

双程前向掺铒光子晶体光纤超荧光光源

吴旭¹, 阮双琛¹, 刘承香¹, 张力², 江家伟¹

(1. 深圳大学 电子科学与技术学院 深圳市激光工程重点实验室, 广东 深圳 518060;

2. 深圳大学 信息工程学院, 广东 深圳 518060)

摘要: 为了获得高稳定光纤陀螺掺铒光纤光源和改进传统掺铒光纤超荧光光源的输出稳定性, 提出和使用掺铒光子晶体光纤作为超荧光光源的增益媒介。构建了双程前向结构掺铒光子晶体光纤超荧光光源, 研究了这种新型光源的输出特性。分析了掺铒光子晶体光纤长度和泵浦功率对光源输出功率、光谱谱宽和平均波长的影响。结果表明, 通过选取光纤长度为 10 m 和泵浦功率为 220 mW, 获得了双程前向结构掺铒光子晶体光纤超荧光光源。输出功率为 35.4 mW, 光光转换效率约 16.09%, 谱宽为 30.9 nm, 平均波长为 1 548.3 nm。该结果为进一步研究掺铒光子晶体光纤超荧光光源的环境温度稳定性和适应性奠定基础。

关键词: 光学器件; 超荧光光纤光源; 掺铒光子晶体光纤; 输出特性

中图分类号: U666.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)01-0119-04

Erbium-doped photonic crystal fiber superfluorescent sources in double-pass forward configuration

Wu Xu¹, Ruan Shuangchen¹, Liu Chengxiang¹, Zhang Li², Jiang Jiawei¹

(1. Shenzhen Key Laboratory of Laser Engineering, College of Electronic Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2. College of Information Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: In order to obtain high-stable erbium-doped fiber source used fiber-optic gyroscope and improve the stability of conventional erbium-doped superfluorescent fiber source, erbium-doped photonic crystal fiber as a superfluorescent fiber source of gain medium was proposed and employed. A superfluorescent fiber source with a double-pass forward configuration was constructed and the output properties of the new fiber source were studied. The influences of fiber length and pump power on output power, spectral width and mean wavelength of fiber source were analyzed. The results show that the superfluorescent fiber source had an output power of 35.4 mW, an optical conversion efficiency of 16.09%, a spectral width of 30.9 nm and a mean wavelength of 1 548.3 nm by choosing the optimized fiber length of 10 m and pump power of 220 mW. This result would set the foundation to further investigate the stability and adaptability of erbium-doped photonic crystal fiber superfluorescent source in the different environment temperatures.

Key words: optical devices; superfluorescent fiber source; erbium-doped photonic crystal fiber; output properties

收稿日期: 2013-05-12; 修订日期: 2013-06-03

基金项目: 深圳市科技研发项目(JG2010035, JG2010034); 深圳市南山区资助项目

作者简介: 吴旭(1983-), 男, 讲师, 博士, 主要从事掺铒光纤光源方面的研究。Email: wuxukai335@sohu.com

0 引言

光子晶体光纤相比于传统光纤具有许多独特的优良特性,如无限单模传输特性^[1]、大模场面积特性^[2]、可控的色散特性^[3]、高非线性特性^[4]等及灵活自由的设计特性,有效地拓展和增加的光纤的研究方向和应用领域,已经极大的改善了无源光源器件的性能。同样,这些特性也影响和改善了基于掺稀土光子晶体光纤的器件,如掺镱或铒的光子晶体光纤激光器^[5]、放大器^[6]和超荧光光源^[7-8]等,因为光子晶体光纤灵活的设计性,可以最大限度地控制泵浦模和信号模的重叠面积。

掺铒超荧光光纤光源因其具有高平均波长稳定性、宽光谱和高输出功率等特性^[9-10],已被广泛应用于光纤陀螺、光纤传感器和低相干光学成像等领域^[9-11]。特别是在光纤陀螺中,掺铒光纤超荧光光源被认为是高精度光纤陀螺用光源的理想选择^[10]。但是,掺铒光纤超荧光光源的输出功率和光谱谱宽都达到了高精度光纤陀螺的要求,唯一没有实现的是对平均波长的稳定性的要求,因此,许多学者也一直在研究提高光源的平均波长稳定性的方法^[12-14]。文中基于掺铒光子晶体光纤构建了双程前向结构超荧光光纤光源,研究分析了掺铒光子晶体光纤超荧光光源输出特性,其目的是为进一步改善光源性能提供一种新的可能方法。

1 双程前向掺铒光子晶体光纤超荧光光源

双程前向结构掺铒光子晶体光纤超荧光光源实验装置如图 1 所示,采用 LDC-3744B 泵浦驱动器驱动半导体激光二极管(LD)发出 974.2 nm 泵浦光,通过 980/1 550 nm 波分复用器(WDM)激发增益介质—掺铒光子晶体光纤,产生 1 550 nm 超荧光,其中后向超荧光(与泵浦光反向)经过法拉第旋转反射镜反射后与所产生的前向超荧光(与泵浦光同向)一起经隔离器(Isolator)输出,其中隔离器的作用是阻止光反馈,最后利用光谱仪和光功率计分别测试光源的光谱信息和输出功率。其中最为关键的增益光子晶体光纤的主要参数为^[17-8]:光纤包层含有 7 层空气孔,空气孔直径约 2.0 μm ,孔间距约 4.0 μm ,纤芯中掺铒区域直径约 4.0 μm ,模场直径约 4.34 μm ,其吸收系数分

别为 5.5 dB/m@980 nm 和 12.2 dB/m@1 550 nm。另外,图 1 中 A 和 B 两点表示掺铒光子晶体光纤与波分复用器和隔离器的普通单模尾纤的熔接点,该熔接点的损耗均低于 0.7 dB^[15],满足实际的应用要求。

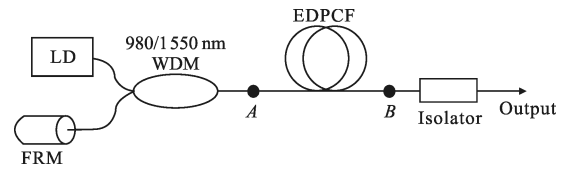


图 1 双程前向超荧光光纤光源示意图

Fig.1 Schematic diagram of double-pass forward superfluorescent fiber source

2 光源的输出特性

2.1 光纤长度对光源输出的影响

在掺铒光纤超荧光光源中,合理的选取铒纤长度和泵浦功率的大小,是决定光源的输出特性的关键因素。如图 1 所示,构建了双程前向掺铒光子晶体光纤超荧光光源。通过采用不同长度掺铒光子晶体光纤,分析了其对光源输出特征参数(输出功率,光谱谱宽和平均波长)的影响,最终选取合理的优化光纤长度。

图 2 和图 3 为掺铒光子晶体光纤长度对光源输

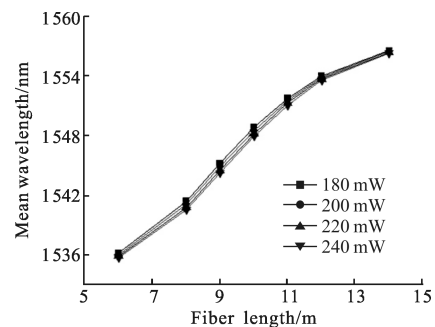


图 2 平均波长随光纤长度的变化

Fig.2 Mean wavelength versus fiber length

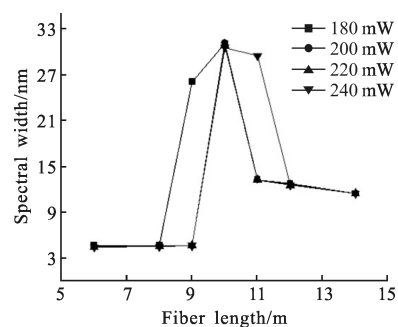


图 3 光谱带宽随光纤长度的变化

Fig.3 Spectral width versus fiber length

出平均波长和光谱带宽的影响。在光纤长度为6~14 m 的范围内,光源的平均波长在 180~240 mW 的泵浦功率下随光纤长度的变化趋势一致,平均波长随着光纤长度的增加而向 1560 nm 方向漂移,随着光纤长度的减少而向 1530 nm 方向漂移,这主要是铒离子的增益和吸收相互作用的结果。当铒纤较短时,1530 nm 处为强增益,而当铒纤较长时,由于信号光的二次泵浦吸收,导致 1560 nm 处增益大于吸收,故在发射谱中 1560 nm 峰为主峰。可见 1530 nm 和 1560 nm 的竞争中,对于光源的谱宽影响非常大,只有当两峰均衡时,谱宽才能达到最大。从图 3 中可以明显看出,当光纤长度小于 9 m 或者大于 11 m,光源谱宽减少,当光纤长度等于 10 m 时,谱宽达到最大,约为 30.9 nm,结合图 4 所示,光源光源中 1530 nm 和 1560 nm 无论哪个占主导,都将使谱宽变窄。

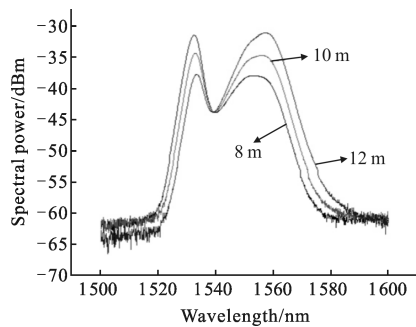


图 4 光源光谱随光纤长度的变化

Fig.4 Spectrum of fiber source versus fiber length

图 5 为掺铒光子晶体光纤长度对输出功率的影响,当光纤长度从 6 m 增加到 10 m 时,光源的输出功率逐渐增加并达到最大;当光纤长度在增加到 14 m

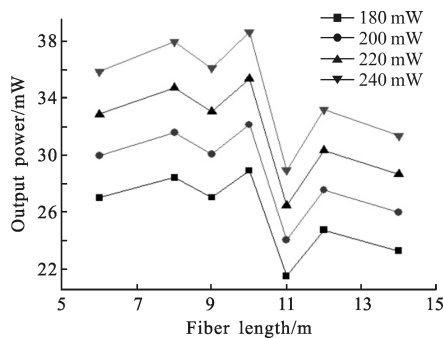


图 5 输出功率随光纤长度的变化

Fig.5 Output power versus fiber length

时,输出功率随长度的增加而减少,这主要是传输和吸收损耗的增加所造成的。另外,9 m 和 11 m 处的功

率偏低,主要是由于光纤熔接过程中存在一致性误差所致。因此,通过上面的对比分析光纤长度对光源输出特性的影响,选定用于超荧光光纤光源的掺铒光子晶体光纤长度为 10 m。

2.2 泵浦功率对光源输出的影响

以所确定的 10 m 优化掺铒光子晶体光纤长度下,分析另一主要因素泵浦功率对光源输出特征参数的影响。图 6 为掺铒光子晶体光纤超荧光光源输出功率和光光转换效率与泵浦功率的变化关系,可见,泵浦功率与输出功率成近似线性的关系,而光光转换效率随着泵浦功率在 0~150 mW 内增加而增大,当泵浦功率在 150~240 mW 时,光光转换效率趋于稳定,说明 10 m 掺铒光子晶体光纤在大于 150 mW 泵浦功率时,增益和损耗达到了平衡。当泵浦功率为 150 mW 时,光光转换效率大于 16 %。

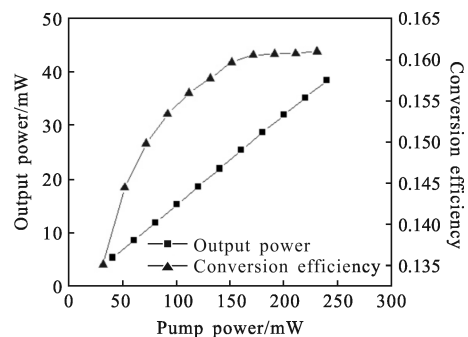


图 6 输出功率和光转换效率随泵浦功率的变化

Fig.6 Output power and conversion efficiency versus pump power

图 7 给出了泵浦功率对掺铒光子晶体光纤超荧光光源平均波长和光谱谱宽的影响。当光纤长度一定,随着泵浦功率的增加,光源的平均波长逐渐向短

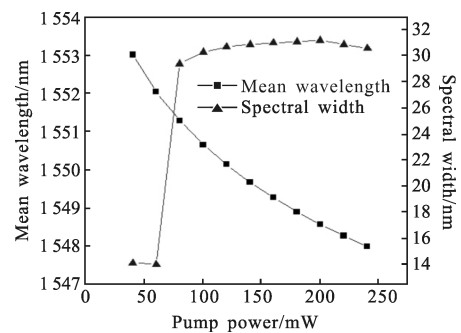


图 7 平均波长和光谱带宽随泵浦功率的变化

Fig.7 Mean wavelength and spectral width versus pump power

波长(1530 nm)方向漂移,1530 nm 峰逐渐处于强增益状态。当泵浦功率大于 80 mW 时,光谱宽度均大

于 29 nm。因此,通过光源输出谱型、谱宽和效率,选定泵浦功率为 220 mW。

最终通过对比分析不同泵浦功率下光源的输出功率、光光转化效率、谱宽和光谱谱型,选定掺铒光子晶体光纤优化长度 10 m 和泵浦功率 220 mW,最终获得双程前向掺铒光子晶体光纤超荧光光源的输出特征参数为:输出功率 35.4 mW,光光转换效率 16.09%,谱宽为 30.9 nm,平均波长为 1 548.3 nm。

3 结 论

实验研究了双程前向结构掺铒光子晶体光纤超荧光光源的输出特性并分析了掺铒光子晶体光纤长度和泵浦功率对光源输出特征参数的影响。优化选择泵浦功率 220 mW 和 10 m 掺铒光子晶体光纤,最终获得了输出功率 35.4 mW,光光转换效率 16.09%,谱宽 30.9 nm,平均波长 1 548.3 nm 的超荧光光纤光源。为进一步研究掺铒光子晶体光纤超荧光光源的稳定性及环境适应性等特性奠定基础。

参 考 文 献:

- [1] Birks T A, Knight J C, Russell P S J. Endlessly single-mode photonic crystal fiber[J]. *Opt Lett*, 1997, 22(13): 961-963.
- [2] Chen M Y, Zhang Y K. Bend insensitive design of large-mode-area microstructured optical fibers [J]. *J Lightw Technol*, 2011, 29(15): 2216-2222.
- [3] Matsui T, Zhou J, Nakajima K. Dispersion-flattened photonic crystal fiber with large effective area and low confinement loss[J]. *J Lightw Technol*, 2005, 23(12): 4178-4183.
- [4] Finazzi V, Monro T M, Richardson D J. The role of confinement loss in highly nonlinear silica holey fibers[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2003, 15(9): 1246-1248.
- [5] Limpert J, Schmidt O, Rothhardt J, et al. Extended single-mode photonic crystal fiber Lasers [J]. *Opt Express*, 2006, 14(7): 2715-2720.
- [6] Furusawa K, Kogure T, Monro T M, et al. High gain efficiency amplifier based on an erbium doped aluminosilicate holey fiber [J]. *Opt Express*, 2004, 12(15): 3452-3458.
- [7] Wu X, Ruan S C, Liu C X, et al. High stability Erbium-doped photonic crystal fiber source [J]. *Appl Opt*, 2012, 51(13): 2277-2281.
- [8] Wu X, Ruan S C, Liu C X, et al. High-stable and broadband erbium-doped superfluorescent photonic crystal fiber source [J]. *Optical Engineering*, 2012, 51(9): 095005.
- [9] Wysocki P F, Dignonnet M J F, Kim B Y, et al. Characteristics of erbium-doped superfluorescent fiber sources for interferometric sensor applications [J]. *J Lightwave Technol*, 1994, 12(3): 550-567.
- [10] Hall D C, Burns W K, Moeller R P. High-stability Er³⁺ doped superfluorescent fiber sources[J]. *J Lightwave Technol*, 1995, 13 (7): 1452-1460.
- [11] Lee J H, Jung E J, Kim C S. Optical coherence tomography based on a continuous-wave supercontinuum seeded by erbium-doped fiber's amplified spontaneous emission [J]. *Journal of Optical Society of Korea*, 2010, 14 (1): 49-54.
- [12] Falquier D G, Dignonnet M J F, Shaw H J. A polarization-stable Er-doped superfluorescent fiber source including a faraday rotator mirror[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2000, 12(11): 1465-1467.
- [13] Ou P, Cao B, Zhang C X, et al. Er-doped superfluorescent fibre source with enhanced mean-wavelength stability using chirped fiber grating[J]. *Electron Lett*, 2008, 44(3): 187-189.
- [14] Wang A, Ou P, Feng L S, et al. High-stability Er-doped superfluorescent fiber source incorporating photonic bandgap fiber[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2009, 21(24): 1843-1845.
- [15] Liu Chengxiang, Zhang Li, Wu Xu, et al. Coupling technique of photonic crystal fiber [J]. *Journal of Chinese Inertial Technology*, 2009, 17(3): 366-369. (in Chinese)
刘承香, 张力, 吴旭, 等. 光子晶体光纤的耦合技术[J]. 中国惯性技术学报, 2009, 17(3): 366-369.