

文章编号: 1001-3806(2006)02-0158-03

可调谐双波长低抖动增益开关光脉冲的产生

张明江, 王云才*

(太原理工大学 应用物理系, 太原 030024)

摘要: 提出了一种产生可调谐双波长低抖动超短光脉冲的新方法。采用外光注入法来降低增益开关 F-P 激光脉冲的时间抖动, 实现了脉冲光谱的双波长可调谐输出。实验中利用两个多量子阱 DFB 激光器作为外部种子光源, 通过温度控制和偏振态调节使外部种子光有效地耦合到增益开关 F-P 激光器中, 输出的光脉冲时间抖动 (均方根) 从 2.57 ps 降低至 1.06 ps, 双波长的边模抑制比可达 25 dB。通过改变 DFB 激光器和 F-P 激光器的工作温度, 可实现波长从 1540 nm 到 1560 nm 的可调谐输出。

关键词: 激光技术; 增益开关半导体激光器; 双波长; 光注入; 时间抖动

中图分类号: TN 248.4 **文献标识码:** A

Generation of tunable dual-wavelength low jitter gain-switched optical pulses

ZHANG Ming-jiang, WANG Yun-cai

(Department of Applied Physics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract A novel scheme for generating dual-wavelength low timing jitter tunable ultrashort pulses is demonstrated. Injecting the external seeding source to the gain-switched F-P laser diode, a reduction of timing jitter and a tunable dual-wavelength spectrum is achieved. Two multiple quantum-well DFB laser diodes are used as the external injection seeding source. Adjusting the temperature of the laser diodes and the polarization of the seeding source, the injection seeding source is coupled with the F-P laser diode effectively. A reduction of timing jitter (root-mean-square) from 2.57 ps to 1.06 ps is achieved, and the output side mode suppression ratio is larger than 25 dB. Changing the temperature of the laser diodes, a tunable range from 1540 nm to 1560 nm is achieved.

Key words laser technique; gain-switched laser diode; dual-wavelength; optical injection; timing jitter

引 言

波长范围在 1.55 μm 左右的 C 波段可调谐多波长超短光脉冲源在波分复用 (WDM)、光时分复用 (OTDM) 以及混合 WDM/OTDM 光通信系统中有着越来越广泛和重要的应用^[1-7]。目前可调谐多波长超短光脉冲源多是利用增益开关 F-P 激光器, 通过自反馈注入^[3-6]或者外光注入^[7]来产生的。自反馈注入是在自反馈腔中加入可调谐滤波器或者光纤布拉格光栅等器件来实现波长选择然后进行注入的, 外光注入是将另外一个 F-P 激光器的多纵模输出经过波长选择后进行注入的。这两种方法由于使用的滤波器件插入损耗较大, 常需要加入光放大器放大注入光的功率, 结构复杂, 而且由于 F-P 激光器在连续光工作状态下各纵模

模式竞争较为激烈, 使得所选择波长的功率不稳定, 导致注入锁定的不稳定。此外, 文献 [1] ~ 文献 [5] 中仅仅讨论了光脉冲源的多波长输出和可调谐性, 而没有对脉冲的时间抖动 (timing jitter) 进行进一步的探讨。由于增益开关半导体激光器产生的光脉冲是在激光腔内自发辐射的基础上建立起来的, 所以, 自发辐射的起伏将造成光脉冲产生时间的随机性, 从而导致光脉冲重复频率的瞬时变化, 造成光脉冲的时间抖动。光脉冲的时间抖动将直接影响光通信系统的误码率, 限制系统传输速率的提高。降低光脉冲的时间抖动一般采用光自注入^[8,9]或者光外注入^[10,11]方法来实现。其共同点是利用注入光来抑制自发辐射所造成的光脉冲建立时光子数的波动, 从而减小光脉冲的时间抖动。光自注入法要求精密调节自种子脉冲在外反馈腔的往返时间, 使其等于光脉冲周期的整数倍, 这使得光脉冲的重复频率不能任意调节, 限制了其应用范围。外光注入法使用波长可调谐的单色激光器作为种子源, 成本昂贵, 且所得光脉冲为单波长。作者利用两个普通商用多量子阱 DFB 激光器作为外部注入种子源, 通过温度控制器和偏振控制器的调节使注入光源有效地耦

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目 (20041042); 教育部留学回国人员基金资助项目 (205-21017002)

作者简介: 张明江 (1976-), 男, 硕士研究生, 主要从事皮秒光脉冲时间抖动的降低和可调谐多波长输出的研究。

* 通讯联系人。E-mail: wangyc@tyut.edu.cn

收稿日期: 2005-01-19; 收到修改稿日期: 2005-03-03

合进 F-P 激光器,不但实现了双波长输出,而且降低了光脉冲的时间抖动,获得了双波长低抖动可调谐的超短光脉冲。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示。利用一个低噪声电压控制

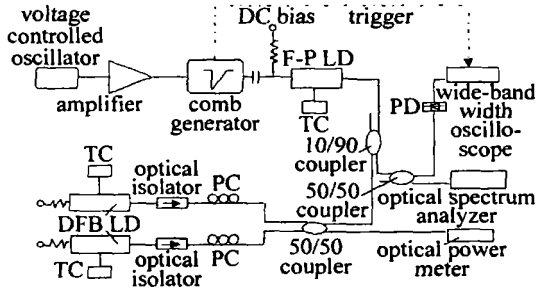


Fig 1 Experimental setup

振荡器产生 400MHz 的正弦信号,经过一个射频放大器放大后输入到梳状波发生器中,产生低抖动 (RMS jitter < 800fs)、脉宽 (FWHM) 为 205ps 的电脉冲。用此电脉冲调制一个 F-P 激光器产生重复频率为 400MHz 的增益开关激光脉冲。所使用的 F-P 激光器为多量子阱 (MQW) 激光器,室温下其阈值电流 (I_{th}) 为 11.5mA。实验中 F-P 激光器的直流偏置电流为 $0.6I_{th}$ 。利用温度控制器对 F-P 激光器进行温度调节,控制其输出中心波长。使用一个带宽 47GHz 的超快光电探测器联合一个 50GHz 的宽带取样示波器 (Agilent 86100B) 来测量光脉冲的宽度和时间抖动。使用 Agilent 86140B 光谱仪 (最小带宽分辨率 0.06nm) 来测量脉冲的光谱。

利用两个多量子阱 DFB 激光器作为外部种子源对增益开关 F-P 激光器进行外光注入。实验中用两个温度控制器分别控制两个 DFB 激光器工作在恒定温度下,并且通过改变激光器的工作温度使其激光的波长与 F-P 激光器的某两个纵模波长相接近。利用偏振控制器调节注入光的偏振态,光隔离器的作用是防止 F-P 出射激光对 DFB 激光器的影响。实验中的光路全部在光纤环境下,避免了机械器件不稳定性给光路带来的影响。

2 实验结果

图 2 为外光注入前两个 DFB 激光器种子源和增益开关 F-P 激光脉冲的光谱。F-P 激光器产生的光脉冲的中心波长为 1551.74nm,纵模间隔为 1.11nm。两个种子源的波长通过温度控制调节为 1547.09nm 和 1554.85nm,与它们对应的 F-P 激光器的纵模波长为 1547.31nm 和 1555.05nm,实验中发现,只有在种子源的波长低于对应的 F-P 激光器的纵模波长 0.2nm 左右时,注入锁定的效果最佳。图 3 为外部种子光注入后脉冲获得最低抖动时的输出光谱。F-P 激光器所激

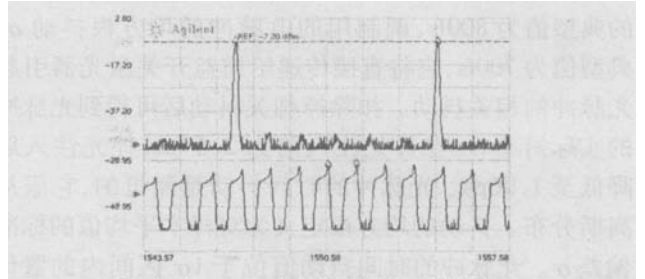


Fig.2 Spectrum of the DFB LD and F-P LD

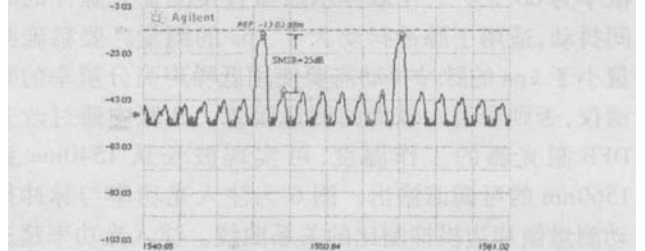


Fig 3 Optical pulse spectrum with external seeding injection

射的两个波长分别是 1547.31nm 和 1555.05nm,它们的边模抑制比 (SMSR) 都达到了 25dB。

图 4 为外光注入前利用示波器所测得的增益开关 F-P 激光脉冲的波形。脉冲宽度 (FWHM) 为 59ps 脉

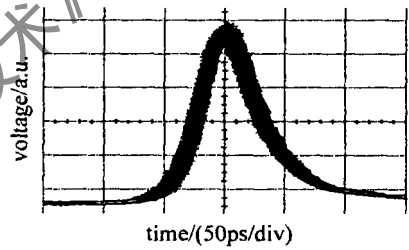


Fig 4 Optical pulse waveform without external injection

冲的均方根时间抖动值为 2.78ps。在实验中利用偏振控制器来调节外种子源的偏振态,使注入光子有效地耦合到 F-P 激光器中,抑制自发辐射造成的光子数起伏,大大降低了脉冲的抖动。如图 5 所示,示波器测得脉冲抖动为 1.5ps,脉冲宽度展宽小于 1ps。光脉冲的抖动值 2.78ps 和 1.5ps 均为取样示波器的直接测量值,该值包含有光脉冲的实际抖动以及示波器的固有抖动和调制电流噪声引起的相关抖动。

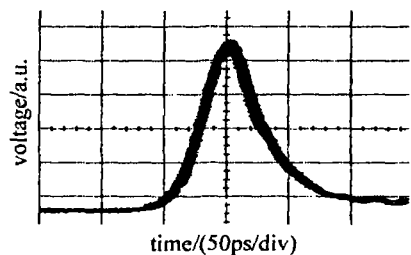


Fig 5 Optical pulse waveform with external injection

用取样示波器测得的光脉冲时间抖动均方根值 σ_m 可用下式表示:

$$\sigma_m^2 = \sigma_o^2 + \sigma_e^2 + \sigma_s^2 \quad (1)$$

式中, σ_o 是由于激光器本身的自发辐射噪声所引起的光脉冲的不相关抖动, Agilent 86100B 的固有抖动 σ_s ,

的典型值为 800fs 调制用的电脉冲的均方根抖动 σ_e 。典型值为 700fs 它将直接传递给增益开关激光器引起光脉冲的相关抖动。扣除掉相关抖动后可得到光脉冲的实际抖动 σ_o 。在外光注入前为 2.57ps 外光注入后降低至 1.06ps 。光脉冲的时间抖动是随机的, 它服从高斯分布。抖动的均方根定义为对样本平均值的标准偏差 σ 。光脉冲的时间抖动值位于 1σ 区间内的置信概率为 68.3% 。用取样示波器直接测量光脉冲的时间抖动, 适用于脉冲抖动大于 1ps 的测量。要精确测量小于 1ps 的脉冲抖动需要使用低噪声高分辨率的频谱仪, 否则会引入较大的测量误差。实验中通过改变DFB激光器的工作温度, 可实现波长从 1540nm 到 1560nm 的可调谐输出。图 6 为注入光功率与脉冲抖动测量值和边模抑制比的关系曲线。注入光功率超过 $40\mu\text{W}$ 后, 光脉冲形状恶化甚至产生双峰畸变。

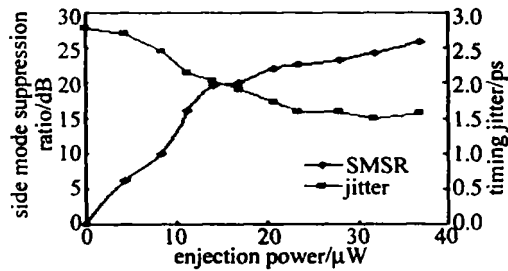


Fig 6 The dependence of SMSR and jitter on injection power

3 结 论

利用两个多量子阱 DFB 激光器作为外部种子源注入增益开关 F-P 激光器, 这一技术消除了自注入受限于外部反馈腔长度而重复频率不能任意可调的缺陷, 光脉冲的抖动从 2.57ps 降低至 1.06ps 双波长的边模抑制比达到 25dB , 并利用温度控制器通过改变种子激光器的注入波长, 实现了 F-P 激光脉冲波长的可

调谐输出。

参 考 文 献

- [1] ZHU Zh, CHEN L Y, LIH *et al* Wavelength stabilization scheme for tunable laser diode based on temperature feedback [J]. Laser Technology, 2005, 29(1): 18~20(in Chinese).
- [2] HE Zh J, MA Y W. Tunable laser with high distinguish ability [J]. Laser Technology, 2002, 26(5): 338~343(in Chinese).
- [3] WANG D N, SHU C. Tunable dualwavelength picosecond pulse generation using multiple optical path self seeding approach [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1997, 9(9): 1211~1213.
- [4] ANANDARAJAH P, MAGUIREP J, CLARKE A *et al* Self seeding of a gain switched integrated dual laser source for the generation of highly wavelength-tunable picosecond optical pulses [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(2): 629~631.
- [5] LI Sh 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 Photonics Technology Letters, 1998, 10(12): 1712~1714.
- [6] PENG P Ch, TSENG H Y, CHEN S A tunable dualwavelength erbium-doped fiber ring laser using a self seeded Fabry-Pérot laser diode [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15(5): 661~663.
- [7] ZHANG M, WANG D N, LIH *et al* Tunable dualwavelength picosecond pulse generation by the use of two Fabry-Pérot laser diodes in an external injection seeding scheme [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2002, 14(1): 92~94.
- [8] XU L, YAO M Y, ZHANG J F *et al* A Novel technique of self seeding of GS-DFB laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2000, 27(5): 427~430(in Chinese).
- [9] CALVANIR, CISTERNINO F, GARRARDIR *et al* All fiber self injection seeding for timing jitter reduction in a chip compensated gain-switched DFB laser [A]. ECOC 98[C]. Madrid: ECOC, 1998: 167~168.
- [10] WANG Y C. Experimental study on the timing jitter of gain switched laser diodes with photon injection [J]. Acta Physica Sinica, 2003, 52(9): 2190~2193(in Chinese).
- [11] GUNNING P, LUCEK J K, MOODIE D G *et al* Gain switched DFB laser diode pulse source using continuous wave light injection for jitter suppression and an electroabsorption modulator for pedestal suppression [J]. Electron Lett, 1996, 32(11): 1010~1011.
- [12] TC₄ alloy fabricated by laser direct deposition [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2004, 28(1): 29~33(in Chinese).
- [10] WANG H M, ZHANG L Y, LIA *et al* Progress on rapid solidification laser processing for advanced materials and components [J]. World Science Technology R&D, 2004, 26(3): 27~31(in Chinese).

(上接第 132 页)

- [8] ZHANG Y Zh, XIM Zh, SHILK *et al* Research on laser direct deposition of 316L stainless steel [J]. Journal of Materials Engineering, 2002(5): 22~25(in Chinese).
- [9] GAO Sh Y, ZHANG Y Zh, SHILK *et al* Mechanical properties of