

## XeCl 激光泵浦的 ns 染料激光器

傅淑芬 戚张芬 方洪烈 王之江

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 报道了以 XeCl 准分子激光作泵浦源, 通过所谓的“控制腔瞬态过程”的方法, 直接获得 ns 染料激光脉冲的实验结果。与 N<sub>2</sub> 激光泵浦比较, XeCl 激光泵浦可得到更短波长和更高阈值系统的激光振荡。

## XeCl laser pumped nanosecond dye lasers

Fu Shufen, Qi Zhangfen, Fang Honglie, Wang Zhijiang

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

**Abstract:** The experimental results are reported on obtaining nanosecond dye laser pulses by means of “controlled resonator transients”, using XeCl laser as pumping source. Comparing with N<sub>2</sub> laser, XeCl laser is more suitable to shorter wavelengths and higher threshold systems.

## 一、引言

对染料激光脉冲时间行为的研究表明<sup>[1,2]</sup>, 在特定的条件下, 它们同样给出规则的弛豫振荡, 从出现初始spike到只有单spike输出, 这些 spike 一般具有 ns 左右的宽度。单 spike 输出只有在腔内光子寿命小于上能级荧光寿命的条件下, 小心控制光泵功率才能实现。用此选出 ns 级单脉冲的方法称为“控制腔瞬态过程”。用这一方法, 可以直接获得远小于泵浦脉宽的染料激光脉冲, 器件结构简单, 不需要任何选脉冲元件。特别是对许多要求功率不高、ns 级脉宽的应用非常理想。

我们用 XeCl 激光作泵浦源, 研究了四

种染料的瞬态行为, 获得了 1~2 ns 的染料激光, 比泵浦光的脉宽小一个量级以上, 并观察到 PTP、PPO、BPOB 染料的规则弛豫振荡和单 spike 输出。

## 二、初始 spike 出现条件的小信号分析

对染料激光器, 可用四能级系统的速率方程组描写<sup>[3]</sup>

$$\frac{dn}{dt} = W - Bnq - \frac{n}{\tau} \quad (1)$$

$$\frac{dq}{dt} = Bnq - \frac{q}{t_c} \quad (2)$$

式中  $n$  为反转粒子数密度,  $q$  为光子数密度,

收稿日期: 1986年2月17日。

$W$  为泵速率,  $B$ 、 $\tau$ 、 $t_c$  分别为上能级感应辐射系数、荧光寿命和腔内光子寿命,  $t_c$  按[2]的定义

$$\left. \begin{aligned} t_c &= \frac{\eta l + (L-l)}{c(1-R)} \\ R &= \sqrt{r_1 r_2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $l$  为染料溶液长度,  $\eta$  为它的折射率,  $L$  为谐振腔长度,  $r_1$  和  $r_2$  分别为两个腔镜的反射率。对稳态情况

$$n = n_0 = \frac{1}{Bt_c} \quad (4)$$

$$q = q_0 = \frac{W - \frac{n_0}{\tau}}{Bn_0} \quad (5)$$

$$W_t = \frac{1}{Bt_c \tau} \quad (6)$$

这里  $W_t$  便是阈值泵功率。在偏离阈值很小的情况下, 取

$$n = n_0 + n_1 \quad (7)$$

$$q = q_0 + q_1 \quad (8)$$

可得到对  $n_1$  和  $q_1$  的方程组

$$\frac{dn_1}{dt} = W_0 - Bn_0 q_1 - Bn_1 q_0 - \frac{n_1}{\tau} \quad (9)$$

$$\frac{dq_1}{dt} = Bn_0 q_1 + Bn_1 q_0 - \frac{q_1}{t_c} \quad (10)$$

$W_0$  为假定的常数泵速率, 上式的解具有如下形式

$$q_1 = q_0 \exp(-t/t_d) \sin(\omega t) \quad (11)$$

其中

$$t_d = \frac{W_0 B t_c}{2} \quad (12)$$

$$\omega = \frac{1}{2} \left[ 4 \left( \frac{1}{t_c^2} - \frac{1}{t_c \tau} \right)^{1/2} - \left( \frac{m}{\tau} - \frac{2}{t_c} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

上式中  $m = W_0 / W_t = B_0 W_0 t_c \tau$  表示泵速率对阈值泵速率的比。出现 spike 振荡的充分必要条件是  $\omega$  为实数。由(13)求得对泵速率的要求

$$\begin{aligned} 2 \frac{\tau}{t_c} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{t_c}{\tau} \right)^{1/2} \right] &< m \\ &< 2 \frac{\tau}{t_c} \left[ \left( 1 - \frac{t_c}{\tau} \right)^{1/2} + 1 \right] \end{aligned} \quad (14)$$

根据  $t_c$  相对  $\tau$  的大小, 可分以下几种情况进行讨论:

进行讨论:

(1)  $t_c > \tau$ 。(14)式给出复数解, 这表明在此条件下, 无论如何改变泵功率都不会出现 spike 现象;

(2)  $t_c = \tau$ 。(14)式给出  $2 < m < 2$ , 仍无解, 同样不会产生 spike 行为;

(3)  $t_c < \tau$ 。(14)式给出  $m$  一个确定范围内的实数解, 在这一范围内取  $m$  都可出现 spike 现象, 对  $t_c < \tau$ , 近似有  $m < 4 \frac{\tau}{t_c}$ 。也就是说,  $t_c$  与  $\tau$  比较越小, 越容易在高的泵浦功率下观察到 spike 现象。

### 三、实验装置和结果

图1是实验装置简图。泵浦源是一台小型紫外预电离 Blumlein 放电泵浦 XeCl 激光器, 激活体积  $0.8 \times 2 \times 7 \text{ cm}^3$ , 最大输出能量 42 mJ, 脉宽 20 ns, 对应峰值功率 2 MW。实验时 XeCl 激光器工作在 20 mJ、1 MW 的输出水平。染料激光器由一个截面  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  的矩形液槽和一块全反射平面铝镜构成, 前腔为液槽不镀膜石英窗口, 对此谐振腔  $r_1 \sim 4\%$ ,  $r_2 \sim 95\%$ 。腔长 1.4 cm 时, 对应的  $t_c \sim 75 \text{ ps}$ 。

输出截面  $0.8 \times 2 \text{ cm}^2$  的 XeCl 激光束, 经一焦距  $f = 10 \text{ cm}$  的柱透镜聚焦到液槽内, 形成横向泵浦。调节柱透镜到液槽的距离, 可容易地改变泵浦强度。

染料激光器的输出时间特性用一台存储示波器和强流光电管显示, 系统的响应时间  $\sim 1 \text{ ns}$ 。控制示波器灵敏度, 使 ASE 的振幅

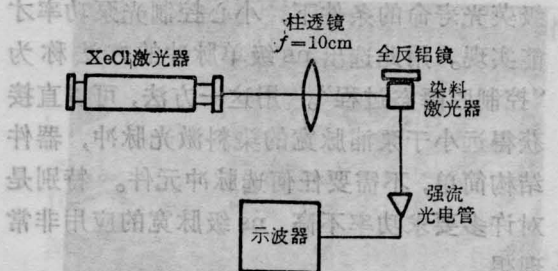
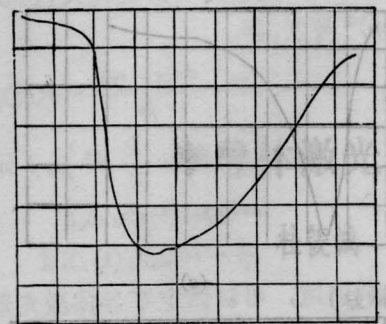
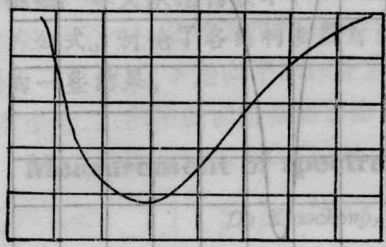


图1 实验装置简图

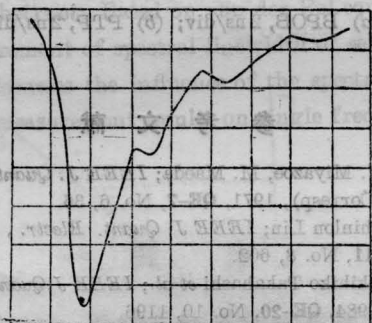


(a)

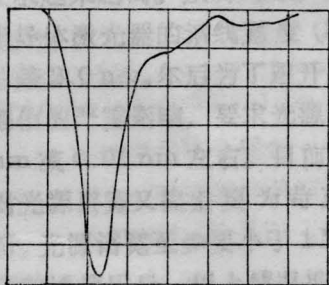


(b)

图4 PTP和BPOB的单spike输出波形

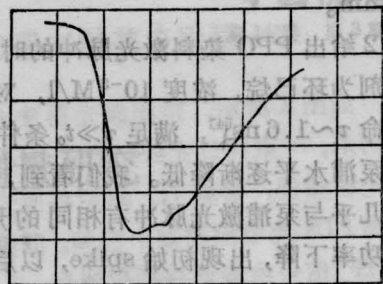


(c)

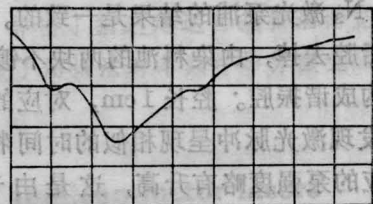


(d)

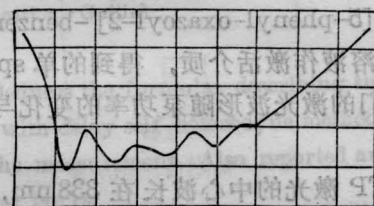
图2 PPO的激光波形与泵功率的关系  
 (a) XeCl激光波形, 5ns/div; (b)~(d) PPO的脉冲波形, 2ns/div。从(b)到(d)泵浦水平逐渐降低



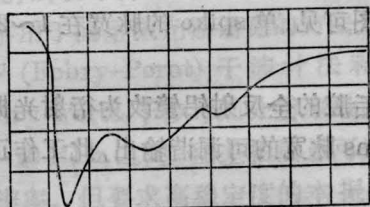
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

图3 R6G的激光波形  
 (a) 5ns/div; (b)~(e) 2ns/div。R6G乙醇溶液  $2.5 \times 10^{-5} M$

低于 5 mm。

图 2 给出 PPO 染料激光脉冲的时间行为。溶剂为环己烷，浓度  $10^{-3}$  M/l，对应的荧光寿命  $\tau \sim 1.6$  ns<sup>[4]</sup>，满足  $\tau \gg t_0$  条件。从上到下泵浦水平逐渐降低。我们看到，开始的脉冲几乎与泵浦激光脉冲有相同的形状，随着泵功率下降，出现初始 spike，以后是规则弛豫振荡，最后是单个 spike 输出。

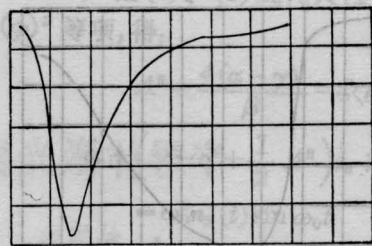
对 R6G 染料的实验结果示于图 3，与文献[2]用  $N_2$  激光泵浦的结果是一致的。

将后腔去掉，由染料池的两块不镀膜石英窗口构成谐振腔。腔长 1 cm，对应的  $t_0 \sim 50$  ps，发现激光脉冲呈现相似的时间特性，只是对应的泵强度略有升高，这是由于  $W_t$  升高了的结果(见式(6))。

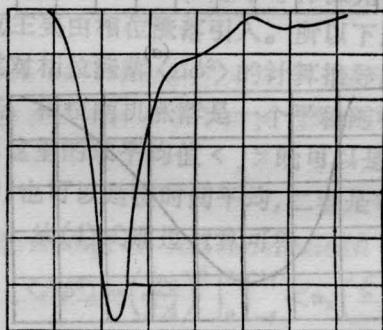
图 4 是用 PTP 的乙醇溶液和 BPOB(1, 4-BiS-[5-phenyl-oxazolyl-2]-benzene) 的环己烷溶液作激活介质，得到的单 spike 输出，它们的激光波形随泵功率的变化与 PPO 相似。

PTP 激光的中心波长在 338 nm，是迄今用“控制腔瞬态过程”的方法获得的最短染料激光，用  $N_2$  激光泵浦这一体系不产生激光。由图可见，单 spike 的脉宽在 1~2 ns 之间。

将后腔的全反射铝镜改为衍射光栅，可以得到 ns 脉宽的可调谐输出，此工作正在进行中。



(a)



(b)

图 4 PTP 和 BPOB 的单 spike 输出波形  
(a) BPOB, 2 ns/div; (b) PTP, 2 ns/div

### 参 考 文 献

- [1] Y. Miyazoe, M. Maeda; *IEEE J. Quant. Electr.* (Corresp), 1971, **QE-7**, No. 6, 36.
- [2] Chinlon Lin; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, No. 8, 602.
- [3] Akihiko Takahashi et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, **QE-20**, No. 10, 1196.
- [4] I. B. Berlman, Ed., *Handbook of Fluorescence Spectra of Aromatic Molecules*, 2nd ed., New York: Academic, 1971.

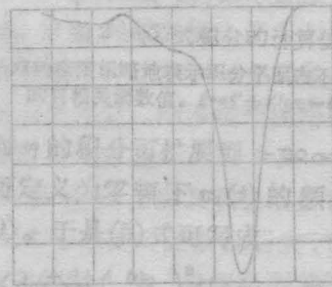


图 2 PPO 的激光脉冲的时间行为。溶剂为环己烷，浓度  $10^{-3}$  M/l，对应的荧光寿命  $\tau \sim 1.6$  ns<sup>[4]</sup>，满足  $\tau \gg t_0$  条件。从上到下泵浦水平逐渐降低。我们看到，开始的脉冲几乎与泵浦激光脉冲有相同的形状，随着泵功率下降，出现初始 spike，以后是规则弛豫振荡，最后是单个 spike 输出。