

文章编号: 0253-2239(2003)04-0472-04

用半导体激光器作调制器的双波长 可调谐锁模光纤激光器*

杨石泉 李朝晖 项 阳 张 昊 袁树忠 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 提出一种用法布里-珀罗腔半导体激光器(F-P LD)作调制器,用线性啁啾光栅(LCFG)进行波长选择的双波长环形腔主动锁模光纤激光器。利用线性啁啾光栅在腔内的色散效应使两个波长的光脉冲通过铒光纤(EDF)时在时域上分开,从而减小了不同波长的光脉冲同时通过铒光纤时造成的竞争,因此可以在室温下获得波长间隔较小的稳定的双波长光脉冲输出。实验中成功地获得了重复频率约为 2 GHz,波长间隔为 0.92 nm 的稳定双波长光脉冲,并通过调谐线性啁啾光栅中心波长的位置使激光波长可以在约 3 nm 范围内调谐。

关键词: 半导体激光器; 光纤激光器; 啁啾光栅; 波长调谐

中图分类号: TN242 文献标识码: A

1 引 言

波长稳定的多波长可调谐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作用,主动锁模掺铒环形腔光纤激光器可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激光器,是比较理想的通信用光源。在最近的报道中, Li 等^[1~3]在环形腔内用半导体激光器代替传统的 LiNbO₃ 调制器,获得单波长或双波长的光脉冲输出,大大降低了锁模激光器的制造成本。但由于在室温下铒光纤为均匀展宽增益介质(宽度大约为 10 nm),所以当波长间隔很小时,很难同时获得稳定的多波长激光输出。为了解决这个问题,可以采取用液氮冷却铒光纤^[4]或利用偏振烧孔效应^[5]减小铒光纤的均匀展宽宽度,使不同波长的光脉冲分别通过铒光纤^[6,7]或使用多段铒光纤分别放大不同波长的光^[8,9]等方法。

本文提出了一种在腔内用线性啁啾光栅与法布里-珀罗腔半导体激光器相配合选择波长,并利用啁啾光栅的色散效应使不同波长的光脉冲在通过铒光纤时在时域上分开,从而减小了不同波长的光在铒光纤中的竞争的方法,在室温下可以获得波长间隔约为 0.92 nm 的稳定的双波长光脉冲输出,脉冲重

复频率约为 2 GHz,脉冲宽度约为 60 ps。并通过调谐啁啾光栅中心波长实现了输出激光波长在约 3 nm 范围内调谐。

2 实验装置与原理

图 1 为这种双波长主动锁模光纤激光器的实验装置图。环形腔的增益由一段长为 22 m,由 980 nm 半导体激光器抽运的铒光纤(EDF)提供,抽运功率约为 90 mW。用作调制器的法布里-珀罗腔半导体激光器(F-P LD)通过环形器 OC3 接入环形腔。法布里-珀罗腔半导体激光器的输出为多纵模激光,在工作温度为 20 °C 时中心波长为 1555.6 nm,纵模间隔为 0.92 nm,连续波阈值电流约为 9.2 mA。外加高频驱动信号(RF driver)和直流偏置(DC bias)通

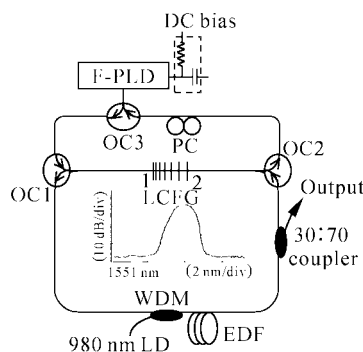


Fig. 1 Experimental setup of the wavelength tunable dual-wavelength mode-locked fiber ring laser. (Inset: The spectrum of LCFG)

* 国家自然科学基金(60137010)资助课题。

E-mail: ks0911@sina.com

收稿日期: 2002-04-04; 收到修改稿日期: 2002-06-06

过 T 形头(Bias Tee)同时耦合到半导体激光器的电源端。偏振控制器(PC)的作用是调整进入半导体激光器的光的偏振态,以获得最好的调制效果。一 线性啁啾光栅(LCFG)通过两个环形器 OC1 和 OC2 接入环形腔内,线性啁啾光栅的中心波长为 1554.9 nm,反射率为 99%,3 dB 带宽为 1.13 nm,色散值约为 131 ps/nm。环形腔内运转的光脉冲有一部分通过输出耦合器的 30%端口输出。

当半导体激光器工作在阈值附近时,外加高频驱动信号周期性地改变半导体激光器的注入电流,从而引起半导体激光器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的调制,因此半导体激光器在环形腔内起到了调制器的作用^[10,11]。因为这种法布里-珀罗腔结构的半导体激光器的输出为多纵模激光,当半导体激光器工作在阈值以下时,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半导体激光器的一个单纵模,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。

用线性啁啾光栅的色散作用减小铒光纤中不同波长的光脉冲之间竞争的原理可以作如下解释:从法布里-珀罗腔半导体激光器中产生的多纵模光脉冲通过环形器 OC1 由线性啁啾光栅的 1 端进入光栅,因为光栅的波长选择作用,可以反射其中两个波长的光脉冲。又因为不同波长的光在线性啁啾光栅中的光程不同,短波长的光脉冲先被反射,长波长的光脉冲后被反射,因此这两个波长的光在被光栅反射后,再次通过环形器 OC1 进入铒光纤时已经在时域上被分开了。这样可以大大减小这两个波长的光脉冲之间在铒光纤中形成的竞争。当光脉冲通过铒光纤获得增益,再通过环形器 OC2 后,会从 2 端再次通过线性啁啾光栅被反射,但这次是长波长的光先被反射,短波长的光后被反射。因为这次是从不同的方向被同一个线性啁啾光栅反射,其产生的色散恰好可以补偿上一次被线性啁啾光栅反射后产生的色散。因此当光脉冲被光栅反射再次通过环形器 OC2 后,两个波长的光脉冲在时域上又重合在一起,当再次通过法布里-珀罗腔半导体激光器时可以同时被调制。所以这种结构对不同波长的光脉冲来说其腔长是基本相等的,用一个调制频率可以同时锁模两个波长的激光。本实验方案只用一个光栅就可以完成在环形腔内产生色散并实现自补偿的功能,和已有的采用多个或多组完全相同的光栅在腔

内实现类似功能的报道^[6,7]来比较,降低了器件选取的难度并更容易用简单的结构实现波长调谐。

3 实验结果及讨论

实验中加在半导体激光器上的直流偏置为 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,驱动信号功率为 15 dBm。从输出端输出的激光经一 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 64.95 m,对应的基频为 3.17 MHz。

图 2 所示为外加驱动信号频率为 1997.03 MHz (对应为基频的 630 次谐波)时输出激光的光谱图和光脉冲序列的波形图。激光波长为 1554.69 nm 和 1555.61 nm。由图 2(b)可以看出两个波长的光脉冲在经过铒光纤输出后在时域上是分开的,脉冲之间的间隔约为 117ps,与通过线性啁啾光栅被反射后产生的色散基本相符合。图 2(c)和图 2(d)为激光输出通过一可调谐滤波器而获得的单个波长的脉冲序列。

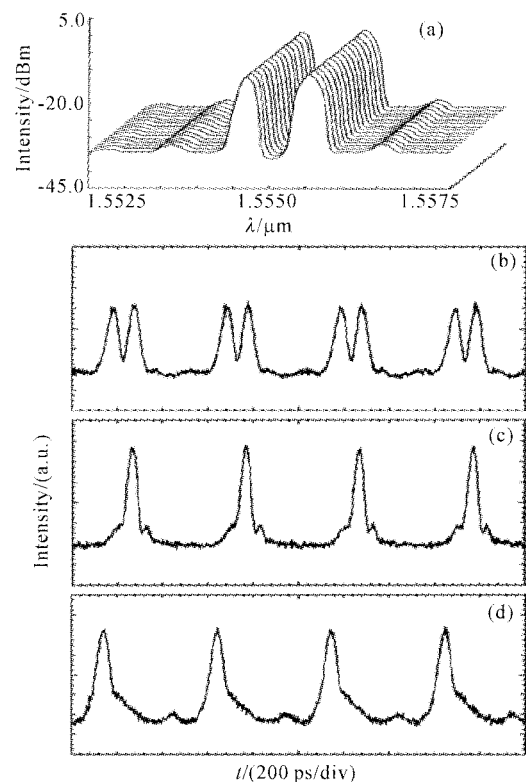


Fig. 2 Dual-wavelength output from the mode-locked fiber laser when the modulation frequency was 1997.03 MHz. (a) Repeated scans of output spectra; (b) Pulse trains of dual-wavelength; (c) Pulse train of 1554.69 nm; (d) Pulse train of 1555.61 nm

其中波长为1554.69 nm的光脉冲宽度约为49.4 ps, 波长为1555.61 nm的光脉冲宽度约为60.7 ps。图2(a)为扫描间隔为2 min, 在30 min内共16次扫描的光谱图, 可以看到在室温下波长间隔为0.92 nm的双波长激光的稳定性相当好。这基本可以归功于这种特殊的环形腔结构可以减小不同波长的光脉冲在铒光纤内的竞争, 从而容易获得稳定的激光输出。

实验中用拉伸与压缩线性啁啾光栅的方法可以使输出激光的波长在一定范围内调谐。图3所示为调谐输出的激光光谱图和光脉冲波形图, 调谐范围

为2.8 nm。因为在调谐过程中腔长几乎不改变, 所以调制频率不用改变, 输出光脉冲的重复频率也不改变。但因为在调谐过程中很难只改变中心波长的位置而维持光栅的带宽和色散值不变, 所以在调谐后的输出中有时两个波长的光脉冲之间间隔会变小, 如图3(d); 有时光脉冲之间的间隔会变大, 如图3(f)。而且在调谐范围过大时, 因为在光栅上所加应力的不均匀而导致光栅产生非线性啁啾, 这时尽管激光输出在光谱上仍然十分稳定, 但光脉冲的稳定性变差, 脉冲波形也会变差。

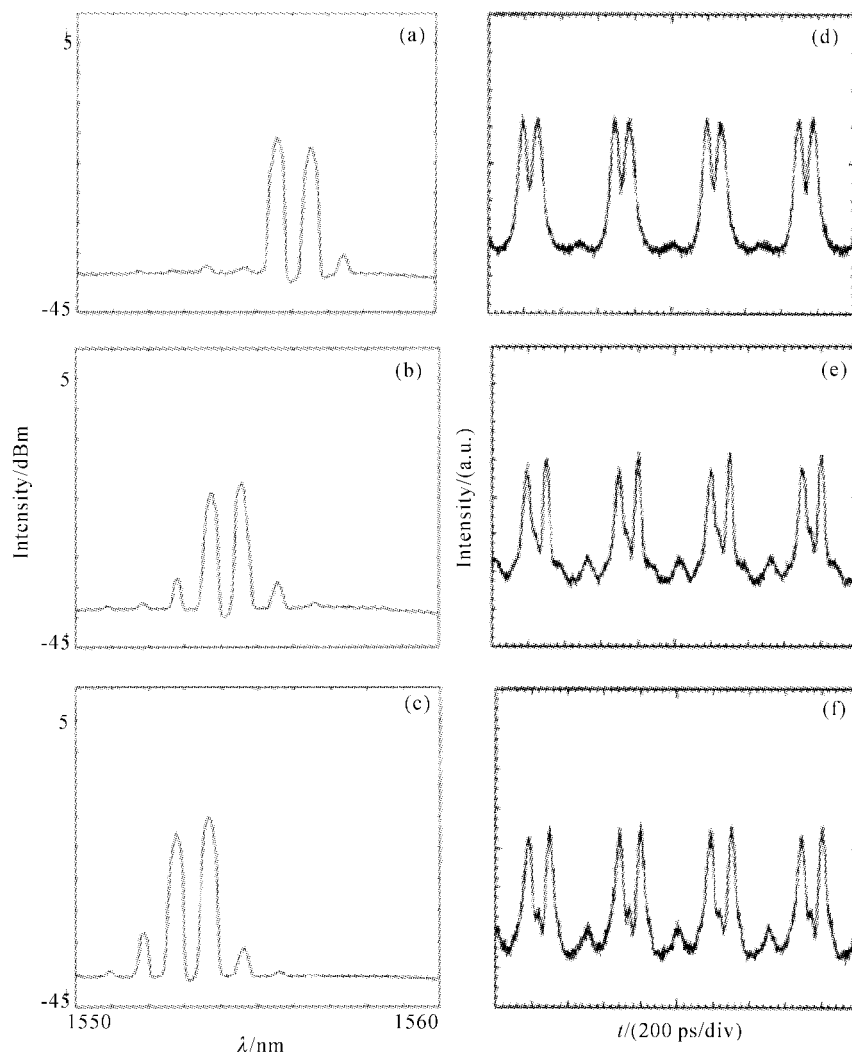


Fig. 3 The spectra (a~c) and corresponding waveforms (d~f) of the output laser in the tuning process when the modulation frequency was 1997.03 MHz

在调谐过程中激光的强度和光信噪比会发生变化, 这种变化主要是受半导体激光器自身发射谱的影响, 在靠近半导体激光器发射谱中心波长的地方, 激光的光谱强度相对强一些, 光信噪比也较大; 反之, 在离半导体激光器发射谱中心波长较远的地方,

激光的光谱强度就弱一些, 光信噪比也较小。图4所示为激光的光谱强度和光信噪比随波长的变化示意图。由于半导体激光器发射谱本身各个模式之间的强度差别并不很大, 所以输出激光的信噪比并不很大, 但在整个调谐过程中仍能保持20 dB以上, 所

获得的最好的激光信噪比超过 25 dB, 光谱强度为 -10.4 dBm。

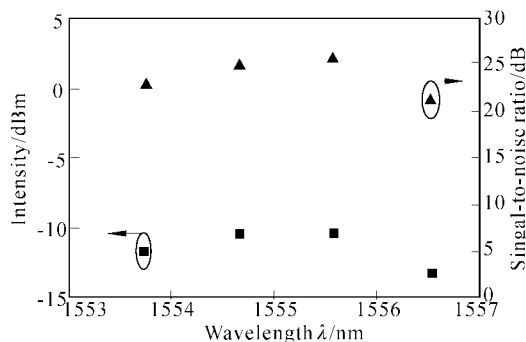


Fig. 4 The changes of laser intensities and signal-to-noise ratios with wavelengths

结论 本文提出了一种用法布里-珀罗腔半导体激光器作调制器, 用线性啁啾光栅作波长选择器件的双波长环形腔主动锁模光纤激光器。在腔内利用线性啁啾光栅的色散效应减小了不同波长的光脉冲在通过铒光纤时的竞争, 在室温下可以获得波长间隔较小的稳定的双波长光脉冲。并通过调谐线性啁啾光栅获得了约 3 nm 的激光波长调谐输出。这种激光器在将来局域网或城域网内的 WDM/OTDM 全光通信系统以及分布式光传感系统中都有比较广泛的应用前景。

参 考 文 献

1 Li S P, Chan K T. Actively mode-locked erbium fiber ring laser using a Fabry-Perot semiconductor modulator as mode locker and tunable filter. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(19):2737~2739

2 Zhao D, Chan K T, Liu Y *et al.*. Wavelength-switched optical pulse generation in a fiber ring laser with a Fabry-Perot semiconductor modulator and a sampled fiber Bragg grating. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(3):191~193

3 Yang S, Li Z, Dong X *et al.*. Generation of wavelength-switched optical pulse from a fiber ring laser with an F-P semiconductor modulator and a HiBi fiber loop mirror. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(6):774~776

4 Jian Yao, Jianping Yao, Yong Wang *et al.*. Active mode locking of tunable multi-wavelength fiber ring laser. *Opt. Commun.*, 2001, **191**(3~6):341~345

5 Sun J, Qiu J, Huang D. Multiwavelength erbium-doped fiber lasers exploiting polarization hole burning. *Opt. Commun.*, 2000, **182**(1~3):193~197

6 Town G E, Chen L, Smith P W E. Dual wavelength modelocked fiber laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(11):1459~1461

7 Chen L R, Town G E, Cortes P Y *et al.*. Dual-wavelength actively mode-locked fiber laser with 0.7 nm wavelength spacing. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(23):1921~1922

8 Pudo D, Chen L R, Giannone D *et al.*. Actively mode-locked tunable dual-wavelength erbium-doped fiber laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(2):143~145

9 Ding L, Kai G, Xu Y *et al.*. A four-wavelength all-fibre laser for wavelength division multiplexing system. *Chin. Phys. Lett.*, 2001, **18**(3):376~378

10 Weber J P. Optimization of the carrier-induced effective index change in InGaAsP waveguides-application to tunable Bragg filters. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1994, **30**(8):1801~1816

11 Vinchant J F, Cavailles J A, Erman M *et al.*. InP/GaInAsP guide-wave phase modulators based on carrier-induced effects: theory and experiments. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(1):63~70

Wavelength Tunable Dual-Wavelength Actively Mode-Locked Fiber Laser with F-P LD as Modulator

Yang Shiquan Li Zhaohui Xiang Yang Zhang Hao Yuan Shuzhong Dong Xiaoyi

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

(Received 4 April 2002; revised 6 June 2002)

Abstract: A novel actively mode-locked fiber laser for generating dual-wavelength picosecond pulses was proposed by using an F-P LD as the modulator in the ring cavity. A linear chirped fiber grating (LCFG) was used as wavelength selector and to produce temporal-spectral multiplexing of the pulses in the gain medium to reduce cross-saturation effects. Stable dual-wavelength pulses with a wavelength spacing of 0.92 nm at the room temperature were experimentally demonstrated and the wavelengths could be tuned in a range of about 3 nm.

Key words: laser diode (LD); fiber laser; chirped fiber grating; wavelength tuning