

文章编号 : 0253-2239(2002)07-0822-03

利用啁啾光纤光栅色散特性实现波长可调谐的 主动锁模掺铒光纤环行腔激光器

赵春柳 马 宁 董新永 张伟刚 杨石泉 蒙红云 袁树忠 开桂云 董孝义

(南开大学光子技术中心, 天津 300071)

摘要: 在环形腔主动锁模光纤激光器中引入啁啾光纤光栅。利用啁啾光纤光栅的大色散特性, 通过调节调制频率, 实现波长调谐, 调谐范围 2 nm。所得脉冲为重复频率 2.5 GHz, 脉宽约 60 ps 的正啁啾脉冲。

关键词: 主动锁模光纤激光器; 波长可调谐; 大色散; 啁啾光纤光栅

中图分类号: TN242 文献标识码: A

1 引 言

波长稳定可调谐短脉冲光源在高速波分复用/光时分复用(WDM/OTDM)通信系统中有着重要的应用。波长的调谐通常可通过在谐振腔内加入波长选择器件(如法布里-珀罗标准具, 可调声光滤波器)来实现^[1,2]; 另一种方法是通过腔内色散实现波长可调谐。它具有结构简单、易于调谐、插入损耗小的优点。国内外相继报道了这方面的研究。1997年, Tamura等人^[3]报道了在主动锁模光纤环形激光器中加入色散补偿光纤(DCF)来实现波长调谐的方法。1998年, Shu等^[4]报道了采用此方案, 实现了 20 nm 的波长调谐范围。国内张劲松等^[5]则利用色散补偿光纤增加腔内色散, 得到多波长同时激励的输出脉冲。

本文利用具有大色散特性的啁啾光纤光栅(CFBG)代替色散补偿光纤。在引入同样色散条件下, 环形腔腔长由 1 km 左右减小到几十米, 腔长大大缩短, 减小了环境对激光器稳定性的影响。通过调节调制频率, 实现了波长调谐, 波长调谐范围 2 nm。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 谐振腔主要由 10 m 掺铒光纤、波分复用器、光环行器(OC)、光纤光栅(FBG)、耦合器、偏振控制器(PC)、调制器等基本器件构成。掺铒光纤作为增益介质, 由波分复用器

(WDM)将 980 nm 半导体激光器所提供的抽运光耦合进掺铒光纤, 抽运功率约为 100 mW。光纤光栅通过光环行器接入环形腔, 同时光环行器可保证锁模脉冲在腔内的单向运转。调制器是形成主动锁模的关键器件, 实验中使用的调制器为日本 Osaka 公司生产的 2.5 GHz LiNbO₃ 光强度调制器。因 LiNbO₃ 调制器的调制效率对偏振态比较敏感, 所以在调制器前安置偏振控制器来调节入射到调制器的光场偏振态。直流偏置和射频信号通过 Tee bias 耦合器一同加到调制器上。2.5 GHz 的射频信号由 HP83711B 型频率合成器提供, 其输出的正弦信号幅度可调, 最大输出为 20 dBm。直流偏置由可调谐的直流稳压电源提供, 调节直流偏置使调制器工作在线性工作区。光脉冲经 90:10 耦合器 10 端口输出。输出激光脉冲时域和频域特性由数字示波器(HP83480A)和光谱分析仪(Q8383)检测。

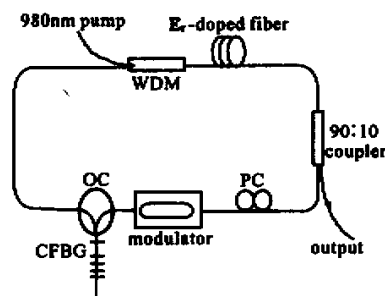


Fig. 1 The experimental setup

3 波长调谐原理及实验结果

啁啾光纤光栅的引入, 增大了腔内色散, 使得不

* 天津科委光电中心 160G 光纤通信系统和博士点基金资助课题。

E-mail zhchunliu@eyou.com

收稿日期 2001-07-16; 收到修改稿日期 2001-09-03

同的波长分量在腔内传输时具有不同的群速度。对于 N 次谐波锁模,在固定腔长下,不同的中心波长对应着不同的调制频率:

$$f_m = \frac{Nc}{n(\lambda)L + n_g(\lambda)L_g}, \quad (1)$$

其中 f_m 为调制频率, L 为腔内光纤的长度, L_g 为啁啾光栅的长度, n 为普通单模光纤及铒光纤的折射率, n_g 为啁啾光栅的折射率, N 为谐波次数, c 为真空中的光速。

将(1)式中 f_m 对 λ 求导,利用色散参量 $D =$

$$\frac{d\beta_1}{d\lambda} = \frac{1}{c} \frac{dn}{d\lambda}, \text{ 得到:}$$

$$\frac{df_m}{d\lambda} = -\frac{f_m^2(DL + D_gL_g)}{N}, \quad (2)$$

其中 D 和 D_g 分别为腔内光纤和啁啾光纤光栅的色散参量; β_1 为模传播常数 β 的一阶泰勒级数, $\beta_1 = 1/v_g$, v_g 为脉冲包络的群速度。当腔内包含正啁啾光栅时,总的色散参量为负,调制频率变化时,激光中心波长将与调制频率沿同方向发生变化,且脉冲带有一定的正啁啾。如果反接啁啾光栅,腔内总的色散参量为正值,激光中心波长与调制频率反向变化,即调制频率变大时,激光中心波长向短波方向移动,输出脉冲带有一定的负啁啾。

实验中,我们应用光纤光栅宽带调谐技术^[6,7],首先把光纤布拉格光栅调为啁啾光栅。在此技术中,将光纤布拉格光栅斜向粘贴到矩形截面弹性梁的侧面。当梁弯曲时,在不同的厚度层上将产生线性变化的应变。此应变被传递到光纤布拉格光栅,引起光纤布拉格光栅栅格周期的线性变化,从而产生啁啾调谐,反射带宽增宽。在梁的曲率一定的情况下,只要光纤布拉格光栅各点粘贴牢固、温度一致,基本可保证利用调谐技术得到的啁啾光纤光栅色散平均,引入的色散参量可近似看成常数。图2为自由状态下光纤布拉格光栅(中心反射波长1555 nm,带宽0.25 nm)啁啾调谐后得到的啁啾光纤光栅反射谱,中心反射波长1555.07 nm,带宽变为2.07 nm。

以正啁啾光栅形式接入。当激射波长为1554.16 nm时,对应的环形腔基频为5.9429 MHz,通过调节调制器的驱动频率,我们获得了重复频率为2.4663 GHz(对应于415次谐波)的锁模脉冲输出。逐渐加大调制频率,激光波长向长波移动。图3给出了不同波长脉冲光谱图及其脉冲输出波形。从上到下依次为1554.16 nm(2.4663 GHz),1554.56 nm

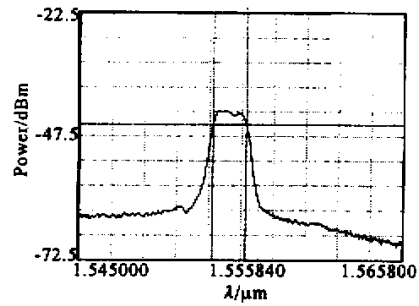


Fig.2 The spectrum of CFBG. $\lambda_0 = 1.555067 \mu\text{m}$;
 $\Delta\lambda = 2.067 \text{ nm}$

(2.471 GHz),1555.12 nm(2.4769 GHz),1555.6 nm(2.481 GHz),不同波长处的脉冲宽度略有不同,平均脉宽约为60 ps。光谱仪判读的光谱宽度为0.3 nm。由此锁模激光器输出脉冲的脉宽带宽积为2.25。由于实验中以正啁啾光栅形式接入,引入大的正色散,所得脉冲带有正啁啾。对照变换极限高斯脉冲的脉宽带宽积值0.441,可求出啁啾系数 $C = 5.2$ 。输出脉冲如果经过适当长度的单模光纤,对啁啾进行补偿,可以将脉冲压窄,得到无啁啾光脉冲。

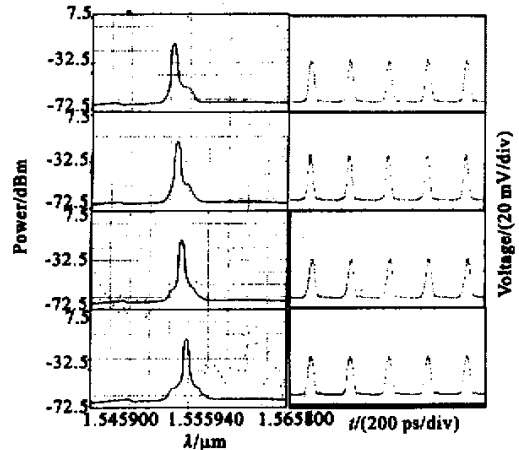


Fig.3 The spectra and pulse trains of different wavelength laser

由(2)式可知,调谐斜率

$$\eta = -\frac{N}{f_m^2(DL + D_gL_g)}$$

由于 $df_m \ll f_m$,因此调制频率与波长呈线性关系。实验结果与理论分析一致,如图4所示。调谐斜率为0.1 nm/MHz,随调制频率的增大,波长向长波方向移动。波长调谐范围由啁啾光纤光栅反射带宽决定。受啁啾光栅反射带宽的限制,实验获得的最大调谐范围为2nm。如果使用宽带的啁啾光纤光栅,可以得到更大范围的波长调谐。

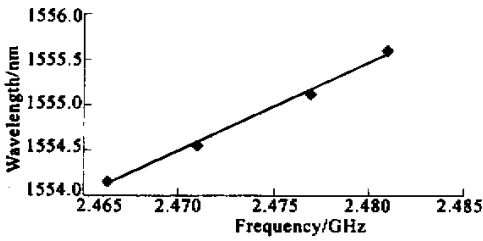


Fig. 4 The relationship between the wavelength of pulse and the RF frequency

另外,实验还发现在一定调制频率范围内,锁模激光器的激光波长基本保持不变。例如,调制频率(2.466300 ± 0.000025) GHz 范围内,从光谱仪直接观察的激光波长仍为1554.16 nm。这一现象与文献[8]的报道相一致,是大色散腔锁模光纤激光器所特有的。在小色散腔锁模光纤激光器中,腔长固定,改变调制频率到仅 kHz 量级时,就会失锁。对大色散腔锁模激光器,由(2)式可知,波长变化与调制频率的变化成正比的同时,与色散量成反比,也就是大色散光纤腔会带来较小的波长变化。在本实验中,波长调谐斜率为 0.1 nm/MHz。当调制频率变化 50 kHz 时,所得的波长变化理论值为 0.005 nm,小于光谱仪测量精度,实验观察的激光波长没有明显变化,基本保持在 1554.16 nm。

结论 本文利用啁啾光纤光栅引入的大色散,通过调谐调制频率,获得重复频率 2.5 GHz 波长调谐范围 2 nm 的波长可调谐锁模光纤激光器。波长调谐范围由啁啾光纤光栅反射带宽决定,如果使用宽带

的啁啾光纤光栅,可以得到大范围波长调谐。与使用色散补偿光纤相比,大大缩短了腔长,减小了环境的影响,使激光器更加稳定。

参 考 文 献

- [1] Wey J, Goldhar J, Rush D *et al.*. Performance characterization of a harmonically mode locked erbium fiber ring laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, 7(2): 152~154
- [2] Jeon M, Lee H, Kim K *et al.*. An electronically wavelength-tunable mode-locked fiber laser using an all-fiber acoustooptic tunable filter. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, 8(12): 1618~1620
- [3] Tamura K, Nakazawa. Dispersion-tuned harmonically mode-locked fiber ring laser for self-synchronization to an external clock. *Opt. Lett.*, 1997, 21(15): 1330~1331
- [4] Shu C, Zhao Y. Characteristics of dispersion-tuning in harmonically mode-locked fiber laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, 10(8): 1106~1108
- [5] Zhang Jinsong, Li Tangjun, Qi Zhanwei *et al.*. Multiwavelength and ultra-short pulses actively mode-locked fiber laser. *Chinese J. Lasers (中国激光)*, A27(11): 983~986 (in Chinese)
- [6] Dong Xinyong, Zhao Chunliu, Ning Ding *et al.*. Temperature-independent bend sensor using chirp effect of fiber Bragg grating. *Acta Photonica Sinica (光子学报)*, 2000, 30(4): 425~428 (in Chinese)
- [7] Dong Xinyong, Liu Zhiguo, Kai Guiyun *et al.*. A novel method of chirp fiber grating. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2001, 21(10): 1275~1277 (in Chinese)
- [8] Ma Xiaohong. Study of the key technologies of the high-speed optical time-division multiplexing (OTDM) communication system (高速时分复用系统关键技术研究). [The Ph.D Dissertation], Tianjin: Tianjin University, 2001, 73~80 (in Chinese)

Wavelength Tunable Mode-Locked Fiber Ring Laser Utilized by the Dispersion of CFBG

Zhao Chunliu Ma Ning Dong Xinyong Zhang Weigang Yang Shiquan

Meng Hongyun Yuan Shuzhong Kai Guiyun Dong Xiaoyi

(Research center of Photonic Technology, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 16 July 2001; revised 3 September 2001)

Abstract: A wavelength tunable mode-locked fiber ring laser is described, in which a chirped fiber Bragg grating (CFBG) is included to give a large dispersion in the cavity. By tuning the modulating frequency, the wavelength of pulse laser is tuned. The tuning range is about 2 nm, limited by the spectral band of CFBG. The pulses with positive chirp are obtained. The frequency of pulse is 2.5 GHz and pulse width is about 60 ps.

Key words: mode-locked fiber laser; wavelength tuning; large dispersion; chirped fiber Bragg grating