

用于高精度光纤陀螺的光纤放大器光源

王 瑞^{1,2}, 李绪友¹, 张 勇¹

(1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 海军飞行学院, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:介绍了应用于光纤陀螺的掺铒光纤超荧光光源的研究现状, 比较分析了掺铒光纤光源5种主要结构的优缺点, 在此基础上得出了光纤放大器结构的光源既可以有效提高光纤陀螺的检测精度和稳定性, 又可以降低成本。针对光纤放大器光源, 分别分析了泵浦功率、泵浦波长、反馈以及铒纤温度对其平均波长稳定性的影响。为了消除反馈对光纤放大器光源平均波长稳定性的影响, 根据超荧光光源的偏振态效应, 在光源中加入了偏振器来控制反馈的偏振态, 从而降低了反馈对光源平均波长稳定性的影响, 并采用长周期光纤光栅作为滤波器, 有效地提高了光纤放大器光源的波长稳定性。

关键词:掺铒光纤; 超荧光; 放大器光源; 光纤陀螺

中图分类号:U666.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2008)04-0732-03

Fiber amplifier source for high accurate fiber-optic gyroscope

WANG Rui^{1,2}, LI Xu-you¹, ZHANG Yong¹

(1. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. Navy Fly Academy in Huludao, Huludao 125000, China)

Abstract:The latest researches and developments on the Erbium doped superfluorescent fiber source was briefly introduced. The advantage and disadvantage of five typical kinds of source structures were compared and analyzed, from which a conclusion was obtained that the measurement precision and stability of fiber-optic gyroscope could be improved by adopting the fiber amplifier source, and the cost could be reduced. Based on fiber amplifier source, the influences of pump power, pump wavelength, feedback from FOG and temperature of Er-doped fiber on the source mean wavelength were analyzed respectively. To eliminate the influence of feedback on the mean wavelength, a polarizer was acceded to the source according to the effect of polarization dependent gain of superfluorescent fiber source. Eventually, the influence was reduced greatly. Meanwhile, a long term fiber grating was also adopted as the fiber source, and the stability of the mean wavelength of the fiber amplifier source was improved greatly.

Key words:Er-doped fiber; Superfluorescent; Amplifier source; Fiber-optic gyroscope(FOG)

0 引言

宽谱光源能够有效地降低光纤背向散射、偏振交叉耦合以及克尔效应对干涉型光纤陀螺的有害影响^[1-2],

即可以减小噪声和偏置误差。因而近年来, 宽谱光源成为光纤陀螺的主要光源。掺铒超荧光光源(SFS)是典型的宽谱光源, 出众的温度稳定性和高效率成为用于光纤陀螺的主要宽谱光源。而掺铒光纤光源中的放

收稿日期: 2007-10-08; 修订日期: 2007-11-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10676023); 固体激光技术国家级重点实验室基金资助项目

作者简介: 王瑞(1983), 男, 河南南阳人, 博士生, 主要从事光纤陀螺光源的研究。Email: wwse983@163.com

导师简介: 李绪友(1964), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤陀螺及其捷联惯导系统的研究。Email: lixuyou@hrbeu.edu.cn

大器光源则是专门用于光纤陀螺的一种光源结构^[3]。

1 光源结构

国外对掺铒宽带光纤光源的研究始于 20 世纪 80 年代末。至今已有 5 种基本光源结构: 单程前向、单程后向、双程前向、双程后向和放大器光源。

单程前向结构的光源在带宽较宽时输出功率很小; 单程后向结构输出光相对于泵浦光是逆向的, 因此光反馈引起的稳定性问题最小, 具有波长稳定性较好, 并且结构简单, 因而被广泛采用; 双程结构的光源输出功率更高和波长稳定性更好, 但输出端必须加光隔离器, 以防止光源激射, 消除光纤陀螺反馈信号引起光源的不稳定^[4]; 与双程前向比, 双程后向具有更高的输出功率、更宽的线宽和更好的波长稳定性。

光纤放大器光源, 可以看作是单程后向结构与掺铒光纤放大器的组合^[5], 陀螺输入信号来自于一个单程后向的 SFS。输入光经过光纤环之后, 本身加载了转速信息, 然后第 2 次经过一段相同的掺铒光纤。这样陀螺的输出信号在光电检测器检测前就被放大了, 给光电检测带来了方便, 提高了检测精度。但是光源输出光和陀螺输出光也会互相影响, 尤其是陀螺的输出信号对光源的反馈影响比较大^[6]。

2 理论分析

陀螺的标定因数表征了测得相位差与实际转速的关系^[7], 只有正确地测定标定因数才能精确地测得载体转速。应用于光纤陀螺的宽谱光源必须具有很好的平均波长稳定性, 因为光源的平均波长决定了陀螺的标定因数。对于高精度光纤陀螺, 要求平均波长在几个 ppm 的范围内。影响超荧光光源波长稳定性的因素有: 泵浦功率的波动 (P_p), 泵浦波长的波动 (λ_p), 反馈功率 (P_f) 的波动, 这些波动都会引起 Er^{3+} 离子激发态的改变, 从而引起 SFS 平均波长的改变。掺铒光纤温度的变化会引起 Er^{3+} 离子截面的改变, 也能引起平均波长的改变。由于 Er^{3+} 离子截面的各项异性, 掺铒光纤表现为偏振态由增益决定的特性 (PDG)。这就是说超荧光 (ASE) 中与泵浦偏振方向垂直的偏振分量的增益小于与泵浦偏振同向的分量的增益, 两个分量随铒纤温度变化的量不同。在铒纤温度不可控的时候, 这种差别导致光源平均波长受偏振态的影响。综合这 5 个影响因素可以得到如下表达式:

$$\overline{\Delta\lambda_s} = \frac{\partial\lambda}{\partial P_p} + \frac{\partial\lambda}{\partial\lambda_p} + \frac{\partial\lambda}{\partial P_f} + \frac{\partial\lambda}{\partial T_e} + \frac{\partial\lambda}{\partial SOP_p} \quad (1)$$

式中: $\overline{\Delta\lambda_s}$ 表示光源平均波长的变化。

3 解决方法

图 1 是实验装置结构。陀螺的光纤环是由长度为 1 km、直径为 80 μm 的保偏光纤绕制。输入光是由 Y-波导耦合进来, Y-波导中包括一个偏振器。光源所用的掺铒光纤长度为 52 m, 吸收峰在 3.75 dB, 光纤的一

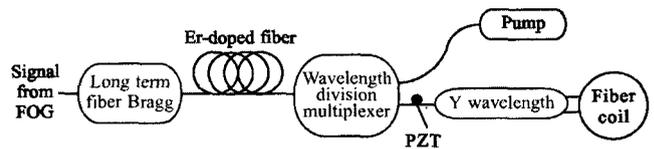


图 1 实验装置

Fig.1 Experimental diagram

端打磨为 15° , 以防止发生激光震荡。铒纤由 1 480 nm 的激光二极管泵浦, 功率为 12.5 mW, 激光管的功率和温度由相应的反馈控制回路来稳定。因为光纤环是高双折射的, 所以反馈光的偏振态是浮动而且不确定的^[6]。反馈经过掺铒光纤时, 其增益取决于它的偏振态与泵浦偏振态的异同, 一致则会增大, 相反则会减小。所以在实验中采用一个工作于 612 kHz 的 PZT 调制器调整偏振深度, 在陀螺地输出口加入了一个长周期光栅滤掉反馈的干扰, 平滑谱线^[8]。

4 试验结果

图 2 是在不同的泵浦功率下, FAS 的平均波长的变化, 可以看到 FAS 光源的平均波长在 1 560 nm 以上, 原因是陀螺输出的信号在经过掺铒光纤远离泵浦源一端时, 由于该端泵浦功率低, 所以吸收了大量的短波长光, 增长了平均波长。从图中还可以看到: 泵浦功率由 0 mW 增加到 10 mW, 平均波长变化很大, 而增加到 12.5 mW 以上时, FAS 的平均波长趋于稳定在 1 560 nm。所以实验的泵浦功率要足够高, 这也对泵浦源驱动电路提出了要求。

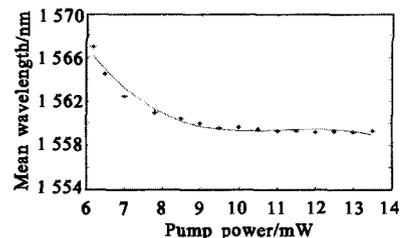


图 2 不同泵浦功率下的 FAS 平均波长

Fig.2 Mean wavelength of FAS at various pump power

图 3 是泵浦波长对 FAS 平均波长的影响 (泵浦波

长通过改变激光管温度实现)。从图中可以看出:FAS 平均波长对泵浦波长并不敏感,稳定性达到了 10×10^{-6} 以下。这样对泵浦激光管温度稳定性要求降低。图 4 是陀螺反馈对 FAS 平均波长的影响。当反馈增加,增益耗尽,输出的是长波长,因而增加了平均波长。反馈较低时,增益很小,平均波长极为稳定。在陀螺工作的正常区域,反馈为 -29 dB,此时 FAS 的稳定性是 8×10^{-6} dB。

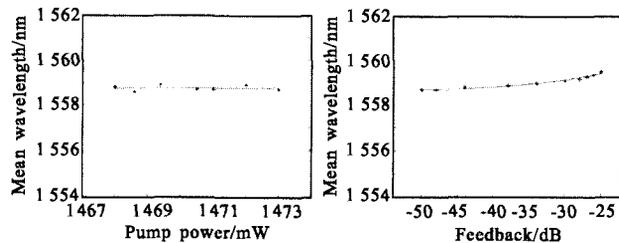


图 3 不同泵浦波长下的 FAS 平均波长

Fig.3 Mean wavelength of FAS at various pump wavelength

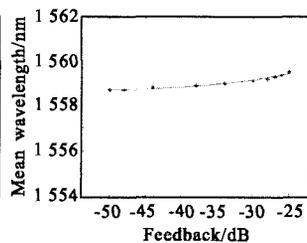


图 4 陀螺反馈对 FAS 平均波长的影响

Fig.4 Influence of feedback of FOG on the mean wavelength of FAS

图 5 是掺铒光纤自身温度变化时,FAS 平均波长的变化情况。FAS 平均波长与铒纤温度呈线性关系,变化不大,可控温度范围内,FAS 的平均波长变化不超过 10×10^{-6} 。

图 6 是在 FAS 光源与光纤环之间光纤双折射发生改变时,FAS 平均波长的稳定性。在没有偏振控制器时,光纤中的双折射可以通过调整反馈偏振控制器来改变。测得的平均波长最大值和最小值之间的差值表征了相对于 SOP 波动的稳定性。FAS 对双折射波动的敏感性很低。图 6 中的仿真曲线已经除以 2,因为掺铒光纤固有的双折射引起了偏振的变化。双折射的不可控引起泵浦和反馈的偏振沿着椭圆轨道变化。随机的 SOP 变化导致了 PHB 和 PDG 减半,通过线性偏振器作用。

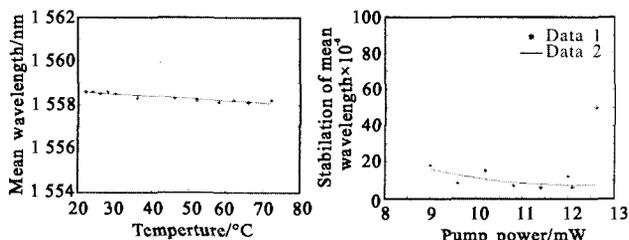


图 5 掺铒光纤温度对 FAS 平均波长的影响

Fig.5 Influence of temperature of Er-doped fiber on the mean wavelength of FAS

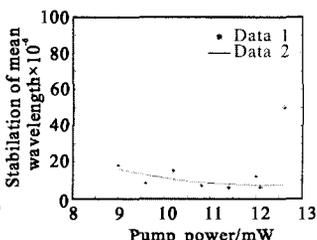


图 6 泵浦偏振态对 FAS 平均波长的影响

Fig.6 Influence of pump polarization on the mean wavelength of FAS

图 6 揭示当泵浦源偏振态发生变化时,FAS 的变化只有 50×10^{-6} 。这样大的依赖性要求要么限制 SOP 的波动性,要么控制 ASE 的偏振态使其达到规则。文中证实了这种假设,通过打开 PZT 偏振器。光源和反馈偏振态被调制到 614 kHz。由于这个频率远高于陀螺的调制频率 102 kHz 和任何整合时间的倒数,所以 ASE 和反馈就像被去极化了。然后观测到 FAS 的平均波长对光纤双折射的依赖性都降到了 10×10^{-6} 以下。

5 结论

验证了一种用于高精度光纤陀螺的掺铒光纤光源。这种结构把单程的超荧光作为陀螺的输入,并且在信号被光电检测器检测之前进行了光放大。通过测量在泵浦功率、泵浦波长、陀螺反馈、掺铒光纤温度和泵浦偏振态发生变化的时候,光源的平均波长所受的影响。试验显示:这种光源的平均波长能够达到 10×10^{-6} 以下的稳定性,结构稳定,噪声较低,并且对光电检测器的灵敏度要求很低。

参考文献:

- [1] LV Xiao-qin, GAO Feng, ZHANG Gui-cai. Experimental study on the dependence of DPB SFS' performance on pump power [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34 (4): 434-437. (in Chinese)
- [2] LV Xiao-qin, GAO Feng, JIA Lu-ning, et al. Experimental study on the dependence of DPB SFS' performance on Er-doped fiber length [J]. *Acta Photonic Sinica*, 2005, 34 (7): 1032-1035.
- [3] HEE G P, DIGONNET M. Er-doped superfluorescent fiber source with a 0.5-ppm long-term mean-wavelength stability [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2003, 21: 3427-3433.
- [4] XIA Jing. An analysis of stability of Er-doped fiber laser [J]. *Journal of NanJing Xiaozhuang School*, 2006(4): 31-36.
- [5] JEFFERSON L W, MICHEL J F D, SHAW H J. A high stability fiber amplifier source for the fiber optic gyroscope [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, 15(9): 1689-1694.
- [6] HEE G P, CHIN Y J, KIM B Y. Stabilization of fiber amplifier/source gyroscope by optimum modulation amplitude tracking [J]. *Electronics Letters*, 1999, 35 (13): 98-101.
- [7] GUILLAUMOND D, MEUNIER J P. Comparison of two flattening techniques on a double-pass erbium-doped superfluorescent fiber source for fiber-optic gyroscope [J]. *IEEE Photonics Letters*, 2000, 12, (11): 17-21.
- [8] HEE G P, KYOUNG A L, CHIN Y J, et al. Feedback effects in erbium-doped fiber amplifier/source for open loop fiber optic gyroscope [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, 15 (8): 1587-1593.