

色散补偿法获得 5 GHz, 6.8 ps 超短光脉冲*

伍 剑 娄采云 钟 山 高以智

(清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 利用色散位移光纤压缩从 1.55 μm 增益调制 DFB 激光器中出射的红移啁啾光脉冲。在最优光纤压缩长度下,光脉冲宽度由 42.6 ps 压缩至 6.8 ps,压缩比为 6.3。

关键词 超短光脉冲,脉冲压缩,半导体激光器

1 引 言

半导体超短光脉冲源对于未来的高速、大容量光通信系统具有重要的实用价值。在光孤子通信系统中尤为重要。利用半导体激光器产生超短光脉冲有两种方法:半导体激光器锁模^[1]和半导体激光器的增益调制法^[2]。后者在微波信号调制下产生的光脉冲宽度通常为 30~50 ps,然而常伴随有严重的红移啁啾。为了获得近变换极限的光脉冲,可以采用光谱窗滤波^[3]或色散补偿^[4]的方法,也可以将两种方法结合使用。

本文中描述了利用色散位移光纤补偿由 1.55 μm 增益调制 DFB 激光器出射的红移啁啾光脉冲,获得了脉宽为 6.8 ps 的 5 GHz 超短光脉冲,光脉冲的压缩比为 6.3。

2 理论及实验结果

在不考虑光纤中非线性效应,只考虑群速度色散(GVD)效应的前提下,对于一无初始啁啾光脉冲,无论在光纤的正常色散区还是反常色散区,经过一段光纤传输后,脉冲都会由于色散致啁啾而展宽。但若初始光脉冲带有啁啾,情况就会发生变化。在满足 $D \cdot C > 0$ (D 为光纤在光脉冲中心波长处的色散参量, C 为光脉冲的啁啾参量) 的条件下,色散致啁啾与初始啁啾是相反的,其结果是使光脉冲的净啁啾减小,导致脉冲在光纤中传输初期变窄,最小脉冲宽度出现在两啁啾值相等处。随着传输距离增加,色散致啁啾超过初始啁啾,脉冲随之展宽^[5]。假设光脉冲为高斯型且是线性负啁啾(即啁啾参量 $C < 0$),则最优光纤补偿长度为^[6]

$$- D \cdot L = \frac{\Delta t}{\Delta \lambda}$$

其中 L 为光纤长度, Δt 为脉宽, $\Delta \lambda$ 为谱宽。

实验所用 DFB 激光器的中心波长 λ_0 为 1.5528 μm 。阈值电流 I_{th} 为 20 mA。激光器工作时

* 受国家自然科学基金及高技术计划支持。

偏置电流 I_b 为 29 mA, 利用 5 GHz 微波信号进行调制, 微波功率 P_m 为 400 mW。从激光器出射的 5 GHz 光脉冲的自相关曲线如图 1(a) 所示, 光脉冲近似为高斯型, 脉冲宽度 (FWHM) $\Delta t = \Delta\tau / \sqrt{2} = 42.6$ ps ($\Delta\tau$ 为自相关曲线宽度)。其光谱图如图 1(b) 所示, 谱宽为 0.74 nm。

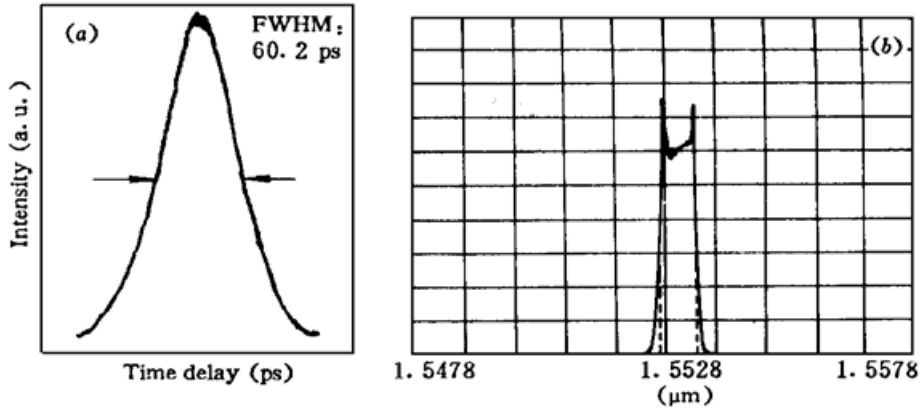


图 1 初始光脉冲的自相关曲线 (a) 及频谱 (b)

Fig. 1 Autocorrelation curve (a) and spectrum (b) of original optical pulses

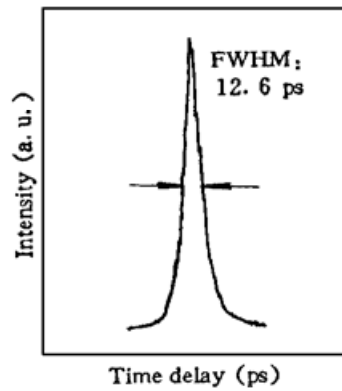


图 2 光纤压缩后脉冲的自相关曲线

Fig. 2 Autocorrelation curve of optical pulses after fiber compression

激光器出射的光脉冲耦合入一段正色散光纤。光纤在 $\lambda_0 = 1.5528 \mu\text{m}$ 处的色散参量 $D = -150$ ps/nm/km, 长度 $L = 660$ m。经过正色散光纤补偿后的光脉冲自相关曲线如图 2 所示, 近似为双曲正割形, 脉宽 $\Delta t = \Delta\tau / 1.55 = 8.1$ ps, 光脉冲的压缩比为 5.3。用不同长度的同类光纤进行压缩, 在光纤的 $-D \cdot L$ 值分别为 10 ps/nm, 30 ps/nm, 40 ps/nm, 130 ps/nm 时的自相关曲线如图 3 所示。图 4 为光脉冲宽度随光纤的 $-D \cdot L$ 值变化曲线。由图 3, 4 可以看出随 $-D \cdot L$ 值的增大, 脉冲逐渐窄化, 脉冲形状逐渐由高斯型趋向双曲正割形。在某一位置处, 脉冲宽度达到最窄, 继续增大光纤长度 ($-D \cdot L = 130$ ps/nm) 形成过补偿则脉冲重新展宽。从其自相关曲线 (图 3(d)) 可以看出, 此时脉冲出现明显的基座。

利用初始光脉冲的参数可以计算出所需要的最优光纤长度为 384 m, 与实验所用的光纤长度相差较大。实验误差是可以理解的, 由于上述理论是以线性啁啾来计算的, 而实际上激光器输出光脉冲的啁啾并非是非线性的。线性啁啾只集中在脉冲中心部分, 脉冲前后沿的啁啾是非线性的。同时, 由于光谱仪的分辨率限制, 脉冲实际谱宽略小于实测宽度, 若根据实际谱宽计算, 则计算出的最优光纤长度应大于 384 m。

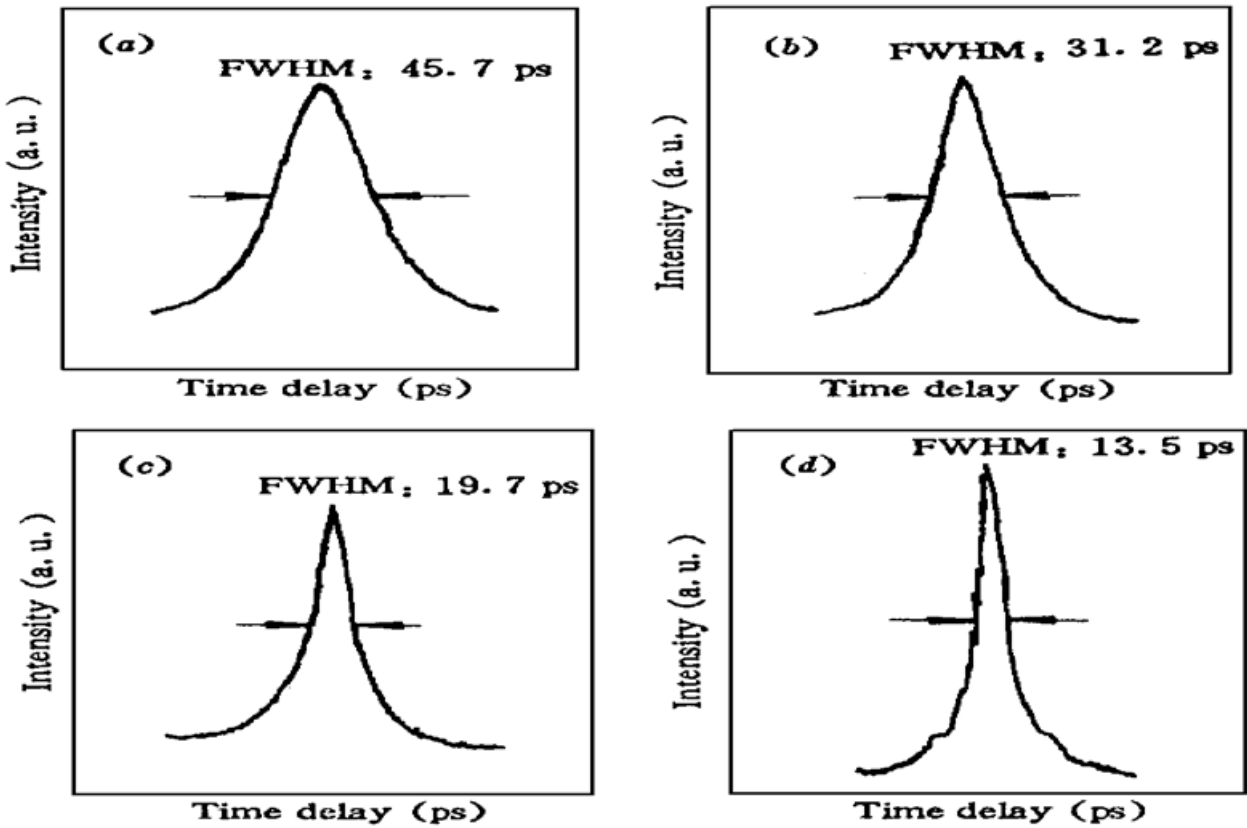


图 3 不同压缩光纤参数时光脉冲的自相关曲线

(a) - $D \cdot L = 10 \text{ ps/nm}$; (b) - $D \cdot L = 30 \text{ ps/nm}$; (c) - $D \cdot L = 40 \text{ ps/nm}$; (d) - $D \cdot L = 130 \text{ ps/nm}$

Fig. 3 Autocorrelation curve of optical pulses as a function of parameters of the compression fiber

(a) - $D \cdot L = 10 \text{ ps/nm}$; (b) - $D \cdot L = 30 \text{ ps/nm}$; (c) - $D \cdot L = 40 \text{ ps/nm}$; (d) - $D \cdot L = 130 \text{ ps/nm}$

补偿光纤的最佳长度取决于光脉冲的脉宽与啁啾参数, 而实验所用增益调制半导体 DFB 激光器出射的初始光脉冲脉宽则主要取决于微波调制功率 P_m 。在实验过程中补偿光纤不可能连续改变, 因此补偿光纤一定时, 改变激光器的偏置电流或微波功率可改变光脉冲的啁啾状态, 从而获得最佳的压缩效果。实验中, 保持 DFB 激光器微波调制功率及补偿光纤长度 ($L = 660 \text{ m}$) 不变, 初始光脉冲宽度为 $43 \sim 44 \text{ ps}$, 在偏置电流 $I_b = 26.8 \text{ mA}$ 的情况下, 获得最窄的光脉冲宽度为 6.8 ps 。压缩前 $\Delta\nu\Delta t = 3.941$, 可见光脉冲有较大的啁啾参量, 而压缩后 $\Delta\nu\Delta t = 0.629$, 未达到变换极限值 $\Delta\nu\Delta t = 0.315$ 。因此压缩后的光脉冲不是变换极限光脉冲, 由此可见仅利用色散补偿光纤无法得到变换极限光脉冲。

3 结 论

由实验可以看出, 利用色散位移光纤能够压缩增益调制半导体激光器出射的红移啁啾脉

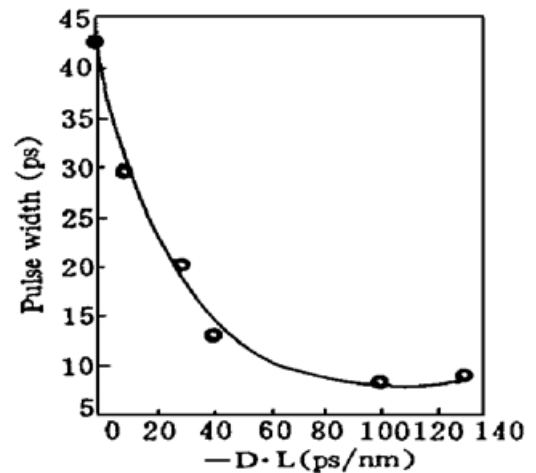


图 4 光脉冲宽度与压缩光纤参数关系曲线

Fig. 4 Optical pulse width as a function of parameters of the compression fiber

冲。压缩的主要效果取决于半导体激光器出射脉冲的宽度及啁啾情况,在补偿光纤一定的情况下,改变激光器的工作状态能够改变光脉冲的宽度及啁啾状况,从而达到比较好的压缩效果。但一般来说,仅用色散补偿的方法很难得到近变换极限的光脉冲。

致谢 武汉邮电科学院提供了实验所用的 DFB 激光器及色散位移光纤,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 J. P. van der Ziel. Semiconductor and Semimetals, edited by W. T. Tsang (Academic, New York, 1985), Vol. 22
- 2 N. Onodera, H. Ito, H. Inaba. Generation and control of bandwidth-limited, single-mode picosecond optical pulses by strong RF modulation of a distributed feedback InGaAsP diode laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985, **QE-21**: 568~ 575
- 3 M. Nakazawa, K. Suzuki, Y. Kimura. Transform-limited pulse generation in the gigahertz region from a gain-switched distributed-feedback laser diode. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(12): 715~ 717
- 4 R. T. Hawkins. Generation of < 3 ps optical pulses by fiber compression of gain-switched InGaAsP DFB laser diode pulses. *Electr. Lett.*, 1990, **26**: 292~ 293
- 5 G. P. Agrawal. Nonlinear Fiber Optics (Academic, Boston, 1989)
- 6 Hai-Feng Liu, Yoh Ogawa, Saeko Oshiba. Generation of an extremely short single mode pulse (~ 2 ps) by fiber compression of a gain-switched pulse from a 1.3 μm distributed-feedback laser diode. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**(11): 1284~ 1286

Generation of 5 GHz and 6.8 ps Optical Pulses by Fiber Compression

Wu Jian Lou Caiyun Zhong Shan Gao Yizhi

(Department of Electronical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Red-chirped optical pulses from a 1.55 μm gain-switched DFB diode laser are compressed using a normal dispersion-shifted fiber. Under the optimal conditions, optical pulses are compressed from 42.6 ps to 6.8 ps and the ratio of compression is 6.3.

Key words ultrashort optical pulse, pulse compression, semiconductor laser