

可单向和双向运转的自锁模 掺钛蓝宝石环形激光器*

柴 路^{1, 2} 张伟力^{1, 2} 王清月^{1, 2} K. M. Yoo²

1, 天津大学精密仪器与光电子工程学院超快激光研究室, 天津 300072
2, 香港科技大学物理系, 香港

摘 要 首次报道了采用六镜环形腔结构的掺钛蓝宝石激光器。该激光器既可以实现自锁模的单向运转, 也可以实现自锁模的双向同时运转。

关键词 掺钛蓝宝石激光器, 环形腔, 自锁模。

自从在掺钛蓝宝石激光器中第一次观察到自锁模现象以来^[1], 自锁模掺钛蓝宝石激光器已经被广泛地进行研究^[2]。这些工作绝大多数是在驻波腔中实现的。虽然环形腔与驻波腔相比有其特殊的优点, 如较小的增益色散^[3], 应该能够获得相当短的光脉冲。但是到目前为止, 有关自锁模掺钛蓝宝石环形激光器实验工作的报道并不多见。1992 年, Plouch 等人首次在“X”形四镜环形腔中实现了自启动、自锁模、单向运转的掺钛蓝宝石激光器^[4]。他们利用一个腔外反射镜将输出的两束光中的一束反馈回腔内, 形成单向连续波运转, 并使之与输出镜构成一个外腔。通过调整外腔的长度, 使反馈回腔内的光束与原光束满足相干条件, 再加上“振荡”起动机, 从而获得了自启动、自锁模、单向运转的超短激光脉冲。随后, Tamura 等人用腔内插入法拉弟旋转器的方向, 也在同样的腔型中实现了单向自锁模运转^[5]。但是他们的目的只是为了证实锁模自启动的原理^[6]。最近, 国内一些研究组已经对单向连续运转的掺钛蓝宝石激光器进行了研究^[7, 8]。本文描述了一种采用六镜环形腔结构的掺钛蓝宝石激光器, 既可以实现自锁模的单向运转, 也可以实现自锁模的双向同时运转。据作者所知, 这样的工作尚未见报道。

实验采用的六镜环形腔掺钛蓝宝石激光器的结构如图 1 所示。 M_1 、 M_2 、 M_5 和 M_6 是曲率半径为 10 cm 的球面镜, 其中在由 M_1 和 M_2 构成的“Z”形折叠腔中, 放置长度为 2 mm、掺杂浓度 0.25% 的掺钛蓝宝石晶体作为增益介质。 M_5 和 M_6 的引入, 是为了更方便地调整增益介质的激光束腰的大小, 使之与激活体积达到最佳匹配, 从而最大限度地吸取泵浦能量并有助于自锁模的运转。这种调整只需通过改变 M_5 和 M_6 间的距离就可以达到。 M_3 和 M_4 是平面镜, 其中 M_4 为透过率 3% 的输出镜, M_3 是全反镜。两对石英棱镜被用来实现腔内色散补偿。

* 本文得到国家攀登计划及天津大学光电子信息工程开放实验室的资助。

收稿日期: 1996 年 8 月 2 日

激光器泵浦源为一台单模全输出氩离子激光器。自锁模脉冲光束被分成三束, 分别用于监测锁模脉冲的时间序列、频谱和脉冲宽度。锁模脉冲序列由快响应光电二极管接收, 并输入到一台 400 MHz 的双线示波器; 激光频谱用一台具有 0.1 nm 分辨率, 并配有 CCD 探测器的频谱仪监测; 脉冲宽度则采用低色散、无背景的实时相关器测量。

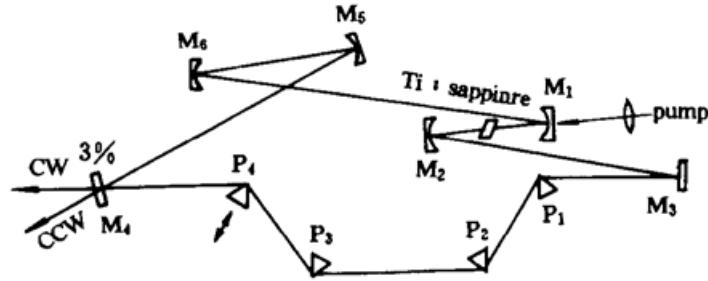


Fig. 1 Schematic of the Ti:Sapphire ring laser. The transmission of the output coupler is 3%

实验中, 首先分别调整 M_1 与 M_2 、 M_5 与 M_6 、以及掺钛蓝宝石晶体到 M_1 的距离, 使两束相向运行的连续波输出功率最大。当泵浦功率为 5W 时, 每束连续波的最大输出功率可达 240 mW。然后沿着激光入射的方向调节 M_5 远离 M_6 , 并配合 M_3 、 M_4 的调整, 使某一方向的输出功率总保持最大。当所监视的这路激光的输出功率下降到其最大输出的三分之二, 甚至到二分之一时, 适当调整插入棱镜的色散补偿量, 并通过轻敲端镜或者快速移动棱镜(P_3 或 P_4) 即可起动自锁模。令人惊奇的是, 采用这种腔型既可以实现自锁模的单向运转, 也可以实现自锁模的双向同时运转。通过调节棱镜 P_4 的插入量, 就可以在单向锁模运转时, 完成抑制另一方向的振荡; 在双向锁模运转时, 可以使两个方向的锁模脉冲序列完全同步。这种双向自锁模运转状态非常稳定, 一般可以维持数个小时至十几个小时。图 2 显示了实验中出现的

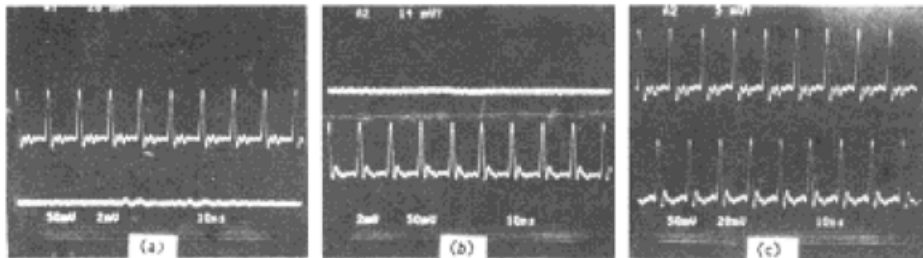


Fig. 2 The typical Mode-locked pulse train. (a) and (b) -Unidirectional mode-locked output occurs in CW and CCW directions respectively; (c) -Bidirectional mode-locked operates in both CW and CCW directions simultaneously

具有代表性的锁模脉冲序列。其中(a)为顺时针(CW)方向运转的锁模脉冲序列; (b)为逆时针(CCW)方向运转的锁模脉冲序列; (c)为双向自锁模运转的脉冲序列。当棱镜对的间隔为 39 cm 时, 可以得到的最短脉冲约为 39 fs。图 3 表示了实验中测量的脉冲相关函数曲线 $\Delta\tau = 39$ fs。插图为相应的光谱, $\Delta\lambda = 23$ nm, $\Delta\tau\Delta\nu = 0.43$ 。本文实验中并没有特意去追求最窄脉冲。值得一提的是, 当泵浦功率为 5 W 时, 单向自锁模运转的输出功率为 240 mW, 而其相应的连续波输出只

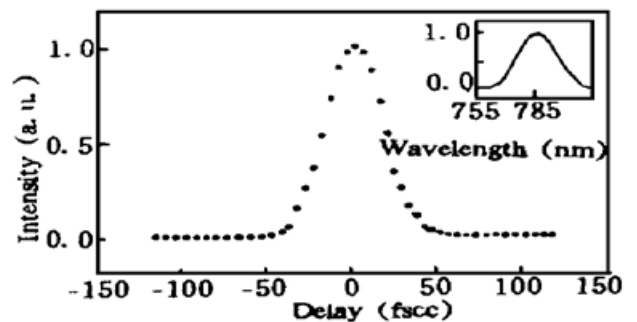


Fig. 3 Background-free autocorrelation trace of mode-locked pulses, $\Delta\tau = 39$ fs. The inset shows an associated spectrum, $\Delta\lambda = 23$ nm. The time-bandwidth product is $\Delta\tau\Delta\nu = 0.43$

有 50~ 60 mW, 即自锁模运转的输出功率比连续波输出功率高约四倍。此外, 双向自锁模运转的总输出功率一般与单向自锁模运转的最大输出功率相等。

总之, 本文首次在一种新的环形掺钛蓝宝石激光器中, 不用任何附加原件(如腔外反射镜、旋光镜等)实现了稳定的单、双向自锁模运转。5W 泵浦时, 得到了脉宽为 39 fs, 输出功率大于 200 mW 的锁模脉冲序列。如果优化腔参数, 采用合适的色散补偿, 获得更窄的锁模脉冲是可能的。

参 考 文 献

- [1] D. E. Spence, P. N. Kean, W. Sibbett, 60-fsec pulse generation from a self-mode-locked Ti:sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(1): 42~ 44
- [2] W. Sibbett, R. S. Grant, D. E. Spence, Broadly tunable femtosecond solid-state laser sources. *Appl. Phys.*, 1994, **B58**(2): 171~ 181
- [3] A. Agnesi, G. C. Real, Exploiting the Z-scan method for mode-locked laser design. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(9): 717~ 719
- [4] W. S. Pelouch, P. E. Powers, C. L. Tang, Self-starting mode-locked ring-cavity Ti:sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(22): 1581~ 1583
- [5] K. Tamura, J. Jacobson, E. P. Ippen *et al.*, Unidirectional ring resonators for self-starting passively mode-locked laser. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(3): 220~ 222
- [6] H. A. Haus, E. P. Ippen, Self-starting of passively mode-locked lasers. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(17): 1331~ 1333
- [7] 王军民, 梁晓燕, 李瑞宁等, 四镜环形腔连续稳频钛宝石激光器. 中国激光, 1994, **A21**(9): 773~ 777
- [8] 孙晓泉, 谢建平, 张运生等, 钛宝石环形激光器的实验研究. 中国激光, 1995, **A22**(1): 13~ 16

Unidirectional and Bidirectional Operation Mode-Locked Ring-Cavity Ti:Sapphire Laser

Chai Lu^{1, 2} Zhang Weili^{1, 2} Wang Chingyue^{1, 2} K. M. Yoo²

1, *Ultrafast Laser Laboratory, College of Precision Instruments and Opt-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*
 2, *Department of Physics, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong*

(Received 2 August 1996)

Abstract A self-mode-locked Ti:sapphire ring laser system with six mirrors has been constructed. It can generate sequences of femtosecond pulses simultaneously in both clockwise and counterclockwise directions.

Key words Ti:sapphire laser, ring-cavity, self-mode-locking.