

# 波长无啁啾调谐窄线宽掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器\*

李丽君 王志 范万德 付圣贵 张强 刘丽辉 袁树忠 董孝义

(南开大学现代光学研究所,天津 300071)

**摘要** 用相位掩模法,在圆形掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤上制作了 Bragg 光纤光栅,并用它作为双包层光纤激光器的输出腔镜,在光栅反射中心波长 1055.2 nm 位置得到了窄线宽的激光输出,FWHM 为 0.271 nm,信噪比约为 40 dB. 这种结构的双包层光纤激光器,在双包层增益光纤和后腔镜间没有连接损耗,减小了双包层光纤激光器体积. 用自行制作的等强度梁对作为输出腔镜的光纤光栅做双向应力调谐,实现了激光波长无啁啾调谐输出,调谐范围 1051.1 ~ 1060.04 nm,调谐量达 8.9 nm,调谐过程中激光 3 dB 线宽基本无变化.

**关键词** 光纤激光器;掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤;调谐;窄线宽

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A

## 0 引言

80 年代中期后,掺入 Yb<sup>3+</sup> 的石英或氟化物光纤,作为一种激光介质开始受到人们的重视. 与其他掺杂光纤相比,掺 Yb<sup>3+</sup> 光纤具有其独特的优点<sup>[1-3]</sup>: Yb<sup>3+</sup> 能级结构比较简单,有较宽的吸收光谱(800 nm ~ 1060 nm)和较宽的增益谱(975 nm ~ 1200 nm). 调谐输出的掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器国内、外已经有报道:陈柏等人通过调节光纤后端面与后腔镜之间的距离及后腔镜角度的方法,实现了对掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器输出波长的调谐<sup>[4,5]</sup>; M. Auerbach 等人采用 Littman-Littrow 外腔结构在 1040 ~ 1100 nm 范围内得到了调谐激光输出<sup>[6]</sup> 等等. 然而,由光纤光栅选频和调谐的双包层光纤激光器更具优点,均匀光纤 Bragg 光栅的基本特征是以 Bragg 波长为中心的窄带光学滤波器,具有优异的选频作用. 如果在光纤激光器中采用光纤光栅作为腔镜来选频,较易得到线宽窄、功率高并且噪声低的激光输出. 本文报道了在国产掺 Yb<sup>3+</sup> 圆形内包层双包层光纤(CDCF)的输出端用相位掩模法直接写光栅,用该 Bragg 光纤

光栅做为激光器输出腔镜,实现了光纤和谐振腔的一体化,无需光学校准,减小了激光器的体积. 把光栅粘在自行制作的等强度梁上对激光器的输出波长进行调谐,波长的无啁啾调谐范围达 8.9 nm,无啁啾的调谐在通信系统中可以避免由于光栅中心波长调谐所引起的系统恶化<sup>[7]</sup>. 输出激光谱线宽都在 0.1 ~ 0.3 nm 之间.

## 1 实验

波长可调谐窄线宽掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器的实验装置如图 1 所示. 实验所用的抽运源是中科院半导体研究所制作的带尾纤的半导体激光器(LD),输出尾纤的纤芯直径为 100 μm,数值孔径为 0.22,最大输出功率可达 1 W,输出激光的波长为 976 ± 2 nm. 实验所用的双包层光纤是信息产业部电子第 46 所光纤部和南开大学共同研制的,圆形内包层直径为 125 μm,相应的数值孔径 0.36;单模纤芯直径 5 μm,相应的数值孔径 0.36;单模纤芯直径 5 μm,相应数值孔径 0.16;纤芯中 Yb<sup>3+</sup> 离子浓度为 760 ppm. 实验用光纤长度 24 m 左右.

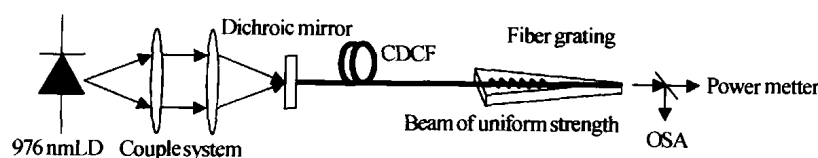


图 1 双包层光纤激光器实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

实验中,利用具有准直—聚焦功能的透镜耦合系统,将半导体激光器尾纤输出的抽运光由端面耦

合进掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤,将一个二向色镜(Dichroic Mirror)放在双包层光纤入射端作为激光器的前腔镜,它对 976 nm 的光透过率为 85%,对 1010 ~ 1200 nm 波段的光有 99.9% 的反射率. 对双包层光纤的入射端面做垂直切割处理,并紧贴于二向色镜上. 激光器的输出腔镜为直接在未载氢的掺 Yb<sup>3+</sup> 双包

\*国家自然科学基金重点基金(60137010)和科技部 863 计划(2003AA312100)资助项目

Tel: 022-23509849 Email: nankailj@163.com

收稿日期: 2003-11-26

层光纤一端制作的 Bragg 光纤光栅. 将该光栅粘在自行设计和制作的等强度梁上, 通过对梁的正、反方向调整, 来调谐 Bragg 光纤光栅反射峰位置, 从而达到对激光器输出激光波长调谐的目的.

激光器的输出功率通过对泵浦光滤波后由 LP-3A 激光功率计测得, 其测量范围 2 mW ~ 2 W, 分辨率为 0.01 mW. 输出激光光谱由 Q8383 光谱仪 (OSA) 观测, 其精度为 0.1 nm.

## 2 结果与讨论

用相位掩模法在未载氢的圆形内包层形状掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤的一端制作光栅, 紫外光源为德国 KrF 准分子激光器, 输出波长为 248 nm, 典型的能量为每个脉冲 100 mJ. 相位模板的周期为 724.86 nm, 曝光长度 15 mm. 图 2 为光谱仪观测到的 Bragg 光纤光栅 (FBG) 的透射谱. 由图 2 可见, 由于光纤没有载氢所以光栅的反射率不高, 用它做激光器的输出腔镜.

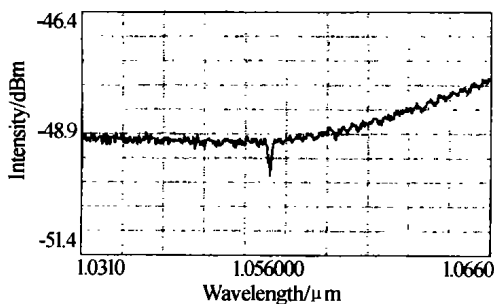


图 2 FBG 透射谱

Fig. 2 Transmission spectrum of FBG

把耦合系统、二向色镜和光纤仔细调节到较理想状态, 当入纤泵浦功率为 134.1 mW 时出现激光振荡, 激光的中心波长与 FBG 的反射中心波长重合, 为 1055.2 nm, 图 3 为激光输出光谱图. FWHM 很窄, 为 0.271 nm, 信噪比约为 40 dB. 输出功率最大为 105.7 mW.

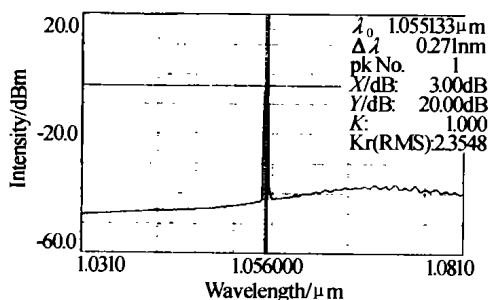


图 3 激光输出谱

Fig. 3 Spectrum of laser output

把作为输出腔镜的 FBG 粘到自行制作的等强度梁上, 尽量把光栅粘在对称线上, 采用应力的方法对 FBG 的中心波长进行调谐. 在载荷作用下, 光栅中心波长移动由下式可知<sup>[5]</sup>

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -1(1-\mu) \frac{hV_{\max}}{2CL} \frac{Z}{Lb_1/(b_2-b_1) + Z}$$

$\mu$  为光纤的光弹系数,  $\lambda$  对应光栅中心波长,  $V_{\max}$  为梁的挠度,  $b_1, b_2, h, L$  为梁的几何参数,  $C$  是一个常数, 与  $b_2$  和  $b_1$  之比有关.

实验中, 光栅中心波长可以双向 (压缩和拉伸) 调谐, 激光器的输出端用光谱仪观测, 首先对梁进行压缩, 发现输出激光中心波长向短波方向移动; 然后对梁进行拉伸, 激光器输出波长向长波漂移, 取步长 1 nm 记录光谱如图 4, 5 所示. 拉伸调谐时, 激光波长从自由梁时的 1055.2 nm 调谐到 1060.04 nm, 波长漂移了 4.84 nm, 随着等强度梁挠度的增加, 3 dB 带宽没有明显变化; 压缩调谐时, 激光波长从自由梁时的 1055.2 nm 调谐到 1051.1 nm, 波长漂移了 4.1 nm, 随着等强度梁挠度的增加, 发现 3 dB 带宽稍有变宽, 但变化不大. 整个调谐过程做到了无啁啾调谐, 3 dB 带宽基本没有变化, 变化量小于光谱仪分辨率范围, 大小保持在 0.1 ~ 0.3 nm 之间. 如果对梁的长度、材料和粘接剂进行优化选择, 可以得到更大的波长无啁啾调谐范围<sup>[5]</sup>.

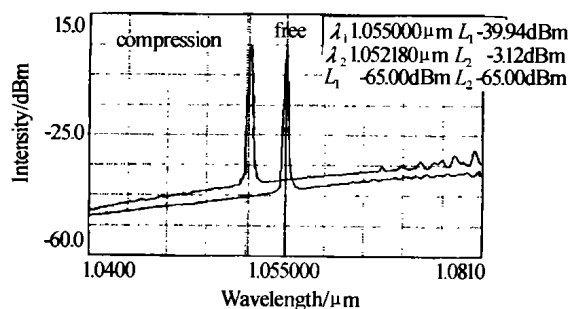


图 4 对等强度梁压缩调谐输出激光波长相对于自由状态时向短波漂移

Fig. 4 The relative wavelength shifts of the grating for compression of a beam of uniform strength

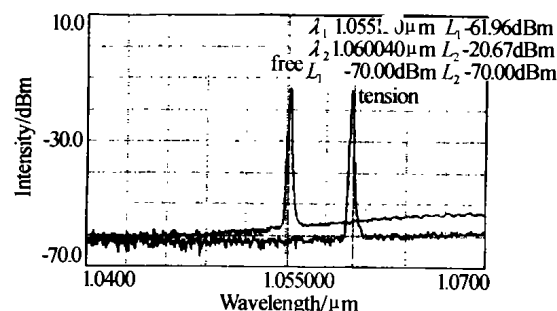


图 5 对等强度梁拉伸调谐输出激光波长相对于自由状态时向长波漂移

Fig. 5 The relative wavelength shifts of the grating for tension of a beam of uniform strength

## 3 结论

用相位掩模法, 成功地在圆形掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤上制作了 Bragg 光纤光栅, 并用它作为双包层光纤激光器的输出腔镜, 在光栅反射中心波长位置得

到了窄线宽的激光输出,使双包层增益光纤和后腔镜间没有连接损耗,减小了双包层光纤激光器体积.并用自行制作的等强度梁对作为输出腔镜的光纤光栅做应力调谐,实现输出激光波长双向无啁啾调谐,调谐范围 1051.1 ~ 1060.04 nm,调谐量达 8.9 nm.

#### 参考文献

- 1 卢秀权,陈绍和. 掺镱单模石英光纤中放大的自发辐射. 中国激光,2001,28(2):125 ~ 129  
Lu X Q, Chen S H. *Chinese J of Laser*, 2001, 28(2):125 ~ 129
- 2 王屹山,郑瑶雷,沈华,等. 包层泵浦的钕镜共掺光纤激光高效产生的实验研究. 光子学报,2003,32(9):1025 ~ 1027  
Wang Y S, Zheng Y L, Shen H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(9):1025 ~ 1027
- 3 武自录,陈国夫,王贤华,等. 掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器的数值分析. 光子学报,2002,31(3):332 ~ 336  
Wu Z L, Chen G F, Wang X H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(3):332 ~ 336
- 4 侯国付,李乙刚,吕可诚,等. 宽带可调谐掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器的研究. 光子学报,2002,31(12):1510 ~ 1513  
Hou G F, Li Y G, Lü K C, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(12):1510 ~ 1513
- 5 陈柏,陈兰荣,林尊琪,等. 掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器波长调谐输出. 光子学报,1999,28(9):835 ~ 838  
Chen B, Chen L R, Lin Z Q, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1999, 28(9):835 ~ 838
- 6 Auerbach M, Wandt D, Fallnich C, et al. High-power tunable narrow line width ytterbium-doped double-clad fiber laser. *Optics Communication*, 2001, 195(5):437 ~ 441
- 7 秦子雄,曾庆科,董孝义,等. 大调谐范围的等强度梁光纤光栅波长调节器. 光学学报,2001,21(12):1421 ~ 1424  
Qin Z X, Zeng Q K, Dong X Y, et al. *Acta Optica Sinica*, 2001, 21(12):1421 ~ 1424

## Wavelength Chirp-free Tunable Yb<sup>3+</sup>-doped Double Cladding Fiber Laser

Li Lijun, Wang Zhi, Fan Wande, Fu Shenggui, Zhang Qiang, Liu Lihui, Yuan Shuzhong, Dong Xiaoyi

*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*

Received date:2003-11-26

**Abstract** Using the phase-mask method, a fiber Bragg grating is fabricated in the circle-shape inner cladding Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fiber (CDCF). By use of this grating as the output mirror of the CDCFL, the narrow linewidth laser operating wavelength 1055.2 nm at the reflect center of the grating is presented, FWHM is 0.271 nm and near 40 dB signal to noise ratio. There isn't splice lose between CDCF and output mirror, and the bulk of CDCFL is reduced. Using a beam of uniform strength, which is fabricated by ourselves, bi-direction chirp-free tuning of center wavelengths of the fiber grating is realized, the tuning range up to 8.9 nm is obtained from 1051.1 nm to 1060.04 nm, the output laser 3 dB linewidths didn't obviously change.

**Keywords** Fiber laser; Yb<sup>3+</sup>-doped double cladding Fiber; Tunable; Narrow linewidth

**Li Lijun** was born in 1970 in Jilin Province. She received M. S. degree in Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics in 1996. She is a Ph. D. candidate in the Institute of Modern Optics, Nankai University now. Her research is mainly focused on Ytterbium-doped double-clad fiber devices, such as fiber lasers and amplifiers.

