

# 正交偏振的双波长掺镱双包层光纤激光器

冯德军 黄文育 刘冠秀 张茂森

(山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

**摘要** 利用保偏光纤布拉格光栅(PM-FBG)和高反射率的双色镜构成激光谐振腔,以单模保偏双包层掺镱光纤为增益介质,实现了输出功率为 1 W 的稳定的双波长激光输出,该激光信噪比为 48 dB,斜率效率为 34%。利用拱梁调谐方法对输出光栅进行了拉伸和压缩调谐实验,实现的激光调谐范围为 8 nm,且调谐过程中双波长的波长间隔变化很小。以格兰-汤姆孙棱镜验证了该激光的偏振特性。

**关键词** 激光器;光纤激光器;偏振;掺镱光纤

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201333.1214001

## Dual-Wavelength Orthogonally Polarized Yb<sup>3+</sup>-Doped Double Clad Fiber Laser

Feng Dejun Huang Wenyu Liu Guanxiu Zhang Maosen

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

**Abstract** A stable continuous-wave dual-wavelength Yb<sup>3+</sup>-doped fiber laser is demonstrated, in which the resonance cavity is composed of a fiber Bragg grating fabricated in a polarization maintaining fiber (PM-FBG) and a high reflectivity dichromatic mirror. The laser achieves output power of 1.0 W, signal to noise ratio (SNR) of 48 dB, slope efficiency of 34%, as well as a very narrow linewidth of 0.2 nm. The dual-wavelength laser's tuning range is 8 nm by stretching and compressing the PM-FBG which is glued on an arch elastic beam. The polarization characteristics of the laser are then verified by measuring the laser power transmitted through a Glan-Thomson polarizer.

**Key words** lasers; fiber laser; polarization; Yb<sup>3+</sup>-doped fiber

**OCIS codes** 140.3510; 260.5430; 140.3615

## 1 引 言

由于 Yb<sup>3+</sup> 能级结构简单,不存在激发态吸收和浓度淬灭效应,具有很高的量子效率和光-光转换效率。因此,掺镱双包层光纤(YDCF)激光器是目前国内外广泛研究的一种双包层光纤激光器<sup>[1-5]</sup>。其中,双波长激光器在波分复用系统,高分辨力光谱仪和光纤传感等领域有着广泛的应用前景,但是这方面的研究主要集中在掺 Er 的光纤激光器上<sup>[6-7]</sup>,掺 Yb 的双波长激光器却鲜有报道。

随着保偏光纤技术和光纤光栅刻写技术的提高,近年来在保偏光纤布拉格光栅方面的研究也取

得不小进展。利用光纤光栅作为激光器的反馈与选频腔镜,可以得到稳定的窄线宽激光输出,并使激光器具有更紧凑的结构和更高的稳定性。另外,光纤光栅的波长可调谐性使得激光波长在一定范围内调谐成为可能。

本文利用反射率较低的保偏光纤布拉格光栅(PM-FBG)作为输出腔镜和高反射率的双色镜构成激光谐振腔,以掺 Yb 双包层光纤为增益介质,成功地实现了双波长掺 Yb 光纤激光器。由于和 PM-FBG 两个反射峰对应的不同激光波长在偏振态上是正交的,互不干扰,从而在均匀展宽的掺 Yb 光纤

**收稿日期**: 2013-06-20; **收到修改稿日期**: 2013-07-18

**基金项目**: 国家自然科学基金(61377043)、山东省自然科学基金(ZR2011FM013)、中国电子工业集团第 46 研究所创新基金项目(CJ20130303)

**作者简介**: 冯德军(1973—),男,博士,副教授,主要从事光学全息与光信息处理、光纤传感技术、光纤光栅研制和光纤激光器等方面的研究。E-mail: dejunfeng@sdu.edu.cn

中增强了偏振烧孔(PHB)效应。这种偏振烧孔效应大大减小了不同模式之间的竞争<sup>[5]</sup>,因此可在室温下得到稳定的双波长振荡。

## 2 实 验

以保偏光纤布拉格光栅为输出腔镜的掺 Yb 双包层光纤激光器的实验装置如图 1 所示。采用美国 alflight 公司生产的尾纤输出最大功率为 4.8 W、中心波长为 915 nm 的多模半导体激光器作为抽运源,用 100/125  $\mu\text{m}$  的多模光纤作为输出尾纤。抽运光经  $(2+1)\times 1$  的锥形光纤束(TFB)耦合到一段最佳长度为 13.6 m 的 6/130  $\mu\text{m}$  的双包层单模掺镱光纤中,纤芯数值孔径(NA)为 0.13,内包层数值孔径为 0.46,对抽运光(915 nm)的吸收系数为 0.6 dB/m。TFB 中的单模光纤和一个单模光纤准直器(collimator)相熔接,输出的准直光垂直地照射到一个 1  $\mu\text{m}$  波段高反射率(大于 96%)的双色镜(DM)上;而增益光纤右端熔接上一个 PM-FBG 作为输出腔镜,二者构成谐振腔。其中双色镜和光纤准直器均置于五维光学精密调节架上。作为激光输出腔镜的 PM-FBG 是采用相位掩模法由 244 nm 的氩离子倍频激光器在载氢 PM980 保偏光纤中写入,然后经过退火处理得到稳定光谱,如图 2 所示。光栅长度为 2 cm,反射率为 10.2%,半峰全宽(FWHM)

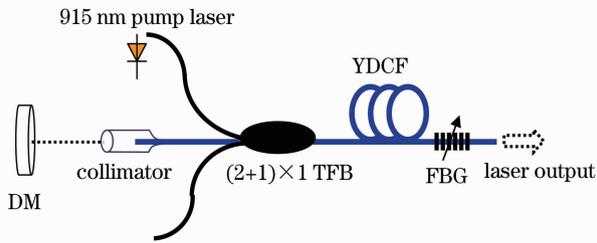


图 1 掺镱双包层激光器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fiber laser

为 0.11 nm,快慢轴对应的布拉格波长分别为 1069.72 nm 和 1069.97 nm。实验中,在光纤激光器的输出端利用光谱仪和光功率计观察激光光谱和测量激光输出功率。

## 3 实验结果及讨论

双波长激光输出如图 3 所示。可以看出单个波长的 FWHM 约为 0.02 nm,接近光谱仪(Yokogawa, AQ6370)的分辨率极限,消光比为 48 dB,两波长间隔为 0.25 nm,该间隔与 PM980 保偏光纤的拍长有关

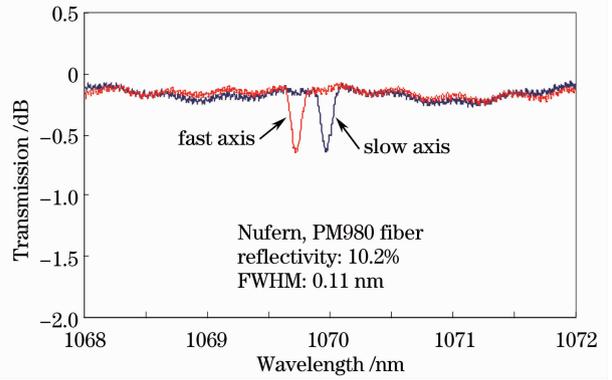


图 2 保偏光纤布拉格光栅的透射谱

Fig. 2 Transmission spectra of PM-FBG

( $L_B \approx 3.3\text{mm}$ ), 因为  $\Delta\lambda_B = \frac{2\Lambda\lambda}{L_B}$ , 其中  $L_B$  为保偏光纤的拍长, $\lambda$  为工作波长, $\Delta\lambda_B$  为光栅反射的两个布拉格波长之间的差异, $\Lambda$  为光栅周期。图 3 中的曲线由下至上分别表示激光器的抽运电流为 0.5、0.6、1.5、2.5、4.5、6.5 A 时的输出激光谱。可见,随着抽运功率的逐渐增大,激光信噪比逐渐变大,增加或减小抽运电流(抽运功率)仅仅造成输出功率大小的变化,并不影响输出光谱的波长特性。阈值电流为 0.5 A。

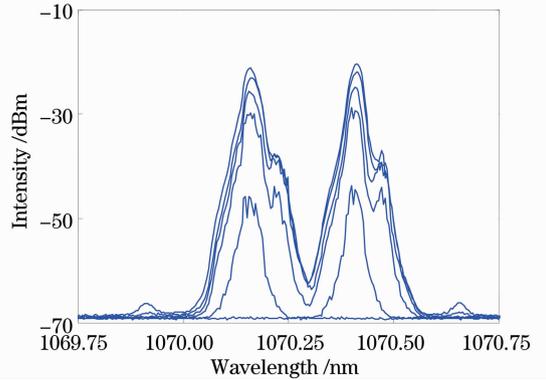


图 3 不同抽运电流时的掺镱双包层光纤激光器的输出激光谱

Fig. 3 Spectra of YDCF laser at different pump currents

图 4 给出了输出功率随入纤抽运功率变化的特性曲线,斜率效率为 34%。激光输出功率随抽运功率的增长未出现饱和,说明更高的输出功率是可能获得的。本实验中采用的双色镜和带尾纤准直器带来的插入损耗和光路调整误差两个因素,导致了斜率效率较低。如果采用高反射率的啁啾光纤光栅作为高反腔镜取代双色镜,则有望极大提高激光的斜率效率并免去光路调整。

为了检测双波长激光的稳定性,对 6.5 A 抽运电

流下(对应入纤功率为 3.2 W,输出功率为 1.0 W)的输出光谱进行了较长时间的监测,扫描时间间隔为 5 min,扫描 8 次,如图 5 所示,可以发现激光能稳定运行。

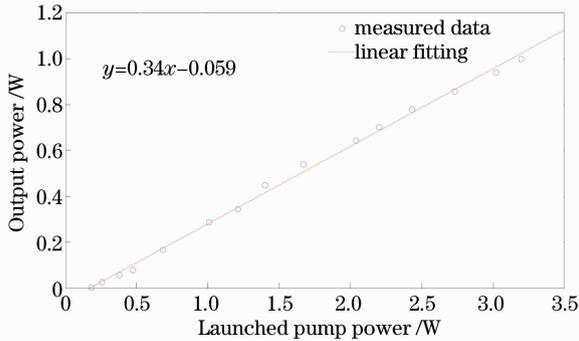


图 4 激光输出功率与入纤抽运功率的关系曲线

Fig. 4 Output power versus launched pump power

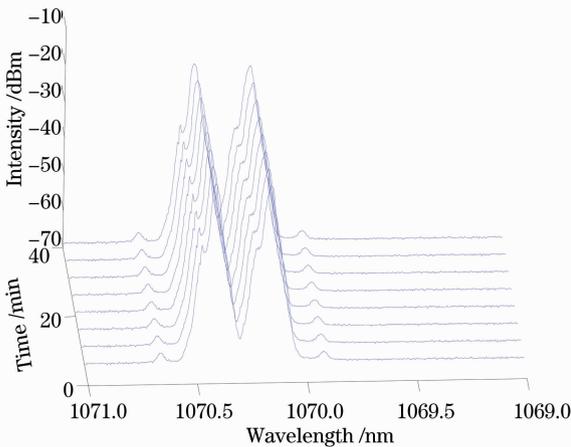


图 5 双波长激光长时间输出谱

Fig. 5 Dual-wavelength spectra with long time test

鉴于双包层光纤中  $\text{Yb}^{3+}$  具有较宽的增益谱和作为输出腔镜的光纤光栅具有可调谐性,将光纤光栅粘贴于一段长宽厚尺寸为  $250 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$  的铁镍合金条的中间部位,合金条的两端分别被夹持在固定和可移动平台上<sup>[8-9]</sup>。自由状态时,两夹持点之间的距离是 16.8 cm。当移动平台向固定平台移动时,合金条会被弯成类似高斯脉冲的形状。当合金条向上拱起时,光纤光栅处于拉伸应变调谐状态,当合金条向下拱起时光纤光栅处于压缩应变调谐状态,调谐装置如图 6 所示。图 7 显示移动平台位移量不同时的激光波长的调谐。在拉伸应变调谐状态下,移动平台的位移量分别为 2 mm 和 6 mm 时,激光的中心波长分别由自由状态时的 1070.2 nm 移动到 1072.12 nm 和 1073.17 nm。在压应变调谐状态下,移动平台的位移量分别为 2 mm 和 8 mm 时,对应的光纤光栅反射谱的中心波长分别移动到

1067.98 nm 和 1065.45 nm。因此,总调谐量约为 8 nm。为了后续其他实验而保护光栅的目的,没有继续增大调谐量。从图 7 可看出,双波长激光的激光功率和信噪比在调谐过程中均保持不变;但是双波长之间的间隔在调谐过程中有微小改变,如 1065.45 nm 时的双波长间隔为 0.2384 nm,而 1073.17 nm 处的双波长间隔为 0.3064 nm。因此,尽管光纤光栅是刻写在保偏光纤上,所采用的应变调谐方法还是引入了一定的附加双折射改变,另外,粘贴材料也会引入一定的双折射改变。

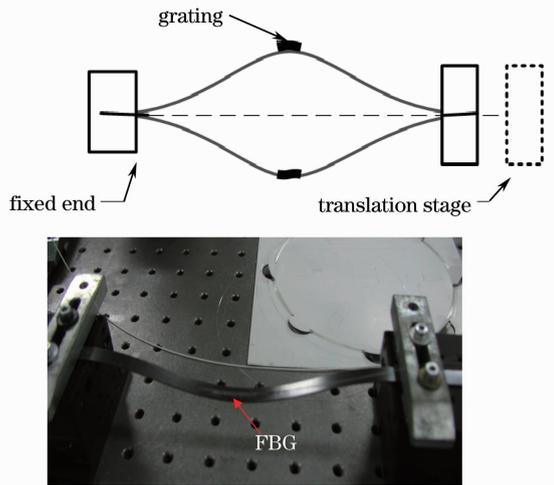


图 6 保偏光纤光栅的拱梁调谐结构

Fig. 6 Schematic diagram of tunable PM-FBG based on an arch elastic beam

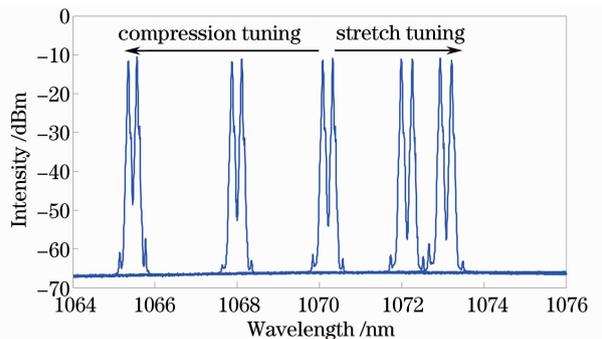


图 7 光纤光栅应变调谐过程中的激光光谱

Fig. 7 Measured laser spectrum during tuning PM-FBG

将抽运电流为 6.5 A 时的输出激光入射到格兰-汤姆孙(Glan-Thomson)偏振分光镜上<sup>[10]</sup>,透射光强随分光镜旋转角度的变化如图 8 所示。可见,排除旋转分光镜过程中镜面的机械抖动引起的微小起伏和光学材料的不均匀性等因素,则输出激光强度不随旋转角度而变。根据马吕斯定律,两束同强度相互正交的线偏振光沿格兰-汤姆孙棱镜的偏振

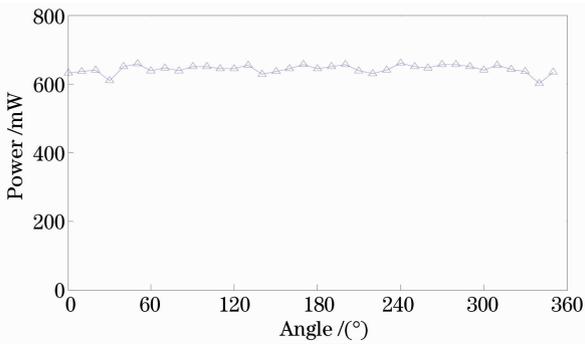


图 8 输出激光经过偏振分光镜后透射光强  
随偏转角的变化

Fig. 8 Fiber laser power transmitted through a polarizer  
as a function of polarizer's rotation angle

轴方向投影的合成强度不随角度旋转而改变。若想得到线偏振激光器,可在谐振腔内或腔外引入偏振选择性器件,选择性地抑制或衰减掉一个偏振态的激光,才能得到单波长线偏振激光。

## 4 结 论

报道了一种窄线宽、双波长、波长可调谐、稳定输出的掺镱双包层光纤激光器,该激光器利用低反射率的保偏光纤布拉格光栅和高反射率的双色镜构成激光谐振腔,以单模保偏双包层掺镱光纤为增益介质,输出功率为 1 W,信噪比为 48 dB,斜率效率为 34%。利用拱梁调谐技术引起光栅的轴向压缩和拉伸,获得激光波长的调谐范围为 8 nm,调谐过程中的激光功率、信噪比均保持不变,但是双波长间隔由于侧向的应变作用引入的双折射而有一定的改变。检偏测量验证了该双波长激光为正交偏振的线偏振光,并提出获得单波长线偏振激光的途径。

**致谢** 感谢中国科学院上海光学精密机械研究所全固态激光与应用技术重点实验室周军研究员给予的实验支持和有益讨论。

## 参 考 文 献

- 1 Fan Wande, Fu Shenggui, Zhang Qiang, *et al.*. Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fibre laser based on fibre Bragg grating [J]. *Chin Phys Lett*, 2003, 20(12): 2169–2171.
- 2 Zhou Jun, Lou Qihong, Zhu Jianqiang, *et al.*. A continuous-wave 714 W fiber laser with China-made large-mode-area double-clad fiber [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(7): 1119–1120. 周 军, 楼祺洪, 朱健强, 等. 采用国产大模场面积双包层光纤的 714 W 连续光纤激光器 [J]. *光学学报*, 2006, 26(7): 1119–1120.
- 3 N Jovanovic, A Fuerbach, G D Marshall, *et al.*. Stable high-power continuous-wave Yb<sup>3+</sup>-doped silica fiber laser utilizing a point-by-point inscribed fiber Bragg grating [J]. *Opt Lett*, 2007, 32(11): 1486–1488.
- 4 Fu Shenggui, Fan Wande, Zhang Qiang, *et al.*. Yb<sup>3+</sup>-doped double-clad fiber laser based on fiber Bragg grating [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(12): 4262–4267. 付圣贵, 范万德, 张 强, 等. 光纤光栅选频掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光纤激光器 [J]. *物理学报*, 2004, 53(12): 4262–4267.
- 5 Yanjun Cao, Kegui Xia, Yao Yao, *et al.*. Self-polarized ytterbium-doped fiber laser [J]. *Chin Opt Lett*, 2003, 10(9): 091408.
- 6 Feng Xinhuan, Sun Lei, Liu Yange, *et al.*. Switchable and spacing-tunable dual-wavelength erbium-doped fiber laser using a PM fiber Bragg grating [J]. *Chinese J Lasers*, 2005, 32(2): 145–148. 冯新焕, 孙 磊, 刘艳格, 等. 基于保偏光纤光栅的双波长掺铒光纤激光器 [J]. *中国激光*, 2005, 32(2): 145–148.
- 7 Feng Suchun, Xu Ou, Lu Shaohua, *et al.*. Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber-ring laser based on one polarization maintaining fiber Bragg grating in a Sagnac loop interferometer [J]. *Optics & Laser Technology*, 2009, 41(3): 264–267.
- 8 Yang Dongzhou, Feng Dejun, Wang Jing, *et al.*. Wavelength tuning of optical fiber grating on two-fixed-end elastic compressive bar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(3): 638–643. 杨东周, 冯德军, 王 静, 等. 基于两端固定压杆的光纤布拉格光栅波长调谐 [J]. *光学学报*, 2010, 30(3): 638–643.
- 9 Dongzhou Yang, Dejun Feng, Jing Wang, *et al.*. Tunable chirped fiber Bragg grating based on two-fixed-end compressive bar without central wavelength shift [C]. *The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Potics*, 2009.
- 10 Elodie Wikszak, Jens Thomas, Sandro Klingebiel, *et al.*. Linearly polarized ytterbium fiber laser based on intracore femtosecond-written fiber Bragg gratings [J]. *Opt Lett*, 2007, 32(18): 2756–2758.

栏目编辑: 宋梅梅