

# XeCl\* 准分子激光器被动锁模

成序三 楼祺洪 王润文

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

采用“弱聚焦”的简单紧凑光路,首次运用秦和 PTP 得到脉宽 3 ns、调制度大于 90%、总能量 6.3 mJ、空间发散角 2 mrad,每次 4~5 个尖峰的 XeCl\* 准分子激光被动锁模脉冲序列。

XeCl\* 准分子器件以其长运转寿命,高功率和紫外波长的输出特性而引起人们的重视。但目前一般转移放电和倒转放电泵浦的器件大多具有 15~60 ns 的脉宽。许多特殊应用(如光化学、光谱和驰豫时间测量<sup>[1]</sup>等)要求脉宽更短一些。要得到短的紫外脉冲,一种方法是通过染料激光器锁模、放大和倍频,可得到 ps 量级的紫外脉冲<sup>[2]</sup>,但需要一个复杂的系统;另一种方法是用快放电准分子激光器获得几个 ns 量级的脉冲,若采用饱和吸收体还可进一步压缩脉宽到亚 ns 量级<sup>[3]</sup>,但此法则只适用于一些特殊的器件。对一些脉宽较宽的准分子器件,主动锁模<sup>[3,4]</sup>和被动锁模<sup>[5,6]</sup>是获得短脉冲的有效手段,且被动锁模装置更简单。

本文采用一台自由振荡单脉冲能量为 100 mJ、80 ns 增益时间的平铺板放电 XeCl\* 准分子器件<sup>[7]</sup>,用三种染料得到脉宽为 3 ns、每次 4~5 个尖峰的锁模脉冲序列。

## 一、实验装置

实验采用的光路如图 1(a)所示,  $M_1$  为曲率半径 2m 的全反射镜,染料池前窗口  $M_2$  为一块厚 1mm、两面镀增透膜(垂直入射时反射率小于 2%)的石英平板,与  $M_1$  平行放置;  $M_3$  为部分反射率的输出耦合镜;  $M_3$ 、 $M_4$  为放电室(未镀膜)石英平板窗口,放电室两边腔头均

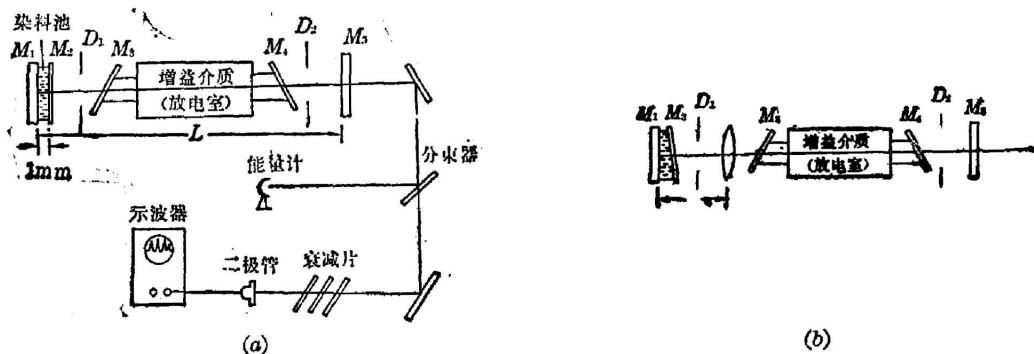


图 1 被动锁模装置图

Fig. 1 Setup of passive mode locking experiment

铕成大于  $18^\circ$  倾角, 以防止  $M_3$ 、 $M_4$  发生寄生振荡; 激光波形采用国产 GD-10 型强流光电管接收光信号用示波器拍照。为使强流管工作在近线性区, 对不同强度的激光脉冲采用不同的衰减。如图 1(a) 采用了多块  $K_9$  玻璃片和镀不同反射率膜的石英玻璃片衰减, 以防止强流管饱和。能量是在一块不镀膜石英分光板后面用脉冲激光能量计测定。经过实验对比, 发现用这种光路进行被动锁模既简单紧凑, 也比较有效。锁模光的反馈和周期损耗机制的调节是靠调整染料池厚度、染料浓度、腔长以及输出耦合镜  $M_5$  的反射率来实现的。

本实验采用了三种染料: BPBD [2-(4'-terbutyl-phenyl)-5-(4''-biphenyl)-1, 3, 4-oxadiazole] [2-(4'-特丁基)-5-(4''-对联苯基)-1, 3, 4-噁二唑] Naphthalene, [萘] 和 PTP [P-Terphenyl] [对三联苯]。

由于所用几种染料在  $3080 \text{ \AA}$  处有很高的饱和吸收光强, 文献[5]在锁模光路的腔内加透镜聚焦以增强染料池中光强密度, 如图 1(b) 光路所示, 且认为它是用 BPBD 和 BBQ 一类染料锁模的关键。在本实验中, 不在腔内放置透镜, 而采用“弱反射聚焦”的输出耦合镜  $M_5$ 。在腔长  $L=1.6 \text{ m}$  时,  $M_5$  采用曲率半径  $3 \text{ m}$  的凹面反射镜(镀反射率 80%)石英腔片, 在染料池处接近反射焦距  $f=1.5 \text{ m}$ , 有弱聚焦作用, 这样可以提高进入染料池的峰值功率密度, 增强染料对锁模脉冲序列的非线性饱和吸收作用。

## 二、结果和讨论

$\text{XeCl}^*$  激光器被动锁模, 采用的是一些在核物理计数器中用的闪烁体作为饱和吸收介质。这些闪烁体(本文均简称染料)大多在紫外有强的吸收峰和高的饱和吸收光强, 而且有 ns 量级的上能级弛豫时间。关于 BBQ、BPBD、PTP 对  $3080 \text{ \AA}$  波长的吸收特性请参看文献[2]、[5]。

### 1. 染料浓度的影响

采用图 1(a) 的光路, 对不同浓度萘的环己烷溶液锁模所得的激光波形如图 2(a)、(b) 所示。同时也用图 1(b) 光路对萘的环己烷溶液锁模得波形如图 2(c) 所示。图 2(a)、(b)、(c) 三种情况对应的输出总能量各为  $3 \text{ mJ}$ 、 $6.5 \text{ mJ}$ 、 $2 \text{ mJ}$ 。显然, 光路中有透镜[图 1(b)]反而不如无透镜[图 1(a)]情况好。估计有如下原因: 其一是透镜在腔内带来不必要的损耗, 对输出能量有影响, 另外, 腔内多一个光学元件就增加两个产生寄生振荡反馈的光学面, 在  $\text{XeCl}^*$  这类高功率、长增益区(高单程增益)器件中, 任何小的寄生反馈都可能在一个单程放

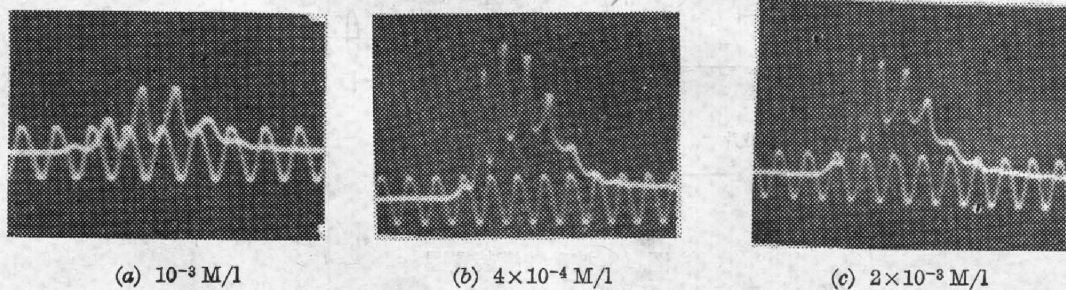


图 2 萘的环己烷溶液锁模波形

Fig. 2 Pulse trains of passive mode locking with naphthalene in cyclohexane

大很多倍,使信噪比下降。

在器件功率密度较高的实验中,腔内放一个透镜很容易损坏光学元件。这是因为在理想情况下透镜应放在  $M_1$  的焦平面处,否则反射光经透镜后不是严格的球面波到平面波的变化,形成光束发散。但一聚焦,高功率的会聚光集中在  $M_1$  镜中心焦点处可  $>10^7 \text{ W/cm}^2$ , 这样  $M_1$  镜很容易损坏(特别是全反射膜层),由于染料池也很薄,离焦点很近的窗口  $M_2$  也易损坏。

当然,对某些增益不够高的器件,当激光峰值功率小于吸收体饱和吸收功率时,采用透镜聚焦可以提高焦点附近染料内功率密度,以增加非线性吸收体染料的饱和透明效应,达到好的锁模效果。由于本实验的器件增益是足够高的,所以不使用透镜反而要好一些。

## 2. 光束方向性

我们对锁模脉冲光束方向性也进行了研究,采用焦斑法测定光束发散角。经实验比较,有透镜的光路[图 1(b)]激光发散角达  $10 \text{ mrad}$ ,而无透镜[图 1(a)]时发散角小于  $2 \text{ mrad}$ ,与不锁模时的激光有同样好的空间发散角。光束方向性好的另一个原因是染料池窗口  $M_2$  与腔轴是垂直的,这样将不造成折射率引起的程差而使平行光发生偏折。一般文献<sup>[5,6]</sup>染料池窗口有一倾角以避免  $M_2$  把未经过吸收体进行非线性压缩的噪声光信号反馈到腔内放大使调制度下降。我们的实验表明,只要  $M_2$  两面镀足够高的增透膜(例如使反射率小于 2%),  $M_2$  与  $M_1$  平行放置也不会引起调制度下降,而光束方向性却得以改善。

## 3. 染料池厚度的影响

实验用 BPBD 和 PTP 的酒精溶液以及萘的环己烷溶液都实现了锁模\*, (如图 2、图 3、图 4 所示)。本实验发现在锁模光路中不一定要有透镜聚焦,关键是要根据染料的吸收特性,适当调整染料池厚度和染料浓度(例如吸收太强的染料可适当降低染料浓度),使之与锁模所用的器件的增益匹配,才能达到好的锁模效果。当器件增益一定的情况下,由于染料克分子消光系数为

$$\epsilon = \frac{1}{NL} \ln \frac{I_0}{I},$$

式中  $I_0$  为入射光强,  $I$  为透射光强,  $L$  为染料长度,  $N$  为染料浓度。所以最佳染料浓度与最佳染料池厚度有反比关系,这完全要根据具体器件的增益特性来综合考虑。

本实验用 PTP 能实现锁模其主要原因是:(1)所用的器件峰值功率比较高;(2)锁模光路中不采用透镜聚焦,而采用“弱聚焦”输出耦合镜,提高了染料池内峰值功率密度,这样还避免了透镜本身引起的腔内峰值功率下降。由于这两个原因,足以使器件维持足够高的峰值功率,以克服 PTP 的高饱和吸收强度。

## 4. 腔长对锁模脉冲的影响

作为饱和吸收体,实验采用的三种染料的吸收恢复时间(正比于上能级弛豫时间)都是几个毫微秒左右,而准分子器件大多具有 1 米左右的腔长,光在腔内往返一周的时间与吸收

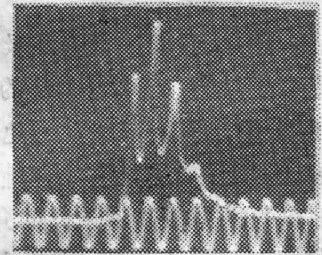
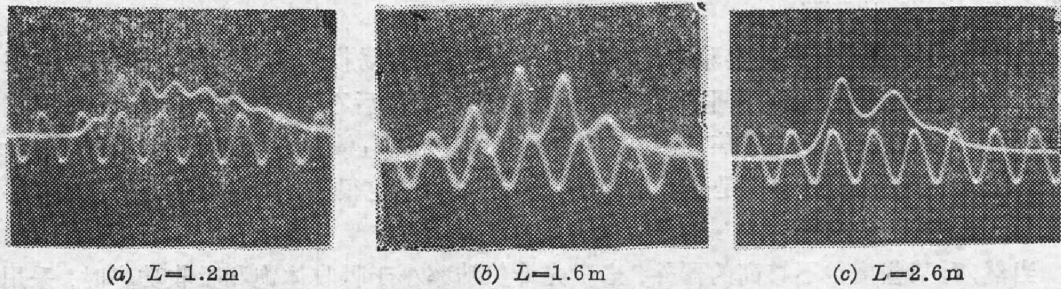


图 3 PTP 酒精溶液( $2 \times 10^{-4} \text{ M/l}$ )锁模波形(时标 10 ns)

Fig. 3 Pulse train of passive mode locking with PTP ( $2 \times 10^{-4} \text{ M/l}$ ) in ethanol (time scale: 10 ns)

\* 文献[5]未能观察到 PTP 的锁模现象,认为是由于 PTP 饱和吸收光强太高。

(a)  $L=1.2\text{m}$ (b)  $L=1.6\text{m}$ (c)  $L=2.6\text{m}$ 图 4 不同腔长 BPBD( $8 \times 10^{-4}$  M/l)酒精溶液锁模波形Fig. 4 Pulse trains of passive mode locking with various cavity lengths  
(BPBD in ethanol:  $8 \times 10^{-4}$  M/l; time scale: 10 ns)

体的上能级弛豫时间有相同的数量级,因此用这三种染料锁模是属于快吸收<sup>[8]</sup>和慢吸收<sup>[9]</sup>两种模型之间的临界情况,锁模单脉冲尖峰全宽度也是几个 ns,所以腔长对锁模脉冲调制度有一定的影响。图 4 是 BPBD 的酒精溶液分别在腔长为 1.2 m, 1.6 m 和 2.6 m 时的锁模波形,所用的输出耦合镜为一块反射率 80% 的石英平板。在本实验条件下 1.6 m 左右的腔长(往返约 10 ns)比较好。腔太长时,控损加大使峰值功率下降,锁模效果变差[见图 4(c)]。腔太短时,由于被动锁模每个孤立尖峰都有一定的后沿尾部<sup>[8]</sup>,当腔短到前一尖峰尾部与后一尖峰前沿重叠时会使调制度明显下降[图 4(a)]。

### 三、小 结

总之,我们采用饱和吸收体被动锁模,得到调制度大于 90%,脉宽 3 ns,总能量 6.3 mJ,光束发散角小于 2 mrad 的 XeCl 锁模激光输出。所采用的光路有如下几个特点:(1)简单紧凑,输出能量高;(2)避免了锁模光路中有透镜在腔内聚焦,可能把光学元件损坏;(3)用与腔长匹配的“弱聚焦”输出耦合镜提高染料池中激光功率密度,以克服染料高的饱和吸收功率;(4)采用镀高增透率的介质膜,垂直于光轴的染料池窗口来提高光束空间质量,避免发散角增大。此外,在所用的三种染料中,PTP 和蔡是 XeCl 被动锁模的首次报道。

南京工学院实习生徐向东参加过部分实验;上海试剂一厂的徐纯良、斯启明同志为我们提供了染料;上海光机所王秀芬同志为我们镀高质量的紫外增透膜,在此作者一并表示深切感谢。

### 参 考 文 献

- [1] P. B. Corkum *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**, No. 11 (Nov), 1962.
- [2] T. Varghes *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 8 (Aug), 684.
- [3] G. Reksen *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**, No. 2 (Jul), 129.
- [4] P. J. K. Wisoff *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1984, **QE-20**, No. 3 (Mar), 195.
- [5] S. Watanabe *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **43**, No. 6 (Sep), 533.
- [6] T. Efthimiopoulos *et al.*; *Canad. J. Phys.*, 1979, **57**, No. 7 (Jul), 1437.
- [7] 成序三,楼祺洪等;《平铺板放电、长脉冲、窄线宽、衍射极限空间分布 XeCl\* 激光器》(待发表)
- [8] H. A. Hans *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1975, **46**, No. 7 (Jul), 3049.
- [9] H. A. Hans *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1975, **QE-11**, No. 9 (Sep), 736.

## Passive mode-locking of a XeCl\* excimer laser

CHENG XUSAN LOU QIHONG AND WANG RUNWEN

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

(Received 21 December 1984)

### Abstract

Passive mode-locking of a XeCl laser is achieved by using PTP and naphthalene as saturable absorbers for the first time. In a compact laser cavity with "soft focus" arrangement, modulation of 90% and pulse train of 4~5 distinct 3-ns spikes are obtained. The total energy of mode-locked pulse is 6.3 mJ with a beam spread angle of 2 mrad.