

文章编号: 0258-7025(2005)05-0609-04

一种 C+L 波段高功率掺铒光纤宽带光源

郭小东, 乔学光, 贾振安, 傅海威, 王小凤

(西安石油大学光纤传感实验室, 陕西 西安 710065)

摘要 利用两段掺铒光纤作为增益介质, 获得 C-波段与 L-波段同时输出的高功率放大自发辐射(ASE)光。采用双级双程结构, 两级分别采用前向和后向抽运方式, 实现了功率高达 19.20 mW(12.83 dBm)的 C+L 波段(1520~1610 nm)高稳定放大自发辐射光源, 中心波长为 1552.82 nm。其中以低浓度铒光纤输出起种籽光作用, 提高了光源的功率, 调整了光谱平坦度。分析了两级抽运源参量的变化对光源各方面性能的影响。

关键词 光纤光学; C+L 高功率光纤光源; 双级双程结构; 掺铒光纤; 宽带光源; 放大自发辐射

中图分类号 TN25; TQ342 **文献标识码** A

A Novel C+L Band Erbium-Doped Fiber Broadband Light Source with High Power

GUO Xiao-dong, QIAO Xue-guang, JIA Zhen-an, FU Hai-wei, WANG Xiao-feng

(Optical Fiber Sensing Laboratory, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract A high-power broadband light source covering C-band and L-band (1520~1610 nm) by using two kinds of different concentration erbium-doped fiber was reported in this paper. In the dual-stage double-pass structure, the double-pass forward pumping was used in the first stage, the fiber of lower doped concentration was 7.5 m, and the output of first stage was used as seed signal; in the second stage, backward pumping was used, and the fiber of much higher doped concentration was 31.2 m. The fiber loop reflector was used to enhance the conversion efficiency of pumping LD, and high output power and good flatness were also achieved. After matching the pumping power of the two stages, the amplified spontaneous emission (ASE) source with the high output power of 19.20 mW (12.83 dBm) and with the mean wavelength of 1552.82 nm was developed and obtained. Meanwhile, the relation between the output and the change of pumping in the configuration was discussed implicitly, it was important to the design of the source.

Key words fiber optics; C+L band high-power fiber light source; dual-stage double-pass configuration; erbium-doped fiber; broadband light source; amplified spontaneous emission

1 引言

在众多光纤传感器和光纤探测器中, 一般都需要时间相干性低的宽带光源^[1]。目前商用掺铒光纤放大自发辐射(ASE)的光源具有温度稳定性强、荧光谱线宽、输出功率高, 使用寿命长等特点, 在光纤光栅传感、光纤陀螺、掺铒光纤放大器(EDFA)测量、密集波分复用(DWDM)、光纤探测器、光谱测试以及低成本接入网等很多领域得到了广泛的应用。

随着 C-波段(1520~1570 nm)光源的研究^[1]趋于成熟并市场化, 为满足光通信对带宽的要求, 扩展 L-波段光源及相关器件的研究便显得越来越迫切^[2~8], 同时, 在分布式光纤光栅传感中, 为了满足大范围、密集分布传感点的应用, 解决测程范围与分布点数之间的矛盾关系, 则需要高功率、宽带宽的光源, 因此使得 C+L 波段光源成为研究的焦点^[2,4,5,7,9,10]。本文在分析掺铒光纤中 C-波段与 L-

收稿日期: 2004-04-20; 收到修改稿日期: 2004-11-01

基金项目: 国家 863 计划(2002AA313150)、国家自然科学基金(69877025, 60177028)、国家教育部科学技术重点项目(02190)、陕西省科技攻关项目(2003K015J-28)和陕西省教育厅项目(02JK158)资助课题。

作者简介: 郭小东(1979—), 男, 湖北随州人, 西安石油大学电子工程学院硕士研究生, 主要从事光纤通信与光纤传感技术方面的研究。E-mail: g8299643@163.com

波段光的产生机理的基础上,采用双级双程结构,提高了抽运光源的利用效率,增强了掺铒光纤最终输出放大自发辐射光谱的稳定性,此种光源输出功率具有在一定范围内不随抽运光功率波动的稳定特征。

2 基本原理

从铒离子能级结构图中(图 1)可以看出,掺铒光纤中 C -波段与 L -波段的放大自发辐射都是由能级 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 的跃迁产生的。 C -波段放大自发辐射是由 $^4I_{13/2}$ 和 $^4I_{15/2}$ 主能级的斯塔克分裂能级的高能级之间跃迁产生, L -波段的放大自发辐射是主能级的斯塔克分裂能级的低能级之间的跃迁产生^[1]。图 1 是 C -波段与 L -波段放大自发辐射在采用两段掺铒光纤结构中分别产生及相互作用形成 $C+L$ 波段放大自发辐射的原理示意图。在低浓度且长度较短的 EDF1(图 1 中 A 点以左部分)中,铒离子吸收小功率的 980 nm 抽运光后在铒光纤内产生功率相对较小的 C -波段放大自发辐射,作为种籽光,不仅调整第二级 L -波段光功率使其与 C -波段输出达到良好匹配,而且起到稳定输出、改善输出光谱谱形的作用。在高浓度且长度较长的 EDF2 中,铒离子吸收大功率 980 nm 抽运光后在铒光纤近端产生功率较高的 C -波段放大自发辐射,部分 C -波段的放大自发辐射再被铒光纤后端继续吸收,作为二次抽运源从而产生 L -波段的放大自发辐射。

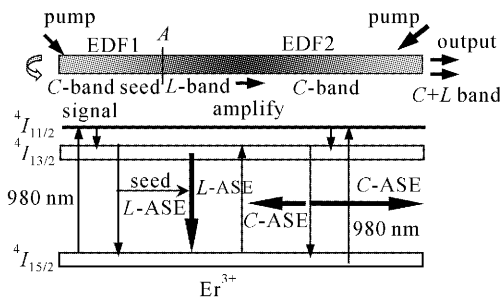


图 1 C -波段与 L -波段放大自发辐射形成原理图

Fig. 1 Sketch for C -band and L -band of ASE

3 实验装置与工作原理

实验采用如图 2 所示装置,用两个 980 nm 激光二极管(LD)作抽运源,中心波长为 979.04 nm,阈值电流为 27.8 mA,激光二极管尾纤输出光功率随抽运电流(从阈值电流点起)基本上呈线性关系。低浓度铒光纤(EDF1)为中国电子科技集团天津第 46 研究所生产,光纤编号为 XP0003(Er05)-3E,掺铒浓

度为 7×10^{-4} ,截止波长为 853.5 nm,在 1200 nm 处的本底损耗 ≤ 50 dB/km,在 980 nm 处的峰值吸收系数为 4.5 dB/m,数值孔径 ≥ 0.2 ,模场直径为 $6.68 \mu\text{m}$;高浓度掺铒光纤(图 2 中 EDF2)为武汉烽火通信科技股份有限公司生产,型号为 EDF/CL/H,掺铒浓度大于 19×10^{-4} ,光纤数值孔径为 0.20,模场直径为 $6.8 \mu\text{m}$,截止波长为 960 nm,980 nm 峰值吸收为 8.6 dB/m,1530 nm 附近峰值吸收为 14.2 dB/m。

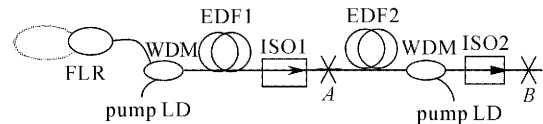


图 2 双级双程后向输出 $C+L$ 波段高功率放大自发辐射光源实验装置

Fig. 2 Experimental setup of the backward-output dual-stage double-pass high power ASE about $C+L$ band

实验中采用 Anritsu MS9710C 多功能光谱仪(最小分辨率为 0.05 nm,测量范围为 600~1750 nm)和 PMS-12 型光功率计(测量范围为 $0.1 \mu\text{W} \sim 100 \text{mW}$,测量精度为 0.01 dBm)测量。为了方便说明,与抽运光相同传播方向的称之为前向,反之为后向。在单级结构中,当前向放大自发辐射的抽运功率一定时,随着光纤长度的增加,在前向输出的放大自发辐射光谱中,长波长范围内的光开始占据主导地位。这是由于当光纤较长时,短波长范围内的放大自发辐射光被光纤远端铒离子重新吸收,成为二次抽运源。再次发射的放大自发辐射的光主要集中在长波长范围内,这种现象可以从图 1 中的能级图与随着光纤长度变化的光谱分布特性中分析得出,同时在不同抽运功率下光源的前向输出光谱实验对比也可以得到印证。而双级结构的采用可以分别处理光谱调整和功率放大两个问题。

第一级采用双程前向,第一级后向的放大自发辐射输出经过反射器反射后重新进入掺铒光纤,选择第一级掺铒光纤的长度和抽运功率,将前向输出光作为种籽光进入第二段光纤,从而保证最后的放大自发辐射输出既有足够的强度以提高光谱的平坦度,又使整个光源具有更高的效率。采用第二级的后向作为最终的输出,采用单独第二级时,在前向 A 点输出为 L -波段放大自发辐射,后向 B 点输出为高功率 C -波段放大自发辐射,直接组合得到的 $C+L$ 波段,两者存在功率极度不匹配的问题,平坦度极差。采用两级后削弱了 C -波段的输出功率,增强了 L -波段输出(图 1 中 EDF2 部分能级间跃迁可予以

说明),同时可实现用低的抽运功率获得高的输出,充分利用了抽运源。光纤圈反射器的作用是将第一级后向的放大自发辐射输出反射使其重新进入掺铒光纤进行放大以增加前向输出的功率,从而保证整个光源具有更高的效率,同时明显改善了光谱谱形,对光谱起到了调节作用。

4 结果与分析

经过对两级光纤的长度和抽运功率进行优化,两段光纤的长度分别为 7.5 m (EDF1) 和 31.2 m (EDF2),实验采用的抽运功率第一级为 20 mW,第二级为 120 mW。输出光的光谱如图 3, C+L 波段(1520~1610 nm 之间)总功率为 19.20 mW (12.83 dBm),平均波长 $\bar{\lambda}$ 为 1552.82 nm,它是功率谱密度作为加权因子进行加权平均的方式来定义的

$$\bar{\lambda} = \int \lambda P(\lambda) d\lambda / \left(\int P(\lambda) d\lambda \right),$$

可用带宽大于 80 nm。输出功率在一定范围内有不依赖于抽运功率变化的稳定特性,即在所测结果点附近,当第一级抽运功率不变,第二级变化 ± 2.5 mW 时,输出功率波动变化(对比所测 19.20 mW)仅为 0.32 mW,当第二级不变,第一级变化在 ± 2.5 mW 时,输出功率波动变化(对比所测 19.20 mW)为 0.39 mW。

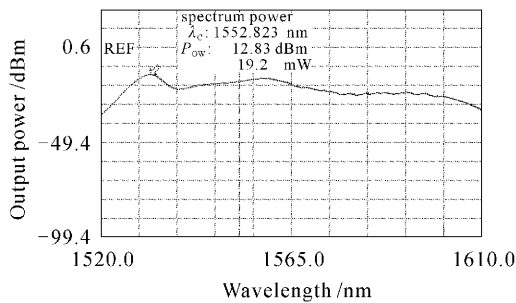


图 3 实验测得的 C+L 波段输出光谱图
Fig. 3 Measured spectrum of output about C+L band in experiment

当第一级抽运功率增加时,总的输出功率呈减小趋势,但平均波长向长波方向偏移,光源输出平坦度得到了明显改善;相反,当第一级抽运功率减小时,输出功率增加,但平均波长向短波方向偏移较为显著。其原因是当功率增加时,使得第二级 A 点的长波长方向的光用掉了大部分的铒离子,因此削弱了 C-波段的输出,而 L-波段的光的效率比 C-波段

低,因此总的输出功率减小,同时 L-波段光增加,使得与 C-波段的光匹配效果更好,总的平坦度性能便得到了提高,故平均波长向长波方向偏移,相反也可解释当抽运功率减小时的过程。

当第一级抽运功率保持不变,第二级抽运功率减小时,由于第一级中的放大自发辐射及光纤全反射器的均衡作用,故在一定范围内输出光的变化比较小,稳定性比较好;当第二级变化明显,同时第一级抽运增加时,总的输出减小,平坦度明显改善,平均波长趋向于带宽内算术中心值,如实验中得到了第一级抽运功率为 50.1 mW,第二级抽运功率为 84.6 mW 时,输出光功率为 15.28 mW (11.84 dBm),其输出光谱见图 4 所示,平均波长为 1559.31 nm, 3 dB 带宽为 54.36 nm (1542.77~1597.13 nm)。

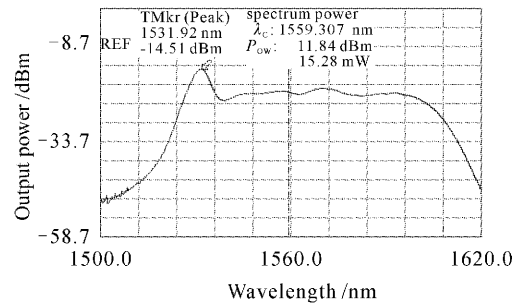


图 4 15.28 mW 高平坦度 C+L 输出光谱
Fig. 4 Output spectrum of power of 15.28 mW of C+L band with high flattening

5 结 论

分析了掺铒光纤中的 C-波段和 L-波段的形成机理及相互间的影响,设计了一种双级双程带光纤圈反射器的光源结构,得到了 19.20 mW (12.83 dBm) 的 C+L 波段(1520~1610 nm)放大自发辐射输出,平均波长为 1552.82 nm,能较好地满足分布式光纤光栅传感、无源器件测试等场合的应用。分析了两级抽运源的变化对光源的功率、平均波长、稳定性等各方面性能的影响^[11],可为光源的设计提供指导。

参 考 文 献

- 1 Paul F. Wysocki, M. J. F. Digonnet, B. Y. Kim *et al.*. Characteristics of erbium-doped superfluorescent fiber sources for interferometric sensor applications [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1994, 12(3): 550~567
 - 2 Liu Bin, Sun Junqiang. Gain enhancement of two-stage L-band EDFA pumped by C-band and 980 nm [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, 30(10): 917~920
- 刘 彬,孙军强. C 波段和 980 nm 抽运的两级级联 L 波段掺铒

- 光纤放大器 [J]. 中国激光, 2003, **30**(10): 917~920
- 3 S. C. Tsai, T. C. Tsai, P. C. Law *et al.*. High-power flat L-band erbium-doped fiber ASE source using dual forward-pumping scheme [J]. *Opt. Quantum Electron.*, 2003, **35**: 161~167
- 4 R. P. Espindola, G. Ales, J. Park *et al.*. 80 nm spectrally flattened, high power erbium amplified spontaneous emission fibre source [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(15): 1263~1265
- 5 S. W. Harun, N. Tamchek, P. Poopalan *et al.*. Effect of injection of C-band amplified spontaneous emission on two-stage L-band erbium-doped fiber amplifier [J]. *Acta Physica Slovaca*, 2003, **53**(2): 173~176
- 6 Qian Jingren, Chen Dengpeng, Shen Linfang *et al.*. Forward pumping dual-stage double-pass broadband erbium-doped fiber source [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(12): 1075~1078
钱景仁, 陈登鹏, 沈林放 等. 前向抽运双级双程掺铒光纤宽带光源 [J]. 中国激光, 2001, **A28**(12): 1075~1078
- 7 Shen Linfang, Qian Jingren. High stability and broad-band erbium-doped superfluorescent fiber source [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(3): 300~304
沈林放, 钱景仁. 高稳定宽频带掺铒光纤超荧光光源 [J]. 光学学报, 2001, **21**(3): 300~304
- 8 Qian Jingren, Cheng Xu, Zhu Bing. The experimental research of a broadband erbium-doped fiber superfluorescent source [J]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**(11): 989~992
钱景仁, 程旭, 朱冰. 掺铒光纤超荧光宽带光源的实验研究 [J]. 中国激光, 1998, **A25**(11): 989~992
- 9 Yang Li, Lanxin Deng, Jingren Qian. Simple broadband erbium-doped superfluorescent fiber source [C]. *SPIE*, 2002, **4905**: 368~374
- 10 Wencai Huang, Hai Ming, Jianping Xie *et al.*. High efficiency broad bandwidth erbium-doped super-fluorescent fiber source [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(6): 311~313
- 11 Wang Yiping, Rao Yunjiang, Ran Zengling *et al.*. A novel tunable gain equalizer based on a long period fiber grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(8): 970~973
王义平, 饶云江, 冉曾令 等. 一种新颖的长周期光纤光栅可调增益均衡器 [J]. 光学学报, 2003, **23**(8): 970~973