

内置光纤光栅的主动锁模光纤环形激光器 输出光脉冲波长的电切换*

丁 浩 赵 浩 张位在 陈高庭 方祖捷
(中国科学院上海光机所 上海 201800)

李沈平 陈锦泰
(香港中文大学电子工程系, 新界沙田)

提要 介绍了内置光纤光栅的主动锁模光纤环形激光器输出光脉冲波长电切换的工作原理和实验结果。同一个光纤环形激光器输出的由光纤光栅布喇格波长决定的两个不同波长的光脉冲可以每秒十万次的速度切换。

关键词 锁模光纤激光器, 光纤光栅, 光开关

1 引 言

光波长能快速切换的激光短脉冲在光通信、高速物理现象探索和高速环保参数测量等诸多方面有着非常广泛的应用。为了达到波长切换的目的, 通常需要使用机构非常复杂的半导体激光, 如双腔半导体激光器、多段腔半导体激光器等。另一种较为简单的方法是采用增益开关半导体激光器通过波长选择外腔进行自锁模^[1~4]。近年来随着光折变光纤光栅制作技术的提高和大量使用, 光纤光栅已成为一种理想的波长选择外腔^[5]。使用光纤光栅外腔的最大优点是插入损耗小、波长切换能在多个预先设定的波长之间进行。

本文报道光纤光栅作为波长选择机构的主动锁模光纤环形激光器输出光脉冲的波长切换。在本文报道的实验中, 光纤光栅不是用作选频外腔, 而是它本身成了光纤环形激光器环的一部分。

2 器件结构和工作原理

实验所用的内置光纤光栅的主动锁模光纤环形激光器由 1 m 长的高掺铒光纤、与偏振有关的光纤隔离器、光纤环形器、两个串联的光纤光栅、光纤进出的 LiNbO₃ 调制器、光纤偏振控制器、供输出用的光纤方向耦合器和提供 980nm 光泵浦输入的光纤波分复用器组成, 其结构如图 1 所示。光纤光栅是我们自行制作的光折变光纤光栅^[6], 中心波长分别在 1531.6 nm (λ_1) 和 1532.1 nm (λ_2), 反射率分别为 90% 和 70%, 反射带宽均小于 0.8 nm。由于靠光纤光栅 1 反射的光要两次穿过光纤光栅 2, 所以要多引入大约 1 dB 的损耗。这样对光纤环路而言, 两个

* 上海市应用物理中心(No. 94JC14005)和香港中文大学研究基金资助项目。

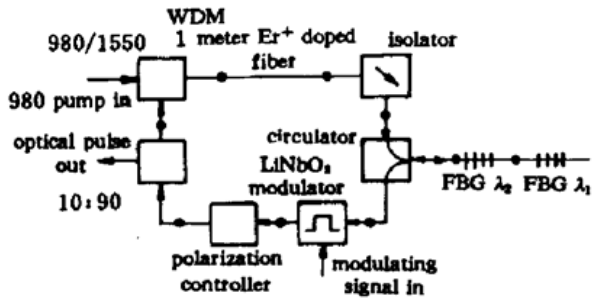


图 1 内置双光纤光栅的主动锁模光纤环形激光器的实验原理图,这种激光器的输出光脉冲序列可以在两个光纤光栅的布喇格波长上切换

Fig. 1 Experimental setup of an active mode-locked fiber ring laser with two fiber gratings capable of switching the output optical pulse between the Bragg wavelengths of the two gratings

光纤光栅的反射率大致相等。掺铒光纤采用 Lycom 公司生产的高掺铒光纤。这种掺铒光纤在 978 nm 处的吸收系数为 45 dB/m, 1 m 长的掺铒光纤在 100 mW, 980 nm 光泵浦下在 1550 nm 处的增益约为 18 dB(输入光信号功率为 -4 dBm)。980 nm 的光泵浦源是 SDL 公司出品的带尾纤的半导体激光器,其阈值大约为 20 mA,当偏置电流增大至 200 mA 时,出纤光功率可线性地增至 90 mW。

掺铒光纤有非常宽的增益谱宽,所以光纤环形激光器的激射波长通常不易控制,它随环中激光偏振态的改变而变化。当铌酸锂调制器的调制频率等于光纤环的基频(光在光纤环中行走一周所需时间的倒数)或等于基频的整数倍时,激光器的输出脉冲就会加强,光谱增宽,这就是普通的

主动锁模效应。在光纤环中插入一个有足够的频率或波长选择性的选频元件后,如本实验所用的光纤光栅和光纤环形器所组成的传输型滤波器,光纤环形激光器就会激射在选频元件所选定的波长上,如光纤光栅的布喇格波长上。

在图 1 所示的结构中,采用了两个不同布喇格波长的光纤光栅,两者之间的中心距离约为 1.25 m。这样与第一个布喇格波长 λ_1 对应的光纤环长度和与第二个布喇格波长 λ_2 对应的光纤环长度就不相等,前者比后者多了两光栅间中心距离的二倍。因此不难理解在图 1 所示的结构中,对应于 λ_1 和 λ_2 的光纤环的基频也不一样,两者的差可用下式表示

$$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1 = \frac{c}{n} \left(\frac{m_2}{L_2} - \frac{m_1}{L_1} \right) = \frac{c}{n} \left(\frac{m_2 L_1 - m_1 L_2}{L_1 L_2} \right) \quad (1)$$

其中 c 为真空中的光速, n 为光纤的折射率, L_1 和 L_2 分别为与 λ_1 和 λ_2 相对应的光纤环长, m_1 和 m_2 分别为与 λ_1 和 λ_2 相对应的谐波阶次。两者都为基频时则取 $m_1 = m_2 = 1$ 。如果铌酸锂调制器的调制频率等于 ν_1 , 光纤环激光的输出波长就锁定在 λ_1 上;如果铌酸锂调制器的调制频率等于 ν_2 , 光纤环激光的输出波长便锁定在 λ_2 上。这样当铌酸锂调制频率在 ν_1 和 ν_2 之间切换时,激光的输出波长就会跟着在 λ_1 和 λ_2 之间切换。

3 实验结果和分析

实验结果如图 2 和图 3 所示。实验时 980 nm 光泵浦的光功率约为 90 mW。图 2(a) 是铌酸锂调制器调制在 20.5 MHz 时光纤环形激光器的输出光谱,它与环长为 20 m 靠布喇格波长为 λ_1 的光纤光栅反射的光纤环相对应,此时 $m_1 = 2$,因此中心波长与 λ_1 吻合,等于 1531.63 nm。图 2(b) 则是铌酸锂调制器调制在 27.2 MHz 时的激光输出,其中心波长为 1532.14 nm,分别与环长为 15.1 m 的靠布喇格波长为 λ_2 的光纤光栅反射的光纤环的二次谐波频率和 λ_2 相吻合。由式(1)可知两光纤环形腔长的差约为 2.5 m,因此两光栅间的中心距离约为 1.25 m,与实验观察一致。

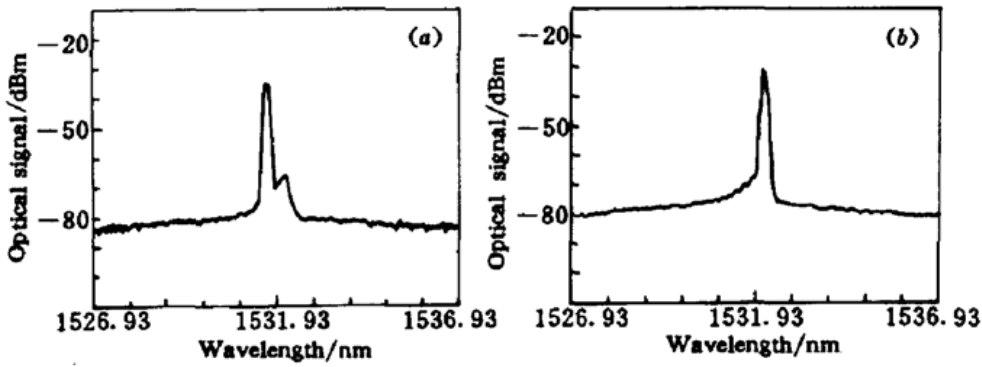


图 2 主动锁模光纤激光器的输出光谱。(a) 锁在 λ_1 时的情况；(b) 锁在 λ_2 时的情况

Fig. 2 Optical spectra of output pulses from the fiber Bragg grating incorporated fiber ring laser of Fig. 1: (a) mode-locked at λ_1 and (b) at λ_2

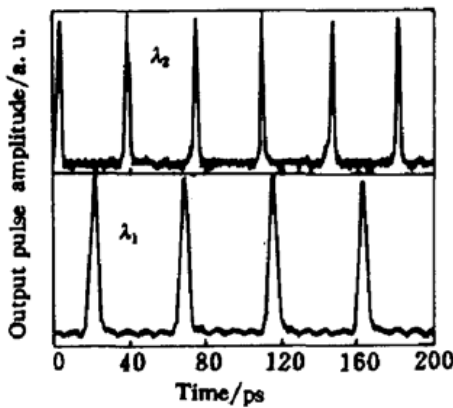


图 3 主动锁模光纤激光器的输出光脉冲序列
(a) 输出脉冲为 λ_1 的情况；
(b) 输出脉冲为 λ_2 的情况

Fig. 3 Optical output pulse waveform from the fiber Bragg grating incorporated fiber ring laser of Fig. 1: (a) mode-locked at λ_1 and (b) at λ_2

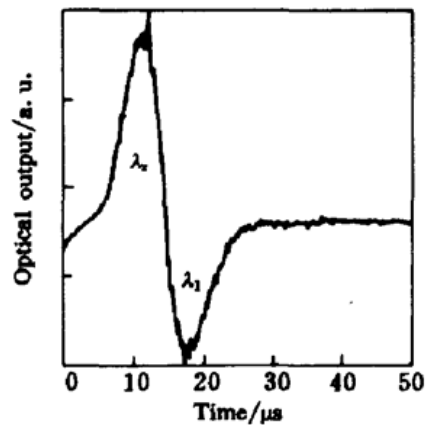


图 4 光纤环形激光器激光建立时间的测量结果，建立时间大约 10 μs 。波长切换的最短时间与这一建立时间相当

Fig. 4 Experimental measurement result which shows the laser establishment time (about 10 μs) of the fiber ring laser. The minimum wavelength switching time is estimated to be on the same order as the establishment time

图 3 给出的是光纤环形激光器分别锁定在 λ_1 和 λ_2 时的激光输出脉冲波形。

光输出脉冲在两波长间的切换速度也是一个非常重要的数据。光纤环中的损耗越小，激光的建立时间就越短，也就越有利于切换速度的提高。我们用实验方法测量了光纤环形激光器的建立时间。为此先去掉光纤光栅 FBG1，让光纤环形激光器受激于 λ_2 上，然后再用一个波长为 $\lambda_x = 1540 \text{ nm}$ 的激光从 FBG2 的输出端注入进光纤环。调节该注入光的强度，使得在它注入时激光环在 λ_2 波长上恰好不起振。然后关闭注入光，让光纤环重新受激于 λ_2 ，测量这段时间便得到了该光纤环形激光器的建立时间。图 4 是在输出端上测得的实验结果。图中的正脉冲记录了波长为 λ_x 的注入光的时间波形，此时激光器在 λ_2 上已不起振。图中的负脉冲记录了在注入脉冲去掉之后，激光在 λ_2 波长上重新建立的过程。由此可以估算出激光建立时间也就是开关切换时间，大约为 10 μs 。

4 结 论

实验演示了内置光纤光栅的主动锁模光纤环形激光器输出光脉冲波长的电切换,这种器件有可能在近期内在光通信和光传感器件中得到应用。

参 考 文 献

- 1 T. Anderson, S. Lundqvist, S. T. Eng. Generation of single-mode picosecond pulses by injection locking of an AlGaAs semiconductor laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**(1): 14~16
- 2 N. Stel'makh, J.-M. Lourtioz, F. H. Julien. Injection-locking of Q-switched AlGaAs laser with fast saturable absorber. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(2): 160~162
- 3 M. Schell, D. Huhse, A. G. Weber *et al.*. 20 nm wavelength tunable singlemode picosecond pulse generation at 1.3 μm by self-seeded gain-switched semiconductor laser. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(23): 2154~2155
- 4 L. P. Barry, R. F. O'Dowd, J. Debaud *et al.*. Tunable transform-limited pulse generation using self-injection locking of an FP laser. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1993, **5**(10): 1132~1134
- 5 D. Huhse, M. Schell, W. Utz *et al.*. Fast wavelength switching of semiconductor laser pulses by self-seeding. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(14): 2018~2020
- 6 Zhao Hao, Ding Hao, Liu Bin *et al.*. Bragg grating photoimprinted in hydrogen loaded optical fibers. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1996, **16**(4): 575~576 (in Chinese)

Electrical Wavelength Switching of an Actively Mode-locked Fiber Bragg Grating Incorporated Fiber Ring Laser

Ding Hao Zhao Hao Zhang Weizai Chen Gaoting Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Li Shenping Chan Kam Tai

(The Chinese University of Hong Kong, Shatin, N. T. Hong Kong)

Abstract Electrical wavelength switching of an actively mode-locked, fiber Bragg grating incorporated fiber ring laser is demonstrated. Output optical pulses from the laser can switch between two wavelengths determined by the Bragg wavelengths of two fiber gratings in the ring at the rate of 10^5 per second.

Key words active mode-locked fiber laser, fiber Bragg grating, optical switching