

半导体激光器生成双波长超窄脉冲的实验研究

张敏, 王东宁, 李宏, 靳伟, M S Demokan

(香港理工大学电机工程系, 中国香港 九龙红磡)

摘要: 描述了一种用腔外注入方式调制增益的法布里珀罗半导体激光器产生双波长超窄脉冲的简单方法。腔外注入功能部分包含一个直流工作的法布里珀罗半导体激光器、一个3dB光耦合器和两个布喇格型光纤光栅。双波长的选择和间距通过调节光栅来实现。文中描述的系统实现了在10nm的调节范围内边模压制率优于17dB的理想结果。整个系统简单、成本低。

关键词: 超窄脉冲; 腔外注入锁定; 增益调制

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2002)04-0329-04

Dual-wavelength ultra-short pulse generation by use of semiconductor laser diode

ZHANG Min, WANG Dong-ning, LI Hong, JIN Wei, M S Demokan

(Department of Electrical Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom,

Kowloon, Hong Kong, China)

Abstract: An attractive alternative to generate tunable dual-wavelength pulses by external injection seeding of a gain-switched Fabry-Perot laser diode (FP-LD) is demonstrated. The external injection seeding branch consists of a FP-LD, a 3dB photo-coupler and two fiber Bragg gratings (FBG's). The dual wavelength can be selected and their spacing can be tuned by adjusting two FBG's. The side-mode-suppression-ratio (SMSR) is better than 17dB over a 10nm wavelength tuning range. The whole system is simple and costs lower.

Key words: Ultra-short pulse; External injection seeding; Gain switching

1 引言

1.55 μ m 波长附近的可调谐多波长超窄脉冲对

光时分复用(TDM)和波分复用系统(WDM)的研究和发展有着非常重要的意义。近来相继发表了许多关于双波长超窄脉冲发生器研究的文章。J B Schlager 等在锁模掺铒光纤环形激光器腔中加入双

收稿日期: 2001-11-02; 修订日期: 2002-03-28

作者简介: 张敏(1971-), 男, 浙江宁波市人, 博士生, 主要从事光纤传感器方面的研究。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

折射保偏光纤,实现了双波长超窄脉冲的产生^[1], Chi-Luen Wang等在锁模激光器阵列的光栅外腔中加入V形双反射镜,从而得到了双波长超窄脉冲^[2], M Margalit采用向掺铒光纤激光器中注入两种时域同步的不同波长的光波方法得到了双波长超窄脉冲^[3]。近年来,对增益调制的半导体激光器进行自激注入锁模或者腔外注入锁模的方式,为产生双波长超窄脉冲提供了另一种简单而有效的方法^[4]。但在自激注入锁定方式中,半导体激光器的增益调制频率或者外腔长必须可以调节,以使所选波长的反馈脉冲在增益调制的半导体激光器的脉冲建立时间窗口内到达激光器^[4~6]。相比较而言,在腔外注入锁模的方式中,反馈腔长和半导体激光器的增益调制频率不需要进行调节,输出脉冲光波的波长可通过调节注入光的波长来实现^[7,8]。在这种情况下,通常需用昂贵的、波长连续可调的激光器作为注入光源。

在所描述的工作中,介绍了一种用两个法布里珀罗半导体激光器和两个光纤布喇格光栅来实现简单的腔外注入锁定方式。输出波长的调节范围为10nm,边模压制率优于17dB。激光器增益调制频率稳定工作在500MHz。

2 系统描述

本实验系统如图1所示。主要光源是两个商用的法布里珀罗半导体激光器FP1和FP2。FP1的中心波长是1558.7nm,纵模间隔是1.7nm,工作域值电流是19mA。相应的FP2的各项值分别为中心波长1554.6nm,纵模间隔1.0nm,域值电流20mA。两个激光器的直流工作输出光谱如图2所示。实际工作中,FP1的直流偏置设置为14mA,增益调制频率设定为500MHz。FP2工作在直流状态,工作电流为33mA,FP2的输出光经过3dB耦合器后被两个光纤布喇格光栅反射,再经过3dB耦合器而导向偏振控制器和光隔离器,最后注入到FP1中。从FP2到光隔离器整体作为FP1的外注入光源。两个光纤布喇格光栅的中心波长为1553.0nm,线宽0.3nm,反射率为10dB。反射波长的改变通过压缩或者拉伸光纤光栅来实现。FP1的最

后输出被送到光脉冲探测系统中。光脉冲探测系统由可调光滤波器、高速光电探测器和数字示波器组成。输出光的光谱则由分辨率为0.1nm的光谱仪分析得到。

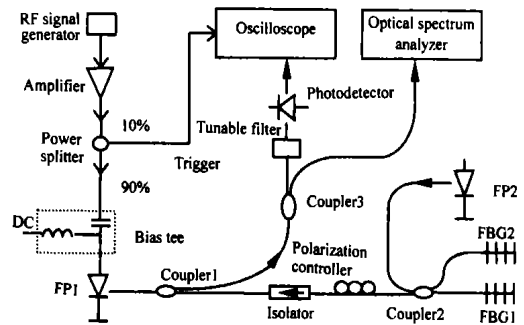


图1 实验系统装置

Fig. 1 Experimental setup of this work

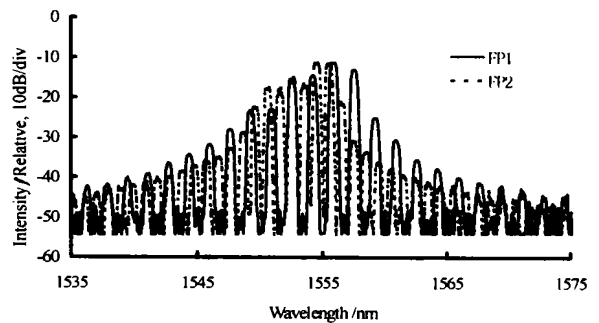


图2 半导体激光器的输出光谱

Fig. 2 Output spectrum of the two laser diodes

3 实验结果与论述

腔外注入锁定下的FP1的输出光谱如图3所示。首先,当光纤光栅FBG1的反射波长调节到所选的FP1的某个波长的中心时,FP1就从多波长的工作状态逐渐转换到单波长工作状态,如图3(a)所示。当光纤光栅FBG1的反射波长稳定在1549.6nm,而光栅FBG2的反射波长分别调节到1554.6nm和1559.6nm时,FP1就产生了双波长超窄脉冲,输出光谱分别如图3(b)和(c)所示。通过调节偏振控制器和细调注入光波的波长,输出光的边模压制率可以达到最佳化。实验系统的双波长间隔

可以从 1.7nm 调节到 10nm, 并保持边模压制率 (SMSR) 大于 17dB。

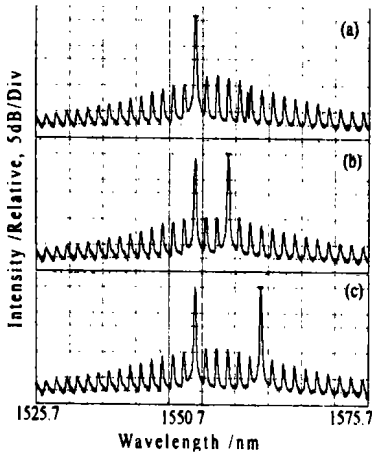


图 3 FPI 的输出光谱: (a) 单波长工作时 $\lambda = 1549.6\text{nm}$; (b) 双波长工作时, 其中工作波长分别为 $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ 和 $\lambda_2 = 1554.6\text{nm}$; (c) 双波长工作时, 其中工作波长分别为 $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ 和 $\lambda_2 = 1559.6\text{nm}$

Fig. 3 Output spectrum of FPI: (a) Single wavelength operation at $\lambda = 1549.6\text{nm}$; (b) Dual-wavelength operation at $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ and $\lambda_2 = 1554.6\text{nm}$; (c) Dual-wavelength operation at $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ and $\lambda_2 = 1559.6\text{nm}$

图 4 显示的是通过可调光滤波器后由高速光电探测器和数字示波器看到的脉冲序列。图 4(a) 所示的是 FPI 工作在单波长 $\lambda = 1549.6\text{nm}$ 时的脉冲序列, 图 4(b)、(c) 分别显示的是 FPI 工作在双波长状态时波长 $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ 的脉冲序列和波长 $\lambda_2 = 1559.6\text{nm}$ 的脉冲序列。从图中可以看到当 FPI 工作在双波长状态时, 输出的脉冲序列的幅值相对于单波长工作状态下下降了一半, 这一点也可以从图 3 所示的光谱中得到印证。通过减小光纤焊接点的损耗和改善注入光的质量, FPI 的输出光功率和 SMSR 可以得到提高。

当 FPI 处于双波长工作状态时, 其工作波长可以很容易地被调节到实际应用中所需要的值, 波长的选择依赖于注入光波的波长和所选激光器的工作波长范围。图 5 显示了波长间隔固定的双波长调节状况。工作波长间隔固定在约 5nm, 图 5(a) 中两个波长的峰值位于 1549.6nm 和 1554.6nm; 图 5(b) 中两个波长的峰值被调节到了 1551.5nm 和

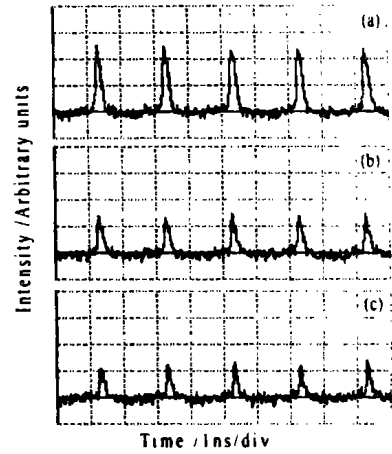


图 4 FPI 输出脉冲序列的时域特性: (a) 单波长工作时波长 $\lambda = 1549.6\text{nm}$ 的脉冲序列; (b) 双波长工作时波长 $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$ 的脉冲序列; (c) 双波长工作时波长 $\lambda_2 = 1559.6\text{nm}$ 的脉冲序列

Fig. 4 Temporal profiles of the pulse trains generated at FPI: (a) The pulse trains when FPI is in single wavelength operation at $\lambda = 1549.6\text{nm}$; (b) The pulse trains when FPI is in dual-wavelength operation at $\lambda_1 = 1549.6\text{nm}$; (c) The pulse trains when FPI is in dual-wavelength operation at $\lambda_2 = 1559.6\text{nm}$

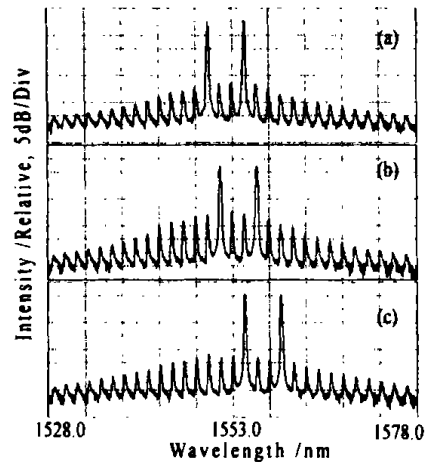


图 5 FPI 的双波长工作调节特性: (a) 工作波长峰值位于 1549.6nm 和 1554.6nm; (b) 工作波长峰值位于 1551.5nm 和 1556.4nm; (c) 工作波长峰值位于 1554.6nm 和 1559.6nm

Fig. 5 Dual-wavelength tuning feature of FPI: (a) Peak wavelengths located at 1549.6nm and 1554.6nm respectively; (b) Peak wavelengths located at 1551.5nm and 1556.4nm respectively; (c) Peak wavelengths located at 1554.6nm and 1559.6nm respectively

1556.4nm, 进一步的调节如图 5(c) 所示, 为 1554.6nm 和 1559.6nm。系统工作波长的调节范围主要受限于所用半导体激光器的输出波长范围。与图 5(a) 和 (c) 中的输出光的 SMSR 为 23dB 相比, 图 5(b) 中的 SMSR 只有 17dB, 这主要是因为图 5(b) 中的工作波长上, 注入光的波长与所选 FP1 的波长有比较大的差距, 这个差距可以通过改变 FP2 的直流工作电流或加入温度控制得到进一步的改善, 从而使 SMSR 得到提高。

4 结 论

描述了一种简单而有效的产生可调谐双波长超窄光脉冲序列的方式, 所采用的腔外注入系统只需一个法布里珀罗半导体激光器, 一个 3dB 耦合器和两个光纤布喇格光栅。在 500MHz 的固定的增益调制频率下, 输出脉冲序列的波长和双波长间隔可以很容易地得到调节。系统性能的进一步提高可以通过半导体激光器的细选来实现。整个系统相对于以往的双波长超窄脉冲发生器在不降低性能的基础上实现了低成本的要求, 为实用化研究创造了一定的条件。

致谢: 感谢香港中文大学的 C Shu 博士的帮助。本工作得到了 Hong Kong Polytechnic University Research Grant No. A-PB24 的大力支持, 在此谨表谢意。

参考文献:

- [1] Schlager J B, Kawanishi S, Sanwatari M. Dual wavelength pulse generation using mode-locked Erbium-doped fiber ring laser [J]. Electron Lett, 1991, 27(22): 2072-2073.
- [2] Chi-Luen Wang, Gi-Ling Pan. Dual-wavelength actively mode-locked laser-diode array with an external grating-loaded cavity [J]. Opt Lett, 1994, 19(18): 1456-1458.
- [3] Margalit M, Orenstein M, Eisenstein G. Synchronized two-color operation of a passively mode-locked Erbium-doped fiber laser by dual injection locking [J]. Opt Lett, 1996, 21(19): 1585-1587.
- [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] Huhse D, Schell M, Utz W, et al. Fast wavelength switching of semiconductor laser pulses by self-seeding [J]. Appl Phys Lett, 1996, 69(14): 2018-2020.
- [6] Sui-Pan Yam, Chester Shu. Fast wavelength-tunable multichannel switching using a self-injection seeding scheme [J]. IEEE J Quantum Electron., 1999, 35(2): 228-233.
- [7] Shenping Li, Kam Tai Chan, Caiyun Lou. Wavelength switching of picosecond pulses in a self-seeded Fabry-Perot semiconductor laser with external fiber Bragg grating cavities by optical injection [J]. IEEE Photon Technol Lett, 1998, 10(8): 1094-1096.
- [8] Yasuhiro Matsui, Satoko Kutsuzawa, Shin Arahira, et al. Generation of wavelegth tunable gain-switched pulses from FP MQW lasers with external injection seeding [J]. IEEE Photon Technol Lett, 1997, 9(8): 1087-1089.

书 讯

《MATRIXx 及其应用》

《MATRIXx 及其应用》一书已于 2002 年 7 月由《红外与激光工程》编辑部编辑出版。全书共 8 章, 重点介绍了美国 ISI 公司推出的 MATRIXx 软件及其专用实时仿真机系统(简称 MATRIXx 系统)。MATRIXx 系统代表了当今世界控制系统 CAD 技术发展的先进水平, 它的主要贡献是为设计者提供实现控制系统 CAD 与实时仿真一体化的先进系统开发与设计环境。它给设计者的不只是一个新的 CAD 工具, 更重要的是与该 CAD 工具有关的先进系统设计技术。

此书属内部资料, 印数不多, 有需求者请与本编辑部联系。

联系电话: (022)23666400, (022)23363000 转 3087。

《红外与激光工程》编辑部