

一种高效率的 L 波段掺铒光纤 ASE 宽带光源*

王秀琳

(集美大学物理系, 厦门 361021)

摘 要 利用双程双向泵浦单级掺铒光纤的结构实现高效率的 L 波段掺铒光纤放大自发辐射输出, 同时选择 1480 nm 半导体激光器作为泵浦源, 高掺杂铒光纤为增益介质, 通过优化铒光纤长度, 获得了在 1566~1604 nm(38 nm), 自发辐射谱功率高于 -16 dBm, 总输出功率 13.7 dBm 的 L 波段掺铒光纤放大自发辐射光源. 该光源结构相比于双程前向泵浦结构的 L 波段掺铒光纤放大自发辐射光源, 其泵浦效率从 11.8% 提高到 23.4%.

关键词 放大自发辐射光源; 掺铒光纤; L 波段

中图分类号 TN212; TN24

文献标识码 A

0 引言

基于掺铒光纤放大自发辐射(简称 ASE)的宽带光源是伴随着掺铒光纤放大器(简称 EDFA)而出现的一种新型光源. 由于 1993 年第一只用于全光放大的 EDFA 的商用, 使得光通信得到迅猛发展, 基于掺铒光纤 ASE 的宽带光源由于它的输出光谱正好与光通信 1.55 μm 波段一致, 并且具有输出光谱稳定、受环境影响小、输出功率高以及易于与光纤系统耦合等众多优点, 已经使它成为密集波分复用系统(简称 DWDM)中光器件(如 EDFA、光纤光栅及其它光无源器件)测试, 光纤传感和光纤陀螺以及接入网中光谱分割多波长光源应用的重要光源而得到了极大的重视和广泛的研究^[1~17]. 目前, DWDM 系统的通信带宽已经从原来的 C 波段(1525~1565 nm)向 L 波段(1565~1605 nm)拓展, 因此, L 波段的 ASE 宽带光源研究日益受到重视^[6~11]. 然而相比于 C 波段 ASE 宽带光源, L 波段 ASE 光源的研究相对较少, 其技术也更不成熟. 本文针对掺铒光纤 ASE 在 L 波段功率较弱, 提出同时利用掺铒光纤两个方向的 ASE(即双程)和利用两个泵浦激光器对掺铒光纤进行两个方向同时泵浦(即双向泵浦)的光源结构来实现高效率 L 波段 ASE 输出. 实验结果表明, 双程双向泵浦结构(DP-BD configuration)比双程前向泵浦结构(DPF configuration)具有更高的泵浦效率.

1 基本原理

图 1 是铒离子能级图, 当掺铒光纤被 980 nm 或 1480 nm 激光泵浦时, 随着泵浦光的加强, 粒子数将

呈反转分布, 高能级原子产生的自发辐射光在光纤中传播时, 不断地受激放大, 形成放大的自发辐射. 如图 1, L 波段 ASE 的形成与 C 波段 ASE 一样, 都是由能级 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 的跃迁产生的. 不同的是, L 波段的 ASE 是由 $^4I_{13/2}$ 和 $^4I_{15/2}$ 主能级的斯塔克分裂能级的低能级之间的跃迁产生的. L 波段 ASE 的形成可以简单概述为: 铒离子吸收 980 nm 或 1480 nm 泵浦激光后首先在铒光纤的前端产生 C 波段的 ASE, 产生的 C 波段的 ASE 再被后端铒光纤吸收, 作为二次泵浦源从而使 ASE 谱位移到 L 波段上形成 L 波段的 ASE 谱. 由于 L 波段放大自发辐射用到的是铒离子增益带的尾部, 其发射和吸收系数都比 C 波段小 3~4 倍. 虽然 L 波段的放大自发辐射系数比 C 波段低得多, 但其增益平坦. 由于低的粒子数分布, 要得到 L 波段的 ASE 需要的掺铒光纤比较长, 约为同样掺杂浓度下形成 C 波段 ASE 的几倍. 这必然增大光纤的吸收损耗和后向放大自发辐射的积累, 降低了泵浦转换效率. 使用高掺杂和低损耗的掺杂光纤, 可以减少所需要的光纤长度, 降低吸收损耗和后向放大自发辐射的积累, 从而提高泵浦转换效率. 此外, 放大自发辐射效率还与泵浦源波长选择有关, 1480 nm 泵浦激光器的量子效率比 980 nm 高^[18], 选择 1480 nm 泵浦激光器更有利

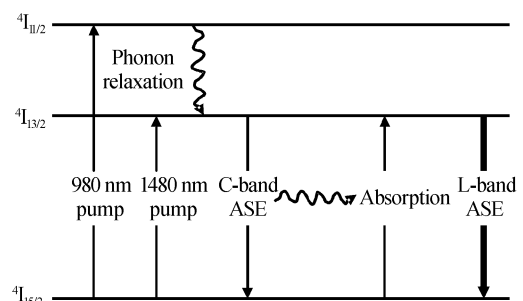


图 1 铒离子能级

Fig. 1 Energy level diagram of Er^{3+} ion

*福建省自然科学基金资助项目 No. A0440009

Tel: 0592-6181890(O) Email: wanxl@jmu.edu.cn

收稿日期: 2004-12-13

于获得高效率的 L 波段 ASE 光源. 因此, 通常同时选择高掺杂铒光纤和 1480 nm 泵浦激光器来获得高效率的 L 波段 ASE 光源.

2 实验与结果

图 2 是双程双向泵浦的 L 波段掺铒光纤 ASE 光源结构. 泵浦源采用日本古河公司的 1480 nm 半导体激光器, 利用一只功率分配器将 1480 nm 激光器的功率分为两部分分别从前向和后向泵浦同一段掺铒光纤, 掺铒光纤采用 Lucent 公司的高掺杂铒光纤, 型号为 LRL-EDF, 其截止波长为 1100~1400 nm, 模场直径为 $5.2 \mu\text{m}$, 1530 nm 波长吸收为 27~33 dB/m, 1200 nm 波长吸收为 10 dB/km. 双程反射镜用一只 3 dB 耦合器简单连接而成, 其反射率在 C 波段和 L 波段上均能达到 95% 以上. 在输出端接上一只隔离器以避免反射形成激光. 实验中用 AN6317B 光谱仪测量输出光谱和输出功率.

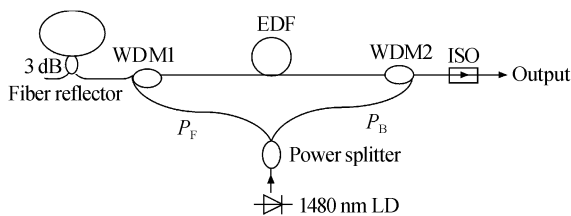


图 2 双程双向泵浦的 L 波段 ASE 光源结构
Fig. 2 Schematic diagram of the DP-BD pumped L-band ASE source

实验时, 首先研究双程前向结构(如图 2, $P_B = 0$ 时)的 L 波段 ASE 光源. 直接将 1480 nm 激光器的输出接到泵浦耦合器 WDM1 的泵浦端, 1480 nm 激光器最大输出功率为 100 mW. 对于确定的泵浦功率, 为了获得平坦度最佳的 L 波段 ASE 谱, EDF 的长度有一个最佳选择(即最佳的反转粒子数密度); 当铒光纤长度较短时, L 波段 ASE 谱的尾部比较低, 此时相当于铒离子的反转粒子数密度稍大; 当增加铒光纤长度时, L 波段 ASE 谱的尾部逐渐抬高, 直到 EDF 的长度选择一个最佳值, 此时输出平坦度最好的 L 波段 ASE 谱; 当继续增加铒光纤长度, 由于泵浦功率不足以产生一定反转粒子数密度, 产生的 ASE 被尾部的铒光纤吸收, 从而导致 ASE 谱功率下降. 实验中分别测量了几种不同掺铒光纤长度的下 ASE 谱. 图 3(a) 为 EDF 长度为 19 m 和 100 mW 功率泵浦下测量得到的 ASE 谱, 从图上可以看出, 在 1565~1607 nm(42 nm), 自发辐射谱功率均高于 -21 dBm, 并且具有很好的光谱平坦度, 此时光谱仪测得该 ASE 谱功率为 10.7 dBm, 相应的泵浦转换效率约为 11.8%.

利用一只功率分配器将 1480 nm 激光器的功率分出一部分(实验中为 50%) 作为后向泵浦(总泵浦功率

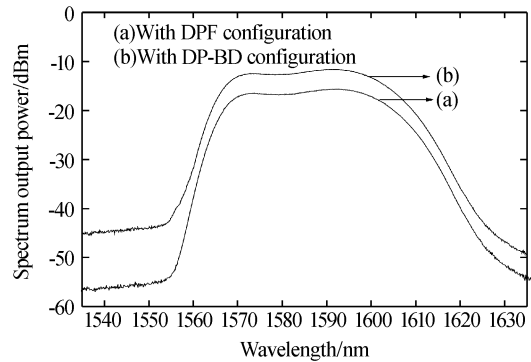


图 3 输出 L 波段 ASE 谱
Fig. 3 Output L-band ASE spectrum

保持为 100 mW), 形成图 2 所示的双向泵浦结构. 从光谱仪测量得到的 ASE 谱可以明显看出, 除了 ASE 谱输出功率变大外, 光谱形状几乎与双程前向结构一样, 如图 3(b), 在 1566~1604 nm(38 nm), 自发辐射谱功率均高于 -16 dBm, 此时的输出功率为 13.7 dBm, 对应的泵浦转换效率为 23.4%. 可见, 双程双向泵浦结构比双程前向结构具有更高的泵浦转换效率.

此外, 还测量了双向泵浦单程情况下输出的 ASE 谱, 即在实验中去掉图 2 所示的双程反射镜, 实验中测量到的 ASE 输出光谱比较弱, 而且光谱并未完全转移到 L 波段上. 也就是说, 在单程情况下, 需要更长的掺铒光纤来获得光谱平坦的 L 波段 ASE 谱, 而且泵浦转换效率也较低. 一般来说, 在 L 波段的 ASE 光源设计中, 普遍采用的是双程结构.

3 结论

本文从实验上分别研究了双程前向泵浦结构和双程双向泵浦结构的 L 波段 ASE 光源, 实验表明双程双向泵浦结构比双程前向泵浦结构具有更高的泵浦转换效率. 在 100 mW 的泵浦功率下, 获得了 13.7 dBm 的 L 波段 ASE 输出, 在 1566~1604 nm(38 nm), 自发辐射谱功率均高于 -16 dBm, 对应的泵浦转换效率为 23.4%.

致谢: 感谢厦门大学电子工程系黄文财博士在实验上的帮助.

参考文献

- 1 Lee J S, Chung Y C, Digiovanni D J. Spectrum-sliced fiber amplifier light source for multichannel WDM applications. *IEEE Photon Technol Lett*, 1993, **5**(12): 1458~1461
- 2 Wysocki P F, Digonnet M J F, Kim B Y, et al. Characteristics of erbium-doped superfluorescent fiber sources for interferometric sensor applications. *IEEE J Lightwave Technol*, 1994, **12**(3): 550~567
- 3 Yang B, Ming H, Guo Y, et al. Flattening spectrum of a broadband and wavelength stable erbium doped

- superfluorescent fiber source. *Chin Phys Lett*, 1999, **16**(5):356~357
- 4 沈林放, 钱景仁. 高稳定宽频带掺铒光纤超荧光光源. *光学学报*, 2001, **21**(3):300~304
Shen L F, Qian J R. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(3):300~304
 - 5 钱景仁, 陈登鹏, 沈林放. 前向抽运双级双程掺铒光纤宽带光源. *中国激光*, 2001, **28**(12):1075~1078
Qian J R, Chen D P, Shen L F. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, **28**(12):1075~1078
 - 6 Lee J H, Ryu U C, Park N. Passive erbium-doped fiber seed photon generator for high power Er^{3+} -doped fiber fluorescent sources with an 80 nm bandwidth. *Opt Lett*, 1999, **24**(5):279~281
 - 7 Espindola R P, Ales G, Park J, et al. 80 nm spectrally flattened high power erbium amplified spontaneous emission fiber source. *Electron Lett*, 2000, **36**(15):1263~1265
 - 8 Tsai S C, Lee C N M, Hsu S, et al. Characteristic comparison of single-pumped L-band erbium-doped fiber amplified spontaneous emission sources. *Optical and Quantum Electronics*, 2002, **34**(11):1111~1117
 - 9 Huang W C, Tam H Y, Wai P K A, et al. A novel conventional/long-band erbium-doped fibre amplified spontaneous emission source with 80 nm bandwidth. *Chin Phys Lett*, 2002, **19**(9):1307~1308
 - 10 Huang W C, Ming H, Xie J P, et al. High efficiency broad bandwidth erbium-doped superfluorescent fiber source. *Chinese Optics Letters*, 2003, **1**(6):311~313
 - 11 黄文财, 明海, 谢建平, 等. L 波段掺铒光纤超荧光光源和放大器研究. *光电工程*, 2002, **29**(6):50~52
Huang W C, Ming H, Xie J P, et al. *Opto-Electronic Engineering*, 2002, **29**(6):50~52
 - 12 范小波, 郝素君, 陈志勋. 基于双程反向结构的掺铒超荧光光纤光源. *光纤与电缆及其应用技术*, 2002, **3**(3):29~31
Fan X B, Hao S J, Chen Z X. *Optical Fiber & Electric Cable*, 2002, **3**(3):29~31
 - 13 邢丽峰, 肖瑞, 冯莹. 双程后向结构掺铒光纤超荧光光源研究. *激光技术*, 2004, **28**(2):221~224
Xing L F, Xiao R, Feng Y. *Laser Technology*, 2004, **28**(2):221~224
 - 14 陈胜平, 吕可诚, 李乙钢, 等. 大功率高效率掺铒超荧光光纤光源及应用. *光子学报*, 2004, **33**(1):17~20
Chen S P, Lu K C, Li Y G, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1):17~20
 - 15 Chen S P, Lu K C, Li Y G, et al. Experimental research on erbium-doped superfluorescent fiber sources. *Semiconductor Photonics and Technology*, 2004, **10**(2):122~126
 - 16 乔启全, 陈柏, 陈嘉琳, 等. 用于光纤光栅制作的监控光源掺 Yb^{3+} 超荧光光源的研究. *光子学报*, 2003, **32**(1):1~4
Qiao Q Q, Chen B, Chen J L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1):1~4
 - 17 郭小东, 乔学光, 贾振安, 等. 一种高功率掺铒光纤超荧光光源. *光子学报*, 2004, **33**(11):1298~1300
Guo X D, Qiao X G, Jia Z A, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11):1298~1300
 - 18 Flood F A. L-band Erbium-doped fiber amplifiers. *Proc of OFC*, 2000, Paper WG1~2

A High Efficiency L-band Erbium Doped Fiber ASE Broadband Light Source

Wang Xiulin

Department of Physics, Jimei University, Xiamen 361021

Received date: 2004-12-13

Abstract A double-pass bi-directional (DP-BD) pump configuration is proposed for the high efficiency L-band ASE. A L-band ASE of 13.7 dBm output power and 38 nm bandwidth of 1566~1604 nm where the ASE power intensity is higher than -16 dBm is obtained by selecting 1480 nm LD and heavily doped erbium fiber with optimized length simultaneously. The DP-BD ASE source has a pump conversion efficiency of 23.4% which is larger than that by double-pass forward (DPF) configuration of 11.8%.

Keywords Amplified Spontaneous Emission (ASE); Erbium-Doped Fiber (EDF); L-band



Wang Xiulin was born in Fujian, China, 1974. She received her B. A. Sc. in physics and M. Sc. in optics from Fujian Teacher University in 1997 and 2000, respectively. Now she is a lecturer of Jimei University. Her current research fields are on fiber optics, devices and biomedicine optics.