

文章编号: 0258-7025(2006)12-1597-04

偏振控制 C 波段波长可调谐掺铒光纤激光器

贺虎成, 杨玲珍, 王云才

(太原理工大学理学院物理系, 山西 太原 030024)

摘要 报道了一种结构简单的波长可调谐掺铒光纤激光器。该光纤激光器由增益平坦型掺铒光纤放大器(EDFA)、偏振相关光隔离器、光纤偏振控制器及输出耦合器组成。利用光纤偏振控制器和偏振相关光隔离器作为波长调谐器件,实现了光纤激光器的波长可调谐输出及双波长输出。利用琼斯矩阵理论分析了光纤激光器腔内不同波长的损耗与偏振控制器状态的关系,指出通过调节光纤偏振控制器,光纤激光器可以实现波长可调谐输出,同时阐述了光纤激光器双波长输出的机制。实验上获得了中心波长在 1542~1564 nm连续可调,平均功率大于 2.6 mW,边模抑制比大于 35 dB的连续激光输出。同时获得了波长为 1549 nm和 1564 nm的双波长连续激光输出。

关键词 激光技术;波长调谐;琼斯矩阵;掺铒光纤激光器;偏振控制;双波长

中图分类号 TN 248.1;TN 242 **文献标识码** A

C-Band Wavelength Tunable Erbium Doped Fiber Laser with Polarization Control

HE Hu-cheng, YANG Ling-zhen, WANG Yun-cai

(Physics Department, College of Science, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract A simple wavelength tunable erbium doped fiber laser, with a fiber polarization controller and a polarization dependent isolator (PDI) as wavelength selective devices, is theoretically and experimentally demonstrated, which consists of gain flattened erbium doped fiber amplifier (EDFA), polarization dependent isolator, fiber polarization controller, and output coupler. The polarization induced losses of different wavelengths were analyzed with Jones matrix; theoretical result showed that wavelength-tunability and dual-wavelength operation of the fiber laser could be obtained by adjusting the polarization controller. A tunable range from 1542 nm to 1564 nm, the side-mode suppression ratio above 35 dB and average output power over 2.6 mW were achieved for this fiber laser. Dual-wavelength operation at 1549 nm and 1564 nm of the fiber laser was also obtained.

Key words laser technique; wavelength tuning; Jones matrix; erbium doped fiber lasers; polarization control; dual-wavelength

1 引言

波长可调谐掺铒光纤激光器在光纤传感、光谱分析、材料加工及光通信系统等诸多领域均有着广泛的应用,从而引起人们极大的关注^[1~3]。实现掺铒光纤激光器波长可调谐的主要技术包括:在腔内加入法布里-珀罗(Fabry-Perot)滤波器^[4]、光纤布拉格光栅^[5]、光纤环镜^[6]、萨格纳克(Sagnac)干涉

仪^[7]、偏振器件^[8,9]等波长选择器件。其中采用偏振器件来实现波长可调谐是一种新的有效途径,它具有结构简单、易于调谐、调谐范围宽等特点。目前主要采用的偏振元件是非光纤的可旋转偏振片^[9],通过旋转改变偏振片的偏振方向,可实现 30 nm 的波长调谐。然而偏振片的使用破坏了整个激光器的全光纤结构,使得激光器的耦合损耗较大,输出功率和

收稿日期: 2006-03-16; **收到修改稿日期:** 2006-06-12

基金项目: 国家自然科学基金(60577019)资助项目。

作者简介: 贺虎成(1981—),男,湖北钟祥人,太原理工大学理学院物理系硕士研究生,主要从事光纤激光器方面的研究。
E-mail: he5ch@126.com

导师简介: 王云才(1965—),男,山西临漪人,太原理工大学理学院物理系教授,目前主要从事激光技术及应用、光通信技术方面的研究。
E-mail: group-wang@tyut.edu.cn

斜效率较低。文献[10]采用了光纤偏振控制器和光纤型偏振片,在实验上实现了 L -波段的波长调谐。本文采用光纤偏振控制器与光纤型偏振相关光隔离器实现了 C -波段掺铒光纤激光器的波长可调谐输出,研究了激光器的波长调谐范围以及不同波长的输出功率、边模抑制比、光谱线宽等参数,同时发现此激光器可以工作在双波长状态。并利用琼斯矩阵分析了激光腔内偏振态的演变以及不同偏振态引起的波长相关损耗,从而对偏振控制实现光纤激光器波长调谐及双波长输出给出了理论解释。

2 实验结构及原理

偏振控制波长可调谐掺铒光纤环形激光器的结构示意图如图 1 所示,该激光器由掺铒光纤放大器(EDFA)、偏振相关光隔离器(PDI)、光纤偏振控制器(FPC)和光纤耦合器等组成。实验采用的掺铒光纤放大器(武汉邮电科学研究所 EDFA-BA)在 1530 ~ 1565 nm 范围内增益平坦度小于 0.1 dB;偏振相关型光隔离器的偏振相关损耗为 30 dB;光纤偏振控制器利用环绕光纤的双折射特性制成;光纤耦合器的耦合比是 50:50。

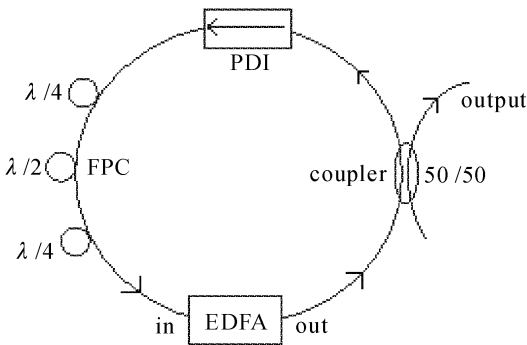


图 1 波长可调谐掺铒光纤环形激光器结构示意图

Fig. 1 Scheme of tunable erbium doped fiber ring laser

激光器实现可调谐输出的关键器件是偏振相关光隔离器和偏振控制器,偏振相关光隔离器相当于一个偏振片和一个光隔离器的组合,对不同偏振状态的光损耗不同。经过偏振相关光隔离器后不同波长的线偏振光在通过偏振控制器时经历了不同的相移,其偏振状态改变不同,形成不同偏振态的椭圆偏振光。而偏振相关光隔离器将偏振态的差异转变为损耗的差异。也就是说,光纤偏振控制器对不同波长偏振态的调节等效于对其腔内损耗的调节,从而实现掺铒光纤激光器的波长可调谐输出。

采用琼斯矩阵来分析光在激光腔内的偏振变化。假定光纤的双折射程度不变化,并忽略光纤的非线性效应,分别取光纤的快、慢轴方向为琼斯矢量的 x, y 轴。设从偏振相关光隔离器输出光的琼斯矢量为 $\mathbf{S} = \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix}$,偏振控制器可以简化为由两个四分之一波片(工作波长为 1550 nm)组成,其传输矩阵可写为: $\mathbf{F}(\lambda, \theta_1, \theta_2)$,其中 θ_1, θ_2 分别为两个波片与光纤快轴之间的夹角;激光器内其余光纤的传输矩阵为 $\mathbf{M}(\lambda)$;偏振相关光隔离器的传输矩阵为 $\mathbf{P}(\theta_0)$, θ_0 为偏振相关光隔离器损耗最小的偏振方向与光纤快轴之间的夹角。仅考虑腔内偏振的变化,则光经过激光器一周后的琼斯矢量为

$$\mathbf{S}' = \begin{pmatrix} U' \\ V' \end{pmatrix} = \mathbf{P}(\theta_0) \cdot \mathbf{M}(\lambda) \cdot \mathbf{F}(\lambda, \theta_1, \theta_2) \cdot \mathbf{S}, \quad (1)$$

$$\text{其中 } \mathbf{P}(\theta_0) = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_0 & \sin \theta_0 \cos \theta_0 \\ \sin \theta_0 \cos \theta_0 & \sin^2 \theta_0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\mathbf{M}(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp\left(i \frac{2\pi B L}{\lambda}\right) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$B = n_y - n_x$,为光纤的双折射系数; L 为腔长。

$$\mathbf{F}(\lambda, \theta_1, \theta_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp\left(i \frac{\lambda - 1550}{1550}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_2 - i \sin \theta_1 \sin \theta_2 & \sin \theta_1 \cos \theta_2 + i \cos \theta_1 \sin \theta_2 \\ \sin \theta_1 \cos \theta_2 - i \cos \theta_1 \sin \theta_2 & -\cos \theta_1 \cos \theta_2 - i \sin \theta_1 \sin \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

由偏振引起的损耗可写为

$$K = -10 \times \lg \frac{|U'|^2 + |V'|^2}{|U|^2 + |V|^2}. \quad (5)$$

数值模拟了当光纤偏振控制器两个四分之一波片与光纤快轴之间的夹角分别为 $\theta_1 = \theta_2 = 0; \theta_1 = \pi/6, \theta_2 = \pi/3; \theta_1 = \pi/3, \theta_2 = -\pi/6$ 时,由偏振引起的损耗与波长的关系如图 2 所示。为简化处理,取偏振相

关光隔离器的偏振方向与光纤的快轴成 45° ,光纤双折射系数取 $B = 2.6 \times 10^{-6}$,腔长 $L = 30$ m。

从图 2 中可以看出,对不同波长成分,由偏振引起的损耗不同,其与波长呈近周期性变化。因为当两个波长成分的光在腔内运行一周所经历的相移相差为 2π 的整数倍时,由偏振引起的损耗相同。由于掺铒光纤激光器输出波长为净增益最大的波长成

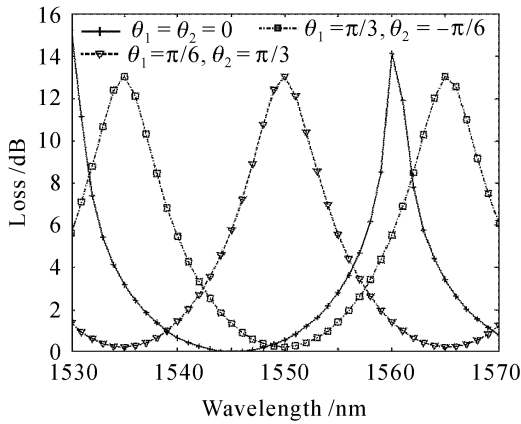


图 2 偏振相关损耗与波长的关系

Fig. 2 Polarization induced loss versus wavelength

$$B = 2.6 \times 10^{-6}, L = 30 \text{ m}$$

分,而掺铒光纤放大器对增益曲线内各个波长的增益平坦,故激光器输出波长即为损耗最低的波长成分。当调节偏振控制器两个波片的方位角后,激光器内振荡波长的损耗发生变化,损耗最低的波长成分随之改变,从而实现光纤激光器的波长可调谐输出。从图中还发现,偏振控制器两个波片的方位角在某些位置(如图中 $\theta_1 = \pi/6, \theta_2 = \pi/3$)时,偏振引起的损耗在激光器的增益谱线内有两个低损耗窗口,光纤激光器将工作在双波长输出状态。

3 实验结果及讨论

按图 1 所示的实验图进行实验,利用光谱仪(Agilent86140B)和光功率计(PMS-1BF)分别检测激光器的输出光谱和输出功率。理论上,该激光器的波长调谐范围与所用掺铒光纤放大器的增益带宽相同。然而,在实验中由于掺铒光纤放大器增益曲线不完全平坦,以及其他因素导致的波长相关性损耗和光纤中非线性效应的影响,实际的调谐范围小于理论值,输出功率有微弱起伏。实验上通过调节偏振控制器波片的方位角,实现输出波长从 1542~1564 nm 连续可调谐,波长调谐范围 22 nm,边模抑制比在 35 dB 以上(如图 3(a)),输出功率在 4.2~4.8 dBm 变化(如图 3(b)),3 dB 线宽在 0.5 nm 左右。

图 4 为调节光纤偏振控制器波片方位角到某位置时获得的波长为 1549 nm 和 1564 nm 的双波长连续激光输出光谱图,两个波长的 3 dB 线宽约为 0.5 nm,边模抑制比均在 30 dB 以上。激光器稳定工作 1 h 以上,仍保持在双波长工作状态。由于存在模式竞争,两个波长成分功率有微弱起伏。

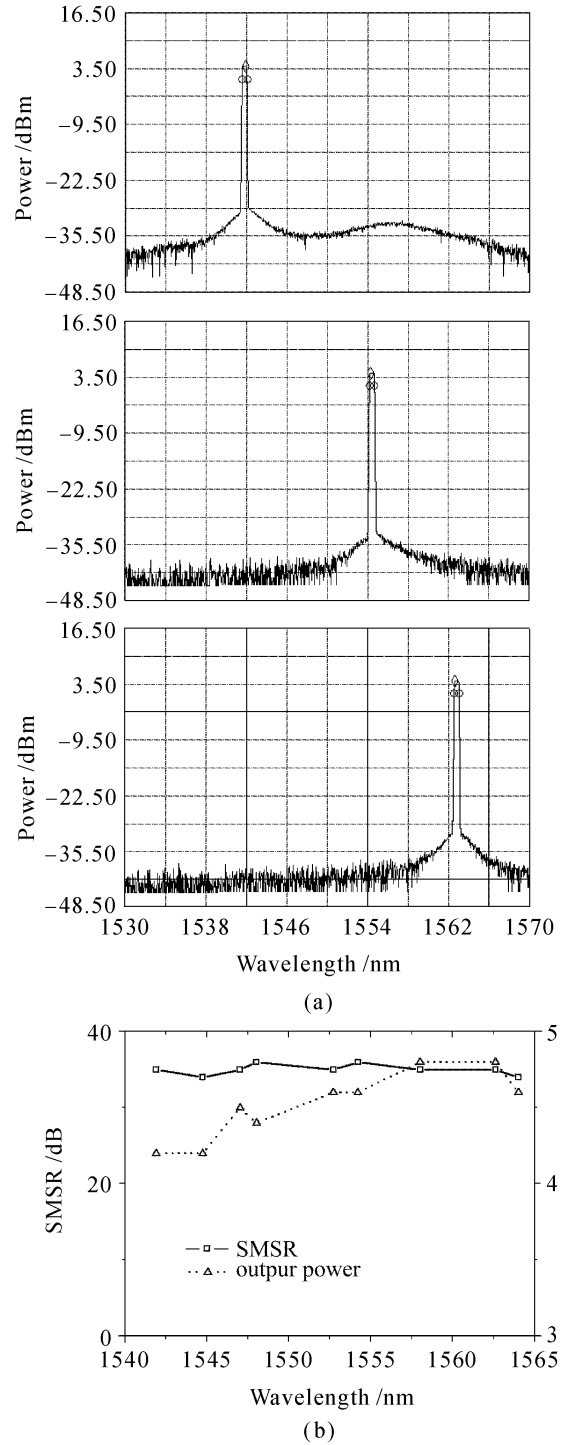


图 3 激光器输出不同波长的光谱图(a)及边模抑制比和输出功率的关系(b)

Fig. 3 (a) Spectra and (b) SMSR and output power at different wavelengths

4 结论

通过利用琼斯矩阵分析由不同偏振状态导致的波长相关损耗,对偏振控制光纤激光器实现可调谐及双波长输出给出了理论解释。实验上实现了光纤激光器输出波长从 1542~1564 nm 连续可调谐,调谐范围达 22 nm。在调谐范围内,激光器输出的边模

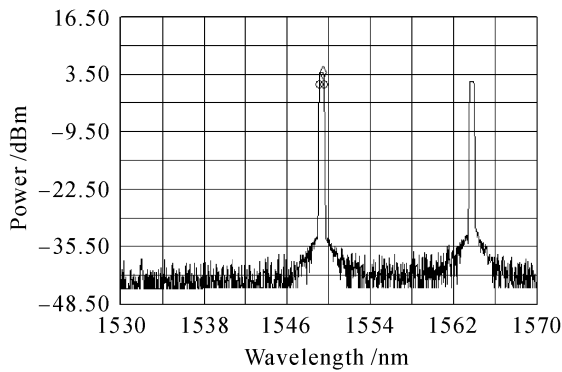


图 4 激光器双波长输出时的光谱图

Fig. 4 Spectrum of dual-wavelength operation

抑制比大于35 dB,输出功率在4.2~4.8 dBm变化,3 dB光谱线宽在0.5 nm左右。同时得到了波长为1549 nm和1564 nm的双波长连续激光输出。

参 考 文 献

- 1 Paul D. Humphrey, John E. Bowers. Fiber-birefringence tuning technique for an erbium-doped fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(1):32~34
- 2 Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Sien Chi. A tunable S-band erbium-doped fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(8):1053~1054
- 3 Chien-Hung Yeh, Ming-Ching Lin, Sien Chi. Stabilized and wavelength-tunable S-band erbium-doped fiber ring laser with single-longitudinal-mode operation [J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(18):6828~6832
- 4 Cai Zhiping, Zeng Lizhu, Ge Chunfeng *et al.*. Study of the tunable fiber laser based on angle-tuning Fabry-Perot filter for C-band [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2005, **16**(4):429~432
蔡治平,曾丽珠,葛春风等. 基于角度调谐 F-P 干涉仪的 C 波段可调谐激光器的研究[J]. *光电子·激光*, 2005, **16**(4):429~432
- 5 Jia Baohua, Sheng Qiuqin, Chen Kai *et al.*. A practical wavelength continuously tunable fiber laser with high-powered and low-noised [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(2):133~136
贾宝华,盛秋琴,陈凯等. 一种实用化的高功率低噪声波长连续可调光纤激光器[J]. *中国激光*, 2004, **31**(2):133~136
- 6 Yang Shiquan, Zhao Chunliu, Yuan Shuzhong *et al.*. Wavelength tunable linear cavity erbium-doped fiber laser operating in L-band [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(6):706~708
杨石泉,赵春柳,袁树忠等. L 波段线型腔波长可调谐掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2002, **22**(6):706~708
- 7 Xiaofeng Jin, Kejiang Zhou. Tunable fiber ring laser employing a Sagnac interferometric filter [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(10):600~602
- 8 N. Azami, A. Saissy, M. De Micheli *et al.*. Improved polarimetric tuning of an Er^{3+} -doped fiber laser [J]. *Opt. Commun.*, 1998, **158**(1):84~88
- 9 Nir Friedman, Avishay Eyal, Moshe Tur. The use of the principal states of polarization to describe tunability in a fiber laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(5):642~648
- 10 Xiao Lei, Guo Yubin, Zhang Jiansheng *et al.*. Tunable L-band ring erbium-doped fiber laser [J]. *Laser & Infrared*, 2004, **34**(6):445~448
肖磊,郭玉彬,张健生等. L-波段可调谐环形掺铒光纤激光器[J]. *激光与红外*, 2004, **34**(6):445~448