

10GHz 低抖动增益开关DFB激光器*

李玉华 姜采云 韩 明 王兆欣 高以智

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要: 采用国产管芯, 利用增益开关效应获得了 10GHz 超短光脉冲。利用自注入的方法, 采用最简单的结构, 减小了增益开关 DFB 激光器光脉冲的时间抖动, 使 10GHz 光脉冲的时间抖动小于 840fs。研究了光脉冲抖动量对温度变化及微波驱动频率的敏感性。利用线性压缩和梳状色散渐减光纤链获得 10GHz、5ps 无基座光脉冲。

关键词: DFB 激光器; 光脉冲产生; 时间抖动; 自种子注入

PACC: 4260F; 4280K; 4280W

中图分类号: TN 248.4

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)06-0792-04

1 引言

发展高速、大容量光纤通信是当前国际上光通信研究的主要方向。光时分复用(OTDM)是克服光、电子器件瓶颈的有效途径之一。OTDM和光波分复用(WDM)的结合可有效地提高WDM单频道码率,可望支撑未来超高速光通信网的实现。高重复率超短光脉冲源是OTDM和WDM/OTDM光通信的核心器件,也是其它关键技术研究必不可少的基础。由于增益开关(G-S)DFB激光器结构简单、体积小,目前仍然是一种广为应用的超短光脉冲源。但是,这种超短光脉冲源的缺点是具有红移的频率啁啾和瞬时脉冲时间抖动。OTDM系统要求超短光脉冲源产生近变换极限光脉冲。光发射源的时间抖动会增大OTDM系统的误码率。在采用非线性光纤环境(NOLM)解复用时,由于开关窗不是理想矩形的,而为钟形,信号源与时钟源间的时间抖动会引起解复用信号的强烈抖动,这种强度噪声使信号的误码加大。目前,消啁啾的技术已经成熟:利用色散补偿元件(如DCF、啁啾光纤光栅等)可以在时域内压缩光脉冲^[1,2],利用F-P滤波器^[3]在频域内压缩光脉冲频谱的同时使它在时域上也被压缩,得到近变换极限超短光脉冲。在减小光脉冲时间抖动方面,国际

上仍在寻找一种简单、有效的方法减小增益开关半导体激光器的抖动。Gunning等人采用外种子光注入方法调节注入光的偏振方向和强度,获得2.5GHz、时间抖动为0.6ps的光脉冲^[4],这种方法需要两个波长相同的激光器及相应的驱动电源和控温源,结构复杂,不经济。Calvani等人采用自种子注入方法获得的光脉冲为10GHz、时间抖动为0.28ps^[5],装置由可调光纤延迟线、偏振控制器(PC)等元件组成。但这两种方法在开始工作时需反复调节偏振控制器才能使器件达到最佳状态,因此不适用于传输系统。本文采用国产管芯,利用增益开关效应获得了10GHz的超短光脉冲。采用2×2耦合器的自种子注入结构,依据光脉冲的特性选择耦合器的耦合比,确定反馈外腔的长度,该方法减小了增益开关DFB激光器光脉冲的时间抖动。由于该装置中无偏振控制器,结构最简单,器件稳定性好。

2 自注入消抖动的原理

超短光脉冲源的时间抖动特性,可以归结为相关抖动和非相关抖动。其中相关抖动主要是由激光器的驱动电流造成的,而非相关抖动来源于激光器的自发辐射。增益开关激光器是利用其弛豫振荡特性产生超短光脉冲,因此在增益开关过程中,光脉冲

* 国家“863”高技术计划和国家自然科学基金资助项目(批准号:No. 69738010)。

李玉华 男,1972年出生,主要研究超短光脉冲的产生及OTDM传输系统

2000-06-16收到,2000-09-27定稿

© 2001 中国电子学会

的产生是从自发辐射开始建立的,而激光器的自发辐射是随机变化的,使得脉冲的产生也存在随机性,导致了脉冲的时间抖动,这种抖动为非相关抖动,增益开关 DFB 激光器的非相关时间抖动在 1.7—14ps 范围。由于脉冲的时间抖动来自自发辐射,所以加强受激辐射的作用,相对地减小自发辐射,就可以减小光脉冲的时间抖动。

采用注入种子光方法,由注入弱的激光来控制 DFB 激光器的输出特性,采取一定措施使得在注入激光信号的基础上增长的光能获得大的增益。因而,在自注入种子光系统中,激光器内的光场不再由自发辐射确定而是由反馈的激光确定,可减小光脉冲产生的随机性和幅度的起伏。注入又分为外注入和自注入两种方法。外注入方法^[4]是采用两只相同波长的半导体激光器,一只工作在连续波(CW)状态作为种子光,适当调节注入光的偏振方向和强度,可以达到减小光脉冲抖动的效果。自注入的方法是从增益开关 DFB 激光器输出中提取适当比例的光作为注入的种子光,调节外腔的长度使之与脉冲的重复频率匹配,脉冲串中的每个光脉冲都是在自种子激光的基础上产生,它的时间抖动被大大减小。

3 试验装置及结果

3.1 10GHz 超短光脉冲的产生

对于增益开关激光器,并不需要很宽的 3dB 带宽,而只需要 10GHz 单点调制,因而有可能利用国产 DFB 管芯产生 10GHz 超短光脉冲。采用国产的 BH 型 DFB 激光器芯片,其 3dB 带宽为 6GHz,通过减小引线电感,采用自行设计的微带片及提高偏置电流以增加其张弛振荡频率等措施,使其实现 10GHz 调制并形成增益开关,从而产生超短光脉冲。

3.2 自种子注入,减小光脉冲时间抖动

采用如图 1 所示的方案减小光脉冲的时间抖动。圆锥头光纤直接与 DFB 芯片耦合,光纤的输出端与耦合器的 1 端连接,根据 DFB 激光器的特性,耦合器的耦合比选为 3:7,其中的 70% 端为输出耦合器的 30% 端,接一段光纤作为反射光纤,该光纤的另一端面经过切割等处理形成光滑的反射面,激光器出射的光脉冲经此端面反射后注入回激光器

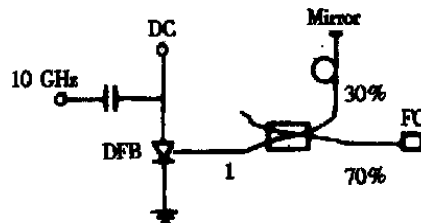


图 1 自注入减小光脉冲抖动的装置

FIG. 1 Setup of Reducing Optical Pulse Jitter by Self-Injection

中。反射端面至激光器端面的距离为 $L = nL_T = nV_g/f$, 其中 $L_T = V_g/f$ 为特征长度, f 为光脉冲的重复频率, V_g 为群速度, n 为正整数, $n \geq 1$ 。后续的光脉冲是在反射后注入回激光器的种子光及自发辐射的基础上建立起来的,由于激光的高功率密度特性,大大降低了自发辐射的作用,减小了光脉冲的时间抖动。采用图 1 的装置制作了低抖动的 10GHz 的增益开关半导体激光器超短光脉冲源,并研究了它的时间抖动。DFB 激光器的波长为 1546.8nm,阈值为 1mA。带有图 1 消抖动装置的增益开关 DFB 激光器是在温度为 17℃ 条件下制作的。利用 Tek801C 示波器测量抖动的功能来估算光脉冲的时间抖动, Tek801C 触发延迟会引入时间抖动,其值为 $\sigma_1 = 1.1\text{ps}$,光脉冲的实际抖动量(RMS)为

$$\sigma_{\text{实}} = \sqrt{\sigma_m^2 - \sigma_1^2} \quad (1)$$

其中 σ_m 为仪器测量的抖动值。偏置电流在 50mA、微波功率为 400mW 时,10GHz 增益开关 DFB 激光器输出光脉冲的抖动较大,波形如图 2(a), Tek801C 测得的抖动量为 3.38ps(RMS)。加入消抖动的装置,当反射端面至激光器端面的距离 L 与信号源的调制频率 f 相匹配时,光脉冲的时间抖动最小,用通信信号分析仪测量的光脉冲波形如图 2(b),可以看出自注入后得到的光脉冲明显变得很光滑,仪器上显示的抖动量为 1.39ps(RMS),由(1)式得消抖动后光脉冲的实际抖动值为 840fs。若考虑微波源 1.24ps 的时间抖动,光脉冲自身的抖动还应小些。

测量了自种子注入 DFB 激光器在 15、20、25 三种温度下的时间抖动,测量值为 1.37—1.39ps。可见,这种方法消抖动后对温度变化不敏感。驱动的微波信号频率变化增加 1.5MHz 或减小 2.5MHz 时测量的光脉冲的抖动量均小于 1.39ps。

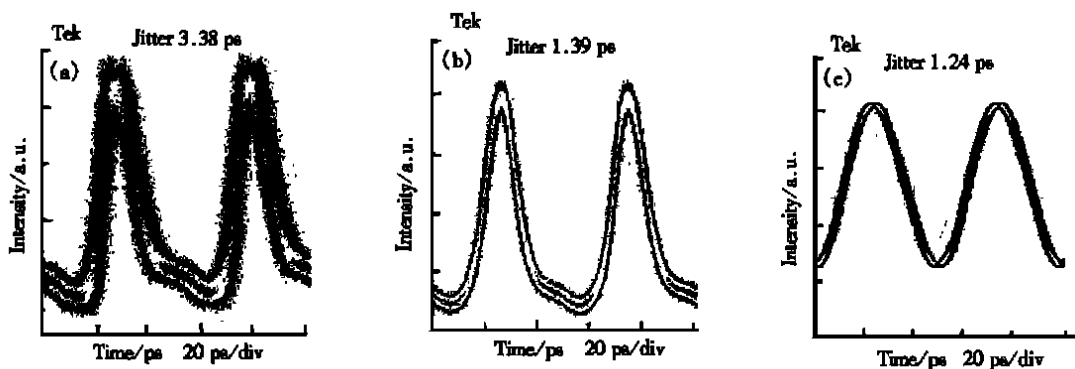


图2 光脉冲的波形 (a)增益开关DFB 光脉冲; (b)自种子注入后的光脉冲; (c)微波信号

FIG 2 Wave Shape of Optical Pulse (a)Gain Switch DFB Optical Pulse; (b)Optical Pulse After Self-Seeding Injection; (c)Microwave Signal

3.3 光脉冲的压缩

为了避免光脉冲间相互作用, $4 \times 10\text{Gbit/s}$ 的 OTDM 光通信要求光脉冲的宽度为 $5\text{--}7\text{ps}$ 。由于增益开关半导体激光器在产生光脉冲的过程中, 其激活区折射率随载流子浓度的变化而变化, 因此其输出脉冲具有负的频率啁啾, 且脉冲的主要部分具有近线性的负啁啾。由于光纤中的群速度色散效应 (GVD) 使得光脉冲在正常色散光纤中传输时, 高频分量群速度小, 低频分量群速度大, 使得具有负啁啾的光脉冲前沿走得慢, 后沿走得快, 从而在经过一定色散量的正色散光纤传输之后可最优地压缩光脉冲。此 DFB 激光器的阈值电流为 1mA , 当偏置电流 $I_b = 40\text{mA}$, 微波调制信号功率 $P_m = 400\text{mW}$ 时, 输出光脉冲的光谱图及自相关曲线如图 3(a) 和图 3

(b) 所示, 由图可得动态谱宽 $\Delta\nu = 0.39\text{nm}$, 脉宽 $\Delta t_0 = 29.4\text{ps}$ 。采用色散量 $DL = -100\text{ps/nm}$ 的正色散光纤补偿负啁啾, 获得 $\Delta t = 11\text{ps}$ 的光脉冲 (见图 3(c)), 而谱宽不变。为了进一步减小光脉冲的宽度, 将上述光脉冲再射入自行设计的梳状色散渐减光纤链 (Comb-like Dispersion Profiled Fiber CDPF)^[6], 使得光脉冲进一步被压缩。所谓 CDPF 是由若干段低色散系数和高色散系数的光纤交替连接而成, 整个光纤链的色散是呈色散渐减状的。在低色散的 DSF 中受到自相位调制的光脉冲在 SMF 中因反常色散作用而被压缩, 以上两种过程在光纤链中交替进行。由于每一交替周期的路程平均色散随长度渐减, 因而压缩后的光脉冲没有基座。经 CDPF 压缩后光脉冲的自相关曲线如图 3(d) 所示, 脉宽为 5ps , 由图 3(d) 还可以看到压缩后的光脉冲是无基座的。

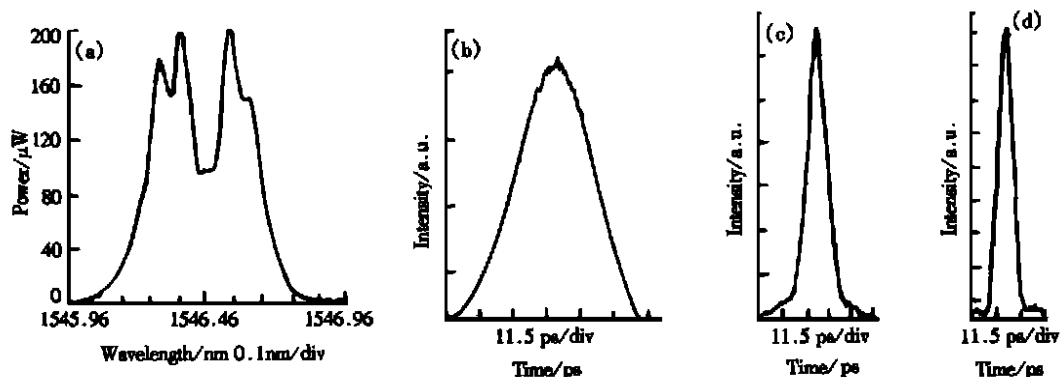


图3 增益开关DFB 激光器输出的光脉冲 (a)光谱; (b)光脉冲的自相关曲线; (c)DCF 后的光脉冲; (d)CDPF 后

FIG 3 Output Optical Pulse from Gain Switch DFB Laser (a)Spectrum; (b)Self-Dependent Curve of Optical Pulse; (c)Optical Pulse After DCF; (d)Optical Pulse After CDPF

4 结论

利用国内的DFB 芯片,采用了自种子注入方法降低增益开关DFB 激光器的时间抖动,采用正常色散光纤补偿及梳状色散渐减光纤链压缩光脉冲的宽度,成功地研制出 10GHz 低抖动、消啁啾半导体增益开关激光器。激光器输出光脉冲的脉宽 $\Delta t = 5\text{ps}$, 时间抖动(RMS)为 840fs, 并且光脉冲的质量较好无基座

致谢 感谢国家光电子工艺中心和中国科学院半导体研究所提供DFB 半导体管芯

参考文献

- [1] Zhong Shan, Lou Cai-yun, Wu Jian and Gao Yi-zhi, 5GHz Soliton Source, *Acta Electronica Sinica*, 1997, **25**(8): 78—80 (in Chinese) [钟山, 娄彩云, 伍剑, 高以智, 5GHz 光孤子源, *电子学报*, 1997, **25**(8): 78—80].
- [2] Wu Jian, Lou Caiyun and Gao Yizhi, Novel Method for Eliminating Chirp and Compressing Pulses from Gain-

Switched Distributed-Feedback Bragg Semiconductor Laser, *Fiber and Integrated Optics*, to be published

- [3] Xu Bao-xi, Gao Yi-zhi, Li Yan-he *et al* , Function of F-P Spectral Window on Semiconductor Optical Soliton Sources, *Acta Optica Sinica*, 1994, **14**(10): 1063—1067 (in Chinese) [许宝西, 高以智, 李艳和, 等, F-P 滤波窗在半导体光孤子源中的作用, *光学学报*, 1994, **14**(19): 1064—1067].
- [4] P. Gunning, J. K. Lucek, D. G. Moodie, K. Smith and R. P. Davey, Gain Switched 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
- [5] R. Calvani, F. Cisternino, R. Girardi and M. Puleo, All Fiber Self Injection Seeding for Timing Jitter Reduction in a Chip Compensated Gain-Switched DFB Laser, *Proceeding ECOC'98, Firenze, Italy*, 1998, **1**: 467—470
- [6] HAN Ming, LOU Cai-yun, LI Yu-hua, WU Jian and GAO Yi-zhi, 10GHz Predestal-Free Pulse Generation from a Comb-Like Dispersion Profiled Fiber Compressor and its Application in Supercontinuum Generation, *Chinese Physics Letter*, to be published (in English) [韩明, 娄彩云, 李玉华, 伍剑, 高以智, 利用梳状色散光纤压缩器产生 10GHz 无基座光脉冲及在超连续谱产生中的应用, *中国物理快报*, 待发表 (in English)].

10GHz Gain-Switched DFB Laser with Low Timing Jitter^{*}

LI Yu-hua, LOU Cai-yun, HAN Ming, WANG Zhao-xin and GAO Yi-zhi

(*Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

Abstract The gain-switched DFB pulse source has been obtained at 10GHz repetition rate with the DFB laser diode chips that are made in China. The optical timing jitter is reduced to 840fs by using the self-seeding injection based on a simple structure. The self-injection seeding sensitivity to the variations in temperature and modulating frequency has been measured. The 5ps Predestal-free Pulse Generation is achieved utilizing normal dispersion compensation and a Comb-like Dispersion Profiled Fiber Compressor.

Key words: DFB laser; optical pulse generation; timing jitter; self-seeding

PACC: 4260F; 4280K; 4280W

Article ID: 0253-4177(2001)06-0792-04

^{*} Project Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 69738010) and the High Technology Research and Development Program of China

LI Yu-hua was born in 1972. His research concerns the ultra-short pulse generation and OTDM transmission system.

Received 16 June 2000, revised manuscript received 27 September 2000

© 2001 The Chinese Institute of Electronics