

## 碰撞锁模染料激光器中激光脉冲的 啾啾特性及其色散补偿

张国轩 张影华 傅宝祥

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 从实验上研究了碰撞锁模染料激光器中激光脉冲的啾啾性质。分析了采用两块棱镜组成的棱镜对进行内腔补偿时,棱镜对的色散对输出激光脉冲的宽度、稳定性及光谱特性的影响。

### Laser pulse chirping and its compensation in colliding-pulse mode-locked dye laser

Zhang Guoxuan, Zhang Yinghua, Fu Baoxiang

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

**Abstract:** Laser pulse chirping has been observed experimentally in our CPM laser. Using intracavity compensation by a prism-pair consisted of two prisms, effect of group velocity dispersion of the prism-pair on duration, stability and spectral characters of laser pulses is studied experimentally.

近几年来,大量的理论和实验研究工作指出<sup>[1~4]</sup>,在碰撞锁模染料激光器(CPM)中,除了增益和吸收的饱和特性对超短脉冲的形成起重要作用外,内腔元件的自相位调制和群速色散会引起光脉冲的频率啾啾,因而啾啾补偿对得到短而且稳定的 fs( $10^{-15}$ s) 脉冲是十分重要的。我们用外腔补偿的方法,观察到我们的 CPM 染料激光器有明显的正啾啾。当腔内插入两块棱镜进行色散补偿时,观察到补偿后的脉冲宽度及稳定性有明显的改善,相关波形也有明显变化,也观察到不同程度的色散补偿时激光光谱的变化。

### 一、实验装置

CPM 染料激光器由作为增益的 R6G 喷流(厚约  $200\ \mu\text{m}$ )和作为吸收体的 DODCI 喷流(厚约  $30\ \mu\text{m}$ )及六块单堆多层介质膜反射镜组成,如图 1 所示。由氩离子激光全泵浦,泵浦功率为  $3\sim 5.5\ \text{W}$ 。

$M_1$ 、 $M_6$  为平面镜,  $M_2$ 、 $M_3$  为  $R=100\ \text{mm}$  的凹面镜,  $M_4$ 、 $M_5$  为  $R=50\ \text{mm}$  的凹面镜,  $M_1$  透过率约为  $2.5\%$ ,其余均涂宽带高反膜,中心波长约为  $615.0\ \text{nm}$ 。当未插色散

收稿日期:1987年3月16日。

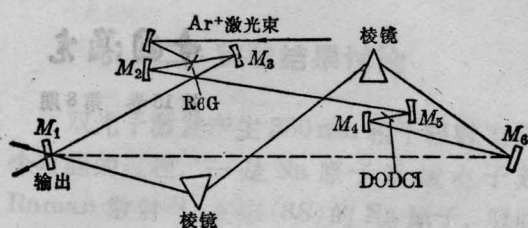


图1 CPM 激光器的腔构型

棱镜时,  $M_1$ 、 $M_6$  镜之间的光路取虚线所示的路线, 构成一般的六镜环形腔。腔长约为 3600 mm。

激光脉冲宽度用两台无背景的二次谐波自相关器测量, 一台是带步进马达的慢扫描自相关器, 一台是带喇叭的实时扫描自相关器。倍频晶体分别用厚度为 0.5mm 的 KDP 和 1mm 的 ADP。输出光谱用一米光栅光谱仪记录。

## 二、CPM 染料激光器的啁啾特性

用在腔外使激光束通过不同色散特性的元件后观察脉冲宽度的变化的方法来判断染料激光器的啁啾特性。当使一般的 CPM 染料激光器(内腔未加棱镜)的输出光束通过不同长度的铍玻璃棒(正色散介质)时, 在实时相关器上观察到脉宽随介质长度增加明显增宽, 如图 2 所示。此时, DODCI 浓度为  $0.75 \times 10^{-3} \text{ M/l}$ 。

当 CPM 染料激光器的输出光束通过由图 3 所示的顶角为 68.7 度的石英棱镜对,

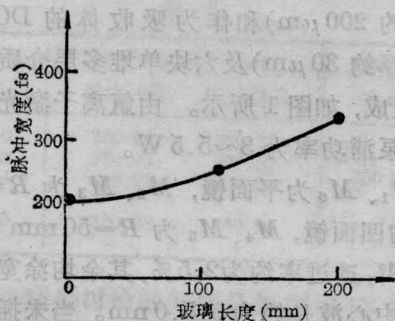


图2 脉冲宽度与铍玻璃棒长度的关系

当棱镜的间距  $L \approx 500 \text{ mm}$  时, 在实时相关器上观察到输出脉宽从 234 fs 减小到 195 fs。由图易见, 棱镜对有负的群速色散。表明我们的 CPM 染料激光器的输出有正啁啾特性。

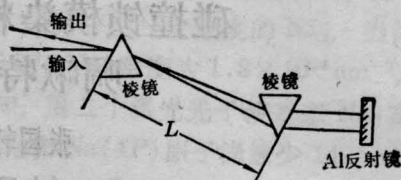


图3 用作外腔压缩的棱镜对光路图

## 三、采用棱镜对的啁啾补偿

我们采用如图 1 所示的内腔插入两块布鲁斯特角石英棱镜的方法实现色散补偿, 总的色散可平动其中任一块棱镜进行调节, 此时  $M_1$ 、 $M_6$  镜之间的光线沿实线进行。这种方法调整方便, 与四棱镜的方法比内腔损耗小, 也易改成一般的不加棱镜的六镜环形腔进行比较。

图 4 表示 DODCI 浓度为  $0.75 \times 10^{-3} \text{ M/l}$ , 棱镜间距为 320 mm 时, 色散补偿前后的相关曲线。由图可见, 补偿后的相关波形明显变窄, 脉宽成倍地缩小, 相关曲线的底部也明显缩小, 表明能量分布更加集中。从实时相关器的示波器上观察到的相关曲线也可看出脉冲的稳定性也有较明显的提高。在未加棱镜补偿时, 相关波形半宽较宽, 线迹较粗而且模糊, 波形也不易稳定, 波形的幅度和宽度有明显的抖动, 而加棱镜补偿后的相关波形不但明显变窄, 清晰而稳定, 即使扩大  $\alpha$  轴扫描幅度而展宽波形时, 波形仍比较稳定。此时从棱镜的通光位置看补偿仍嫌不足(负群速色散仍嫌小), 所以我们把棱镜的间距改成 560 mm。当 DODCI 浓度增加到  $1.5 \times 10^{-3} \text{ M/l}$  时, 脉宽进一步变窄, 脉冲的稳定性及再现性也较好, 我们用慢扫描自相关器连续测

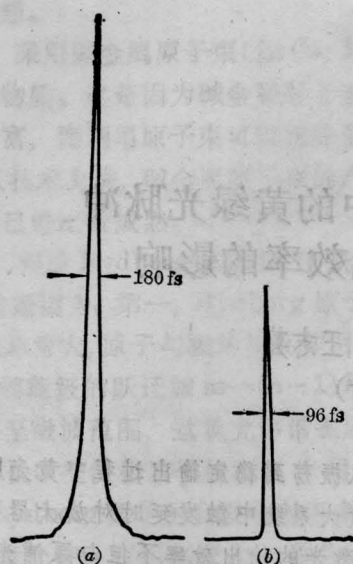


图4 色散补偿前后的自相关曲线  
(DODCI  $0.75 \times 10^{-3}$  M/l, 两棱镜距离  $L=320$  mm)  
(a) 无补偿; (b) 用棱镜对补偿

量了十几个自相关波形, 测量的脉宽为 78~83 fs, 输出功率约为 8~10 mW。

图5为 DODCI 浓度为  $1.5 \times 10^{-3}$  M/l, 棱镜间距  $L=560$  mm, 较佳补偿时的相关波形, 脉宽为 78 fs (以上均假设脉冲形状为  $\text{sech}^2$  双曲正割), 光谱宽度约 7.0 nm。

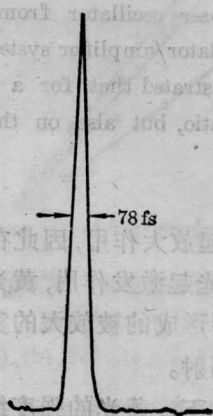


图5 78 fs 锁模脉冲自相关曲线  
(DODCI  $1.5 \times 10^{-3}$  M/l,  $L=560$  mm)

我们还观察了不同内腔色散时 CPM 染料激光器的输出光谱。图6表示在最佳锁模状态下, 不同内腔色散时的光谱, 其中(a)为

未加补偿时的光谱, (b)为最佳色散补偿时的光谱, 此时得到的脉冲最窄。(c)为过补偿时(即负色散过大)的光谱。大量的实验都重复这些结果。由图可见, 在未加补偿时, 光谱的短波处较强, 长波处变弱, 形成如图(a)所示的不对称性。过补偿时, 其光谱的不对称性正好相反。在较佳补偿时, 光谱的强度分布变得较对称, 而且半宽也增加。

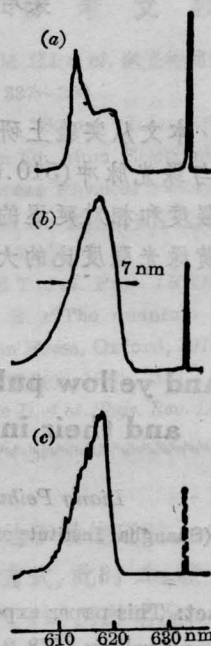


图6 CPM 激光输出谱与腔内色散的关系  
(a) 无色散补偿; (b) 由棱镜对产生最佳补偿压缩; (c) 棱镜对产生过量补偿; 右边锐线是 He-Ne 激光线

刘玉璞同志参加了部分工作。对吴瑞昆、陈韬略两同志实验上的支持表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Martinez O E *et al.* *Opt. Lett.*, 1984; **9**(5): 156
- 2 Vadmanis J A *et al.* *Opt. Lett.*, 1985; **10**(3): 131
- 3 Dietel W *et al.* *Opt. Lett.*, 1983; **8**(1): 4
- 4 Rudolph W *et al.* *Appl. Phys.*, 1984; **B35** (1): 37