

波长和重复频率连续可调的光纤环形激光器*

余建军^{1,2} 于 丽¹ 刘燕霞² 李朝晖¹ 杨伯君¹ 管克俭²

(¹北京邮电大学基础科学部, ²北京邮电大学通信工程学院 北京 100876)

提要 成功地研制了一台波长和频率可调的主动锁模光纤环形激光器。波长可调范围为 1534~1565 nm, 频率范围为 2.4~2.6 GHz, 产生的光脉冲时间带宽积接近于变换极限。经过改变调制器的直流偏压得到了重复频率为 5 GHz 的光脉冲。对实验中的有关原理进行了分析。

关键词 光纤环形激光器, 钛铌酸锂 M-Z 型调制器, 锁模

产生皮秒级超短光脉冲是实现超高速光时分复用(OTDM)和孤子传输的关键技术之一。光纤环形激光器是产生皮秒级超短光脉冲的理想光源, 国内外对光纤环形激光器进行了广泛的研究^{1~6}。文献[5]采用有源半导体作光调制器研制了 2.5 GHz 光纤环形激光器, 文献[6]采用铌酸锂调制器研制了 7.5 GHz 的光纤环形激光器。文献[5]和[6]都是采用依靠调节调制频率来达到锁模的目的, 由于环形腔的长度是确定的, 从而使基频确定, 光纤环形激光器产生的光脉冲重复频率只能是基频的整数倍, 从而使光脉冲频率不连续可调, 这可能在一定的场合不能满足实际的需要, 如果环形腔长度和信号发生器的频率都能够连续改变, 那么便能够使产生的光脉冲的重复频率连续可调。本文报道的光纤环形激光器具有除了能够通过改变调制频率达到锁模外还能够通过改变光纤环长度来达到锁模, 以及通过改变调制器的偏置电压从而使产生的光脉冲重复频率为调制频率两倍的优点。

1 实验装置

光纤环形激光器的构成及检测如图 1 所示。

实验中所用调制器为 Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder modulator, 调制器 3 dB 带宽、插入损耗和半波电压分别为 4 GHz, 8 dB 和 6 V。EDFA₁ 和 EDFA₂ 均为双泵浦放大器。其中掺铒光纤放大器 1 泵浦源为 980 nm 大功率半导体激光器, 在输入端和输出端分别有一个光隔离器, 掺铒光纤长度为 20 m 左右, 此放大器饱和输出功率为 17 dBm, 小信号增益大于 30 dB, 噪声系数为 6.7 dB。掺铒光纤放大器 2 泵浦源为 1480 nm 大功率半导体激光器, 饱和输出功率为 10 dBm, 小信号增益大于 35 dB, 噪声系数为 7.22 dB, 其他结构与光放大器 1 基本相同。时延是通过改变一对自聚焦棒的距离来实现的, 插入损耗为 1 dB, 延时长度任意可调。光耦合器为 2×2 耦合器, 95·5 型, 其中 5% 用于信号输出, 附加损耗为 0.26 dB。可调谐滤波器(TF)调谐范

* 国家 863 重大科研基金资助项目。

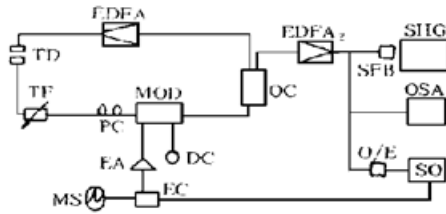


图 1 实验方框图

EDFA: 掺铒光纤放大器; SFB: 自聚焦棒; OSA: 光谱仪; TD: 时延; MOD: 调制器; PC: 偏振控制器; OC: 光学耦合器; DC: 直流源; E. A: 电放大器; O/E: 光电变换; SO: 取样示波器; EC: 电耦合器; MS: 微波源; TF: 可调谐滤波器

Fig. 1 The block diagram of the experiment

EDFA: erbium doped fiber amplifier; SFB: self-focus bar; OSA: optical spectrum analyzer; TD: time delay; MOD: Ti·LiNbO₃ Mach-Zehnder modulator; PC: polarization controller; OC: optical coupler; DC: direct current; E. A: electrical amplifier; O/E: optics/electric; SO: sampling oscilloscope; EC: electrical coupler; MS: microwave sources; TF: tunable filter

围为 1530~ 1570 nm, 3 dB 带宽为 1.6 nm, 插入损耗为 2.5 dB。电放大器为带通放大器, 带宽为 2.4~ 2.6 GHz, 其输出功率连续可调, 最大输出功率为 1 W。电耦合器为 90·10 型, 其中 10% 用于取样示波器触发信号。微波信号发生器输出频率范围为 2~ 4 GHz, 频率连续可调。示波器为取样示波器, 能测量的最大频率为 20 GHz, 光电变换器 3 dB 带宽为 10 GHz。二次谐波强度自相关仪测量精度为 0.1 ps。光谱仪最小精细度为 0.05 nm。光纤环总长为 100 m 左右, 对应的基本谐振频率为 2 MHz。图 1 中实线表示光信号传输线, 黑线表示电信号传输线。

2 实验结果

调节微波放大器输出功率, 当加在调制器上的偏值电压等于 3 V, 微波频率等于 2.5 GHz 时, 适当调节延迟间距以及偏振控制器使光纤环处于最佳锁模状态, 用取样示波器、二次谐波强度自相关仪和光谱仪分别测得的锁模光信号的波形、自相关曲线和频谱分别如图 2 (a) ~ (c) 所示。可见

重复频率、频谱宽度和脉冲时域最大半宽度分别为 2.5 GHz, 0.067 nm 和 40 ps(脉冲自相关宽度为 62 ps)。调节可调谐滤波器, 用光谱仪测量得到一系列频谱, 实验测量得到最大中心波长为 1565.7 nm(如图 3 (a) 所示), 最小中心波长为 1534.52 nm(如图 3 (b) 所示), 可调波长

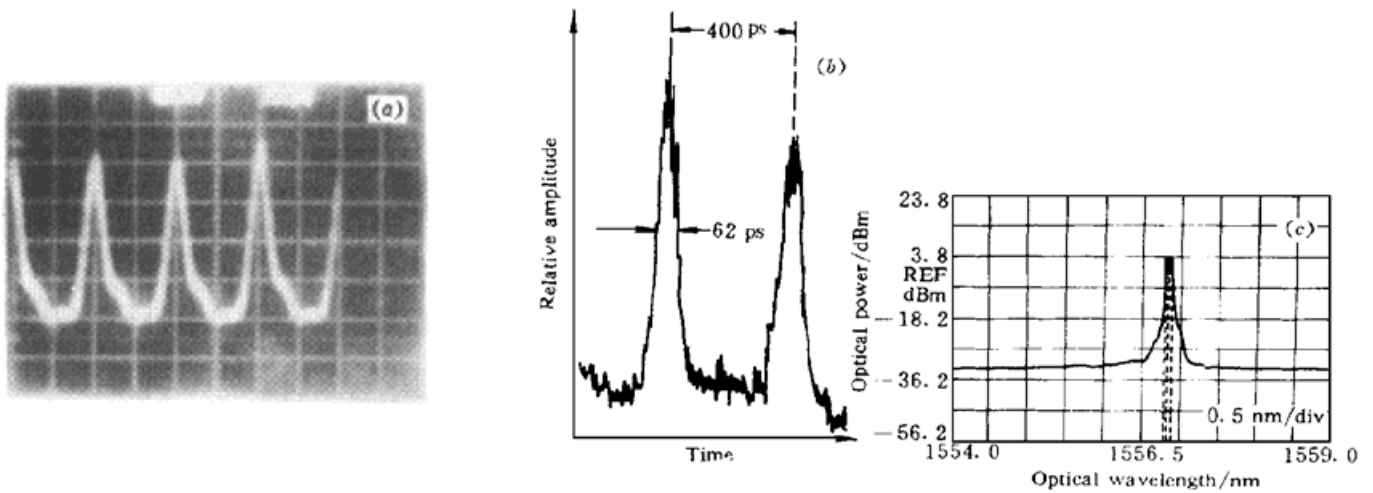


图 2 用取样示波器测量得到的光脉冲输出特性 (a)、自相关曲线(b) 和光谱图(c)

Fig. 2 Output of a 2.5 GHz mode-locked laser displayed on a fast photodiode sampling oscilloscope and the corresponding optical spectrum and autocorrelation curve

(a) laser output on a fast photodiode/sampling oscilloscope; (b) autocorrelation curve of optical pulses; (c) corresponding optical spectrum

范围为 31.12 nm。图 2 (c), 图 3(a) 和图 3(b) 显示的光谱是光纤环形激光器输出的信号在经过掺铒光纤放大器 2 后测量得到的结果, 所以光谱中包含有掺铒光纤放大器 2 的自发辐射 (ASE) 噪声。由于此时光谱仪的精细度为 0.1 nm 或 0.2 nm, 测量得到的光谱半宽度不准确 (在此我们主要测量其中心波长)。

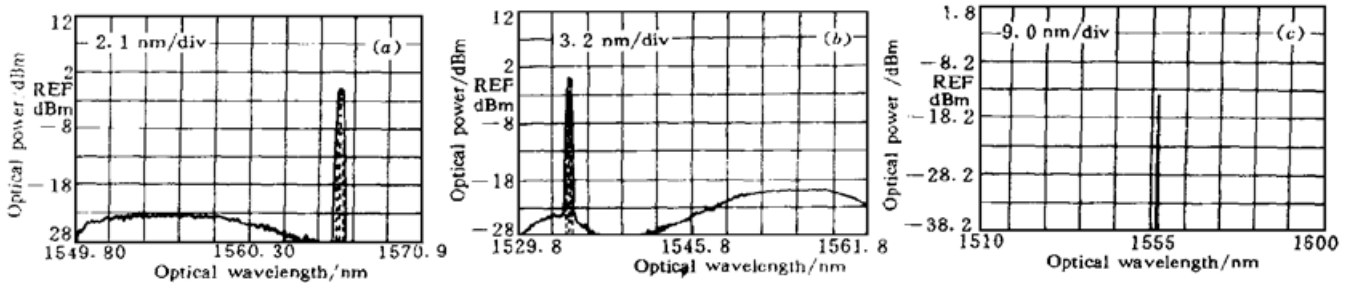


图 3 最大中心波长光谱 (a), 最小中心波长光谱 (b) 和在整个 EDFA ASE 范围里测量得到的光谱 (c)
 Fig. 3 Optical spectrum of the maximum wavelength (a), optical spectrum of the minimum wavelength (b) and optical spectrum of the whole range of EDFA ASE (c)

改变偏置电压, 当偏置电压为 6 V 时, 用示波器测量得到的脉冲波形如图 4 (a) 所示, 自相关曲线如图 4 (b) 所示, 重复频率为 5 GHz。

3 结果分析

由于在光纤环中加入了窄带可调谐滤波器, 减小了环形腔中不同波长的模式竞争, 从而增加了光纤环形激光器的稳定性能。用光谱仪测量整个 EDFA 的 ASE 光谱范围, 我们只能看到单模存在, 如图 3 (b) 所示。这不同于文献 [5] 中的图 3, 在文献 [5] 中由于没有加入窄带滤波器, 因而有很多不同频率的模式存在。由于可调谐滤波器中心波长连续可调, 且可调范围宽, 因而使得我们研制的光纤环形激光器具有中心波长连续可调且可调范围宽的优点。

尽管调制器 3 dB 带宽为 4 GHz 以及信号发生器的最大频率为 4 GHz, 但只要改变调制器的偏置电压能够得到 5 GHz 的光信号。这个原理可以用图 5 来说明, 由于调制器的静态曲线关于半波电压点处左右两边不完全对称, 因此产生 5 GHz 的光信号的幅度稍微不一致, 这在图 5 和图 4 (a) 中看得很清楚。我们注意到当偏置电压偏离半波电压一定距离 (大约 0.5 V), 将只能得到 2.5 GHz 信号。当偏置电压稍微大于半波电压时得到图 5 所示输出光信号的右边部分, 左边部分将被抑制, 偏小时将得到光信号的左边部分, 右边部分被抑制, 此结果可用模式竞争来解释, 这一过程在示波器上看得很清楚。

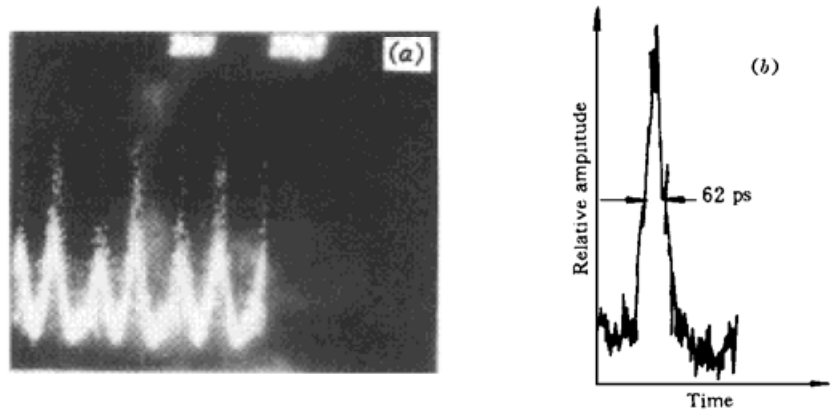


图 4 偏置电压为 6 V 时, 用取样示波器测量得到的波形 (a) 和自相关曲线 (b)
 Fig. 4 When the bias voltage = 6 V, the measured curve by the sampling oscilloscope (a) and autocorrelation curve of the optical pulses (b)

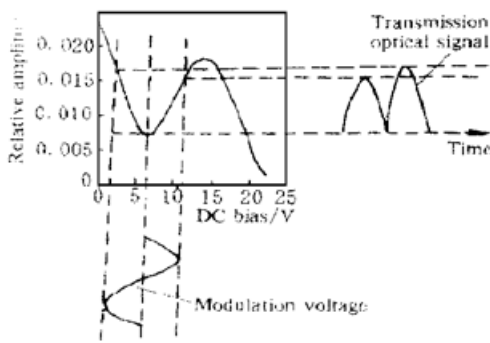


图 5 调制器调制曲线

Fig. 5 The modulation curve of a Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder modulator

锁模光纤环形激光器得到的时域宽度应该满足文献[1]中的(1)式,脉冲宽度应该与调制频率的平方根成反比,由于系统中的调制频率较低,因而脉冲宽度较宽,光脉冲的时间带宽积为 0.33。

4 结 论

我们研制的光纤环形激光器具有以下优点:(1)有很宽的可调谐波长范围(1534.52~1565.7 nm);(2)不仅能够通过调节微波信号的调制频率来达到锁模的目的,而且也能够通过改变延时来达到锁模的目的,产生的光信号重复频率连续可调;(3)通过适当地改变偏置电压能够使输出光脉冲的重复频率等于调制频率的两倍;(4)通过在环路中加入窄带滤波器,减小了模式竞争,增加了系统的稳定性。

参 考 文 献

- 1 H. Takara, S. Kawanishi, M. Saruwatari *et al.*. Generation of highly stable 20 GHz transform-limited optical pulses from actively mode-locked Er³⁺-doped fibre lasers with an all-polarization maintaining ring cavity. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(22): 2095~ 2096
- 2 C. R. ÓCoilain, R. J. Mears. Broadband tunable single frequency diode-pumped erbium doped fibre laser. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(2): 124~ 126
- 3 N. Kishi, J. N. Carter, R. Mottahedeh *et al.*. Actively mode-locked and passively Q-switched operation of thulium-doped fibre laser using multiquantum well asymmetric Fabry-Perot modulator. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(2): 175~ 177
- 4 Wang-Yuhl Oh., B. Y. Kim, Hai-woong Lee. Passive mode locking of a Neodymium-doped fiber laser with a nonlinear optical loop mirror. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1996, **32**(2): 333~ 339
- 5 Yao Jianguo, Yang Shuwen, Zhang Dengguo. A fiber soliton laser and its application as an amplifier in the optical soliton transmission experiment. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(9): 769~ 772 (in Chinese)
- 6 Lou Caiyun, Zhong Shan, Liu Jun *et al.*. A high repetition active-mode-locked tunable fiber ring laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1996, **A23**(5): 395~ 397 (in Chinese)

A Continuously Tunable Fiber Ring Laser of Repetition Operation

Yu Jianjun^{1,2} Yu Li¹ Liu Yanxia² Li Chaohui¹ Yang Bojun¹ Guan Kejian²

¹Department of Basic Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, ²Department of Radio Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Abstract A continuously tunable ring laser of repetition operation is successfully made. The range of the tunable wavelength is 1535~1565 nm. The range of the repetition rates is 2.4~2.6 GHz. The time-bandwidth product is close to the transform limit. Optical pulses with a repetition rate of 5 GHz are obtained by changing the direct current bias voltage, and the relative experimental principle is analyzed.

Key words ring laser, Ti:LiNbO₃ Mach-Zehnder modulator, mode-locking