

# 对撞脉冲锁模染料激光器 产生 75 fs 光脉冲\*

孙迭麓 胡谊梅 蒋文斌 李富铭  
(复旦大学物理系)

## 提 要

本文研究了对撞脉冲锁模染料激光器的运转特性。激光脉冲的宽度和波长随可饱和吸收介质的厚度和浓度变化;在最佳条件下获得的光脉冲宽度为 75 fs。

## 一、引 言

对撞脉冲锁模染料激光器是产生毫微微秒激光脉冲的新方法<sup>[1]</sup>。目前由这一技术产生的激光超短脉冲,再通过光纤压缩的方法使得光脉冲的宽度达到 8 fs<sup>[2]</sup>,仅为四个光周波。这为研究各种快速过程提供了有效的手段。

本文在实验上研究了对撞脉冲锁模染料激光器的特性,在最佳条件下获得光脉冲的宽度为 75 fs。并且研究了可饱和吸收介质的厚度、浓度对脉冲宽度以输出波长的影响。同时在实验中观察到一些新的现象。

## 二、实验装置

对撞脉冲锁模染料激光器的实验和测量装置如图 1 所示。它由六个反射镜组成一个环形谐振腔,腔长为 226 cm。其中  $M_1$  和  $M_2$ ,  $M_3$  和  $M_4$  为两对球面全反镜,其曲率半径分别为 10 cm 和 5 cm,  $M_5$  为全反射平面镜;  $M_6$  为输出平面镜,反射率为 97%。腔内有两个染料喷流,其中  $G$  为增益介质,染料为若丹明 6G;  $A$  为可饱和吸收介质,锁模染料为 DODCI,其浓度和厚度在实验中进行了变化。两个喷流的距离为腔长的四分之一,以保证两个脉冲在对撞时具有相同的幅度;有利于粒子分布光栅的形成。

在本实验中,反射镜放置的位置考虑了两个方面的因素。第一由于采用曲率较小的反射镜和两个喷流与光束间放成布儒斯特角,引起了像散,因此入射球面镜的角度满足补偿条件<sup>[3]</sup>。第二,光束入射平面镜的角度尽可能小,以减少介质膜色散加宽<sup>[4]</sup>。

图中  $M_6$  为泵浦反射镜,泵浦光为输出 514.5 nm 的  $Ar^+$  激光,输出功率为 3~5 W。

由对撞脉冲锁模染料激光器输出两束激光,一束激光由一个快速探测器\*\*接收,分别再

收稿日期: 1986年1月4日; 收到修改稿日期: 1986年4月17日

\* 本文部分内容曾在'85中国光学学会年会上宣读。

\*\* Spectra-Physics 公司的 403 型快速探测器,响应时间 80 ps。

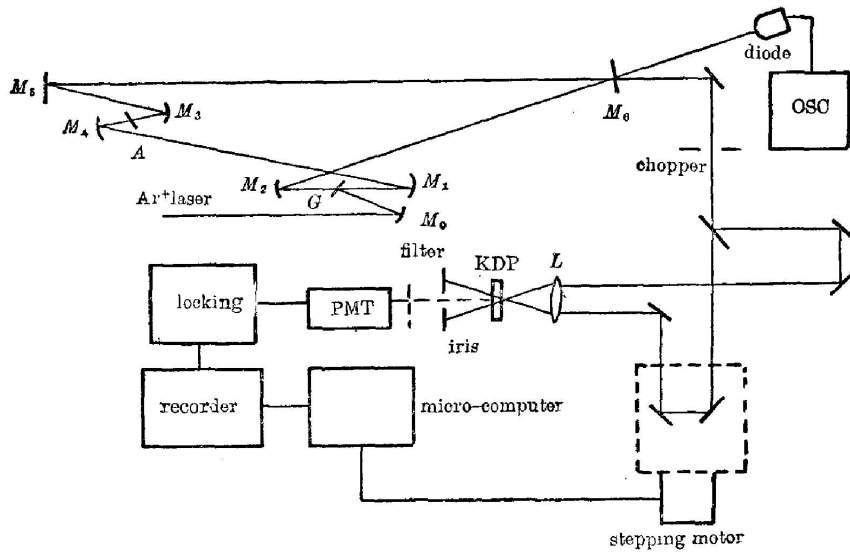


Fig. 1 Schematic diagram of CPM dye laser and measurement apparatus

用 500MC 示波器和 SQ12 型取样示波器进行观察和记录其锁模状态。另一束激光输入一个自相关脉宽测量装置,如图 1 所示,采用了非共线 I 型匹配二次谐波自相关方法,即无背景自相关测量方法。测量系统中反射镜镀制金属膜,聚焦透镜的焦距为 9.4cm,晶体为 KDP,厚度为 0.3mm。产生的自相关二次谐波信号通过滤光片后由光电倍增管接收,信号由锁模放大器输出到记录仪。测量过程由 Z80 微机控制,改变程序使延迟光程的分辨率分别为  $0.4\mu\text{m}$  和  $0.2\mu\text{m}$ 。在驱动步进电机的同时有一个同步信号控制记录仪进行自动记数。

### 三、实验结果与讨论

由上面介绍的实验装置,改变可饱和吸收染料 DODOI 的厚度和浓度以及泵浦光功率,得到了以下的结果。

(1) 在 DODOI 喷流厚度为  $20\mu\text{m}$ , 浓度为  $6.2 \times 10^{-4} M$  时,锁模激光的脉冲宽度为  $75 \sim 125 \text{ fs}$ ,最佳条件下脉冲宽度为  $75 \text{ fs}$ ,其自相关函数曲线如图 2 所示,此时激光输出波长为  $625 \text{ nm}$ ,每束平均功率为  $22 \text{ mW}$ 。在脉冲宽度为  $85 \text{ fs}$  时输出平均功率为  $30 \text{ mW}$ ,在  $125 \text{ fs}$  时达  $45 \text{ mW}$ 。

当采用喷流厚度为  $120\mu\text{m}$  时,测得脉宽在最佳状态为  $150 \text{ fs}$ ,此时 DODOI 浓度为  $3.3 \times 10^{-4} M$ ,输出波长为  $622 \text{ nm}$ ,每束平均功率为  $20 \text{ mW}$ 。

(2) 改变 DODOI 的浓度,光脉冲宽度也变化。图 3 给出了在喷流厚度为  $120\mu\text{m}$  时,脉冲宽度与 DODOI 浓度的变化关系。随着浓度的增加,脉冲宽度变窄。

(3) 激光输出波长随 DODOI 的浓度变化而变化。当 DODOI 浓度从  $0.8 \times 10^{-4}$  增加到  $9 \times 10^{-4} M$ ,输出波长由  $615 \text{ nm}$  变化到  $627 \text{ nm}$ ,实验结果如图 4 所示。

(4) 我们在实验中发现,在 DODOI 浓度较低或者喷流厚度变薄时,改变  $\text{Ar}^+$  激光的泵

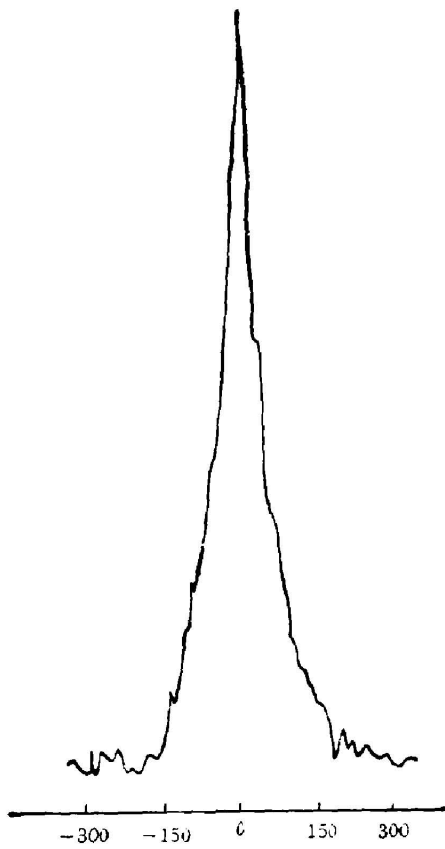


Fig. 2 Measured autocorrelation function of the optical pulse. Assuming a hyperbolic-secant pulse envelope, the FWHM is 75 fs

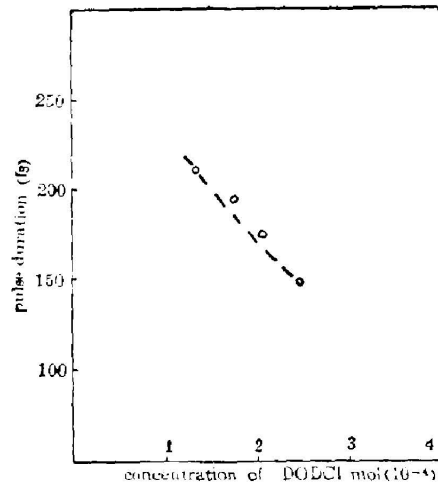


Fig. 3 Optical pulse duration versus concentration of DODCl (thickness of dye stream: 120  $\mu\text{m}$ )

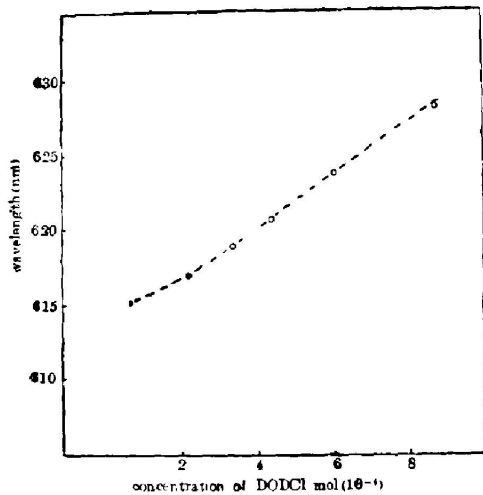


Fig. 4 Wavelength of dye laser versus concentration of DODCl

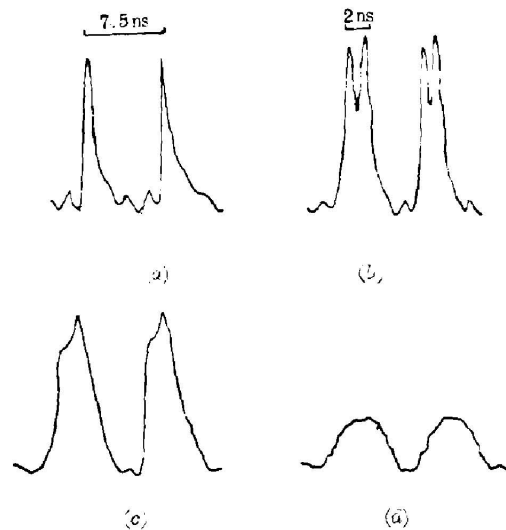


Fig. 5 Oscillogram of the pulse train recorded by SQ12A sampling oscillograph (a) single pulse; (b) double pulse; (c), (d) without mode locking

浦功率,对撞脉冲锁模染料激光器的运转状态出现了下列现象。

由示波器观察到的脉冲系列,在 DODOI 浓度和厚度确定的条件下,随着泵浦激光的增加,激光脉冲从单脉冲变为双脉冲,且不锁模和类似于正弦波形状。由 SQ12A 型取样示波器输出到记录仪记录的波型图表示于图 5(a~d)。在出现双脉冲时,自相关函数的宽度几乎增宽了一倍,如单脉冲时为 85 fs,双脉冲时为 160 fs,而输出平均功率增加到 60 mW。从图 5(b)中可以看到,两个脉冲的间隔为四分之一腔长所需的时间。在不锁模状态下,激光输出波长也发生了变化,看上去呈橙红色,用单色仪观察,其中包含了 610 nm 和 585 nm 两个波长,输出平均功率达 110 mW。而在出现图 5(d)的波型时,激光输出的波长为 585 nm,输出平均功率反而下降为 90 mW,图 5(c)和(d)的波型半宽度约为二分之一腔长所需的时间。

产生双脉冲的原因除了与泵浦功率有关外,在相同泵浦功率下,与谐振腔的调整也有很大关系,因而与谐振腔的增益、损耗特性有关。出现双脉冲说明腔内存在两个不同的脉系列。

出现两种不锁模状态,作者认为主要是泵浦光功率太高,DODOI 染料分子在吸收泵浦光后,染料中一部分染料分子很快变成光致同分异构体(photoisomer),其吸收截面增大,吸收峰在 605 nm<sup>[5]</sup>,在锁模状态稳定时,主要由 DODOI 染料分子的光致同分异构体所决定,因而锁模激光的输出波长都大于 610 nm。在不锁模状态时,由于泵浦光功率远远超过阈值,溶液中 DODOI 染料分子与它的同分异构体的相对浓度发生了变化,破坏了锁模状态。这种现象不同于所谓的“Gani Sharing”机制<sup>[6]</sup>。细致的分析,还有待于进一步的实验。

## 四、结 论

实验研究了对撞脉冲锁模染料激光器的工作特性,获得了 75 fs 的激光脉冲。实验结果表明,可饱和吸收介质的厚度,是获得短脉冲的重要因素,浓度对脉冲宽度、激光输出波长有一定的变化关系,浓度增加,脉宽变窄,波长红移。Ar<sup>+</sup>激光器的泵浦光功率对对撞脉冲锁模染料激光器的稳定运转有较大的影响。

陈凌冰及本校 85 届毕业生杨铭曾参加部分工作。

## 参 考 文 献

- [1] R. L. Fock, B. I. Greene *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, No. 9 (1 May), 671.
- [2] W. H. Knox, R. L. Fock *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**, No. 12 (15 Jun), 1120.
- [3] L. V. Kogelnik, E. P. Ippen *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1972, **QE-8**, No. 3 (Mar), 373.
- [4] S. De Silvestri, P. Laporta *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1984, **QE-20**, No. 5 (May), 533.
- [5] D. J. Bradley; *Methods of Generation in Ultrashort Light Pulses* Ed. by S. L. Shapiro. (Springer Verlag, 1977).
- [6] K. K. Li, G. Arjavalingam *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1983, **QE-19**, No. 4 (Apr), 539.

## A 75-fs optical pulse generated by CPM dye laser

SUN DIECHI, HU YIMEI, JIANG WENBIN AND LI FUMING

*(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)*

(Received 4 January 1986; revised 17 April 1986)

### Abstract

The characteristics of CPM dye laser have been investigated. The optical pulse width and wavelength of the CPM dye laser were found to be dependent on the thickness and concentration of the saturable absorber. Under optimum conditions, a 75-fs optical pulse was obtained.