

均衡功率的超宽带可调谐掺铒光纤激光器*

刘 波^{1,2} 刘艳格² 罗建花² 曹 晔² 高宏伟² 牛文成¹

开桂云² 袁树忠² 董孝义²

(1 南开大学信息技术科学学院, 天津 300071)

(2 南开大学现代光学所, 天津 300071)

摘 要 报道了一种功率均衡的超宽带可调谐掺铒光纤激光器. 该激光器采用窄线宽可调谐 FP 滤波器、掺铒光纤、波分复用器和耦合器构成光纤环形腔激光器, 并通过部分反馈光功率自动控制, 对输出激光功率进行均衡. 实现了 87 nm 带宽(1525~1612 nm)范围内, 输出激光功率波动小于 0.2 dB 的均衡结果. 输出激光 3 dB 线宽为 0.26 nm, 边模抑制比大于 55 dB.

关键词 激光器; 功率均衡; 可调谐激光器; 形环形腔; 超宽带

中图分类号 TN247 **文献标识码** A

0 引言

近些年来, 人们对 L 波段掺铒光纤放大器 (EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier) 的研究工作不断深入. 采用 C+L 波段(1530~1610 nm)的 EDFA 能有效地增加光纤通信系统的容量. 随着密集光纤波分复用 (DWDM: Denseness Wavelength Division Multiplexing) 技术的发展, 传统的固定波长激光器已不能满足日益增长的系统需求. 宽带可调谐激光器作为这种宽带 WDM 系统测试必需的器件, 因而也引起人们广泛重视. 与外腔半导体激光器相比, 光纤环形腔激光器的调谐范围受到增益带宽的限制, 且输出功率较低. 但是, 它具有更低的相干性和偏振特性, 因此是更为理想的测试光源. 近年来, 国内外对光纤环形腔激光器有许多研究报告^[1~4]. 其中, 掺铒光纤环形腔激光器更成为研究的热点. 如 Shinji Yamashita 等人利用 50~200 m 掺铒光纤实现了 80 nm(1520~1600 nm)带宽的可调谐激光器, 输出功率波动约 2 dB^[1], HongXin Chen 等人也实现了 1510~1580 nm, 0.5 mW 的可调谐激光器^[2]. 由于激光器输出功率受掺铒光纤受激发射截面谱形和各光器件性能的波长依赖性的限制, 使掺铒光纤激光器的输出激光功率不均衡, 因此, 限制了其在测试中的应用范围.

本文实现了一种基于可调谐法布里-珀罗滤波器 (FFP-TF: Fiber Fabry-Perot - Tunable Filter) 的掺铒光纤环形腔激光器. 激光调谐范围为 87 nm (1525~1612 nm), 覆盖了整个 C+L 波段. 输出激

光功率达 0.7 mW, 3 dB 带宽为 0.26 nm, 各波长激光的边模抑制比高于 55 dB. 采用了光功率自动控制电路 (APC: Auto Power Control), 使得在整个 C+L 带宽内, 输出激光功率波动小于 0.2 dB. 与文献^[1,2]相比, 在各波长输出激光功率波动更小, 平坦度更好, 而且输出激光边模抑制比更高.

这种可调谐激光器, 结构简单, 易于实现, 具有很宽的调谐范围与较大的输出功率. 并且各波长处输出激光功率波动很小, 因而在 DWDM、光纤传感、光纤无源器件的监测制作等领域具有广泛的应用前景.

1 激光器结构

图 1 为本实验装置的激光器结构. 泵源采用 980 nm 的激光二极管 (LD), 最大输出功率 100 mW, 经由 980/1550 nm 的波分复用耦合器 (WDM) 后进入掺铒光纤 (EDF) 中. 所用掺铒光纤的长度约为 6.35 m, 在 979 nm 处的吸收系数为 15.32 dB. 掺铒光纤的前向荧光进入可调谐 FP 滤波器 (FFP-TF). FP 滤波器的输出光经由耦合器 (Coupler) 后, 一部分光被反馈回环形腔内, 谐振加强后, 形成激光, 经由耦合器输出. 隔离器 (ISO) 的作用是防止后向荧光进入 FP 滤波器, 使得环形腔内只能在一个方向产生与 FFP-TF 透射波长相同的激光.

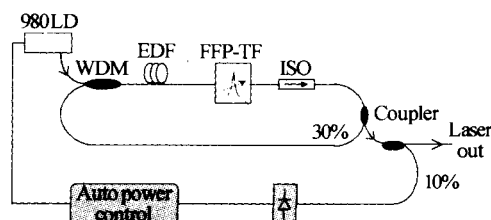


图 1 可调谐光纤环形腔激光器结构
Fig. 1 Scheme of tunable fiber laser

实验所用的可调谐 FP 滤波器的自由谱区为

* 国家 863 计划 (2002A313110)、天津市科技重大攻关项目 (043182011)、南开大学创新科技基金资助
Tel: 022-23509849 Email: liubo@mail.nankai.edu.cn
收稿日期: 2004-06-09

100 nm, 插入损耗为 2.2 dB. 波分复用耦合器 (WDM) 对 1550 nm 光的插入损耗为 0.26 dB. 耦合器的分光比为 30 : 70, 其插入损耗小于 0.1 dB. 光隔离器在 1550 nm 波段的插入损耗为 0.5 dB, 隔离度约为 40 dB. 其他所有熔接点损耗之和估计小于 0.2 dB. 因此, 整个环形腔内的损耗合计约为 3.3 dB. 由文献[4]的分析可知, 在抽运功率高于阈值的稳定工作状态下, 激光器中掺铒光纤相当于工作在饱和状态下的放大器 (EDFA). 经掺铒光纤放大后的激光经过输出耦合器分光 and 腔内器件的滤波、衰减后作为信号再次进入铒光纤放大. 只要其增益与循环一周的衰减相等, 就能够共振加强并稳定输出.

环形腔激光器的输出功率 P_{out} 可表示为

$$P_{out} = P_s(L)V'\gamma_{out} \tag{1}$$

式中, $P_s(L)$ 为掺铒光纤的输出光功率, V' 为铒光纤末端到耦合器输出端的损耗系数 (不包含输出耦合器的分光损耗), γ_{out} 为耦合器的分光比.

由式(1)可知, 若 V' 和 γ_{out} 为常数时, 输出激光的功率与 $P_s(L)$ 有关. 在铒光纤长度 L 取合适值的时候, 其激光功率在各波长应为较平坦的. 但在实际实现的时候, 由于掺铒光纤的输出光功率 $P_s(L)$ 受其激发截面的谱形的影响, 在各波长处是不平坦的. 同时, 环形腔腔内损耗 V' 并非常数, 而是波长的函数. 像隔离器、耦合器、WDM 等的插入损耗都是随波长而变化的. 波长离得越远, 损耗越大. 而且, 耦合器的分光比也具有波长依赖性. 因此, 当泵浦光功率一定的时候, 在各波长得到的激光功率相差较大. 图 2 为不采用功率均衡时, 激光二极管工作电流 190 mA, 泵浦光功率 80 mW 不变, 测得的激光器在各波长的输出光功率曲线. 图中当 LD 工作电流维持 190 mA 不变时, 在各波长得到的激光功率相差较大. 在 1525~1612 nm 范围内, 功率波动约为 7 dB.

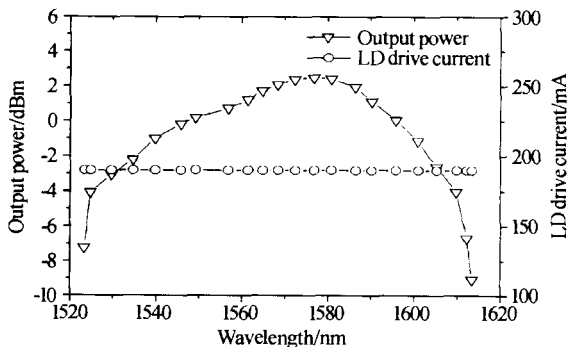


图 2 泵浦光功率一定时, 激光器输出光功率曲线
Fig. 2 Curve of laser power at fixed pump power

2 功率均衡

由图 2 可知, 在调谐范围内, 激光器的输出光功

率波动较大, 约为 7 dB, 这主要是由于各光器件的波长依赖性造成的. 采用功率自动控制 (APC), 可以减小激光器输出功率的这种波动, 使其在带宽范围内各波长处功率输出均衡. 由于激光二极管 (LD) 的输出光功率是受驱动电流控制的. 因此, 通过光功率反馈控制, 可以将输出的激光功率部分地反馈回 LD 的驱动电路, 构成闭环反馈. 根据输出激光功率的大小, 自动地调整驱动电流大小, 达到输出光功率稳定的目的.

图 3 为光功率自动控制电路. 在稳定的状态下, 由 V_{set} 设定 LD 的工作点. 放大器 A 的输出经压控恒流源 (VCCS), 控制 LD 的工作电流. LD 的输出光作为可调谐激光器的泵浦光. 激光器输出激光功率的 90% 输出, 10% 反馈到光电二极管 (PD). 此时, LD 的工作电流 I 与光电二极管 PD 的输入光功率保持稳定的平衡状态.

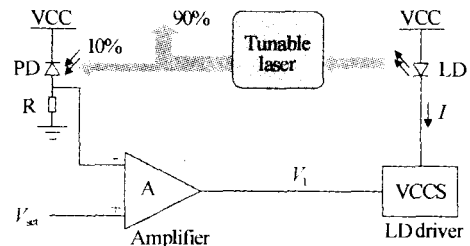


图 3 光功率自动控制电路
Fig. 3 Circuit scheme of auto power control

当对激光器进行波长调谐时, 若激光器的输出激光功率增大, 则反馈到 PD 的光功率也同比例增大. 从而使放大器 A 的反相端电位升高, 原有的平衡被打破. 由于功率设定端 V_{set} 不变, 因此, 放大器 A 的输出电压 V_1 将降低, 经压控恒流源后, 使 LD 的工作电流下降, 从而使可调谐激光器的泵浦光功率降低, 输出激光功率也随之降低. 反之亦然.

根据自动控制理论, 闭环系统能够有效地抑制包含在负反馈环内的扰动作用. 因此, 通过选择适当的器件参数, 就可以有效地抑制温度对输出激光功率的影响, 使输出激光功率具有很好的温度特性.

在自动功率控制时, 需要特别注意的是 LD 的驱动电流过大时, 会使 LD 损坏. 因此, 压控恒流源必须具有过流保护的功能, 使 LD 的驱动电流处于正常工作范围内.

闭环自动功率控制 (APC) 环节的稳定时间将直接影响整个可调谐激光器的扫描速度. 由于不存在积分或微分器件, 因此, 图 3 闭环自动功率控制环节的响应速度主要受各器件响应速度影响, 如光电二极管的响应频率、放大器的带宽增益积以及压控恒流源的响应频带等. 合理选择器件参量, 可以使 APC 的稳定时间减小到数十微秒, 因而可以有效地

提高激光器的扫描速度.

3 实验结果

实验时,选取了 PRINTEL 公司生产的 LD,驱动电流最大 500 mA. 光电检测器 PD 采用 InGaAs-PIN 光电二极管,响应频率为 1 GHz,其暗电流为 0.025 nA,响应度为 0.85. 采样电阻 R 取 100 K. 同时,运放采用了 AD 公司生产的 OP37,电路增益为 100 倍. 电压控制电流源(VCCS)是利用一级运放(OP37)与三极管(TIP122)构成闭环负反馈实现的.

由上分析可知,PIN 管的响应时间约为 1 ns,运放 OP37 的带宽-增益积为 40 MHz,其增益为 100 时的响应时间约为 250 ns,而压控电流源的响应时间约为 20 μs. 因此,APC 系统的响应时间由压控电流源(VCCS)的响应时间决定,约为 20 μs.

选取了输出激光功率的 10%作为光功率反馈. 经过功率均衡后激光器各波长处激光谱图如图 4. 图 5 是经过功率均衡后,激光器在不同波长处输出激光的功率以及相应的 LD 驱动电流. 由图可见,

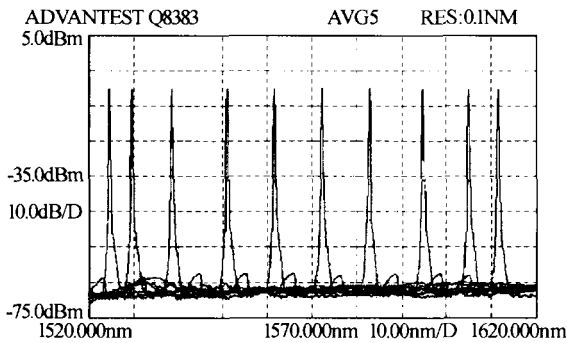


图 4 不同波长处输出激光谱图

Fig. 4 Laser power at different wavelength

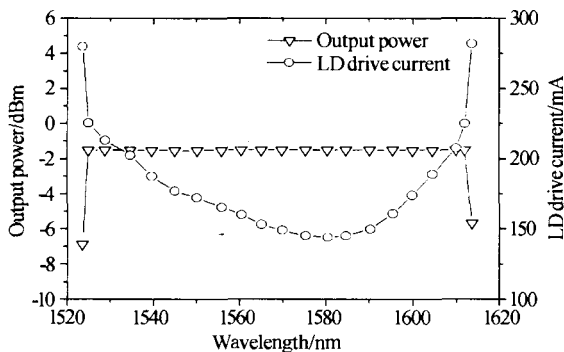


图 5 功率均衡后激光器在不同波长处输出激光的功率以及 LD 驱动电流

Fig. 5 Laser power and pump current at different wavelength after APC

在 1525~1612 nm 范围内,输出光功率波动小于 0.2dB. 在这个范围之外,激光功率迅速衰减,这是由于环形腔内抽运功率接近或低于阈值造成的.

4 结论

以可调谐法布里-珀罗滤波器(FFP-TF)作为选频器件,采用掺铒光纤环形腔结构,实现了一种 C+L 波段的可调谐激光器. 激光器波长调谐范围从 1525 nm 到 1612 nm,输出功率 0.7 mW,共模抑制比大于 55 dB. 激光器采用了部分反馈的闭环自动功率控制,使得在整个调谐范围内,输出激光功率更加平坦,波动小于 0.2 dB. 本文采用的是闭环比例负反馈控制. 若采用闭环比例-积分或比例-积分-微分控制,则输出激光的功率的波动将进一步减小,但是,这是以牺牲系统稳定时间为代价的.

由文献[3]与文献[4]的分析可知,适当增加掺铒光纤的长度,可以进一步增大激光器的波长调谐范围. 但是掺铒光纤过长时,将使环形腔在短波段的抽运功率降低,从而使整个调谐范围向长波移动. 另外,增大 LD 的功率,也可以提高输出激光功率.

参考文献

- 1 Shinji Yamashita, Masato Nishihara. Widely tunable erbium-doped fiber ring laser covering both C-Band and L-Band. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2001, 7(1):41~43
- 2 Chen Hongxin, Babin F, Leblanc M, et al. Widely tunable single-frequency erbium-doped fiber lasers. *Photonics Technology Letters*, 2003, 13(2):185~188
- 3 Antoine Bellemare, Miroslav Karasek, Christophe Riviere, et al. A broadly tunable erbium-doped fiber ring laser; Experimentation and Modeling. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2001, 7(1):22~29
- 4 董新永,赵春柳,关柏鸥,等. 可调谐光纤环形腔激光器输出特性的理论与实验研究. *物理学报*, 2002, 51(12):2750~2755
Dong X Y, Zhao C L, Guan B O, et al. *Acta Physica Sinica* 2002, 51(12):2750~2755
- 5 伍翔,王一超,冯重熙,等. 一种光输出功率控制电路. *光通信研究*, 2000, 97(1):37~41
Wu X, Wang Y C, Feng C X, et al. *Study on Optical Communications*, 2000, 97(1):37~41
- 6 刘波,孙桂玲,童峥嵘,等. 光纤光栅传感网络中微弱光信号的检测. *南开大学学报*, 2003, 36(2):55~57
Liu B, Sun G L, Tong Z R, et al. *J of Nankai University*, 2003, 36(2):55~57

A Power-Equilibrium Tunable C+L band Erbium-doped Fiber Laser

Liu Bo^{1,2}, Liu Yange², Luo Jianhua², Cao Ye², Gao Hongwei², Niu Wencheng¹,
Kai Guiyun², Yuan Shunzhong², Dong Xiaoyi²

1 College of Information Technical Science, Nankai University, Tianjin 300071

2 Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2004-06-09

Abstract A power-equilibrium tunable C+L band Erbium-doped fiber laser is proposed and demonstrated, which is based on Erbium-doped fiber ring, and a FP filter incorporated with a tunable bandpass filter in the ring. At the same time, the Auto-Power-Control (APC) technique is used to proportion the output power of the laser. With wide tunable range from 1525 nm to 1612 nm, the sidemode suppression ratio of the laser is more than 55 dB. The output power variation is less than ± 0.1 dB over the running range.

Keywords Laser; Power equilibrium; Tunable laser; Loop ring

Liu Bo was born in 1975 in Shandong Province. He received his Ph. D. degree from Nankai University in 2004. Now he is a post doctor of the College of Information Technical Science, Nankai University. His research interests are fiber sensors, fiber Bragg grating sensors and sensing system.

