

GS-DFB 半导体激光器的光自注入技术*

徐 磊 姚敏玉 张剑峰 李玉华 陈明华 高以智

(清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 报道了一种光脉冲自注入的新方法,它能使增益开关 DFB 激光器输出光脉冲的时间抖动从 5.7 ps 减小到 1.2 ps,分析了注入光延迟时间及功率对时间抖动的影响,指出为取得抑制时间抖动的最佳效果,必须选择合适的反馈光脉冲延迟时间和适当的反馈光功率。实验中观察到在增益开关 DFB 激光器光脉冲建立期间注入反馈光时,输出光脉冲会发生严重畸变。

关键词 增益开关 DFB 激光器, 时间抖动, 自注入

利用 DFB 半导体激光器的增益开关效应产生超短光脉冲是高速光时分复用(OTDM)通信系统中常用的光发射源,以其结构紧凑和方法简单而受到人们的重视,得到广泛的应用。其不足之处之一是输出光脉冲时间抖动较大,直接影响光通信系统的误码特性,限制系统传输速率的提高。在光通信系统中,为达到误码率(BER)等于 10^{-12} ,要求光脉冲的时间抖动小于脉冲时间间隔的 $1/14$ ^[1]。对于光时分复用系统,如果利用全光解复用,对光脉冲时间抖动要求更高,需小于脉冲时间间隔的 $1/20$ 。因此,对于 20 Gb/s 的光时分复用系统,光脉冲的时间抖动应小于 2.5 ps。

增益开关 DFB(GS-DFB)半导体激光器产生超短光脉冲是基于激光弛张振荡的机理,如图 1 所示。在高重复频率正弦电流调制作用下,当载流子密度 n 增加并超过阈值 n_{th} 时,腔内光子数密度按指数急剧增加,导致载流子密度减小,形成一个超短光脉冲。由于 DFB 半导体激光器内自发辐射造成 n 达到阈值 n_{th} 的时刻(t_1) 在时域上发生随机变化,从而导

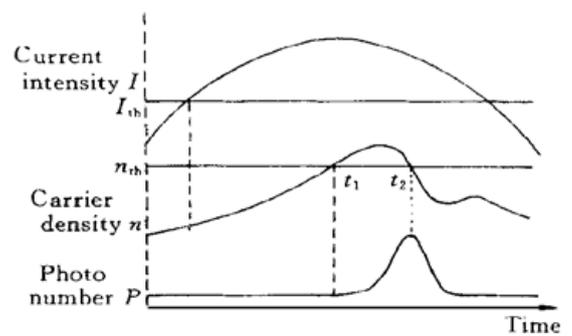


图 1 增益开关半导体激光器工作原理
Fig. 1 Diagram of working principle of gain-switched semiconductor laser

致光脉冲的建立时间产生抖动,这是非相关抖动产生的根本原因。通常,光脉冲的时间抖动包括相关抖动和非相关抖动^[2]。相关抖动由激光器的驱动电路引起,非相关抖动主要来源于激光器腔内自发辐射噪声。对于 GS-DFB 半导体激光器,非相关抖动往往大于相关抖动,因此减小非相关抖动是降低光脉冲时间抖动的关键。目前减小时间抖动的两种主要方法是连续光外注入^[3,4]和光自注入(self-seeding)^[5,6]。连续光外注入需要外加一个连续光源并使其波长位于输

* 国家自然科学基金(编号: 69682009, 69738010)及集成光电子学国家重点联合实验室开放课题资助项目。

出光脉冲的中心波长附近,这将增加光脉冲源的成本费用。

本文提出一种结构十分简单的新颖光自注入技术来减小 GS-DFB 激光器输出光脉冲的时间抖动,由于反馈光取之于 GS-DFB 激光器输出的光脉冲,只需另加几个光纤器件便可获得很好的抑制时间抖动的效果。

1 光自注入减小抖动的实验描述

实验中所使用的 GS-DFB 半导体激光器超短光脉冲源如图 2 所示,输出光脉冲经自聚焦透镜(SF)准直后,再经另一自聚焦透镜耦合进入光纤。实验中保持激光器的直流偏置为 27 mA, 2.5 GHz 微波调制信号的平均功率为 80 mW,温度控制在 19℃。

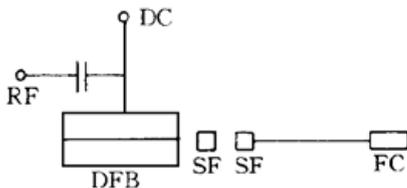


图 2 GS-DFB 激光器

Fig. 2 GS-DFB semiconductor laser

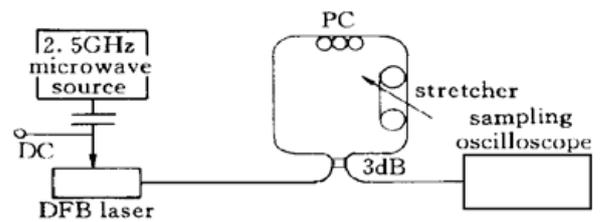


图 3 实验装置图

Fig. 3 Experimental setup

光自注入减小抖动的实验装置如图 3 所示,在 GS-DFB 激光器的输出端接一光纤耦合器,耦合器的两输出端连接一偏振控制器(PC)和光纤拉伸装置(stretcher)构成光纤环路反射镜^[7]。通过调节 PC 可以改变自注入光强度。注入光延迟时间的改变通过拉伸光纤来实现。

实验中用频率合成器(Marconi 2031)产生 2.5 GHz 的正弦波信号,经微波放大器放大到几十至百毫瓦,作为 GS-DFB 半导体激光器的微波调制信号和提供取样示波器的外触发信号。用 50 GHz 取样示波器(TEK11801C)可直接读出光脉冲时间抖动均方根值(RMS) σ_{meas} , 根据

$$\sigma_{\text{meas}}^2 = \sigma_{\text{real}}^2 + \sigma_{\text{scope}}^2 + \sigma_{\text{mw}}^2 + \sigma_{\text{oe}}^2 \quad (1)$$

求得光脉冲实际时间抖动值(σ_{real})。式中 σ_{scope} 为示波器触发延迟而引入的时间抖动,TEK11801C 的 σ_{scope} 典型值为 1.1 ps,实验中采用微波信号源和放大电路引入的抖动 σ_{mw} 为 0.9 ps。 σ_{oe} 为光电转换接头引入的时间抖动,一般 $\sigma_{\text{oe}} \ll \sigma_{\text{scope}}$,可忽略不计。故光脉冲的实际抖动值为

$$\sigma_{\text{real}} = \sqrt{\sigma_{\text{meas}}^2 - \sigma_{\text{scope}}^2 - \sigma_{\text{mw}}^2} = \sqrt{\sigma_{\text{meas}}^2 - 2.02} \quad (2)$$

2 实验测量结果及分析

未采取光自注入方法前,GS-DFB 激光器输出光脉冲的时间抖动为 5.7 ps,其波形如图 4 所示。调节 PC 和光纤拉伸装置,观察到输出光脉冲的时间抖动明显减小,其波形见图 5,示波器测得的抖动值为 1.83 ps,由(2)式计算可得实际抖动值为 1.2 ps(RMS)。未采取光自注入抑制抖动之前,由于该激光器输出的光脉冲抖动较大,作为光时钟脉冲源用于光纤非线性环境对 8×2.5 Gb/s OTDM 信号解复用,系统误码率较大,无法达到 10^{-9} 的通信系统要求。经采取此技术减小抖动后,该光源已成功地用于半导体光放大器环境(SLALOM)对 8×2.5 Gb/s

→2.5 Gb/s 的解复用实验, 误码率可达 10^{-10} 。

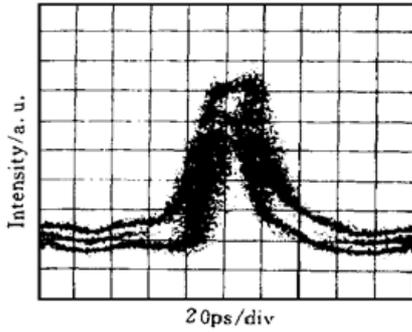


图 4 GS-DFB 激光器直接输出的光脉冲

Fig. 4 Direct output optical pulses of GS-DFB laser

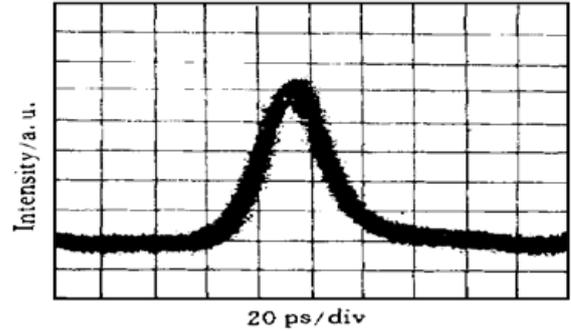


图 5 减小抖动后输出的光脉冲

Fig. 5 Output optical pulses after jitter reduction

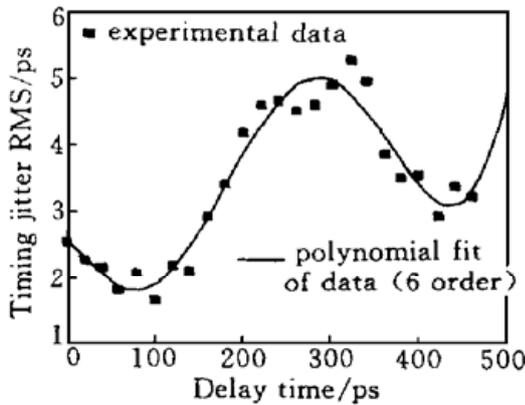


图 6 脉冲最小时间抖动值随自注入延迟时间变化曲线

Fig. 6 The minimal timing jitter values of optical pulses versus different self-seeding delay time

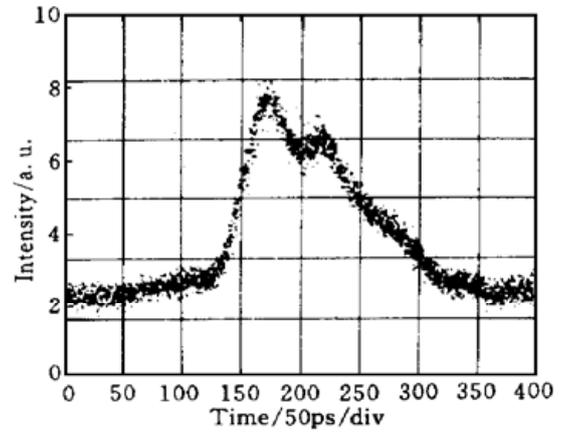


图 7 产生畸变的光脉冲

Fig. 7 Distorted optical pulses

为了进一步研究注入光延时和功率对减小时间抖动的影响, 做了以下两个实验。

(1) 加入一个光学延迟线, 延迟时间调节可达 460 ps。改变延迟时间, 测得输出光脉冲的最小时间抖动与延迟时间的关系曲线如图 6 所示。可以看出, 时间抖动值随反馈延迟时间呈近似正弦形变化。实验中观察到若反馈延时不合适时, 不仅不能有效地抑制噪声、减小抖动, 而且会造成输出光脉冲的严重畸变, 如图 7 所示。分析造成光脉冲畸变的原因, 是由于在光脉冲建立期间注入光脉冲, 此时腔内载流子密度大于阈值(即图 1 中 $t_1 \sim t_2$ 阶段), 注入光脉冲引起受激辐射输出, 形成两个尖峰。调节时应避免这种情况。

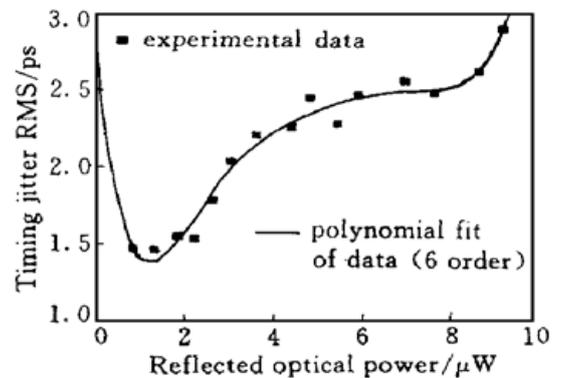


图 8 输出光脉冲的最小时间抖动值随自注入光功率的变化曲线

Fig. 8 The minimal timing jitter values of optical pulses versus different self-seeding optical power

(2) 在 DFB 激光器和环路反射镜之间加一个 10/90 的耦合器, 调节 PC, 改变反馈光功率, 测得光脉冲的最小时间抖动与注入光功率关系曲线如图 8 所示 (因无法测量注入 DFB 激

光器的有效光功率, 曲线中所示值为相对注入光功率)。从图中可以看出, 反馈光功率在一定范围内可以有效地抑制抖动, 但是反馈过强会引起噪声增大导致脉冲抖动增加。

由于在测量图 6 和图 8 曲线时在光路中接入光学延迟线、光纤耦合器, 光纤接头的增多导致随机性的光反馈量增加, 使自注入消抖动的效果略变差, 未达到 1.2 ps。

3 讨 论

用上述取样示波器直接测量光脉冲的时间抖动, 适用于 > 1 ps 脉冲抖动的测量。小于 1 ps 的脉冲抖动量的精确测量需要宽带宽、低噪声、高分辨率的频谱仪, 否则会引入较大的测量误差。值得注意的是应尽量避免输出光纤连接线端面的光反馈影响测量精度。本文提出的减小时间抖动的方法适用于抑制非相关抖动, 进一步降低光脉冲的时间抖动还需要减小其相关抖动, 即使用低抖动的微波信号源及低噪声微波放大器等。

致谢 感谢课题组有关同事提供的实验器材及仪器。

参 考 文 献

- 1 M. Jinno. Effects of crosstalk and timing jitter on all-optical time-division demultiplexing using a nonlinear fiber sagnac interferometer switch. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(12): 2842~ 2853
- 2 M. Jinno. Correlated and uncorrelated timing jitter in gain-switched laser diodes. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(10): 1140~ 1143
- 3 Dong-sun Seo, Dug Y. Kim, Hai-Feng Liu. Timing jitter reduction of gain-switched DFB laser by external injection-seeding. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(1): 44~ 45
- 4 P. Gunning, J. K. Lucek, D. G. Moodie *et al.*. Gainswitched DFB laser diode pulse source using continuous wave light injection for jitter suppression and an electroabsorption modulator for pedestal suppression. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(11): 1010~ 1011
- 5 M. Schell, W. Utz, D. Huhse *et al.*. Low jitter single-mode pulse generation by a self-seeded, gain-switched Fabry-Perot semiconductor laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(24): 3045~ 3047
- 6 R. Calvani, F. Cisternino, R. Girardi *et al.*. All fibre self injection seeding for timing jitter reduction in a chirp compensated gain-switched DFB laser. ECOC '98, 167~ 168
- 7 L. P. Barry, J. Debeau, R. Boittin. Simple technique to improve the spectral quality of gain-switched pulses from a DFB laser. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(25): 2143~ 2146

A Novel Technique of Self-seeding of GS-DFB Laser

Xu Lei Yao Minyu Zhang Jianfeng Li Yuhua Chem Minghua Gao Yizhi
(*Electronic Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract A novel, simple self-seeding technique to reduce timing jitter of a GS-DFB laser is proposed. Using this technique, the pulse time jitter is reduced from 5.7 ps to 1.2 ps. The variations of timing jitter under different self-seeding optical power and delay time are measured in the experiment. Both appropriate feedback optical power and delay time are strictly required to suppress the pulse time jitter. When the self-seeding light is injected during turn-on time of GS-DFB laser diode, serious distortion of optical pulses is observed.

Key words GS-DFB semiconductor laser, time jitter, self-seeding