

利用量子阱 DFB 激光器产生重复频率 为 5GHz 超短光脉冲^{*}

娄采云 钟山 伍剑 高以智 周炳琨

(清华大学电子工程系 北京 100084)

摘要 本文介绍利用国产量子阱半导体分布反馈(DFB)激光器的增益开关效应,产生重复频率为 5GHz、 $1.55\mu m$ 的超短光脉冲,经正常色散光纤(色散参数 $D < 0$)补偿消啁啾,获得了近变换极限的光脉冲,并成功地进行了 31 公里的光孤子传输.

PACC: 4260F, 4280K, 4280W

1 引言

光孤子传输利用了光纤中的非线性效应克服光纤中的色散效应,从而可以提高光纤通信的传输速率并延长无再生传输距离,是高速、长距离光通信的优选方案之一. 近一、二年,针对未来高速信息网的需要,以单路 10Gb/s 基础上的时分复用(OTDM)技术实现超高速、中等距离通信有着很好的应用前景^[1,2]. 高重复频率变换极限超短光脉冲的产生是光孤子通信和高速光时分复用通信的关键技术之一. 本文利用国家光电子工艺中心研制的多量子阱(MQW)-分布反馈(DFB)激光器研制了 5GHz 超短光脉冲源,经消啁啾和高阶孤子压缩,获得了脉宽为 6ps 的超短光脉冲.

2 高重复率超短光脉冲的产生及消啁啾原理

增益开关 DFB 激光器产生超短光脉冲的工作原理与激光器的瞬态特性有关. 半导体激光器突然通过一激励电流时,在其达到稳态之前,由于光子和载流子之间的相互作用,将经历一张弛振荡过程,并输出一系列幅度逐渐减小的窄脉冲,每个脉冲的宽度为几十 ps. 利用增益开关技术产生超短脉冲,就是使激光器产生张弛振荡的第一个峰后,增益迅速减小到阈值以下,不能产生多峰. 若注入高重复率调制电流,则可以获得高重复频率超短光脉冲. 其重复率的上限受到激光二极管张弛振荡频率、分布电容及引线电感的限制,也与二极管的张弛振荡频率与增益因子、直流偏置及腔长有关. 采用国家光电子工艺中心研制的 MQW-DFB

* 本项工作由国家高技术计划及国家自然科学基金资助

娄采云 1946 年生,副教授,长期从事光电子技术教学与科研工作. 现研究领域包括高速半导体光源,锁模光纤激光器,光孤子通信系统等. 已发表论文 20 余篇,是中国光学学会会员

1996 年 1 月 31 日收到初稿,1996 年 4 月 19 日收到修改稿

激光器管芯并改进结构减短引线长度以减小引线电感,可以得到较宽的调制带宽。微波调制电源的输出阻抗为 50Ω ,而试验中用的激光二极管的输入阻抗为 7Ω ,为了得到有效的高重率的调制,设计并制作了微波匹配馈电电路。

增益开关半导体激光器在产生超短光脉冲的过程中,由于激活区折射率随载流子浓度的变化而变化,在光脉冲峰区的前部的载流子的浓度高于阈值,后部的载流子浓度低于阈值,从而引起光脉冲前部的振荡频率高,后部的振荡频率低,产生负啁啾效应。啁啾导致光谱宽度加宽,在相同脉宽的情况下,无啁啾光脉冲脉宽 Δt 与谱宽 $\Delta\nu$ 乘积的值最小,称为变换极限,而有啁啾光脉冲的时间带宽积 $\Delta t_0 \Delta\nu_0$ 大于变换极限值,由光脉冲的 $\Delta t_0 \Delta\nu_0$ 值可以判断其啁啾情况。光孤子传输要求光源发出无啁啾的脉冲。

可采用 F-P 滤波器^[3]或在 $1.55\mu\text{m}$ 波长具有正常色散($D < 0$)的光纤补偿方法^[4]消除光脉冲的啁啾,本文采取后一种方法。从前边的分析可知,增益开关半导体激光器产生的光脉冲具有负啁啾,即脉冲的前沿频率高,后沿的频率低,而在正常色散光纤中,频率高的光波的群速度慢,频率低的光波群速度快。当负啁啾光脉冲在正常色散光纤中传输时,脉冲前沿具有较低的群速度,而后沿具有较高的群速度,光脉冲宽度被压缩,到达光纤中某一点时脉宽最窄,超过这一点时脉冲又展宽,并成为正啁啾光脉冲。因此,利用适当长度的正常色散光纤可达到消啁啾的目的,并且这种消啁啾方法结构简单,损耗较第一种方法小。通过上述分析也可以看出这种消啁啾的方法是属于线性补偿技术,脉宽的压缩量可以较大,光谱宽度不变。通常增益开关半导体激光器产生的光脉冲波型是高斯型,由于具有啁啾,光谱加宽,光脉冲的脉宽 Δt_0 和谱宽 $\Delta\nu_0$ 的乘积为

$$\Delta t_0 \Delta\nu_0 = 0.4412 \sqrt{1 + C^2} \quad (1)$$

式中 C 为啁啾参量, $C > 0$ 为正啁啾, 负啁啾光脉冲补偿光纤的最佳长度为:

$$Z = \frac{\Delta t_0}{\Delta\lambda} \times \frac{1}{D} \quad (2)$$

式中 D 为正常色散光纤的色散参数,单位为 $\text{ps} \cdot \text{nm}/\text{km}$; $\Delta\lambda$ 为谱宽,量纲为 nm。取最佳长度正常色散光纤时光脉冲的最窄脉宽为

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 + C^2}} \quad (3)$$

3 试验装置

试验装置如图 1 所示,微波源 RF 输出的调制信号与直流偏置电流经微带匹配片注入到 DFB 激光器上,DFB 激光器的输出光经自聚焦透镜耦合,馈入光纤。DCF 为消啁啾的正常色散光纤。为了得到稳定的光脉冲,DFB 激光器恒温工作,控温精度 0.01°C 。输出的光脉冲利用 PIN 探测器与示波器(接打印机)、强度自相关仪、光谱分析仪分别测量其重复频率、脉宽和谱宽。探测器的带宽为 22GHz ,示波器的带宽为 20GHz 。试验中使用的 DFB 激光器在 25°C 时的阈值电流为 17mA ,波长为 1549.9nm ,高于阈值 1.5 倍连续工作状态下,边模抑制比大于 30dB 。

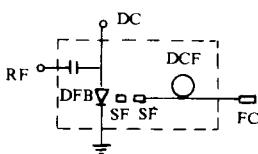


图 1 试验装置

SF: 自聚焦透镜;
FC: 光纤活接头。

4 试验结果与讨论

当 DFB 管芯的直流偏置 I_b 在 $17 \sim 35\text{mA}$ 、 5GHz 微波调制信号的功率 P_m 在 $40 \sim 170\text{mW}$ 的范围变化时由增益开关 DFB 激光器获得的 5GHz 超短光脉冲的脉宽为 $22 \sim 36\text{ps}$ 、谱宽为 $0.32 \sim 0.50\text{nm}$ 。由于直流偏置 I_b 和微波调制信号的功率达到最佳匹配时增益开关半导体激光器可以得到最窄的光脉冲；而直流偏置和微波信号的功率又影响着载流子密度，于是注入的 I_b 和 P_m 的变化会使得增益开关 DFB 产生的超短光脉冲的啁啾量及线性啁啾与非线性啁啾的比例发生变化，影响着正常色散光纤线性补偿后光脉冲的脉宽。这样，并不是增益开关 DFB 激光器获得最窄脉宽或谱宽时正常色散光纤补偿的效果最佳，试验测得最佳工作条件为 $I_b = 34\text{mA}$, $P_m = 100\text{mW}$ ，图 2(a)、(b) 为 DFB 激光器在上述工作条件下输出超短光脉冲的自相关曲线和光谱，由图 2(a) 可见曲线的半宽度 $\Delta\tau = 41.6\text{ps}$ ，经曲线拟

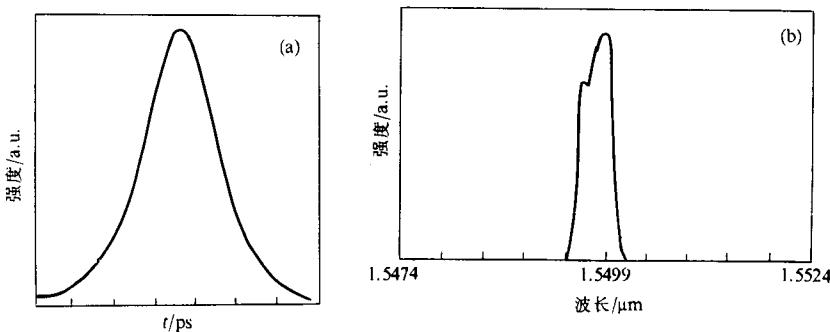


图 2 增益开关激光器输出光脉冲

(a) 光脉冲自相关曲线 (20.8ps/div), $\Delta\tau = 41.6\text{ps}$, $\Delta\tau = 29\text{ps}$; (b) 光谱 (0.5ps/div), $\Delta\nu = 0.42\text{nm}$.

和判断为高斯型，光脉冲宽度 $\Delta\tau = 29.4\text{ps}$ 。由图 2(b) 得光脉冲谱宽 $\Delta\nu = 0.42\text{nm}$ 。脉宽谱宽乘积为 1.53，由(1)式计算出啁啾参数 $c = 3.31$ 。根据(2)式可计算出用于消啁啾的最佳正常色散光纤的长度。取最佳光纤长度时由(3)式计算出补偿后最窄的光脉冲的 $\Delta\tau = 8.5\text{ps}$ 。试验中选用 $DL = -100\text{ps/nm}$ ($D = -150\text{ps} \cdot \text{km/nm}$) 的正常色散光纤消啁啾效果较好，消啁啾后的光脉冲的自相关曲线和由打印机记录的示波图如图 3(a)、3(b)，3(a) 经拟和判断脉冲波形为双曲正割形，脉宽 $\Delta\tau = 9\text{ps}$ ，这个值与由(3)式计算的最窄脉宽基本一致。由图 3(b) 看出光脉冲间隔为 200ps 。试验中经正常色散后光谱宽度基本与图 2(b) 相同，消啁啾后的脉宽和谱宽乘积 $\Delta\tau \Delta\nu = 0.47$ ，接近变换极限。在最佳工作条件下，经正常色散光纤补偿后光脉冲的时间带宽积仍偏离变换极限值，这是由于这种线性压缩技术只能补偿线性啁啾，光脉冲中仍存在非线性啁啾成分。

上述超短光脉冲源输出的光脉冲经掺铒光纤放大器(EDFA)放大后注入到 31km 色散位移光纤(DSF)，光纤的平均色散为 $D = 1.542\text{ps} \cdot \text{km/nm}$ ，包括光纤接头在内的损耗为 10dB ，当入射到 DSF 光纤中的平均功率为 4.6mW 时，在光纤输出端测得的自相关曲线如图 3(c)，由图 3(c) 测出经 DSF 后光脉被压缩，脉宽为 6ps 。

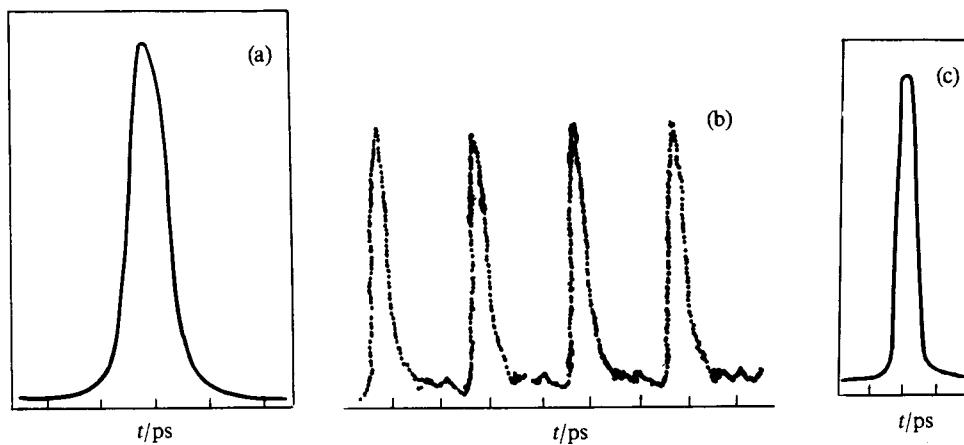


图 3

(a) 消啁啾后光脉冲自相关曲线(20.8ps/div), $\Delta\tau=14\text{ps}$, $\Delta t=9\text{ps}$;
 (b) 打印的示波图(100ps/div);
 (c) 传输 31km 后的自相关曲线(20.8ps/div), $\Delta\tau=9.5\text{ps}$, $\Delta t=6\text{ps}$.

5 结论

利用我国首次研制成功的量子阱分布反馈半导体激光器、并辅以合理的结构和微带匹配馈电电路, 可利用增益开关效应产生重复频率为 5GHz 超短光脉冲。采用正常色散光纤补偿方法消啁啾, 得到了近变换极限光脉冲, 其脉冲宽度为 9ps 。通过高阶光孤子压缩, 脉宽可压缩至 6ps 。

致谢 感谢武汉邮电科研院光纤光缆部提供试验中的正常色散光纤和色散位移光纤。

参 考 文 献

- [1] M. Nakazawa *et al.*, IOOC '99, HONG KONG, 1995, PD2-1, 21~22.
- [2] E. YAmad *et al.*, Electron. Lett., 1991, **25**(14): 1289~1290.
- [3] Johson Teñgong *et al.*, IEEE. Quantum Electron, 1993, **25**(7): 1701~1707.
- [4] K. A. Ahmed *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **59**: 1284~1286.

Generation of Repetition Rate 5GHz Ultrashort Optical Pulses From MQW-DFB Diode Laser¹

Lou Caiyun, Zhong Shan, Wu Jian, Gao Yizhi and Zhou Bingkun

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

Received 31 January 1996, revised manuscript received 19 April 1996

Abstract A Gain-Switched DFB laser working at $1.55\mu\text{m}$, 5GHz repetition rate is introduced, where the MQW-DFB diode is a chinese product. Near transform limit pulses are generated after dechirps processing by using normal dispersion compensation technology. Successful soliton transmission over 31 km is achieved with this ultrashort pulse source.

PACC: 4260F, 4280k, 4280W