

1.3 μm DFB 半导体激光超短脉冲的产生及其压缩

徐建华 张位在 刘枝伍 陈高庭 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 本文首次报道 1.3 μm 单模超短脉冲产生及压缩实验. 通过梳状波电脉冲直接调制 DCPBH-DFB 半导体激光器, 获得 22 ps 单模光滑脉冲; 然后利用 G-T 干涉仪压缩得到近变换极限超短脉冲. 脉宽为 9.3 ps, 峰值功率超过 200 mW, 重复频率 1 GHz, 时间带宽乘积为 0.39, 脉冲压缩比为 2.4. 最后对实验结果进行了讨论.

关键词 G-T 干涉仪, 脉冲压缩.

1 引 言

半导体激光超短脉冲在信息光电子学领域具有广泛的应用^[1]. 特别是在电光取样系统^[2], 超高速数字通信^[3]或时分复用系统^[4]以及光孤子通信系统等方面. 然而, 由于光纤的色散作用, 通常这些系统都要求相干性好的光脉冲即单模光滑脉冲, 产生这样的半导体激光超短脉冲一般有两种方法. 一种是锁模方式, 对于主动锁模半导体激光器而言, 要求反射镜或选模器件(如:光栅、标准具等)作外腔; 如果增益带宽能被有效利用的话, 是可以产生亚 ps 量级的光脉冲的^[5]. 然而此种方法受环境因素影响很大, 导致输出脉冲不稳定. 相对而言, 用增益开关法即直接调制动态单模半导体激光器(DFB, DBR)是比较简单和可靠、有效的方法, 它可以产生不同重复频率的单模脉冲, 因此非常适合于光纤通信系统. 然而, 用这种方法产生的光脉冲宽度相对较长^[6], 一般在 20~30 ps 左右, 并且常常伴有不同程度的频率啁啾^[7]. 为了补偿脉冲的啁啾进而达到压缩脉冲的目的, 通常采用光纤压缩, 光栅对压缩和 G-T 干涉仪压缩等方法. 但是一定长度的光纤只适合于压缩脉宽和啁啾在一定范围的光脉冲, 不同的啁啾脉冲须用不同参数(如:长度、色散系数 D)的光纤进行压缩; 普通光栅对起一个反常色散介质的作用, 因而只能压缩蓝移啁啾脉冲; 带有透镜系统的光栅对虽然可压缩红移啁啾, 但插入损耗很大(10 dB)^[8]; 相比之下, G-T 干涉仪可通过调节干涉仪的间距对任何啁啾脉冲进行压缩, 因此可能具有更广泛的用途.

2 脉冲产生及压缩实验

实验所用器件为实验室自制的 DCPBH-DFB 半导体激光器. 图 1 给出了激光器的 $L-I$ 特

性曲线和静态光谱. 激光器阈值电流为 40 mA, 在阈值附近激光器呈现多模振荡, 当直流偏置为 50 mA 时, 激光器为单纵模运转, 中心波长为 1261.6 nm, 通过 50 Ω 的微带匹配线, 将梳状波电流脉冲注入激光器内, 利用增益开关效应产生超短脉冲. 梳状波电流脉冲重复频率为 0.9~1 GHz 连续可调, 底宽 200 ps, 在 50 Ω 阻抗上峰值电压为 8 V. 为了保护激光器不被反向电压击穿, 在激光器的两端并联了一个肖特基二极管. 图 2 为一典型的超短脉冲二次谐波自相关测量曲线. 此时直流偏置为 50 mA, 半高全宽为 44 ps. 通过曲线拟合近似为洛仑兹波形, 则实际脉冲宽度(FWHM)是 22 ps. 图 3 给出了不同偏置电流下的脉冲宽度及平均光功率, 当偏置电流为 50 mA 时脉冲最短. 另外, 从图 2 可以看出, 二次谐波自相关曲线非常光滑, 表示所产生的脉冲为单模脉冲, 图 4 为不同偏置下的脉冲平均光谱. 可以看出此时谱宽均被展宽, 在低于阈值以下, 38 mA 时激光器不同于静态光谱表现为单模振荡, 但谱宽已扩展到 0.4 nm, 在偏置电流为 50 mA 时谱宽为 0.22 nm, 时间带宽乘积为 0.89, 远远大于洛仑兹波形的变换极限 0.22. 由于产生的脉冲为啁啾脉冲(图 4)因此可以利用色散介质对脉冲进行压缩.

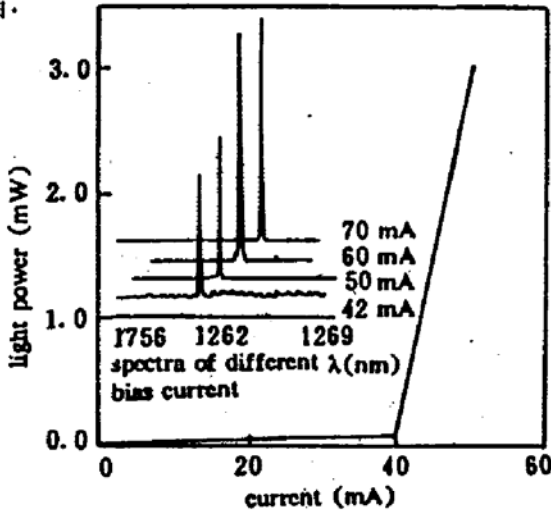


Fig. 1 The L-I curve and CW spectra of a DCPBH-DFB laser diode

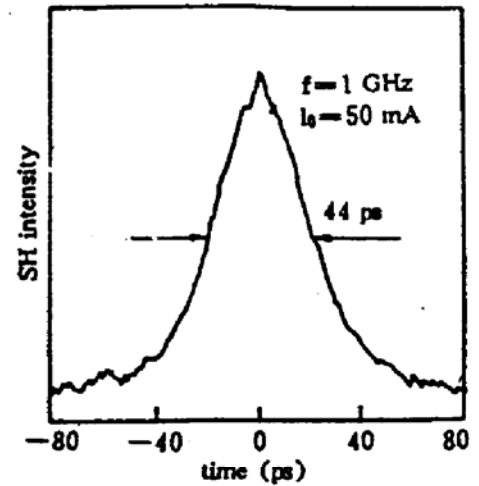


Fig. 2 A SHG trace of the ultrashort pulses from the directly modulated laser diode

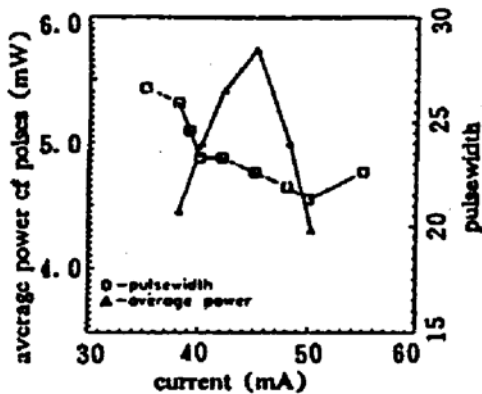


Fig. 3 The pulsewidth and average power with different bias

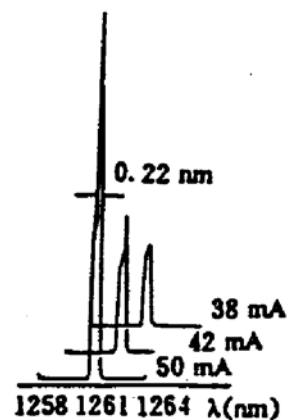


Fig. 4 The pulse spectra with different bias

图 5 是以 G-T 干涉仪压缩脉冲的实验装置图. 图中 G-T 干涉仪由两块互相平行的反射镜构成, 前反射镜反射率 R 是 30%, 后反射镜的反射率为 96%. 为了减少前一反射镜的损耗, 该反射镜的两表面有一微小的夹角. 在不考虑高阶色散的情况下, G-T 干涉仪的总色散

系数可近似写作^[9]:

$$D = \frac{[16\pi d_0^2 \sqrt{R(1-R)} \sin \delta] (\cos \theta)^2}{c\lambda^2[(1+R) - 2\sqrt{R} \cos \delta]^2} \tag{1}$$

式中已假设后反射镜的反射率为 1，两反射镜之间的介质是空气，即折射率为 1. θ 为光脉冲的入射角， λ 为中心波长， $\delta = 4\pi(\Delta d) \cos \theta/\lambda$ ， $\Delta d = d - d_0$ ， $d_0 = n\lambda/(2 \cos \theta)$ ， n 取大于零的整数. (1) 式表明，通过调节压电陶瓷上的电压从而微调 Δd 使得 δ 值从 $-\pi$ 变化到 π ，即 D 值可以在正负范围内连续变化，因此对于入射的啁啾脉冲(红移或兰移)，只要适当调节压电陶瓷上的电压，使 G-T 干涉仪的色散系数发生变化，即可使入射脉冲压缩或展宽，通过简单的计算可知，在理想情况下，即入射脉冲为线性啁啾和 G-T 干涉仪不考虑高阶色散，可以得到变换极限的超短脉冲. 在本实验中， $d_0 \approx 1 \text{ mm}$.

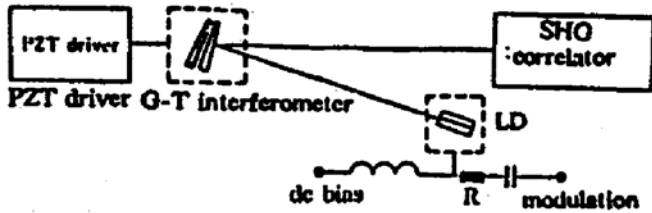


Fig. 5 The experimental setup of pulse compression by a G-T interferometer

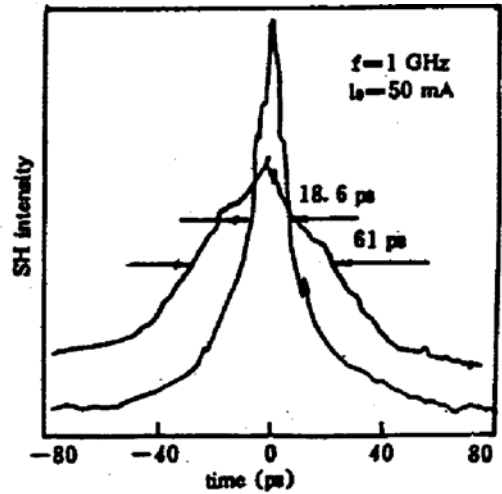


Fig. 6 A SHG trace of the compressed pulses and broadened pulses

用宽为 22 ps 的脉冲经 G-T 干涉仪压缩后的二次谐波自相关曲线如图 6 所示，通过波形拟合可近似为洛仑兹形，二次谐波曲线半高全宽为 18.6 ps，因此实际脉冲宽度为 9.3 ps，压缩比约为 2.4. G-T 干涉仪的损耗为 14%，出射脉冲的峰值功率超过 200 mW，时间带宽乘积减小到 0.39，接近洛仑兹波形变换极限. 改变梳状波脉冲电流的频率和直流偏置的同时，适当调节 G-T 干涉仪的间距，都可得到小于 12 ps 的超短脉冲.

3 讨 论

与文献[9]不同，本实验由于入射脉冲本身就是光滑的单模啁啾脉冲，谱宽为 0.22 nm，G-T 干涉仪的滤波特性并不明显，即动态平均光谱没有明显变化，因此入射脉冲和出射脉冲的波形可认为近似不变，只是由于啁啾脉冲所包含的不同频率通过 G-T 干涉仪后附加了不同的相位，从而使脉冲变窄. 同样，通过微调 G-T 干涉仪的间距，获得了展宽的出射脉冲自相关曲线如图 6 所示. 此时二次谐波自相关曲线发生畸变，这是由于入射脉冲的非线性啁啾和 G-T 干涉仪的高阶色散的影响，按洛仑兹波形计算，出射脉冲宽度为 31 ps.

与光纤压缩相比较^[10,11]，G-T 干涉仪的色散系数只要通过调节两反射镜的间距使其在正负之间变化，就可对不同的啁啾脉冲进行压缩，这是 G-T 干涉仪的独特优点；但是，G-T 干涉仪的线性色散范围小，并且随 G-T 干涉仪的间距变化非常敏感，因此对环境因素要求较

高. 理论计算表明, 实际 G-T 干涉仪还包含高阶色散, 所以, 要得到更短的脉冲, G-T 干涉仪将不再适用, 此时可利用光孤子效应获得更短的超短脉冲^[11].

参 考 文 献

- [1] 张位在, 半导体激光超短脉冲技术及应用, 光子学报, 1992, 21(5): 81~91
- [2] J. M. Wisenfeld, A. J. Taylor, R. S. Tucker *et al.*, Electro-optic sampling using injection lasers. *Proc. SPIE*, 1987, 795: 339~346
- [3] R. S. Tucker, G. Eisenstein, S. K. Korotky, Optical time division multiplexing for high bit-rate transmission. *J. Lightwave Technol.*, 1988, 6: 1737~1749
- [4] A. Takada, M. Saruwatari, 100 Gbit/s optical signal generation by time division multiplication of modulated and compressed pulses from gain-switched distributed feedback (DFB) laser diode. *Electron. Lett.*, 1988, 24: 1406~1408
- [5] J. E. Bowers, P. AMorton, A. Mar *et al.*, Actively mode locked semiconductor lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, QE-25: 1426~1439
- [6] N. Onodera, H. Ito, H. Inaba, Generation and control of bandwidthlimited, single mode picosecond optical pulses by strong RF modulation of a distributed feedback InGaAsP diode laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1985, QE-21: 568~575
- [7] T. L. Koch, J. E. Bowers, Nature of wavelength chirping in directly modulated semiconductor lasers. *Electron. Lett.*, 1984, 20: 1038~1040
- [8] M. Kuznetsov, J. M. Wiesenfeld, L. R. Radzihovsky, Compression of picosecond pulses from diode lasers using a modified grating-pair compressor. *Opt. Lett.*, 1990, 15(3): 180~182
- [9] Nai Zhang, Weizai Zhang, Gaoting Chen *et al.*, Compression of picosecond optical pulses from 1.5 μm gain switched InGaAsP DFB diode laser. *Chinese J. Lasers*, 1992, 1(6): 487~492
- [10] Haifeng Liu, Yoh Ogawa, Saeko Oshiba, Generation of an extremely short single mode pulse by fiber compression of a gain-switched pulse from a 1.3 μm distributed feedback laser diode. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, 59(11): 1234
- [11] Haifeng Liu, Yoh Ogawa, Saeko Oshiba *et al.*, Picosecond pulse generation from a 1.3 μm distributed feedback laser diode using soliton-effect compression. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, QE-127(6): 1655~1660

Generation and Compression of 1.3 μm Ultrashort Pulses from a DFB Diode Laser

Xu Jianhua Zhang Weizai

Liu Zhiwu Chen Gaoting Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 12 April 1993)

Abstract The generation and compression of 1.3 μm single-mode pulses was reported for the first time. The pulses with duration of 22 ps were obtained by modulating a DCPBH-DFB laser diode with comb current pulses, and nearly transform-limited pulses were observed with compression of a G-T interferometer. The pulse-width is 9.3 ps, the peak power is over 200 mW and the repetition is 1 GHz. The time-bandwidth product is 0.39 and the compression ratio is 2.4. The experimental results are discussed in this paper.

Key words G-T interferometer, pulse compression, distributed feedback (DFB) diode laser