

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0639-03

激光二极管抽运的全固体激光陀螺研究*

孙利群 田 芊 章恩耀 万顺平 毛献辉

(清华大学精密仪器系精密测试技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 介绍了激光陀螺的工作原理,探讨了激光二极管(LD)抽运的全固体激光陀螺较气体激光陀螺的优越性,对 LD 抽运的全固体激光陀螺的实验装置及实验结果进行了讨论。

关键词 环形激光器, 激光二极管(LD), 陀螺, 抽运, 固态

中图分类号 V241.5⁺ 58 **文献标识码** A

Investigation of the LD Pumped Solid State Laser Gyro

SUN Li-qun TIAN Qian ZHANG En-yao WAN Shun-ping MAO Xian-hui

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Principle of the laser diode (LD) pumped solid state laser gyroscope (LDPSSLG) is introduced, the advantages of the LD pumped solid laser gyro is analyzed, the experimental apparatus of the LDPSSLG is set up and the experiment result is described.

Key words ring laser, laser diode, laser gyroscope, pumped, solid state

1 引 言

陀螺作为惯性测量器件,是惯性导航及制导技术的核心。近十多年来,随着光电技术的发展,光学陀螺已成为传统机械陀螺、机电陀螺的强有力的竞争对手,激光陀螺更以其自身的诸多特点而得到民用航空器及军用航天、航空、航海及地面车辆等武器装备的广泛应用。

光学陀螺可分为两大类:谐振型和干涉型。前者的代表是 He-Ne 气体激光陀螺,它亦是目前广泛应用的导航级光学陀螺。典型的产品是美国 Honeywell 公司的 GGB1342 型(腔长 32 cm, 90 年代后改进为 GG1320 型,腔长 15 cm)。气体激光陀螺尽管是目前光学陀螺中精度最高的,但有着其固有的缺点,如闭锁效应明显,机械抖动引入的额外噪声大,气体成分、气压稳定性差,使用寿命短等问题;光纤陀螺以干涉型为主,经过广泛深入的研究,已取得重大进步并获得应用。但受各种关键器件、关键工艺及其他因素(如光源、光纤、各种光电器件、偏振态及各种光纤非线性效应等)的限制,其精度及稳定性等难于得到改善,尤其是光纤陀螺采用多圈光纤,系

统温度、压力效应很强,且难于实现小型化。因此就现有的光学陀螺而言,激光二极管(LD)抽运的全固体激光陀螺可以说是最为经济和最容易实现商品化的仪器。下面将对 LD 抽运的全固体激光陀螺的工作原理、实验装置、实验结果及它比气体激光陀螺的优越性进行探讨。

2 激光陀螺的工作原理

激光陀螺是以双向行波激光器为核心的量子光学仪表,依靠环形行波激光振荡器对惯性角速度进行感测,其工作原理是 Sagnac 效应,即在任意几何形状的闭合光路中,从某一观察点发出的一对光波沿相反方向运行一周后又回到该观察点时,这对光波的相位(或它们经历的光程)将由于该闭合环形光路相对于惯性空间的旋转而不同。其相位差(或光程差)的大小与闭合光路的转动速率成正比。

按照经典理论,若图 1 所示的圆形闭合光路以恒定转速 Ω 相对于惯性空间绕垂直于环路平面的轴线旋转,则由固定在环路上的观测点 P 发出的顺时针(CW)、逆时针(CCW)方向运行的光波经过一周后回到 P 点所经历的光程将随角速度 Ω 而改变。

* 中国兵器科技预先研究基金资助课题。

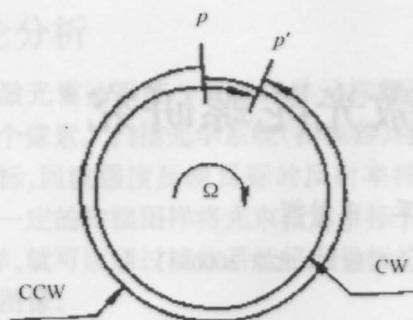


图1 Sagnac 效应示意图

Fig.1 Schematics of Sagnac effect

顺、逆时针方向的光波回到 P 点时经历的光程差 ΔL 为^[1]:

$$\Delta L = 4A\Omega/c \quad (1)$$

其中, A 为环路所围面积, c 为光速。由此引起的相位差 $\Delta\varphi$ 为:

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta L/\lambda = 8\pi A\Omega/c\lambda \quad (2)$$

其中, λ 为光波波长。这就是 Sagnac 效应,它是激光陀螺、光纤陀螺及其他光学陀螺的基础。

3 LD 抽运的固体激光陀螺的优点

随着 LD 技术的不断发展,LD 抽运的全固体激光器(LDPL)成为当今固体激光器的主要发展方向。波长 800 nm~900 nm 的窄带 LD 可以为固体激光介质中集中稀土离子提供极为有效的抽运,因而,传统灯抽运固体激光器的赖以占据世界激光器市场主导地位的所有振荡方式,均可以通过 LD 抽运成功地加以实现^[2]。同时,LD 抽运的全固体激光器性能稳定,电光转化效率高,驱动电路比气体激光器简单。因此,随着 LD 制造技术的不断发展,LD 抽运的全固体激光器将以更优异的性能逐渐替代传统抽运方式的固体激光器成为固体激光器发展的主流。

LD 抽运的固体激光陀螺与其他光学陀螺相比,具有诸多优点。首先,气体激光陀螺的增益介质一般为混合气体,需经常换、充气体,以保证其气体组分、浓度的稳定;而 LD 抽运的固体激光陀螺是全固态的,保证产品宜长期贮存,且易小型化,温度效应弱。其次,气体激光陀螺工作物质的激活粒子密度小,因而要求谐振腔的损耗要小,所以对构成其环形谐振腔反射镜的反射率要求很高;而 LD 抽运的固体激光陀螺增益介质的激活粒子密度通常较气体工作物质高三个数量级以上,属大增益激光陀螺,因而对反射镜的反射率要求有所降低。第三,常用气体激光陀螺的工作波长较短(He-Ne 激光器为

633 nm),在谐振腔反射镜上的背向散射严重。为克服背向散射引起的反向传播两光束的能量耦合,对反射镜的镀膜工艺提出了很高的要求,从而使成本大大增加;而 LD 抽运的固体激光陀螺的增益介质可采用技术成熟的 Nd:YVO₄ 晶体材料,其激射波长长(1.064 μm),从而对反射镜镀膜工艺的要求有所降低,可大大降低生产成本。第四,由于气体激光陀螺的增益介质(He-Ne 气体)必须密封在抽真空的谐振腔内,很难加入其他光学元件,所以多工作于连续波状态,因而由光学元件引起的背向散射所造成的“闭锁”是本征存在的,为克服闭锁引入的机械抖动必然带来额外噪声;而 LD 抽运的固体激光陀螺谐振腔不需要真空密封,腔内很容易加入锁模光学元件,因而可以工作于脉冲模式。经过合理的谐振腔设计,腔中反向传播的两路光脉冲将不会在构成谐振腔的光学器件中相遇,因此,这两路光之间就失去了耦合媒介,从而根本上消除了“闭锁”赖以产生的根源。第五,和目前的 He-Ne 气体激光陀螺仪一样,LD 抽运的固体激光陀螺属有源谐振型激光陀螺仪,信号采集与处理是利用两路光脉冲在输出端合光后产生拍频,它与系统角速度保持线性关系。直接检测拍频信号可以大大降低系统信号检测技术的难度。因此 LD 抽运的固体激光陀螺在克服了传统的气体激光陀螺缺点的同时,又具有气体激光陀螺所有的优点,因此它亦是一种高精度的激光陀螺。

4 实验装置及实验结果

LD 抽运的全固体激光陀螺采用最大功率为 3 W,峰值波长为 808 nm 的激光二极管作为抽运源,LD 固定在散热片上,并用半导体制冷器(Cooler)进行控温。增益介质(G)采用吸收波长与 LD 峰值波长相匹配的 Nd:YVO₄ 晶体。与 Nd:YAG 相比,Nd:YVO₄ 热导率虽然比 Nd:YAG 低,机械性能也不如 Nd:YAG,但是由于 Nd:YVO₄ 对 808 nm 抽运光的吸收系数大,而且吸收系数对抽运光波长的变化不敏感,并可以直接产生偏振光输出。所以在瓦级功率范围内,Nd:YVO₄ 作为 LD 端面抽运增益介质而颇具吸引力。实验选用参杂浓度为 0.5% 的 Nd:YVO₄ 晶体,尺寸为 3 mm×3 mm×5 mm,晶体的两个端面镀 808 nm 和 1.06 μm 的双波长增透膜,晶体侧面用铝箔包裹并置入铜块内,以达到良好的散热效果。

实验装置如图 2 所示。LD 输出的半导体激光

束经透镜 L_1 扩束, 棱镜 P_1, P_2 整形后, 经透镜 L_2 聚焦在增益介质 Nd:YVO_4 上。环形谐振腔由两个曲率半径为 100 mm 的凹面镜 M_1, M_2 和两个平面镜 M_3, M_4 构成, 四面反射镜均镀有 $1.06 \mu\text{m}$ 的高反射膜, M_4 反射率稍低, 兼作输出耦合镜。“8”字形谐振腔的腔长为 690 mm。当抽运光功率为 0.5 W 时开始有激光输出, 抽运光功率为 0.6 W 时能形成稳定的双向振荡; 抽运光功率为 2.4 W 时所形成的双向稳定输出功率大于 4 mW。

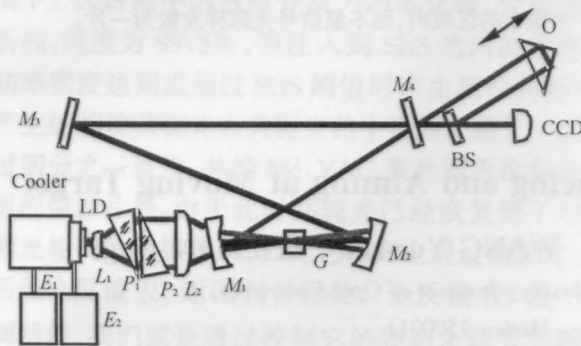


图2 激光二极管(LD)抽运的全固体激光陀螺原理示意图。
LD:激光二极管; Cooler:制冷器; P_1, P_2 :整形棱镜;
 L_1 :扩束镜; L_2 :聚焦透镜; M_1, M_2 :球面镜反射镜;
 M_3, M_4 :平面反射镜; O :光学延时器; BS:分束片; G :
增益介质(Nd:YVO_4 晶体); CCD:光电探测器; E_1 :LD
驱动电路; E_2 :制冷器电路

Fig.2 Schematics of LD pumped solid state laser gyro principle. LD: laser diode; Cooler: semiconductor cooler; P_1, P_2 : prisms; L_1 : concave lens; L_2 : focusing lens; M_1, M_2 : spherical mirror; M_3, M_4 : flat mirror; O : optical delay prism; BS: beam splitter; G : gain medium (Nd:YVO_4); CCD: photodetector; E_1 : LD drive circuit; E_2 : cooler circuit

将 LD 抽运的全固体环形激光器输出的双向激光束经光学延时器 O , 分束镜 BS 合光后, 用 CCD 摄像机接收, 在显示器上得到了稳定的干涉图样, 如图 3, 图 4 所示。当光学延时器 O 向前或向后移动时, 可观察到干涉条纹相应地向相反方向移动, 证明了 LD 抽运的全固体环形激光器双向输出光束具有一定相干长度, 为进一步研究其陀螺效应奠定了基础。

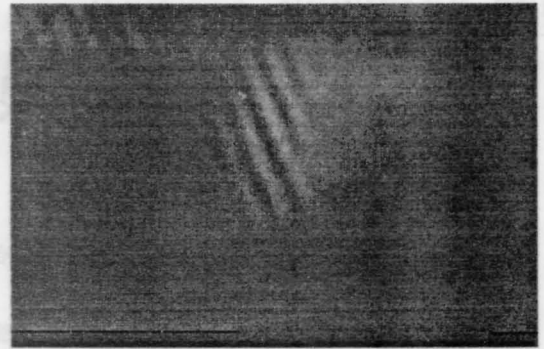


图3 抽运功率为 0.6 W 时的干涉图样

Fig.3 Interference pattern (pump power is 0.60 W)

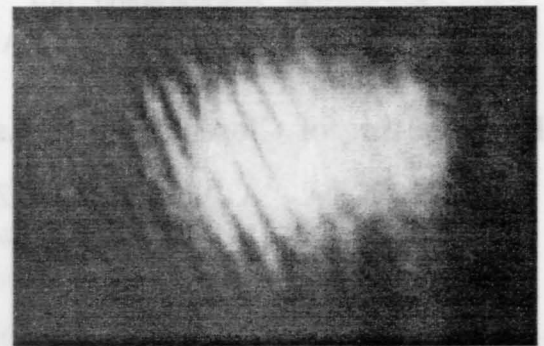


图4 抽运功率为 1.0 W 时的干涉图样

Fig.4 Interference pattern (pump power is 1.0 W)

5 结 论

在光学陀螺的研究发展中, 相继研制成功的有气体激光陀螺、光纤陀螺以及正在研究的光波导陀螺, 固体激光陀螺是一种全新的光学陀螺, 它较其他光学陀螺有着明显的优点。本文通过实验研究了 LD 抽运的固体激光陀螺的可行性, 获得了 LD 抽运的环形固体激光器连续波双向稳定输出及合光后的干涉条纹, 并观察到了条纹移动的陀螺效应, 为进一步实现短脉冲全固体激光陀螺奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 杨培根, 龚智炳. 光电惯性技术. 北京: 兵器工业出版社, 1999. 23
- 2 国家自然科学基金委员会. 光子学与光子技术. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版社, 1999. 41