

10W横向流动准分子激光器

楼祺洪 郑承恩 江 淼 姜阅清 丁泽安
丁爱臻 董景星 魏运荣 祁建平 王润文

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报道了输出功率为 10 W 的紫外(308 nm)横向流动准分子激光器。给出了气体循环系统特性和 X 射线预电离剂量分布; 最后, 讨论了气体流速对激光输出的影响。

A 10 W transverse flow excimer laser

Lou Qihong, Zheng Chengen, Jiang Miao, Jiang Yueqing, Ding Zean
Ding Aizhen, Dong Jinxing, Wei Yunrong, Qi Jianping, Wang Runwen

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

Abstract: A transverse flow excimer laser produces an output power of 10 W at 308 nm. The gas recirculating system and the dosage distribution of X-ray preionization are described, and the effects of gas flow velocity on the laser output are rediscussed.

在有些应用中, 有时候需要脉冲能量较大(焦耳量级)、平均功率为几瓦的准分子激光器件。本文报道最大输出功率为 10 W 的紫外(308 nm)横向流动准分子激光器。

一、气体流动系统

图 1 给出气体循环流动系统的结构简图, 离心风机由功率为 2 kW 的马达驱动, 马达与离心风机之间采用高压旋转密封系统。系统由不锈钢制成以防止卤素气体的腐蚀, 在激光放电区下游有一个管板式水冷热交换器。为了防止离心风机转动时的振动对整个系统(主要是激光放电区)的影响, 离心风机

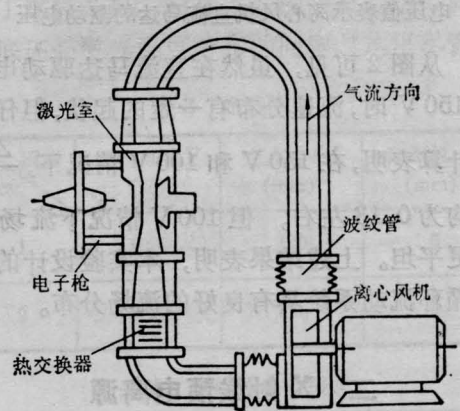


图 1 横向流动准分子激光器气体循环流动系统的结构简图

收稿日期: 1985年8月3日。

的入口端与出口端均有不锈钢波纹管与系统连接。

激光室部分的气体流量控制是采用减小边界层的喷管设计。阳极取张氏电极形状,并嵌入环氧玻璃钢板中;阴极是一个平面型电极,其背后是X射线预电离源。二电极之间的间距为2.5 cm。

整个气体流动循环系统由不锈钢加工而成,用皮托管测量了放电区的流速,最大流速可达每秒30 m以上。图2给出长度为70 cm的激光放电区沿光轴方向的流速分布。图中分别给出直流电机驱动电压为100 V和150 V时的流场分布。实验结果表明流场对于放电区沿光轴方向的中心是对称的,图2仅给出一半的流场分布。

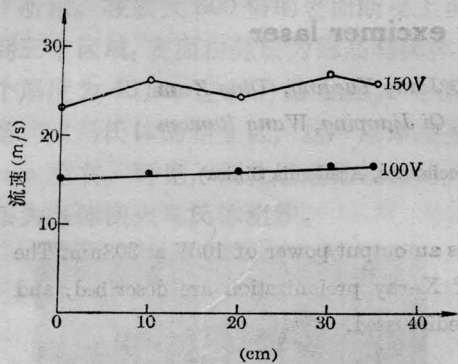


图2 激光放电区内的流速沿光轴的分布,电压值表示离心风机直流马达的驱动电压

从图2可见,虽然在直流马达驱动电压为150 V时,流速分布有一定的起伏,但仔细的计算表明,在150 V和100 V情况下, $\frac{\Delta V}{V}$ 值均为0.13左右。但100 V情况下流场分布更平坦。上述结果表明,本实验设计的气体循环流动系统具有良好的流场分布。

二、X射线预电离源及其剂量分布

在激光放电阴极背面是一个冷阴极X射线源^[4],冷阴极电子枪的阴极宽0.6 cm长

60 cm 安装在一根铜制防晕盖上,它与电子枪阴极间距为1.5 cm左右,阴极是用薄的钽箔制成,钽箔后面是厚度为0.15 cm的铝板。钽箔的厚度选择为既能适当地阻止电子的穿透而对X射线又有良好的穿透性能。为了使X射线预电离源能在重复频率下运转,钽的良好导热性能有助于热量的扩散传导。三级麦克斯发生器提供一个100 kV、500 ns的宽脉冲。在激光放电区测得每个脉冲的X射线强度约为5 mRem左右。

为了控制X射线的辐射范围,在激光放电阴极背面有一块通X光孔径为1 cm × 60 cm的掩模板,图3给出X射线在空间分布的几何结构,斜线部分表示X射线通光孔径,用虚线表示的圆柱体为激光振荡谐振腔区域,而X、Y和Z轴则表示我们测量三个座标方向上的X射线剂量分布的方位。

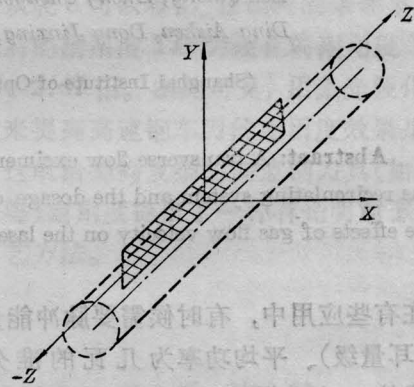


图3 测量激光放电区内X射线剂量分布的坐标系统

采用北京核仪器生产的FJ-301G₂型射线剂量仪,测量了三个座标方向的X射线剂量分布。图4给出沿Z轴方向上的分布,其均匀度约为±25%,这对于大体积准分子雪崩均匀放电已足够均匀。图5给出X射线剂量沿X轴和Y轴的分布,在Y方向,10 cm范围内剂量减小小于25%,而在X方向10 cm范围要减小4~5倍。但在我们的激光器设计中,极间距仅为2.5 cm,在该区域内X射线剂量亦小于25%。综上所述,在

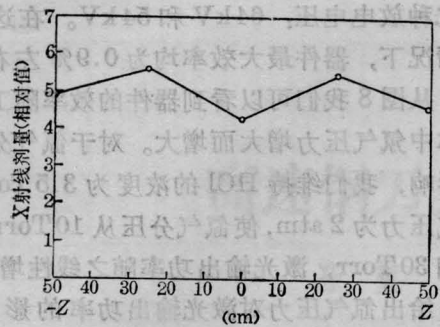


图4 X射线剂量沿Z轴方向的分布

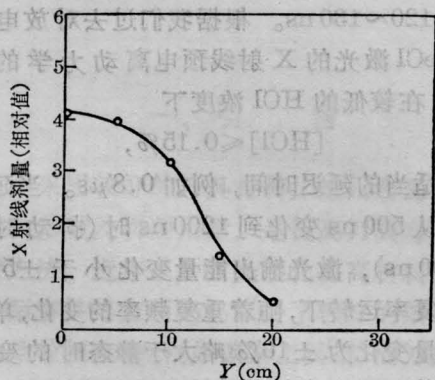
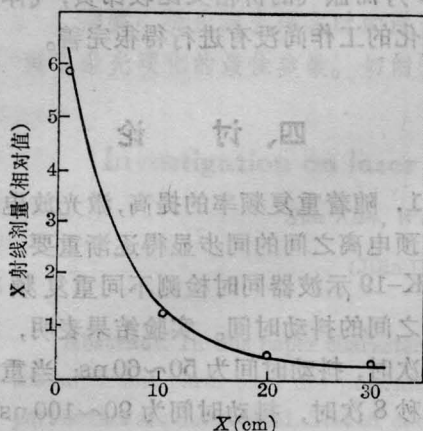


图5 X射线剂量沿X轴和Y轴方向的分布

激光放电区范围内, X射线剂量变化小于 $\pm 25\%$, 为大体均匀放电提供了必要的条件。

三、激光实验结果

激光放电电源是用一台电容量为

$0.066 \mu\text{F}$ 的二级麦克斯发生器对低感陶瓷电容器组($C=0.054 \mu\text{F}$)进行脉冲充电, 并通过通道开关对激光器放电。图6给出不同电压下激光输出的变化。从图中可见, 电压为 $80 \sim 100 \text{ V}$ 时激光输出功率最大, 而当 $V=150 \text{ V}$ 时激光输出略有下降。上述结果与图2给出的结果相符合, 因为 $V=100 \text{ V}$ 时流速分布比 $V=150 \text{ V}$ 时更为平坦。

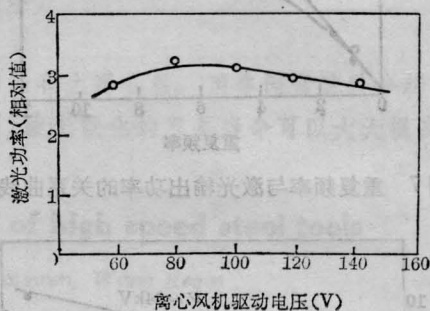


图6 离心风机驱动电压(气体流速)对激光功率的影响

根据流速测量值, 当电压从 60 V 上升到 150 V , 流速从 15 m/s 上升到 25 m/s 。我们可以认为在流速从 $15 \sim 25 \text{ m/s}$ 范围内, 激光器均能正常运转。在以下的实验中, 我们一般维持每秒 20 m 的流动速度。

作者之一^[5]曾对静态重复频率放电准分子激光放电的热效应进行研究, 根据该文提出的放电气体热膨胀模型, 当重复频率达每秒 10 次时, 热效应使输出功率降为不考虑热效应情况预期值的一半左右。在本文的横向流动情况下, 热效应已由气体循环系统克服。图7的实线给出激光输出功率与重复频率之间的关系。从图中可见, 激光输出功率随重复频率线性增长, 作为比较, 图中同时给出静态条件下的输出特性(虚线)。在每秒 10 次条件下, 当 $\text{HCl}:\text{Xe}:\text{Ne}=1:6:857$, 总气压为 3.9 atm 时, 最大输出功率达 10 W 。

图8给出Ne气压力对激光输出功率的影响, 当维持 $\text{HCl}=3.5 \text{ Torr}$, $\text{Xe}=30 \text{ Torr}$ 时, 改变Ne气的压力, 激光输出功率随Ne气压力的增大而增长。图中二条曲线分别对

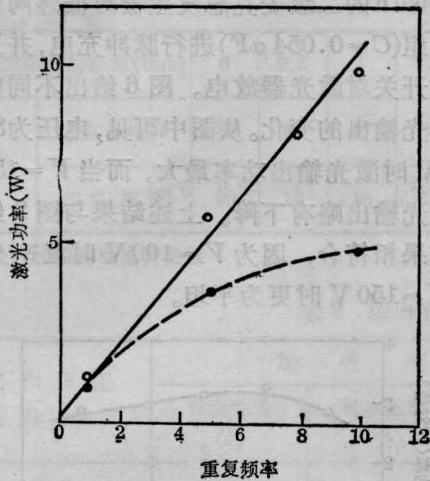


图7 重复频率与激光输出功率的关系曲线

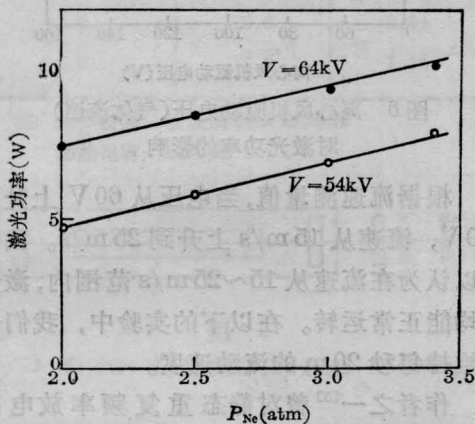


图8 Ne气压力对激光输出功率的影响

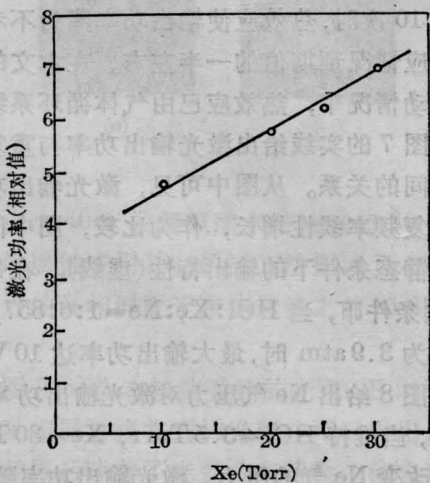


图9 氙气压力对激光输出功率的影响

应二种放电电压: 64kV 和 54kV。在这二种情况下, 器件最大效率均为 0.9% 左右。

从图 8 我们可以看到器件的效率随工作气体中氙气压力增大而增大。对于氙气分压的影响, 我们维持 HCl 的浓度为 3.5 Torr, 氙气压力为 2 atm, 使氙气分压从 10 Torr 提高到 30 Torr, 激光输出功率随之线性增长。图 9 给出氙气压力对激光输出功率的影响。值得指出的是由于整个器件容积较大 (大于 200 l³), 而氙气的价格又比较昂贵, 气体成份最佳化的工作尚没有进行得很完善。

四、讨 论

1. 随着重复频率的提高, 激光放电与 X 射线预电离之间的同步显得逐渐重要。我们用 OK-19 示波器同时检测不同重复频率下二者之间的抖动时间。实验结果表明, 在每秒 5 次时, 抖动时间为 50~60 ns; 当重复率为每秒 8 次时, 抖动时间为 90~100 ns; 进一步将重复频率提高到每秒 10 次, 抖动时间为 120~130 ns。根据我们过去对放电泵浦 XeCl 激光的 X 射线预电离动力学的分析^[5], 在较低的 HCl 浓度下

$$[HCl] \leq 0.15\%$$

选择适当的延迟时间, 例如 0.8 μ s。当延迟时间从 500 ns 变化到 1200 ns 时 (抖动时间为 700 ns), 激光输出能量变化小于 $\pm 5\%$ 。在重复率运转下, 随着重复频率的变化, 单脉冲能量变化为 $\pm 10\%$ 略大于静态时的变化值, 其原因可能与激光放电产生激波影响有关。因此, 在我们的实验条件下, 上述抖动时间并不影响激光器的输出特性, 当然, 为了进一步提高重复频率, 在电路上改进设计, 减小抖动时间是有利的。

2. 我们测量了横流情况下激光束的方向性, 发现与静态单脉冲情况下基本一致, 为 4 mrad 左右。

(下转第 645 页)

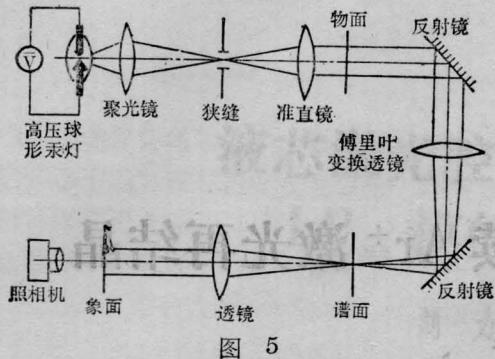


图 5



图 6

射一级光通过,得到一定的密度提取(如图7)。

三、讨 论

从实验结果看,这种组合矩形光栅的 halftone 屏确实能对图象等密度分割假彩色



图 7

处理,并可以通过不同的频谱滤波得到一定的密度提取。

这种屏对图象编码过程是一步完成的,比 G. Indebetouw 提出的第一种方法要简单得多。不过,这种屏分割密度区的范围是一定的,要得到不同的密度区分割就需要在制作 halftone 屏时控制不同的曝光,与 G. Indebetouw 提出的第二种屏相比,两者编码都是一次完成的,但他所用的屏制作比较麻烦,尤其是对多层次密度分割,其屏的制作更为困难。因为这时最高频率将与灰度层次 n 和屏的基频有关系 $f_0 \times 2^{n-1}$,同时,用这种屏对图象编码时对接受的分辨率也有较高要求。这些问题在我们的方法中都不存在。

对石敏同志在工艺上的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] H. K. Lin, J. W. Goodman; *Appl. Opt.*, 1976, 15, No. 10, 2394.
- [2] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1977, 16, No. 7, 1951.
- [3] G. Indebetouw; *Journal of Optics*, 1978, 9, No. 1, 1.

(上接第 638 页)

3. 用光电检测器及高速示波器拍摄 308 nm 激光波形。在每秒 5~10 个脉冲情况下,10 个以上脉冲在示波照片上完全重叠,其半高度全宽度约为 85 ns。上述结果表明,该器件在重复频率下运转,输出信号幅度比较稳定。

在器件设计中,得到本所查鸿逵、沈俊泉同志的帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] R. T. Young et al.; *Proceeding OSA Conf. on Excimer Lasers*. Ed. by C. K. Rhodes et al., AIP 1983, p. 266.
- [2] Tim Mcgrath; *Solid State Technology*, 1983, 26, 165.
- [3] M. Moretti; *Laser and Applications*, 1985, 4, No 6, 50.
- [4] 郑承恩;《中国激光》, 1984, 11, No. 5, 276.
- [5] 楼祺洪等;《中国激光》, 1985, 12, No. 1, 20.