

增益开关半导体激光器在外光注入 下脉冲抖动的实验研究^{*}

王云才

(太原理工大学理学院, 太原 030024)

(2002 年 12 月 5 日收到, 2003 年 1 月 8 日收到修改稿)

采用增益开关半导体激光器作为注入种子光源来降低另一个增益开关 DFB 或 Fabry-Pero(FP)半导体激光器的脉冲抖动. 相位噪声测量技术表明, 增益开关 FP 激光器在外部脉冲光注入下, 激光脉冲抖动(均方值)由 1.2ps 降低至 830fs, 增益开关 DFB 半导体激光器在外部脉冲注入下, 脉冲抖动由 12ps 降低至 1.8ps.

关键词: 半导体激光器, 光脉冲产生, 时间抖动, 光子注入

PACC: 4280W, 4255, 4260

1. 引 言

增益开关半导体激光器由于体积小, 价格低, 结构简单, 重复频率任意可调等优点而广泛应用于光通信和光学数据处理系统领域. 但是增益开关半导体激光器产生的光脉冲与脉冲产生前激光器腔内自发辐射的光子数有很大关系. 由于自发辐射产生的光子数存在随机起伏, 引起激光脉冲的重复频率的瞬时变化^[1], 即脉冲间的时间抖动较大. 抖动会增加高速光通信的误码率, 影响激光抽运. 探测实验的时间分辨率. 通过相干光子注入可以有效地降低增益开关半导体激光器的抖动, 常见的注入方式有自种子注入^[2]和外连续光注入^[3]. 前一种方法要求自种子脉冲在外反馈腔的往返时间等于脉冲周期的整数倍, 这样光脉冲的重复频率便不可能任意调节, 限制了光脉冲在许多方面的应用. 后一种方法要求昂贵的波长可调谐单色光源. 本文采用一个增益开关半导体激光器做为注入种子源, 通过外部光子注入技术来降低另一个增益开关半导体激光器的脉冲抖动. 当种子激光器与主激光器的驱动信号源具有相同的时钟基准时, 通过调节种子激光器驱动信号的相位可任意改变种子脉冲的注入时间, 产生与重复频率无关的低抖动的半导体激光脉冲.

2. 实验装置

增益开关 DFB 激光脉冲注入增益开关 FP 激光器的实验装置如图 1 所示. 一个中心波长为 1541.4nm, 阈值电流为 19mA 的 DFB 半导体激光器被用作外部注入脉冲光源. FP 半导体激光器的阈值电流为 12mA, 主纵模波长为 1539nm, 纵模间隔为 1.1nm, 两个具有相同时钟基准的微波信号源产生同样频率(311MHz)的微波信号并分别经过射频放大器和梳状波发生器, 产生峰值幅度为 12V, 脉宽(FWHM)为 300ps 的梳状电脉冲. 用快速光电探测器和取样示波器(HP54120B)测得增益开关 FP 和 DFB 激光器的光脉冲宽度分别为 20ps 和 60ps, 脉冲抖动分别为 1.2ps 和 12ps. DFB 激光脉冲经过偏振控制器(PC), 10/90 光纤耦合器耦合至 FP 激光器腔内. 两个半导体激光器均通过温度控制器工作在恒定的温度下, 并且通过改变 DFB 半导体激光器的工作温度来调节其激发波长, 使其与 FP 激光器的一个纵模波长一致.

实验中用相位噪声测量技术来测量光脉冲的抖动. 其基本原理是利用一个双平衡混合器来比较光脉冲信号与微波信号之间的相位噪声. 当混合器工作在饱和区时, 可不考虑光脉冲的幅度噪声对测量的影响. 不同频率区间脉冲抖动通过下式来计算^[4]:

^{*} 山西省自然科学基金(批准号 981035)及瞬态光学技术国家重点实验室开放课题资助的课题.

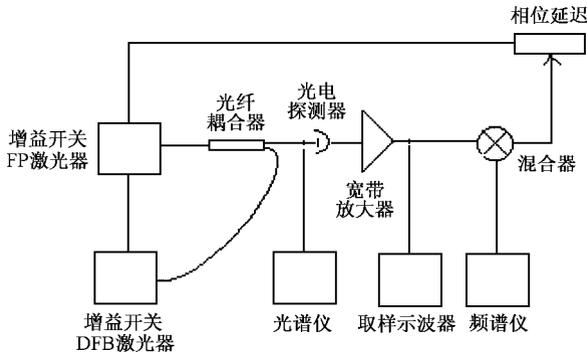


图 1 实验装置示意图

$$\sigma_j = \frac{1}{2\pi f_0} \sqrt{2 \int_{f_{Low}}^{f_{high}} L(f) df}, \quad (1)$$

其中 f_0 为光脉冲的重复频率 f_{Low} 和 f_{high} 为所选的频率区间, $L(f)$ 为 1Hz 带宽内单边相位噪声功率与载波功率之比(单位为 dBc/Hz)。

3. 实验结果

图 2 为增益开关 FP 激光器在外脉冲注入前后时的单边相位噪声, 表 1 给出了不同频率区间内的抖动计算结果。可以看出, 外光脉冲注入下抖动的减小主要在频率大于 10MHz 的范围内, 无论有无外光注入, 低频区间的抖动对整个重复频率范围内的抖动贡献都很小。在抖动测量的一些文献^{4-6]}中, 只计算了低频区间的抖动, 如文献[4]只计算了 100Hz—100kHz 区间的抖动, 文献[5]只计算了频率低于 34MHz 的抖动, 文献[6]计算了频率低于 1MHz 的抖动。这些测量结果并不能表征光脉冲的整个抖动情形。

表 1 不同频率区间 FP 激光器的抖动值

频率	无外光注入	外光注入
10Hz—1kHz	227fs	242fs
10Hz—10kHz	249fs	249fs
10Hz—100kHz	262fs	262fs
10Hz—1MHz	305fs	299fs
10Hz—10MHz	491fs	431fs
10Hz—100MHz	880fs	666fs
10Hz—311MHz	1.45ps	830fs

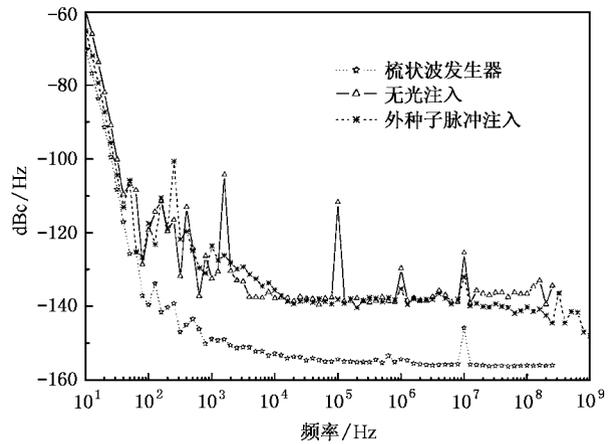


图 2 增益开关 FP 激光器的单边相位噪声曲线

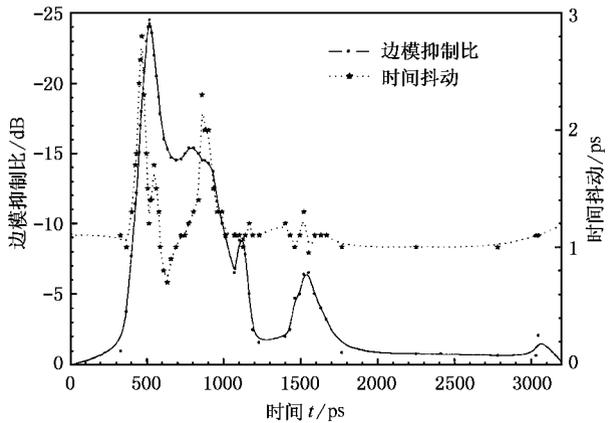


图 3 脉冲抖动、边模抑制比与注入时间的关系

抑制比并不是最大。图 3 显示了增益开关 FP 激光器的脉冲抖动、边模抑制比随种子脉冲的相对注入时间变化的关系曲线。最低抖动出现在边模抑制比约为 15dB 处, 抖动降低的时间窗口仅为 100ps。在某些确定的注入时间窗口内, 脉冲抖动会大幅度增加, 在其他注入时间内, 注入脉冲对 FP 激光脉冲的抖动无明显影响。在外部种子注入下, 光脉冲的波形也会发生变化, 脉冲宽度由 20ps 增加到 31ps, 同时脉冲的上升沿变缓, 脉冲幅度也大大降低。如图 4 所示, 但激光脉冲的平均功率没有明显变化。

对光脉冲的最大边模抑制比和最小时间抖动不能同时获得的这一现象的机理尚不完全清楚, 其可能的原因是, 抖动正比于激光器腔内载流子到达平均阈值的时间的标准偏差, 在无外光注入时, 抖动受随机自发辐射决定。当外光子脉冲在增益开关光脉冲产生前的瞬间注入时, 与注入脉冲波长对应的纵

实验发现, 当光脉冲具有最小的抖动时其边模

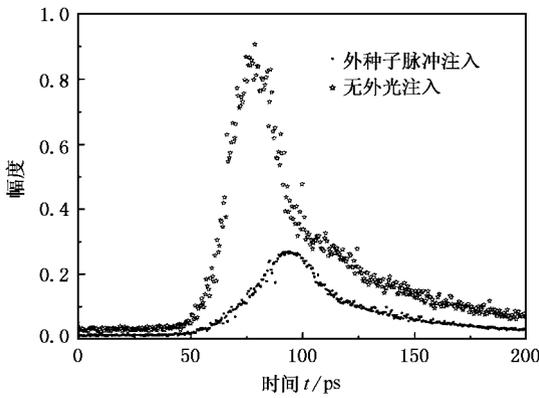


图 4 取样示波器记录的光脉冲波形

模的载流子数目大于自发辐射的载流子数目,其相对起伏较小,因而会降低抖动.在获得最大边模抑制比时,外光注入正好对应于增益开关光脉冲的产生时刻,与外光子波长对应的纵模耗尽了激光器腔内增益使得其他纵模得到抑制,从而获得最大的边模抑制比.最小抖动对应于脉冲产生以前,而最大边模抑制比发生在脉冲产生时,实验中发现两者大约有 120ps 的时间差.外光子的注入,实际上降低了激光器可实现的增益幅度,因而脉冲宽度会展宽,在平均功率不变的情况下,脉宽增加必然造成脉冲峰值的降低.

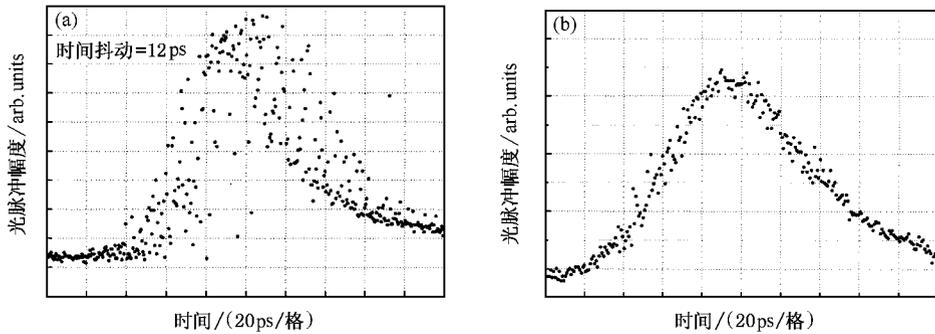


图 5 增益开关 DFB 激光脉冲波形 (a)注入前 (b)注入后

实验中同时测量了增益开关 DFB 半导体激光器在增益开关 FP 激光脉冲注入下脉冲的抖动变化,实验装置与图 1 类似.无外光注入下,增益开关 DFB 激光器的脉冲抖动为 12ps,在外部增益开关 FP 激光脉冲注入下,脉冲抖动明显降低,同时脉冲宽度

有轻微展宽.图 5 为增益开关 DFB 激光脉冲在外脉冲注入前后的归一化波形.图 6 为相位噪声的测量结果,在平均功率为 80μW 的脉冲注入下,增益开关 DFB 激光器的光脉冲抖动降为 1.8ps.

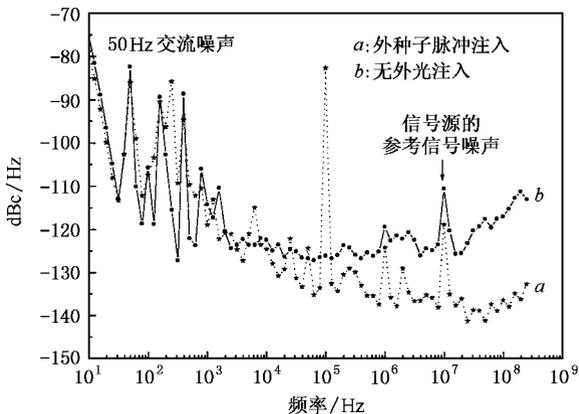


图 6 增益开关 DFB 激光器的单边相位噪声

4. 结 论

采用增益开关半导体激光器做为注入种子源,来降低另一个增益开关半导体激光脉冲的抖动,这一技术可以消除自种子注入技术严格限定外部反馈腔长度的缺陷,实验中分别测量了增益开关 FP 激光器和增益开关 DFB 激光器在外部种子脉冲注入下脉冲抖动的变化情况,两种激光器均获得消除抖动的理想结果,但脉冲宽度都有不同程度的展宽.同时实验表明,在外脉冲注入下,FP 激光脉冲不可能同时具有最小抖动和最大边模抑制比.

- [1] Lu H 2000 *Acta Phys. Sin.* **50** 875 [in Chinese] 陆宏 2000 物理学报 **50** 875]
- [2] Jiang L A , Abedin K S , Grein M E and Ippen E P 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 1707
- [3] Seo D S , Liu H F , Kim D Y and Sampson D D 1995 *Appl. Phys. Lett.* **67** 1503
- [4] Ng W , Stephens R , Persechini D and Reddy K V 2001 *Electron. Lett.* **37** 113
- [5] Tsuchida H 2002 *IEEE Photon. Lett.* **14** 513
- [6] Clark T R , Carruthers T F , Matthews P J and Duling I N III 1999 *Electron. Lett.* **35** 720

Experimental study on the timing jitter of gain-switched laser diodes with photon injection^{*}

Wang Yun-Cai

(Taiyuan University of Technology , School of Science , Taiyuan 030024 , China)

(Received 5 December 2002 ; revised manuscript received 8 January 2003)

Abstract

A gain-switched laser diode (LD) was used as an external pulse injection source to reduce the timing jitter of gain-switched Fabry-Perot and DFB LDs. The low jitter and frequency-independent optical pulse can be achieved using this technique. Phase noise measurement shows that with external pulse injection , the timing jitter of gain-switched FP LD was reduced from 1.2ps to 830fs and the timing jitter of gain-switched DFB was reduced from 12ps to 1.2ps.

Keywords : gain-switched LD , optical pulse generation , timing jitter , photon injection , semiconductor lasers .

PACC : 4280W , 4255 , 4260

^{*} Project supported by the Shanxi Natural Science Foundation (Grant No. 981035) and the State Key Laboratory of Transient Optics Technology .