

文章编号: 0258-7025(2003)08-0695-03

单频分布布拉格反射光纤激光器及 温度传感实验研究

黄文财, 明海, 陈曦曜, 谢建平, 许立新, 王安廷, 吕亮, 吴云霞
(中国科学技术大学物理系, 安徽合肥 230026)

摘要 报道利用 Er: Yb 双掺杂光纤制作的单频窄线宽分布布拉格反射 (DBR) 光纤激光器。在 980 nm 半导体激光器抽运下, 当抽运功率为 75 mW 时, 获得了输出功率为 2.3 mW 的单频激光, 其中心波长为 1557.524 nm, 线宽小于 5 MHz。利用制作的单频 DBR 光纤激光器构成光纤有源传感系统, 进行温度传感实验研究, 实验结果线性度很好, 高信噪比和高输出功率使得该系统具有波长易于检测的优点。

关键词 光电子学; 温度传感; Er: Yb 双掺杂; 分布布拉格反射

中图分类号 TN 248.1; TP 212.14 **文献标识码** A

Experimental Studies of Single Frequency DBR Fiber Laser and Temperature Sensing

HUANG Wen-cai, MING Hai, CHEN Xi-yao, XIE Jian-ping,
XU Li-xin, WANG An-ting, LU Liang, WU Yun-xia

(Department of Physics, University of Science & Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract In this paper, a narrow-linewidth single-frequency distributed Bragg reflection (DBR) fiber laser was fabricated using Er: Yb codoped fiber. The laser was pumped by a semiconductor laser operated at 980nm and an output power of 2.3 mW with linewidth less than 5 MHz was obtained when pump power is 75 mW. Wavelength of the laser is 1557.524 nm. An active fiber sensor based on the DBR fiber laser was applied for temperature sensing and the experimental results show good linearity. This system has the merit of easier wavelength detection owing to its high signal to noise ratio and output power.

Key words optoelectronics; temperature sensing; Er: Yb codoped fiber; distributed Bragg reflection

1 引言

窄线宽、单频光纤激光光源在光通信,特别是密集波分复用系统(DWDM)中有着广泛的应用。这种激光光源还可应用于光纤传感、光谱学领域。自从1989年报道利用全息侧面写入技术制作光纤光栅以来^[1],基于光纤光栅的单频光纤激光器受到了极大的重视^[2-4],因为相对于分布反馈(DFB)半导体激光器,它具有制作简便、更窄的线宽、稳定性高以及与光纤的兼容性好等优点。为了实现单纵模运转,一般有两种方案:一是行波腔光纤激光器,但是

行波腔光纤激光器由于腔长较长而常发生跳模现象;另一种方案则是采用线性腔结构,使得少数落在光栅反射带宽内的纵模通过竞争最终实现单模输出,即DBR或DFB激光器。一般地,为了满足单频运转的要求,这种激光器腔长较短,因而功率较小。利用Er: Yb双掺杂光纤作增益介质,一方面由于Yb³⁺离子在1 μm附近具有宽抽运吸收带宽(800~1100 nm),另一方面Yb³⁺离子具有较大的吸收截面且可实现高浓度掺杂,因而Er: Yb光纤对抽运光的吸收能力比普通掺铒光纤高两个量级,利用Er: Yb光纤构成短腔激光器可以极大地提高激光输出

收稿日期: 2002-04-01; 收到修改稿日期: 2002-06-05

作者简介: 黄文财(1976.6-),男,中国科技大学博士生,主要从事光通信技术研究。E-mail: huangwc@mail.ustc.edu.cn

功率^[5-7]。

本文报道利用 Er: Yb 双掺杂光纤制作的单频光纤激光器, 该激光器能实现稳定的单纵模输出, 并具有较高的输出功率。利用该激光器构成光纤有源传感系统, 进行温度传感实验研究, 其显著优点是提高了传感波长 λ_B 的信噪比和光功率, 使之与一般的宽带光源相比, 传感信号的强度信噪比有了极大的提高, 因而具有波长易于检测的优点。

2 实验结果与讨论

2.1 单频 DBR 光纤激光器设计

DBR 光纤激光器的结构如图 1 所示。它由一对写在 Er: Yb 双掺杂光纤上的光栅构成。实验采用 980 nm 半导体激光器作抽运源, 最大输出功率为 75 mW。两个光栅的布拉格波长、反射带宽和反射率分别为: 1557.62 nm, 0.25 nm, 16.7 dB 和 1557.50 nm, 0.31 nm, 18.9 dB。Er: Yb 双掺杂光纤的截止波长为 1200 nm, 980 nm 波长抽运吸收为 2 dB/cm, 光纤长度为 3 cm。输出光谱由 ANDO6317B 光谱分析仪检测(分辨率为 20 pm)。用高精度扫描 F-P 干涉仪(MODEL 240)结合 400 MHz 双通道数字存储示波器(TDS 380)进行单频检测和线宽测量。

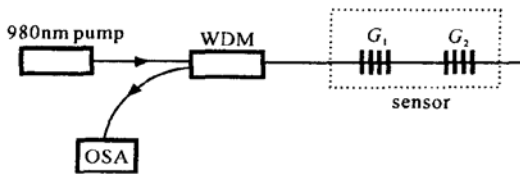


图 1 DBR 光纤激光器实验结构图

Fig. 1 Experimental setup of DBR fiber laser

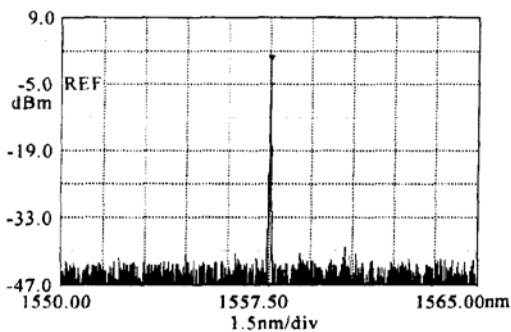


图 2 DBR 光纤激光器输出光谱

Fig. 2 Output optical spectrum of DBR fiber laser

图 2 是抽运功率为 75 mW 时输出的激光光谱图, 激光激光中心波长为 1557.524 nm, 此时测得的

激光输出功率为 2.3 mW, 信噪比大于 40 dB。图 3 是经过扫描 F-P 干涉仪后, 示波器记录的波形图, 扫描 F-P 干涉仪的自由光谱区为 7.5 GHz, 精细度为 1500, 最小分辨率为 5 MHz。从图 3 可见, 在自由光谱区内没有发现其他模式存在, 说明制作的 DBR 激光器输出为单纵模激光, 受仪器分辨率限制, 估计输出激光的线宽小于 5 MHz。

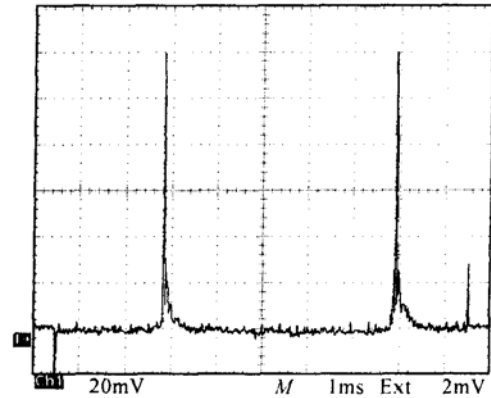


图 3 经过扫描 F-P 干涉仪后示波器记录的波形图
Fig. 3 Output spectrum measured by oscillograph after scanning F-P interferometer

2.2 温度传感实验

Er: Yb 双掺杂光纤构成的 DBR 短腔光纤激光器不仅可以实现稳定的单纵模激光输出, 而且具有输出功率高的优点。因此, 利用它替代宽带光源构成有源光纤光栅传感器, 能显著提高输出波长 λ_B 的光功率以及传感信号的强度信噪比, 具有波长易于检测的优点。

DBR 光纤激光器传感原理仍然是基于光纤光栅的 Bragg 波长移动。当外界温度场作用于光栅上时, 其中心波长发生移位, 从而使激光器输出激光波长改变。

对于温度变化, 根据热光效应, 光纤光栅的温度灵敏度系数可表示为

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = \left[\alpha + \left[\frac{1}{n_{eff}} \right] \left[\frac{dn_{eff}}{dV} \right] \cdot \frac{dV}{dT} \right] \Delta T = (\alpha + \gamma) \Delta T \tag{1}$$

式中, α 为光纤材料的热膨胀系数, γ 为热-光系数(即折射率随温度的变化率), V 为光纤的归一化频率。由于 $\alpha \ll \gamma$, 所以

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = \gamma \Delta T \tag{2}$$

式(2)为激光器输出激光波长随温度的相对位移率, 对于多种光纤, γ 值为: $(7.1 \sim 7.3) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

(20 ℃~ 150 ℃)。

实验时将 DBR 光纤激光器置入装有热水的保温瓶中,用逐渐加入冷水法改变保温瓶中的水温,每隔 5 ℃用光谱仪记录一次光谱。图 4 是温度从 80 ℃变化到 5 ℃时记录下来的光谱图。如图 4,当外界温度改变时,该激光器输出相当稳定,这是由于激光器腔长很短,使得只有少数落在光栅反射带宽内的纵模通过竞争最终实现单模输出,从而可以获得稳定的单纵模激光。图 5 是温度 T 与激光输出波长 λ 的关系曲线,实验结果线性很好(线性拟合度为 0.99981),斜率为 0.00985 nm/℃,即 $\nu = 6.32 \times 10^{-6}$,与理论基本吻合。同其他类型的光纤光栅温度传感器一样,可通过将 DBR 激光器封装在铝套管

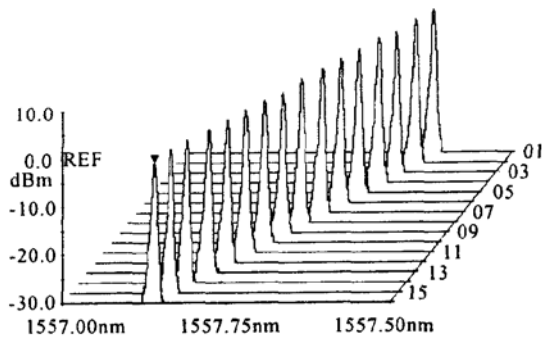


图 4 输出激光光谱随温度的变化

Fig. 4 Output laser spectrum versus temperature

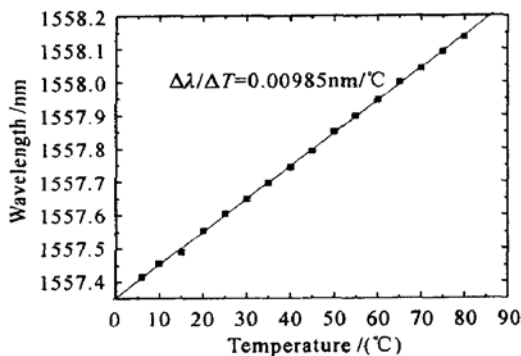


图 5 输出激光波长随温度的变化曲线

Fig. 5 Output laser wavelength versus temperature

中,并使两者牢固粘接,则其温度灵敏度可提高约 3 个数量级^[8]。

3 结 论

利用 Er: Yb 双掺杂光纤制作的单频窄线宽短腔激光器,不但可以获得稳定的单纵模激光输出,而且具有输出功率大的优点。本文从实验上获得了输出波长为 1557.524 nm,功率 2.3 W,线宽小于 5 MHz 的单频激光。利用该单频 DBR 光纤激光器构成光纤有源传感系统,进行温度传感实验研究,该系统具有波长易于检测的优点。

参 考 文 献

- 1 G. Meltz, W. W. Morey, W. H. Glenn. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method [J]. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(15): 823~ 825
- 2 G. A. Ball, W. W. Morey. Continuously tunable single-mode erbium fiber laser [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(6): 420~ 422
- 3 J. L. Zyskind, V. Mizrahi, D. J. DiGiovanni *et al.*. Short single frequency erbium-doped fibre laser [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(15): 1385~ 1387
- 4 Guo Yubin, Kikuchi K. Er³⁺-doped fiber laser based on fiber Bragg grating [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(7): 581~ 585 (in Chinese)
- 5 J. T. Kringlebotn, P. R. Morkel, L. Reekie *et al.*. Efficient diode-pumped single-frequency erbium: ytterbium fiber laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(10): 1162~ 1164
- 6 L. Dong, W. H. Loh, J. E. Caplen *et al.*. Efficient single-frequency fiber lasers with novel photosensitive Er/Yb optical fiber [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(10): 694~ 696
- 7 K. Hsu, W. H. Loh, L. Dong *et al.*. Efficient and tunable Er/Yb fiber grating lasers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8): 1438~ 1441
- 8 Jin Wei, Liao Yanbiao, Zhang Zhipeng *et al.*. Guide-wave Optical Sensors: Principle and Technique [M]. Beijing: Science Press, 1998. 324 (in Chinese)