

## 飞秒染料激光器中啁啾和色散特性的实验研究\*

王清月 赵兴俊 向望华

(天津大学精仪系)

## Experimental investigation on chirping and dispersion characteristics of fs pulsed dye lasers

Wang Qingyue, Zhao Xingjun, Xiang Wanghua

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin)

提要: 本文描述了可调谐飞秒染料激光器的腔体结构和运转特性。研究了脉宽、稳定性、色散和自相位调制之间的关系, 实现了 25 飞秒的超短光脉冲的锁模运转。

关键词: 飞秒, 染料激光器, 啁啾, 色散

## 一、导 言

自从 1972 年第一台被动锁模染料激光器<sup>[1]</sup>问世以来, 染料锁模激光器的光脉冲宽度已由 ps 量级进入 fs 量级。近几年的研究<sup>[2~4]</sup>表明, 在脉冲宽度小于 100 fs 后, 腔内的色散和自相位调制变得十分重要。起初, 人们认为这些因素都会妨碍脉冲宽度的进一步压缩, 但近期的一些分析表明<sup>[4~6]</sup>, 当脉冲经过自相位调制后, 具有了啁啾, 再用适当的色散来补偿并将脉冲压缩是完全可能的。

我们用一个四棱镜系统来调节腔内的色散, 并调节可饱和吸收体 DODCI 喷流相对于腔内光束焦点的位置, 相当于调节了腔内自相位调制量, 在最佳条件下, 得到脉宽为 25 fs 的光脉冲, 并且得到了频率可调谐的光脉冲输出。

## 二、腔体结构

激光器腔体如图 1 所示。六个反射镜组成一个环形腔, 在腔内有一个四棱镜系统来控制腔内的色散。

对每一个腔镜, 都使入射光的入射角尽量小。否则, 不仅在反射镜  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  和  $M_4$  处会造成很严重的像散。而且当反射镜的中心反射波长与激光

的中心波长有偏差时, 将产生有色散效应<sup>[5]</sup>。图 1 中镜  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_5$  和  $M_6$  都是单膜系的, 其产生的色散为  $10^{-30}\text{s}^2$  量级, 对脉冲的影响可忽略; 镜  $M_3$ 、 $M_4$  用的是双膜系反射镜, 其产生的色散量约在  $10^{-28}\text{s}^2$ , 会对脉冲产生影响。我们恰恰是利用这两个双膜系的反射镜产生色散来补偿脉冲中的啁啾, 以压缩脉冲。但其色散量不可调, 所以又引入四棱镜系统, 从而可方便连续地调节腔内色散量, 使激光器处于最佳的运转条件。输出镜的透射率是 2%, 既可获得较大的输出功率, 又可保证腔内有较高的光强密度, 以产生较强的自相位调制并增加锁模的谱带宽度。 $M_1$  和  $M_2$  的焦距为 2.50 cm。 $M_3$  和  $M_4$  的焦距分别是

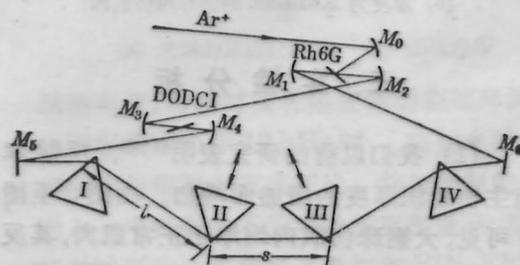


图 1 具有四棱镜系统的六反射镜环形腔示意图

\* 本项目为国家自然科学基金资助项目。

1.25 和 2.50 cm。环形染料激光器的总腔长是 3m，两个喷流间的距离为腔长的四分之一。

两个喷流的溶剂皆为乙二醇。对增益喷流，其喷嘴厚度是 200  $\mu\text{m}$ ，液体经加压喷出后，喷流最薄处的厚度在 120~160  $\mu\text{m}$  之间。对可饱和吸收喷流，其喷嘴厚度是 100  $\mu\text{m}$ ，喷流最薄处的厚度在 30~50  $\mu\text{m}$  之间。可饱和吸收体 DODCI 的浓度<sup>[6]</sup>及其喷流的位置对脉冲宽度的影响是显著的。

为了得到短的稳定的光脉冲，增益介质 Rh6G 必须经常更新，一般使用时间不超过 100 小时。不然，不仅影响激光效率，而且其发光频带变窄，使锁模变坏。

四棱镜系统被用来控制腔内的色散和实现频率可调谐<sup>[4]</sup>。设计要求，对每一个棱镜而言，光线都以布儒斯特角入射，也以布儒斯特角出射，并且光线处于最小偏向角位置上，为的是把四棱镜系统的光损耗降到最小。各个棱镜的调整装置都设计成能够沿着各自棱镜顶角平分线方向平动。平动 II 或 III 两个棱镜中的任何一个即可改变色散量，平动另一个即可改变激光器的谐振频率<sup>[4]</sup>。四棱镜系统所能产生的最大负色散是与棱镜 I 和 II(或 III 和 IV) 顶点间的距离  $l$  成正比的，与棱镜 II 和 III 顶点间的距离  $s$  无关<sup>[7]</sup>。因此，距离  $l$  必须足够长才能补偿由于光通过各棱镜时该介质对光的正色散。对一般的无色光学玻璃做成的棱镜(如熔石英)，如果使光在棱镜顶点处通过，且光斑直径不超过 2mm， $l$  约为 20cm。

### 三、运转特性及讨论

一般情况下，激光器输出的光脉冲序列的脉宽在 30~50fs 之间，两脉冲的间隔是 10ns。当所用输出镜的透过率为 2% 时，得到的输出功率约 20mW。这时氦离子激光功率为 4W(全线输出)。最近，适当地调节四棱镜系统以控制色散并调节 DODCI 喷流的位置以控制自相位调制，得到了 25fs 的窄脉冲输出，图 2 为测得的锁模脉冲的二阶自相关函数曲线。在上述情况下，腔内每个脉冲的能量约为 10 nJ，对应的峰值功率约为 300 kW。由于光是聚焦后照射到增益介质喷流和可饱和吸收喷流上的，在喷流上的光斑面积均为  $10^{-6}\text{cm}^2$ 。

调节中间两个棱镜中的任意一个，即可获得频率可调谐的脉冲光和连续光。不加 DODCI 喷流，我们得到了波长从 578.0 到 600.0 nm 连续可调的非脉冲光。加上 DODCI 喷流，得到了波长从 605.5 到 618.5 nm 连续可调谐的超短脉冲光。此外，调节中

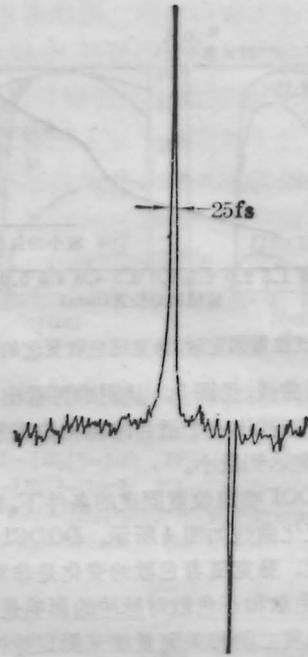


图 2 脉宽为 25fs 的锁模脉冲的自相关函数图形

间棱镜中的另一个，可改变腔内的色散，调谐脉宽。由最窄脉冲所对应的色散量开始，减小正色散量(即等效于增加负色散量)，光的脉宽也不断加宽，并且伴随着输出功率的增加，我们得到了脉宽为 500fs 的最宽脉冲，并且从 500 fs 到几十 fs 间连续可调。

实验中发现，在 DODCI 喷流位置不改变的情况下，激光器的稳定性是随着腔内负色散量的增加而提高的。当负色散量小到一定值后，如果再减少负色散量，将突然进入非稳定域，没有锁模激光输出。这个负色散量所对应的脉冲，就是 DODCI 喷流在该位置下所能得到的最窄脉宽的脉冲。

在泵浦功率和腔内色散量固定的条件下，我们测得了 DODCI 喷流位置(相当于自相位调制量)与

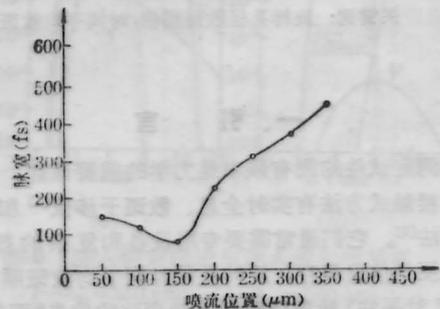


图 3 腔内色散一定时，自相位调制与脉冲宽度的关系曲线

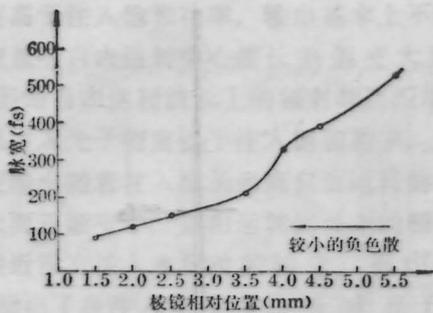


图4 喷流位置固定时,脉宽随色散变化的关系曲线

脉宽的关系曲线,见图3。从图中可看出,对某一个色散量,可以找出一个适当的自相位调制量与之相匹配,使脉宽达到最小。

在DODCI喷流位置固定的条件下,测得的脉宽随色散的变化曲线如图4所示。DODCI喷流没处在最佳位置。脉宽随着色散的变化是非对称的。也就是说,负色散和正色散对脉冲的影响是不同的。

采用强度二阶相关测量法来测定脉冲宽度。由

于光脉冲是很可能带有啁啾的,当带有啁啾的脉冲通过色散介质时,会被展宽或压缩,所以在短脉冲光的测量中,应尽量使光少通过或不通过色散介质,否则会带来测量误差。因此,我们将测量装置中各个用来反射光的棱镜换成了中空棱镜,从而减小测量系统对光脉冲形状的影响。

### 参 考 文 献

- 1 E P Ippen *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **21**, 348 (1972)
- 2 R L Fork *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 671(1981)
- 3 Ching-yun Wang *et al.*, *Opt. Commun.* to be published
- 4 Ching-yun Wang *et al.*, *Opt. Commun.*, to be published
- 5 W Dietel *et al.*, *Opt. Commun.*, **50**, 179(1984)
- 6 王清月 *et al.*, *光学学报*, **8**, 320(1988)
- 7 R L Fork *et al.*, *Opt. Lett.*, **9**, 150(1984)

(收稿日期: 1987年9月21日)

## 旋转孔径时间平均散斑照相法

顾 杰 沈永昭

(苏州大学物理系)

### Rotating aperture time-averaged speckle photography

Gu Jie, Sheng Yongzhao

(Department of Physics, Suzhou University, Suzhou)

摘要: 本文将旋转孔径散斑照相法和时间平均散斑照相法结合,提出了适合于研究振动模式、测定试件固有频率的新方法。具有精度高、非接触式测量、全场显示、防震要求低等特点。给出了理论分析和实验证明。

关键词: 旋转孔径散斑照相, 时间平均散斑照相

### 一、引 言

测定试件的固有频率是力学的重要课题。常见的非接触式方法有实时全息、散斑干涉仪<sup>[1]</sup>和电子散斑法<sup>[2]</sup>。它们通常需要专用设备和复杂的技术,且不利于信息保存。旋转孔径时间平均散斑照相法(转孔时平法)能把随时间连续变化的信息“固化”存储在一张散斑图上,并可作“实时”分析,提取任意时刻的信息<sup>[3]</sup>。

### 二、原 理

散斑图的空间频率成份取决于照相孔径的形状和位置。图1中内部两圆表示任意时间 $t$ 双孔处于 $\theta$ 位置( $\theta_0$ 是开始曝光时的位置)。在曝光时间 $T$ 内使频率 $\nu$ 在所研究的频带内连续变化,则有

$$\nu = \nu(t), \nu(0) = \nu_i, \nu(T) = \nu_e \quad (1)$$

令时间 $T$ 内双孔旋转半圈,则有