

# 连续钛宝石激光器自锁模实验研究

张影华 刘玉璞 赵永华 肖纲要

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

**提要** 用本所生长的掺钛宝石晶体和国内的元器件进行钛宝石激光器自锁模实验研究, 获得了最窄脉冲宽度 53 fs, 谱宽 13 nm, 平均功率 200 mW, 调谐范围 750~850 nm 的稳定激光脉冲序列。

**关键词** 自锁模, Kerr 透镜自聚焦, 色散补偿

## 1 引 言

锁模的钛宝石激光器是近红外波段比较可靠的飞秒超短脉冲光源, 在时间分辨的光谱学上有广阔的应用前景。国内外许多科学家都在从事这种激光器的锁模研究, 采用了主动锁模、同步泵浦、带有饱和吸收体的被动锁模、附加脉冲锁模、耦合腔锁模和自锁模等技术来产生超短脉冲。人们特别感兴趣的是自锁模。Spence 等人<sup>[1]</sup>从一台带有色散补偿的自锁模激光器中直接产生 60 fs 超短脉冲, 论证了在多横模腔中的自锁模。L. Spinelli 等人<sup>[2]</sup>用 Kerr 透镜自聚焦锁模模型进行了分析。随之, 这种新的锁模技术发展迅速, 最近已报道了直接从激光器产生 11 fs 的激光脉冲<sup>[3]</sup>。国内近二年已有几个单位开展这项工作。天津大学王清月等人采用进口钛宝石晶体实现了钛宝石激光器自锁模运转<sup>[4,5]</sup>。我们立足于国内元器件, 采用本所生长的掺钛宝石晶体, 本所镀的腔膜片和南京电子管厂 240 型氩离子激光器, 首先对 CW 钛宝石激光器进行了研究, 用 10.6 W Ar<sup>+</sup> 激光全谱线泵浦, 获得了连续输出 2 W 的好结果。在此基础上我们开展了钛宝石激光器的锁模研究工作。本文主要报道连续钛宝石激光器自锁模实验研究的一些进展。

## 2 自锁模的基本原理

自锁模也称 Kerr 透镜锁模(KLM), KLM 是近年来新发展的被动锁模技术。KLM 的锁模机制是由于强光束通过固体激光增益介质(如钛宝石晶体)时非线性折射率效应——Kerr 透镜自聚焦, 在激光谐振腔中这种非线性作用会使振荡腔内空间光强分布形状发生变化, 再在腔内引入一个光阑(硬边或软边), 就能建立起损耗与光强的依赖关系, 即产生了一个被动的振幅调制, 类似于饱和吸收体, 但是, KLM 和通常采用饱和吸收体——染料的被动锁模比较, KLM 没有粒子数受激吸收跃迁过程, 所以 KLM 的有效饱和吸收过程非常快, 称为“快饱和吸收体”。相对来说, 染料被称为“慢饱和吸收体”。由于 KLM 的机理与波长无关, 所以 KLM 对于新的宽调谐固体激光材料产生 fs 脉冲是最有发展前途的锁模技术。



量实验。用一根长为 20 mm, 吸收系数  $\alpha_{490} = 2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $FOM \geq 100$  的钛宝石棒, 色散补偿棱镜(ZF<sub>6</sub>)拉开距离为 45 cm, 获得了好结果, 脉宽  $\leq 100 \text{ fs}$ , 平均功率为 200~300 mW, 波长调谐范围为 750~850 nm。图 2 所示是实时扫描相关器测出的脉宽  $\approx 100 \text{ fs}$  的相关曲线。我们用一根  $4 \times 4 \times 17.5 \text{ mm}^3$ ,  $\alpha_{490} = 1.34 \text{ cm}^{-1}$ ,  $FOM \approx 150$  的钛宝石棒,  $P_1$  和  $P_2$  拉开距离为 35 cm, 获得了较好结果, 如图 3 所示。测出中心波长在 770 nm 的 FWHM  $\Delta\lambda = 8.5 \text{ nm}$ , 脉宽  $\Delta t = 92 \text{ fs}$ , 时间和带宽的乘积为  $\Delta t \cdot \Delta\nu = 0.39$ , 接近于  $\text{Sech}^2$  脉冲的变换极限(0.315), 输出平均功率  $\approx 200 \text{ mW}$ , 激光器运转比较稳定(见图 4 所示的取样示波器图形)。再调整色散棱镜在光路中的色散, 我们还测到  $\Delta t \approx 69 \text{ fs}$  和谱宽  $\Delta\lambda \approx 10 \text{ nm}$  的超短脉冲, 但不稳定, 自锁模常会中断。将一对 ZF<sub>4</sub> 材料的棱镜替换 ZF<sub>6</sub> 棱镜对, 拉开距离为 41 cm, 钛宝石棒仍为长 20 mm, 吸收系数  $\alpha_{490} = 2 \text{ cm}^{-1}$ , 获得了更好的结果, 如图 5 所示。测出中心波长为 780 nm 的 FWHM  $\Delta\lambda = 13 \text{ nm}$ , 脉宽  $\Delta t = 53 \text{ fs}$ ,  $\Delta t \cdot \Delta\nu = 0.34$ , 接近于  $\text{Sech}^2$  脉冲变换极限, 平均功率大于 200 mW。将棱镜对距离缩短至 38.5 cm 时, 谱宽可拉宽到 16 nm。

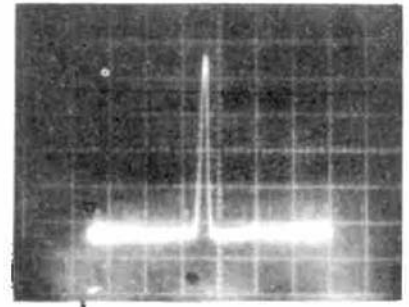


Fig. 2 The real-time scanning intensity autocorrelation trace

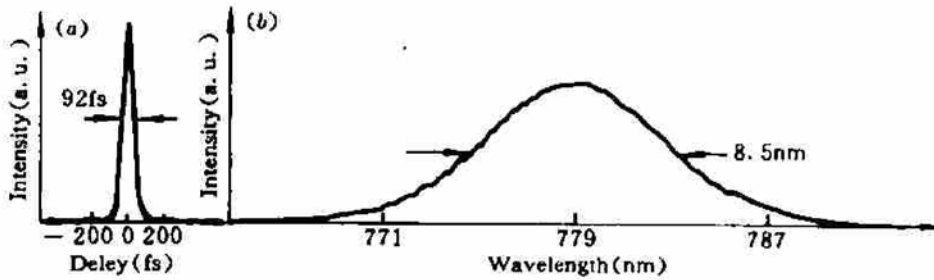


Fig. 3

(a) intensity autocorrelation; (b) the associated spectrum for the self mode-locked Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

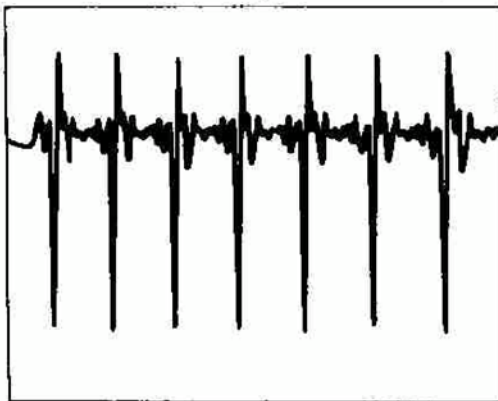


Fig. 4 A pulse train of a self-mode-locked Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser recorded on a sampling oscilloscope

自锁模并不是自启动, 这种自锁模激光器要使锁模开始, 必须对腔有一个干扰(如轻轻拍打  $M_3$  或  $M_4$ )。但同样一些干扰也会使自锁模中断, 我们把端反射镜  $M_4$  固定在一个以 30~40 Hz 正弦波振荡的低频扬声器上, 不但使自锁模容易启动, 而且能长时间维持。这对于泵浦源 Ar<sup>+</sup> 激光器不带方向自准和功率稳定装置(Beam-Lock)的实验系统特别有用。

钛宝石激光器自锁模的实验表明:

4.1 自锁模激光器采用的钛宝石棒必须是光学性能好、增益高, 使腔内达到足够强的激光功率才能发生非线性自聚焦。对于掺钛宝石(Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),  $n_2 = 3 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ , 可以算出自聚焦的阈值功率约为 300 kW<sup>[7]</sup>。另外, 在增益足够的条件下, 应选择较短的棒。这样可以减小色散, 有利于获得较短的脉冲。我们的实验证实了这一点。

4.2 自锁模运转和钛宝石棒在小腔内的位置有关, 一般都不在共焦中心。对于不对称  $M_2M_3 < M_1M_4$ , 棒靠近短臂, 这和文献[8]的理论分析结果相符合。

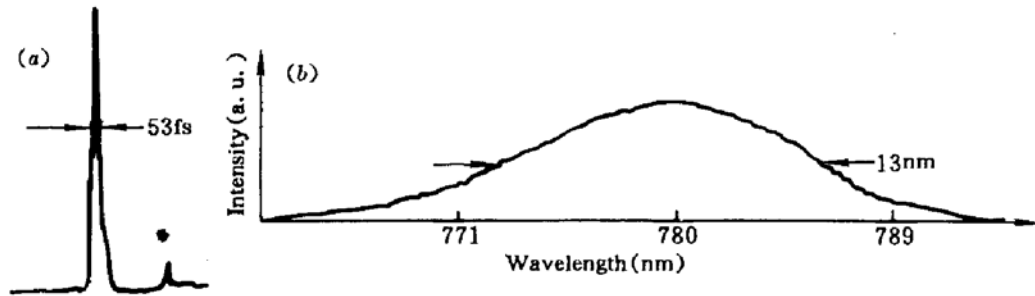


Fig. 5

(a) intensity autocorrelation; (b) the associated spectrum for the self-mode-locked Ti : sapphire laser with ZF<sub>4</sub> intracavity prism pair

4.3 自锁模运转一般在 CW 钛宝石激光器腔稳定区域的边缘,所以当自锁模中断时,CW 输出功率明显下降,而且不稳定,甚至不运转。这结果和文献[8]的理论分析结果也是一致的。

4.4 自锁模激光器的输出脉宽与色散补偿棱镜材料选择有关。计算表明,要获得窄脉冲应尽可能减小腔内的三阶色散量。所以我们采用 ZF<sub>6</sub> 的实验结果要比 ZF<sub>7</sub> 的好,采用 ZF<sub>4</sub> 的结果则更好,这可从图 5 和图 3 的比较中看出。当棱镜材料选定后,激光器的输出脉宽和稳定性对棱镜的调节极为敏感。增加正色散量时脉宽会变窄并趋近于变换极限,但稳定性变差。

**致谢** 作者非常感谢本所邓佩珍、乔景文和张强等同志提供实验中所用的钛宝石棒,李庆国等同志解决了实验所用腔片的镀膜。

### 参 考 文 献

- 1 D. E. Spence, P. N. Kean, W. Sibbett. 60 fs pulse generation from a self-mode-locked Ti : sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16** : 42
- 2 L. Spinell, B. Couillaud, N. Goldblatt *et al.*. Starting of generation of sub-100 fs pulse in Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> by self-focusing. 91' CLEO CPDP7. 583
- 3 Melanie T. Asaki, Chung-Po Huang, Dennis Garvey *et al.*. Generation of 11 fs pulse from a self-mode-locked Ti : sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1993, **18** : 977
- 4 王清月, 戴建明, 向望华 等. 掺钛宝石激光器实现飞秒级自聚焦锁模运转. *光学学报*, 1993, **13**(1) : 93
- 5 邢岐荣, 李 鹏, 张伟力 等. 62 fs 掺钛宝石自锁模激光器. *中国激光*, 1993, **A20**(8) : 584
- 6 刘玉璞, 张影华, 陆培华. 连续可调谐钛宝石激光器的实验研究. *中国激光*, 1993, **A20**(2) : 85
- 7 Francois Salin, Jeff Squier, Michel Piche. Mode locking of Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lasers and self-focussing; a Gaussia approximation. *Opt. Lett.*, 1991, **16** : 1674
- 8 T. Brabec, Ch. Spielmann, P. F. Curley *et al.*. Kerr lens mode locking. *Opt. Lett.*, 1992, **17** : 1292

## Experimental Study of a Self-mode-locked Ti : sapphire laser

Zhang Yinghua Liu Yupu Zhao Yonghua Xiao Gangyao

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

**Abstract** In this paper we present some experimental results for a self-mode-locked Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser, which was designed and set up using Ti : sapphire grown in our institute and all apparatus made in China. A stable laser pulse train with pulse duration of 53 fs, bandwidth of 13 nm, average power of 200 mW, and a tuning range of 750~850 nm have been obtained.

**Key words** self-mode-locking, Kerr self-focusing, dispersion compensation