

# 自启动、长时间稳定、低功率泵浦的超短脉冲 掺钛蓝宝石激光器

徐 冰 周建平\* 王益民 李传东 吴建光 张正泉 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

\* 华盛顿州立大学

掺钛蓝宝石晶体具有宽增益带(660~1100 nm)和大的增益截面( $\sim 3 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ ), 因此用掺钛蓝宝石激光器极易产生超短脉冲、高功率激光。主动锁模、被动锁模、对撞脉冲锁模、耦合腔锁模(APM)以及同步泵浦锁模的掺钛蓝宝石激光器, 都已实现超短脉冲激光输出。更引人瞩目的是在掺钛蓝宝石激光器上采用自锁模技术, 来获得超短脉冲激光。自锁模掺钛蓝宝石激光器的结构简单、运行稳定, 已被广泛应用。目前国际上自锁模掺钛蓝宝石激光器产生的最短脉冲为 8.5 fs<sup>[1]</sup>, 对应的光谱宽度为 151 nm。

掺钛蓝宝石激光器能自锁模产生超短脉冲的机理一般认为是光克尔(Kerr)效应, 即谐振腔内的振荡光通过增益介质产生自聚焦。自聚焦改变振荡光的空间分布, 由于腔内光阑的存在(可分软光阑和硬光阑两种), 振荡光受到一个与强度相关的损耗调制, 在一定条件下, 腔内高功率光束有着更高的透过率。因此对于一个光脉冲, 克尔效应与腔内光阑的联合作用相当于一个快饱和体, 对脉冲的前后沿有压缩作用。

克尔效应产生的自相位调制, 使振荡光频谱展宽。由激光锁模理论可知, 激光的频谱  $\Delta\nu$  越宽, 可能得到的锁模脉冲宽度  $\Delta\tau$  将越窄, 其极限关系可用带宽时间积表示为:  $\Delta\nu\Delta\tau = \text{常数}$ , 对于双曲正割型( $\text{Sech}^2$ )脉冲, 常数为 0.315。由于谐振腔内光学元件产生的色散, 频谱越宽, 群速色散越严重, 为此腔内引入具有对色散起补偿作用的棱镜对, 来增加腔内的负色散量, 以达到压缩脉冲的目的。

为获得超短的脉冲输出, 实验采用高品质因素( $\text{FOM} > 150$ )、高浓度(0.15 wt%)的掺钛蓝宝石棒, 其长度为 4.75 mm。作为腔内元件, 短的掺钛蓝宝石棒可以减小难以补偿的高阶色散的产生。棱镜对的材料选用三阶色散较小( $-230 \text{ fs}^3$ )的熔石英, 它们在腔内的间距为 58.8 cm。激光腔呈典型非对称 X 型, 短臂长 61 cm, 长臂为 102 cm。小腔由两个曲率半径为 100 mm 的凹面镜构成, 掺钛蓝宝石棒置于其中。X 型腔的折叠角为  $13^\circ$ , 如此小的折叠角有利于减小腔内的各种像差和群速色散的影响。为获得高功率输出, 选择在 790 nm 附近透过率为 12.5% 的镜片作为输出耦合镜。腔内没有附加光阑和起动装置。

在氩离子激光 4.0 W 全线泵浦下, 细调掺钛蓝宝石激光器各个光学元件在腔内的位置,

不需要任何人为的扰动,即可自启动锁模。稳定运行时间大于 4 小时以上(受测量时间限制),输出功率为 690 mW,功率起伏小于 5%,脉冲宽度为 38 fs。

在 3.8 W 全线泵浦下,实验获得 24.6 fs 的稳定的锁模脉冲输出,光谱带宽为 34 nm,中心波长在 803 nm,图 1(a)、(b)分别为脉宽测量的自相关曲线和对应的光谱曲线,带宽时间积  $\Delta\nu\Delta\tau = 0.391$ ,接近  $\text{Sech}^2$  脉冲的变换极限 0.315,这表明激光脉冲的群速色散未被完全补偿。这时的输出功率为 490 mW,稳定运行时间大于 2 小时,功率起伏小于 5%。实验中还观测到宽达 53 nm 的光谱带宽,但测到的脉宽也为 24.6 fs,而此带宽可支持 13 fs 的激光脉冲,其原因是激光脉冲在测量时需要通过分光镜、透镜和反射镜等色散元件,脉冲会因此而展宽,实际脉冲可能小于 20 fs。为获得更短的脉冲,对腔外的色散补偿实验研究正在进行中。

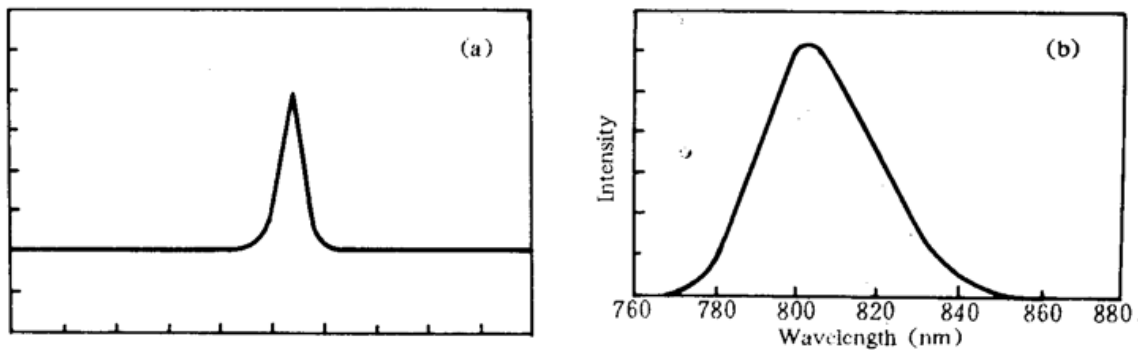


Fig. 1 (a) Sweep intensity autocorrelation trace of the 24.6 fs pulses (46 fs/div), and (b) corresponding spectrum with a FWHM bandwidth of 34 nm

此激光器可以在 1.58 W 泵浦时获得脉宽为 48 fs、稳定的锁模脉冲输出,输出功率为 140 mW。在连续运行时,用透过率为 5% 的输出耦合镜,泵浦阈值功率只有 0.20 W,用透过率为 12.5% 的输出耦合镜,泵浦阈值功率只有 0.88 W,斜率效率达 35%,4 W 泵浦时输出功率为 1.1 W。

作者十分感谢刘玉璞、张影华老师在脉宽,谱宽测量中给予的大力帮助。

### 参 考 文 献

- [1] J. Zhou, G. Taft, C. P. Huang *et al.*, Pulse evolution in a broad-bandwidth Ti:sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1994, 19(15): 1149~1151

## Self-Starting, Stable Ultrashort-Pulsed Ti:Sapphire Laser with Low Pump Power

Xu Bing      Zhou Jianping\*      Wang Yiming      Li Chuandong  
Wu Jianguang      Zhang Zhengquan      Xu Zhizhan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)  
(\* Washington State University)

(Received 1 April 1996)

**Abstract** Self-starting, stable ultrashort-pulsed Ti:sapphire laser with low pump power was demonstrated without additional materials or slit. The laser produced stable pulses of 24.6 fs. A bandwidth of 53 nm was observed which would correspond sub-13 fs according ideal value of 0.315 for time-bandwidth product.

**Key words** self-starting, ultrashort pulse, Ti:sapphire laser