

# 飞秒激光器的进展: 由 19 fs 到 15 fs<sup>\*</sup>

陈颖宇 文锦辉 林位株

(中山大学超快速激光光谱国家重点实验室 物理学系, 广州 510275)

关键词 钛宝石激光器, 自锁模, 飞秒脉冲

分类号 O 437. 5

自锁模钛宝石激光器自 90 年代问世以来, 由于其激光频谱范围宽、能够产生飞秒级超短脉冲、输出功率高、易于锁模、装置简单和工作稳定等优点, 已成为研究超快现象的有力工具, 被广泛地研究. 国际上自锁模激光器直接产生的最短激光脉冲为 8.5 fs<sup>[1]</sup>. 我们在 1995 年获得 19 fs 的全国记录的基础上<sup>[2]</sup>, 进一步优化激光器腔结构, 将激光器产生的脉冲进一步缩短为 15 fs. 这是目前国内报导的直接由这类激光器产生的最短脉冲之一<sup>[3]</sup>.

钛宝石激光器能够自锁模产生超短脉冲的原理是利用钛宝石激光晶体中的克尔透镜 (Kerr) 效应产生自聚焦与自相位调制 (SPM), 使激光器工作频谱展宽. 由激光锁模原理可知, 工作频谱  $\Delta\nu$  越宽, 能得到的脉冲宽度  $\Delta t$  便越窄, 其关系可用带宽时间积表示. 假定激光器产生的脉冲形状为双曲下割型, 则其带宽时间积为  $\Delta\nu\Delta t = 0.315$ . 然而, 工作频谱越宽, 激光器腔内元件引起的群速度色散 (GVD) 又会使脉冲展宽, 限制了脉冲的进一步压缩. 为此, 人们在腔内装置了群速度补偿棱镜对, 使其产生短的脉冲. 由上述可知, 要使钛宝石激光器产生短脉冲的关键是如何增大腔内的自相位调制量, 即增宽工作频谱, 同时又恰当地补偿群速度色散增宽效应.

在以前工作<sup>[2]</sup>的基础上我们又作了几方面的改进: 一方面采用短焦距的泵浦透镜, 减少泵浦光束半径, 增加泵浦光功率密度, 从而增大了 SPM, 有利于激光器工作频谱的展宽.

SPM 引起的频谱的展宽可描述为

$$\Delta\omega(t) = -\frac{\partial}{\partial t} \left[ \left[ \frac{\omega}{c} \right] L \Delta n_f(t) \right]$$

其中, 自聚焦引起的折射率变化  $\Delta n_f(t) = (1/2)n_2 |E(t)|^2$ ,  $E(t)$  为光波电场,  $|E(t)| = E_0 |j(t)|$ ,  $E_0$  为振幅,  $j(t)$  为锁模脉冲的包络. 而采用短的泵浦透镜, 焦点处光波场幅  $E_0$  越大, 频谱也就被展得越宽, 也就越容易获得短的锁模脉冲. 泵浦透镜焦距的选择应该使泵浦光腰与腔模光束锁模时的光腰相匹配. 计算表明泵浦光束光腰选得比腔模光束略为小些, 有利于自锁模. 同时, 通过调节泵浦镜的位置以改变泵浦光腰和共焦参数的位置, 使腔内的损耗调制达到最佳值, 有得于锁模的启动. 有关问题将另文介绍. 另一方面, 仔细调整激光器亚腔长度, 使增益介质的工作区更接近于锁模稳定区的最佳区域<sup>[4]</sup>, 有利于锁模的实现, 同时也使

\* 国家自然科学基金 (69676015) 和广东省自然科学基金资助项目

收稿日期: 1998-05-13 陈颖宇, 男, 25 岁, 研究生

激光器输出模式得到进一步改善.此外,我们还研制了一种新型的自动微调光学准直器,并安装在氩离子激光器的一端镜上,用以稳定输出功率和光束方向,使泵浦光源能长时间保持稳定的输出.这大大地提高了锁模的质量和输出功率的稳定性.

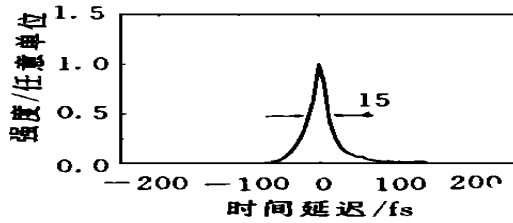


图 1 15 fs 脉冲自相关曲线

Fig. 1 Auto correlation trace of 15 fs laser pulse

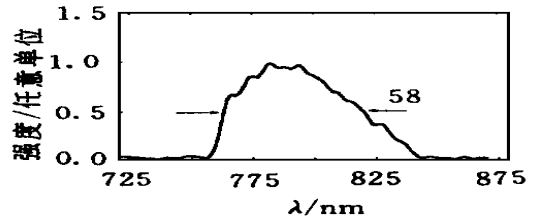


图 2 自锁模钛宝石激光器

输出的脉冲频谱

Fig. 2 Power spectrum of laser pulse

图 1 为由钛宝石激光器输出的飞秒脉冲强度自相关曲线,由此曲线可计得脉冲的全半宽度为 15 fs.图 2 为输出脉冲的功率频谱,全半宽度为 58 nm,中心波长为 792 nm.测量系统分辨率有 1 fs.输出脉冲列的重复频率为 90 MHz,锁模平均功率为 380 mW,5 W 全功率泵浦.测量脉冲自相关曲线时,进行腔外色散补偿,以消除腔外元件对脉冲的展宽.实际上,输出脉冲被色散元件展宽部分尚未被完全补偿,图 1 所示的脉冲强度自相关曲线的下半部分较宽说明仍是啁啾脉冲,进一步仔细调整群速度色散补偿量将能测得更短的转换极限脉冲.

### 参 考 文 献

- 1 Zhou Z, Taft G, Shi C. et al. Sub-10 fs pulse generation in Ti: sapphire capabilities and ultimate limits. *Chem Phys*, 1994, 60(9): 39- 40
- 2 林位株,赖天树,陈毓川,等.自锁模钛宝石激光器中的脉冲压缩. *科学通报*, 1996, 41(6): 495~ 498
- 3 王屹山,陈国夫,赵尚弘,等.宽带扩展腔产生 15 飞秒脉冲实验研究. *光学学报*, 1997, 17(9): 1185 ~ 1188
- 4 Chen Y C, Xiang Y Z, Lai T S, et al. Resonators for self-mode-locking Ti sapphire lasers without apertures. *Opt Lett*, 1996, 21: 1496

## Advance in Femtosecond Laser from 19 fs to 15 fs

Chen Yingyu\* Wen jinhui Lin Weizhu

**Abstract** Optical pulses as short as 15 fs are generated from a self mode-locked Ti: sapphire laser by enhancing self-phase-modulation and optimizing laser cavity configurations.

**Keywords** Ti sapphire laser, self-phase-modulation, femtosecond pulse

\* State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy/Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou, 510275, China