

基于半导体光放大器的可调谐多波长光纤激光器*

王肇颖 胡智勇 包焕民 姜晓骏 贾东方 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘 要 报道了一种新型环形腔可调谐多波长光纤激光器, 腔内以半导体光放大器为增益介质, 利用高双折射光纤构成的高双折射环形镜的滤波特性, 在室温下, 获得了基本符合 ITU-T 标准 100 GHz 的 17 个波长以上的稳定多波长输出. 各信道峰值功率差小于 6 dB, 线宽小于 0.102 nm, 信噪比大于 25 dB. 通过调节高双折射环形镜内的偏振控制器状态实现了这一组波长整体在 50 GHz 范围内连续可调谐. 并利用实验方法, 对该光纤激光器应用于掺铒光纤放大器对多信道放大性能测试的可行性进行了初步探讨.

关键词 多波长; 可调谐; 半导体光放大器; 高双折射光纤环形镜

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

多波长光纤激光器具有与光纤及光纤器件兼容、线宽窄、输出功率高、低强度噪音、稳定性优良、可以同时输出两个以上波长等优点, 在光纤通信、光传感和高分辨率光学测试等领域有着重要的应用. 尤其近年来随着光纤通信中密集波分复用 (DWDM) 系统的迅猛发展, 多波长光纤激光器作为波长路由网络中的重要光源可以有效地避免信道冲突, 更是成为研究热点. 其中研究得最早的一类多波长掺铒光纤激光器是直接利用掺铒光纤 (EDF) 的增益特性构成直线腔或环形腔光纤激光器, 在腔内插入光纤光栅、F-P 标准具等器件提供光反馈并选择激射波长, 在 C 带、L 带获得激光输出^[1~4]. 但是由于 EDF 均匀加宽特性的限制, 在波长间隔较小时, 激光波长的稳定性随着均匀增益加宽 EDF 的交叉增益饱和而降低. 为了提高多波长输出的稳定性, 需要有效地抑制增益竞争^[5,6], 但这些方法提高了激光器的复杂程度和成本.

与 EDF 相比, 半导体光放大器 (SOA) 在室温下的均匀加宽线宽在 1550 nm 附近仅有 0.6 nm, 这使得利用 SOA 构成的光纤激光器可以更为轻松地获得符合波分复用 (WDM) ITU-T 网格的多波长输出^[7]. 本文报道利用高双折射光纤构成的高双折射光纤环形镜 (Hi-Bi FLM) 作为滤波器放置在由 SOA 构成的环形腔光纤激光器内, 得到 17 个波长以上, 间隔符合 ITU-T 标准 100 GHz 的多波长输出, 各信道信噪比 (SNR) 大于 25 dB, 峰值功率差小

于 6 dB. 通过调整 Hi-Bi FLM 内的偏振控制器, 实现了这组波长在 50 GHz 范围内整体连续可调谐.

1 Hi-Bi FLM 的滤波原理

Hi-Bi FLM 的结构如图 1, 它由一个 3 dB 耦合器、一段长 L 的高双折射 (Hi-Bi) 光纤和偏振控制器 (PC) 构成. 从 1 端口入射的波长为 λ 的光被耦合器分成相向传输的两束光 E_3 和 E_4 , 设 E_{ix} 和 E_{iy} ($i=3,4$) 分别为光纤快轴和慢轴上的分量. 考虑 PC 将光旋转 90° 的简单情况, 其中顺时针传输的光分量 E_{3x} 先沿光纤快轴传输, 在 PC 的输出端旋转到慢轴上成为 E'_{3x} , 而逆时针传输的光分量 E_{4x} 先被 PC 旋转到光纤的慢轴, 再沿慢轴传输至 3 端口成 E'_{4x} . 于是两束光在 x 方向上的分量 E_{3x} 和 E_{4x} 由于光纤快慢轴折射率差而产生相位差 $\delta(\phi) = \frac{2\pi}{\lambda}L(n_o - n_e)$, 并在耦合器处干涉^[8], 其中 n_o 和 n_e 分别为光纤慢轴和快轴的折射率. 同样两束光在 y 方向上分量也产生相同的相位差并在耦合器处干涉. 可知, FLM 的反射率为 $R(\lambda) = 2K(1-K)[1 + \cos(\delta(\phi))]$, 式中, K 为耦合器的分束比, 当 $K=0.5$ 时 $R(\lambda)$ 得到最大的对比度. 通过改变 PC 的状态, 可以使不同部分相向传输的光发生干涉, 从而改变 $R(\lambda)$ 的大小和峰值对应的波长, 故 FLM 可以作为滤波器使用并实现波长的可调谐. 图 2(a) 为实验测得的用该 Hi-Bi FLM 对 SOA 的自发辐射 (ASE) 谱滤波的局部结果, 改变 PC 的状态, 得到滤波输出的对比度和透射波长结果不同, 如图 2. 此外光纤的长度 L 决定了 $R(\lambda)$ 的周期, $R(\lambda)$ 的周期随 L 的增加而缩短, 如图 2 和图 3. 图中 Hi-Bi 的长度分别为 5.9 m 和 7 m, 得到的 ASE 谱滤波的间隔约为 0.8 nm 和 0.65 nm.

* 国家自然科学基金 (69877012) 和天津大学青年教师基金资助项目

Tel: 022-27402421 Email: wangzy@tju.edu.cn

收稿日期: 2004-12-24

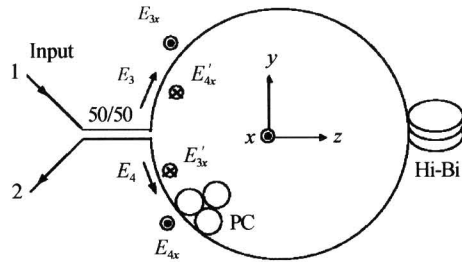


图 1 高双折射光纤环形镜的滤波原理
Fig. 1 Principle of Hi-Bi fiber loop mirror

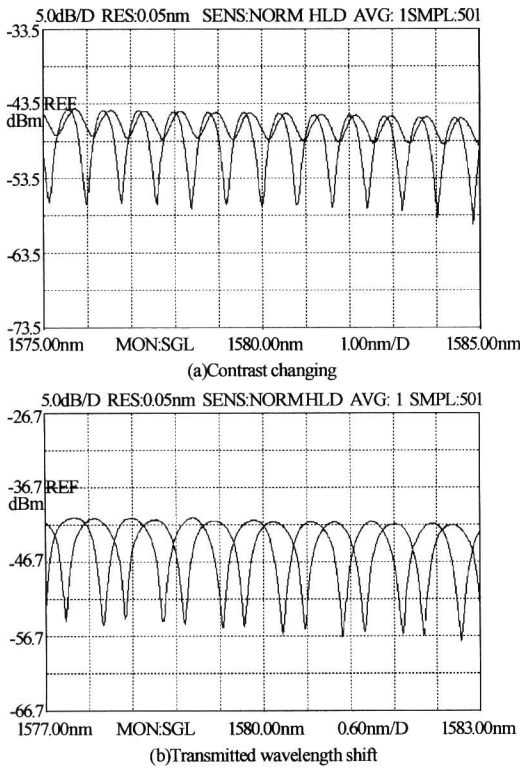


图 2 改变 PC 状态, 得到 Hi-Bi FLM 对 SOA 输出 ASE 谱滤波的不同结果 (Hi-Bi 长度为 5.9 m)
Fig. 2 Results of filtered spectrum by Hi-Bi FLM with different PC states

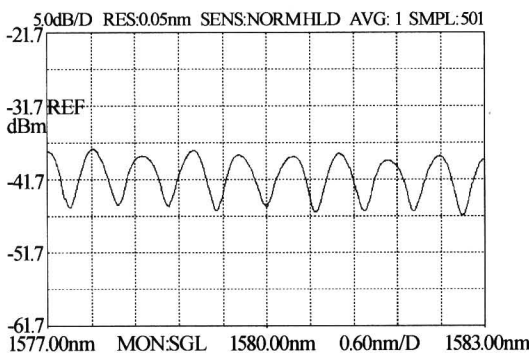


图 3 Hi-Bi 长度为 7 m 时, Hi-Bi FLM 对 SOA 输出 ASE 谱滤波的结果
Fig. 3 Filtered spectrum of SOA spectrum by Hi-Bi FLM with 7 m Hi-Bi fiber length

2 实验结果和讨论

实验装置见图 4, 其中 Hi-Bi 光纤在 1310 nm 处的拍长约为 3 mm, 取其长度 5.9 m 以获得间隔

100 GHz 的多波长输出结果. FLM 内的 PC1 控制光的偏振状态从而实现输出波长的整体可调谐, 激光器腔内的 PC2 调节腔内的整体增益. 激光器输出结果送入 Ando 的 AQ-6315A 光谱仪进行测量和分析.

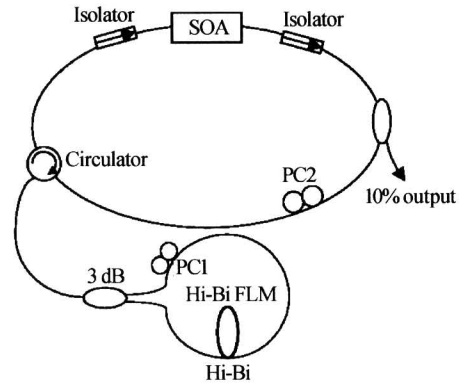


图 4 可调谐多波长光纤激光器的实验装置图
Fig. 4 Experiment setup of tunable multi-wavelength fiber laser

图 5(a) 给出了当 SOA 的驱动电流为 280 mA 时, 得到的一组多波长输出结果, 其中 17 个波长的功率变化量小于 6 dB, 波长间隔基本符合 100 GHz, 各波长线宽约为 0.102 nm (测量受光谱仪准确度限制), 信噪比大于 25 dB. 在这一组波长 (190.0885 THz~188.7386 THz) 之外可以观察到增益较低的不稳定振荡. 图 5(b) 中还给出了对这一组多波长中 9 个波长重复扫描的结果 (20 min 内

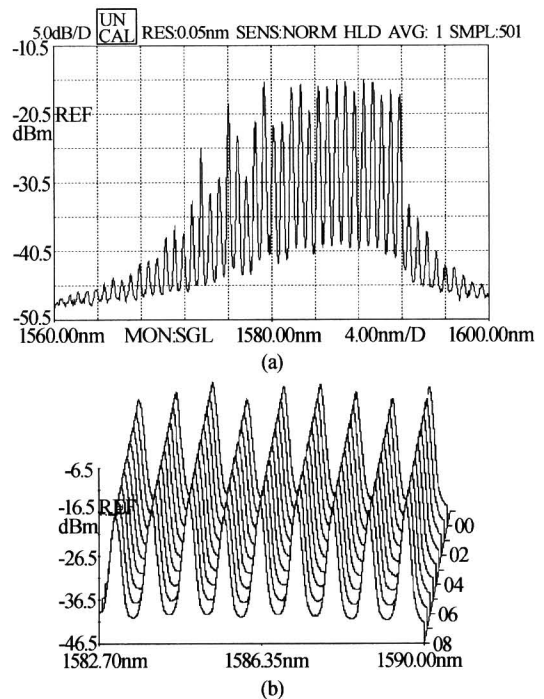


图 5 多波长光纤激光器输出的多波长结果 (a) 和重复扫描的结果 (b)
Fig. 5 Output of multi-wavelength fiber laser (a) and repeated scan result (b)

取 10 次), 其中各个波长峰值功率相对微小的变化主要是源自于外界环境的扰动. 通过调节 PC1, 可以实现这一组输出波长的整体连续可调谐, 其最大的调谐范围为 50 GHz, 如图 6.

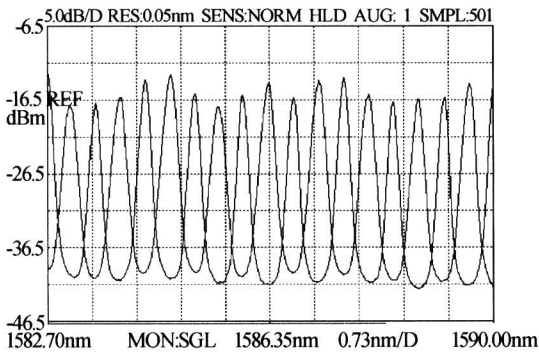


图 6 多波长整体调谐的输出结果

Fig. 6 Continuously tuning result of multi-wavelength as a unit

作为对该多波长光纤激光器实际应用的初步探讨, 本文考虑它可以作为多信道光源应用于掺铒光纤放大器(EDFA)特性的测试, 从而克服以往用单一波长光源逐点测试 EDFA 性能的复杂性和欠准确性. 图 7 为利用这个多波长光源对实验室自制的 L 带 EDFA 性能测试的光谱图. 根据输入和放大后输出信号的结果, 光谱仪可以自动分析出各信道

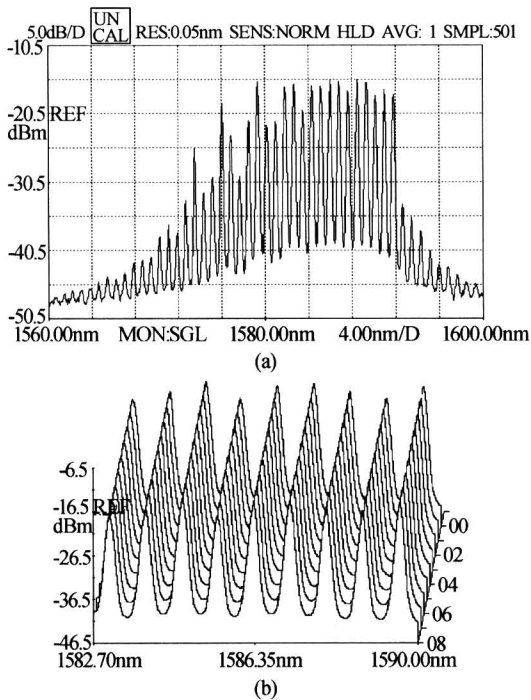


图 7 带掺铒光纤放大器对多波长光纤激光器的放大结果
Fig. 7 Amplified result of multi-wavelength by a L band EDFA

的信噪比、增益和噪音指数, 从而对 EDFA 的特性作出评价. 但是由于所用型号光谱仪功能的限制, 这里没有办法直接获得这些分析数据.

3 结论

利用高双折射光纤构成的光纤环形镜作为滤波器, 放置在半导体光放大器构成的环形光纤激光腔内, 成功得到了基本符合 ITU-T 标准的 17 个波长输出, 并实现了这一组波长在 50 GHz 范围内整体连续可调谐. 实验证明, 这是一种获得可调谐多波长输出的简单易行方法. 长期稳定性是其需要解决的问题, 目前正实验用简易温控装置提高系统稳定性.

参考文献

- 1 赵东晖, 杨秀峰, 葛春风, 等. 一种多波长窄线宽环形掺铒光纤激光器. 光子学报, 1998, **27**(5): 459~461
Zhao D H, Yang X F, Ge C F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(5): 459~461
- 2 赵洪霞, 柳春郁, 余有龙, 等. 一种结构新颖波长间距可调谐的光纤激光器. 光子学报, 2003, **32**(4): 392~394
Zhao H X, Liu C Y, Yu Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(4): 392~394
- 3 杨秀峰, 葛春风, 赵东晖, 等. 双波长窄线宽光纤光栅环形腔激光器. 光子学报, 1998, **27**(5): 438~440
Yang X F, Ge C F, Zhao D H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(5): 438~440
- 4 Mao Q, Lit J W Y. Multiwavelength erbium-doped fiber lasers with active overlapping linear cavities. *IEEE Light Tech*, 2003, **21**(1): 160~169
- 5 Yamashita S, Hotatf K. Multiwavelength erbium-doped fibre laser using intracavity etalon and cooled by liquid nitrogen. *IEEE Electron Lett*, 1996, **32**(14): 1298~1299
- 6 Graydon O, Loh W H, Laming R I, et al. Triple-frequency operation of an erbium-doped twincore fiber loop laser. *IEEE Photon Tech Lett*, 1996, **8**(1): 63~65
- 7 Yu B A, Kwon J, Chung S, et al. Multiwavelength-switchable SOA-fiber ring laser using sampled Hi-Bi fiber grating. *IEEE Electron Lett*, 2003, **39**(8): 649~650
- 8 Dong X P, Shenping Li, Chiang K S, et al. Multiwavelength erbium-doped fibre laser based on a high-birefringence fibre loop mirror. *IEEE Electron Lett*, 2000, **36**(9): 1609~1610

Tunable Multi-wavelength Fiber Laser Based on Semiconductor Optical Amplifier

Wang Zhaoying, Hu Zhiyong, Bao huanmin, Jiang Xiaojun, Jia Dongfang, Li Shichen

Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science (Tianjin University), Ministry of Education,

College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072

Received date: 2004-12-24

Abstract A novel continuously tunable multi-wavelength fiber ring laser is constructed by using semiconductor optical amplifier (SOA) as the gain medium. A Hi-Bi fiber loop mirror (Hi-Bi FLM) is inserted into the cavity as filter. More than 17 stable wavelengths with line-width less than 0.102 nm and more than 25 dB SNR spacing on ITU-grid (100 GHz) are obtained. The output peak power variation of each wavelength is less than 6 dB. These 17 wavelengths can be continuously tuned together within 50 GHz by proper control of the polarization controller of Hi-Bi FLM. The feasibility of using this multi-wavelength fiber ring laser in testing the characteristic of erbium-doped fiber amplifier (EDFA) is discussed experimentally.

Keywords Multi-wavelength; Tunable; Semiconductor optical amplifier; Hi-Bi FLM



Wang Zhaoying was born in Dec., 1977. She received her Ph. D. degree from Tianjin University in 2004. Now she is associate professor of Tianjin University. Her interest focuses on fiber lasers and wavelength conversion.

· 简讯 ·

3.8 W 光子晶体光纤喇曼激光器

闫培光 阮双琛 郭春雨 于永芹 郭媛 刘承香

(深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

详细研究了光子晶体光纤拉曼激光器, 并首次获得瓦量级的二级喇曼光连续输出. 所用泵浦源为 20 W 掺镱光纤激光器 (IPG, PYL-20M), 中心波长为 1070.5 nm. 光子晶体光纤 (Crystal-fiber A/S) 的纤芯直径为 $2.1 \pm 0.3 \mu\text{m}$, 在 1550 nm 波长处的模场直径为 $2.8 \mu\text{m}$, 非线性系数 $\gamma = 11 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$; 包层直径为 $128 \pm 5 \mu\text{m}$; 长度为 100 m; 它的两端各与长度为 7.5 m 的 G.652 标准单模光纤通过锥形光纤焊接在一起, 焊点损耗与光纤损耗共为 1.42 dB. 谐振腔为线形腔, 前腔镜为二色镜 (HT@1070 nm, HR@1126 nm/1183 nm), 后腔镜为光纤垂直端面.

当最大注入功率为 12 W 时, 获得最大功率为 3.8 W 的连续喇曼光输出, 对应光-光转化效率 31.6%. 其中一级喇曼光功率为 2.2 W, 中心波长位于 1024.6 nm. 光谱半极大宽度为 5 nm; 并首次在实验中利用光子晶体光纤中获得二级拉曼光输出, 光谱中心波长为 1183 nm, 半极大宽度为 2.5 nm, 其功率为 1.6 W. 实验还对激光器输出光谱随注入功率的变化以及激光器的时域特性进行了详细研究.