

# 脉冲 Xe 离子激光器

王玉芝 谢培良 董景星 冯炳芳

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 本文报导了一台小型脉冲 Xe 离子激光器。激光器峰值功率 150 瓦, 在 4300~6300 埃中获得 10 条振荡谱线, 激光脉宽为 0.2~1 微秒, 放电电压 4~12 千伏, 充气压 0.1~9 毫托。

## A pulsed xenon ion laser

Wang Yuzhi Xie Peiliang Dong Jingxing Feng Bingfang

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

**Abstract:** Output and threshold parameters of a small bore pulsed xenon laser are presented in detail as a function of voltage and gas pressure.

The peak laser power is about 150 W. Ten spectral lines in the range of 4300~6300 Å were found. Laser pulse duration is 0.2~1 μs, discharge voltage is 4~12 kV and gas pressure is 0.1~9 mtorr.

## 器件结构

实验装置如图 1 所示。

激光器全长 1600 毫米, 放电长度 1100 毫米, 直径 3.8 毫米, 贮气套长 1000 毫米, 直

径 15 毫米。

由于 Xe 气压不稳定, 会影响输出功率的稳定。气压不稳定是由两方面的原因造成的, 其一是气体泵浦效应, 在激光管两端形成气压差, 这个气压差近似为<sup>[1]</sup>

$$\Delta P = 6.7 \times 10^{-10} P I T f L (D)^{-3}$$

式中  $P$  是管中气压;  $I$  是峰值电流;  $T$  是电流脉宽;  $f$  为重复频率;  $L$ 、 $D$  分别为激光管长和直径。从中可知, 适当减小管长, 增大管径对稳定放电是有好处的。其二是阴极和石英管壁过热气化对 Xe 气的吸收。我们采用贮气套装置来稳定 Xe 的气压。

这种激光器需要较高放电电子密度<sup>[2]</sup>, 典型数值超过  $10^{13}$ /厘米<sup>3</sup>。最初, 我们采用  $\phi 20 \times 20$  毫米的铝筒阴极, 虽然也获得了激

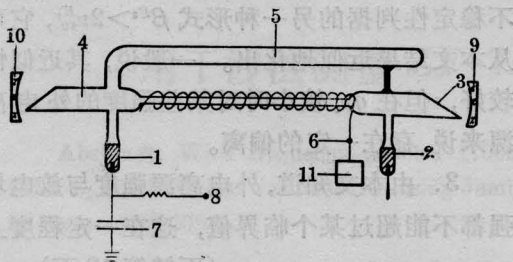


图 1 脉冲 Xe 离子激光器

1—阴极; 2—阳极; 3—布儒斯特角窗口; 4—激光器;  
5—贮气套; 6—触发丝; 7—电容; 8—电阻; 9—透  
过率为 12% 腔镜; 10—镀铝全反射镜; 11—触发电源

收稿日期: 1980 年 2 月 20 日。

光输出,但放电电压较高。因此,我们采用了纯金属钨冷阴极<sup>[3]</sup>。这种电极所承受的电流密度超过 2000 安/厘米<sup>2</sup>。将纯度为 99.999% 的金属钨在空气中熔化,封在钨杆电极的周围,很小心地避免空气泡进入钨中。在钨熔化过程中,所形成的氧化物表面,没经过特别处理。

对气体的纯度要求也很高。因此,要求系统有高达  $10^{-6}$  托的真空度,并在充气过程中,采用了分子筛,以有效地吸附水蒸气和其它杂质气体。同时,对放电管还作了 He 气和 Xe 气放电处理。

腔镜的曲率半径为 4000 毫米,相距 1700 毫米。一端为镀铝全反镜;另一端镀多层介质膜,透过率为 12%。

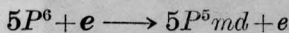
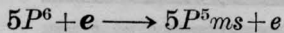
供电电压 4~12 千伏,放电电容 0.28 微法,激光脉宽 0.2~1 微秒,峰值脉冲功率 150 瓦。

目前,这台激光器一次充气后可连续运转  $10^4$  次以上,而无明显的能量衰减。

## 输出特性

### 1. 激光谱线

由 Xe 离子激光器能级结构,决定了它有许多条振荡谱线。Xe 原子基态电子的排列为  $5P^6$ , 进行电子碰撞时,发生下列两种跃迁:



这里  $m = n+1, n+2, n+3, \dots, n=5$

我们用 WDS-1 型单色仪,在可见光范围内测量了激光器的振荡谱线。由于反射镜的中心波长和反射率不同,获得了 10 条不同的激光振荡谱线,详见表 1。

从表 1 中可以看出,当反射镜中心波长在 4300 埃到 6300 埃变化时,最容易振荡的谱线有 5956 埃(桔红),5260 埃和 5359 埃(二条绿线)。

表 1 反射镜中心波长与振荡谱线的关系

反射镜中心波长 (Å)	振荡谱线 (Å)
4300	5359, 5260, 5044, 4954, 4306
5300	5956, 5359, 5353, 5260, 5190, 5044, 4954
5900	5956, 5359, 5260
6300	6270, 5956, 5600, 5359, 4954

特别值得指出的是,当反射镜的中心波长为 5900 埃时,在气压为 3~9 毫托,电压为 6~10 千伏的范围内,仅有一条桔红线 5956 埃出现。而且,在腔镜的反射率相当低的条件下,也能产生振荡<sup>[4]</sup>。利用这一特性,在实验室中,适宜于把它作为单色脉冲光源使用。

当反射镜的中心波长为 6300 埃时,固定电压为 9 千伏,改变气压。我们可以看到,气压为 8 毫托时,出现了 6270 埃、5956 埃、5600 埃这三条谱线。当气压降到 6 毫托时,除了上述的三条谱线外,又出现了比 5600 埃更短的跃迁 5359 埃。当气压继续下降到 3 毫托时,长波 6270 埃消失了,而出现了比 5359 埃更短的振荡 4954 埃。

当固定气压为 6 毫托,改变电压时,振荡波长也发生变化。当电压为 7 千伏时,出现了 5956 埃、5600 埃、5359 埃、5260 埃四条谱线。电压升高到 9 千伏时,振荡向短波方向移动,出现了 4600 埃(紫光)。

从上面的实验可以看出,跃迁波长随电压和气压而改变<sup>[2]</sup>。气压较低,电压较高,较容易产生短波振荡。

### 2. 脉冲能量

在实验中,我们利用定标卡计,测得单脉冲的输出能量为 0.6 毫焦耳/脉冲。同时也测量了放电电压与充气压对输出能量的影响。

a. 放电电压与脉冲能量的关系如图 2。

由图 2 可以看出,当放电电压超过阈值以后,脉冲能量随电压的增加而增加,能量增加到某一极大值时,随着电压的升高,能量缓

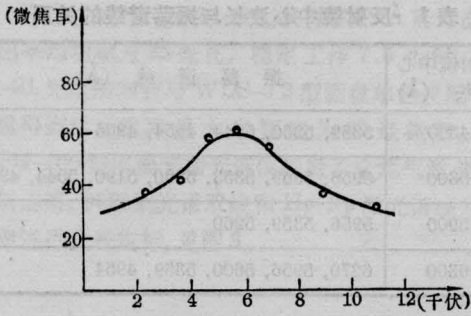


图2 放电电压与脉冲能量的关系

慢下降。在实验中,我们保持气压不变为2毫托,所以随着放电电压的增加, $E/P$ 值增加。我们获得的最佳 $E/P$ 值为 $2.5 \times 10^4$ 伏/厘米·托。再继续增加放电电压,使激光器偏离了最佳 $E/P$ 值,因此脉冲能量下降。

b. 工作气压与脉冲能量的关系如图3。

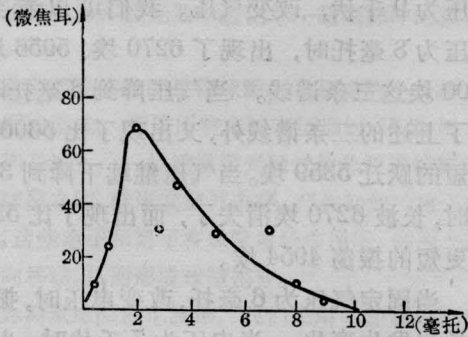


图3 工作气压与脉冲能量的关系

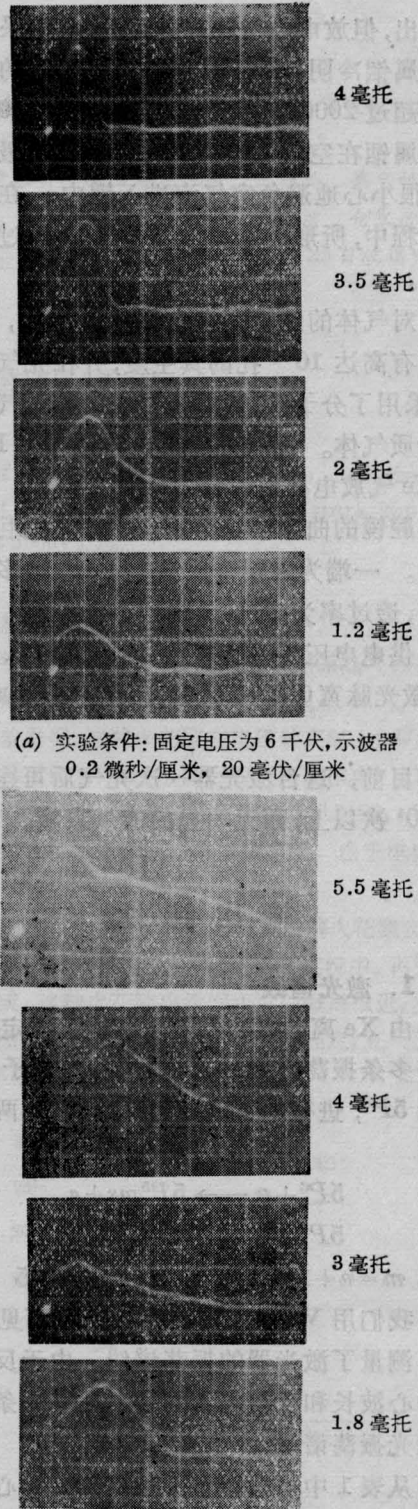
由图3中可以看到,固定电压,当管内气压超过阈值以后,脉冲能量随气压的增加而较快增加。能量增加到某一极大值时,再继续增加气压,激光输出较快下降。

当电压固定,气压超过阈值以后,只要平均电子能量足够高,随着气压的增加,被离子化产生激发态的粒子数也愈多,因而激光输出也愈大。但气压过高的结果,使粒子间碰撞机会增大,自由程减小,平均电子温度下降,因而脉冲能量减少。

### 3. 激光脉宽

#### a. 脉宽随气压的变化

脉宽随气压而改变的示波照像图如图4。



(a) 实验条件: 固定电压为6千伏, 示波器  
0.2微秒/厘米, 20毫伏/厘米

(b) 实验条件: 固定电压为10千伏, 示波器  
0.2微秒/厘米, 20毫伏/厘米

图4 气压与脉宽关系的示波照像图

脉宽与气压关系曲线如图 5。

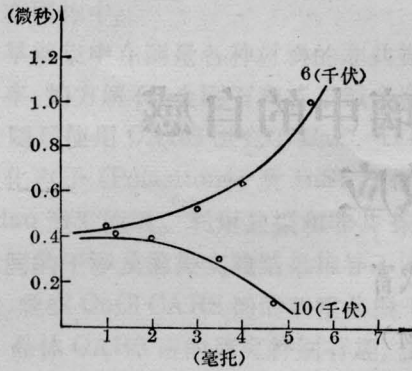


图 5 脉宽与气压的关系

从图 5 中可以看出，当放电电压略高于阈值电压(约 6 千伏)时，随着气压的升高，脉宽增加，而当电压增加到 10 千伏时，刚好呈相反变化，即随着气压的升高，脉宽变窄。

b. 脉宽与激发电压的关系如图 6 所示。

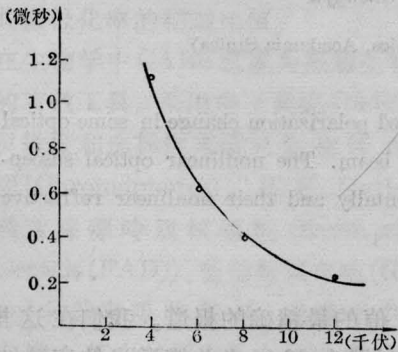


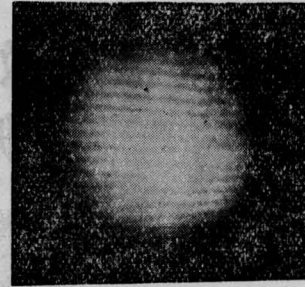
图 6 脉宽与激发电压的关系

从图 6 中可以看出，激光脉宽随放电电压的升高而变窄<sup>[5]</sup>。

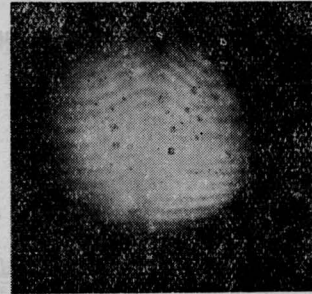
以上是对脉冲 Xe 离子激光器特性的描述。这种激光器的用途之一，是作为染料激光器的泵浦源。因为离子激光器的泵浦线接近染料激光器的最大吸收线，所以泵浦效率较高。

另外，在实验室中，我们可以把脉冲 Xe 离子激光器，做为一个相干光源，来研究温度场、流场及等离子体放电均匀性等。

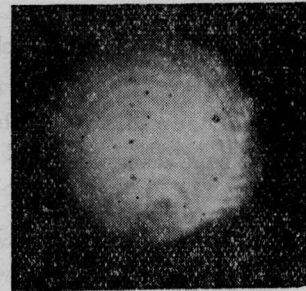
我们用 Xe 离子激光器，在马赫干涉仪上摄制的火焰温度场干涉图如图 7。



(a)



(b)



(c)

图 7

(a) 无火焰时干涉的照相图；(b)、(c) 在光路中置入火焰时，由温度分布引起的干涉条纹变化

### 参 考 文 献

- [1] Clinton D. H.; *Rev. Sci. Instrum.*, 1974, **45**, 400.
- [2] Bridges W. B.; *Appl. Phys. Lett.*, 1964, **4**, 178.
- [3] Simmons W. W.; *IEEE J. Q. E.*, 1970, **QE-6**, 649.
- [4] William W. S.; *IEEE J. Q. E.*, 1970, **QE-6**, 466.
- [5] Bridges W. B.; *Appl. Opt.*, 1965, **4**, 573.