

# 大体积 X 光预电离 XeCl 准分子激光的参量研究

楼祺洪 成序三 丁爱臻 魏运荣 丁泽安 郑承恩

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 实验研究了大体积 XeCl 准分子激光的特性, 包括 X 光预电离均匀性的改进, 非稳定共振腔输出。获得最大单脉冲能量为 1.6J。

## Study on parameters of a large volume X-ray preionized XeCl excimer laser

Lou Qihong, Cheng Xusan, Ding Aizheng, Wei Yunrong, Ding Zean, Zheng Chengan

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

**Abstract:** The characteristics of a large volume XeCl excimer laser, including the improvement of uniformity of X-ray preionization, and the unstable resonator laser output were investigated experimentally. The maximum pulse output energy is 1.6 J.

在文献[1]中, 我们曾报道了放电体积为 0.2 立升的 X 光预电离脉冲雪崩放电 XeCl 准分子激光器的工作特性。本文在原有小体积放电基础上, 给出大体积 X 光预电离 XeCl 准分子激光的参量特性。一般而言, 由于放电体积的增大会提高对预电离源的要求以及增大回路电感。实验结果表明, 只要电感不大于 0.1  $\mu$ H, 激光器效率无明显下降。

在选取大体积放电的最佳混合比和 X 光预电离与主放电之间最佳延迟时间后, 大体积放电激光输出能量达 1.6J。在此基础上进行了非稳腔输出实验, 与普通的稳腔相比, 其方向性有数量级的改善, 而输出能量可达稳腔的 0.85。由于大部分快放电型准分子

激光的输出光斑是矩形截面, 较难使用望远镜型非稳腔结构。本实验达到放电截面为  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  的均匀放电, 获得了较为满意的非稳腔输出。

### 一、大体积均匀放电的获得

对于 X 光预电离 XeCl 准分子激光器, 当将极间距从 2cm 增大到 3cm, 放电宽度亦相应加宽的情况下, 不太容易获得均匀的辉光放电, 尤其在电极二端很容易产生弧光放电。其原因可能是电极二端的面型不够均匀, 亦可能是该部分的 X 射线预电离的剂量

收稿日期: 1984年9月25日。

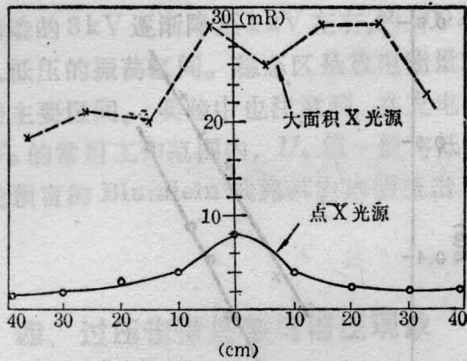


图1 X射线剂量沿激光管长度方向的分布

太小。

根据我们对阴极结构的实验分析,不同的阴极结构配置会有不同的剂量分布。针对上述情况我们适当配置了阴极结构,使沿激光管长度方向的剂量分布差小于三倍左右。图1给出多次脉冲工作下剂量分布的平均值,其最大值与最小值分布在一倍以内。作为比较在图中同时给出了点X光源的剂量分布。

经过改进后的X射线剂量分布已能满足大体积均匀放电的要求。然后,我们在相近的混合比下研究不同放电体积下延迟时间 $\tau_d$ 对激光输出功率的影响。从图2我们可以看到,二者具有类似的变化规律,主放电相对于预电离的最佳延迟时间 $\tau_d$ 均为 $0.8\mu\text{s}$ 左右。所不同的是大体积放电受延迟时间的影响

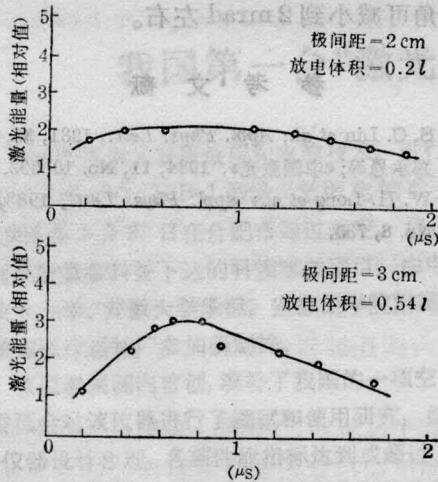


图2 当HCl浓度为0.12%、总气压为4个大气压时,延迟时间 $\tau_d$ 对激光输出能量的影响

响比小体积放电更为敏感。这也从另一个侧面反映大体积均匀放电对X射线预电离强度的要求提高。

在此基础上,我们通过改变气体混合比和气体压力来获得最大能量输出。图3给出总气压为4个大气压,Xe气分压为30 Torr时,不同HCl含量对激光输出的影响。可见HCl的最佳含量为千分之一左右。当总气压升高到5个大气压以上时,最大输出能量为1.6 J,此时混合比为HCl:Xe:Ne=0.9:10:989.1。图4给出不同主放电电容充电电压下,激光输出能量的变化,与小体积放电情况不同,在高电压下激光输出能量并不按放电电压的增长而线性增长,呈现一定的饱和趋势。根据对放电情况的分析,可知这与放电的均匀性有关。

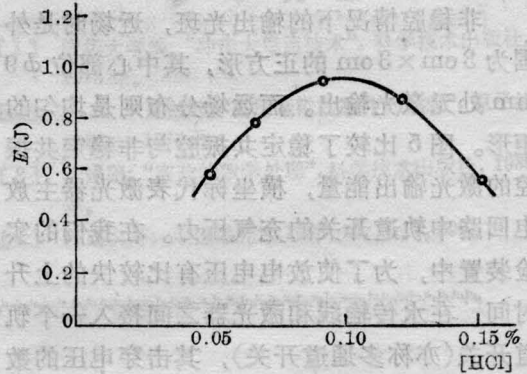


图3 HCl浓度对激光输出能量的影响

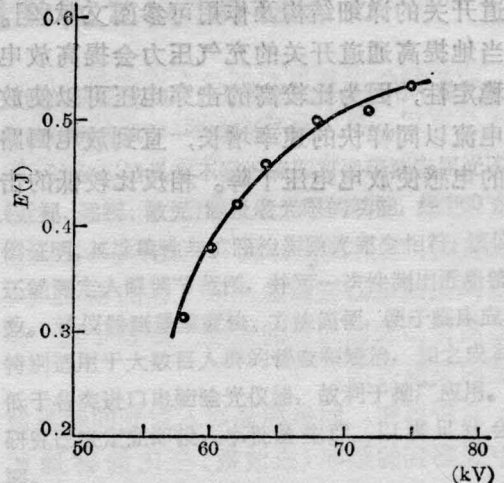


图4 激光输出能量随主放电电压的变化

## 二、用非稳定共振腔改善光束质量

由于 XeCl 准分子激光器具有高的增益特性,在稳腔情况下,当腔长为1m,采用曲率半径2~5m的全反射镜和石英平板组成谐振腔时,其光束发射角往往大于20mrad。为了改善光束的方向性,我们采用  $M=3.33$  的正支共焦非稳定谐振腔,取腔长为1.05m,谐振腔由直径为30mm、曲率半径为3m的全反射镜和曲率半径为-0.9m、直径为9mm的全反射镜组成,采用环状耦合输出。整个激光器为半外腔结构,其中一端为全反射镜,另一端为双面镀3080Å增透膜的石英窗口,而φ9mm的凸面镜置于腔外,以便于精确调整腔长,使谐振腔处于共焦状态。

非稳腔情况下的输出光斑,近场时是外围为3cm×3cm的正方形,其中心部位φ9mm处无激光输出。而远场分布则是均匀的矩形。图5比较了稳定共振腔与非稳定共振腔的激光输出能量,横坐标代表激光器主放电回路中轨道开关的充气压力。在我们的实验装置中,为了使放电电压有比较快的上升时间,在水传输线和激光器之间接入一个轨道开关(亦称多通道开关),其击穿电压的数值愈高,放电电压的上升时间愈快<sup>[3]</sup>。关于通道开关的详细结构及作用可参阅文献[2]。适当地提高通道开关的充气压力会提高放电的稳定性,因为比较高的击穿电压可以使放电电流以同样快的速率增长,直到放电回路中的电感使放电电压下降。相反比较低的击

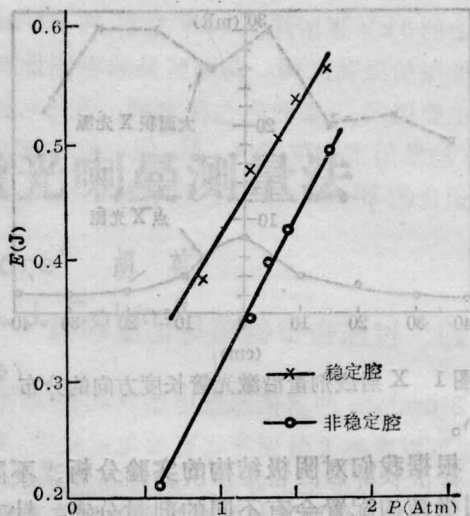


图5 采用稳定腔和非稳定腔情况下,激光输出能量随轨道开关气压的变化

穿电压会使击穿过程十分缓慢,而电流上升时间受到离化速率而不是受电感的限制,导致放电引发不均匀,并使放电过渡到弧光。从图5的比较中我们可以看到,在大部分情况下,非稳腔的激光能量约为稳定腔的70%以上,并且随着轨道开关充气压力增大,非稳腔的激光输出能量可达85%左右。

采用透镜聚焦测量了非稳腔激光输出的方向性,其总发散角比稳定腔减小4~5倍,如果考虑包含输出能量的70~80%部分,其发散角可减小到2mrad左右。

### 参 考 文 献

- [1] S. C. Lin *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **38**, 328.
- [2] 郑承恩等;《中国激光》, 1984, **11**, No. 10, 593.
- [3] W. H. Long *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **43**, No. 8, 735.