

# 新颖的双通道输出高功率掺铒光纤宽带光源\*

王秀琳<sup>1</sup> 黄文财<sup>2, \*\*</sup>

(1 集美大学物理系, 厦门 361021)

(2 厦门大学电子工程系, 厦门 361005)

**摘 要** 在分析 L 波段放大自发辐射(ASE)谱产生原理的基础上,设计一种新颖的双级结构掺铒光纤 ASE 宽带光源,该光源可在两个端口分别输出高功率的 C 波段和 L 波段的 ASE 谱.设计将 C 波段 ASE 谱注入到掺铒光纤中作为 L 波段 ASE 谱的二次抽运源,使得 L 波段 ASE 谱功率得到了有效提高.优化光源结构参量后从两个端口分别获得了 12.97 dBm 和 12.81 dBm 的 C 波段和 L 波段 ASE 宽带谱.将两个输出端口组合得到了功率为 15.9 dBm,泵浦转换效率达到 21.6% 的 C+L 波段超宽带 ASE 光源.

**关键词** C 波段;L 波段;掺铒光纤;放大自发辐射光源;宽带光源

**中图分类号** TN212; TN24 **文献标识码** A **文章编号** 1004-4213(2007)01-0124-4

## 0 引言

非相干宽带光源在光纤传感、光纤陀螺以及波分复用通信系统中器件的测试与分析中得到了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>.目前商用的宽带光源多为超辐射发光二级管(SLD),但因其使用寿命较短,波长稳定性差,输出功率低,并且空间相干性差,与单模光纤耦合困难等众多缺点,从而限制了它的应用.随着稀土掺杂光纤技术的日趋成熟,以及抽运方式的快速发展,基于稀土掺杂光纤放大自发辐射(ASE)的宽带光源逐渐取代了 SLD,成为密集波分复用系统中光器件(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.

经过十几年的研究,掺铒光纤 ASE 宽带光源研究获得了巨大的进展<sup>[3-16]</sup>.目前,C 波段的 ASE 宽带光源的相关研究和产品已经相当成熟.同时,L 波段的宽带光源以及 C+L 波段的超宽带光源的研究也取得很大的进展<sup>[12-16]</sup>,如 J. H. Lee 和 R. P. Espindola 相继报道了 80 nm 带宽的 ASE 光源<sup>[12,14]</sup>,中国科大明海教授研究小组报道了利用单级掺铒光纤来获得带宽为 80 nm 的 ASE 宽带光源<sup>[15-16]</sup>.近年来,波分复用无源光网络(WDM-PON)系统发展很快,在 WDM-PON 系统的双向传输中也需要 C 波段和 L 波段的高功率宽带光源<sup>[17-18]</sup>,而通常采用的是两个独立的 C 波段和 L 波段的宽带光源以满足系统要求,但这必将给系统增

加成本和使系统变得更加庞大.

本文报道一种利用双级结构实现 C 波段和 L 波段双通道输出的高功率掺铒光纤宽带光源.该光源的优点是通过将 C 波段的 ASE 注入到掺铒光纤中作为 L 波段 ASE 的二次抽运源,使得 L 波段 ASE 谱功率得到有效的提高,从而获得 L 波段与 C 波段 ASE 功率近乎相当的双通道 ASE 输出.双通道输出的 ASE 宽带光源非常适合应用于 WDM-PON 系统中.同时,还可以通过将该光源两输出端口直接组合形成光谱平坦的 C+L 波段 ASE 超宽带光源,光源总的泵浦转换效率达到了 21.6%.

## 1 L 波段 ASE 谱产生的基本原理

如图 1 铒离子能级图所示,掺铒光纤被 980 nm 或 1480 nm 激光抽运时,L 波段 ASE 的形成与 C 波

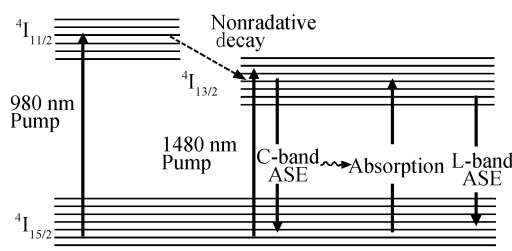


图 1 铒离子能级图

Fig. 1 Energy level diagram of Er<sup>3+</sup> ion

段 ASE 一样,都是由能级<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>→<sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>的跃迁产生的.L 波段 ASE 是由<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>和<sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>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,其发射和吸收系数比 C 波段小 3~4 倍,但其增益更平坦.L 波段 ASE 的形成可以概述为: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 ASE,产生的 C 波段 ASE 再被后端铒光纤吸收,

\*福建省自然科学基金(A0440009)和厦门大学科技创新重点基金(K70007)资助

\*\* Tel:0592-8827251 Email:huangwc@xmu.edu.cn

收稿日期:2005-07-25

作为二次泵浦源从而使 ASE 谱位移到 L 波段上形成 L 波段 ASE 谱. 使用高掺杂和低损耗的掺杂光纤, 以减少获得 L 波段 ASE 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. 同时, 泵浦源选择 1480 nm 激光器较 980 nm 激光器具有更高的量子效率. 因此, 在 L 波段 ASE 光源设计时通常同时选择高掺杂铒光纤和 1480 nm 泵浦激光器来获得高的转换效率.

## 2 双通道 ASE 光源结构与原理分析

根据 L 波段 ASE 谱产生的基本原理可知, 用单个泵浦源抽运一段长光纤时, 可以在前向(与抽运方向一致)获得 L 波段的 ASE 谱以及在后向(与抽运方向相反)得到 C 波段的 ASE 谱. 但前向获得的 L 波段 ASE 谱功率较弱. 如果将 C 波段 ASE 谱作为二次抽运源注入回掺铒光纤中, L 波段 ASE 谱的功率会得到有效的提高, 如在后向输出端接上一只光纤反射镜形成双程前向光源结构. 基于以上分析, 设计图 2 的双通道 ASE 宽带光源结构, 它是由两级掺铒光纤构成. 第一级铒光纤较短, 它在前向和后向两个方向产生的都是 C 波段的 ASE 谱. 第二级铒光纤较长, 在前向输出端产生的是 L 波段 ASE 谱.

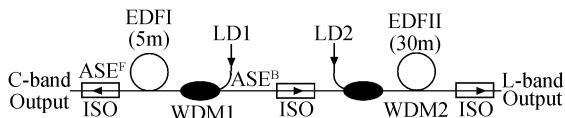


图 2 双通道输出的 ASE 宽带光源结构示意图  
Fig. 2 Configuration of the ASE broadband light source with dual-channel output

如图 2, 第一级后向输出的 C 波段 ASE 谱 ( $ASE^B$ ) 注入到第二级铒光纤中, 作为 L 波段信号的二次抽运源, 提高第二级输出的 L 波段 ASE 谱功率. 两级掺铒光纤间用一只光纤隔离器分开. 这里, 可选择第一级结构的前向输出作为 C 波段 ASE 宽带光源输出口, 而将第一级结构中后向输出的 C 波段 ASE 谱注入到第二级中.

## 3 结果与分析

两级掺铒光纤均采用 Lucent 公司的 LRL-EDF 高掺杂光纤, 其主要参量为: 截止波长为 1100 ~ 1400 nm, 模场直径为 5.2  $\mu\text{m}$ , 数值孔径为 0.25, 1530 nm 峰值吸收为 27~33dB/m. 泵浦激光器采用的是 1480 nm 半导体激光器, 以提高 L 波段 ASE 泵浦效率. 两级铒光纤的长度经过优化后分别选择为 5 m 和 30 m, 两级泵浦激光器功率分别选择为 110 mW 和 70 mW.

图 3 是第一级前向、后向输出的 ASE 谱, 由于第一级铒光纤长度仅为 5 m, 即铒离子处于强泵浦状态, 因此, 前后两个方向输出的 ASE 谱均落在 C 波段, 得到前向输出 ASE 谱的功率为 12.97 dBm (19.815 mW). 在未加任何平坦滤波器的情况下, 1527 nm~1565 nm 约 38 nm 带宽范围内光谱平坦度为  $\pm 2.1$  dB, 后向输出的 ASE 谱功率为 15.5 dBm (35.481 mW), 后向输出的 ASE 作为第二级光纤的二次抽运源, 可大大提高第二级光纤输出的 L 波段 ASE 谱功率. 图 4 是接上第二级后, 从第二级输出端得到的 L 波段 ASE 谱, 其输出功率达到 12.81 dBm (19.098 mW), 与第一级前向输出的 C 波段 ASE 谱功率几乎相等, 并且 1570 nm~1600 nm 约 30 nm 带宽范围内光谱平坦度为  $\pm 0.6$  dB, 光谱平坦性很好. 因此, 将两级输出的 C 波段和 L 波段 ASE 谱组合起来, 可以获得光谱在 C+L 波段平坦的超宽带光源. 图 5 是将两个输出端组合得到的 C+L 波段 ASE 谱, 在整个 C+L 波段上光谱较为平坦, 即光谱

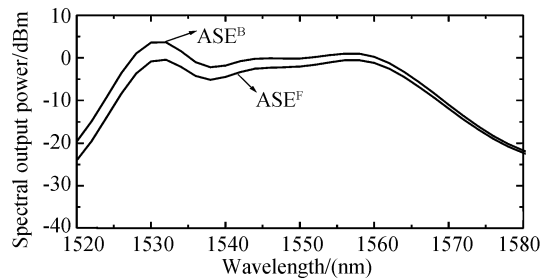


图 3 从第一级前向、后向输出的 C 波段 ASE 谱  
Fig. 3 The forward and backward output C-band ASE spectra from the first-stage

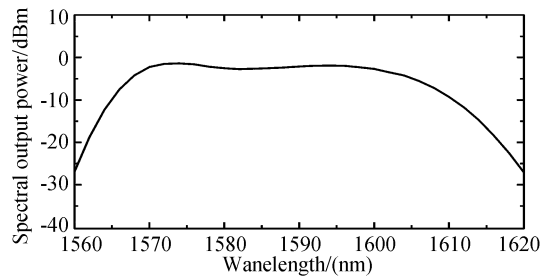


图 4 第二级输出的 L 波段 ASE 谱  
Fig. 4 The output L-band ASE spectrum from the second stage

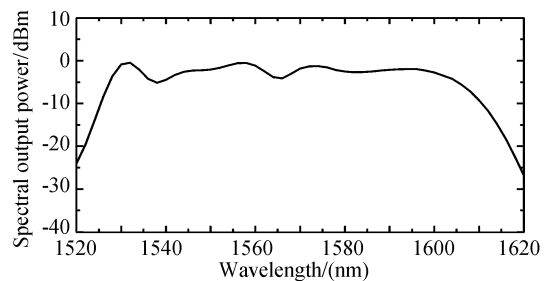


图 5 组合得到的光谱平坦的 C+L 波段超宽带 ASE 谱  
Fig. 5 The combined spectrum flat C+L-band ASE

从 1527 nm~1605 nm 约 78 nm 带宽范围内,光谱平坦度为  $\pm 2.1$  dB,总的输出功率为 15.9 dBm (38.913 mW),泵浦转换效率达到了 21.6%。若在输出端接上一只平坦滤波器,光谱的平坦性还可以更好。

## 4 结论

分析了 L 波段 ASE 谱的形成机理,设计采用第一级光纤后向输出的 C 波段 ASE 注入到第二级光纤中,作为二次抽运源提高 L 波段 ASE 谱的功率,形成了一种新颖的双级结构 C 波段和 L 波段双通道输出的 ASE 宽带光源。双通道输出的高功率掺铒光纤宽带光源将为 WDM-PON 系统应用提供一种理想光源。同时,还可以将两个输出端口组合形成光谱平坦性很好的 C+L 波段 ASE 超宽带光源,泵浦转换效率达到了 21.6%,可以满足现行 C+L 波段 WDM 系统的应用要求和光纤光栅传感网络的应用要求。进一步研究采用不同掺杂浓度的铒光纤还有望提高光谱的平坦度等性能。

### 参考文献

- [1] WYSOCKI P F, DIGONNET 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.
- [2] BRAY M E, ELLIOT R T, JONES K P. Comparison of erbium amplifier measurement using a high power amplified spontaneous emission source or using an ITU grid [C], OFC, 2001, (3), Pages. W12-1-3.
- [3] HALL D C, BURNS W K. Wavelength stability optimization in Er-doped superfluorescent fiber sources [J]. *Electron Lett*, 1994, **30**(8): 653-654.
- [4] HALL D C, BURNS W K, MOELLER R P. High stability Er-doped superfluorescent fiber source [J]. *J Lightwave Technol*, 1995, **13**(7): 1452-1460.
- [5] WANG L A, CHEN C D. Characteristics comparison of Er-doped double-pass superfluorescent fiber sources pumped near 980 nm [J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 1997, **9**(4): 446-448.
- [6] WANG L A, CHEN C D. Stable and broadband Er-doped superfluorescent fiber sources using double-pass backward configuration [J]. *Electron Lett*, 1996, **32**(19): 1815-1817.
- [7] GUILLAUMOND D, MEUNIER J P. Comparison of Two flattening techniques on a double-pass erbium-doped superfluorescent fiber source for fiber-optic gyroscope [J]. *IEEE J on Select Topics in Quantum Electron*, 2001, **7**(1): 17-21.
- [8] QIAN Jing-ren, CHEN Deng-peng, SHEN Lin-fang. Forward-pumping dual-stage double-pass broadband erbium-doped fiber source [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, **28**(12): 1075-1078.  
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 [J]. *中国激光*, 2001, **28**(12): 1075-1078.
- [9] QIAO Qi-quan, CHEN Bai, CHEN Jia-lin, *et al.* Investigation of Yb-doped superfluorescence used as watching and controlling source of FBG making [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 1-4.  
乔启全, 陈柏, 陈嘉琳, 等. 用于光纤光栅制作的监控光源掺 Yb<sup>3+</sup> 超荧光光源的研究 [J]. *光子学报*, 2003, **32**(1): 1-4.
- [10] GUO Xiao-dong, QIAO Xue-guang, JIA Zhen-an, *et al.* A High-power erbium-doped fiber super-fluorescent source [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11): 1298-1300.  
郭小东, 乔学光, 贾振安, 等. 一种高功率掺铒光纤超荧光光源 [J]. *光子学报*, 2004, **33**(11): 1298-1300.
- [11] CHEN Sheng-ping, Lü Ke-cheng, LI Yi-gang, *et al.* High power, high efficiency erbium-doped superfluorescent fiber source and its applications [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 17-20.  
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 [J]. *光子学报*, 2004, **33**(1): 17-20.
- [12] LEE J H, RYU U C, PARK N. Passive erbium-doped fiber seed photon generator for high power Er<sup>3+</sup>-doped fiber fluorescent sources with an 80 nm bandwidth [J]. *Opt. Lett*, 1999, **24**(5): 279~281.
- [13] BERENDT M O, ARELLANA W A, HDEFIOUSO D F, *et al.* Extended band erbium amplified spontaneous emission source [J]. *Lasers and Electro-Optics Europe*, 2000: 244.
- [14] ESPINDOLA R P, ALES G, PARK J, *et al.* 80 nm spectrally flattened high power erbium amplified spontaneous emission fiber source [J]. *Electron Lett*, 2000, **36**(15): 1263-1265.
- [15] HUANG W C, WAI P K A, TAM H Y, *et al.* One-stage erbium ASE source with 80 nm bandwidth and low ripples [J]. *Electron Lett*, 2002, **38**(17): 956-957.
- [16] HUANG W C, MING H. Simulation analysis of one-stage C + L-band erbium-doped fiber ASE source with double-pass Bi-directional pumping configuration [J]. *Chinese Optics Letters*, 2004, **2**(3): 125-127.
- [17] HEALEY P, TOWNSEND P, FORD C, *et al.* Spectral slicing WDM-PON wavelength-seeded reflective SOAs [J]. *Electron Lett*, 2001, **37**(19): 1181-1182.
- [18] KIM H D, KANG S G, LEE C H. A low-cost WDM source with an ASE injected fabry-perot semiconductor laser [J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2000, **12**(8): 1067-1069.

## A Novel High Power Er-Doped Broadband Light Source with Dual-Channel Output

WANG Xiu-lin<sup>1</sup>, HUANG Wen-cai<sup>2</sup>

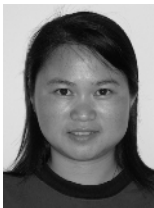
(1 *Department of Physics, Jimei University, Xiamen 361021*)

(2 *Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005*)

Received date: 2005-07-22

**Abstract** A novel two-stage Er-doped ASE broadband light source with two output bands, i. e. C-band and L-band was designed and demonstrated based on the analysis of the principle of the L-band ASE spectrum. The output power of L-band ASE was effectively improved by injecting the C-band ASE into the erbium doped fiber acting as the secondary pumping source. An output power of 12.97 dBm for C-band ASE and 12.81 dBm for L-band ASE were obtained after optimizing the configuration parameters. A high efficiency C+L-band ASE source of 15.9 dBm output power with 21.6% pump conversion efficiency was obtained by simply combining the two output ports.

**Key words** C-band; L-band; Erbium-doped fiber; Amplified spontaneous emission source; Broadband light sources



**WANG Xiu-lin** was born in Fujian, China, 1974, 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 topics are on fiber optics, devices and biomedicine optics. She has published about 10 papers on these topics.