文章编号: 1001-5078(2006)03-0190-03

Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤超荧光光源的实验研究

石 磊,赵尚弘,余侃民,董淑福,李玉江,占生保
(空军工程大学电讯工程学院,陕西 西安 710077)

摘 要:报道了基于双程后向单级泵浦结构的宽带 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤超荧光光源的实验研究结果。采用 980nm泵浦源,通过优化泵浦功率和光纤长度,在波长 1550nm处,实验仅用 1m Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤获得了 30.8mW的超荧光输出,泵浦斜效率为 28%,光谱 3dB带宽为 35nm。

关键词:超荧光光纤光源;双程后向泵浦; Er^{3+}/Yb^{3+}共掺光纤;光纤陀螺
中图分类号: TN253; TN256 **文献标识码**: A

Experimental Study on the Double-cladding Er^{3+}/Yb^{3+} Co-doped Superfluorescent Fiber Source

SHI Lei, ZHAO Shang-hong, YU Kan-min, DONG Shu-fu, LI Yu-jiang, ZHAN Sheng-bao
(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: The experimental results of a wideband Er^{3+}/Yb^{3+} co-doped superfluorescent fiber source based on double-backward single pumping configuration have been reported. By using 980 nm pump source and optimizing the pump power as well as fiber length, an output of 30.8 mW, 28% pump slope efficiency and 35 nm 3 dB bandwidth has been achieved at 1550 nm band with only 1m Er^{3+}/Yb^{3+} co-doped fiber.

Key words: superfluorescent fiber source; double-backward pumping; Er^{3+}/Yb^{3+} co-doped fiber; fiber optic gyroscope

1 引 言

高精度的光纤陀螺仪对应用光源的特性有着高标准的要求,即必须是高功率、宽频带和平均波长稳定的光源,以减小或消除由于瑞利后向散射、极化交叉耦合以及光克尔效应引起的相干错误和噪声[1]。单掺铒光纤超荧光光源已经获得了深入的研究[2,3],多种实验结构已被相继提出,有些实验采用双级或多级结构获得了较理想的结果,多达 80nm的带宽[4]和 1W的输出功率[5]已见报道。但是,在掺 Er^{3+}光纤中,高输出功率要求高 Er^{3+}粒子浓度,从而又会因 Er^{3+}粒子聚集而引起浓度猝灭效应[6,7],限制了泵浦光转换效率。采用多级结构可以获得高输出功率,但由于结构复杂、成本较高,不适于实际应用。Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤是国际上正在广泛研究的新型光纤,它相比单掺 Er^{3+}和单掺 Yb^{3+}光纤具有许多优势,如对泵浦源特性要求低,能有效抑制 Er^{3+}粒子浓度猝灭效应以及拥有高泵浦转换效率等[8]。国内文献[9]对此种光纤进行了超荧光光源的研究,但最大输出功率仅为 1mW,斜效率只有 1.08%。本文报道了利用 EY805双包层光纤,采用双程后向结构进行的超荧光光纤光源实验研究结果,在波长 1550nm处,实验仅用 1m Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤获得了 30.8mW的超荧光输出,泵浦斜效率为 28%,光谱 3dB带宽为 35nm。

2 实 验

实验采用单级泵浦双程后向结构(如图 1)。采用加拿大国家光学研究所(NO)生产的 EY805双包层光纤作为传输介质,其纤芯掺杂粒子主要包括: 4.80×10^{19} ions/cm^3 (0.60 wt%)的 Er^{3+}, 3.73×10^{20} ions/cm^3 (4.85wt%)的 Yb^{3+}, 2.07×10^{19} ions/cm^3 (0.11wt%)的 Ge^{4+}和 4.55×10^{21} ions/cm^3 (10.60wt%)的 P^{5+}。纤芯半径和数值孔径分别为 16μm和 0.20,六边形的内包层两平行边之间的距离为

作者简介:石 磊(1980-),男,在读博士生,主要从事光纤超荧光光源及光纤激光器的研究。E-mail: shilei809@163.com.
收稿日期: 2005-06-14

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

200μm,低折射率外包层的数值孔径为 0.35。在 976 nm处的泵浦吸收系数为 4.86dB/m,1100 nm处的背景损耗小于 18.2dB/km。

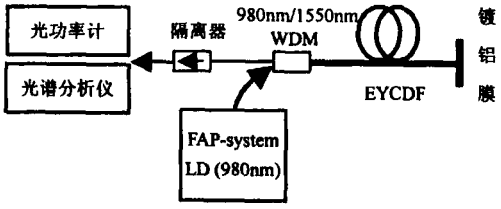


图 1 双程反向结构的铒镱共掺双包层光纤超荧光光源

采用 980nm连续波半导体激光器作为泵浦源,其中心波长为 976nm,最大输出功率 11W,用 980nm/1550nm的耦合器 (WDM)将泵浦光耦合入 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤,Er^{3+}/Yb^{3+}光纤的另一端经研磨处理及镀铝膜后,形成对 980nm、1550nm光均反射的反射端面,反射率大于 90%。由于超荧光光纤光源产生的非相干光无方向性,因此会受到输出端反射泵浦光的影响,从而引起功率的不稳定,致使噪声增加,为此在输出端放置与偏振无关的光隔离器,以消除出射光中残留泵浦光的影响。光隔离器的带宽为 1535～1565nm,隔离度为 45dB,插入损耗为 0.2dB。输出功率用光功率计测量,采用安立公司生产的 MS9710B光谱分析仪 (0.6～1.75 μm)分析超荧光光谱。由于在实验过程中采用了光纤和光纤器件直接熔接方案,从而实现了该光源的全光纤化。

3 实验结果及讨论

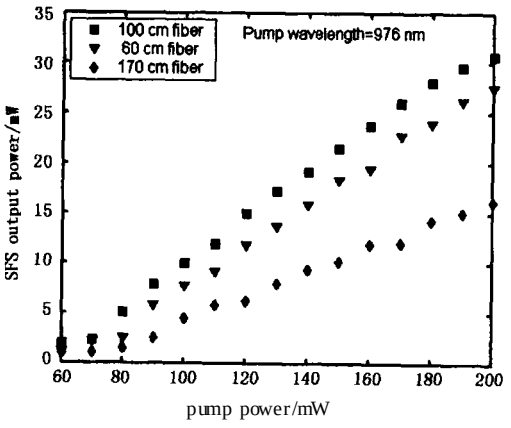


图 2 超荧光输出功率随泵浦功率的变化关系

实验采用了三根不同长度的光纤,分别为 60cm、100cm和 170cm。用水浴恒温装置控制光纤工作温度为 25℃。超荧光输出功率与泵浦功率的关系如图 2所示。从图中可以看出,100cm长度的光纤具有最佳的性能,而 170cm长度的光纤显然始终处于非饱和泵浦状态。60cm和 100cm两根光纤产生超荧光的泵浦阈值几乎都为 60mW,对应的输出功率分别为 2.47mW和 1.80mW。超过泵浦阈值以后,随着泵浦功率的增加,输出荧光功率随之增加,二者几乎成线性变化,这与我们进行的理论分析结果一致[10]。当泵浦功率达到 200mW时,100cm光纤获得了最大的信号输出 30.8mW。对于 100cm的光纤,考虑到耦合损耗、插入隔离器损耗以及少量的泵浦光残留,超荧光输出斜效率为 28%。

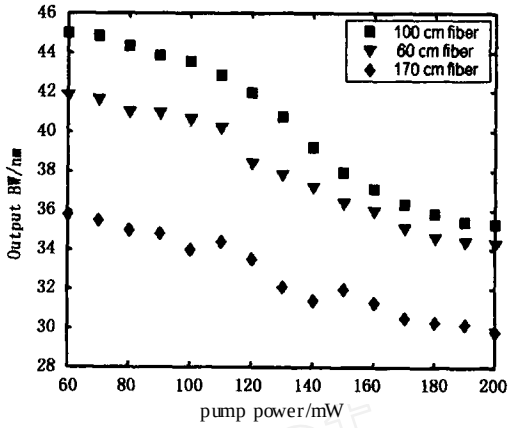


图 3 超荧光输出光谱带宽随泵浦功率的变化关系

在不同功率的泵浦光泵浦下,测量超荧光输出的光谱特性曲线发现,随着超荧光输出功率的增加,其 3dB带宽将逐渐减小 (如图 3)。对于 100cm长度的光纤,当泵浦功率为 60mW时,获得了高达 45nm的带宽,但此时输出功率最小;当泵浦功率达到 200mW时,输出功率最大,而带宽减小到 35.5nm。这是由于增益介质的均匀展宽特性使得超荧光光谱的带宽随着输出功率的增加而减小。因此,必须根据实际应用对光源功率和谱宽的具体需求来优化泵浦功率的大小。

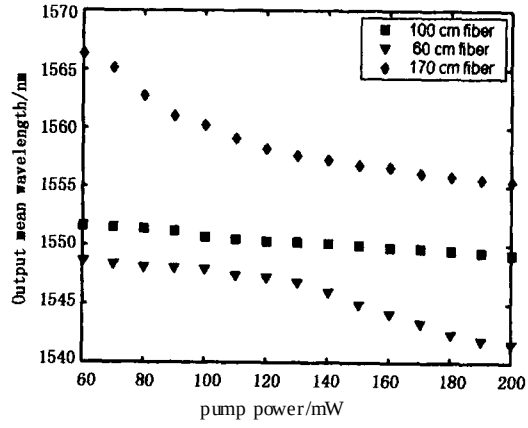
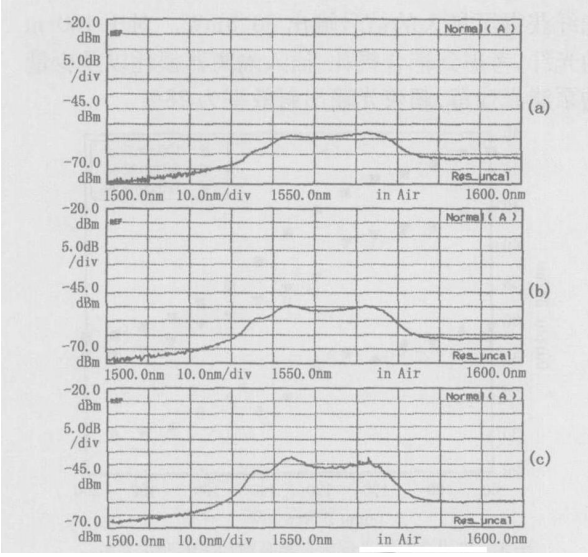


图 4 超荧光平均波长随泵浦功率的变化关系

图 4反映了平均波长 λ_m 随泵浦功率的变化关系。随着泵浦功率的增加,平均波长逐渐减小。相比其它两种长度的光纤,100cm光纤的输出平均波长非常接近通信窗口 1550nm,并且表现出了平均波长 λ_m 不依赖于泵浦功率的高稳定性。它在 100～160mW范围内,$\frac{1}{\lambda_m}\left|\frac{d\lambda_m}{dP_P}\right| \le 2$ppm/mW。如果能进一

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

步提高泵浦源的稳定性、减少环境对系统的影响,超荧光平均波长随泵浦功率的变化几乎可以减少到0。



(a) 10A; (b) 11A; (c) 12A

图 5 不同电流泵浦下超荧光输出光谱

根据数值模拟[11]和前文进行的实验数据分析结果可以确定,对于 EY805型双包层光纤,实现超荧光光源的最佳光纤长度在 100cm左右。图 5是用光谱分析仪测得的 100cm光纤在不同泵浦电流下的输出荧光谱。当泵浦电流控制在较低范围时,输出功率不高,但光谱非常平坦;随着泵浦电流的增加,1.53μm处的发射光逐渐增强,荧光谱出现了非常明显的双峰结构,导致带宽变窄,输出平均波长向短波长方向移动;如图 5(c)所示,当电流增加到 12A时,不仅光谱双峰结构明显,而且在 1563.596nm处出现了极窄的尖峰结构。分析表明,这种结构的出现是由于隔离器及光纤输出端面的缺陷致使残留泵浦光反射回光纤内产生了激光振荡,出现的激光波长与我们用该型光纤进行的激光器研究结果一致[11]。

4 结 论

在传统的掺铒光纤中加入 Yb^{3+},利用 Yb^{3+}宽带强吸收的特性(800～1100nm)以及 $Yb^{3+}\rightarrow Er^{3+}$能量转移过程,为 Er^{3+}提供一种更加高效的间接泵浦方式,Yb^{3+}作为敏化剂,很大程度上避免了 Er^{3+}浓度猝灭效应,提高了泵浦能量利用率。利用从加拿大进口的 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤,采用双程后向单级泵浦结构,通过优化泵浦功率和光纤长度,在波长 1550nm处,实验仅用 1m Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤就获得了 30.8mW的超荧光输出,泵浦斜效率为 28%,光谱 3dB带宽为 35nm,据了解,这个功率是国内目前利用 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤获得的最大的超荧光输出。实验中发现,在超荧光光源的输出端加光隔离器可以较有效地防止光源形成激光,但当泵浦功率增加到一定程度时(例如:对 100cm的光纤,泵浦极限为 200 mW),总会出现激光。另外需要指出的是该实验采用的 EY805光纤 Yb^{3+}、Er^{3+}粒子浓度比例仅为 7.5∶1,如果进一步提高光纤掺杂浓度,使该比例提高到 10倍以上,那么泵浦转换效率将大大增加;同时,若实验采用双级结构或光纤放大器技术,宽带光源的超荧光输出功率将是现在的 3～4倍,从而利用 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺双包层光纤能够实现真正的大功率宽带超荧光光源。

参考文献:

[1] P R Morkel, R I Laming, D N Payne. Noise characteristics of high-power doped-fiber superluminescent sources[J]. Electronics Letters, 1990, 26(3): 96 - 97.

[2] G P Hee, D Michel, K Gordon. Er-doped superfluorescent fiber source with a ±0.5-ppm long-term mean-wavelength stability[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(12): 3427 - 3433.

[3] D Guillaumond, J-P Meunier. Comparison of two flattening techniques on a double-pass erbium-doped superfluorescent fiber source for fiber-optic gyroscope[J]. IEEE Journal on Selected Topics in Quantum electronics, 2001, 7(1): 17 - 21.

[4] Y Sun, J W Sulhoff, A K Srivastava, et al. 80nm ultra-wideband erbium-doped silica fiber amplifier[J]. Electronics Letters, 1997, 33(23): 1965 - 1967.

[5] S G Grubb, D J DiGiovanni, J R Simpson, et al. Ultrahigh power diode-pumped 1.5μm fiber amplifiers[A]. OFC'96 Technical Digest, 1996, 2: TuG4.

[6] M Federighi, F D Pasquale. The effect of pair-induced energy transfer on the performance of silica waveguide amplifiers with Er^{3+}/Yb^{3+} concentrations[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1995, 7(3): 303 - 305.

[7] 占生保,赵尚弘,董淑福,等. Er^{3+}/Yb^{3+}共掺光纤激光器中能量上转换的抑制[J]. 激光与红外, 2002, 32(6): 400 - 403.

[8] S F Dong, S H Zhao, S B Zhan, et al. Operation principles and numerical analysis of double-cladding erbium-ytterbium co-doped optical fiber amplifiers[A]. Proc. of SPIE, China, 2002, 4914: 28 - 36.

[9] 李军,郭玉彬,王天枢,等. 一种高掺 Yb短光纤超荧光光源[J]. 光电子·激光, 2003, 14(12): 1303 - 1306.

[10] S H Zhao, L Shi, S F Dong, et al. Theoretical analysis of the double-cladding erbium-ytterbium co-doped wideband superfluorescent fiber source in double-pass forward configuration[A]. Proc. of SPIE, China, 2004, 5628: 85 - 93.

[11] 占生保,赵尚弘,董淑福,等. 双包层 Er^{3+}/Yb^{3+}共掺光纤激光器的实验研究[J]. 激光技术, 2003, 27(6): 606 - 608.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net