

文章编号:1001-9014(2005)05-0394-04

# 以自激注入锁定方式生成边模抑制比高的 可调谐双波长超短光脉冲

陈吉武<sup>1,3</sup>, D. N. WANG<sup>2</sup>, 李志能<sup>3</sup>

(1. 中国计量学院 计量技术工程学院, 浙江 杭州 310018;

2. 香港理工大学 电机系, 香港; 3. 浙江大学 信电系, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**介绍一种简单的以自激注入锁定方式、生成边模抑制比改善的、可调谐双波长超短光脉冲的实验系统。系统通过调整两个 Bragg 光纤光栅和光延迟线,可方便地调谐两个不同波长及其间距,从而获得双波长光脉冲输出。实验显示,在 20.7nm 的波长调谐范围内,可获得边模抑制比接近或高于 30dB 的双波长光脉冲输出。系统简单,且波长调谐方便。

**关键词:**超短光脉冲;双波长;增益开关;自激注入锁定;边模抑制比;波长可调谐

**中图分类号:** O437 **文献标识码:** A

## GENERATION OF TUNABLE DUAL-WAVELENGTH OPTICAL SHORT PULSE USING A SELF-SEEDING SCHEME WITH ENHANCED SIDEMODE SUPPRESSION RATIO

CHEN Ji-Wu<sup>1,3</sup>, D. N. WANG<sup>2</sup>, LI Zhi-Nen<sup>3</sup>

(1. College of Metrological Technology & Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;

2. Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China;

3. Department of Information and Electronics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** A simple self-seeding scheme was demonstrated for tunable dual-wavelength optical short pulse generation with enhanced sidemode suppression ratio. The two wavelengths and their separation can be tuned in a flexible manner by adjusting two fiber Bragg gratings and an optical delay line. The sidemode suppression ratio of the output pulses achieved is close to or better than 30 dB over the wavelength-tuning range of 20.7 nm. The system is simple and robust and convenient for dual-wavelength tuning.

**Key words:** optical short pulse; dual-wavelength; gain-switching; self-seeding; sidemode suppression ratio; wavelength-tuning

### 引言

多波长超短光脉冲的生成技术,为同时进行波分复用(WDM)和时分复用(TDM)提供了一种简单而有效的手段,在光纤通信和光纤传感中具有很好的应用前景。因而,近年来该技术的研 究日益受到人们的重视。已有数种方法可以获得多波长超短光脉冲<sup>[1-7]</sup>,例如,激光阵列的主动锁模,须对该激光器的一个内腔镜镀非反射膜(antireflection coating),波长选择元件光栅位于激光器外腔,波长调谐范围为 2~11nm,

输出光脉冲的边模抑制比(SMSR)优于 20dB<sup>[1,3]</sup>;利用多信道光栅腔激光器,对光纤中的超连续谱滤波,可在宽达 200nm 的范围内产生激光脉冲<sup>[2]</sup>;以及对处于增益开关调制状态的法布里-帕罗(F-P)半导体激光器进行自激注入锁定,波长选择元件为光栅或光纤光栅(FBG),在 1.6~18nm 的波长调谐范围内,SMSR 可达 25~30dB<sup>[4,5]</sup>;或腔外注入锁定,须两个 F-P 半导体激光器及 FBG 构成系统,可实现在 16.1nm 的调谐范围内,保持 SMSR 在 21~26dB<sup>[6]</sup>。采用自激注入锁定的系统,只需一个商用的 F-P 半导体激光

收稿日期:2004-12-21,修回日期:2005-06-17

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(M603085)

作者简介:陈吉武(1962-),男,吉林长春人,中国计量学院教授,博士,主要研究方向:光谱技术及光纤应用技术。

Received date: 2004-12-21, revised date: 2005-06-17

器,因而相对简单经济.波长选择元件通常是放置在激光器外腔的衍射光栅或光纤光栅.由波长选择元件,将所选定波长的光一部分,反馈回处于增益开关调制状态的半导体激光器内腔中.当反馈回激光器内腔中的多波长脉冲在光脉冲的建立时间窗口内到达时,系统就可获得多波长超短光脉冲的输出.为了获得可调谐多波长输出,必须仔细调谐驱动电信号的重复频率或者外腔长.评价自激注入锁定系统性能的一个重要参数,是输出光脉冲的 SMSR,低的 SMSR ( $< 25$  dB) 将给光纤通信系统带来严重的干涉噪声<sup>[8]</sup>.然而,目前已报道的自激注入锁定多波长系统输出的 SMSR 还相对较低,或仅能提供很窄的调谐范围,限制了系统的应用.

本文提出了一种简单的自激注入锁定系统,以生成双波长可调谐超短光脉冲,在一个相对大的波长调谐范围内得到了较高 SMSR 的双波长光脉冲输出.波长选择元件为两个串联的中心波长不同的光纤光栅,一个可调谐光延迟线置于两光纤光栅之间.两个光环行器用于形成有效的反馈环.系统实现了,在 20.7 nm 的波长调谐范围内,输出双波长光脉冲的 SMSR 接近或高于 30 dB.系统简单可靠,双波长调谐方便.

## 1 实验

双波长可调谐方案的实验装置如图 1 所示.实验采用一个中心波长为 1.53  $\mu\text{m}$  的商用 F-P 半导体激光器,直流偏置电流设为 14 mA,一个射频信号发生器产生射频正弦信号,信号功率为 -18 dBm,通过一个 30 dB 的功率放大器放大为 12 dBm. 90% 的电信号功率再通过 T 型头直接耦合到 F-P 半导体激光器上,并与直流偏置电流一起,驱动激光器,使之处于增益开关的调制状态.剩下的 10% 用作于数字采样示波器的触发信号.在增益开关状态下的 F-P 半导体激光器的输出是多纵模光脉冲,通过两个光环行器,射向波长选择元件——光纤光栅.两个 Bragg 光纤光栅的反射波长分别为 1531 nm 和 1543 nm,通过一个可调谐光延迟线串联在一起.仔细调节驱动信号的重复频率以及可调谐光延迟线,可使两个光纤光栅分别反射的、两个不同波长的光脉冲,在激光器的建立光脉冲的时间窗口内同时到达,而仅使相应的光成为腔内竞争力最强的两个模式,因此抑制了其它激光模式的建立,从而同时产生双波长超短光脉冲辐射,即形成了所谓注入锁定机制,由于反馈与输出光是来自同一个激光器,所以又称为

自激注入锁定.系统中加有一偏振控制器,以优化输出的双波长光脉冲的 SMSR. 一个耦合比为 80:20 的光耦合器所分出的光信号作为系统输出,射向光谱仪(HP 70951A,分辨率设置于 0.08 nm)和数字采样示波器(Tektronix CSA 803C,最高重复采样速率 200 kHz)的光电探测器(New Focus 1414,响应时间为 17 ps),以观察输出光脉冲的光谱和脉冲形状.

不同波长间距下的双波长光谱如图 2 所示.在图 2(a)中,最小的波长间距为 1.1 nm,也就是激光器两个相邻纵模的间隔.在这种情况下获得的 SMSR 为 30 dB.通过调整光纤光栅和可调谐光延迟线,同时仔细地调整驱动电信号的重复频率(实验中为 538.675 ~ 539.190 MHz),可以保证反馈的两个波长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,从而方便地得到不同间隔的双波长光脉冲.图 2(b)和图 2(c)分别显示了波长间隔为 5.5 nm 和 14.2 nm 的双波长光脉冲输出光谱.而图 2(d)中双波长的间隔增加至 20.7 nm,峰值波长分别位于 1525.8 nm 和 1546.5 nm.在整个双波长调谐过程中,SMSR 均接近或高于 30 dB.

双波长调谐也可采用另一种便利的方式进行,例如,仅改变一个波长成份,而使另外的波长成份保持不变.图 3 显示了这样一个操作:图 3(a)中的两个波长成份分别位于 1534.4 nm 和 1539.9 nm,图 3(b)则分别位于 1534.4 nm 和 1545.4 nm.波长间隔分别为 5.5 nm 和 11.0 nm,且输出双波长光脉冲的

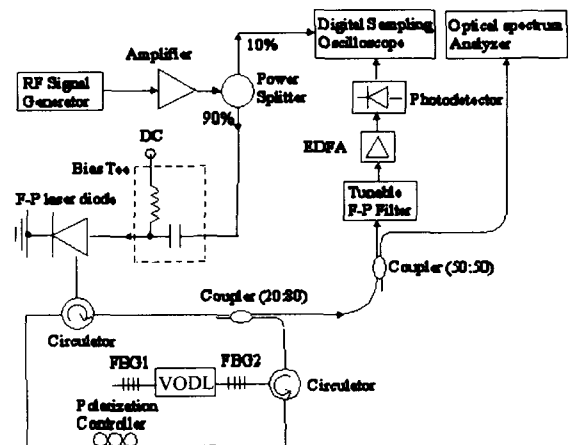


图 1 以自激注入锁定方式的可调谐双波长实验装置图.其中,FBG 是光纤光栅;EDFA 是掺铒光纤放大器

Fig. 1 Experimental configuration for tunable dual-wavelength self-seeding scheme. The FBGs are fiber Bragg gratings. The EDFA is an erbium-doped fiber amplifier.

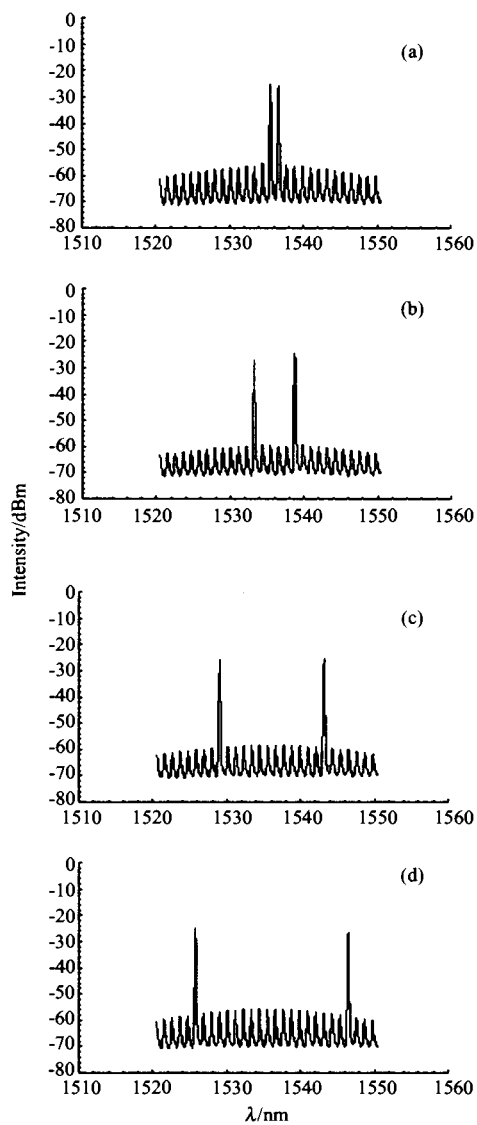


图2 自激注入锁定的可调谐双波长输出光谱 (a) 在 1535.5 nm 和 1536.6 nm 处; (b) 在 1533.3 nm 和 1538.8 nm 处; (c) 在 1529.0 nm 和 1543.2 nm 处; (d) 在 1525.8 nm 和 1546.5 nm 处

Fig. 2 Tunable dual-wavelength self-seeded output spectra (a) at 1535.5 nm and 1536.6 nm; (b) at 1533.3 nm and 1538.8 nm; (c) at 1529.0 nm and 1543.2 nm; (d) at 1525.8 nm and 1546.5 nm

SMSR 均高于 30dB.

图4 显示了图2(c)中的于双波长光谱对应的两个单波长光脉冲. 单波长光脉冲是通过采用一个 F-P 滤波器滤波实现的, 图4(a)和图4(b)中的显示了光波长分别为 1529.0 nm 和 1543.2 nm 的单波长光脉冲. 图4 中是数字采样示波器直接显示波形, 光脉冲的重复频率与驱动激光器的射频信号一致, 光脉冲的半极大全宽度约为 110ps.

输出光脉冲的平均功率及 SMSR 于波长的依赖

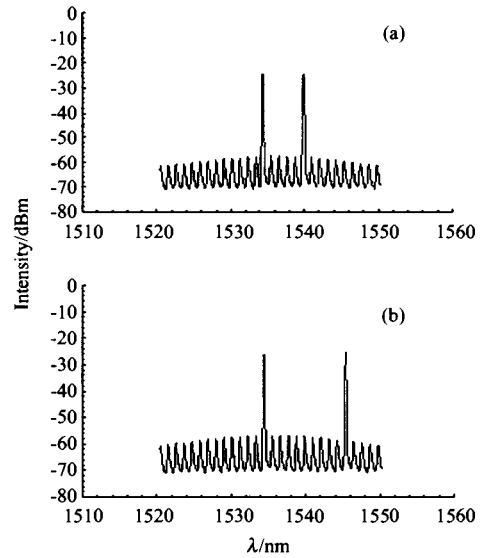


图3 在一个波长保持不变的情况下的自激注入锁定可调谐双波长输出光谱 (a) 在 1534.4 nm 和 1539.9 nm 处; (b) 在 1534.4 nm 和 1545.4 nm 处

Fig. 3 Tunable dual-wavelength self-seeded output spectra with one of the wavelength locations unchanged (a) at 1534.4 nm and 1539.9 nm; (b) at 1534.4 nm and 1545.4 nm

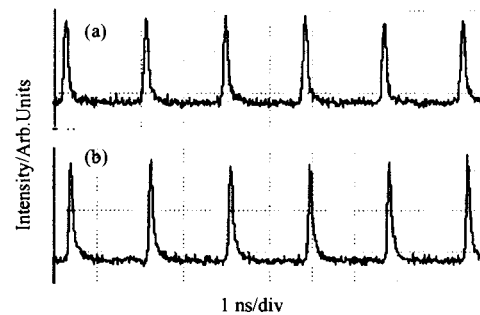


图4 自激注入锁定的输出光脉冲序列 (a) 在 wavelength 1529.0 nm 处; (b) 在 wavelength 1543.2 nm 处

Fig. 4 Self-seeded output pulse trains (a) at wavelength 1529.0 nm; (b) at wavelength 1543.2 nm

关系示于图5. 在 1525.8 nm 和 1546.5 nm 之间的 20.7 nm 的波长调谐范围内, 对称的双波长输出光脉冲的 SMSR 接近或高于 30dB. F-P 半导体激光器的增益谱形状对波长调谐范围的影响很大, 宽而平坦的增益谱有望获得宽的调谐范围. SMSR 同时也依赖于反馈回激光器的光脉冲的偏振态. 输出光脉冲的平均功率在 -22.7 dBm 和 -18.2 dBm 之间.

## 2 结论

本文所演示的实验系统, 是以自激注入锁定方式生成可调谐双波长光脉冲. 系统包括两个 Bragg 光纤光栅, 两个光环行器, (下转第 400 页)

准则法通过计算被分割目标和背景区域相关量最大,可实现图像的准确分割。

针对二维最大相关准则图像分割存在着搜索空间大,耗时多的缺陷;用遗传算法可实现高效并行、随机、自适应群体搜索,找出图像的最佳阈值,实现图像的实时高效阈值分割。

## REFERENCES

- [1] CHEN Guo, ZUO Hong-Fu. 2-D maximum entropy method of image segmentation based on genetic algorithm[J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics* (陈果, 左洪福. 图像分割的二维最大熵遗传算法. *计算机辅助设计与图形学学报*), 2002, 14(6): 530—534.
- [2] YUAN Zhan-Ting, HONG Yi, WANG Qing. Genetic algorithms of threshold segment in 2D entropy image[J]. *Journal of Gansu University of Technology* (袁占亭, 洪毅, 王青. 二维熵图像阈值分割的遗传算法. *甘肃工业大学学报*), 1999, 25(1): 68—72.
- [3] CHANG Qing, WANG Li, XING Chao. The selection of image threshold on the basis of genetic algorithms [J]. *Computer Engineering and Application* (常青, 王立, 邢超.

基于遗传算法的图像阈值选取. *计算机工程与应用*), 2002, 22: 35—37.

- [4] YANG Bo. Image segmentation of the genetic algorithms on the base of Otsu [J]. *Journal of Hunan Norm University* (阳波. 基于最大类间方差遗传算法的图像分割方法. *湖南师范大学自然科学学报*), 2003, 26(1): 32—37.
- [5] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimension entropy [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1989, (47): 22—32.
- [6] TAO Wen-Bing, TIAN Jin-Wen, LIU Jian. Segmentation of FLIR images by genetic algorithm and fuzzy entropy [J]. *J. Infrared Millim. waves* (陶文兵, 田金文, 柳健. 基于遗传算法和模糊熵的前视红外图像分割. *红外与毫米波学报*), 2003, 22(6): 465—468.
- [7] Yen J C, Chang F J, Chang S. A new criterion for automatic multilevel thresholding [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, 4(3), 370—378.
- [8] Zhou De-long, Zhu li-ming, Pan Quan. Thresholding of digital images based on the maximum correlation criterion [J]. *Journal of Electronics and Information Technology* (周德龙, 朱立明, 潘泉等. 基于最大相关准则的阈值处理算法. *电子与信息学报*), 2002, 24(1): 136—139.

(上接第 396 页)

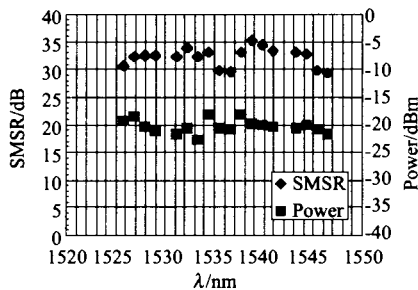


图5 在双波长运行时,于不同波长处所获得的边模抑制比和平均输出功率

Fig. 5 Measured values of SMSR and average output power obtained at different wavelengths in the dual-wavelength operation

一个 20:80 的光耦合器和一个可调谐光延迟线. 在 20.7 nm 的波长调谐范围内,系统输出的双波长光脉冲的 SMSR 接近于或高于 30dB 的. 实验系统的关键是利用两个光环行器,并使每个光脉冲一次通过耦合器,形成了使反馈光强损耗较小的光路,同时,利用光延迟线很好地保证了两个波长的光在时间上的一致性,从而,不仅使 F-P 半导体激光器的处于中间部分的各纵模在双模运转时获得高的边模抑制,也极大地增强了处于激光器边缘部分的各纵模的双模运转能力. 系统简单、可靠,双波长调谐方便。

## REFERENCES

- [1] Wang C L, Pan C L. Dual-wavelength actively mode-locked

laser-diode array with an external grating-loaded cavity[J]. *Opt. Lett.*, 1994, 19(18):1456—1458.

- [2] Morioka T, Uchiyama K, Kawanishi S, et al. Multiwavelength picosecond pulse source with low jitter and high optical frequency stability based on 200nm supercontinuum filtering[J]. *Electron. Lett.* 1995, 31(13):1064—1066.
- [3] Zhu B, White H. Variable delay dual wavelength picosecond optical pulse generation using an actively mode-locked multichannel grating cavity lase [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 65(23):2928—2930.
- [4] Wang D N, Shu C. Tunable dual-wavelength picosecond pulse generation using multiple-optical-path self-seeding approach[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, 9(9): 1211—1213.
- [5] Li S P, Chan K T, Liu Y, et al. Multiwavelength picosecond pulses generated from a self-seeded Fabry-Pérot laser diode with a fiber external cavity using fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, 10(12): 1712—1714.
- [6] Zhang M, Wang D N, Li H, et al. Tunable dual-wavelength picosecond pulse generation by the use of two Fabry-Pérot laser diodes in an external injection seeding scheme [J], *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, 14(1):92—94.
- [7] CHEN Da-Yu, ZHANG Rong-Jun, ZHU Wei-Dan, et al. Study of 100GHz narrow bandpass dwdm filters in the fiber optical communication[J]. *J. Infrared Millim. Waves.* (谌达宇, 张荣君, 朱伟丹, 等. 光通信 DWDM 系统的 100GHz 窄带滤波片设计和研制. *红外与毫米波学报*) 2003, 15(1):75—76.
- [8] Barry L P, Anandarajah P. 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.