

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2019.02.013

一种高斯型 ASE 光源研究

田野,杨银川,鲁勇,刘光亚

(贵州航天控制技术有限公司设计研究所,贵阳 550009)

摘要:简单介绍了掺铒光纤的光放大原理,分析了四种 ASE 光源的光路结构。针对双通前向结构,设计了一种适用高精度光纤陀螺仪的高斯型 ASE 光源,并进行了试验研究。试验结果表明,掺铒光纤的掺杂浓度、光纤长度都对 ASE 光源的输出特性具有很大的影响。此外,根据试验结论,研制出高斯型 ASE 光源,其性能稳定,已在多个高精度光纤陀螺仪型号上实现了实际应用,并取得了良好的效果。

关键词:ASE 光源;高斯型;光纤陀螺仪;惯性器件

中图分类号:TN249

文献标志码:A

文章编号:2095-8110(2019)02-0087-05

Research on Gaussian ASE Light Sources

TIAN Ye, YANG Yin-chuan, LU Yong, LIU Guang-ya

(Guizhou Aerospace Control Technology Co., Ltd., Guiyang 550009, China)

Abstract: The principle of erbium doped fiber optical amplification and four kinds of ASE light sources are introduced. Aiming at the double pass forward structure, a kind of Gaussian ASE light sources of high precision fiber optic gyroscope is designed, and the experiment is carried out. The results show that the doping concentration and the length of the erbium doped fiber have great influence on the output characteristics of ASE light source. Furthermore, the proposed Gaussian ASE light source has stable performances and has been applied on multiple types of fiber optic gyroscopes with good results.

Key words: ASE light sources; Gaussian; Fiber optic gyroscopes; Inertial device

0 引言

光纤陀螺仪的光源必须是宽带光源,且对平均波长稳定性要求高,因而要求整个光谱相对稳定。直到20世纪80年代,在半导体激光器工业技术发展的推动下,超辐射发光二极管(Superluminescent Diode, SLD)在光纤陀螺中获得应用。但对于高精度光纤陀螺来说,SLD光源不再是最理想的光源,已经满足不了高精度光纤陀螺仪对光源的带宽、波长稳定性、输

出功率、寿命等要求^[1]。随着宽带光通信产业的蓬勃发展,特别是掺铒光纤技术的迅速发展为惯导级和精密级光纤陀螺提供了重要保障^[2-3]。

本文针对高精度光纤陀螺采用1.55 μm 宽带掺铒超荧光光纤(Amplified Spontaneous Emission, ASE)光源进行理论分析,试验研究光路中掺铒光纤浓度和长度对 ASE 光源的输出光谱和全温性能的影响,并研制出一种满足高精度光纤陀螺仪用的高斯型 ASE 光源。

收稿日期:2018-06-03;修订日期:2018-08-21

作者简介:田野(1987-),女,硕士,设计员,主要从事惯性敏感器件方面的研究。E-mail: 651198239@qq.com

1 理论基础

ASE 光源理论基础主要是掺铒光纤的光放大原理,用波长 980nm 的半导体激光器泵浦掺铒光纤能够提供更高的输出功率,实现光纤陀螺所需的超

荧光输出^[4]。

掺铒光纤是在制造光纤的过程中,设法向光纤内掺入一定量的三价铒离子(Er^{3+}),铒离子对特定波长的光子敏感,会吸收其能量,使自身的能级发生变化,它的能级如图 1 所示。

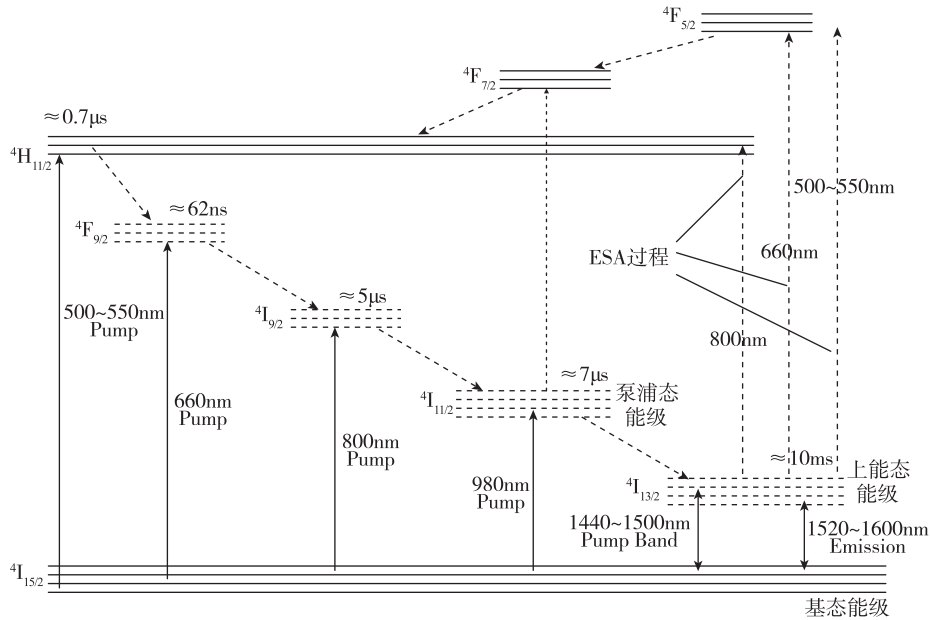


图 1 离子能级详图

Fig. 1 Erbium ions energy level in detail

从铒离子的能级图可以看出,掺铒光纤可以有 1480nm、980nm、800nm、650nm、514nm 等波长的泵浦源,当用以上波长泵浦掺铒光纤时,处于基态 $4I_{15/2}$ 的铒离子都会被泵浦到高能级,但很快又以非辐射跃迁的形式转移到激光上能态 $4I_{13/2}$,激光上能态 $4I_{13/2}$ 上的铒离子会以自发辐射或受激辐射的形式重新跃迁回基态,从而产生 1520~1560nm 波段的超荧光或激光输出。另外,800nm 以及小于 800nm 波长泵浦掺铒光纤后,都存在强烈的激发态吸收(Excited State Absorption,ESA),导致它们的泵浦效率很低^[5]。所以,用波长 980nm 的半导体激光器泵浦掺铒光纤能够提供更高的输出功率,输出 1520~1560nm 波段的超荧光,也就是惯导级高精度光纤陀螺仪所需的 ASE 光源。

的结构,包括单通后向结构、单通前向结构、双通后向结构、双通前向结构^[6-7]。

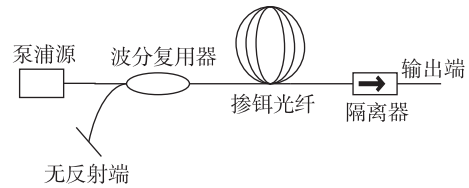


图 2 单通前向结构

Fig. 2 Single pass forward structure

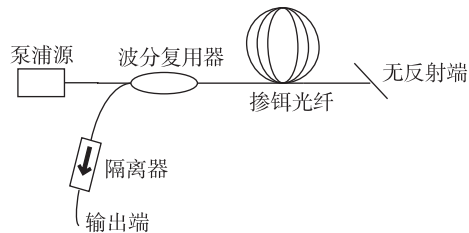


图 3 单通后向结构

Fig. 3 Single pass backward structure

ASE 光源的平均波长稳定性将会直接影响光纤陀螺的标度因数稳定性,宽的 ASE 光源谱宽可以降低相干噪声,ASE 光源光功率的全温稳定性又影响了光纤陀螺的全温性能。

图 2~图 5 所示为四种典型的掺铒光纤光源

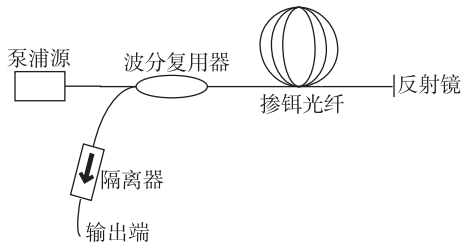


图 4 双通后向结构

Fig. 4 Double pass backward structure

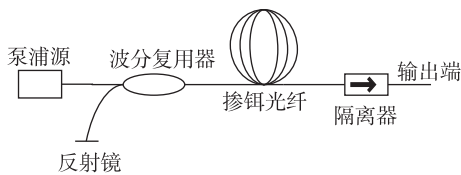


图 5 双通前向结构

Fig. 5 Double pass forward structure

对于单通前向结构,是将泵浦光直接注入掺铒光纤中,在掺铒光纤中沿向前、向后 2 个方向产生放大的自发辐射信号。这种结构后向放大的自发辐射为无用光,只利用前向放大的自发辐射,输出光功率很小。另外,泵浦光和光纤陀螺都会产生光反馈,两种反馈光耦合进掺铒光纤中都会形成谐振腔,导致输出光谱变窄。

单通后向结构避免了上述结构的缺点,采用一个波分复用器将泵浦光注入掺铒光纤中,在掺铒光纤中沿前向、后向 2 个方向产生放大的自发辐射信号。前向的信号为无用光,输出光相对泵浦光是反向的,可以避免光反馈引起的附加噪声,由光反馈引起的光稳定性影响可以完全忽略。试验发现,若选取适当的掺铒光纤长度,光源的平均波长对大范

围的泵浦功率变化表现出不敏感,呈现出较高的稳定性。

双通后向:同样在掺铒光纤中沿向前、向后 2 个方向产生放大的自发辐射信号。向前放大的自发辐射信号经反射镜反射后再次通过掺铒光纤放大,并且与后向自发辐射放大信号叠加,因而形成更强的后向输出功率,经波分复用器和隔离器后作为输出光信号为光纤陀螺仪所用。

双通前向结构的光源,反射镜在泵浦光的输入端,泵浦光经波分复用器后注入掺铒光纤中,沿前向、后向 2 个方向产生放大的自发辐射信号。后向的 ASE 经反射镜反射后再次通过掺铒光纤放大,并且与前向 ASE 叠加,因而形成更强的前向输出功率,经隔离器后输出。

掺铒光纤光源的输出功率和谱宽与所采用的光学结构和方案有直接关系。和单通结构相比,在双通结构中,信号光多经历了一次放大,所以双通结构比单通结构具有更高的转换效率。有人对双通前向结构和双通后向结构的超荧光掺铒光纤光源做过详细比较研究^[8],结果表明,双通前向结构具有更好的波长稳定性^[9]。

因此,本文采用双通前向光路结构,设计了一种 ASE 光源,并研究分析了掺铒光纤参数对其性能的影响。

2 试验研究

设计双通前向结构 ASE 光源,按照图 6 所示的组成示意图装配 ASE 光源,其输出光的光谱类似高斯型。这种类高斯型光源的相干函数的次相干峰几乎没有,是高精度光纤陀螺仪光源的理想选择。

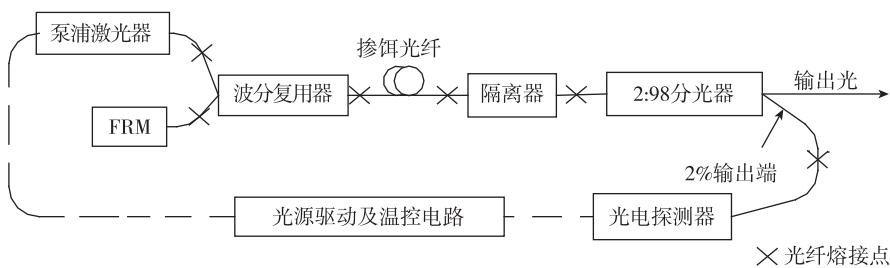


图 6 高斯型 ASE 光源组成示意图

Fig. 6 Schematic diagram of Gaussian ASE light source

由于光源的热稳定性受铒离子浓度的影响很大,特别是影响了最佳光纤长度和掺铒光纤的温度特性,掺铒光纤的吸收率与铒离子的浓度呈正

比关系^[10]。在不改变现有泵浦激光器、波分复用器、隔离器、2:98分光器、光电探测器和 FRM 等光器件参数的情况下,分别利用吸收率为 27dBm/m、

19dBm/m、7.8dBm/m、6.5dBm/m 的四种掺铒光纤。通过改变掺铒光纤的长度,研究其 ASE 输出光全温光功率、全温平均波长和全温光谱带宽的特性,寻找 ASE 光源性能最稳定时的掺铒光纤最佳长度,见表 1。

表 1 最佳光纤长度与吸收率的关系

Tab. 1 Relationship between optimum fiber length and absorption factor

吸收率/(dBm/m)	27	19	7.8	6.5
最佳光纤长度/m	6	8.7	17.8	>25

试验表明:随着铒离子浓度的增高,所用的最佳掺铒光纤长度随之缩短,可以减小盘纤空间,还能节约成本,但是高浓度的掺铒光纤光源的温度特性较差。因此,提高掺铒光纤中的铒离子浓度和掺杂分散度及匀度是提高光源性能、降低成本的有效方法。考虑光源温度特性,在设计掺铒光纤光源时可以优先考虑中等掺杂的光纤。

选取 19dBm/m 和 7.8dBm/m 两种吸收率掺铒光纤,记录不同长度下的光源输出光谱宽和平均波长,研究 ASE 光源输出光光谱平均波长及谱宽与掺铒光纤长度的关系,试验数据如图 7~图 10 所示。

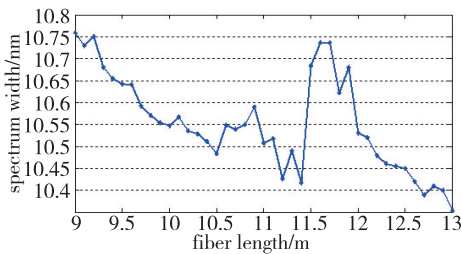


图 7 光谱宽度与铒纤长度关系(19dBm/m)
Fig. 7 Relationship between spectral width and erbium doped fiber length(19dBm/m)

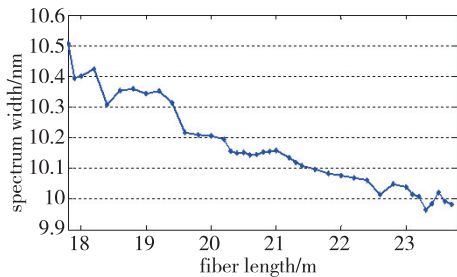


图 8 光谱宽度与铒纤长度关系(7.8dBm/m)
Fig. 8 Relationship between spectral width and erbium doped fiber length(7.8dBm/m)

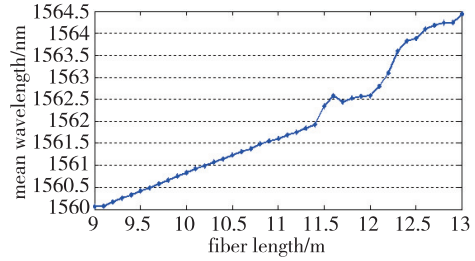


图 9 平均波长与 19dBm/m 掺铒光纤长度关系
Fig. 9 Relationship between mean wavelength and erbium doped fiber length(19dBm/m)

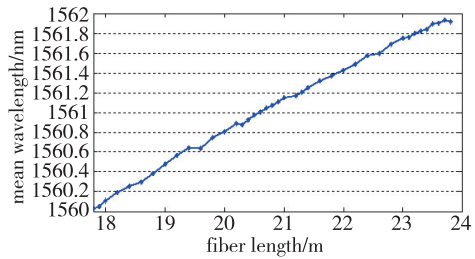


图 10 平均波长与 7.8dBm/m 掺铒光纤长度关系
Fig. 10 Relationship between mean wavelength and erbium doped fiber length(7.8dBm/m)

通过试验可以得出:当泵浦光功率保持一定时,光源输出功率在 1560nm 附近出现了峰值。随着掺铒光纤长度的减短,ASE 光源输出光谱宽逐渐呈增宽的趋势,光谱平均波长向短波方向移动,当达到最佳光纤长度后再继续减短铒纤长度,ASE 输出光谱特性就变得复杂。1530nm 附近的光功率逐渐增加,而 1560nm 附近的光功率逐渐减小,光谱谱型在 1530nm 附近出现一个次峰,1538nm 处出现了凹陷。对于吸收率为 7.8dBm/m 的掺铒光纤长度在 15m 左右时,现象比较明显,此时平均波长 1558nm,光谱宽度 11.3nm。对于 19dBm/m 吸收率的掺铒光纤,当长度降到 8m 左右时,出现了 1530nm 波长的次波。如图 11 所示。

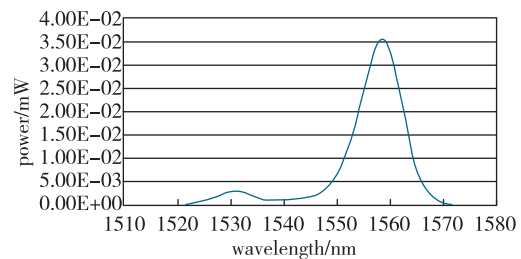


图 11 有次波的 ASE 光源输出光光谱
Fig. 11 Output spectrum of ASE light source with secondary wave

常温下,当 ASE 光源的掺铒光纤取最佳长度时,输出光特性较好,其他条件都不变的情况下,进行高斯型 ASE 光源全温性能试验,对比两种吸收率掺铒光纤的 ASE 光源特性。测试数据显示:两种吸收率的掺铒光纤 ASE 光源常温性能相当,但吸收率为 7.8dBm/m 的 ASE 光源在高低温下光谱和输出光功率变化较大,全温性能不稳定。

综合以上试验研究,采用双通前向 ASE 光源结构,取 19dBm/m 吸收率的掺铒光纤 9m,研制的高斯型 ASE 光源处于国内先进技术水平,并成功应用在多个高精度光纤陀螺仪型号上,性能稳定可靠。

3 结论

本文首先介绍了掺铒光纤辐射 1.55 μm 超荧光原理,理论上分析了四种 ASE 光源光路结构,最后选择双通前向结构,试验研究了掺铒光纤的铒离子浓度及长度对 ASE 光源的光谱特性和全温性能的影响。试验结果表明,不同的掺杂浓度、光纤长度对 ASE 光源的输出特性具有很大的影响。此外,根据研究结果研制了高斯型 ASE 光源,已在多个高精度光纤陀螺仪型号上实现了实际应用,性能稳定可靠。

参考文献

- [1] 郝婕,李云霞,赵尚弘. 光纤陀螺中的关键技术分析[J]. 激光杂志, 2007, 28(6):67-68.
Hao Jie, Li Yunxia, Zhao Shanghong. The analysis of key technique in fiber optic gyro[J]. Laser Journal, 2007, 28(6):67-68(in Chinese).
- [2] 徐海刚,裴玉锋,刘冲,等. 光纤陀螺惯导在航海领域的发展与应用[J]. 导航定位与授时, 2018, 5(2): 7-11.
Xu Haigang, Pei Yufeng, Liu Chong, et al. The development and application of fibre optic gyroscope INS in navigation domain[J]. Navigation Positioning and Timing, 2018, 5(2): 7-11(in Chinese).
- [3] 陶冶,李海军,徐海刚. 稳定环境下的高精度光纤捷联惯导精度探索研究[J]. 导航定位与授时, 2018, 5(3): 30-34.
Tao Ye, Li Haijun, Xu Haigang, et al. Research on precision of high accuracy FOG-SINS under steady conditions[J]. Navigation Positioning and Timing, 2018, 5(3): 30-34(in Chinese).
- [4] 孙海跃,陈胜平,齐雪,等. 脉冲自发辐射放大光源的产生与放大特性研究[J]. 中国激光, 2018, 45(6).
Sun Haiyue, Chen Shengping, Qi Xue, et al. Generation and amplification characteristics of pulse amplified spontaneous emission[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45(6)(in Chinese).
- [5] 王海艳,张雅婷,金露凡,等. 放大自发辐射光噪声的加速老化研究[J]. 中国激光, 2015, 42(4).
Wang Haiyan, Zhang Yating, Jin Lufan, et al. Acceleration aging study of amplified spontaneous emission broadband source[J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(4)(in Chinese).
- [6] 邢丽峰,冯莹,肖瑞. 宽带掺铒光纤超荧光光源[J]. 激光与光电子学进展, 2003, 40(12): 37-40.
Xing Lifeng, Feng Ying, Xiao Rui. Broadband Er-doped superfluorescent fiber source[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2003, 40(12): 37-40(in Chinese).
- [7] 张燕萍,潘子军,尚俊云,等. 高精度光纤陀螺用 ASE 光源实验研究[J]. 导航与控制, 2013, 12(1): 50-54, 62.
Zhang Yanping, Pan Zijun, Shang Junyun, et al. Experiments investigation on ASE light source of high precision fiber optic gyroscope[J]. Navigation and Control, 2013, 12(1): 50-54, 62(in Chinese).
- [8] 刘颖刚,乔学光,贾振安,等. 一种高性能光纤 ASE 光源的优化与研究[J]. 光电子·激光, 2011, 22(10): 1475-1478.
Liu Yinggang, Qiao Xueguang, Jia Zhenan, et al. Optimization and study on a high-performance ASE fiber source[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2011, 22(10): 1475-1478(in Chinese).
- [9] 米剑,张春熹,李铮,等. 掺铒光纤超荧光光源平均波长温度稳定性实验研究[J]. 光子学报, 2007, 36(5): 825-829.
Mi Jian, Zhang Chunxi, Li Zheng, et al. Experimentally research on temperature stability of the mean wavelength of Erbium-doped fiber super fluorescent source[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(5): 825-829(in Chinese).
- [10] 郝艳玲,王瑞. 铒离子浓度对掺铒光纤光源性能影响研究[J]. 光电工程, 2010, 37(7): 81-85, 91.
Hao Yanling, Wang Rui. Influence of Erbium concentration on Erbium doped fiber sources[J]. Opto-Electronic Engineering, 2010, 37(7): 81-85, 91(in Chinese).