过样品球面球心时,两条条纹将出现重合,此时即对准成功。图 5(b)的样品位置即为空间球面球心对准后的情况,此时入射激光和反射激光条纹重合。

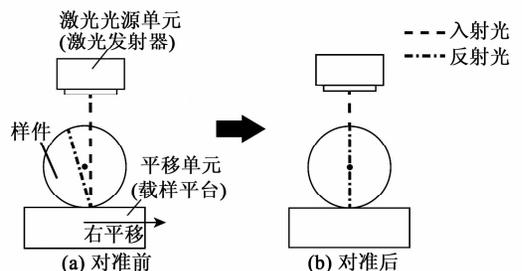


图 5 样品空间球面球心-激光中心的对准过程(正面图)

由于无须依赖机械加工得到的基准孔来进行对准,基于激光入射光和反射光的空间球面球心-激光

中心对准法具有较高的对准精度,可实现小对准偏差和小偏差角,使半球谐振陀螺的控制电极和读出电极不出现大偏差角(见图2),在一定精度范围内改进了陀螺的精度。

图6为试验样件采用不同方法得到的电极偏差角数据分布。传统对准法和激光对准法各采样16件,数据显示,采用激光对准样件球面空间球心的偏差角 θ 可达 $\pm 0.2^\circ$,与传统对准法相比降低了1个数量级。

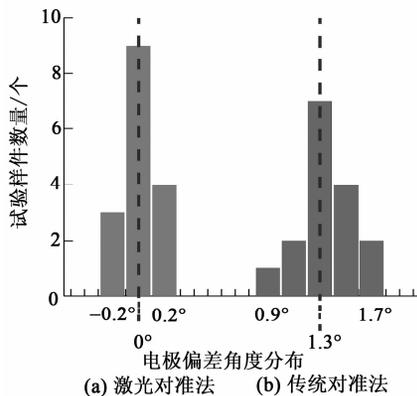


图6 激光对准法与传统对准法的偏差角比较

3 结束语

由于本文引入的空间球面球心对准精度主要取决于激光的可识别度,因此,采用分光镜可进一步提高分辨率。本文采用的激光对准法能有效提高电极刻蚀的对准精度,降低电极刻蚀工序在半球谐振陀螺中引起的系统误差。此外,该方法还有望应用于谐振子精密加工上,实现谐振子球心同机械台的位置对准,降低谐振子偏心磨削冲击,可获得更高性能的半球谐振子。

参考文献:

- [1] МАТВЕЕВ В А, ЛИПАТНИКОВ В И, АЛЕХИН А В. 固体波动陀螺[M]. 杨亚非, 赵辉, 译. 北京:国防工业出版社, 2009.
- [2] 樊尚春. 轴对称壳谐振陀螺[M]. 北京:国防工业出版社, 2013.
- [3] 曹秀云. 国外空间对抗装备技术的发展途径和趋势[J]. 航天电子对抗, 2010, 26(1): 21-25.
- [4] ЛИПАТНИКОВ В Я, МАТВЕЕВ В А. Система съема информации твердотельного волнового гироскопа[J]. Вестник МГТУ им НЭ Баумана, 1997(1): 109-113.

(上接第645页)

ZHAO Minzhi, JI Limin, WAN Chengjun. Technical characteristics and development summarization of native inertial instrument and meter[J]. Sensor World, 2009, 7: 16-19.

- [3] 张巧云, 胡爱民, 林日乐, 等. 石英微机械陀螺的研究进展及应用前景[C]//深圳: 光电惯性技术论文集, 2002: 50-55.
- [4] 林日乐, 张巧云, 谢佳维, 等. 微电子技术在石英微机械振动陀螺中的应用[J]. 中国惯性技术学报, 2004, 12(4): 43-46.
LIN Rile, ZHANG Qiaoyun, XIE Jiawei, et al. Application of micro-electro technology in quartz micromachined gyroscopes[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2004, 12(4): 43-46.
- [5] ROZELLE D M. The hemispherical resonator gyro: from wineglass to the planets (AAS 09-176) [C]// USA: Proceedings of the 19th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, AIAA, 2009.

- [6] 满欣, 谢佳维, 李文蕴, 等. 石英微机械陀螺敏感器件减振设计[J]. 压电与声光, 2014, 36(4): 538-540.
MAN Xin, XIE Jiawei, LI Wenyun, et al. Vibration reduction design of sensing device of quartz micromachined gyroscope [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2014, 36(4): 538-540.
- [7] 吴黎明, 杨军, 王登顺. 振梁加速度计结构建模技术研究[C]//北京: 惯性技术发展动态发展方向研讨会文集, 2011: 53-67.
- [8] 王开松, 刘素梅. 基于不同建模方法的 ANSYS 模态分析研究[J]. 煤炭技术, 2009, 28(12): 12-14.
WANG Kaisong, LIU Sumei. Research of ANSYS modal analysis based on different modeling methods [J]. Coal Technology, 2009, 28(12): 12-14.
- [9] 杨军, 吕露, 王凯, 等. 基于 ANSYS 的装配体的模态分析[J]. 汽车技术, 2011(5): 24-26.
YANG Jun, LYU Lu, WANG Kai, et al. The mode analysis of assembly structures based on ANSYS [J]. Automobile Technology, 2011(5): 24-26.