

文章编号: 0253-2239(2004)07-929-3

一种结构新颖的 L 波段掺铒光纤激光器*

张 昊 于 岭 杨石泉 刘艳格 刘丽辉 肖纯贤 熊凌云 袁树忠 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 提出了一种结构新颖的 L 波段环形腔掺铒光纤激光器。用掺铒光纤作为增益介质, 采用 980 nm 激光器作为前向抽运源, 利用起偏器和偏振控制器获得 L 波段激光, 利用光环形器将后向的放大自发辐射再引入铒光纤的前端, 重复利用。当抽运功率为 103 mW 时得到了阈值功率约为 23.87 mW, 输出功率达 6.34 mW 的激光输出, 斜率效率约为 8.05%, 与没有重复利用后向放大自发辐射谱的掺铒光纤激光器做比较, 该结构对 L 波段掺铒光纤激光器的性能有明显的提升作用。对于长度不合适的铒纤, 在没有重复利用后向放大自发辐射谱时没有获得激光输出; 而在利用后向放大自发辐射后, 在阈值功率约为 88 mW 时得到了激光输出, 从而很好地证明了上述结论。

关键词: 激光器; 后向放大自发辐射; 掺铒光纤激光器; L 波段; 斜率效率

中图分类号: TN253; TN248 文献标识码: A

A Novel Structure L-Band Erbium-Doped Fiber Laser

Zhang Hao Yu Ling Yang Shiquan Liu Yange Liu Lihui Xiao Chunxian

Xiong Lingyun Yuan Shuzhong Dong Xiaoyi

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 19 June 2003; revised 4 September 2003)

Abstract: A novel structure L-band erbium-doped fiber ring laser is demonstrated. The ring cavity is constituted by erbium-doped fiber (EDF) as the gain medium, a 980 nm laser diode as the co-pumping source, a polarizer and a polarization controller as the L-band wavelength selective device. To be recycled, the backward amplified spontaneous emission (ASE) was routed to the input of EDF by an optical circulator. The lasing threshold is approximately 23.87 mW, the output laser power reaches 6.34 mW and the slope efficiency comes up to about 8.05% when pumping power is set to 103 mW. Compared with the laser without utilizing backward ASE, it is apparent that the performance of L-band fiber ring laser has been much improved. When inapposite length EDF was used, no laser output was obtained without utilizing backward ASE; whereas laser with the threshold power of about 88 mW has been achieved with backward ASE compensation. Thus the above conclusion is well proved.

Key words: laser; backward amplified spontaneous emission; erbium-doped fiber laser; L-band; slope efficiency

1 引 言

由于掺铒光纤在 1550 nm 波段有着优良的增益性能, 近年来掺铒光纤放大器和激光器成为许多研究的关注焦点^[1~3]。而随着高速、大容量光纤通

信网络的发展, 长距离光纤传输系统对通信容量的需求不断增长。为了满足未来密集波分复用系统 (DWDM) 的日益膨胀的容量需求, 传统 C 波段 (1530~1560 nm) 的有关研究也逐渐地延伸到 L 波段 (1570~1610 nm)^[4]。而 L 波段激光器作为 L 波段通信用光源的研究也逐渐成为光纤激光器的研究热点^[5]。由于 L 波段远离硅基掺铒光纤的主发射峰 (1530 nm), 增益系数通常为 C 波段增益系数的

* 天津市自然科学基金 (013800411) 资助课题。

E-mail: zh_h@eyou.com

收稿日期: 2003-06-19; 收到修改稿日期: 2003-09-04

1/10 左右,因此要获得较大的增益一般就需要较高的抽运功率和使用较长的掺铒光纤^[6]。针对 L 波段增益系数的提高现有的报道中主要采用以下几种方法:通过优化光纤参量可用相对短的掺铒光纤就可以在 L 波段获得较高的增益^[7];利用 C 波段的附加光源同向抽运 L 波段的信号也能起到提高增益的作用^[8,9];但是由于这种方法的代价较高,因此常用的是重复利用 C 波段的放大自发辐射谱(将放大自发辐射谱反射或者循环)的方法在 L 波段得到相对较高的增益^[6,10~12]。本文报道了一种结构简单循环利用反向放大自发辐射的 L 波段环形腔掺铒光纤激光器,与没有重复利用后向放大自发辐射谱的结构相比较,激光的输出功率、斜率效率和阈值功率分别得到了显著的改善。

2 实验装置与原理

我们的 L 波段环形腔掺铒光纤激光器的实验装置如图 1 所示。由一支 980 nm 的激光二极管作为前向抽运源,在实验中使用长约 45 m 掺铒光纤作为增益介质,由于条件的限制,铒纤是由三段铒纤熔接成的。其中包括两段在 979 nm 的吸收效率约为 4 dB/m 和一段长约 13 m、在 980 nm 的吸收效率约为 1.5 dB/m 的铒纤。由起偏器和偏振控制器构成波长选择装置。其工作原理如下^[13]:当由掺铒光纤输出的前向光经过起偏器后变为线偏振光,由于环形腔内的双折射效应和偏振色散,不同波长的光在环形腔内传输一周后其偏振态必然发生变化,而不同波长光再次经过起偏器所发生的偏振损耗与其偏振方向和起偏器偏振方向的夹角有关,夹角越小则偏振损耗越低。这样,如果某个波长的光经过环形腔后所获得的增益能够补偿它的腔内损耗,那么它就可以维持激光输出。由一只 3:7 耦合器作为输出装置,用 ADVANTEST Q8383 型光谱仪监测输出的激光光谱。光环形器则作为循环 C 波段反向

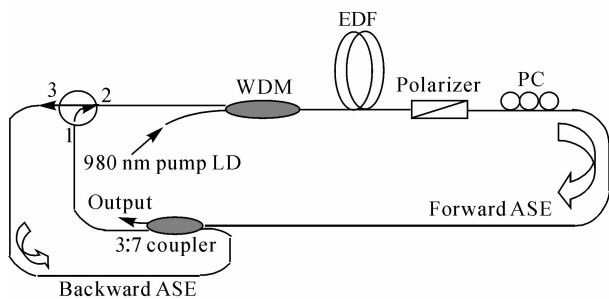


Fig. 1 Schematic diagram of the erbium-doped fiber ring laser

放大自发辐射谱的器件。980 nm 的抽运光经过波分复用器(WDM)和掺铒光纤后可以产生前向和后向的放大自发辐射谱,前向谱经过起偏器、偏振控制器和耦合器进入光环形器的 1 端,由环形器的 2 端输出到波分复用的信号端,这样就形成了前向光循环的一个环形腔激光器。如果将环形器的 3 端与耦合器相连则由波分复用信号端输出的反向放大自发辐射谱将经过光环形器和耦合器加入前向放大自发辐射。由于后向的放大自发辐射谱大部分位于 C 波段可以用作抽运能量提高 L 波段的增益系数和减少有害放大自发辐射所造成的噪声,因此循环利用后必然可以提高 L 波段激光器的性能。

3 实验结果及讨论

实验中研究了有无反向放大自发辐射情况下 L 波段激光器的阈值功率、斜率效率和激光的最大输出功率等性能指标,发现后向放大自发辐射对 L 波段激光器的性能有明显的提高作用。激光的输出功率随激光器的抽运功率关系曲线如图 2 所示。图中的方格点表示利用后向放大自发辐射后激光器的输出功率随抽运功率的变化,而图中的三角点则对应将耦合器和环形器的 3 端断开后的情况,各点均为抽运功率相隔约 5 mW 时用光功率计测得。由图 2 可见在没有后向放大自发辐射补偿的情况下,出现激光时的阈值功率约为 28 mW,斜率效率为 5.895%;当抽运功率为 103 mW 时激光的输出功率约为 4.26 mW。而重复利用后向放大自发辐射的情况下激光的阈值功率降低至约 23.87 mW,斜率效率升高为 8.054%,激光的最大输出功率为 6.34 mW。图 3 表示有无后向放大自发辐射情况下输出激光的光谱图,图中纵坐标为 10 dB 每格。由图中可以看到经过反向放大自发辐射补偿后的激光强

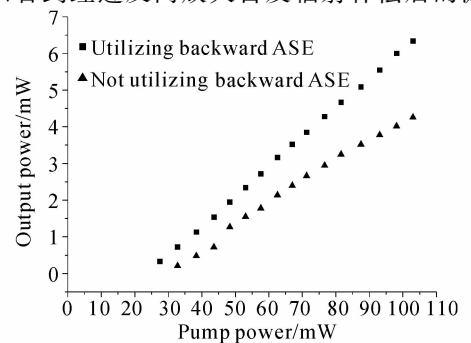


Fig. 2 Output laser power as a function of pump power for ■ utilizing backward ASE, and ▲ not utilizing backward ASE

度提高了 1.5 dB 以上, 激光的线宽小于 0.2 nm, 而且在 L 波段的范围内整个增益谱得到了明显地增强。实验中还发现掺铒光纤的长度选择对于激光器的性能也有显著的影响。图 4 中为约 60 m 掺铒光纤时激光器的输出光谱图, 下面的曲线为没有利用反向放大自发辐射时的光谱。实验中发现在没有反向放大自发辐射作用时, 即使抽运功率为 103 mW, 调节偏振控制器也不能获得激光输出, 也就是说此时的阈值功率至少大于 103 mW。这是由于铒光纤的参量、长度选择不合适使得腔内损耗过大, 环形腔内循环一周所获得的增益不足以补偿损耗所致。当利用后向放大自发辐射后, 可以看到产生了激光输出(此时的激光阈值约为 88 mW), 而且 L 波段范围内的增益谱得到了明显地增强。

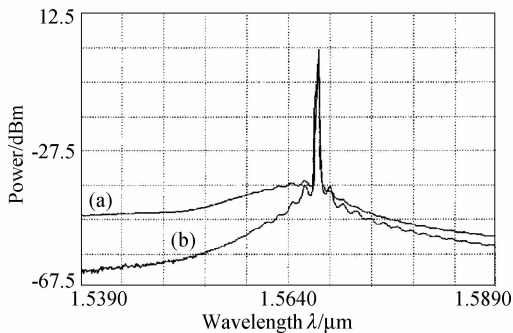


Fig. 3 Output laser enhancement by recycling backward ASE. (a) Utilizing backward ASE, (b) not utilizing backward ASE

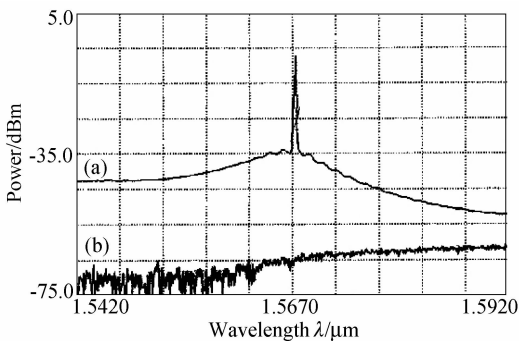


Fig. 4 Output laser spectra at threshold power of (a) 88 mW and (b) higher than 103 mW, respectively

结论 我们报道了一种结构简单的 L 波段环形腔掺铒光纤激光器, 通过光环形器和耦合器结构, 后向放大自发辐射被重复利用, 使得 L 波段激光器的性能有了明显提高(阈值功率降低了 4 mW 以上, 斜率效率提高了约 2.2 个百分点, 激光的最大输出功率增加了 2 mW)。并实验发现对于长度不合适的铒纤, 该结构对于激光器性能的提高也有明显的作用。

值得注意的是铒纤是由三段铒纤熔接成的, 此外由于缺少 L 波段的选频器件, 本文中采用起偏器和偏振控制器作为选频装置, 焊点和器件的增多必然引起腔内损耗的增加, 造成激光器性能的下降, 如果实验条件得到改善可望得到更好的结果。

参 考 文 献

- 1 Zhao Chunliu, Guan Baiou, Dong Xinyong *et al.*. Optical automatic dual-laser gain control EDFA by using double pairs of FBGs. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(4): 417~421 (in Chinese)
- 2 Zhao Chunliu, Ma Ning, Dong Xinyong *et al.*. Wavelength tunable mode-locked fiber ring laser utilized by the dispersion of CFBG. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(7): 822~824 (in Chinese)
- 3 Zhao Chunliu, Ma Ning, Yuanshu Zhong *et al.*. A novel wavelength tunable mode-locked fiber ring laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(4): 509~511 (in Chinese)
- 4 Lee Juhan, Tyu Uh-Chan, Ahn Seong Joon *et al.*. Enhancement of power conversion efficiency for an L-band EDFA with a secondary pumping effect in the unpumped EDF section. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1): 42~44
- 5 Kim Seung Kwan, Chu Moo Jung, Lee Jong Hyun. L-band multi-wavelength erbium-doped fiber laser. *OFC '2001*, paper WDD19-1~19-3
- 6 Oh J M, Choi H B, Lee D. Incorporation of a fiber Bragg grating to improve the efficiency of a 1580-nm-band tunable fiber ring laser. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(8): 589~591
- 7 Hsu Shih, Liang Tsair-Chun, Chen Yung-Kuang. Optimal design of optically gain-clamped L-band erbium-doped fiber amplifier. *Opt. Commun.*, 2001, **196**(1~6): 149~157
- 8 Mahdi M A, Mahamd Adikan F R, Poopalan P *et al.*. Long-wavelength EDFA gain enhancement through 1550 nm band signal injection. *Opt. Commun.*, 2000, **176**(1~3): 125~129
- 9 Mahdi M A, Ahmad H. Low-noise and high-gain L-band EDFA utilising a novel self-generated signal-seeding technique. *Opt. Commun.*, 2001, **195**(1~4): 241~248
- 10 Harun S W, Poopalan P, Ahmad H. Gain enhancement in L-band EDFA through a double-pass technique. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(3): 296~297
- 11 Yang Shiquan, Zhao Chunliu, Meng Hongyun *et al.*. Wavelength tunable erbium-doped fiber ring laser operating in L-band. *Opt. and Quant. Electron.*, 2003, **35**(1): 69~73
- 12 Min Bumki, Yoon Hosung, Lee Won Jae *et al.*. Coupled structure for wide-band EDFA with gain and noise figure improvements from C to L-band ASE injection. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(5): 480~482
- 13 Uri Ghera, Naim Konforti, Moshe Tur. Wavelength tunability in a Nd-doped fiber laser with an intracavity polarizer. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, **4**(1): 4~6