

包层泵浦的 L 波段 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺光纤激光器*

张书敏^{1,2} 王健¹ 董法杰¹ 吕福云¹ 王宏杰¹ 董孝义¹

(1 南开大学物理科学学院, 天津 300071)

(2 河北师范大学物理学院, 石家庄 050016)

摘要 报道了一种工作波长在 L 波段的包层泵浦 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺光纤环形激光器. 环形腔内的激光工作介质为一段 9 m 长的 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺高掺杂光纤. 利用 6 个 976 nm LD 同时抽运前段 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺双包层光纤产生的放大自发辐射谱作二次抽运源, 使腔内增益谱由 C 波段移到 L 波段, 实现了 L 波段光纤激光器的稳定输出; 采用包层泵浦技术, 在抽运功率为 3594.5 mW 时, 测得泵浦入纤功率为 2731.8 mW, 实现了输出连续功率最大 518.4 mW, 斜率效率达到 19% 的激光输出; 所形成激光的工作波长为 1613.94 nm, 激光光谱的 3 dB 带宽为 1.5 nm, 边模抑制比接近于 50 dB.

关键词 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺双包层光纤; 包层泵浦; L 波段

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

随着大容量光纤通信网的快速发展, 以及常规的 C 波段复用技术的不断成熟与商用化, L 波段的波分复用技术及相关器件的研究逐渐受到青睐^[1,2]. 其中, 因掺铒光纤激光器工作在光通信窗口且能够提供较好的输出信号, 故多数研究仅限于 L 波段掺铒光纤激光器上^[3]. 但该类激光器输出功率较低, 因而大大限制了其广泛应用.

近年来, 随着光纤耦合技术及双包层光纤制造技术日趋成熟, 包层泵浦光纤激光技术为高功率光纤激光技术的产生和放大提供了一条有效途径. $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺双包层光纤 (EYDF) 利用 Yb 离子对 980 nm 波长的强吸收特性来克服 Er 离子的低吸收效率, Yb 离子吸收泵浦能量后, 相邻的 Er^{3+} 和 Yb^{3+} 之间的交叉弛豫使 Yb^{3+} 离子的吸收能量转移到 Er^{3+} 离子上, 而产生 1550 nm 左右的光通信激光波长, 加上包层泵浦技术可实现高的泵浦耦合效率和转换效率, 可大大提高输出功率. 国际和国内对工作在 C 波段的高效、高功率包层泵浦 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 共掺双包层光纤激光器 (EYDFL) 已有研究^[4-6], 但 L 波段的 EYDFL 的实验还未见报道.

本文在环形腔内采用二次抽运方式, 降低了对抽运源功率的要求, 实现了 L 波段光纤激光器的稳定运转; 采用多个 LD 包层泵浦 EYDF, 提高了激光输出功率及斜率效率; 利用具有封闭式波导结构的

环形腔结构, 增加了激光器输出的稳定性.

1 实验装置

实验装置如图 1. 环形腔由一段 9 m 长的 EYDF、偏振无关光隔离器 (PI-ISO)、偏振控制器 (PC) 及耦合比为 80:20 的输出耦合器 (coupler) 组成. 其中, PI-ISO 的作用是使光在环形腔内单向传输, 这样就避免了两个不同方向的光在腔内传输时引起的模式竞争; PC 的作用是用于控制光的偏振态; 所选用的 EYDF 具有梅花型的内包层结构, 数值孔径为 0.43, 平均直径为 125 μm , 纤芯的数值孔径为 0.15, 其中 Er^{3+} 在 1535 nm 处的峰值吸收系数为 39 dB/m, Yb^{3+} 在 915 nm 处的峰值吸收系数为 389 dB/m. 该 EYDF 与一个拉锥光纤束 (TFB) 相连, 该 TFB 由 6 根独立的多模光纤和 1 根单模光纤组成, 为了产生高功率的激光输出, 采用 976 nm 处的 6 个多模 LD 同时抽运 TFB 的 6 根多模输入光纤 (多模光纤的数值孔径均为 0.22), 这 6 个 LD 总的最大输出功率为 3594.5 mW. TFB 及 EYDF 两侧的单模光纤分别与 PI-ISO 和 PC 相连, 构成一具有封闭式波导结构的环形光纤激光器. 形成的激光经由一个 80:20 输出

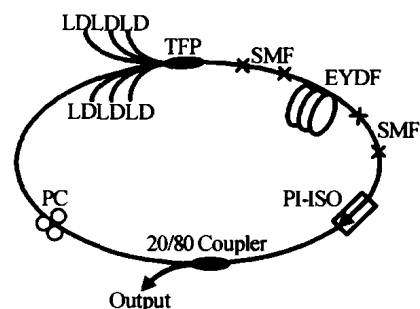


图 1 L-波段环形腔光纤激光器结构

Fig. 1 Experimental setup of L-band $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ -doped fiber ring laser

*天津市科技攻关项目 (No. 03183611)、国家自然科学基金重点项目 (No. 60137010) 和河北省教育厅科研计划课题 (2001241)

Tel: 022-23509856 Email: zhangsm_sd@eyou.com

收稿日期: 2004-03-15

耦合器的 20% 端输出, 通过一分束镜后采用 MS9001B1 型光谱分析仪观测输出激光的光谱特性, 同时用 LP-3A 型功率计监测其功率.

2 实验结果及分析

实验开始, 首先采用一个 LD 去抽运 TFB 的一小段 10 cm 长与之相应的多模光纤, 对泵浦入纤功率进行测量. 图 2 给出了利用 6 个 LD 分别对 TFB 上 6 段相应的 10 cm 长的多模光纤 (来自于 TFB 上 6 根独立的多模光纤) 进行测量后, 所得到的总泵浦入纤功率随总的泵浦功率的关系变化曲线. 从图中可以看出, 当抽运功率为 3594.5 mW 时, 泵浦入纤功率最大可达 2731.8 mW. 图 3 为在不同的抽运功率下, 光纤激光器的自发辐射谱 (图 3(a)) 及激光光谱图 (图 3(b)). 从图 3 可以看出, 当抽运功率达不

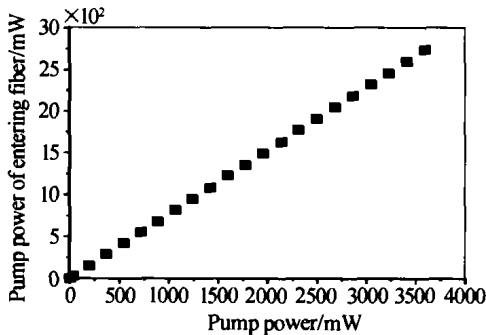
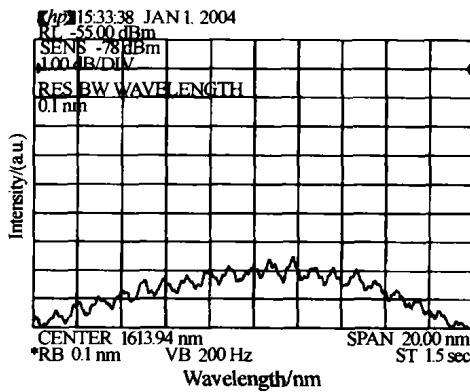
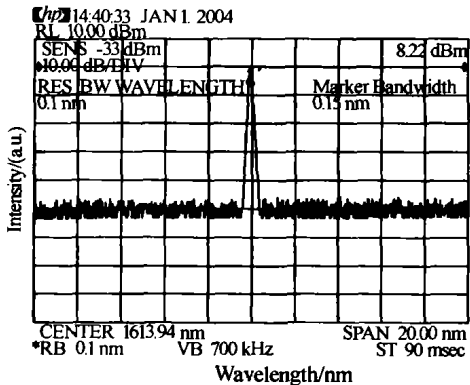


图 2 泵浦入纤功率随泵浦功率的关系变化曲线
Fig. 2 Pump power of entering fiber versus pump power



(a) $P_m = 19.67 \text{ mW}$



(b) $P_m = 48.20 \text{ mW}$

图 3 不同泵浦功率下激光器的输光谱图
Fig. 3 Output optical spectra of fiber laser operating at different pump power

到激光阈值时, 它表现为自发辐射的荧光; 随着泵浦功率逐渐增加到阈值以上, 某一模式将满足起振条件逐渐形成激光输出. 激光器输出的激光光谱的 3dB 线宽为 0.15 nm, 边模抑制比接近于 50 dB. 从图 3 还可以看出, 该激光器的工作波长为 1613.94 nm, 即工作在 L 波段. 对此我们可以这样理解, 当在谐振腔内利用 6 个 976nm 的 LD 对 EYDF 进行包层泵浦时, 由于 EYDF 掺杂浓度较高, 加之我们所选用的光纤长度较长, 因而光纤存在一段未泵浦的光纤, 利用 EYDF 在常规波段的 ASE 对该段未泵浦的 EYDF 进行二次抽运, 就可将 EYDF 增益谱的位置移到 L 波段. 需要说明的是, 尽管对于工作在 L 波段的放大器来说, 所要求的 EYDF 的长度较长, 但对于构成谐振腔的激光器来说, 由于光在腔内形成振荡, 所以我们仅采用 9 m 长的 EYDF 即可使其工作在 L 波段. 图 4 为两次扫描间隔为 1 min, 共 14 次扫描的激光光谱图. 从图中可以看出, 输出激光的稳定性很好. 通过实验还可以看出, 只要适当调节 PC 的位置, 就可使该激光器输出稳定的激光, 不会出现边模和跳模现象.

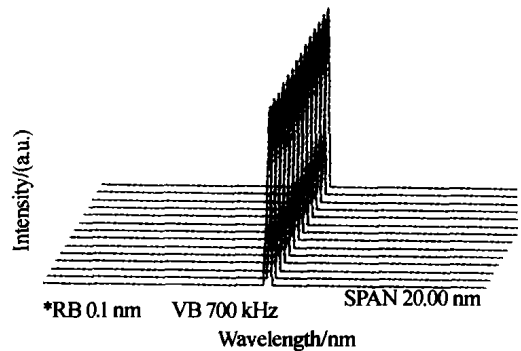


图 4 扫描间隔为 1 min, 共 14 次扫描的激光光谱图
Fig. 4 14 times repeated scans of output laser with 1 minute interval

图 5 给出了激光输出功率随入纤泵浦功率变化的拟和曲线. 从图中可以看出, 由于采用包层泵浦方式, 在最大泵浦入纤功率为 2731.8 mW 时, 激光输出功率最大可达 518.4 mW, 激光器的斜率效率达到 19%. 从文献 [7] 可知, 同 C 波段环形光纤激

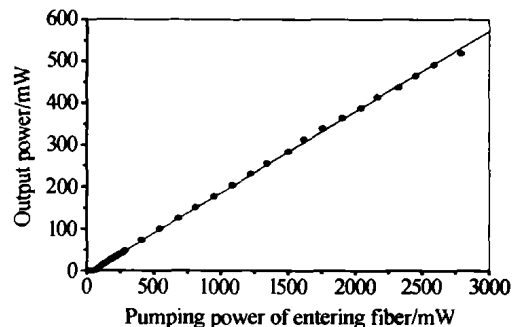


图 5 激光器输出特性曲线
Fig. 5 Output power of the laser as a function of pump power of entering fiber

光器相似,工作在 L 波段的环形光纤激光器也存在一最佳输出耦合比,且此最佳值与光纤长度及泵光强度有关,当采用最佳耦合比的输出耦合器进行激光输出时,激光器的激光输出功率还可以进一步提高^[7].

4 结论

利用较长的 EYDF 做增益介质,采用多个 LD 同时对该光纤进行包层泵浦,实现了具有较高输出功率和较大斜率效率的 L 波段 Er/Yb 共掺光纤激光器的稳定运转. 若对该激光器加入适当的波长选择器件,则可获得可调谐的激光器件,采用该类激光器有望进一步提高掺铒光纤激光器的性能,从而代替半导体激光器成为光通信系统的主要光源.

参考文献

- 1 Buxens A, Poulsen H N, Clausen A T, *et al.* Gain flattened L-band EDFA based on upgraded C-band EYYDF using forward ASE pumping in an EDF section. *Electron Lett*, 2000, **36**(9): 821 ~ 823
- 2 Mao Q, John W Y Lit. Optical bistability in an L-band dual-wavelength Erbium-doped fiber laser with overlapping cavities. *IEEE Photon Technol Lett*, 2002, **14**(9): 1252 ~ 1254
- 3 杨石泉,赵春柳,袁树忠,等. L 波段线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器. *光学学报*, 2002, **22**(6): 706 ~ 708
Yang S Q, Zhao C L, Yuan S Z, *et al.* *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(6): 706 ~ 708
- 4 Johan N S, Shaif-UL A, Jose A, *et al.* High-power and tunable operation of Erbium-Ytterbium co-doped cladding-pumped fiber lasers. *IEEE J Quantum Electron*, 2003, **39**(8): 987 ~ 994
- 5 占生宝,赵尚弘,董淑福,等. 双包层 Er³⁺/Yb³⁺ 共掺光纤激光器动态特性的分析. *光子学报*, 2004, **33**(4): 409 ~ 411
Zhan S B, Zhao S H, Dong S F, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(4): 409 ~ 411
- 6 王屹山,郑瑶雷,沈华,等. 包层泵浦的铒镱共掺光纤激光高效产生的实验研究. *光子学报*, 2003, **32**(9): 1025 ~ 1027
Wang Y S, Zheng Y L, Shen H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1025 ~ 1027
- 7 杨石泉,赵春柳,蒙红云,等. 工作在 L 波段的可调谐环形腔掺铒光纤激光器. *中国激光*, 2002, **29**(8): 677 ~ 679
Yang S Q, Zhao C L, Meng H Y, *et al.* *Chinese Journal of Lasers*, 2002, **29**(8): 677 ~ 679

Cladding Pumped Erbium-ytterbium Co-doped Double Clad Fiber Ring Laser Operating in L-band

Zhang Shumin^{1,2}, Wang Jian¹, Dong Fajie¹, Lu Fuyun¹, Wang Hongjie¹, Dong Xiaoyi¹

¹ Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071

² Department of Physics, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016

Received date: 2004-03-15

Abstract A cladding pumped Er/Yb co-doped double clad fiber ring laser operating in L-band is demonstrated. A 9-m-long Er³⁺/Yb³⁺ co-doped fiber (EYDF) is used as the gain medium, and six diode lasers are used to cladding pump EYDF, by utilizing amplified spontaneous emission as a secondary pump source, the laser can operate in L-band stably. When the pumping power is 3594.5 mW, the pump power of entering fiber is measured to be 2731.8 mW and the maximum output power obtained is 518.4 mW, the slope efficiency is 19%. The laser output wavelength is 1613.94 nm, the 3 dB band width is 0.15 nm, and the side mode suppression ratio is about 50 dB.

Keywords Erbium-ytterbium Co-doped double clad fiber; Cladding pumping; L-band



Zhang Shumin was born in 1965. She received her B. S. degree from Hebei Normal University in 1987 and M. S. degree from South China Normal University in 2000, respectively. Now, she is a Ph. D. candidate at Institute of Physics, Nankai University. Her current research interests include optical pulse compression in fibers and fiber laser.