

文章编号 1004-924X(2006)01-0022-04

四频差动激光陀螺法拉第旋光片的加工

金世龙, 李晓红, 杨开勇, 刘贱平

(国防科技大学 光电工程系, 湖南 长沙 410073)

摘要:根据四频差动激光陀螺对法拉第旋光片的两个通光面都必须是超光滑表面且有一定夹角的使用要求, 针对传统工艺必须采用光胶上盘法所带来的不利因素, 提出了一种新的工艺。通过将数百个法拉第旋光片毛坯作为一个整体粘胶上盘并进行加工的方法, 不仅使法拉第旋光片两通光面之间的夹角得到了很好的保证, 而且还避免了光胶上盘对通光表面可能造成的损伤, 最后使旋光片的两个通光面的表面质量同时得到了保证, 从而使产品合格率大大提高(一盘数百个零件, 两个通光表面的表面粗糙度同时优于 $0.08 \text{ nm}(\text{rms 值})$ 的合格率有时可达 80% 以上), 解决了四频激光陀螺批量化生产中的一大制约因素。

关键词:四频激光陀螺; 法拉第旋光片; 超光滑表面

中图分类号: V241.558 **文献标识码:** A

Arts of Faraday effect element of the four mode RLG

JIN Shi-long, LI Xiao-hong, YANG Kai-yong, LIU Jian-ping

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

Abstract: According to the demand on the four mode ring laser gyro, the two optical surfaces in a Faraday effect element must be ultra-smooth surface, and must has a little wedge in each other. Contraposing the shortcoming of optical contact method in traditional art, a new method was introduced in which hundreds of rough elements were conglutinated together to be fabricated as one component. Not only is the wedge between two optical surfaces achieved, but also is the possibility to damage the first surface avoided. Finally, the finished products with fine quality, whose surface roughness is less than $0.08 \text{ nm}(\text{rms})$, are obtained in high proportion.

Key words: four mode ring laser gyro; Faraday effect element; ultra-smooth surface

1 引言

激光陀螺由于其结构简单、性能稳定、动态范围宽等诸多优点, 使它特别适合于捷联惯导系统,

现已广泛应用于航空、航天、航海、兵器等领域^[1]。其中的四频差动式激光陀螺, 由于在原理上的先进性, 即非常好地解决了激光陀螺中存在的闭锁及偏频不稳引入的误差, 且没有象机械抖动式激光陀螺自身必须来回运动, 因此从激光陀螺研究

的初期就倍受研究人员的关注。利用法拉第效应提供偏频是四频差动陀螺最常用的方法之一,它不仅简单,且容易获得较大的偏频量。但是,由于法拉第旋光器件(即法拉第旋光片)是直接插入腔内的,其端面会引起有害的腔内反射和后向散射,使激光腔的损耗增加^[2],这就对旋光元件的加工品质提出了很高的要求。正是诸如此类技术和工艺上的高难度,使得这种原理上优秀的激光陀螺品种在国际上发展缓慢。我国在四频差动激光陀螺的研制中一直坚持不懈,最终取得了成功,使其成为我国目前具有完全自主知识产权并能够批量化生产的激光陀螺品种之一,其根本原因就是我們不但很好地解决了相关的理论问题,而且也很好解决了如法拉第旋光片等器件的高品质批量化加工问题。

2 法拉第旋光片

如前所述,法拉第旋光片是四频差动激光陀螺中的一个重要功能性光学元件,通过它在磁场内产生的法拉第磁致旋光效应而为陀螺腔体内的左右旋陀螺分别提供光学偏频。通常旋光材料在磁场内由于法拉第磁光效应而产生频裂,其频裂大小为^[3]

$$\Delta V = \frac{c}{\pi L} V H l$$

其中 L 为环腔的光程长, V 是旋光材料的 Verdet 常数, H 是磁场强度, l 是旋光元件的厚度,而这一频裂的大小也就决定了四频差动激光陀螺的偏频量,这一偏频量根据陀螺的应用要求而定。通常在磁场强度和旋光材料确定后,偏频量一般是通过选取其长度来调整的,该值只要大于实际应用的角速度并留有一定的量即可,因此实际上对其长度要求并不严。

另外,为了避免光在法拉第旋光片两通光表面反射光的干涉叠加,这两个表面不能是平行的,而是有一定的夹角(如图 1 所示),大约 $6'$ 左右,同样的对这一角度的大小要求并不严(一般允许有 $1 \sim 2'$ 的偏差)。但是,由于该片对激光的折射效应,这一楔角会有一定的折光作用,对光路产生一定的影响(如图 1 所示),显然,楔角不同,折光效果也不一样。为了便于陀螺的装配,尽管在原理上对角度的大小要求不严,但从陀螺装配的工艺

要求上(尤其是批量化生产),则希望法拉第旋光片的楔角大小一致(误差要求在 $30''$ 以内),这对于直径只有 4 mm 的腔片来说,过去通常只能采用光胶(或浮胶)上盘的方法加工第二个面才能保证这一精度^[4]。然而,法拉第旋光片的这两个表面都是通光面,为了减小损耗,要求这两个面都必须超光滑光学表面(之后还必须镀减反膜)。然而,如果采用光胶上盘的方法加工第二表面,则由于加工零件和工具板是硬碰硬的直接接触,在上盘和下盘的操作过程中很容易对加工合格的第一表面造成损伤(图 2 是光胶操作不当时产生的表面划伤),极大地影响了零件加工的质量及成品率,严重阻碍了四频差动激光陀螺的批量化生产。因此,解决这一问题已刻不容缓。

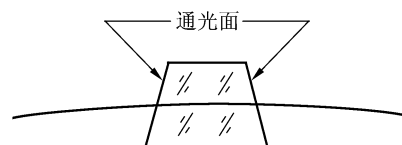


图 1 法拉第旋光片示意图

Fig. 1 Illustration of the Faraday effect element

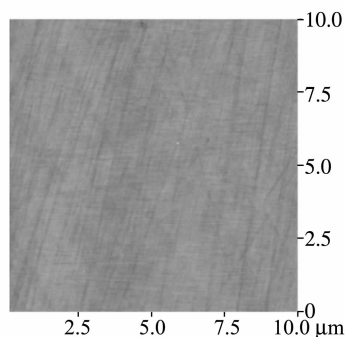


图 2 光胶表面的擦痕

Fig. 2 Scrapes on the surface

3 分析

为了减小法拉第旋光片端面的散射,要求其表面粗糙度尽量低。目前能完成超光滑表面加工的方法虽然不少^[5~8],但都没有涉及到两个面都必须超光滑表面且有较高的角度关系要求。对于象法拉第旋光片这样的外形尺寸以及两个通光面都必须超光滑表面的要求,同时加工两个表面难度很大,因此只好分别加工两个通光面,即先

按要求加工好第一通光表面后,再翻面上盘加工第二通光表面,这就存在对已加工好的第一通光表面如何保护的问题。由于它是超光滑表面,通常绝不允许它与其它较硬的物体直接接触,因此,翻面上盘只能采用硬度不高的粘接胶粘接上盘方式,然而,在粘接胶粘接上盘中,胶层厚度至少会有数微米,对于直径只有 4 mm 的法拉第旋光片,要使两通光面的夹角误差控制在 $30''$ 以内,则要求粘接胶的厚度均匀性达到 $0.5 \mu\text{m}$,这一点在实际操作中难度很大,因此,翻面上盘只好采用光胶上盘的形式。但是,正如上面所说,光胶上盘虽能解决角度一致性的问题但又容易造成第一通光表面的损伤。因此,解决这一矛盾的关键是上盘。

4 新加工工艺

本工艺区别于传统工艺的核心内容是将数百片的法拉第旋光片结合成一个整体进行加工。为达到这一目的,引入了能实现该想法的特殊工具板,它是一块直径为 100 mm 厚度只有 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 的平行微晶玻璃薄板(或熔石英玻璃,其热膨胀系数尽量与旋光材料的一致)。由于它在随后的加工过程中将被磨去,故称之为过渡板。另外,为了方便在法拉第旋光片的两个通光表面各自都获得 $3'$ 的楔角,又准备了两块工具板,它们自身分别具有 $3'$ 和 $6'$ 的楔角。具体的加工工艺流程是:

(1) 用低温热熔粘接胶将过渡板和 $3'$ 楔角板粘接在一起。注意胶层要均匀,厚度一致,使粘在一起的两块板的上下表面仍保持有 $3'$ 的楔角。

(2) 用光学环氧树脂胶将待加工的法拉第旋光片毛坯(约 460 片)相互紧贴并呈中心对称地粘接到过渡板上。注意树脂胶层不要太厚,应使粘接压紧后被挤到各腔片缝隙中的胶层厚度不要超过第二面的研磨量。

(3) 研磨第一表面,使工件表面与工具板背面平行(如图 3 所示),这样在工件的第一表面获得了 $3'$ 的楔角。

(4) 抛光第一表面。

(5) 将加工完毕的第一表面在盘冲洗干净,干燥后涂上热熔性保护漆。

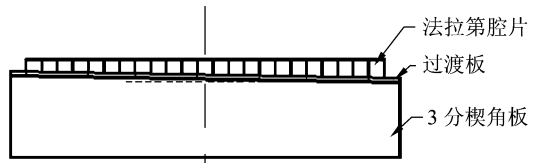


图 3 第一表面加工在盘示意图

Fig. 3 Illustration of the workpiece at the first surface being processed

(6) 在恒温箱里用高温热熔性粘接胶将工件整盘反面粘接到 $6'$ 楔角板上并拖下 $3'$ 楔角板。注意:放盘时要将 $6'$ 楔角板的厚边对准 $3'$ 楔角板的厚边。温度应加热到高温热熔性粘接胶和热熔性保护漆完全熔化,加压均匀以确保胶层厚度一致,拖下 $3'$ 楔角板的时机应掌握在高温胶已基本固化而低温胶仍处于熔化状态时进行,以免拖动时引起工件第一表面与 $6'$ 楔角板间的相对滑动而造成对工件表面的损伤。

(7) 用平面磨床磨削去掉过渡板。

(8) 研磨第二表面,使工件表面与工具板背面平行(如图 4 所示),这样在工件的第二表面也获得了 $3'$ 的楔角从而使腔片具有 $6'$ 的楔角。

(9) 抛光第二表面。

(10) 下盘清洗。

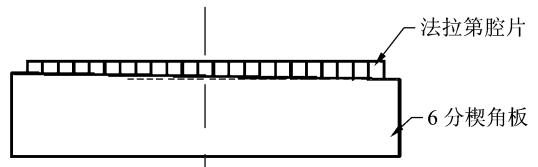


图 4 第二表面加工在盘示意图

Fig. 4 Illustration of the workpiece at the second surface being processed

由于在整个加工过程中,法拉第旋光片的两个通光表面都没有与较硬的表面发生直接接触,避免了可能造成的损伤,使两个面的表面粗糙度都达到了优于 0.1 nm 的水平(图 5 示出了用该工艺加工出的法拉第旋光片的表面原子力显微镜检测图,其粗糙度达 0.067 nm),且两个面的合格率相当,使得零件的整体成品率大大提高(一盘数百个零件,两个通光表面的表面粗糙度同时优于 0.08 nm 的合格率可达 80% 以上,楔角合格率 100%)。

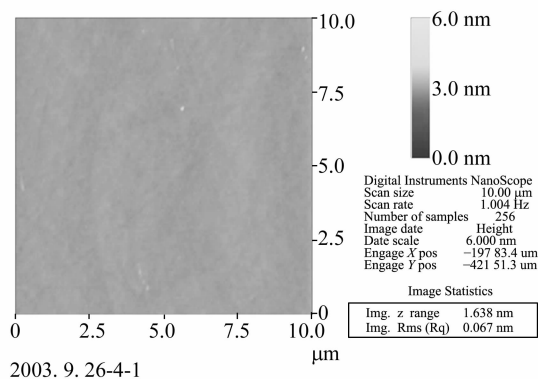


图 5 工件表面粗糙度检测图

Fig. 5 Surface roughness of Faraday effect element

5 结 论

在本文的工艺方案中,利用一过渡板使数百个法拉第旋光片成为一体,使得直接采用热熔性粘接胶胶结上盘就能保证工件的角度要求,避免了因光胶上、下盘可能对通光表面造成的损伤,使法拉第旋光片加工的质量和成品率大大提高。此外,由于采取了整体翻面上盘的方法,也使得劳动

参考文献:

- [1] 郭秀中. 惯导系统陀螺仪理论[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
GUO X Z. *Inertial navigation system & theory of gyro*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1996. (in Chinese)
- [2] 杨培根, 龚智柄. 光电惯性技术[M]. 北京:兵器工业出版社,1999.
YANG P G, GONG Z B. *Optical and electrical inertial techniques*[M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [3] 高伯龙, 李树棠. 激光陀螺[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1984.
GAO B L, LI SH T. *Ring laser gyro*[M]. Changsha: National University of Defence Technology Press, 1984. (in Chinese)
- [4] 王之江. 光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
WANG ZH J. *The Enchiridion of optical techniques*[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1994. (in Chinese)
- [5] 辛企明, 孙雨南, 谢敬辉. 近代光学制造技术[M]. 北京:国防工业出版社,1997.
XIN Q M, SUN Y N, XIE J H. *Neoteric optical manufacturing technology*[M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [6] 杨力. 先进光学制造技术[M]. 北京:科学出版社,2001.
YANG L. *Advanced optical manufacturing technology*[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)
- [7] 韩荣久, 孙恒德, 高洪刚, 等. 超光滑表面加工技术[J]. 光学精密工程, 1995, 5(1): 7-13.
HAN R J, SUN H D, GAO H G, et al. Fabricating technology for supersmooth surface[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1995, 5(1): 7-13. (in Chinese)
- [8] 高洪刚, 王建明. 应用纳米级金刚石抛光亚纳米级光滑表面[J]. 光学精密工程, 1999, 9(5): 80-84.
GAO H G, WANG J M. Application of UFD on polishing surfaces with sub nanometer scale roughness [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1999, 9(5): 80-84. (in Chinese)

作者简介:金世龙(1965—),男,湖北人,国防科技大学光电科学与工程学院副教授,博士研究生,主要从事光学陀螺的研究工作。

强度大大降低。原因之一:在原光胶上盘的工艺中,由于操作的需要,每一腔片之间必须留有一定的间隙,而在本工艺中所有腔片都相互紧贴,这样对同一尺寸的加工盘面,现在的加工元件数量比以前的增加了一倍。原因之二:光胶上盘必须一个一个地进行,而且还必须非常小心,耗时长,工作量大;本工艺整体翻盘,工艺简单、劳动强度小。原因之三:本工艺采取整体加工,在加工腔片的两个通光面的整个过程中各腔片的位置和方向都是固定的,这样就非常容易地将两个面都加工出 $3'$ 的楔角叠加后成为 $6'$ 楔角。但是,在原光胶上盘工艺中,翻面上盘时无法重现加工第一面时各腔片的位置和方向,因此所要求的 $6'$ 楔角只能在加工第二通光面时一次获得,这样,在加工该表面时,放在 $6'$ 角度板最低点与最高点的零件的磨削量差别较大,造成了在加工完毕时它们所保留的倒角差别较大,从而带来新的问题等。总而言之,本工艺在解决长期困扰四频差动陀螺批量化生产中的法拉第旋光片的加工问题上起到了非常重要的作用。