

线宽展宽 L 波段掺铒光纤光源特性研究

郑本瑞¹, 黄文财¹, 王秀琳², 孙明皓¹, 许惠英¹, 蔡志平¹

(1. 厦门大学 电子工程系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005)

摘要: 提出了一种两级级联的掺铒光纤超荧光光纤光源 (SFS) 的新结构, 采用耦合器将一个 1 480 nm 半导体 (LD) 泵浦源按照一定的分光比对第二级进行双向泵浦, 第一段光纤未泵浦。通过研究两级光纤长度的比例、耦合器的分光比对结构性能的影响, 优化结构参数后线宽扩展 13 nm, 输出效率提高 6%, 并且该结构的中心波长也具有对泵浦功率不敏感的特性。

关键词: 掺铒光纤; 超荧光光纤光源; L 波段

中图分类号: TN253; TN212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2007)增(激光)-0075-03

Characteristics research of a bandwidth broadening L-band erbium-doped superfluorescent fiber source

ZHENG Ben-rui¹, HUANG Wen-cai¹, WANG Xiu-lin², SUN Ming-hao¹, XU Hui-ying¹, CAI Zhi-ping¹

(1. Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A novel two-stage L-band erbium-doped superfluorescent fiber source (SFS) is investigated. The first fiber is un-pumped and the second fiber is bi-directional pumped by a single LD with an output wavelength of 1 480 nm. The effect to the output characteristics by the fiber length rate of two stages and the pump rate is researched theoretically. After optimizing the rate of the fiber and the rate of the pump power, the configuration presented in this paper can enhance conversion efficiency by 6% and broaden bandwidth by 13 nm, and the characteristic that mean wavelength insensitive to the pump power is also attained.

Key words: Erbium-doped fiber; Superfluorescent fiber source; L-band

0 引言

掺铒光纤超荧光光纤光源(SFS)由于具有温度稳定性强、输出功率高、输出谱线宽、使用寿命长等特点^[1]已经广泛应用于密集波分复用系统 (DWDM)、光纤传感系统和光纤陀螺 (FOG) 中。以前的研究主要集中在 C 波段 (1 525~1 565 nm), 但是最近几年由于光纤通信业务的飞速发展对 L 波段(1 565~1 625 nm)

的扩展成了迫切需求, L 波段 SFS 的研究也成了最近研究的热点; 根据报道, 以前的中心波长稳定的 SFS 均局限于 C 波段, L 波段的高稳定光源很少报道。

2003 年, 采用类似图 1 中的 (a) 结构^[2], 用两个 1 480 nm 的半导体泵浦源双向泵浦, 通过调节参数输出功率为 71.8 mW, 其效率达到 42.2%, 但是并没有对中心波长的稳定性进行研究。2005 年也是采用 (a) 的结构^[3], 但是只采用一个 1 480 nm 的泵浦

收稿日期: 2007-04-27

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (2006J0243); 厦门大学科技创新重点资助项目 (K70007) 国家自然科学基金资助项目 (10376034)

作者简介: 郑本瑞 (1982-), 男, 山东菏泽人, 硕士, 主要从事光纤通信、光电子器件方面的研究工作。Email: brzheng@live.com

通信作者: 黄文财 (1976-), 男, 福建三明人, 副教授, 主要从事光纤通信、光纤激光器等方面的研究工作。Email: huangwc@xmu.edu.cn

源,通过一个耦合器将泵浦功率按照一定比例分成两个部分进行双向泵浦获得了中心波长对泵浦功率的不敏感,但是该结构对泵浦比例要求严格,实际应用中很难实现中心波长稳定的输出。

文中提出了一种两级结构的 L 波段 SFS,如图 1 (b) 所示,第一段光纤没有泵浦,第二段光纤采用一个 1 480 nm 的泵浦源通过一个耦合器进行双向泵浦。通过对两级光纤长度比例的优化和泵浦比例的选择,可以获得更高的效率和更大的线宽,并且在较宽的泵浦比例范围内中心波长均具有泵浦功率不敏感的特性。

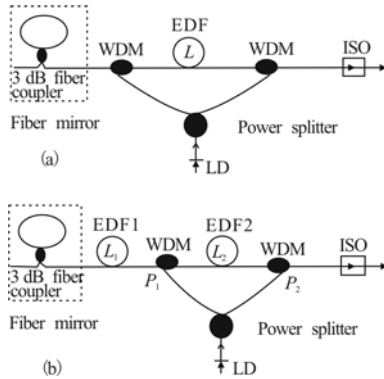


图 1 两种不同的 L 波段 SFS 结构示意图

Fig.1 Configurations of two different L band SFS

1 两级 L 波段 SFS 结构

文中设计的结构由两段掺铒光纤 (EDF) 一个 1 480 nm 半导体泵浦源、一个 1 480/1 550 nm 波分复用器,一个由 3 dB 耦合器制作的光纤反射镜、一个隔离器和耦合器构成。定义第一段未泵浦的光纤长度为 L_1 ,第二段双向泵浦的光纤长度为 L_2 ,光纤总长度 $L=L_1+L_2$;光纤长度的比例 $R_L=L_1/L$;总的泵浦功率为 P_p ,前向泵浦功率为 P_1 ,后向泵浦功率为 P_2 ,泵浦比例 $R_p=P_1/P_p$ 。文中采用的光纤是由朗讯公司提供的高浓度的掺铒光纤 L12403,在 1 530 nm 附近的峰值吸收为 27~33 dB/m,模场半径为 5.2 μm ,截至波长为 1 100~1 400 nm,数值孔径为 0.25。

2 结果与讨论

以下结果由 OASIX^[4]仿真获得,其仿真结果已经被证明与实验是相吻合的^[5-7]。光纤总长度选择为 19 m,

以双程前向 (DPF) 结构的 L 波段的 SFS 的最平坦输出的最佳长度^[8]为标准。

当 $P_p=100\text{ mW}$, $R_p=0.5$ 时,输出线宽和输出功率随 R_L 的变化情况见图 2。通过图 2 可以看出,线宽和输出功率均随着 R_L 的增加而呈现先增加后减小的趋势,当 $R_L=0.63$ 时,即 $L_1=12\text{ m}$, $L_2=7\text{ m}$ 时具有最大的输出线宽和较高的输出功率。产生这种变化的原

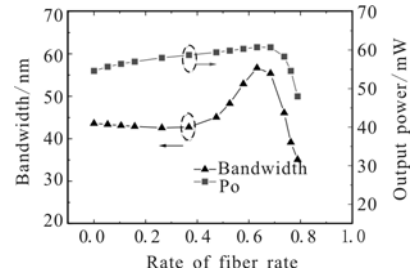


图 2 线宽和输出功率随长度比例的变化曲线

Fig.2 Bandwidth and output power versus rate of fiber

因是:当 R_L 比较小时,第二级的输出光纤长度较大,足以将光纤内的放大自发辐射光 (ASE) 全部转移到 L 波段,因此整个光谱全部处于 L 波段,输出功率相对也较低;当 R_L 逐渐增大时,第二级光纤长度不断变短,已经不能将 ASE 光全部转移到 L 波段,此时的输出光谱由 C 波段和 L 波段按照一定的比例构成,在 R_L 为 0.63 时获得最好的比例搭配,使得线宽达到最大;当 R_L 大于 0.63 时,C 波段的 ASE 比例占主导地位,中心波长已经转移到 C 波段,所以线宽又开始减小,由于第二级光纤的长度太短,造成第二级的泵浦光不能被充分吸收,使得输出功率也开始下降。

图 1 中的结构 (a) 即为 R_L 为 0 的情况,结构 (b) 即 R_L 为 0.63 时的情况。当 $R_p=100\text{ mW}$, $R_p=0.5$ 时,结构 (a) 转换效率为 54.59%,线宽为 43.6 nm,而经过优化后得到的结构 (b) 的转换效率为 60.75%,线宽为 56.7 nm。可见结构 (b) 比 (a) 线宽提高了 13 nm,转换效率也提高了 6%。

为了进一步比较两种结构的性能,图 3 给出了在总泵浦功率为 100 mW 时不同的泵浦比例 R_p 情况下,结构 (a) 和结构 (b) 的线宽和输出功率的曲线。结构 (b) 在不同的泵浦比例下的 L 波段的输出线宽和输出功率均优于结构 (a)。对于结构 (b) 的中心波长对泵浦功率的不敏感特性以下也做了研究。

图 4 给出了在 R_L 固定为 0.63 时,当 R_p 分别为

0.2、0.4、0.5、0.6、0.8 时中心波长随泵浦功率的变化情况。通过图 5 可以看出,对于不同的 R_p 值都有出现中心波长对泵浦功率的不敏感区,并且稳定的范围较广。只是对于较小的 R_p 中心波长稳定出现要求的泵浦功率比较大,对于较大的 R_p 中心波长稳定在较小的泵浦功率时就出现。

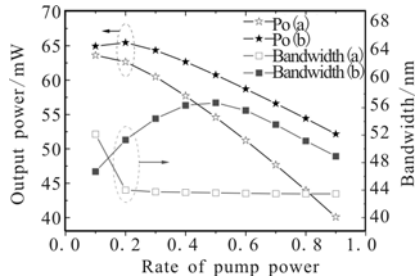


图 3 当 $R_p=100$ mW 时两种结构的输出功率和线宽随 R_p 的变化

Fig.3 Output Power and bandwidth of (a) and (b) versus R_p

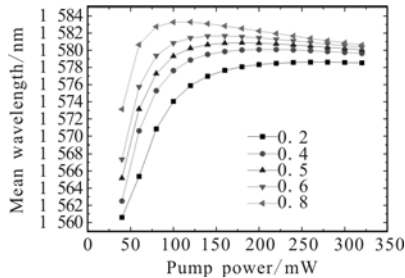


图 4 不同泵浦比例下中心波长随泵浦功率的变化

Fig.4 Mean wavelength of different R_p versus pump power

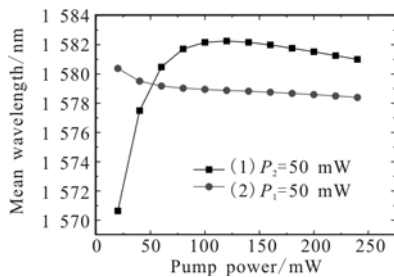


图 5 中心波长分别随 P_1 和 P_2 的变化

Fig.5 Mean wavelength respectively versus P_1 and P_2

中心波长分别随着 P_1 和 P_2 的单独变化趋势表示在图 5 中。图 5 中曲线 (1) 为 $P_2=50$ mW 时,中心波长随 P_1 的变化曲线,曲线 (2) 为 $P_1=50$ mW 时,中心波长随 P_2 的变化曲线。从图 5 可以看出,中心波长随着 P_1 的增大先增大后减小,而且在不同功率处的变化率也不同;而随着 P_2 的增大是呈现一直减小的趋势,并且中心波长随 P_1 变化的幅度大于随 P_2

变化的幅度。因此恰当选择使其工作在中心波长随 P_1 增大而增大随 P_2 增大而减小的区域,通过选择合适的 R_p 就可以满足在不同功率处中心波长稳定的条件,从而达到中心波长对泵浦功率的不敏感。 R_p 越大,在较小的总功率时就可以使得中心波长随 P_1 增大的速度变慢,才可以与 P_2 增大带来的中心波长的减小相抵消,进入中心波长稳定区;反之, R_p 越小则达到波长稳定所需要的总功率就越大。

3 结 论

提出了一种新型的两级结构的 L 波段 SFS,与原来的单级结构相比,在总泵浦功率为 100 mW,泵浦比率为 0.5 时,转换效率提高了 6% 以上,线宽提高了 13 nm,并且这种新的结构具有在较大功率范围内中心波长对泵浦功率不敏感的特性。着重分析了中心波长对泵浦功率不敏感的原因,结果主要得益于单个泵浦源的双向泵浦,使得两个方向的泵浦光对中心波长的影响相互抵消,从而获得稳定的中心波长输出,这对于研制应用于高精度航空航天惯性导航系统的光纤陀螺中的光源提供了重要的理论依据。由于该结构对泵浦比例要求不严格,对器件参数要求不高,使得该结构更加具有实用价值。

参考文献:

- [1] WYSOCKI P F, DIGONNET M J F, KIM B Y, et al. Characteristics of erbium-doped superfluorescent fiber sources for interferometer sensor applications[J]. J. Light Wave Technol, 1994, 12: 550-67.
- [2] TSAI S C, TSAI T C, LAW P C, et al. High pumping efficiency L-band erbium doped fiber ASE source using double pass bidirectional pumping configuration[J]. IEEE Photon Technol Lett, 2003, 15 (2) : 197-199.
- [3] HUANG W C, WANG X L, CAI Z P, et al. A pump power insensitive high stability L-band erbium-doped superfluorescent fiber source[J]. J Opt A: Pure Appl, 7: 179-182.
- [4] OASIX V3.0: Lucent Technologies erbium doped fiber devices simulation software.
- [5] ZATTA P Z, Hall D C. Ultra-stability two-stage superfluorescent fiber source for fiber optics gyroscope[J]. Electron Lett, 2002, 38: 406-408.
- [6] HUANG W C, MING H. Simulation analysis of one-stage C + L-band erbium-doped fiber ASE source with double-pass Bi-directional pumping configuration[J]. China Opt Lett, 2004, 2: 125-127.
- [7] WANG H, GANG Y L, CHEN S P, et al. Bandwidth broadening and efficiency enhancement of a double-pass forward L-band erbium-doped superfluorescent fiber source[J]. J Opt A: Pure Appl, 2006, 8: 897-902.
- [8] TSAI S C, LEE C M, HSU S, et al. Characteristic comparison of single-pumped L-band erbium-doped fiber amplified spontaneous emission sources[J]. Optical and Quantum Electronics, 2002, 34(1): 1111-1117.