

文章编号: 0253-2239(2005)08-1077-4

波长可调谐超短光脉冲的简便高质的生成技术*

陈吉武^{1,3} 王东宁² 李志能³

1 中国计量学院计量技术工程学院, 杭州 310018
2 香港理工大学电机系, 香港
3 浙江大学信电系, 杭州 310027

摘要: 提出了一种以处于增益开关调制状态下的法布里-珀罗(Fabry-Pérot)半导体激光器作为光源,采用简单的自激注入锁定方式,以生成波长可调谐的超短光脉冲的实验系统。该实验装置中,激光器的外腔包括两个串联在一起的布拉格光纤光栅,一个掺铒光纤放大器(EDFA),一个光耦合器和两个环行器,其作用是选模,以及增强并控制反馈回激光器内腔的光强。该实验系统简单而高效,在 24 nm 的波长调谐范围内获得了边模抑制比高于 40 dB 的单模光脉冲输出;而在 1521.8 nm 和 1550.0 nm 之间 28.2 nm 的波长调谐范围内,边模抑制比高于 35 dB。所得到的各个单波长激光脉冲的时域半峰全宽为 140~260 ps,各个脉冲的光谱半峰全宽皆为 0.1 nm。

关键词: 超快光学;超短光脉冲;增益开关;自激注入锁定;边模抑制比;波长调谐

中图分类号: O437 文献标识码: A

Generation of Wavelength Tunable Optical Ultrashort Pulse with Simple Scheme and High-Quality

Chen Jiwu^{1,2} Wang Dongning² Li Zhineng³

1 School of Metrological Technology & Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018
2 Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University Hung Hom, Kowloon, Hong Kong
3 Department of Information and Electronics, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Abstract: Wavelength tunable optical ultrashort pulse generation by the use of a gain-switched Fabry-Pérot laser diode in a self-seeding simple scheme is presented. The laser external cavity consists of two fiber Bragg gratings (FBG) connected in series, an erbium-doped fiber amplifier (EDFA), an optical coupler and two circulators, which provides a mode selective and intensity controllable feedback to the laser diode. The system is simple and efficient, and sidemode suppression ratio (SMSR) of the output pulses obtained is close to or larger than 40 dB within a relatively wide wavelength-tuning range of 24 nm. The whole operating wavelength region is about 28.2 nm, between 1521.8 nm and 1550.0 nm, the SMSR obtained is better than 35 dB. The full width at half maximum (FWHM) of the pulse width is about 140~260 ps, and the FWHM of spectrum at different wavelength for any pulses is about 0.1 nm.

Key words: ultrafast optics; optical ultrashort pulses; gain switching; self-seeded; sidemode suppression ratio; wavelength-tuning

1 引 言

在高容量光纤通信系统和光纤传感中,波长可调谐的超短光脉冲有着广泛的应用。因而,近年来其生成技术的研究日益受到重视。到目前为止,在波长可调谐超短光脉冲的各种生成技术中,对增益

开关调制的法布里-珀罗(Fabry-Pérot)半导体激光器进行自激注入锁定,是一种简单而有效的实验方案^[1~5]。为了产生自激注入锁定的光脉冲输出,必须在激光器的外支路上构造一个外腔。在外腔中,波长选择元件把激光器输出的部分光进行滤波,并

* 浙江省自然科学基金(M603085)资助课题。

作者简介: 陈吉武(1962~)男,中国计量学院计量技术工程学院教授,主要从事光谱技术与光纤应用技术方面的研究。

E-mail: chen_jiwu@yahoo.com.cn

收稿日期: 2004-08-23; 收到修改稿日期: 2004-12-23

反馈回激光器内腔中。当反馈回激光器中的光脉冲在建立新的光脉冲的时间窗口内到达时,就能在激光器中产生自激注入锁定的单模光脉冲输出。通过调谐波长选择元件,同时调谐驱动电信号的重复频率或改变外腔长,就能实现单模光脉冲的波长调谐。外腔中的波长选择元件通常为衍射光栅、法布里-珀罗滤波器,或光纤光栅。衍射光栅为块结构,具有很宽的波长调谐范围,但体积大,在光路中难于安置与校准,机械稳定性差。可调谐法布里-珀罗滤波器同样具有很宽的调谐范围,但通常具有很大的插入损耗。近年来,利用光纤光栅滤波器的自激注入锁定系统被广泛地应用起来,光纤光栅具有许多优点,与光纤的耦合性好,对所选择波长的反射率高,即其插入损耗低,但波长调谐范围有限。另外一个衡量自激注入锁定系统性能的主要参量是输出光脉冲的边模抑制比(SMSR)。因干涉将引起噪声,并进而可能成为严重问题^[6],低的边模抑制比意味着系统的应用范围将受到限制。所以,人们期望自激注入锁定系统产生的光脉冲具有高的边模抑制比。在使用光纤光栅的自激注入锁定系统中,边模抑制比已经达到大于 30 dB^[7]。虽然,使用线性啁啾光纤光栅

(linearly-chirped FBG)可以获得更大的边模抑制比^[8],但波长的调谐范围太窄,仅为 11.5 nm。

本文介绍了一种简单有效的自激注入锁定系统,以生成波长可调谐的超短光脉冲。在外腔支路上,系统采用两个光纤光栅以扩展波长调谐范围,一个掺铒光纤放大器用于增大反馈回激光器内腔的光脉冲强度,从而提高输出光脉冲的边模抑制比。实验结果显示:在 24 nm 的波长调谐范围内输出光脉冲的边模抑制比高于 40 dB。

2 实验描述

实验装置如图 1 所示,系统采用一个中心波长为 1.533 μm 的带有尾纤的法布里-珀罗半导体激光器作为光源,阈值电流为 22 mA。激光器的直流偏置电流设置为 14 mA。一个射频信号发生器(HP E4422B)产生的射频正弦信号,功率为 -17 dBm,通过一个 30 dB 的功率放大器被放大后,90% 的电信号功率再通过 T 型头直接耦合到法布里-珀罗半导体激光器上,与直流偏置电流相并联,驱动激光器而形成增益开关。另外 10% 的电信号用于数字采样示波器的电触发。

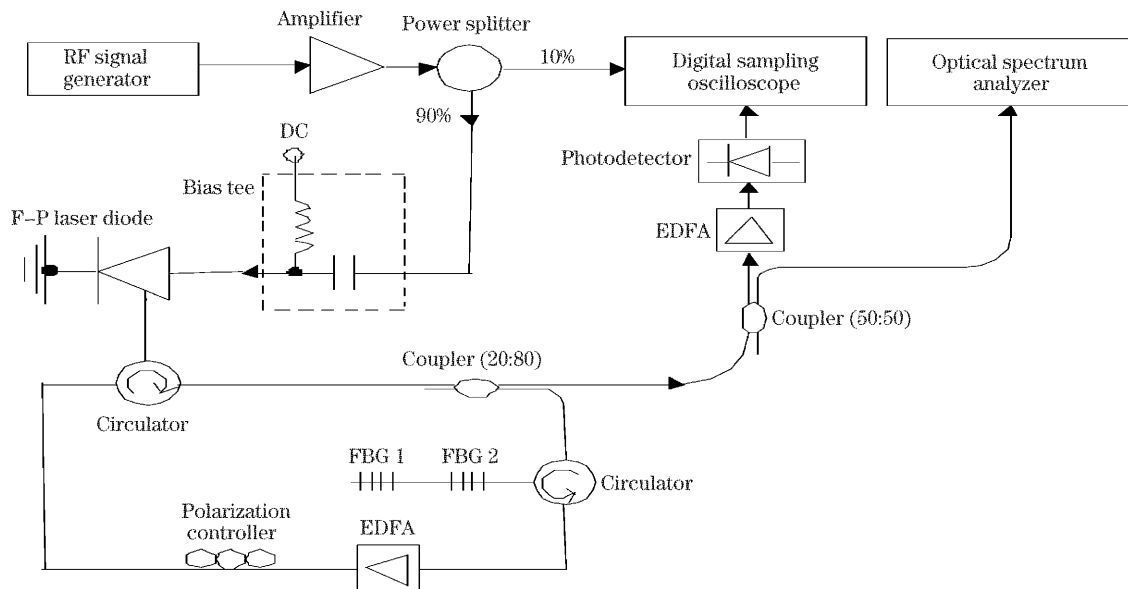


图 1 自激注入锁定系统实验装置图

Fig. 1 Experimental arrangement of the self-seeding system

处于增益开关状态下的半导体激光器所输出的多纵模光脉冲,通过一个 20:80 耦合器和两个环形器,入射到两个互相串联的光纤光栅上。两个光纤光栅具有不同的峰值波长。其中一个用于选择多纵模光脉冲中的某个模式,然后反馈回激光器的内腔以产生注入锁定单模光脉冲输出;轻微调节另一个

光纤光栅,使之远离工作波长,以避免对边模抑制比的损害。被光纤光栅反射的光是经掺铒光纤放大器放大后再注入激光器内腔中的。光路中的偏振控制器用于调整并优化注入激光的偏振态,以提高输出光脉冲的边模抑制比。系统的输出是采用一个 20:80 的光耦合器实现的。输出的光脉冲被分别送

入光谱仪(HP 70951A,分辨力设置为 0.08 nm)、数字采样示波器(Tektronix CSA 803C,最高重复采样速率为 200 kHz)、光电探测器(New Focus 1414,响应时间为 17 ps),用于进行信号分析。

3 实验结果及讨论

图 2 显示了增益开关调制状态下的法布里-珀罗半导体激光器输出光谱,为多纵模结构。图 1 所示的自激注入锁定系统,将可获得单模光脉冲的输出。图 3 显示了在波长调谐范围内的几个不同波长处的单模光脉冲输出光谱,其光谱半峰全宽皆为 0.1 nm。实验中采用的两个光纤光栅的峰值波长分别为 1531 nm和1545 nm。通过调节光纤光栅,可使其反射波长偏离原峰值波长。两个光纤光栅的总波长调谐范围大于20 nm。仔细调谐两个光纤光栅以及激光器的驱动频率,可得到基于激光器模式的不同波长的单模光脉冲输出。为保证反馈的光脉冲在激光器内部建立新的激光脉冲的时间窗口内到达,实验中,当分

别使用峰值波长为1531 nm(对应的波长调谐范围为 1521.8~1536.95 nm)和 1545.0 nm(调谐范围为 1539.10~1550.00 nm)光纤光栅时,激光器的驱动频率分别调至 535.380 MHz 和 538.410 MHz 附近。图 4 显示了波长分别为 1532.5 nm 和 1541.3 nm 的单模光脉冲输出波形,图 4 中脉冲半峰全宽度皆为260 ps。

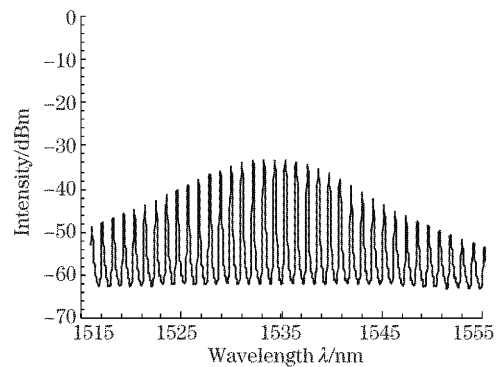


图 2 增益开关状态下的法布里-珀罗半导体激光器的输出光谱

Fig. 2 Gain-switched F-P laser diode output spectrum

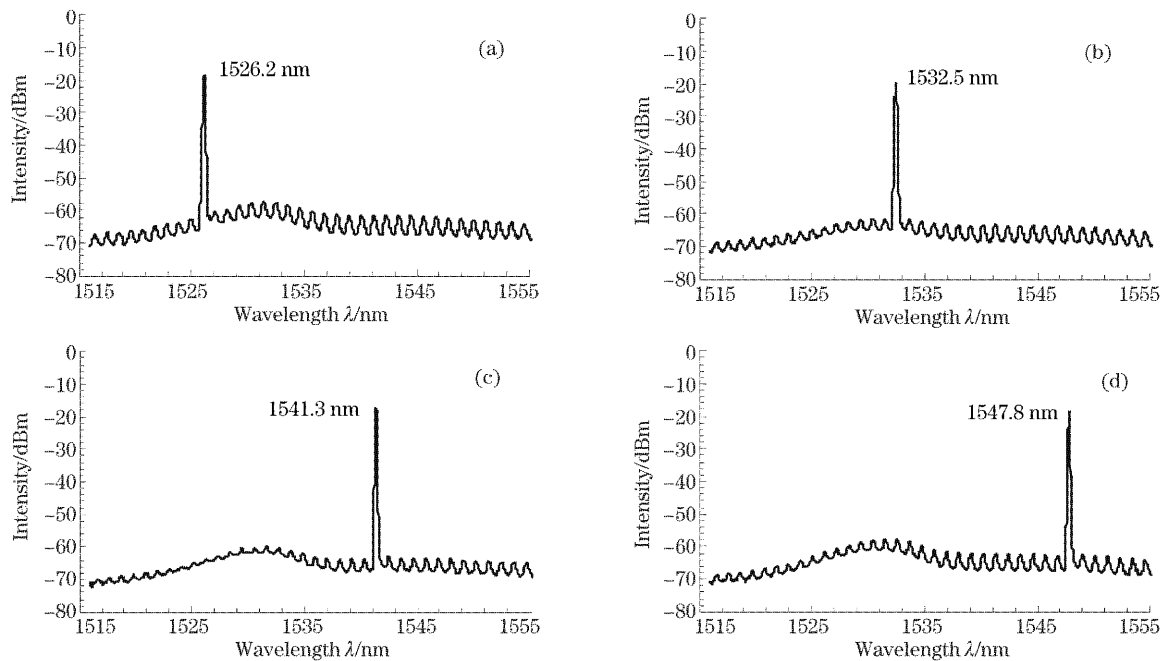


图 3 波长可调谐超短光脉冲的光谱

Fig. 3 Optical spectra of the wavelength-tunable optical ultrashort pulses

图 5 显示了不同波长处,在支路上有或无掺铒光纤放大器时,输出光脉冲的边模抑制比和平均输出功率。在 1521.8 nm 和 1550.0 nm 之间 28.2 nm 的波长调谐范围内,边模抑制比高于 35 dB。而在 1526.2 nm 和 1550.0 nm 之间 24 nm 的波长调谐范围内,边模抑制比高于 40 dB。在支路无掺铒光纤

放大器情况下,边模抑制比降低 1.5~7.5 dB,平均输出功率降低 3~8 dB。

实验中所得到的各个单波长激光脉冲的时域半峰全宽度不完全一致,时域半峰全宽度按波长的分布如图 6 所示,但各个脉冲的光谱半峰全宽皆为 0.1 nm。

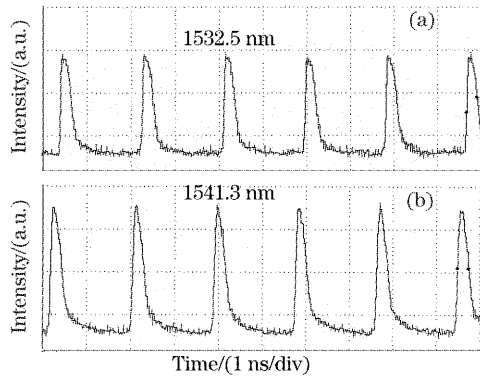


图 4 光脉冲序列波形

Fig. 4 Waveforms of the optical pulse trains

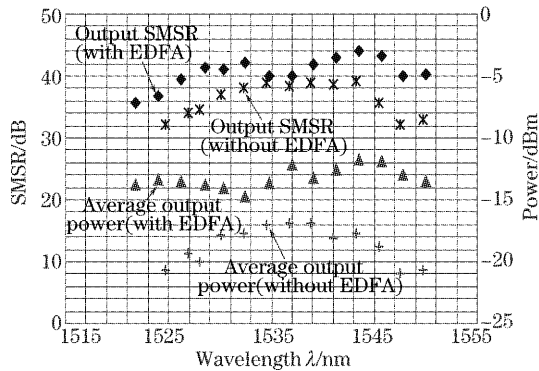


图 5 在不同波长下所测量的单波长光脉冲的边模抑制比和平均输出功率

Fig. 5 Measured values of SMSR and average output power at different wavelengths

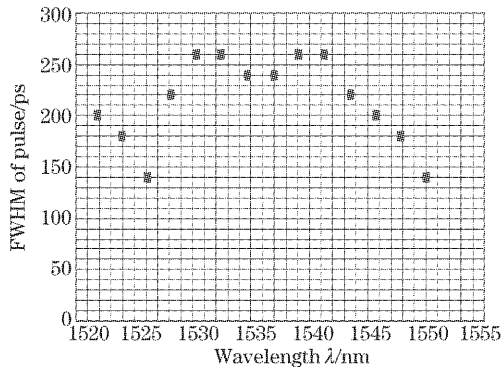


图 6 在不同波长下所测量的单波长光脉冲的脉冲半峰全宽

Fig. 6 Measured FWHM value of pulses at different wavelengths

4 结束语

本文提出了一个生成波长可调谐超短光脉冲的自激注入锁定实验系统。实验的关键是采用两个串联的布拉格光纤光栅以扩展调谐范围;并在反馈回路中放置掺铒光纤放大器以增大反馈光强,从而,不仅使法布里-珀罗半导体激光器处于中间部分的各纵模在单模运转时获得高的边模抑制比,也极大地增强了处于激光器边缘部分的各纵模的单模运转能力。系统简单高效,在 24nm 的波长调谐范围内输出光脉冲的边模抑制比高于 40 dB。

参 考 文 献

- 1 M. Schell, D. Huhse, A. G. Weber *et al.*. 20 nm wavelength tunable singlemode picosecond pulse generation at 1.3 μm by self-seeded gain-switched semiconductor laser[J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(23): 2154~2155
- 2 Shenping Li, K. T. Chan, Caiyun Lou. Wavelength-tunable picosecond pulses generated from stable self-seeded gain-switched laser diode with linearly chirped fibre Bragg grating[J]. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(12): 1234~1236
- 3 K. Chan, C. Shu. Electrically wavelength-tunable picosecond pulses generated from a self-seeded laser diode using a compensated dispersion-tuning approach[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(9): 1093~1095
- 4 J. W. Chen, D. N. Wang, W. Jin *et al.*. Differential absorption measurement by use of self-seeded gain-switched Fabry-Pérot laser diode[J]. *Electron. Lett.*, 2002, **38**(23): 1434~1435
- 5 Jiangzhen Xia, Ronghui Qu, Haiwen Cai *et al.*. A self-seeded fiber laser incorporated with a fiber Bragg grating external cavity semiconductor laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(7): 380~382
- 6 L. P. Barry, P. Anandarajah. Effect of side-mode suppression ratio on the performance of self-seeded gain-switched optical pulses in lightwave communications systems[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(11): 1360~1362
- 7 J. W. Chen, D. N. Wang. Wavelength tunable optical short pulse generation by self-seeding of a gain-switched Fabry-Pérot laser diode with improved sidemode suppression ratio and extended wavelength-tuning range[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **226**(1~6): 345~350
- 8 Shenping Li, K. S. Chiang, W. A. Gambling *et al.*. Self-seeding of Fabry-Pérot laser diode for generating wavelength-tunable chirp-compensated single-mode pulses with high-sidemode suppression ratio[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(11): 1441~1443