

文章编号: 0258-7025(2004)03-0265-04

# 高消光比超短脉冲产生的实验研究

王安斌, 伍剑, 拱伟, 林金桐

(北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

**摘要** 实验研究了一种高消光比短脉冲的产生技术。利用色散补偿光纤线性压缩由增益开关分布反馈激光器出射的光脉冲,而后利用电吸收调制器的非线性吸收特性同步调制光脉冲。利用这种方法在实验上产生了重复频率为 10 GHz,脉宽为 10.4 ps,抖动小,高消光比,无基座的短脉冲。此种技术可以应用于 40 Gbit/s 的光时分复用系统中,同时也说明电吸收调制器具有同号脉冲整形功能。

**关键词** 光纤通信技术;超短光脉冲;光时分复用;电吸收调制晶体;增益开关分布反馈激光器;色散补偿光纤

中图分类号 TN 929.11 文献标识码 A

## Experimental Study on Generation of Ultra-Short Optical Pulse with High Extinction Ratio

WANG An-bin, WU Jian, GONG Wei, LIN Jin-tong

(Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** In this paper, a technology on generation of ultrashort pulse with high extinction ratio is studied. The pulse from gain-switched DFB laser is linearly compressed in dispersion compensation fiber (DCF), then modulated synchronously by an electro-absorption modulator (EAM) by using the nonlinear absorption characteristic of EAM. With this method, ultrashort of 10.4 ps pulse with repetition rate of 10 GHz, low timing jitter, high extinction ratio and no pedestal is generated experimentally. The technology can be used in 40 Gbit/s optical time division multiplexing (OTDM) system. Also the result shows the ability of pulse shaping of EAM.

**Key words** fiber communication technique; ultrashort optical pulse; optical time division multiplexing (OTDM); EA modulator (EAM); gain-switched distributed feedback (DFB) semiconductor laser; dispersion compensation fiber (DCF)

## 1 引言

在超高速的光时分复用(OTDM)通信系统和网络中,要求光脉冲源产生具有接近变换极限的脉冲,并且具有较小的定时抖动,以降低邻近信道之间的干扰<sup>[1]</sup>,同时应具有不小于 20 dB 的消光比,以避免邻近信道的相干串扰。对于重复频率为 10 GHz 的增益开关分布反馈激光器(DFB)加色散补偿光纤(DCF),产生的短脉冲由于具有较大的直流成分,不利于在光时分复用系统中应用。电吸收调制(EAM)晶体具有较强的非线性吸收作用,其产生的

开关窗口具有较大的消光比(根据具体的器件而有所不同),有效地抑制光脉冲的直流成分和消除脉冲的基座<sup>[2,3]</sup>。本文对基于增益开关半导体激光器产生的短脉冲进行啁啾补偿后,再经过同步调制的电吸收调制晶体后的短脉冲进行了研究,实验证明了其产生的脉冲具有较高的消光比,适合于高速光时分复用系统的研究和应用。同时为基于电吸收调制晶体的在线同步脉冲整形、增大脉冲消光比提供了一定实验依据。

收稿日期:2002-11-12;收到修改稿日期:2003-01-06

基金项目:国家自然科学基金(批准号:60072035)资助项目。

作者简介:王安斌(1972—),男,山东人,北京邮电大学在读博士研究生,主要研究方向为高速光通信系统和网络及电吸收调制晶体在高速数据通信系统中的应用。E-mail:ab\_wang@163.net

## 2 实验原理

### 2.1 基于直接调制的增益开关分布反馈激光器与色散补偿光纤产生短脉冲原理

通常情况下,高速增益开关分布反馈激光器输出脉冲的主体部分具有近似线性的负啁啾<sup>[4,5]</sup>,采用正常色散光纤可以对线性负啁啾进行补偿,同时可实现光脉冲的线性压缩。由于脉冲在光纤中是接近线性传输的,因此啁啾补偿后的光谱与补偿前的光谱基本上没有变化,而脉冲宽度得到线性压缩。因此,采用正常色散光纤对增益开关(G-S)激光器进行线性啁啾补偿,可以有效地改善光脉冲的时间带宽积。原理图如图 1 所示。

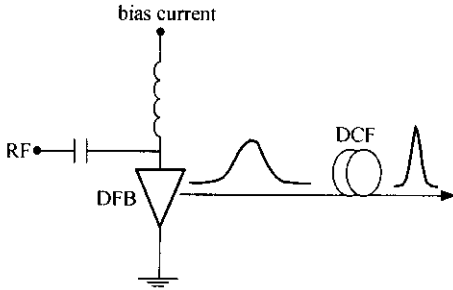


图 1 增益开关 DFB 激光器外加色散补偿光纤产生短脉冲的示意图

Fig. 1 Optical pulse generation with gain-switched DFB laser after dispersion compensation fiber

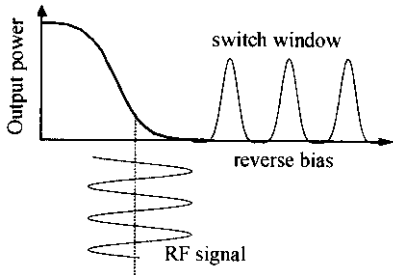


图 2 电吸收调制晶体产生光脉冲示意图

Fig. 2 Optical pulse generation with EAM

### 2.2 基于电吸收调制晶体产生短脉冲原理

在反向偏压作用下,电吸收调制晶体对入射光的吸收随着反向偏压的增大而增大,从而表现出电吸收调制晶体透过率与反向偏压之间的非线性关系,可利用此特性产生超短光脉冲。图 2 所示为电吸收调制晶体在正弦电压信号调制下产生短脉冲的过程。基于电吸收调制晶体的超短光脉冲的产生实际上是连续光被调制的过程。在实际应用中,通常将电吸收调制晶体工作于直流反向偏压和射频正弦电压的共同作用下,在一个射频周期内,正弦电压的

波动将导致电吸收调制晶体透过率的波动,从而实现了对直流光的开关作用,产生光脉冲,光脉冲重复率等同于正弦调制电压的重复率。

重复频率为 10 GHz 的增益开关激光器产生的脉冲宽度较宽,有很大的直流成分。其脉冲经过色散补偿光纤的补偿后脉冲宽度较窄,但是补偿后的脉冲的直流成分仍然很大,不利于在光时分复用系统中应用。而如果经过同步调制的电吸收调制晶体后,不但可以有效地抑制直流成分,且由于电吸收调制晶体的非线性吸收作用可以进一步窄化脉冲宽度。

## 3 实验结果与讨论

实验装置如图 3 所示。10 GHz 的微波源经功分器分成两路,其中一路直接调制增益开关分布反馈激光器,另一路经移相器后调制电吸收调制晶体。适当调节移相器,直至脉冲峰值最大,则与经色散补偿光纤补偿后的光脉冲同步。此时出射的光脉冲即为经同步调制的电吸收调制晶体(简称 DFB+DCF+EAM)产生的光脉冲。DFB+DCF+EAM 产生的光脉冲,直流光经电吸收调制晶体(简称 DFB+EAM)产生的光脉冲,直接调制的增益开关分布反馈激光器经色散补偿光纤(简称 DFB+DCF)产生的光脉冲的半极大全宽与各自归一化射频调制幅度的实验曲线如图 4 所示。其中归一化的射频调制幅度是指各自的调制幅度与所允许的最大调制幅度的

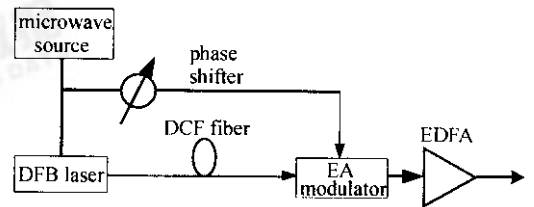


图 3 实验装置

Fig. 3 Experimental setup

比值。基本趋势都是随射频幅度的增大,脉冲宽度减小后逐渐增加,说明存在最佳的工作点。其中 DFB+DCF+EAM 产生的光脉冲宽度与归一化射频幅度的实验曲线是在优化直接调制的增益开关分布反馈激光器经色散补偿光纤的工作条件下,脉冲宽度与电吸收调制晶体归一化的射频幅度的实验曲线。可以看出 DFB+DCF+EAM 的方式产生的光脉冲宽度最小,DFB+DCF 方式次之,DFB+EAM 方式最大。虽然连续光经电吸收调制晶体后的最小

的光脉冲宽度有 18 ps,但其主要的目的是消除脉冲基座或直流的影响。因此并不会增大光脉冲的宽度,且由于电吸收调制晶体的非线性吸收作用可以进一步窄化脉冲宽度,窄化的程度取决于其吸收特性。

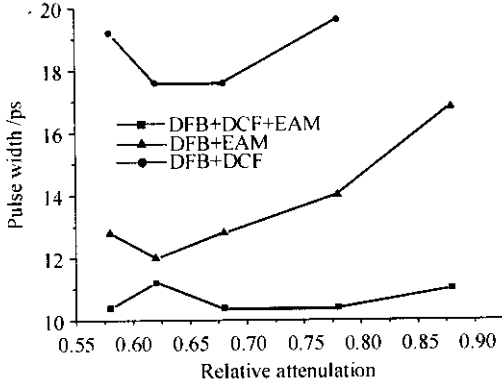


图 4 三种情况下产生的脉冲宽度与各自归一化射频调制幅度的实验曲线

Fig. 4 Pulse width versus relative RF amplitude attenuation under three condition

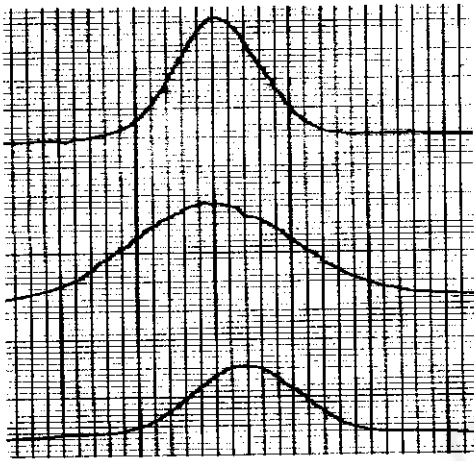


图 5 脉冲的自相关曲线

Fig. 5 Auto-correlation trace of short pulse

三种产生短脉冲的方式在优化状态下的光脉冲如图 5 所示,其中横坐标每小格代表的时间为 2 ps,纵坐标表示任意单位的强度坐标。由上到下分别为 DFB+DCF+EAM 产生的光脉冲,DFB+EAM 产生的光脉冲,DFB+DCF 光纤产生的光脉冲的自相关迹,最小的脉冲半极大全宽分别为 10.4 ps,17.6 ps,12.0 ps。相应的光脉冲光谱如图 6 所示。可以看出 DFB+DCF+EAM 方式产生的光脉冲宽度最小,且消光比较大,直流小,由于经过电吸收调制晶体的再次调制,光谱上显示其频谱分量最丰富;直流光经电吸收调制晶体产生的光脉冲宽度较大,频谱

分量不够丰富;直接调制的增益开关分布反馈激光器加色散补偿光纤产生的光脉冲宽度比较小,但直流成分较大,不利于在光时分复用系统中的应用。

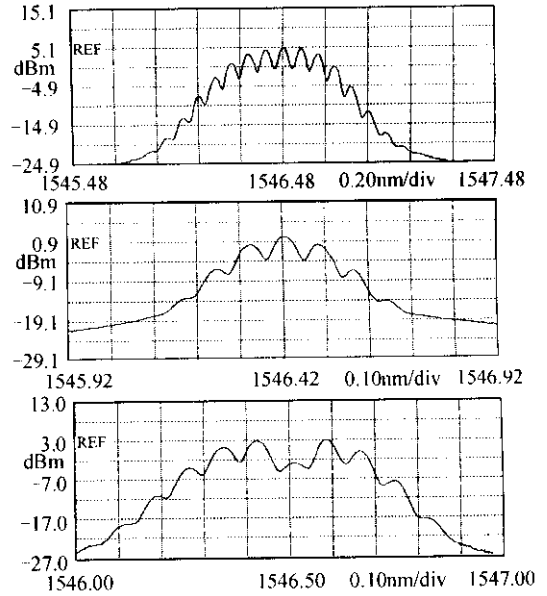


图 6 脉冲光谱图

Fig. 6 Optical spectrum of short pulse

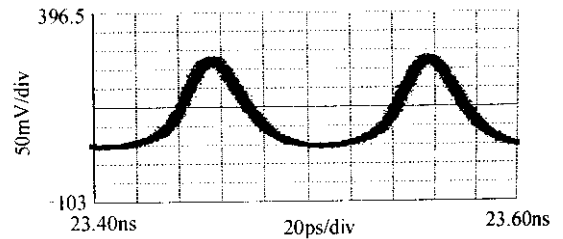


图 7 方法 1 产生的光脉冲

Fig. 7 Pulse using method 1

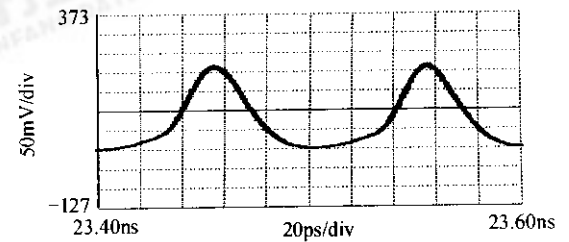


图 8 方法 2 产生的光脉冲

Fig. 8 Pulse using method 2

为进一步研究 DFB+DCF(方法 1)和 DFB+DCF+EAM(方法 2)两种方式下产生的光脉冲的消光比和直流成分及抖动特性,在示波器上进行了测量和研究。图 7,8 为在优化状态下,DFB+DCF 和 DFB+DCF+EAM 方式产生的光脉冲在示波器上显示的波形。由示波器上测得相应的 10 GHz 脉冲

的时间抖动为 1.25 ps, 1.18 ps; 相对消光比为 6.2, 9.4。说明经同步调制的电吸收调制晶体后的光脉冲质量好。

图 9, 10 为相应情况下复用后的  $2 \times 10$  GHz 的光脉冲波形。可以看出无论脉冲的抖动、脉冲的直流, 经电吸收调制晶体同步调制后的脉冲明显要优于未经电吸收调制晶体同步调制的脉冲。

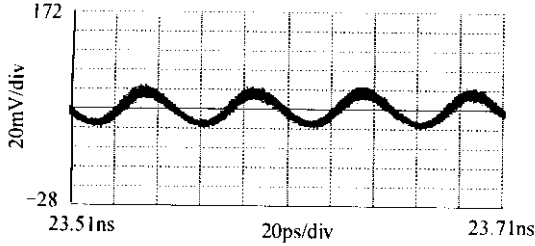


图 9 方法 1 产生的光脉冲复用到 20 GHz  
Fig. 9 Multiplied 20 GHz pulse using method 1

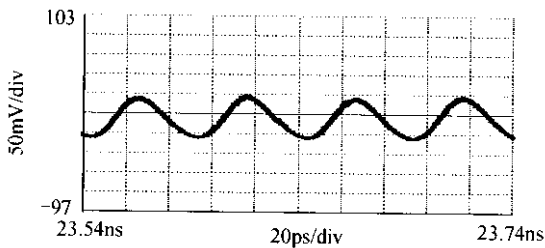


图 10 方法 2 产生的光脉冲复用到 20 GHz  
Fig. 10 Multiplied 20 GHz pulse using method 2

实际上, 出射脉冲的消光比应是电吸收调制晶体的动态消光比, 即由电吸收调制晶体的反相偏置电压和射频幅度决定。最佳工作状态下, 电吸收调制晶体的工作条件是反向偏置电压为 4.8 V, 射频幅度为 4.5 V, 由电吸收调制晶体的静态吸收曲线估计的消光比应大于 30 dB。总之, 从示波器显示波形和测量的结果可以明显看出 DFB+DCF+EAM 产生的光脉冲的抖动较小, 直流成分较小, 消光比高, 进而复用后的脉冲质量也较好。

图 11 为复用后的 40 GHz 的光脉冲波形, 而 DFB+DCF 产生的光脉冲复用到 40 GHz 的脉冲抖动严重, 无法应用于光时分复用系统。这更加说明了经同步调制的电吸收调制晶体后的脉冲宽度虽然只有 10.4 ps, 但由于有效地消除了直流成分, 增大

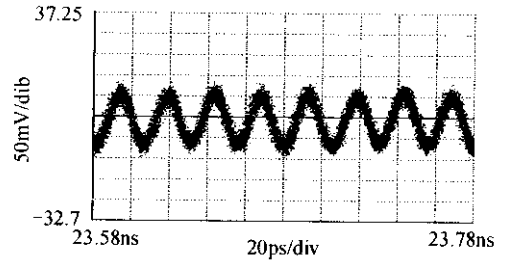


图 11 方法 2 产生的光脉冲复用到 40 GHz  
Fig. 11 Multiplied 40 GHz pulse using method 2

了脉冲的消光比, 减小了脉冲源的抖动, 仍然可以稳定地复用到 40 GHz。这为将来用于高速的光时分复用系统中的脉冲源提供了一种可替代的选择。

## 4 结 论

本文实验研究了一种基于增益开关分布反馈激光器加色散补偿光纤和电吸收调制晶体的超短光脉冲产生技术。产生的光脉冲半极大全宽为 10.4 ps, 抖动小, 消光比高, 无基座。实验上证明适合于  $2 \times 10$  Gbit/s 和  $4 \times 10$  Gbit/s 的光时分复用系统应用和研究。同时这为基于电吸收调制晶体的在线同步脉冲整形、增大消光比提供了一定实验依据。

## 参 考 文 献

- 1 Satoki Kawanishi. Ultrahigh-speed optical time-division-multiplexed transmission technology based on optical signal processing [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, **34**(11): 2064~2079
- 2 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 [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(11): 1010~1011
- 3 P. L. Mason, A. Wonfor, D. D. Marcenac *et al.*. The effects of pedestal suppression on gain-switched laser sources for 40 Gbit/s OTDM transmission [C]. *Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting, LEOS '97*, 1997, **1**:289~290
- 4 C. Lin, T. P. Lee, C. A. Burrus. Picosecond frequency chirping and dynamic line broadening in InGaAsP injection lasers under fast excitation [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **42**(2):141~143
- 5 P. Andersson, T. Andersson. Chirp in picosecond pulses from diode lasers; Dependence on the modulation conditions and the linewidth enhancement factor [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1986, **LT-4**(7):795~798