

文章编号: 1001-3806(2005)04-0364-02

## 一种简单的高功率 L 波段超荧光光源

郭小东, 乔学光\*, 贾振安, 傅海威, 周红, 赵大壮, 王小凤, 刘颖刚  
(西安石油大学 光纤传感实验室, 西安 710065)

**摘要:** 采用双程前向结构, 在一根高浓度掺铒光纤中实现了功率高达 13.13mW (11.18dBm)、平均波长为 1578.53nm 的 L 波段高功率超荧光输出, 在 1570nm ~ 1620nm 间的功率高于 9.38mW。可满足分布式光纤光栅传感、DWDM 等由 C 波段向 L 波段扩展的带宽及功率需求, 同时与 C 波段光匹配后, 可得到功率高于 20mW 的 C+L 波段宽带高功率光输出。其中采用普通耦合器制作的光纤圈反射器, 将后向的 C 波段 ASE 重新引回光纤中, 提高了抽运源的利用效率和光纤输出光的稳定性, 同时分析了光源的输出功率、平均波长、稳定性等随光纤长度、抽运功率的变化特征, 对于光源的应用设计提供参考。

**关键词:** 导波和光纤光学; 超荧光光纤光源 (SFS); L 波段; 掺铒光纤 (EDF); 放大的自发辐射 (ASE)  
**中图分类号:** TN25; TP722 **文献标识码:** A

### A simple high power L-band superfluorescent fiber source

GUO Xiao-dong, QIAO Xue-guang, JIA Zhen-an, FU Haiwei,  
ZHOU Hong, ZHAO Da-zhuang, WANG Xiao-feng, LIU Ying-gang  
(Optical Fiber Sensing Laboratory, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** High power up to 13.13mW (11.18dBm) of L-band SFS is developed and obtained, the mean wavelength is 1578.53nm, by using configuration of double-pass and highly doped erbium fiber, the power between 1570nm and 1620nm is higher than 9.38mW. It is important for many applicants such as distributed fiber grating sensing, fiber-optic gyroscope, DWDM, which expand from C-band to L-band. Combined with C-band, simultaneous output of C+L band with power of higher than 20mW. Hereinto, a fiber loop reflector made from normal coupler is used to injection the C-band amplified spontaneous emission of backward again enhanced the efficiency of LD and stability of output of fiber. Meanwhile, effects of fiber length and pump power on output, mean wavelength, stability is analysed, it is valuable to the design of SFS.

**Key words:** guided wave and fiber optics; superfluorescent fiber source (SFS); L-band; erbium-doped fiber; amplified spontaneous emission (ASE)

## 引 言

掺铒光纤超荧光光源由于其放大的自发辐射光 (amplified spontaneous emission, ASE) 所具有的宽带宽、高功率、平均波长的高稳定性等潜在优越特性, 自 1980 年以来, 便被认为是最理想的光源一直受到人们的高度重视, 由此在通信和传感领域得到了广泛应用。其最初时的研究主要集中在 C 波段 (1520nm ~ 1570nm), 随着光通信的不断发展、分布式光纤及光纤光栅传感的研究逐步深入, 对于带宽的要求使得光源

的研究也扩展到了 L 波段 (1570nm ~ 1620nm)<sup>[1~5]</sup>, 以开拓更宽的带宽资源。在此基础之上, 同时可实现将 C+L 波段高功率超荧光的同时输出。

通常简单的 L 波段光源直接采用了单程前向结构<sup>[1]</sup>, 利用效率低; 或采用双级双程<sup>[2~4]</sup>前向等复杂的结构进行实现, 这就提高了成本, 引入了更多的不确定因素, 使得光源的批量制作难度增加。下面分析了在单段掺铒光纤中通过铒离子能级之间跃迁形成 L 波段光的基本原理之后, 采用双程前向结构, 通过实验实现功率高达 13.13mW, 平均波长为 1578.53nm 的 L 波段 ASE 输出, 其中采用光纤圈反射器<sup>[6]</sup>作为反射元件, 并进一步分析结构中输出随光纤及光纤长度、抽运功率、反射圈的反射率等参量的变化特征, 对于针对不同要求进行光源设计可提供参考。

## 1 L 波段光的基本原理

从铒粒子能级图 1 中可得, L 波段的与 C 波段

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2002AA313150); 国家自然科学基金资助项目 (69877025); 国家教育部科学技术重点资助项目 (02190); 陕西省科技攻关资助项目 (2003K015J-28); 陕西省教育厅资助项目 (02JK158)

作者简介: 郭小东 (1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光纤通信与光纤传感技术。

\* 通讯联系人。E-mail: xgqiao@xsyu.edu.cn

收稿日期: 2004-07-30; 收到修改稿日期: 2004-09-03

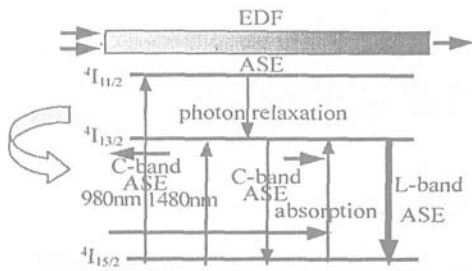


Fig 1 Principle of L-band of EDF

ASE 的形成原理一样,都是由能级  $4I_{3/2} \rightarrow 4I_{5/2}$  的跃迁产生的。与 C 波段 ASE 不同的是, L 波段的 ASE 是由  $4I_{3/2}$  和  $4I_{5/2}$  主能级的斯塔克分裂能级的低能级之间的跃迁产生的。图 1 同时示意了 C 波段与 L 波段 ASE 在光纤中的形成原理图,铒离子吸收 980nm 或 1480nm 抽运光后首先在铒光纤的近端产生 C 波段的 ASE, C 波段的 ASE 再被铒光纤远端离子吸收,作为二次抽运源从而产生 L 波段的 ASE。由于 L 波段放大自发辐射用到的是铒离子增益带的尾部,其发射系数和吸收系数都比 C 波段小 3~4 倍。因此,通常的掺铒光纤(铒离子浓度典型值为  $0.3594\text{kg/m}^3 \sim 0.5990\text{kg/m}^3$ ),为了获得 L 波段大功率的 ASE,需要较长的掺铒光纤,出现各种非线性现象,带来了如降低抽转换效率等很多不利的影响。因此,用于 L 波段的掺铒光纤通常是选用高掺杂、低损耗的铒光纤<sup>[1]</sup>。

## 2 实验装置

在通常的单程前向结构基础之上进行了改进,采用双程结构,如图 2 所示,其中采用高浓度掺铒光纤作

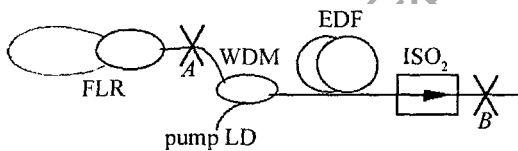


Fig 2 Schematic diagram for L-band of double-pass configuration

为增益介质,后向部分采用由普通 3dB 耦合器制作的光纤圈反射器将后向 A 点产生的高功率 C 波段光(光谱如图 3 所示)重新引回光纤中,再次经过掺铒光纤的放大吸收,不仅提高了光源的利用效率,而且提高了

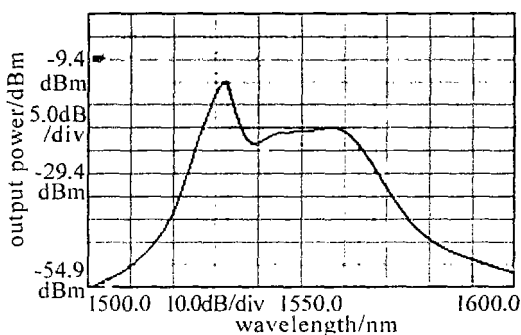


Fig 3 Output spectrum of C-band at point A

光源的稳定性。

用 980nm 激光二极管作抽运源,中心波长为 979.04nm,阈值电流为 27.8mA,激光二极管尾纤输出光功率随抽运电流(从阈值电流点起)基本上呈线性变化。所用铒光纤的掺铒浓度为大于  $2.2762\text{kg/m}^3$ ,数值孔径为 0.20,光纤 1550nm 波段模场直径为  $6.8\mu\text{m}$ ,截止波长为 960nm,980nm 峰值吸收为  $8.6\text{dB/m}$ ,1530nm 附近峰值吸收为  $14.2\text{dB/m}$ 。实验中结果均为采用 Anritsu MS9710C 多功能光谱仪和 PMS-12 型光功率计测得。光谱仪最小分辨率为 0.05nm,测量范围为 600nm~1750nm,光功率计的测量范围为  $0.1\mu\text{W} \sim 100\text{mW}$ ,测量精度为 0.01dBm。实验中的连接采用光纤熔接机熔接连接以尽可能减小端口连接带来的损耗,提高光源中抽运源的利用效率。

通过优化设计采用光纤的长度为 31m,在结构图 2 中 B 点得到输出总功率为 13.13mW (11.18dBm),平均波长为 1578.53nm 的 L 波段超荧光输出(测得光谱见图 4),在 1570nm~1620nm 间的总功率大于

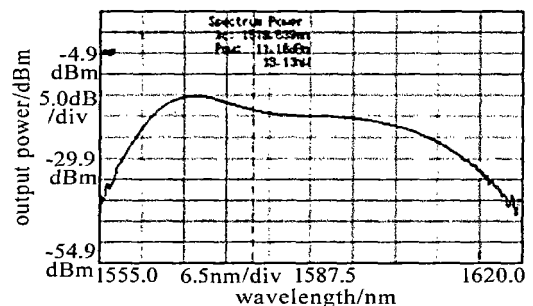


Fig 4 Output spectrum about L-band of double-pass configuration

9.38mW。既可单独适用于需要 L 波段光的测试及应用场合,且由于通常的 C 波段的光很容易就可以得到较高的功率输出,用 C/L 波分复用器与之进行连接,即可得到 C+L 波段同时输出的高功率宽带输出。可较好地满足分布式光纤传感扩展应用中对功率分配和带宽宽度的较高需求,也可用于其它如 DWDM,光谱测试等扩展到 L 波段后同时需要 C 波段与 L 波段的应用场合。

同时通过实验可得,在抽运功率不变的情况下,在一定范围内,当光纤进一步增长时,输出功率呈减小趋势,平均波长向长波方向漂移,输出光谱的平坦度相对却有所改善;在光纤长度不变的情况下,随着抽运功率的减小,输出也向长波方向漂移,输出功率减小,同时输出光的稳定性也变差。光纤反射圈的使用不仅提高了光源的利用效率(在不加光纤圈反射器时的稳定输出为  $6.64\text{mW}$ ),而且提高了光源的功率稳定特性,同时使得光源输出的平均波长向偏移,平坦度也较不用时有所改善。

(下转第 369 页)

式中,机器人位置测量误差  $\delta_r = 0.023\text{mm}$ ,曲面重构误差  $\delta_{rec} = 0.022\text{mm}$ ,这两项误差的分析过程,限于篇幅,文中不作详细介绍,可参见文献[12]。从(10)式可以看到,激光测距传感器测量精度对系统精度影响最大,提高它的精度可以大大提高整个系统的测量精度。

## 4 结 论

研制了一种基于测量机器人的激光三维扫描仪,介绍了系统的测量原理,根据双三角法原理推导出物体空间三维点坐标,提出了具有一定泛化能力的神经网络系统整体标定方法,并对一茶杯盖模型进行了实际测量实验,实验结果证明系统测量速度快,测量精度小于  $0.1\text{mm}$ 。

### 参 考 文 献

- [1] 周 济,周艳红. 数控加工技术 [M]. 北京:国防工业出版社, 2002. 209~249.
- [2] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000. 80~157.
- [3] DU L B, GAO X H, LIU H. A 3-D digitizing measurement system based on novel passive robot [A]. Europe-Asia Symposium on Ad-

- vanced Engineering Design and Manufacture for Globalisation [C]. London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 569~576.
- [4] 唐朝伟,梁锡昌,邹昌平. 三维曲面激光精密测量技术 [J]. 计量学报, 1994, 15(2): 99~103.
- [5] 李礼夫,钟先信,陈 愚. 三维曲面轮廓的非接触式现代测量 [J]. 实用测试技术, 1996, 22(1): 22~25.
- [6] 王学军,刘平方,施进发. 三维曲面激光快速自动测量系统 [J]. 激光杂志, 1998, 19(2): 46~51.
- [7] TSAI R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3-D machine vision [A]. In Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition [C]. Miami Beach: FL, 1986. 364~374.
- [8] HORN IK K, Stinchcombe M, White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators [J]. Neural Networks, 1989, 2(5): 359~366.
- [9] 徐丽娜. 神经网络控制 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1999. 5: 1~10.
- [10] 张智星,孙春在,水谷英二. 神经模糊和软计算 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 2000. 111~116.
- [11] HAGAN M T, MENHAJ M. Training neural networks with the marquardt algorithm [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1994, 5(6): 989~993.
- [12] 杜立彬. 基于随动式测量机器人的物体表面重构系统研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2004. 94~102.

(上接第 365 页)

## 3 结 论

在通常所采用的单程后向的基础上,进行了简单的改进,在后向加光纤圈反射器得到双程前向结构,实现了输出功率为  $13.13\text{mW}$  ( $11.18\text{dBm}$ ),平均波长为  $1578.53\text{nm}$  的 L 波段超荧光输出,反射圈的使用提高了光源的利用效率,改善了光源输出谱形和稳定性。此光源可满足光纤光栅分布式传感的多点分布扩展使用时对功率和带宽两方面的同时需求,也可用于光纤陀螺、器件测试等领域。由于 C 波段光的研究与制作技术相对较为成熟,综合考虑 C 波段与 L 波段功率匹配等方面的因素,可实现 C 波段与 L 波段光源匹配组合得到功率高于  $20\text{mW}$  以上 C+L 波段 ASE 光输出。同时讨论了光源结构中的光纤长度、抽运功率等参量对光源的功率、平均波长、稳定性等各方面性能的影响。

### 参 考 文 献

- [1] 黄文财,明 海,谢建平. L 波段掺铒光纤超荧光光源和放大器研究 [J]. 光电工程, 2002, 29(6): 50~52.
- [2] HARUN SW, TAMCHEKN, POOPALAN P *et al*. Effect of injection of C-band ASE on L-band erbium-doped fiber amplifier [J]. JETP Letters, 2003, 77(9): 461~463.
- [3] HARUN SW, TAMCHEKN, POOPALAN P *et al*. Effect of injection of C-band amplified spontaneous on two-stage L-band erbium-doped fiber amplifier [J]. Acta Physica Slovaca, 2003, 53(2): 173~176.
- [4] TSAI S C, TSAI T C, LAW P C *et al*. High-power flat L-band erbium-doped ASE source using dual forward-pumping scheme [J]. Optical and Quantum Electronics, 2003, 35(2): 161~167.
- [5] CHEN H, LEBLANC M, SCHINN C W. Gain enhanced L-band optical fiber lasers with erbium-doped fibers [J]. Opt Commun, 2003, 216: 119~125.
- [6] 夏贵进,段景汉,赵尚弘 *et al*. 带反射镜双包层 Er-Yb 共掺光纤放大器性能研究 [J]. 激光技术, 2004, 28(2): 12~19.