

100nm 宽光谱可调谐掺铒光纤激光器*

王 东 张敏明 刘晓明 刘德明

(华中科技大学光电子工程系, 武汉 430074)

摘 要 采用 1480 nm 大功率激光二极管双向抽运, 新型铋基掺铒光纤做增益介质, 基于旋转法布里-珀罗腔的可调谐滤波器和带通滤波器做选频装置的宽光谱环形腔可调谐光纤激光器, 可实现 100 nm(1523~1623 nm)激光波长程控连续可调谐输出, 激光输出功率大于 1.58 mW, 3 dB 带宽小于 0.1 nm, 波长重复性准确度小于 0.01 nm.

关键词 光纤通信技术; 宽光谱可调谐掺铒光纤激光器; 环形腔; 法布里-珀罗可调谐滤波器; 铋基掺铒光纤

中图分类号 TN248

文献标识码 A

0 引言

随着信息社会对于信息量的需求, 使得采用 DWDM(密集波分复用)技术的光传输网需要更多的信道. 信道数目的增多, 使得 DWDM 的光源的工作波长范围的也要相应的增宽, 作为 DWDM 技术光源的可调谐激光器的研究也就引起了人们的浓厚的兴趣. 掺铒光纤在 1550 nm 波段有着良好的增益特性, 同时 1550 nm 波段也正是 DWDM 技术所使用的波长, 这就使得掺铒光纤激光器成为研究光通信可调谐激光器的良好选择. 传统的掺铒可调谐激光器的调谐范围多为 C 带(1530~1560 nm)^[1] 或者 L 带(1570~1610 nm)^[2], 调谐方式多为光纤光栅的轴向拉伸调谐、轴向压缩调谐^[3]、悬臂梁(简支梁)调谐^[4] 以及液晶法布里-珀罗滤光片^[5] 等, 调谐范围有限. 本文报道了一种新型的可调谐光纤激光器, 采用环形腔结构, 1480 nm 大功率 LD 双向抽运, 新型铋基掺铒光纤做增益介质, 带通滤波器和基

于旋转法布里-珀罗腔的可调谐滤波器作为选频装置, 选频装置在铋基掺铒光纤的 ASE 谱中选取一个波长, 使之在环形腔内形成激射, 产生激光输出. 激光器的调谐范围可达 100 nm(1523~1623 nm), 覆盖整个 C 带和 L 带. 同时, 激光器的控制模块使得激光器输出波长、输出功率可调.

1 实验装置与原理

1.1 实验装置

实验装置如图 1. 抽运模块采用自制电路驱动大功率激光二极管正、背向双向抽运, 激光二极管中心波长 1480 nm, 最大输出功率 270 mW, 经 WDM 合波器耦合入环形腔. 铋基掺铒光纤作增益介质. 通过 1×2 的光开关控制的带通滤波器选择激光激射窗口, 在相应的激光激射窗口中, 可调谐滤波器做二次选频, 隔离器使得光在环形腔内单向传输, 避免产生多余的谐振腔, 30/70 耦合器的 30% 端做输出; 70% 端接到 WDM, 形成环型腔, 1/99 耦合器的 1%

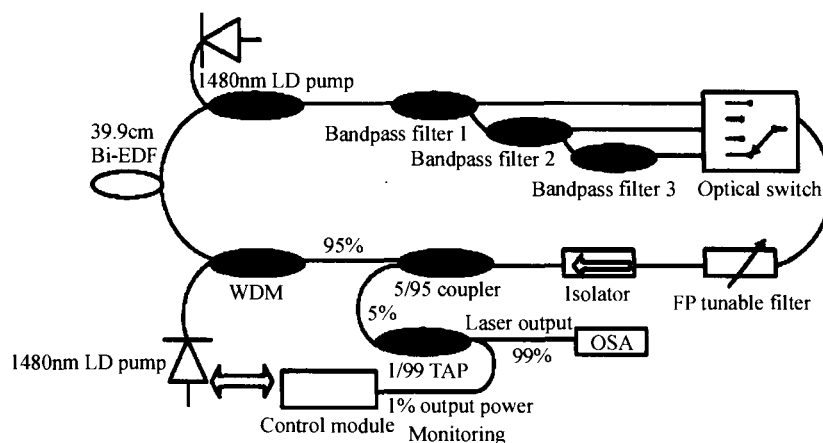


图 1 实验装置

Fig. 1 Setup of the experiment

端用来监控输出功率, 通过光电探测二极管采集输出功率信号, 控制模块根据光电探测二极管采集的输出功率信号改变抽运激光器的输出功率, 使系统的输

* 武汉市重大科技攻关项目资助

Tel: 027-87549037 Email: hustwd@hotmail.com

收稿日期: 2005-05-16

输出功率保持稳定,避免了由于饵纤的增益不平坦引起的激光输出功率的不平坦,同时也可实现输出功率的可调。

1.2 铋基掺铒光纤

新型铋基掺铒光纤的 Er^{3+} 掺杂浓度大大高于普通 EDF,其掺杂浓度可以达到 13000wt. ppm 如图 2(a). 在 1480 nm 激光二极管的双向抽运下可以获得比普通饵纤更宽的 ASE 谱,其增益带宽与普通的饵纤相比,可以增大 30%,从而为增大激光器的调谐范围提供了可能^[6-8],如图 2(b). 同时,由于其高的掺杂浓度,其长度也可以大大减少,实验中所用饵纤仅为 39.9 cm,大大减小了系统的体积。

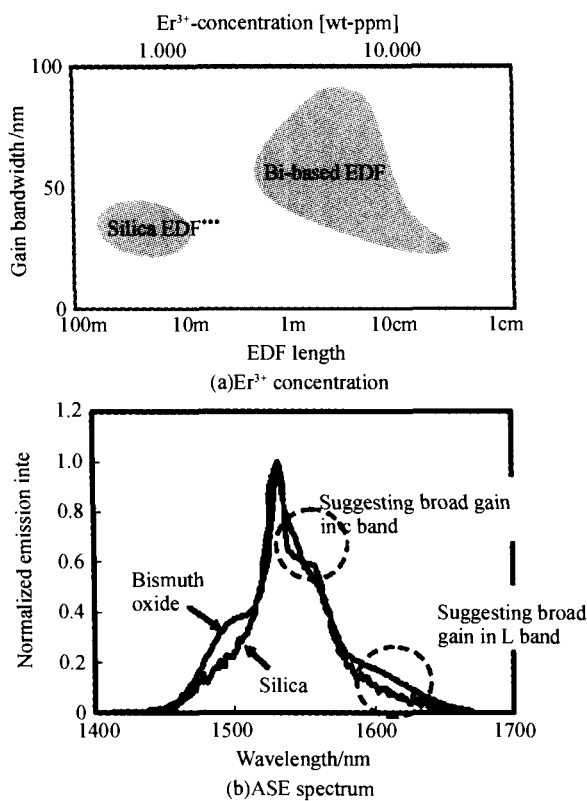


图2 铋基饵纤与普通饵纤对比
Fig. 2 The comparison between Bi-based EDF and common EDF

1.3 调谐方式

为了实现激光器的可调谐输出,在腔内采用了两个滤波器进行选频:带通滤波器和可调谐滤波器.可调谐滤波器是基于步进电机和精密定位技术控制旋转法布里-珀罗滤光片的结构.自制的法布里-珀罗滤光片,采用双固体腔,超宽自由光谱范围(>60 nm),3 dB 带宽 2.2 nm,低损耗(中心波长损耗 <1 dB).当旋转法布里-珀罗滤光片,改变入射光的入射角度时,法布里-珀罗腔中能够形成多光束干涉的波长将发生变化,从而可以在饵纤的 ASE 谱中选取一个波长在环形腔内形成激射,达到选频的目的.实验用步进电机和精密位置探测技术控制 FP

滤波片的旋转,旋转准确度可达到对应可调谐滤波器的调谐准确度,即小于 0.01 nm;对于某个固定角度,法布里-珀罗滤波片会有多个波长可形成多光束干涉,如图 3,其波长间隔即为法布里-珀罗腔的自由光谱范围.为了避免可能由此产生的腔内模式竞争,在腔内加入了带通滤波器作为激光激射窗口选择器件,通过有选择地给能够在法布里-珀罗腔内产生多光束干涉的波长加入损耗来避免腔内模式竞争

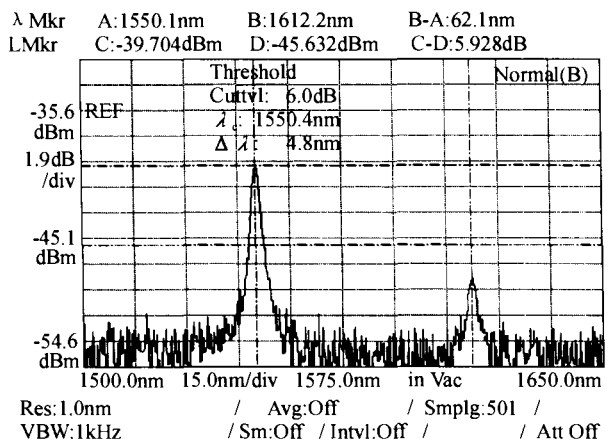
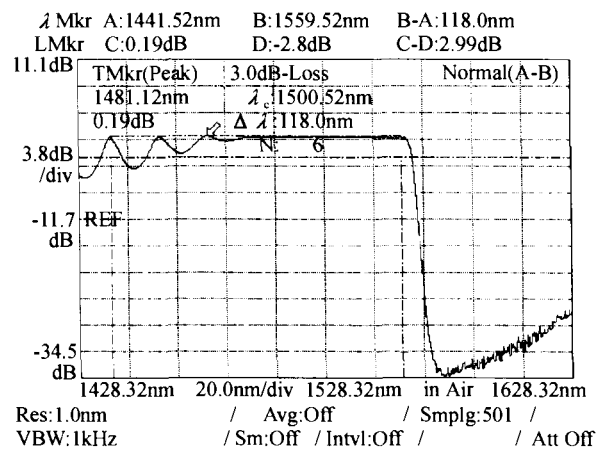
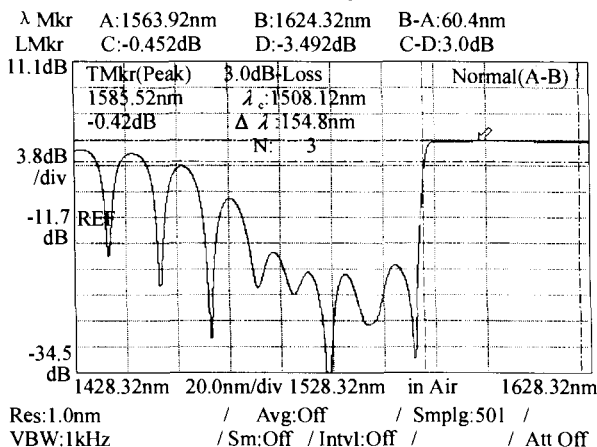


图3 法布里-珀罗滤波片的自由光谱范围
Fig. 3 FSR spectrum of F-P filter



(a)C-band bandpass filter



(b)L-band bandpass filter

图4 带通滤波器光谱
Fig. 4 Bandpass filter spectrum

的产生. 带通滤波器将 1523~1623 nm 的调谐范围分为以 1564 nm 为分界点的长波和短波两段, 如图 4. 通过光开关选通带通滤波器的两个不同的通路, 可以实现可调谐滤波器在长波段和短波段的两个波长激光窗口进行调谐, 从而可实现激光器的单波长可调谐输出.

1.4 控制模块

控制模块是用来接收用户的波长调谐及功率设置信号, 根据波长调谐和功率信号控制可调谐滤波器、光开关的工作; 根据功率设置信号控制抽运模块两只激光器的输出功率, 并监控其工作情况; 接收用于监控激光器输出功率的耦合器的反馈信号, 调节抽运激光器输出功率, 使激光器输出功率平坦, 同时达到用户设置值.

2 实验结果

2.1 调谐范围

图 5 分别为用 Anritsu MS9710C 光谱仪观测

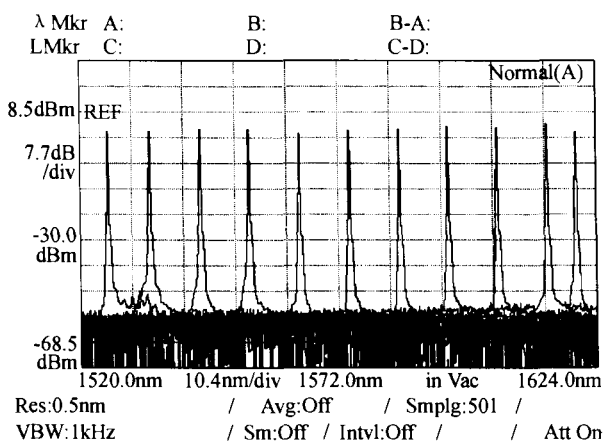


图 5 波长调谐范围
Fig. 5 Tuning range

到的从 1523~1623 nm 在每 10 nm 间隔内选取一个波长的激光输出谱线. 由图 5 的谱线可以看出, 可调谐光纤激光器其调谐范围可以覆盖 1523~1623 nm. 同时, 控制模块允许用户在定制波长的基础上, 对输出激光波长进行微调.

2.2 输出光谱 3 dB 带宽

图 6 为中心波长为 1585.33 nm 的激光谱线, 从图中可以看出, 其 3 dB 带宽为 0.064 nm.

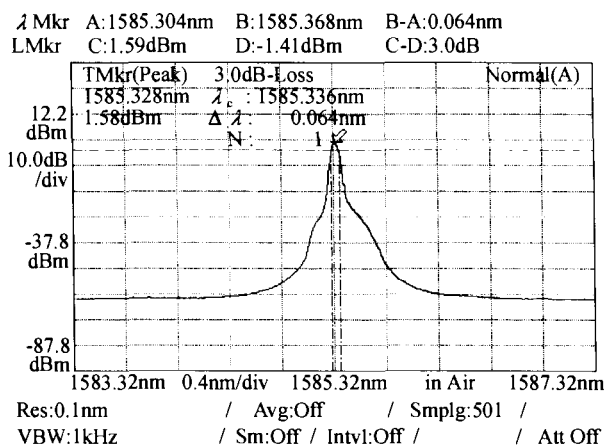


图 6 输出激光 3 dB 带宽
Fig. 6 3 dB bandwidth

2.3 抽运特性

图 7(a)、图 7(b) 为输出激光中心波长为 1570.128 nm 和 1620.672 nm 时的抽运特性, $P_{\text{pump}} = P_{\text{前向抽运}} + P_{\text{背向抽运}}$ 为抽运总功率, P_{out} 为可调谐激光器输出功率. 图 7(a) 线性部分拟合结果为 $P_{\text{out}} = 0.0326P_{\text{pump}} - 1.3702$, 图 7(b) 线性部分拟合结果为 $P_{\text{out}} = 0.0178P_{\text{pump}} - 1.3228$, 图 7(c) 为输出激光中心波长为 1525.612 nm 时的抽运特性. 由于铒离子在 1520 nm 波段的结对现象, 造成了抽运在该波段抽运效率的下降^[9,10].

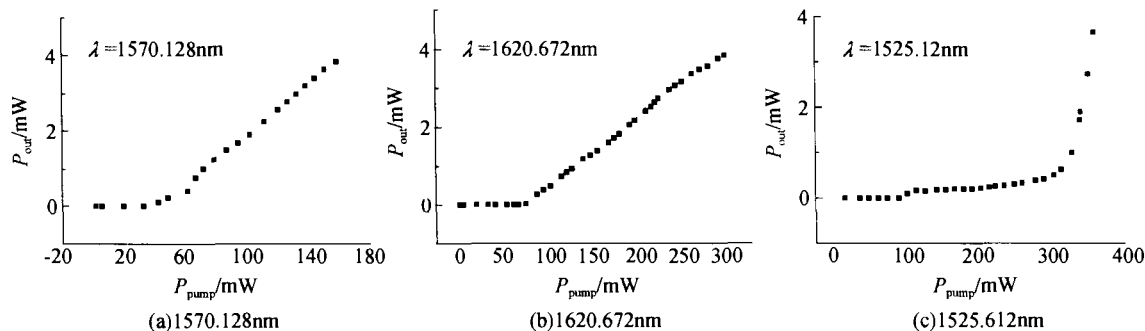


图 7 抽运特性
Fig. 7 Output power against pump power

3 结论

本文报道了采用 1480 nm 大功率 LD 双向抽运, 新型铋基掺铒光纤做增益介质的环形腔可调谐光纤激光器. 采用可调谐滤波器做选频装置, 辅以

带通滤波器做激射波长窗口选择装置, 单谐振腔达到 100 nm 的波长调谐范围, 激光程控输出, 输出功率大于 2 dBm, 3 dB 带宽小于 0.1 nm, 重复性误差小于 0.01 nm. 调谐范围大、输出功率高、重复准确度高, 是 DWDM 技术、光通信产品测试以及实验室

用的理想光源.

参考文献

- 1 关柏鸥,郭转运,刘志国,等. 宽带调谐全光纤环形激光器. 中国激光,2000,**27**(3):197~199
Guan B O, Guo Z Y, Liu Z G, *et al.* *Chinese Journal of Lasers*, 2000, **27**(3):197~199
- 2 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. 光学学报,2002,**22**(6):706~708
Yang S Q, Zhao C L, Yuan S Z, *et al.* *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(6):706~708
- 3 赵春柳,马宁,董新永,等. 基于光纤光栅的可调谐半导体激光器. 光子学报,2002,**31**(12):1514~1517
Zhao C L, Ma N, Dong X Y, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002, **32**(12):1514~1517
- 4 刘志国,张艺兵,开桂云,等. 新型光纤光栅线性调谐方法. 光学学报,1998,**18**(12):1731~1734
Liu Z G, Zhang Y B, Kai G Y, *et al.* *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(12):1731~1734
- 5 黄腾超,陈海星,李海峰,等. 可调谐液晶法一珀滤光片的研究. 光子学报,2003,**32**(12):1438~1441
Huang T C, Chen H X, Li H F, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1438~1441
- 6 杨建虎,戴世勋,温磊,等. 掺铒铋酸盐玻璃的光谱性质研究. 光子学报,2002,**31**(11):1382~1386
Yang J H, Dai S X, Wen L, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(11):1382~1386
- 7 Hideyunki, Sotobayashi. Broad-band wavelength-tunable, single frequency and single polarization Bismuth Oxide-based Erbium-doped fiber laser. *IEEE Photonics Technology Letter*, 2004, **16**(7):1628~1630
- 8 Sugimoto N, Kuroiwa Y, Ochiai K, *et al.* Novel short-length EDF for C + L band amplification, OAA 2000, Quebec City, PDP3
- 9 Delevaque E, Georges T, Monerie M, *et al.* Modeling of pair-induced quenching in erbium-doped silicate fibers. *IEEE Photon Technol Lett*, 1993, **5**:73~75
- 10 Myslinski P, Nguyen D, Chrostowski J. Effects of concentration on the performance of Erbium-doped fiber amplifiers. *J Lightwave Technol*, 1997, **15**: 112~120

100 nm Widely Tunable Er-doped Fiber Laser

Wang Dong, Zhang Minming, Liu Xiaoming, Liu Deming

Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

Received date: 2005-05-16

Abstract A widely tunable ring cavity fiber laser using 1480 nm high power LDs as forward and backward pumping is discussed. It also takes the Bi-based Er-doped fiber as the gain media, and uses the rotating F-P tunable filter and two band-pass filters as the wavelength tuning device. The laser can cover 100 nm (1523 ~ 1623 nm) tuning range controlled by software. The output power is above 2 dBm. The 3 dB bandwidth is below 0.1 nm. The wavelength repetition precision is below 0.01 nm.

Keywords Fiber communication technology; Widely tunable Er-doped fiber laser; Ring cavity; F-P cavity tunable filter; Bi-based Er-doped fiber



Wang Dong was born in 1980 in Hubei Province. Now he is a postgraduate in the department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology. His research interests include fiber laser and fiber amplifier.