

自锁模钛宝石激光器突破 10 飞秒^{*}

廖睿, 文锦辉, 邓莉, 钟伟彬, 林位株

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室/物理系, 广东 广州 510275)

关键词: 钛宝石飞秒激光器; 克尔透镜锁模; 亚 10 fs 脉冲

中图分类号: TN242; TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 01-0123-02

自锁模钛宝石飞秒激光器以其优越的性能和广泛用途受人们青睐和广泛研究, 特别是在脉冲压缩方面, 人们采用了多种措施, 以获得亚 10 fs 脉冲. 美国 MIT 的研究小组于 1999 年采用双啁啾镜技术, 由该类激光器获得短于 5.4 fs 的脉冲^[1], 这是至今为止直接由此类激光器产生的最短脉冲. 国内的报道为 12 fs^[2]. 我们在自行研制的自锁模钛宝石激光器于 1998 年获得 15 fs 脉冲^[3]的基础上, 进一步优化激光器腔结构, 实现了在 730 ~ 850 nm 范围内连续可调谐自启动锁模运转, 并在 750 nm 附近得到最短为 8.5 fs 的锁模脉冲. 这是目前国内报道的最好结果.

Christov 等^[4]曾指出, 在典型的四镜棱镜对系统的自锁模钛宝石激光器中要获得少于 10 fs 的脉冲是比较困难的. 这首先是因为激光工作频谱引起的群速度色散 (GVD) 的限制, 脉冲越窄, 频谱越宽, GVD 越大, 阻碍了脉冲的进一步压缩, 其中三阶色散通常难于补偿, 而产生非线性啁啾脉冲. 另外, 由于通常采用介质膜反射端镜作激光输出, 其有限带宽将对脉冲频谱有一定的限制作用, 同时, 还需考虑频率依赖的腔模尺寸效应 (FDMS) 的影响^[5]. 这是由于脉冲通过钛宝石晶体时, 自振幅调制 (SAM) 在脉冲的中央峰值附近的效果最为显著, 而自相位调制 (SPM) 使脉冲频谱展宽主要发生在脉冲的前沿和后沿, 这些频谱展宽成分通常要比中央频率附近的成分弱, 产生的 SAM 幅度较小, 因而实际上脉冲的各个频谱成分的腔模光斑大小将出现差异. 由于泵浦光斑尺寸的限制, 各频谱成分所获得的增益放大会不同, 将产生一个频谱过滤器的作用, 限制脉冲带宽的增加. 由于 FDMS 效应的影响, 若采用硬光栏 (小孔或狭缝) 锁模, 则硬光栏对不同频谱成分产生的附加损耗不同, 同样会出现频谱过滤效应, 限制脉冲带宽的增加. 故一般认为, 要得到短于 10 fs 的脉冲, 往往需采取较复杂的措施, 如采用短的高掺杂钛宝石棒, 三阶色散系数小的棱镜对和宽带啁啾反

射镜作为色散补偿器等.

我们在非对称 “X” 型四镜棱镜对激光谐振腔结构中, 采用 5 mm 长的高掺杂短钛宝石晶体和具有较小三阶色散的石英棱镜对, 以获得尽可能小的群速度色散. 另外, 国外研究小组多数使激光器工作于上稳区的下边界, 采用硬光栏锁模. 依据关于自锁模激光器的 “厚透镜” 理论^[6], 改进激光器的设计, 选择亚腔的长度, 让激光器工作在下稳定区的上边界附近, 不用硬光栏, 而用软光栏锁模. 这时在钛宝石棒内腔模光斑将随脉冲强度增大而增大. 调节泵浦光的聚焦使其光斑尺寸大于腔模, 则两光束的耦合将随光强增大而得到改善, 腔模获得的增益会增加, 这是一种自适应的增益放大作用. 利用这种增益调制效应有利于实现自启动锁模, 并能减弱 FDMS 效应的影响, 有利于得到较宽频谱, 这是获得亚 10 fs 脉冲的关键.

图 1 为该激光器产生的短脉冲的强度自相关曲线, 其脉冲宽度随腔外色散补偿量的调节而变短. 当腔外色散补偿不足时, 激光器的输出镜和腔外元件对脉冲的展宽效应明显, 脉冲为前后沿较宽且明显不对称的啁啾形状, 脉宽也较大 (例如曲线 A); 在适当调节腔外色散补偿量, 进一步消除展宽效应的过程 (A → E) 中, 脉冲的前后沿逐渐被压缩, 对称性变好, 脉宽也随之变

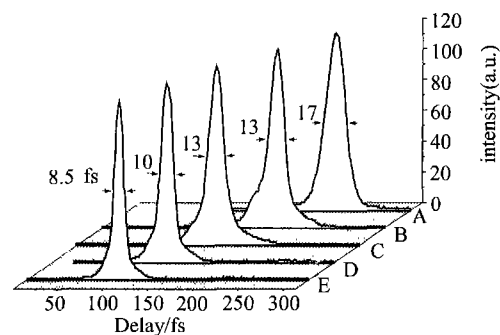


图 1 激光输出脉冲的强度自相关曲线

Fig.1 Intensity autocorrelation traces of laser pulses

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19874082, 69888005); 广东省自然科学基金资助项目 (980368)

收稿日期: 2000-12-04; 作者简介: 廖睿 (1975 -), 男, 博士研究生.

窄;当展宽效应基本被消除时(曲线 E),得到前后沿基本对称的窄脉冲,假设脉冲形状为双曲正割型,可计得脉冲的全半宽度为 8.5 fs. 此时脉冲重复率为 95 MHz,平均功率为 300 mW,泵浦功率为 5 W(氙离子全线).

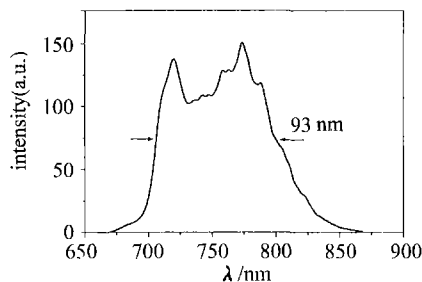


图 2 输出脉冲的功率频谱

Fig.2 Intensity spectrum of the laser pulses

图 2 为相应的输出脉冲功率频谱,全半宽度为 93 nm,中心波长 750 nm. 频谱呈现明显的双峰结构,这是自相位调制和群速度色散在钛宝石晶体中相互作用的结果^[1]. 光脉冲时间带宽乘积

$\Delta\nu \cdot \Delta t = 0.422$, 大于极限值 0.315, 说明群速度色散补偿尚未达到理想程度,进一步的工作获得更短脉冲是可能的.

参考文献:

- [1] MORGNER U, KARTNER F X, CHO S H, et al. Sub-two-cycle pulses from a Kerr-lens mode-locked Ti:sapphire laser[J]. Opt Lett, 1999, 24(6):411-413.
- [2] 王屹山,陈国夫,赵尚弘,等.宽带自锁模钛宝石飞秒激光脉冲的实验研究[J].光子学报,2000,29(3):203-208.
- [3] 陈颖宇,文锦辉,林位株.飞秒激光器的进展:由 19 fs 到 15 fs[J].中山大学学报(自然科学版),1998,37(4):128-129.
- [4] CHRISTOV I P, STOEV V D, MURNANE M M, et al. Sub-10-fs operation of Kerr-lens mode-locked lasers[J]. Opt Lett, 1996, 21(18):1493-1495.
- [5] CUNDIFF S T, KNOX W H, IPPEN E P, et al. Frequency-dependent mode size in broadband Kerr-lens mode locking[J]. Opt Lett, 1996, 21(10):662-664.
- [6] CHEN Y C, LIN W Z. Thick lens model for self-focusing in Kerr medium[J]. Appl Phys Lett, 1998, 73(4):429-431.

Sub-10 fs Pulses Generation from A SML Ti: Sapphire Laser

LIAO Rui, WEN Jin-hui, DENG Li, ZHONG Wei-bin, LIN Wei-zhu

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

Abstract: As short as 8.5 fs pulses have been generated from a home made self-start self-mode-locking Ti: sapphire laser. With higher Ti doped, shorter laser rod, lower third order group velocity dispersion prism pair, and larger gain modulation operation condition, the laser possesses the potential of generating sub-10 femtosecond.

Keywords: femtosecond Ti: sapphire laser; Kerr-lens mode-locking; sub 10 femtosecond

(上接第 122 页)

Synthesis and Characterization of Amphoteric Copolymers Containing Carboxybetaine Groups

DENG Ming-an, ZHANG Li-ming

(Institute of Polymer Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A series of new amphoteric copolymers containing carboxybetaine groups were prepared by the reaction of acrylamide with the zwitterionic monomer 2- (2-methacryloethylidimethylammonio) ethanoate. The effects of feeding ratio, initiator type and concentration on the copolymerization were studied. The obtained copolymer was characterized by FTIR, ¹H NMR and ¹³C NMR.

Keywords: polyampholytes; carboxybetaine-type zwitterionic monomer; acrylamide; copolymerization; structural characterization