

# 输出 0.42 焦耳的紫外光预电离 KrF 准分子激光器

袁才来 上官诚 叶超 窦爱荣 林英仪

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文报导了高功率、高效率紫外光预电离 KrF( $\lambda=248$  毫微米)准分子激光器的实验研究。输出最大脉冲能量超过 420 毫焦耳。研究了 KrF 激光器的激光谱和荧光谱特性以及在混合气体中掺入 Ne 气的影响。

## A UV-preionized KrF excimer laser with an output energy of 0.42 J

Yuan Cailai Shangguan Cheng Ye Chao Dou Airong Ling Yingyi

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

**Abstract:** Experimental studies on the high power and high efficiency UV-preionized KrF ( $\lambda=248$  nm) excimer laser are reported. The maximum output energy per pulse is over 420 mJ. Characteristics of lasing and fluorescence spectrum for KrF are studied. The effect of additive Ne gas in the mixture on lasing energy is examined.

KrF 激光器是惰性气体卤化物准分子激光器中最具代表性的器件之一。已有文献报导了用紫外光预电离快放电激励方式得到近 400 毫焦耳的输出<sup>[1,2]</sup>。实际最大输出已达 1 焦耳。我们建立了一台紫外光预电离器件,得到 KrF 最大脉冲输出能量超过 420 毫焦耳。至目前已运转一年,证明这台器件的性能是稳定可靠的。

### 一、实验装置

实验装置和原理图与文献 [3] 类同。器件由玻璃钢筒制成,内径 84 毫米,长 940 毫米。用张氏均匀场型状的黄铜做电极,有效放电区域为  $80 \times 2.1 \times 0.5$  厘米<sup>3</sup>。预电离的

火花隙板对称地放在上下两侧,离主放电电极中心 3.8 厘米,每条火花隙共有 29 个间隙,每个间隙用长 27 毫米、宽 5 毫米、厚 0.1 毫米的镍片做成。间隙间距 1 毫米。预电离电容为 0.047 微法。采用 LC 反转电路,  $C_1 = 12$  毫微法,  $C_2 = 25$  毫微法。两个低电感同轴型球隙内充高压 N<sub>2</sub> 气,触发脉冲的延迟时间为 1 微秒。

两反射镜间距 106 厘米,用曲率半径为 5 米的全反介质膜反射镜和不镀膜的平板输出器组成谐振腔。平板输出器是用两块石英玻璃平板光胶而成的。用 WPG-100 一米光栅光谱仪拍摄激光谱和荧光谱。

收稿日期: 1981 年 2 月 26 日。

## 二、结果和讨论

我们详细研究了激光输出能量与混合气体比分、总气压、主放电电压、延迟时间和缓冲气体的关系曲线。还研究了激光谱和荧光谱的特性。

图1示出了输出激光能量与Kr气含量的关系。从图中看出,当固定F<sub>2</sub>的含量为0.4%时,Kr含量在10~15%较好。进一步增加Kr含量,输出下降。这可以从KrF\*准分子的形成和猝灭动力学来解释。形成KrF\*准分子主要有两个渠道。一个是“Harpooing”反应:

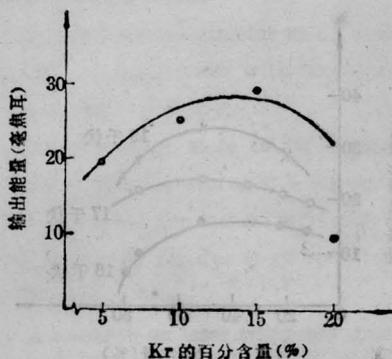
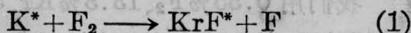
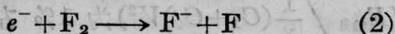


图1 输出能量与不同Kr含量的关系

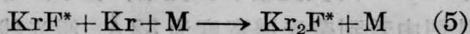
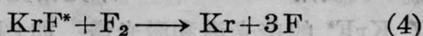
F<sub>2</sub>:0.4%; 总气压:1大气压;主放电电压:17千伏;He气为缓冲气体;预电离电压:18千伏



Kr\* 很易把多余的电子交给 F<sub>2</sub>, 形成一个离子键。其速率为 10<sup>-9</sup> 厘米<sup>3</sup>·秒<sup>-1</sup> 量级<sup>[4]</sup>。另一个是三体碰撞复合:



其中 M 为缓冲气体,可以是 He、Ne、Ar 等。这个反应的速率也为 10<sup>-9</sup> 厘米<sup>3</sup>·秒<sup>-1</sup> 左右<sup>[4]</sup>。从(3)式可见 Kr 含量增加, KrF\* 的生成也增加。KrF\* 的主要猝灭机理为:



从(5)式可见,过多的 Kr 气含量,将增加三

体碰撞猝灭速率。结合(3)式和(5)式可见存在一个最佳的 Kr 含量。同样从(1)、(2)、(4)式也可看出,存在着一个最佳的 F<sub>2</sub> 含量。当总气压为 3 大气压,主放电电压 50 千伏,Kr 的含量在 13%,He 含量 51%,Ne 含量 35.65% 时,F<sub>2</sub> 含量在 0.35% 时最好。

图2、图3示出了激光输出能量与总气压的关系。在图示的实验条件下,从图2看出,当固定主放电电压在 42.5~47 千伏时,激光输出能量随总气压的增加而增加。从图3看出,在主放电电压 32 千伏时,开始随着总气压增加,输出也是线性增加的,但从 1.6

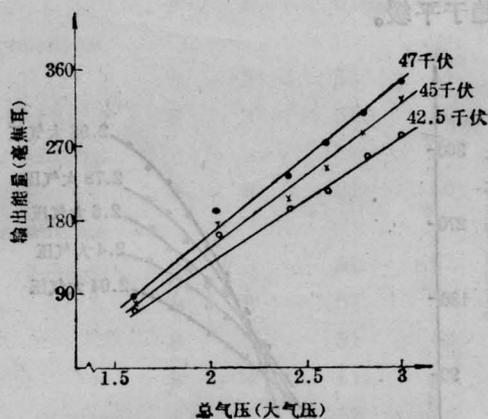


图2 输出能量与总气压的关系

F<sub>2</sub>:0.2%; Kr:13%; He 为缓冲气体;预电离电压:20千伏

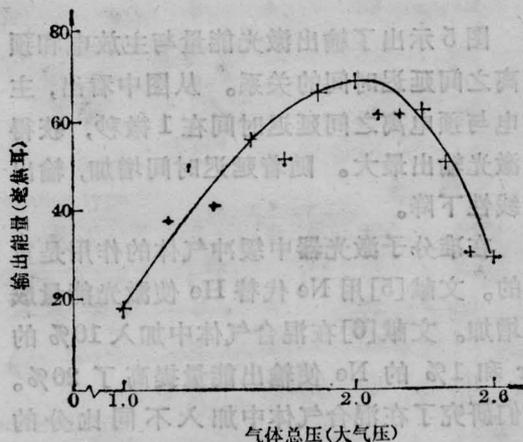


图3 输出激光能量随气体总压的变化关系

主放电电压:32千伏;预电离电压:20千伏;

F<sub>2</sub>:0.3%; Kr:19%; He:80.7%

大气压开始,已逐渐趋向饱和而达到峰值,接着输出就随着气压的上升而下降。我们从图3可求得  $(E/P)_{最佳} \approx 10$  伏/厘米·托。因此,在我们的器件,如果进一步增加总气压,在目前50千伏的主放电电压下尚有可能增加输出激光能量。

图4示出了在不同总气压时,输出激光能量与主放电电压的关系。固定预电离电压为20千伏,  $F_2:Kr:He=0.2\%:13\%:87\%$  时,从图中可以看到激光能量随主放电电压接近直线上升。在电压到45千伏以后,上升稍有缓慢。而且,随着总气压的下降,这种上升趋于平缓。

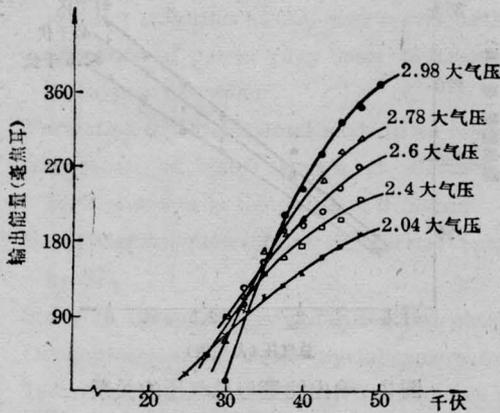


图4 不同总气压时输出能量与主放电电压的关系  
 $F_2:0.2\%; Kr:13\%; He$  为缓冲气体

图5示出了输出激光能量与主放电和预电离之间延迟时间的关系。从图中看出,主放电与预电离之间延迟时间在1微秒,获得的激光输出最大。随着延迟时间增加,输出近线性下降。

在准分子激光器中缓冲气体的作用是重要的。文献[5]用Ne代替He使激光能量成倍增加。文献[6]在混合气体中加入10%的Ar和1%的Ne使输出能量提高了20%。我们研究了在混合气体中加入不同比分的He和Ne对激光输出的影响。结果示于图6。从图6可见,在混合气体中加入50%Ne,可提高激光输出能量40%左右。

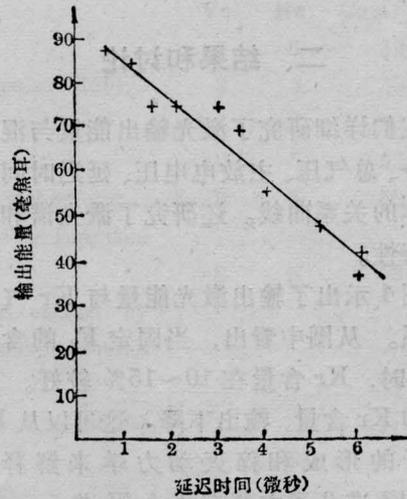


图5 输出能量与延迟时间的关系曲线  
固定主放电电压30千伏;总气压2.5大气压

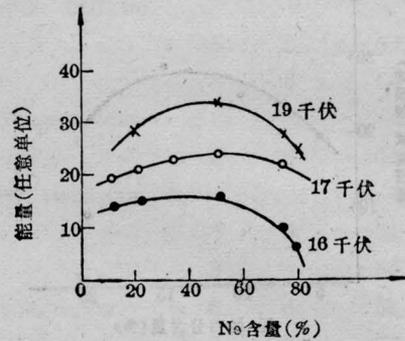


图6 输出能量与Ne含量的关系  
总气压:3大气压

我们用0.35%  $F_2$ 、13.3% Kr、35% Ne和51.35% He的混合气体,总气压3大气压,主放电电压51.5千伏,预电离电压21千伏得到最大脉冲输出能量424毫焦耳。效率  $(E_{输出} / \frac{1}{2}(C_1+C_2)V^2)$  为1%左右。体能量密度为5焦耳/升。在实验中,使用的全反介质膜和铝膜反射镜都发现有明显的激光损伤,介质膜比铝膜的损坏小一些。这可能是膜层对远紫外波长有吸收所造成的。

我们用WPG-100一米光栅光谱仪拍摄了  $KrF^*$  的荧光谱和激光谱,如图7所示。从图中看到荧光谱宽度为  $32 \text{ \AA}$ ,激光线宽为  $7 \text{ \AA}$ 。在249毫微米附近荧光谱和激光谱都存

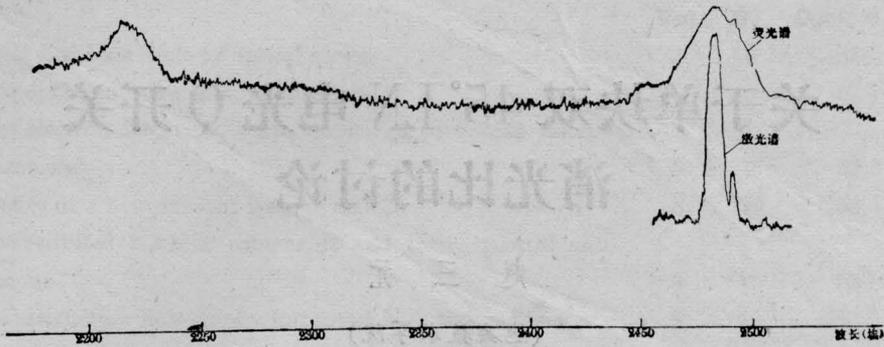


图7 KrF 的荧光谱和激光谱

荧光谱——总气压: 1.5 大气压; 主放电电压: 16 千伏; 狭缝: 0.3 毫米; 100 次曝光  
 激光谱——总气压: 2 大气压; 主放电电压: 35 千伏; 狭缝: 5 微米; 1 次曝光

在一个吸收峰。激光线的中心波长为 248 毫微米, 这是  $\text{KrF}^*(\text{B} \rightarrow \text{X})$  跃迁。我们还观察到在 222 毫微米附近有一个荧光谱, 这是  $\text{KrF}^*(\text{D} \rightarrow \text{X})$  跃迁。跃迁的中心波长为 221.5 毫微米, 荧光宽度为  $20 \text{ \AA}$ , 与 [7] 报道的  $\text{KrF}^*(\text{D} \rightarrow \text{X})$  跃迁波长 220 毫微米稍有差别。

### 参 考 文 献

[1] R. C. Sze *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979,

QE-15, 1338.

[2] D. E. Rothe *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15, 314.

[3] 上官诚等;《激光》, 1981, 8, No. 2, 17.

[4] C. K. Rhodes; *Topics Appl. Phys.* 1979, 30, 97~98, Springer-Verlag Berlin Heiderlberg N. Y.

[5] T. S. Fablen; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15, 311.

[6] R. C. Sze *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, QE-14, 944.

[7] J. R. Murray *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, 29, 252. J. E. Velazco *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1976, 65, 3468.



## 砷化镓双异质结激光器寿命达万小时

1981年9月16~18日, 由27个单位和部门的42名代表参加的鉴定会, 对上海光机所14室研制的SSJ-1型, 2型, 3型三种激光器的12项技术指标逐项进行了现场测量, 并获得了完满的结果。同时查阅了器件在温控 $25^\circ\text{C}$ 及 $55^\circ\text{C}$ 下的寿命实验数据, 实测了正在运转中器件的受激情况。结果表明 $25^\circ\text{C}$ 的最长寿命已超过14000小时, 而 $55^\circ\text{C}$ 的最长寿命则达5000小时, 若外推至 $20^\circ\text{C}$ 的温度条件寿命将高达160000小时。

此外, 会议组成的测试小组还察看了输出功率25毫瓦无扭折, 出纤功率9毫瓦和在温度 $97^\circ\text{C}$ 下正

常受激运转的部分激光器。

与会代表认为, 该类器件工艺稳定, 重复性较高, 有万小时量级的寿命, 符合应用所需的性能要求, 属于国内先进水平, 与目前同类型的美国RCA-C30127激光器水平相等。

会议听取有关该类器件用于光纤通信, 光纤测试的汇报, 认为效果良好, 有较佳的实用价值。同时会议表示希望, 在模式特性及器件物理分析方面有待努力改善和深入研究。

(杨姮彩)