

脉冲碰撞锁模环形染料激光器的研究

王清月 邢歧荣 向望华 龚正烈 章若冰 张忱

(天津大学精仪系)

提 要

本文对脉冲碰撞锁模(CPM)环形染料激光器进行了系统的实验研究,给出了DODCI浓度、泵浦功率和锁模脉冲宽度的实验曲线,以及染料喷流厚度对锁模的影响。在最佳参数条件下,得到90 fs的富利叶变换极限的锁模脉冲宽度。

一、引 言

1981年美国贝尔实验室的Fork^[1]等人实现了环形染料激光器的脉冲碰撞锁模(CPM)运转,第一次将激光器锁模脉宽压缩至fs量级,并在稳定性和输出功率方面都有所突破,从而形成超短激光脉冲的最新技术——CPM技术。此后该项原理先后被用到固体激光器^[2]和氩离子激光器^[3]。最近,王清月等人^[4]又在环形腔中实现了氩离子和染料的脉冲碰撞双锁模(简称DCPM),从而将CPM技术由单一波长运转推向双波长运转。

鉴于CPM技术在超短激光脉冲技术中所起的重要作用,许多人对其物理模型、锁模机理和动力学过程进行了理论描述和计算。但是,到目前为止,关于CPM技术的各参数之间的关系系统的实验研究还很少见报道。本文就CPM环形染料激光器的泵浦功率、DOD-CI浓度和脉冲宽度的关系,染料喷流厚度、泵浦功率和脉冲宽度之间的关系等进行了系统的实验研究,并得到90 fs富利叶变换极限的锁模脉宽。

二、实验描述

本文采用的实验装置如图1所示。氩离子激光器的全谱输出作为泵浦源,染料激光器

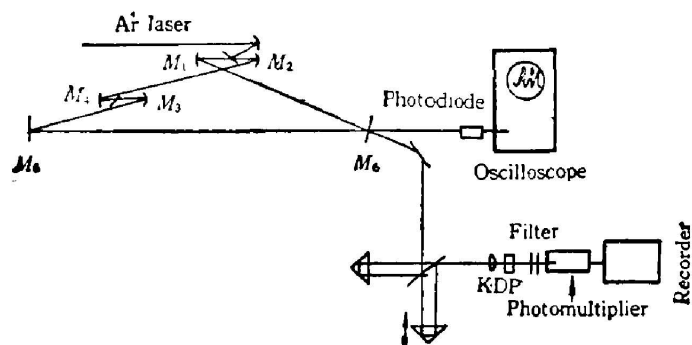


Fig. 1

谐振腔由六面反射镜组成,比 Fork^[1] 等人的谐振腔简化,且各个镜面处激光光束夹角很小。减少了透射损耗。采用该结构能非常方便地调整从若丹明 6G 喷流沿顺时针方向到 DODCI 喷流的光程和沿逆时针方向的光程之比为 3:1,以保证碰撞脉冲强度的对称性和瞬态粒子数分布光栅的锁模效果^[5]。其中反射镜 M_1, M_2, M_3 的曲率半径为 5 cm, M_4 为 2.2 cm, M_5 和 M_6 为平面镜, M_6 的透射率为 3%,腔长为 2.4 m。响应时间为 300 ps 的光二极管和 250 MHz 示波器用来监测激光器的锁模运转情况,并用来判断谐振腔是否调到最佳位置,这对于具有四个小曲率半径的谐振腔的调整是非常重要的,因为从理论上^[6]和本实验都发现,曲面镜的位置和角度的微小调整都会严重影响锁模状态。示波器上脉冲的高幅值和大的反冲对应着谐振腔的最佳调整和最佳锁模状态。图 2(a) 所示为最佳调整状态下的锁模脉冲序列,其相对应的相关函数曲线示于图 2(b)。图 3(a) 和 3(b) 给出了小的失谐时示波器波形及其对应的锁模脉冲相关函数曲线。

本实验的相关测量采用共线 I 类匹配,晶体 KDP 的厚度为 1.1 mm,透镜焦距为 3 cm。

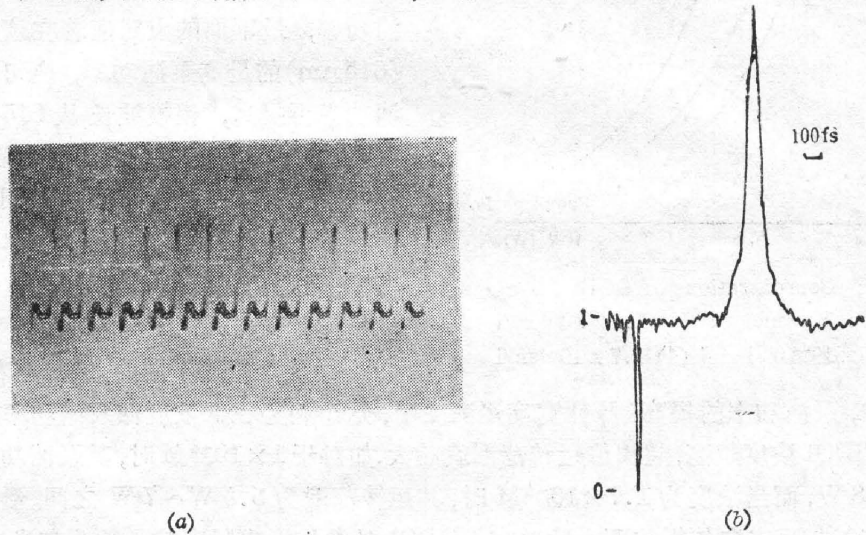


Fig. 2

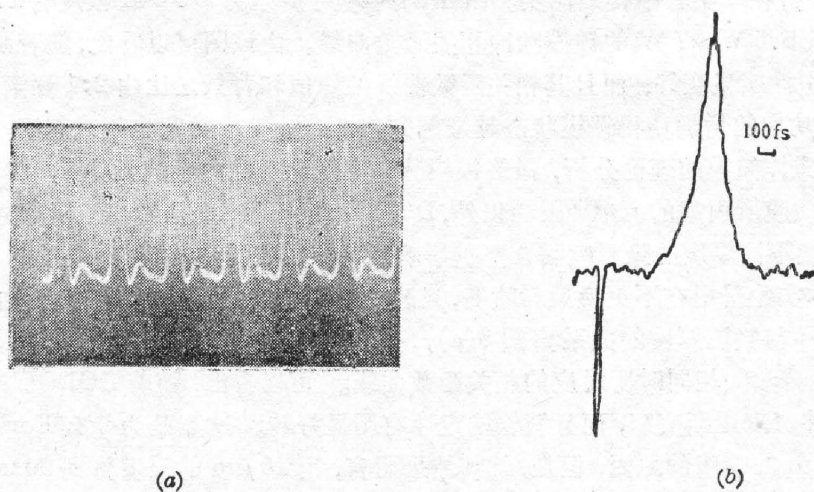


Fig. 3

特别值得提出的是,本实验给出极窄的脉冲宽度(90 fs)和较高的平均输出功率(40 mW),这对应着 3.2 kW 的峰值功率,再加之锁模状态的高度稳定性,因此二次谐波的信噪比极高,这使得通常测量脉宽所必须的斩波器和锁相放大器在我们的测量系统中不再必要。本文给出的所有相关函数曲线都是在没有斩波器和锁相放大器的情况下获得的。这对于简化超短激光脉冲的测量系统是一次成功的尝试。

三、实验结果

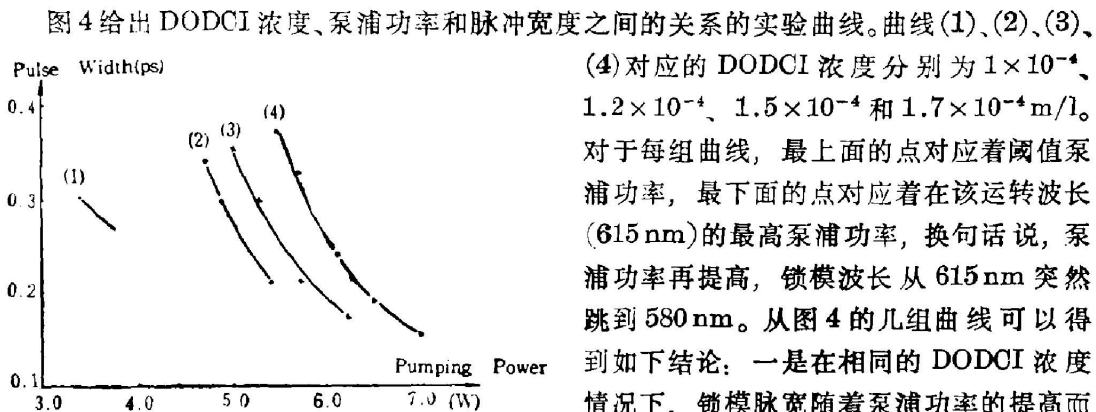


Fig. 4 Concentrations of DODCI are (1) 1.0×10^{-4} m/l, (2) 1.2×10^{-4} m/l, (3) 1.5×10^{-4} m/l and (4) 1.7×10^{-4} m/l

图4给出 DODCI 浓度、泵浦功率和脉冲宽度之间的关系的实验曲线。曲线(1)、(2)、(3)、(4)对应的 DODCI 浓度分别为 1×10^{-4} 、 1.2×10^{-4} 、 1.5×10^{-4} 和 1.7×10^{-4} m/l。对于每组曲线,最上面的点对应着阈值泵浦功率,最下面的点对应着在该运转波长(615 nm)的最高泵浦功率,换句话说,泵浦功率再提高,锁模波长从 615 nm 突然跳到 580 nm。从图4的几组曲线可以得到如下结论:一是在相同的 DODCI 浓度情况下,锁模脉宽随着泵浦功率的提高而变窄,直到在该波长不能锁定,这与一般被动锁模激光器只能工作在泵浦阈值以上 5%~7% 是截然不同的;二是随着 DODCI

浓度的增加,泵浦功率的提高,脉冲宽度逐渐变窄,这个趋势在低浓度低泵浦功率时尤其明显;三是 DODCI 浓度越高,超阈值运转范围就越大,如对于 1×10^{-4} M 时,其泵浦功率范围在 4.4 W~4.8 W,而当浓度为 1.7×10^{-4} M 时,其运转范围为 5.5 W~7 W 之间。形成上述特点的原因在于相反方向传播的两个脉冲在 DODCI 处叠加形成瞬态粒子数分布光栅效应所致,这一理论分析在本实验中得到证实。图 5(a)~5(d) 所示为 DODCI 浓度为 1.7×10^{-4} M 时,泵浦功率从 5.5 W~7 W 的锁模脉冲相关函数曲线。由该图可以看出,随着泵浦功率的提高,不仅稳定性明显变好,而且其相关函数曲线的峰值和背景之比由 2:1 逐渐趋向 3:1,这意味着泵浦功率的增加使得锁模状态越来越完善,因此,锁模脉宽也越来越窄。

根据脉冲碰撞锁模的理论分析,最终锁模脉冲宽度除受腔内色散元件^[7],自相位调制,反射镜多层介质膜所引起的啁啾^[8]限制以外,DODCI 喷流的厚度是影响锁模脉宽的另一因素^[9]。鉴于更换不同厚度的染料喷嘴会严重影响对谐振腔的调整,给实验结果的比较带来复杂的因素,本实验采用在不更换染料喷嘴,只改变喷流速度,从而改变喷流厚度的方法,研究锁模运转特性与喷流厚度的关系。图 6(a), (b), (c) 分别为喷流厚度 100 μ m, 90 μ m 和 80 μ m,其他运转参数相同时所对应的相关函数曲线。可以看出,随着 DODCI 喷流厚度的变薄,不仅脉冲宽度逐渐变窄,而且锁模稳定性有明显好转。这正是为什么 Fork 等人^[1]采用厚度为 10 μ m 的喷嘴的原因,但是,就其结果而言,用 10 μ m 的喷嘴得到 90 fs 的锁模脉宽,其实验参数并没有运转在最佳状态。

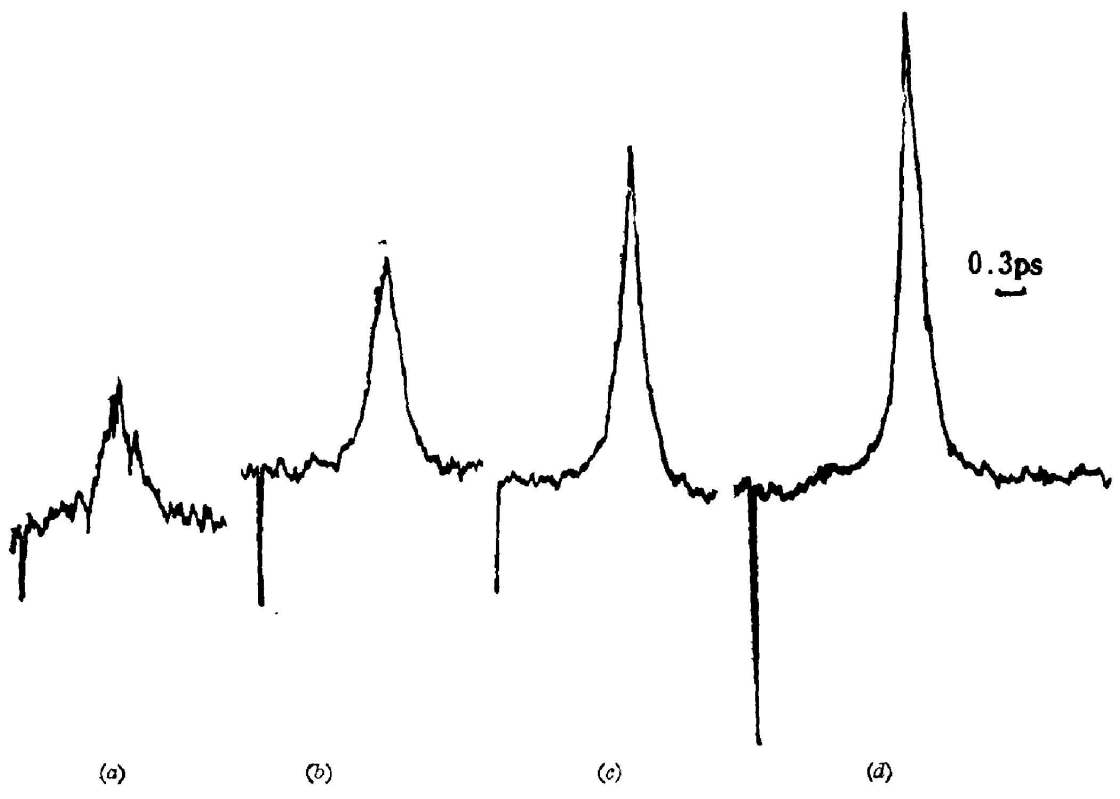


Fig. 5

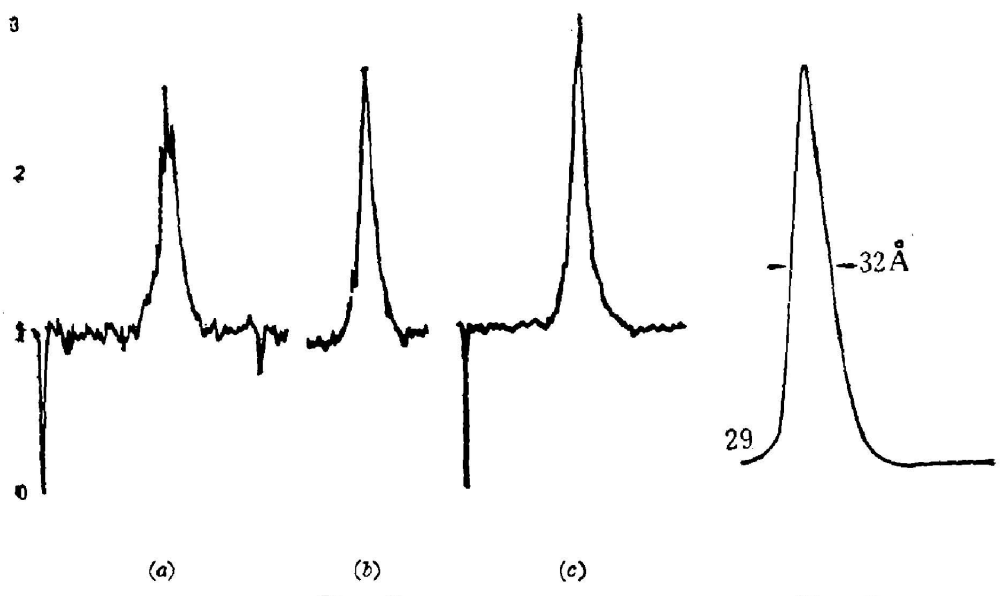


Fig. 6

Fig. 7

我们还对锁模状态下的光谱特性进行了研究。图7为用单色仪描出的光谱曲线,其半宽度为 32 \AA ,其对应的锁模脉冲宽度为 0.12 ps , $\Delta t \Delta \nu = 0.303$,非常接近富利叶变换极限。相关函数曲线的两翼很快收缩也说明锁模光脉冲没有或者只有很小的啁啾。

关于激光器和相关测量系统的调整精度需特别注意。实验发现,谐振腔的微小调整,都会严重影响锁模效果。例如,小曲率半径反射镜 M_3 和 M_4 的位置调整 0.1 mm ,都会引起脉冲宽度几十fs至 0.1 ps 的改变。共线相关测量的调整精度直接影响到是否能得到3:1的曲线。图8(a),(b),(c),(d)分别为在零延时情况下激光光斑范围内调整到有半个干涉条纹、一个干涉条纹、两个干涉条纹和五个干涉条纹时所得到的相关函数曲线,其峰值与背景比分别为3:1, 2:1, 1.7:1和1:1。但是从图8还可以看出,共线调整的精度只影响峰值与背景的比值,并不影响脉冲宽度的测量。

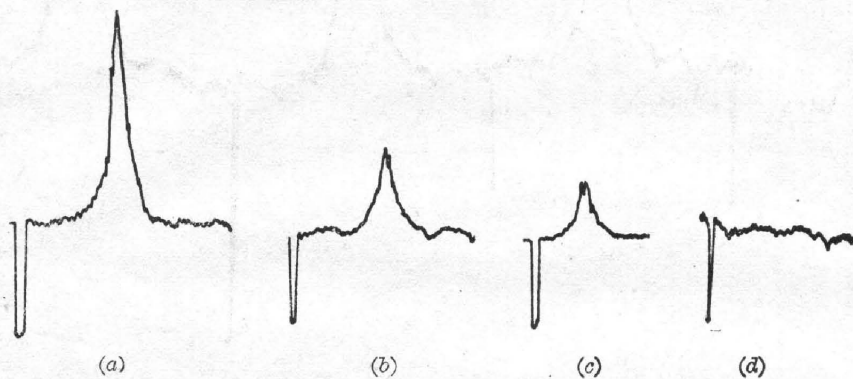


Fig. 8

四、讨 论

在腔内不加任何色散元件和滤波器的情况下,该激光器锁模的中心波长在 615 nm 附近,但是随着泵浦功率的提高,中心波长会突然跳跃到

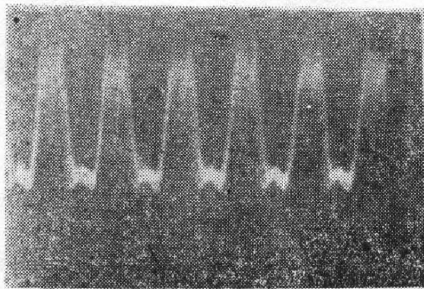


Fig. 9

580 nm ,这个跳跃现象在本实验所用的任何DODCI浓度时都出现,这时在示波器上监测到的基波的峰值与中心波长为 615 nm 时相当,而其二次谐波信号却小到几乎探测不到,这意味着脉冲宽度很宽,锁模状态变坏。但需要指出的是,此时在示波器上观察到的不是单脉冲序列(即脉冲间隔相当于光在腔内传播一周的时间)。也不是等间隔的脉冲周期减小一倍的脉冲

序列(即脉冲间隔相当于光在腔内一半的时间),而是不等间隔的双脉冲序列,如图9所示。对于CPM激光器,这种现象尚未见报道,其机理也不清楚,对于光谱特性和腔结构的研究也未给出能够圆满解释的实验根据。

本文作者对南开大学关信安、袁树忠和吕福云等同志给予的帮助表示感谢,对于本校赵玉强和张永寿同志加工晶体给予的合作和支持深表谢意。

参 考 文 献

- [1] R. L. Fork, B. I. Green *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 9 (May), 671.
- [2] H. Vanherzeel, J. L. Van Eck *et al.*; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 20 (Oct), 3484.
- [3] D. Kùheke, W. Rudolph; *Opt. Comm.*, 1983, **47**, No. 1 (Aug), 70.
- [4] Wang Chirgyue, Xing Qirong *et al.*; «*The International Conference on Laser's 85, San Francisco, 11, 1981*», 26.
- [5] R. L. Fork, V. Charles *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1983, **QE-19**, No. 5 (Apr), 500.
- [6] 邢岐荣, 章若冰, 王清月; «*光学学报*», 1984, **4**, No. 6 (Jun.) 558.
- [7] J. J. Fontaine, W. Dietel *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1983, **QE-19**, No. 12 (Apr), 1467.
- [8] W. Dietel, E. Dopei *et al.*; *Opt. Comm.*, 1984, **50**, No. 3 (Jun), 179.
- [9] J. C. Diels, C. Y. Wang *et al.*; «*The International Conference on Laser's. 1981, New Orleans, U. S. A.*», 14.

Study of a ring dye laser with colliding pulse mode-locking

WANG QINGYUE, XING QIRONG, XIANG WANGHUA,

GONG ZHENGLI, ZHANG RUEBING AND ZHANG CHEN

(Department of Precision Instruments Engineering, Tianjin University)

(Received 22 May 1985; revised 27 September 1985)

Abstract

This paper presents results of the study of a ring dye laser which is colliding pulse mode-locked. The relationship between the concentration of DODCI, pumping power and pulse width is summarized here. A nearly transform-limit pulse width of 90 fs is has been obtained.