

文章编号: 0258-7025(2003)02-0105-04

由 LD 和高双折射光纤环镜构成的 可调谐锁模光纤激光器

杨石泉, 李朝晖, 丁 镭, 袁树忠, 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要 提出了一种用 F-P 腔半导体激光器(F-P LD)作调制器,由高双折射光纤环镜构成的梳状滤波器作波长选择器件的环形腔主动锁模光纤激光器。通过改变梳状滤波器透过峰之间的间隔可以实现激光波长的调谐。实验中成功地获得了调谐范围约为 10 nm,脉冲重复频率约 2 GHz 的锁模脉冲信号,脉冲宽度小于 70 ps。

关键词 激光技术;光纤激光器;半导体激光器;波长可调谐;高双折射光纤

中图分类号 TN 929.1;TN 248.1 **文献标识码** A

Tunable Actively Mode-locked Fiber Ring Laser by Using a F-P LD Modulator and a HiBi Fiber Loop Mirror

YANG Shi-quan, LI Zhao-hui, DING Lei, YUAN Shu-zhong, DONG Xiao-yi

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract A simple actively mode locked fiber ring laser for generating tunable picosecond pulses was proposed by using a F-P LD as the modulator and a HiBi fiber loop mirror as a tunable filter. Wavelength tuning in a range of about 10 nm is experimentally demonstrated by changing the voltage on the PZT in the HiBi loop mirror.

Key words laser technique; fiber laser; laser diode; wavelength tuning; high birefringence fiber

1 引言

波长可调谐的短脉冲光源在光波分复用/时分复用(WDM/OTDM)通信系统中起着重要的作用。主动锁模光纤激光器可以产生稳定的高重复频率的近变换极限的超短光脉冲,且啁啾系数低于增益开关型分布反馈(DFB)激光器,是比较理想的通信用光源。在最近的报道中,S. Li 等在环形腔内用 F-P 腔半导体激光器(F-P LD)代替传统的 LiNbO₃ 调制器,大大降低了锁模激光器的制作成本^[1]。其后又用 DFB LD 作调制器,并通过改变 LD 的工作温度获得了波长变化范围为 1.8 nm 的调谐输出^[2]。随后,D. Zhao 等在环形腔内插入取样光栅并与 F-P LD 相配合得到了调谐范围约 5 nm 的激光输出^[3]。本文提出了一种在腔内用高双折射光纤环镜作波长

选择器件的方法,由于环镜具有梳状的滤波特性,与 F-P LD 的多纵模的输出特性相配合可以从中选出一个单纵模,激光器输出为单波长的锁模脉冲。通过改变环镜内高双折射光纤(HiBi fiber)的长度来改变梳状滤波器透过峰之间的间隔,可以实现对波长的调谐。实验中用这种方法获得了调谐范围约为 10 nm,重复频率约为 2 GHz 的光脉冲。

2 实验装置与原理

图 1 为这种可调谐锁模光纤激光器的实验装置图。环形腔主要由 22 m 长,在 980 nm 处吸收系数为 1.5 dB/m 的铒光纤(EDF)以及 980 nm/1550 nm 波分复用器,偏振无关隔离器(ISO),偏振控制器(PC 2),90:10 耦合器,高双折射光纤环镜,光环

收稿日期:2001-11-26;收到修改稿日期:2002-01-24

作者简介:杨石泉(1975—),男,天津市人,现为南开大学现代光学研究所博士生,主要从事光纤激光器与光纤放大器方面的研究。E-mail:ks0911@sina.com

行器和 F-P LD 组成。其中高双折射光纤环境由一个 50:50 耦合器,一个偏振控制器(PC 1)和一段长为 6.84 m,在 1100 nm 处拍长为 3.1 mm 的高双折射光纤构成。高双折射光纤绕在一压电陶瓷(PZT)上,改变加在 PZT 上的电压可以对光纤的长度作微小的调整。输出功率约为 60 mW 的 980 nm LD 提供的抽运光通过 WDM 耦合进环形腔对铒光纤进行抽运。用作调制器的 LD 的输出为多纵模激光,中心波长位于 1557 nm,纵模间隔为 0.92 nm,CW 阈值电流约为 9.2 mA。外加高频驱动信号和直流偏置电流通过 T 形头(见图中黑线框)同时耦合到 LD 的电源端。环形腔内运转的光脉冲有一部分通过输出耦合器的 10% 端口输出。

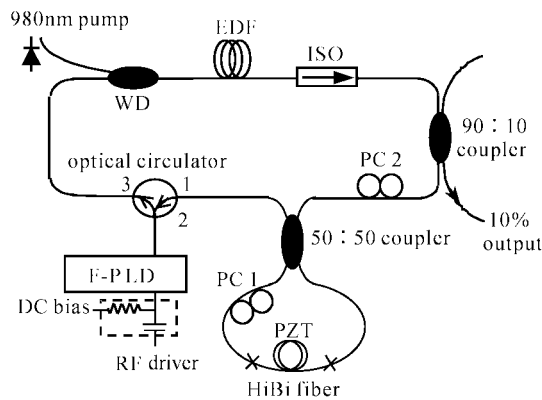


图 1 以 F-P LD 作调制器的可调谐主动锁模环形腔光纤激光器的结构示意图

Fig.1 Experimental setup of the wavelength tunable mode-locked fiber ring laser by using F-P LD as the modulator

2.1 用 F-P LD 作调制器的原理

当 LD 工作在阈值附近时,外加正弦驱动信号周期性地改变 LD 的注入电流,从而引起 LD 内载流子浓度的周期性变化,使得半导体材料的折射率系数被周期性地调制,因此 LD 在环形腔内起到了调制器的作用^[4,5]。因为这种 LD 的腔长非常短,通常为几十到几百微米,因此其输出为多纵模激光。当 LD 工作在阈值以下时,其增益谱的形状与梳状滤波器类似。用它作调制器的锁模激光器的输出表现为 LD 的一个单纵模,这个单纵模中又包含了许多由环形腔所决定的更为密集的纵模,因此可以在腔内形成窄脉宽的光脉冲。

2.2 波长调谐的工作原理

先考虑高双折射光纤环境的透射特性。入射环境的光经 3 dB 耦合器后,分为功率相等但沿环路分

别为顺时针和逆时针传输的两束光。每束光在经过一段高双折射光纤后可分解为电矢量沿光纤快轴和慢轴两个相互垂直方向的分量光,它们之间有 $\Delta\phi = 2\pi BL/\lambda$ 的相位差^[6],其中 B 为光纤的双折射系数, L 为光纤的长度, λ 为波长。如果把高双折射光纤的快轴方向定为 x 轴,慢轴方向定为 y 轴,并且假定调整偏振控制器到正好将通过它的光的电矢量方向旋转 90° ,那么在环境中沿顺时针方向传输的光的 x 分量先沿高双折射光纤的快轴传输,经偏振控制器旋转 90° 后再进入 3 dB 耦合器时方向变为 y 方向;而在环境中沿逆时针方向传输的光的 x 分量先经偏振控制器旋转 90° 变为 y 方向,再沿高双折射光纤的慢轴传输后进入 3 dB 耦合器。这两束光之间具有 $\Delta\phi$ 的相位差,可以在耦合器中发生干涉。同样,相对传输的两束光之间的 y 分量再次在耦合器中汇合时也因为具有 $\Delta\phi$ 的相位差而发生干涉。因此最终环境的输出特性是由 x 分量的光和 y 分量的光分别相干后再叠加的结果而决定的。其光的透射特性可以表示为 $T = 0.5[1 - \cos\Delta\phi(\lambda)]$,可以看出最终的干涉结果使环境具有梳状滤波的特性^[7]。如果偏振控制器的状态不是恰好将光的电矢量方向旋转 90° ,则只有部分光能在耦合器中发生干涉,因而会使最终干涉条纹的对比度降低。由透射特性可以推算出相邻两个透射峰之间的间距为 $\Delta\lambda = \lambda^2/BL$,因此通过 PZT 来改变高双折射光纤的长度可以使环境的透射谱形状发生变化^[8]。图 2 是在 PZT 上加不同电压时测得的环境透射光谱的变化情况。环境的相邻

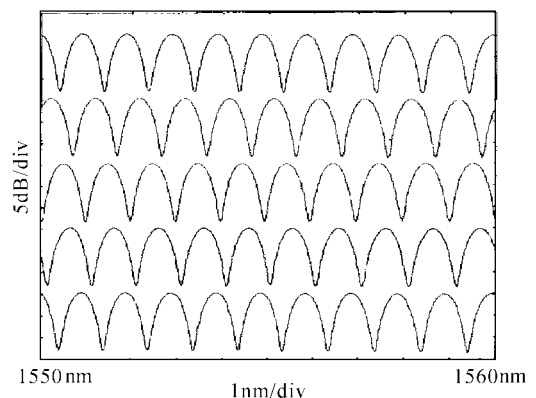


图 2 在 PZT 上加不同直流电压时环境透射谱的变化 (从上到下电压依次为 0 V, 13 V, 34 V, 50 V, 65 V)

Fig. 2 Tuning characteristics of the HiBi fiber loop mirror by changing the voltage on the PZT (from the top to the bottom, corresponding to 0 V, 13 V, 34 V, 50 V, 65 V)

透射峰之间的间隔为 0.99 nm, 加在 PZT 上的电压变化范围为 0~65 V。

选择合适的高双折射光纤的长度, 使环镜透射谱与 LD 的增益谱在一定的波长范围内只有一个峰重叠, 则这个峰所对应的波长在环行腔内损耗最小, 因此决定了锁模激光器输出激光的波长位置。当调整加在 PZT 上的电压使环镜的透射谱形状发生变化时, 其与 LD 增益谱重叠的峰的波长位置会发生改变, 因此输出激光的波长位置也随之改变。而且这种方法的优点是当环镜内高双折射光纤长度变化很小的情况下就能实现激光波长在较大范围内调谐。这样整个环形腔的腔长在调谐过程中可以看作是基本不变的, 因此锁模频率在调谐过程中也不需要改变。

3 实验结果及讨论

实验中加在 LD 上的直流偏置电流为 8.7 mA, 所加的高频驱动信号由最小调节幅度为 1 Hz 的正弦信号发生器 (HP 83711B) 提供, 信号功率为 15 dBm。从输出端输出的激光经 -3 dB 耦合器分光后, 由光谱仪 (ADVANTEST Q8383) 和带光口的示波器 (HP 83480A) 同时进行检测。激光器环形腔的腔长为 51.35 m, 对应的基频为 4.01 MHz。

图 3 所示为外加驱动信号频率为 2049.2 MHz (对应为基频的 511 次谐波), 在 PZT 上加不同直流电压时所对应的输出激光的光谱图和光脉冲序列的波形图。在电压从 0 到 62 V 变化的过程中, 激光的波长依次变化了 12 个模式, 波长位置从 1548.52 nm 到 1558.4 nm 共变化了 9.88 nm。在整个调谐过程中, 外加驱动信号的频率不变, 激光器一直工作在锁模状态, 脉冲宽度小于 70 ps。但在调谐过程中脉冲的幅度、脉宽和激光的边模抑制比 (SMSR) 会发生变化, 这主要是受 LD 自身发射谱的影响, 在靠近 LD 发射谱中心波长近的地方, 激光的光谱强度与光脉冲的幅度相对强一些, 脉冲宽度比较窄, 激光的 SMSR 较大; 反之, 在离 LD 发射谱中心波长较远的地方, 激光的光谱强度与光脉冲的幅度就弱一些, 脉冲宽度也相对要宽一些, 激光的 SMSR 也变小。由于 LD 发射谱本身各个模式之间的强度差别并不大, 并且高双折射光纤环境也并不是性能很好的窄带滤波器, 所以输出激光的 SMSR 值并不很大, 但在调谐过程中仍能保持在 25 dB 以上。

调谐过程中在 PZT 上所加直流电压的大小基

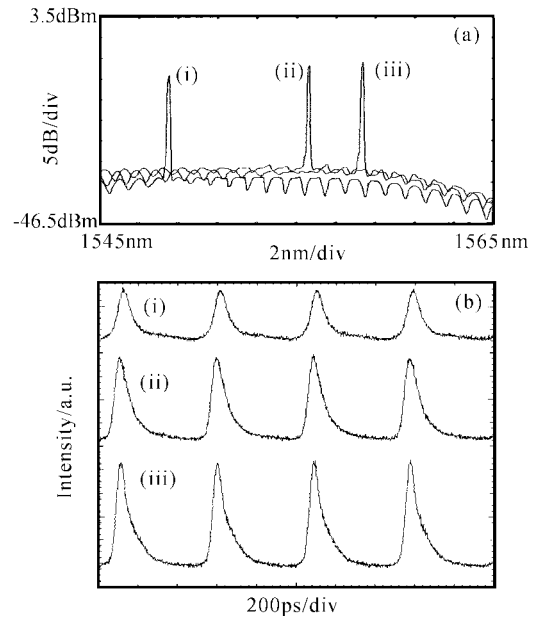


图 3 不同波长的激光光谱图与光脉冲序列波形图 (调制频率为 2049.2 MHz, 波长依次为 1548.52 nm, 1555.8 nm, 1558.4 nm)

Fig. 3 Spectra and waveforms of the output laser when the modulation frequency was 2049.2 MHz (The wavelengths are 1548.52 nm, 1555.8 nm and 1558.4 nm, respectively)

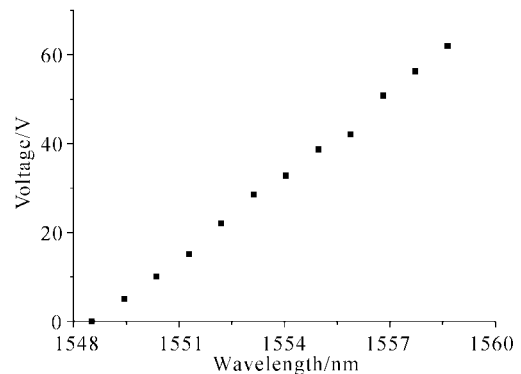


图 4 PZT 上所加电压与激光波长的关系图

Fig. 4 Dependence of the wavelength on the change of the voltage on PZT

本上与输出激光的波长位置成线性关系 (如图 4 所示)。当激光波长由一个模式向另一个模式变化的过程中, 有可能出现两个模式并存的情况, 即输出激光表现为双波长, 但由于这时腔内两个波长之间的竞争较激烈, 双波长的情况并不稳定。当加在 PZT 上的电压超过 62 V 时, 激光波长从 1558.4 nm 跳变回 1548.52 nm。继续加大电压, 波长的变化情况与电压小于 62 V 时的情况类似。

调整外加驱动信号的频率可以使激光器工作在有理数谐波锁模的状态,输出重复频率数倍于调制频率的光脉冲信号。图 5 所示为外加驱动信号频率为 2003.1 MHz(对应为 $499 + 1/2$ 次谐波)时的激光光谱图和光脉冲序列的波形图。此时激光器工作在二阶有理数谐波锁模的状态,脉冲重复频率约为 4 GHz。通过改变 PZT 上的电压同样可以实现波长调谐,调谐范围以及电压与波长的关系都与上面所描述的谐波锁模的情况类似。

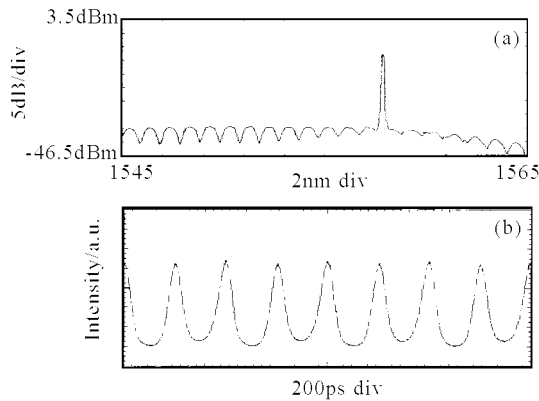


图 5 二阶有理数谐波锁模时的光谱图和脉冲波形图
(调制频率为 2003.1 MHz)

Fig. 5 Spectrum and waveform of the laser when the modulation frequency was 2003.1 MHz

参 考 文 献

- 1 S. Li, K. T. Chan. Actively mode-locked erbium fiber ring laser using a Fabry-Perot semiconductor modulator as mode locker and tunable filter [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(19):2737~2739
- 2 S. Li, K. T. Chan. Wavelength-tunable actively mode-locked erbium-doped fiber ring laser using a distributed feedback semiconductor laser as mode locker and tunable filter [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **75**(3):313~315
- 3 Donghui Zhao, Kam Tai Chan, Y. Liu *et al.*. Wavelength-switched optical pulse generation in a fiber ring laser with a Fabry-Perot semiconductor modulator and a sampled fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(3):191~193
- 4 J.-P. Weber. Optimization of the carrier-induced effective index change in InGaAsP waveguides-application to tunable Bragg filters [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(8):1801~1816
- 5 J.-F. Vinchant, J. A. Cavailles, M. Erman *et al.*. InP/GaInAsP guided-wave phase modulators based on carrier-induced effects: theory and experiments [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(1):63~70
- 6 D. N. Payne, A. J. Barlow, J. R. Hansen. Development of low- and high-birefringence optical fibers [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, 1982, **30**(4):323~334
- 7 David B. Mortimore. Fiber loop reflectors [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1988, **6**(7):1217~1224
- 8 X. P. Dong, S. Li, K. S. Chiang *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fibre laser based on a high-birefringence fibre loop mirror [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(19):1609~1610