

文章编号: 0253-2239(2006)04-0562-5

激光陀螺新型光路程长控制镜的研制

金世龙 龙兴武 李晓红 袁 杰 赵洪常

(国防科大光电工程系, 长沙 410073)

摘要: 爪盘结构程长控制镜由于其稳定性好等优点,已越来越广泛地应用于激光陀螺的腔长控制,但这种只有程长控制能力的控制镜,对陀螺腔体变形等原因引起的谐振光路变化却是无能为力。通过分析该类腔长控制镜的特点,提出了一种新颖的具有角度控制功能的光路程长控制镜。在原有的控制镜上增加一组角度控制部件,使其不仅有程长控制功能同时还具备了光路控制功能的方法,设计了新的槽片及角度控制元件,研制出了高性能的光路程长控制镜。系统地对控制镜的性能进行了测试。结果表明,它不仅稳定性好(陀螺使用温度范围内最大歪扭变化量小于 $0.3''$),而且灵敏度高(大于 $0.1''/V$)。

关键词: 激光陀螺; 程长控制镜; 光路程长控制镜

中图分类号: V241.5⁺58 文献标识码: A

Research on New Type Control Mirror of Light Path and Optical Path Length for Ring Laser Gyroscope

Jin Shilong Long Xingwu Li Xiaohong Yuan Jie Zhao Hongchang

(Department of Optics and Electronics Engineering, National University of Defence Technology, Changsha 410073)

Abstract: Because of advantages such as high stability, the cavity path length control mirror (PLCM) with a claw-disc-like actuator is widely used in ring laser gyroscope (RLG) to control its cavity length. But it cannot do anything to the change of the light path caused by the deformation of gyro block etc. After analyzing the feature of the PLCM and based on it, a new control mirror with angle control ability that is called path and path length control mirror (PPLCM) is presented. The new control mirror can control not only the optical path length but also the light path with adding a set of angle control components to the PLCM. Novel grooved mirrors and angle control components are designed, and a new PPLCM with high performance is developed. Its property is tested, and the experimental results show that it has high stability (the largest deflection is less than $0.3''$ in the temperature range of ring laser gyroscope) and controlling sensitivity (more than $0.1''/V$).

Key words: ring laser gyro; cavity path length control mirror; path and path length control mirror

1 引 言

随着光电惯性技术的迅猛发展,激光陀螺由于其结构简单、体积小、重量轻、精度又高,且更适用于结构紧凑的捷联惯导系统等多方面的优越性,已大量成功地运用于军事和民用等领域^[1]。但是,在激光陀螺的制造中有两大因素严重影响着性能及成品率。这就是激光陀螺的调腔以及高低温对陀螺的影响。而光路程长控制镜(或称腔长角度控制镜)的引入使这一局面大为改善^[2,3]。

基于片状压电陶瓷驱动式腔长控制镜设计的腔

长角度控制镜或称光路程长控制镜^[2],如图 1 所示。图 1 中标号 1 是槽片,2 是角度控制元件,3 是程长控制元件,粘接胶及压电陶瓷自身的变化容易产生附加的歪扭(这类直接粘接厚实的压电陶瓷的控制镜,在温度变化时,静态歪扭可达 $1''$ 左右)^[4],加重了角度控制元件的负担。爪盘结构程长控制镜由于其稳定性好,附带的歪扭小^[4],已越来越广泛地应用于激光陀螺的腔长控制^[1]。但是由于槽片自身的缺陷以及程长控制过程中作用力方向和作用点的偏差等仍不可避免地带来一定量的歪扭,问题虽然减弱但

仍然存在。另外,这种只有程长控制能力的控制镜对由于谐振腔基体变形等原因引起的谐振光路变化也是无能为力。因此,要彻底解决这些问题,必须加入角度控制功能。

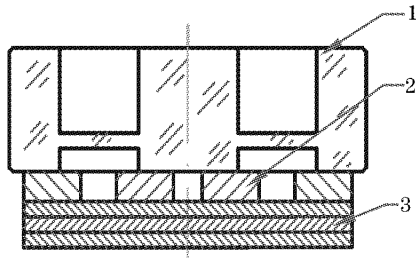


图 1 光路程长控制镜示意图

Fig. 1 Illustration of the optical path length control mirror

2 新型光路程长控制镜(或称腔长角度控制镜)

2.1 新元件的设计

在片状压电陶瓷驱动式腔长角度控制镜中由于有尺寸较厚强度较高的程长控制元件做基础,角度控制元件直接利用自身厚度的变化来改变反射镜的方向(图 1)^[2]。在爪盘结构腔长控制镜(如图 2 所示)中程长控制机构与槽片中心柱采用的是点接触方式,因此前者的角度控制元件在此已不再适用,为了解决抓卡式腔长控制镜所欠缺的角度控制功能,我们对角度控制元件和槽片结构进行了新的设计^[5]。

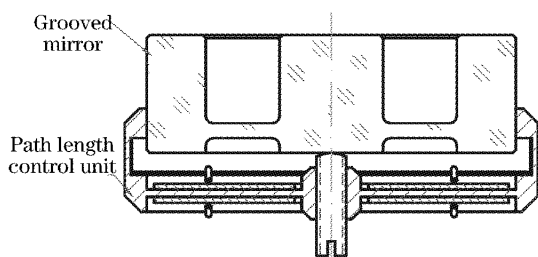


图 2 爪盘结构腔长控制镜示意图

Fig. 2 Illustration of the path length control mirror

2.1.1 角度控制元件

为了控制的方便^[2],采用了四象限布局的压电陶瓷控制结构,并通过控制不同象限压电陶瓷的厚度来达到控制反射镜反射方向的目的。这里仍然沿用四象限布局的思想,但利用的不是压电陶瓷的厚度变化,而是它们的长度变化来实现角度控制,如图 3 所示。它是用一块完整的片状压电陶瓷片上加工而成,呈十字形,四条臂长度和宽度相等,外径与

槽片外环的直径相当,中心有一个直径为 3 mm 的孔,可让程长控制单元的丝杆直接穿过,网格区域的正反面都镀有导电银膜,且四个区域相互绝缘。这样设计首先是很好地解决了爪盘结构程长控制镜不易添加角度控制功能的难题;其次,由于压电陶瓷材料的伸缩变化基本是遵循等体积变化,当其变化时在其几何尺寸大的长度方向上的伸缩量显然要远大于厚度方向上的伸缩量,因此利用其长度方向上的变化有利于控制灵敏度的提高,陶瓷片采用的是薄片结构,且厚度越薄则单位电压下的内部电场强度越大,伸缩灵敏度也就越大,使得最终的控制灵敏度进一步增大。

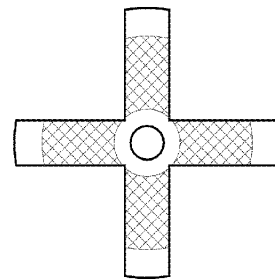


图 3 角度控制元件示意图

Fig. 3 Illustration of angle controller

2.1.2 槽片

与常规的做法一样,槽片是用熔石英玻璃材料或微晶玻璃材料加工而成的具有环槽形薄底结构的反射片,其中外环的上表面为平面光胶面,与外环同轴的中心柱上端面为超光滑凹球面或平面并镀有反射膜,中心柱在外力的作用下较容易发生偏转和轴向平移。但为了配合新结构的角速度控制元件的驱动方式,特意设计了新的槽片结构(如图 4 所示)。

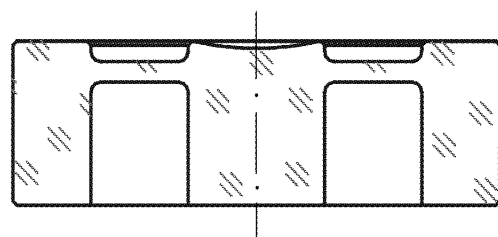


图 4 槽片示意图

Fig. 4 Illustration of the grooved mirror

2.1.3 光路程长控制镜

在该新结构光路程长控制镜中,角度控制元件紧贴槽片的背面并与槽片同心,与槽片相贴的部位由环氧胶粘接。程长控制元件的安装与原程长控制镜的安装完全一样,其中心推拉杆穿过角度控制元件的中心孔直接作用于槽片中心柱(如图 5 所示)。

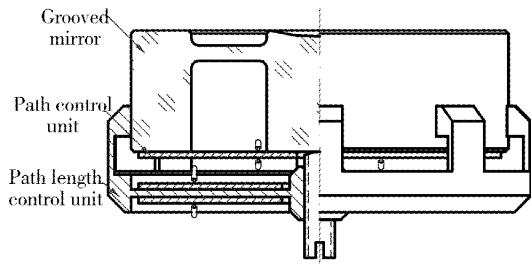


图 5 新型光路程长控制镜示意图

Fig. 5 Illustration of the new optical path length control mirror

2.2 角度调控原理

在该新结构光路程长控制镜中,角度控制元件紧贴槽片的背面并与槽片同心,其与槽片相贴的部位由环氧胶粘接。正常情况下,横跨槽片环槽的角度控制元件的四个臂长相等,槽片中心柱与外环同轴,但在角度控制元件相对的两个臂上加上不同极性的电压时,由于压电陶瓷的逆压电效应,施加有正相电压的一臂缩短,而施加有反相电压的一臂将伸长,从而对槽片中心柱产生推拉作用,使其产生如图 6 所示的偏转,施加的电压不同,则偏转的大小不同。通过控制加载在角度控制元件各臂上的电压,就可控制镜面方向。如果对角度控制元件两两相对的两条臂同时分别加载不同的电压,就能使反射镜片在一个小的立体角内任意偏转,达到通过控制镜面反射方向来实现控制激光陀螺谐振光路的目的。

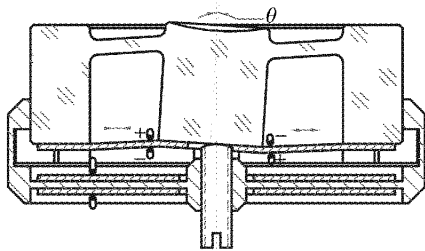


图 6 角度调控示意图

Fig. 6 Illustration of the principle of the angle control

3 性能测试

3.1 静态歪扭

槽片本身性能的主要指标是它的灵敏度和稳定性。由于本新结构槽片的薄底尺寸与老结构一样,因此它们的灵敏度完全一样,关键是看它的稳定性如何。为此在 PSMS-1 型槽片歪扭检测仪上对其进行了测试。图 7 是该新型槽片在 x 方向的静态歪扭测试曲线(y 方向与之相当)。测试采用的是变温测量,从室温到负 40 多度,最大歪扭变化量即歪扭的

峰-峰值为 $0.17''$,稳定性相当好。这说明新结构槽片本身性能不错。

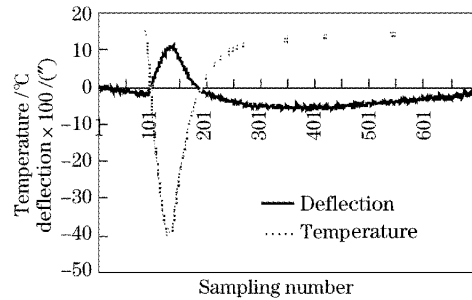


图 7 槽片的静态歪扭测试曲线

Fig. 7 Deflection curve of the grooved mirror in static state

在粘上控制元件后再次对槽片的静态歪扭进行了测试。图 8 是其在 x 方向的静态歪扭测试曲线。在同样的温度变化范围下最大歪扭变化量为 $0.29''$,同没粘控制元件时的槽片自身的静态歪扭相比,歪扭变化量有所增加,但并不很大,尤其是与直接粘接厚实的压电陶瓷的控制镜相比静态歪扭明显减小,稳定性大大提高。

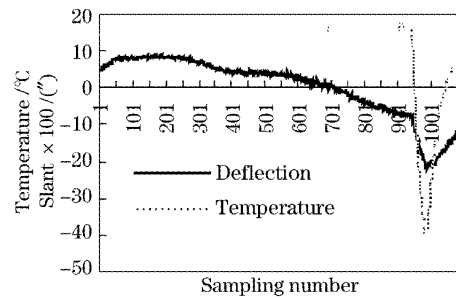


图 8 有角度控制元件的槽片静态歪扭曲线

Fig. 8 Deflection curve of the grooved mirror with angle control unit in static state

3.2 角度调节本领

能进行角度控制是本控制镜区别于传统腔长控制镜的主要特点。下面是对其控制灵敏度方面做的一些测试。由于结构的对称性,并且实验中让两对角度控制臂分别沿检测仪器的 x, y 方向,这样只须给出某一方向的检测结果就可以反映出其性能了。

图 9 所示是在角度控制单元上施加控制电压最简单的一种连线方式。图中所示的是控制单元中某一方向(比如 x 方向)的一组(两个)控制臂的截面,

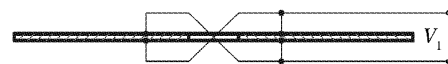


图 9 控制臂加压连线图

Fig. 9 One way to supply electric voltage to PZT

通过导线将两臂的上下表面银膜交叉相连,这样当在其中一臂上加载电压 V 时,则在相对的另一臂上加载了电压 $-V$,两臂就会分别一伸一缩,使镜面发生偏转。图 10 是测试时在 x 方向施加不同电压的测试点及其过程,图 11 是相应的与加压过程有关的角度偏转-电压的关系曲线。

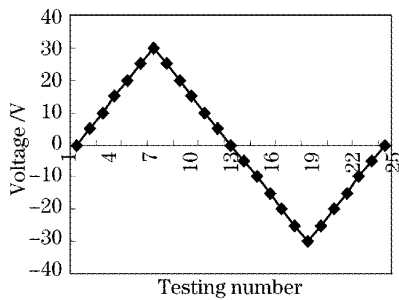


图 10 加压过程图

Fig. 10 Process of electric voltage applied

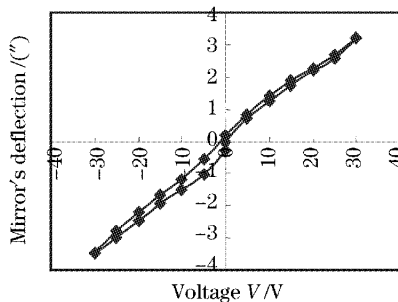


图 11 角度偏转与电压关系曲线

Fig. 11 Relationship between the angle deflection and electric voltage

从图 11 可看出尽管角度偏转与电压之间并不是严格的线性关系且与加压过程有关,但差异并不大,对以闭环方式进行光路控制的系统并无太大影响(这方面的内容将在另一篇文章中详细介绍)^[3],且控制灵敏度较高,平均值达 $0.111''/V$,比文献[2]的提高了一个数量级。

在图 9 的加压方式中,相对于压电陶瓷的极化方向来说,在其中一个控制臂上施加正向电压,则在相对的另一臂上施加反向电压。对于这种方式虽然在低压情况下并无太大问题,但在电压较高时,加反向电压的压电陶瓷就有被反向极化的可能,危害控制元件的可靠性。为消除这一危险,又按图 12 连线,并做了相应的灵敏度测试。图 12 中,压电陶瓷



图 12 控制臂加电压连线图

Fig. 12 Another way to apply electric voltage to PZT

的负极统一接地,各控制臂的正极都加正电压,只是电压大小可能不一样。图 13 是测试时在 X 方向施加不同电压的测试点及其过程,图 14 是相应的与加压过程有关的角度偏转-电压的关系曲线。平均灵敏度为 $0.063''/V$ 。此时灵敏度似乎降低了,大约只有按图 9 方式加电压时的一半,但其实并不真是这样,根本原因是两种方式中对电压的计入方式不一样,若将前一方式象后一种方式中电压值是取两控制臂上的压差,或者后一方式中电压取某一臂上的电压相对于两臂的平均偏压值(实验中为 $25 V$),则两种方式的控制灵敏度相差不多。

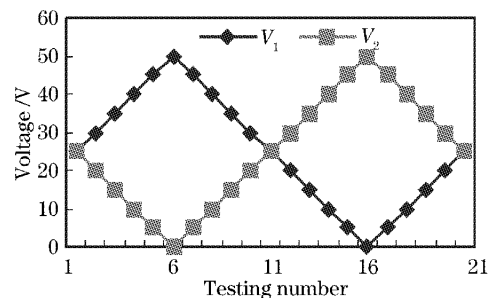


图 13 加压过程图

Fig. 13 Process of electric voltage applied

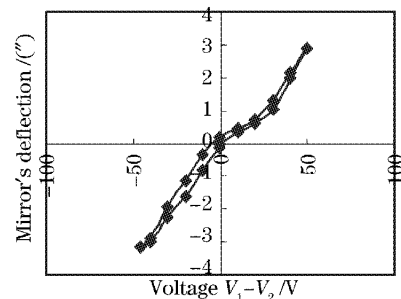


图 14 角度偏转与电压关系曲线

Fig. 14 Relationship between the angle deflection and electric voltage

4 结 论

提出的新型控制镜改善了传统的爪盘结构程长控制镜不仅具备原有的程长控制功能还增加了光路控制功能,不仅稳定性好而且角度控制灵敏度高,不需高电压就能在精密调腔、修正因腔体变形、基片变形以及压电陶瓷带来的附加歪扭(这些基本都在 $2''$ 以内)所造成的光路偏离最佳位置等,在应用中良好地发挥了作用。

参 考 文 献

- 1 Yang Peigeng, Gong Zhibing. *Optical and Electrical Inertial Techniques* [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1999 (in Chinese)

- 杨培根, 龚志兵. 光电惯性技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1999
- 2 Jin Shilong, Long Xingwu, Zhang Bing *et al.*. Research of the cavity adjustment technology for orthogonal triaxial RLGs[J]. *Optical Technique*, 2005, **31**(4): 525~529 (in Chinese)
- 金世龙, 龙兴武, 张斌等. 空间正交三轴激光陀螺的调控技术[J]. 光学技术, 2005, **31**(4): 525~529
- 3 Jin Shilong, Long Xingwu, Wang Fei *et al.*. Research of the technology for the ring laser gyro to overcome the environmental temperature changing[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3) (in Chinese)
- 金世龙, 龙兴武, 王飞等. 激光陀螺克服高、低温冲击的技术研究[J]. 光学学报, 2006, **26**(3):
- 4 Yuan Jie. *Research on the Slant Measuring System for the Cavity Translationgal Mirror Used by Laser Gyros* [D]. Ph. D. dissertation, Changsha: National University of Defence Technology, 2003 (in Chinese)
- 袁杰. 激光陀螺腔平移镜变温歪扭测量系统的研究[D]. [博士学位论文], 长沙: 国防科学技术大学, 2003
- 5 Jin Shilong. The Light Path and the Path Length Control Mirror of Ring Laser Gyro[P]. Chinese Pat. No. 200410046907. 8, 2004 (in Chinese)
- 金世龙. 激光陀螺光路及程长控制镜[P]. 中国专利号: No. 200410046907. 8, 2004

第十一届全国光学测试学术交流会

(第一轮征文通知)

受中国光学学会委托, 由中国电子科技集团第 41 所与烟台大学共同承办, 中国光学学会光学测试专业委员会定于 2006 年 8 月份在青岛召开第十一届全国光学测试学术交流会。本届年会特邀院士与国内著名专家作大会报告, 欢迎全国从事光学及光电测试及其相关领域的科技人员参加, 交流学术研究、技术开发的新进展, 研讨新动态、新领域。同时欢迎企事业单位、公司到会展示技术成果, 洽谈产、学、研合作。

一、征文内容

- 1) 光学元件、系统、光电仪器的性能参数测试;
- 2) 光学材料(玻璃、晶体、光学塑料)、光学薄膜特性参数测试;
- 3) 红外光学、热像仪、微光夜视器件与系统参数测试;
- 4) 激光束参量与激光技术的相关测试技术方法;
- 5) 兵器光学中的光学与光电测试, 光电仪器的试验及相关测试技术;
- 6) 微小尺寸的光学测试技术;
- 7) 生物光子学中的测试技术;
- 8) 非光学量的光学测试技术;
- 9) 干涉计量测试技术及仪器;
- 10) 发光器件的参数计量测试技术及仪器;
- 11) 微光学、集成光学与光波导器件的测试技术及仪器;
- 12) 空间光学、海洋光学和遥感中光学计量测试技术及仪器;
- 13) 光纤及其器件参数计量测试与仪器、传感器的研发;
- 14) 光电探测器及 CCD 等阵列器件、红外焦平面器件参数测试及其在光学测试中应用;
- 15) 光学系统成像质量评价, 测量不确定度及在光学计量测试中应用;
- 16) 光度、色度、光谱光度与辐射度测试技术, 计量标准建立及传递;
- 17) 光学仪器总体评价及实验室的环境测试及可靠性分析;
- 18) 光学测试技术为国防及国民经济服务方向的研讨;
- 19) 现代光学与光电测试仪器现状与发展动向。

二、征文要求

- 1) 论文详细摘要, 内容包括题目、姓名、单位、通讯地址、邮编。文中可含一定的图、表。
- 2) 详细摘要用 Word2000 或 Word XP 排版, 一式两份, 并通过电子邮件提交电子版一份。
- 3) 征文截稿日期: 2006 年 6 月 20 日(以寄方邮戳为准)。
- 4) 论文录用与发表: 论文详细摘要在 2006 年 7 月中旬经专家审稿录用后, 即发会议正式通知, 并将优秀论文推荐在《应用光学》上发表。
- 5) 来稿请寄: 南京理工大学电光学院 431 教研室, 地址: 南京市孝陵卫 200 号, 邮编: 210094。来稿请在信封上注明: 年会征文。
- 6) 联系人: 高志山 沈华 Tel: 025-84315427, 84315433, 84317569
E-mail: Edward_bayun@163.com

三、关于产品介绍与展销

欢迎企事业单位、公司在论文集上刊登广告。会议期间将举办产品展销、信息发布和产品介绍、交流业务, 请尽早来函联系。截止日期: 2006 年 7 月 1 日(以寄方邮戳为准)。