

# 放电泵浦 XeCl 准分子激光器虚共焦非稳腔性能的实验研究

魏燕明 刘晶儒 孙瑞蕃

(西北核技术研究所, 西安 710024)

**提要** 在放电泵浦 XeCl 准分子激光器上, 对放大率  $M$  从 1.80 到 20.56 共十一种虚共焦非稳腔的光束水平、竖直方向发散角  $\theta_{//}, \theta_{\perp}$ , 能量  $E$ , 近场光强  $I_{\text{max}}$  及远场功率密度  $\rho$  在不同泵浦速率下随  $M$  的变化关系进行系统的实验研究。

**关键词** 氯化氙激光, 虚共焦非稳腔, 束散角

## 1 引言

近年来随着高增益快放电泵浦的准分子激光器的发展, 在光化学、泵浦染料激光及受激拉曼散射中采用了非稳腔技术以获得高功率低束散角的高质量激光输出。迄今, 国内外已有人对非稳腔的性能进行了一些理论和实验研究。A. A. Isaev 等人<sup>[1]</sup>研究了铜蒸气激光器中介质增益对放大率  $M$  从 6 到 300 的非稳腔性能的影响, 得出在同一种非稳腔上, 激光输出能量和束散角随增益的增加而增大, 而在同一泵浦条件下, 非稳腔的输出能量和束散角则随放大率  $M$  ( $M > 6$ ) 的增大而减小的规律。I. Park 等人<sup>[2]</sup>研究了  $M$  从 3 到 63 的平凸腔 XeCl 激光, 得出束散角在同一泵浦条件下随  $M$  的增大而减小的规律。颜惠芝<sup>[3]</sup>对正支共焦非稳腔的输出光束能量分布也进行了实验研究。但还没有人对虚共焦非稳腔准分子激光的输出特性进行详细地研究。我们在放电泵浦 XeCl 激光器上对放大率  $M$  从 1.80 到 20.56 十一种虚共焦非稳腔的束散角、能量及远场功率密度等随放大率、工作电压的变化关系进行了系统的实验研究。为改善高功率准分子激光的光束品质提供规律性的认识和可循的依据。

## 2 实验装置

实验是在自行研制的紫外自动预电离放电泵浦 XeCl 准分子激光器上进行。激光器放电截面为水平 20 mm, 竖直 5 mm 的矩形。气室充气比例  $\text{HCl}/\text{Xe}/\text{Ne} = 0.1/1.0/98.9$ , 总气压为 0.40 MPa 放电电压分别采用 17.5, 20.0, 22.5, 25.0 kV。测试系统布局如图 1 所示。用自准直法精细调解非稳腔达共轴与共焦<sup>[4]</sup>。

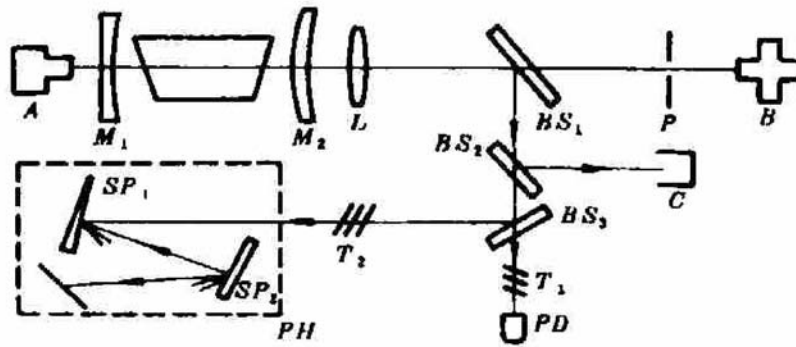


Fig. 1 Schematic diagram of XeCl laser experimental system

A — He-Ne laser; B — telescope;  $M_1, M_2$  — mirrors; L — lens; P — aperture; BS — splitter; T — attenuator; C — calorimeter; PD — photodiode; SP — wedge; PH — array camera

### 3 实验结果

#### 3.1 近场图与远场图

实验中,我们拍摄的近场光斑如图 2 所示。在焦距  $f = 3\text{ m}$  的透镜焦平面上拍摄的远场阵列图如图 3 所示。近场图为平面波所照亮的  $20 \times 5\text{ mm}^2$  的矩形光斑,中心为被输出镜挡住的圆形暗斑,其直径  $d = 20\text{ mm}$ 。

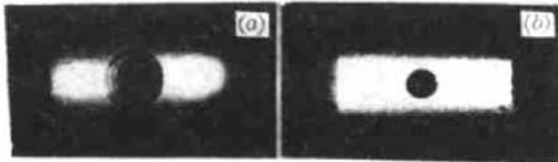


Fig. 2 Near-field pattern of unstable resonator XeCl laser  
(upper —  $M = 2.98$ , lower —  $M = 15.21$ )

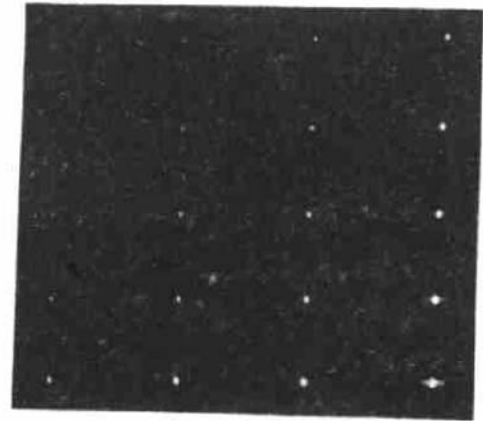


Fig. 3 Far-field array patterns of unstable resonator XeCl laser ( $M = 15.21$ )

#### 3.2 束散角

通常在高斯光束中,人们用含总能量的 86.5% 的光斑尺寸来定义束散角。而在近场条件下,用含总能量 81.7% (矩孔衍射的中零级所占能量份额) 的光斑尺寸来定义束散角。

用焦斑法或穿孔法测量束散角其缺点在于缺乏焦面位置的客观标准,而且穿孔法仅适用于圆形光斑的情况。用阵列相机测量束散角则能很好地解决这一问题。其简单示意图如图 4 所示。

图 1 中,光楔  $SP_1, SP_2$  正交放置,其内表反射率  $R_1 = 50\%$ ,外表反射率  $R_2 = 100\%$ ,光束经  $SP_1$  多次反射后形成一行子光斑,行中每一个子光斑经  $SP_2$  多次反射后形成一列子光斑,于是形成阵列图。

通过测试,可以准确确定出阵列图中焦平面位置所在的行。设其光斑面积依次为  $S_1,$

$S_2 \dots S_m \dots$ 。由于每个光斑边缘的光能密度等于干版的感光阈值  $E_r$ ，根据光楔的反射率，可推算出经归一化后的原始光束在不同径向位置的能量密度：

$$I_1(S_1) = 1, \quad I_2(S_2) = 2, \quad \dots, \\ I_m(S_m) = 2^{m-1}, \quad \dots$$

则包含在  $S_m$  面积范围内的能量为

$$E(S_m) = \sum_{i=1}^m I_i(S_i)(S_i - S_{i+1}) \quad (1)$$

整个光束的总能量为

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{\infty} I_i(S_i)(S_i - S_{i+1}) \quad (2)$$

我们将列阵图用 CCD 图像分析系统进行二维扫描分成许多  $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$  的像素，给出每个光斑面积  $S_m$  及水平、竖直方向的光斑半长轴  $x_m, y_m$ 。用公式 (1), (2) 做出相对能量  $\eta = E(S_m)/E_{\Sigma}$  随面积  $S$  的变化曲线，确定出  $\eta_f = 81.7\%$  相对应的焦斑面积  $S_f$ ，由  $S \sim x, y$  曲线而得水平、竖直方向的焦斑半长轴  $x_f, y_f$ ，进而得半角束散角  $\theta_{//} = x_f/f, \theta_{\perp} = y_f/f$ 。

图 5 为对应的能量随光斑面积的分布曲线。81.7% 能量对应的焦斑面积  $S_f = 0.672 \text{ mm}^2$ ，此时焦斑半长轴  $x_f = 0.402 \text{ mm}, y_f = 0.543 \text{ mm}$ 。对应的束散角  $\theta_{//} = 1.34 \times 10^{-4} \text{ rad}, \theta_{\perp} = 1.81 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。

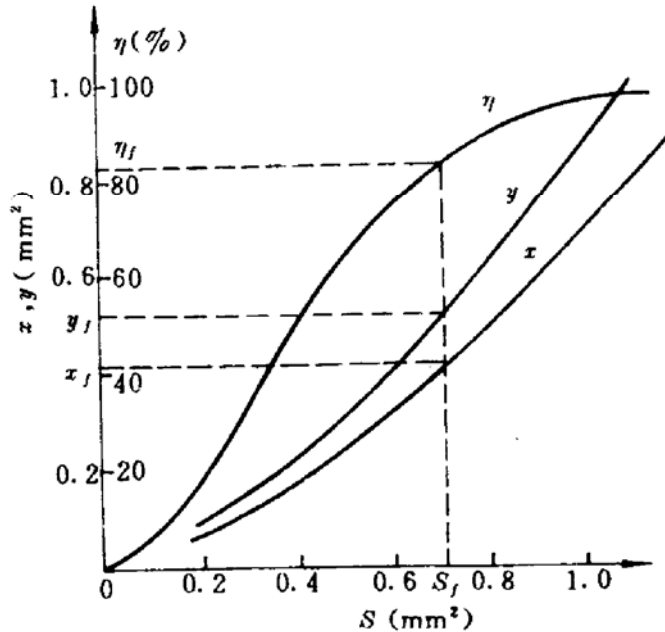


Fig. 5 Energy percentage distribution curve of laser far-field pattern ( $M = 15.21$ )

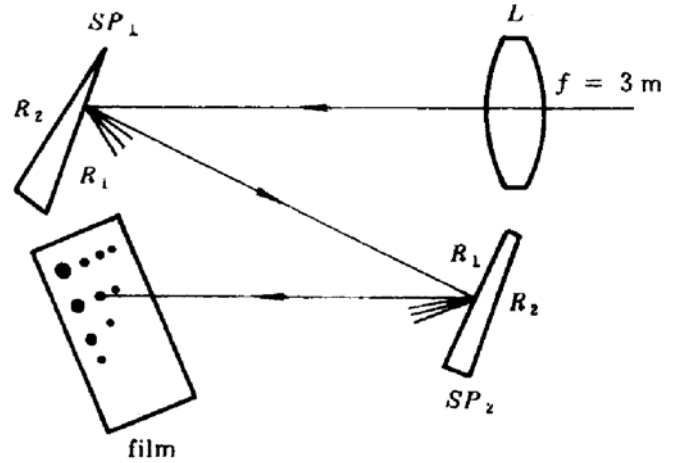


Fig. 4 Schematic diagram of array camera

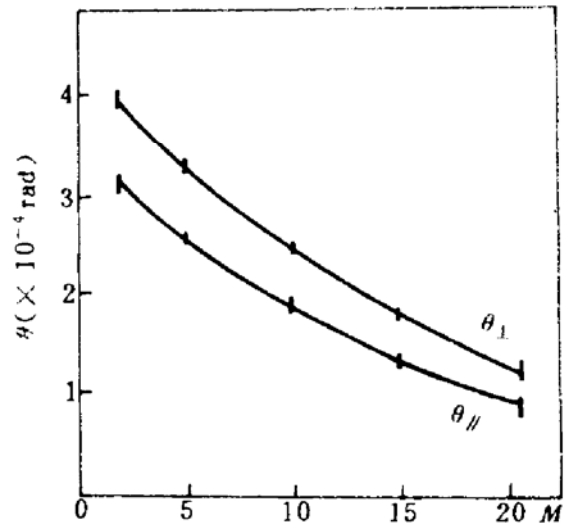


Fig. 6 The divergence angle  $\theta_{//}, \theta_{\perp}$  versus magnification  $M$  under discharge voltage  $V = 20.00 \text{ kV}$  and cavity length  $L = 1.60 \text{ m}$

在不同放电电压下，对十一种虚共焦非稳腔的束散角  $\theta_{//}, \theta_{\perp}$  进行测量，其结果如图 6, 7 所示。可见，在同一泵浦条件下，束散角随放大率  $M$  的增大而减小，而对应于同一  $M$  值，束散角则随放电电压  $V$  的升高而增大。在我们的实验条件下，当  $V = 17.5 \text{ kV}, M = 20.56$ ，得到最小束散角  $\theta_{//} = 6.21 \times 10^{-5} \text{ rad}, \theta_{\perp} = 8.74 \times 10^{-5} \text{ rad}$ 。

### 3.3 能量, 近场光强与远场功率密度

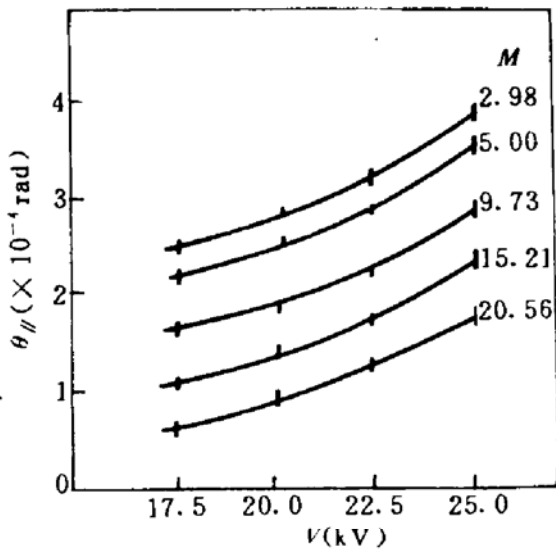


Fig. 7 The divergence angle  $\theta_{//}$  as a function of discharge voltage  $V$  under different magnifications when cavity length  $L = 1.60$  m

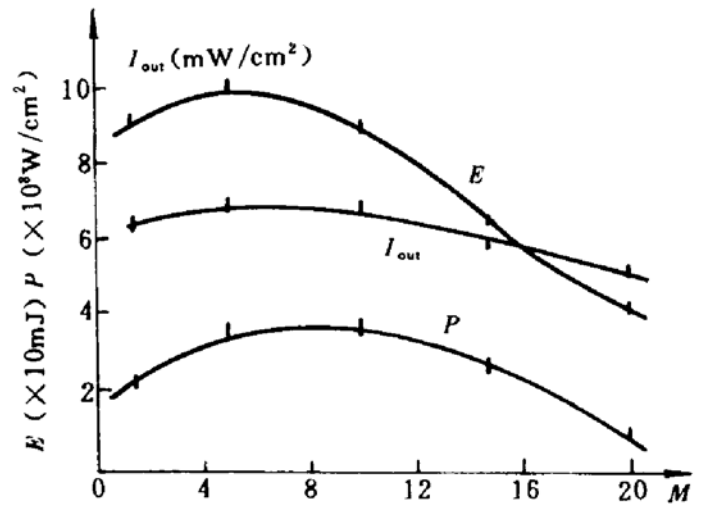


Fig. 8 The energy  $E$ , near-field intensity  $I_{out}$  and far-field power density  $P$  versus magnification  $M$  under discharge voltage  $V = 20.0$  kV

在相同泵浦速率下,对十一种非稳腔的激光输出能量  $E$ ,波形脉宽  $\tau$  及焦斑面积  $S_f$  进行测量,而得到近场光强  $I_{out}$  和远场功率密度  $\rho$  分别为

$$I_{out} = E/S \cdot \tau, \quad \rho = E/S_f \cdot \tau$$

式中,  $S$  为近场光斑面积。图 8 即为在 20.0 kV 下,  $E, I_{out}, \rho$  随  $M$  的变化关系。可见,在恒定泵浦条件下,虚共焦非稳腔的输出能量,近场光强及远场功率密度随放大率  $M$  的变化均存在一极值点。 $E$  在  $M = 5$  附近最大,而  $\rho$  在  $M = 7$  附近最大。

## 4 分析讨论

4.1 我们在测量束散角时为了避免杂散光在记录干版上引起较大的本底,在列阵相机前加了一定的衰减片,这有可能给束散角的测量带来一定的误差,为此我们用穿孔法进行测量比较。在  $V = 20.0$  kV,对  $M = 5.00$  的虚共焦非稳腔,在焦平面上加不同的针孔并测量针孔后的能量,得到在  $\eta = 81.7\%$  时,束散角  $\theta = 3.94 \times 10^{-4}$  rad。与用列阵相机测得的值  $\theta_{//} = 2.72 \times 10^{-4}$  rad,  $\theta_{\perp} = 3.27 \times 10^{-4}$  rad 相比相差较小,可见,由于加了衰减片后,尽管有可能使实测值比真实值偏小,但影响不大。事实上,对于圆孔衍射,在透镜焦平面内光照度的分布是圆对称的,采用穿孔法测得的束散角可与高斯光束所定义的束散角统一起来。但在我们的实验条件下,存在水平、竖直两个方向的发散角,用穿孔法测量有一定的局限性。

4.2 实验中测得的虚共焦非稳腔输出能量  $E$  随放大率  $M$  的变化存在一极值点,这与 A. A. Isaev 等人<sup>[1]</sup>在铜蒸气激光器所得到的能量随  $M$  的增大 ( $M > 6$ ) 而减小的规律不同。从几何光学上看,虚共焦非稳腔相当于输出镜反射率为  $R = 1/M^2$  的平行平面腔,故在一定输出耦合下存在能量极值。我们是在放电泵浦 XeCl 准分子激光器上对放大率  $M$  从 1.80 到 20.56 的非稳腔,对其输出能量进行系统的实验,测到了极值点。

感谢 甘雨刚、王丽戈、王龙华、赵学庆等在谐振腔的准直及激光参数的测量中给予的帮助,在此感谢。

## 参 考 文 献

- 1 A. A. Isaev *et al.*. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, 7: 746
- 2 I. Park *et al.*. *Journal of Modern Optics*, 1988, 35(3): 587
- 3 颜惠芝, 中国激光, 1989, 16(1): 49~52
- 4 甘雨刚 等, 激光杂光, 1992, 13(1): 1~3

## Experimental Investigation on Characteristics of Positive-branch Confocal Unstable Resonator of Discharge-pumped XeCl Laser

Wei Yanming Liu Jingru Sun Ruifan

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024)

**Abstract** The characteristics for the various positive-branch confocal unstable resonators which magnification  $M$  ranges from 1.80 to 20.56 have been studied experimentally on discharge XeCl laser. The output beam divergence angles  $\theta_{//}, \theta_{\perp}$ , energy  $E$ , near-field intensity  $I_{out}$  and far-field power density  $P$  versus  $M$  have been obtained under different pump rates.

**Key words** XeCl laser, positive-branch confocal unstable resonator, beam divergence angle