

文章编号 : 0253-2239(2002)02-0253-04

20 GHz 注入锁模光纤激光器实验^{*}

于晋龙 马晓红 杨天新 丁永奎 戴居丰 杨恩泽

(天津大学电子信息工程学院光纤通信实验室, 天津 300072)
(教育部光电子中心开放实验室, 天津 300072)

摘要: 稳定、波长可调谐的窄脉冲光源是未来光时分复用/波分复用光纤通信系统的重要组成部分。报道了一个 20 GHz 的注入锁模光纤激光器的实验。利用一个 10 GHz 的半导体激光器作为光源, 最终得到了波长可调谐的重复频率为 20 GHz、脉冲宽度为 12.4 ps 的光脉冲, 波长的调谐范围为 16 nm。

关键词: 注入锁模; 光时分复用; 光纤激光器

中图分类号: TN248.3⁺5 文献标识码: A

1 引 言

高质量、高重复频率、波长可调的窄光脉冲源是未来光时分复用/波分复用高速率光纤通信系统、全光处理、全光网络中重要的组成部分。可以选用的方案有增益开关半导体激光器输出后, 经过压窄可以产生高速率的窄脉冲^[1]; 电吸收调制器(EAM)^[2]。但这两种激光器的波长都是由半导体激光器自身决定的, 这在波分复用的应用中有诸多不便, 其消光比也差, 输出的光脉冲含有较强的非线性啁啾, 这些问题使得它们在光时分复用的应用中受到较大限制^[3]。而主动锁模光纤激光器从脉冲质量、波长可调谐、输出光功率等方面都是一种非常理想的选择, 在多个实验系统中都采用了这种激光器作为光源, 但是一般的主动锁模光纤激光器对环境变化非常敏感, 必须采用适当的措施予以克服^[4], 这就造成了整个激光器非常复杂、昂贵。其最终的实用化还有些问题需要克服, 通过将高速率的光脉冲注入半导体激光器也可产生锁模, 输出高重复频率的、波长可调谐的光脉冲^[5]。

另外一种采用半导体光放大器作为调制器件的光纤锁模激光器也受到了人们的关注^[6], 其基本原理是将高重复频率的窄光脉冲注入半导体光放大器中, 利用半导体光放大器的交叉增益调制和自相位调制(SPM)效应, 对锁模激光器进行调制, 得到高重复速率、波长可调谐的窄光脉冲输出。Zoiros 等在

OFC'2000 上报道了采用该方案得到了重复速率为 40 GHz、宽度为 2.5 ps 的输出光脉冲。其波长的调谐范围为 20 nm^[7]。由于采用了硅材料的半导体光放大器为调制器, 所以对偏振基本无关, 激光器的稳定性几乎不受环境的影响, 所以不需要复杂的稳定结构, 简化了系统的构成, 降低了成本; 尽管为了产生注入光脉冲, 只采用了一个增益开关的半导体激光器, 但得到的光脉冲质量要高于直接由半导体激光器产生的脉冲, 而且波长可调谐。考虑到半导体光放大器比掺铒光纤放大器有更宽的增益带宽, 有可能得到更宽的波长调谐范围, 这对于将来的宽带波分复用有非常重要的意义。而采用如有理数谐波锁模技术^[8], 还可得重复速率数倍于注入光脉冲的重复频率的光脉冲输出。

本文报道了重复频率为 20 GHz、输出脉冲宽度为 12.4 ps、波长可调谐范围为 16 nm 的注入锁模光纤激光器的实验。

2 实 验

实验装置如图 1 所示, 图中 GW-DFBLD 是增益开关分布反馈半导体激光器, DCF 是色散补偿光纤, EDFA 是掺铒光纤放大器, BPF 是带通光滤波器, MUX 是光时分复用器, C 是光学环行器, PC 是偏振控制器, SOA 是半导体光放大器, ATT 是可变光衰减器。其中, 10 GHz 微波源直接驱动半导体激光器, 形成增益开关, 输出的光脉冲经过色散补偿光纤 DCF₁ 压窄后, 经过一光时分复用复用器后复用到 20 GHz 光脉冲。实际上压窄后的光脉冲的宽度完全可以复用到更高的频率, 但在我们的实验中, 由

^{*} 国家自然科学基金(69807002)和科学基金资助课题。

于观察用的示波器的带宽只有 20 GHz,所以只复用到 20 GHz 的水平。复用后的光脉冲经过一个光学环形器后注入到一个半导体光放大器内,我们采用的半导体光放大器增益为 5 dB,饱和输出功率为 -2.3 dBm,由于皮秒级的脉冲在腔内产生较为强烈的交叉相位调制(XPM)和交叉增益调制(XGM),在腔内形成周期性的调制,最终形成锁模输出。可

变光滤波器调节输出光脉冲的波长,调谐范围为 1530 nm~1560 nm,带宽为 2 nm;可变衰减器用于控制腔内的增益;输出的光脉冲信号通过光耦合器输出。由于半导体光放大器的输出有较强的啁啾,在输出端又加入了一段色散补偿光纤[色散补偿光纤长度为 150 m,色散量为 40 ps/(nm·km)],以进一步压窄光脉冲。

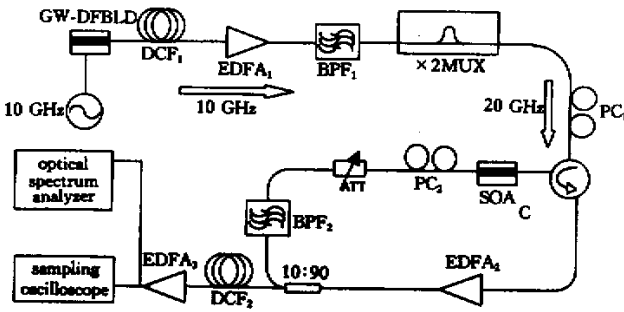


Fig. 1 The 20 GHz injecting mode-locked fiber laser experimental scheme

由腔长决定的激光器的基频为 5.12 MHz,由于腔长不可变,故需调节输入的光脉冲频率,以保证调制频率与腔长的匹配。需要注意的是,由于在本实验中采用了固定的光延时器作复用器,所以当调制频率出现变化后会导致脉冲间隔的不均匀,如图 2(a)所示。这可能会对输出的波形带来一定的影响。但当这种调节范围不是很大的情况下,这种变化带来的影响还是可以接受的,如当微波信号频率由 9.998197 GHz 变化到 9.993120 GHz 时,相应的

脉冲间隔变化小于 3 ps。当微波的频率为 9.99564 GHz 时,得到了锁模输出。从图 2 也可以看出 20 GHz 的光脉冲序列由于带宽的影响,显示的基本是一个正弦波。

图 3 是输出的光谱图,可以清楚地看到输入光的波长为 1552.98 nm。输出的光谱宽度为 0.3 nm。通过调谐滤波器的中心波长,得到了从 1537.6 nm~1549.3 nm 的稳定的锁模输出,调谐范围约为 12 nm。

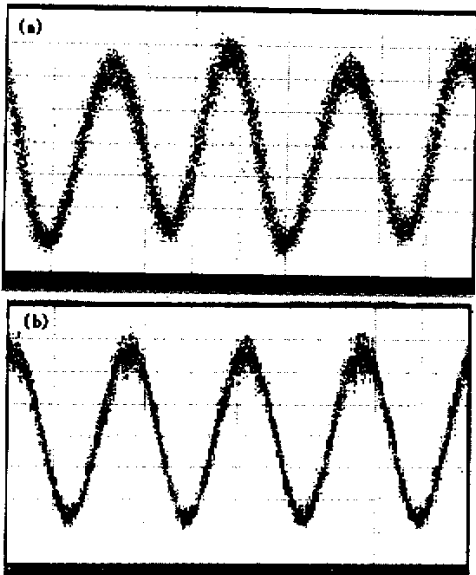


Fig. 2 (a) Injecting 20 GHz optical pulses and (b) 20 GHz output pulses train from the mode-locked laser

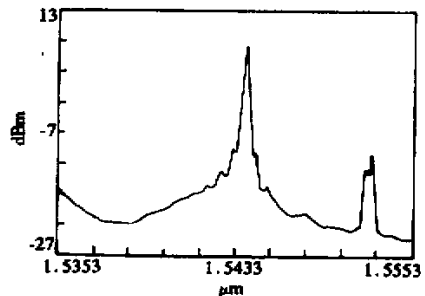


Fig. 3 The spectrum of the pulses from the mode-locked laser

图 4 所示的是示波器上观察到的输出的脉冲的自相关曲线,曲线中前后突出的部分是由于自相关仪的扫描范围过大(近 70 ps),导致相邻的脉冲波形进入了扫描区导致的,脉冲的形状基本为一双曲正弦曲线,但有一较大的底座,这是由于采用色散补偿光纤压缩脉冲的结果,如果采用非线性环镜(NOLM)则可有效消除该底座。测得的光脉冲的

宽度为 12.4 ps, 脉冲时间带宽积为 0.39。可见, 该脉冲基本为变换极限脉冲。

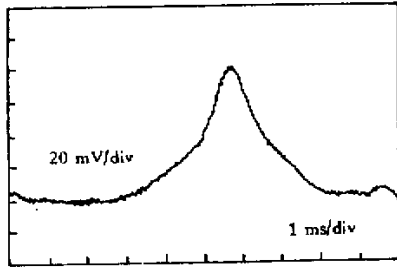


Fig. 4 The autocorrelation trace of the laser pulse from the mode-locked laser obtained at 20 GHz. The time base corresponds to 12.4 ps

在实验中发现, 对比于采用 LiNbO_3 电光调制器的主动锁模光纤激光器^[9], 采用半导体光放大器的注入锁模光纤激光器具有更高的稳定性, 几乎可以不采取任何措施即可长时间稳定工作。这是由于半导体光放大器对偏振的不敏感特性的缘故。

3 讨 论

通过采用增益较大的半导体光放大器, 可以提高自相位调制的效应, 从而可以增加输出的光脉冲光谱宽度, 从而可以采用色散补偿光纤将光脉冲压得更窄。在实验中, 我们发现通过调节可变光衰减器减小腔内的增益时, 一方面, 脉冲宽度明显变窄; 另一方面, 输出出现不稳定。这是由于当腔内的增益减小时, 激光器对调制的不稳定性变得非常敏感。提高注入光脉冲的稳定性(幅度、相位)则可大大降低激光器稳定工作所需要的腔内增益, 得到更窄的光脉冲输出。需要说明的是, 此时腔内的总增益与半导体光放大器的增益并无必然的联系, 在半导体光放大器增益较大的情况下, 仍然可以通过人为增加腔内的损耗(在本实验中采用可变衰减器)来降低整个腔的增益。

输出的光波长可通过调节滤波器的中心波长来控制, 但调谐范围并不仅仅取决于滤波器的可调谐范围。由于波长变化会导致激光器的有效腔长的变化。造成腔长与调制频率的失谐。如果采用腔长自动补偿技术则可解决此问题, 另一种解决的办法则是准确设计激光器的环形腔, 减小腔内的色散。

另外, 在整个调谐范围内如何保证激光器输出的稳定性, 避免在调谐范围内光功率和脉冲宽度发生较大的起伏也是一个重要问题。这主要由在整个调谐范围内, 放大器和腔内损耗决定的整个腔的增

益带宽有关。具体地讲, 在激光器在整个调谐范围内腔内增益应尽量保持不变。半导体光放大器较掺铒光纤放大器有更好的带宽特性, 在本实验中, 采用了掺铒光纤放大器作为半导体光放大器增益不足的补充手段, 但也限制了调谐范围。

尽管提高整个腔的增益有利于扩展激光器的可调谐范围, 但会导致输出脉冲的宽度较宽。所以, 在具体的设计中, 需要在波长的可调谐范围和输出脉冲的宽度上有个较好的权衡。相对而言, 采用与宽带掺铒光纤放大器技术类似的宽展带宽技术应该是一种更好的选择。

结论 进行了 20 GHz 的注入锁模光纤激光器的实验, 输出的光脉冲宽度为 12.4 ps, 波长的可调谐范围为 12 nm。该激光器具有稳定、对偏振不敏感、波长可调谐的优点, 是未来高速率时分复用/波分复用光纤通信系统的一种较为理想的光信号源。

参 考 文 献

- [1] Masanao M, Massahiro T, Haifeng L *et al.*. Generation of ultrashort pulses from 1.55 μm gain-switch distributed feedback (DFB) laser with soliton compression by dispersion arrangement. *Japan. J. Appl. Phys. Part B: Lett.*, 1996, **35**(10B):L1330~L1332
- [2] Yamada H T, Murai H, Pratt A R *et al.*. Scaleable 80 Gbit/s OTDM using a modular architecture based on EA modulators. *ECOC'2000*, 1.3.5, 2000
- [3] Nielsen M L, Olsson B E, Blumenthal D J. Pulse Extinction Ratio Improvement using SPM in an SOA for OTDM systems applications. *ECOC'2000*, 1.1.6, 2000
- [4] Raybon G, Hansen P B, Alferness R C *et al.*. Wavelength-tunable actively mode-locked monolithic laser with an integrated vertical coupler filter. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(16):1335~1336
- [5] Wang X, Yokoyama H, Shimizu T. Synchronized harmonic frequency mode-locking with laser divider through optical pulse train injection. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(5):617~619
- [6] Papakyriakopoulos T, Vlachos K, Hatziefremidis A *et al.*. 20 GHz broadly tunable and stable mode-locked semiconductor amplifier fiber ring laser. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(17):1209~1211
- [7] Zoiros K, Vlachos K, Stathopoulos T *et al.*. 40 GHz mode-locked SOA fiber ring laser with 20 nm tuning range. *Technical Digest Series, Conference on Optical Fiber Communication*, 2000, **10**:254~256
- [8] Yu Jinlong, Ma Xiaohong, Wang Lin *et al.*. Dimidiate frequency phenomenon and radiation harmonic mode-locked in an active mode-locking fiber laser. *J. Optoelectronics · laser*(光电子·激光), 1999, **10**(1):1~4(in Chinese)
- [9] Yu Jinlong, Ma Xiaohong, Wang Lin *et al.*. 2.5 GHz

20 GHz Injecting Mode-Locked Fiber Laser

Yu Jinlong Ma Xiaohong Yang Tianxin Ding Yongkui Dai Jufeng Yang Enze

(*School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

(Received 18 December 2000; revised 19 February 2001)

Abstract: The optical source of stable and wavelength tunable ultrashor pulse is the key technique for the future OTDM/WDM systems. In this paper, an experiment with 20 GHz injecting mode-locked fiber laser is reported. With a source of 10 GHz semiconductor diode laser, a stable injecting mode-locked fiber laser producing 12.4 ps pulses at a rate of 20 GHz with the tunable range of 16 nm is got.

Key words: injecting mode-locking; optical time division multiplexing (OTDM); fiber laser

(上接封四)

3.8 资助来源 所投文章项目受到资助的,应标明资助名称及编号。在审稿结论相同的情况下,符合以下条件的予以优先发表:1)属省、部级以上的重大科技成果、获奖项目和具有明显经济效益的项目(均请在来稿中注明);2)有国家级或省部级基金资助项目的论文。

3.9 投寄要求 所投稿件需一式三份,注明稿件责任联系人姓名、地址、邮政编码、联系电话和电子信箱(用于编辑部通知作者收到稿件),以便联系,以及标明“稿件内容不涉及国家机密”、“此稿无一稿两投”、“作者排名不再随意更改”的证明件(盖章),一并挂号寄往 201800 上海 800-211 信箱 光学学报编辑部,请不要寄交个人,以免延误稿件的受理时间。

3.10 本刊现已进入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据数字化期刊网》,不再另行通知作者,对版权有特殊要求者,请事先声明。

4 审稿程序 论文类稿件收到评审费后分送两位同行评议(必要时需作者修改及复审,作者对于审稿意见应当逐一给出书面回答),主编终审、择优录用,编辑部自收稿日起 4 个月内将初审意见函告作者,逾期,作者可另行处理原稿,但需告知编辑部。

5 录用与否 编辑部有权对录用稿件作编辑意义的增删加工。录用稿作者应遵照中国科协有关文件精神,支付适量版面费以聊补期刊的高额亏损。录用稿一经本刊刊登,本刊享有版权,并向作者酌付稿酬、该期期刊一册和抽印本 20 份。作者如不同意本刊录用刊登稿件由本刊供它刊转载、译载、引摘,务请在投稿时声明。编辑部负责向作者退回不录用稿件及先期收到的版面费。