

# 用放大自发辐射方法测量脉冲雪崩 放电 XeCl 激光器的增益特性

楼 祺 洪

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用放大自发辐射方法测量了脉冲雪崩放电 XeCl 激光器的小信号增益。通过与振荡放大法测量的增益结果相比较,获得 X 光预电离 XeCl 激光器的等效饱和泵浦功率密度为  $0.8 \text{ MW/cm}^2$ 。

## Gain measurements of pulsed avalanche discharge XeCl laser by means of amplified spontaneous emission

Lou Qihong

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

**Abstract:** The small signal gain of pulsed avalanche discharge XeCl laser was measured by means of amplified spontaneous emission (ASE). In comparison with the gain obtained by oscillator-amplifier method, the obtained effective saturation pump power density of X-ray preionized XeCl laser was  $I_{ps} = 0.8 \text{ MW/cm}^2$ .

虽然对各种泵浦形式的准分子激光的增益特性已有不少报道<sup>[1,2]</sup>,但对 X 光预电离放电型器件的饱和泵浦功率尚没有详细的报道。本文的目的是采用放大自发辐射方法测量 XeCl 激光的小信号增益,并通过与文献[3]的振荡放大法结果比较,确定导致激光器增益趋向饱和的饱和泵浦功率密度。

### 一、用放大自发辐射法测量 XeCl 激光介质的小信号增益系数

用放大自发辐射法测量一些激光介质的

增益特性的优点是可以用一个简单的荧光强度测量来确定增益系数,与振荡放大法相比它不需要一台振荡器作为探测光源。尤其在无合适的探测光源情况下,放大自发辐射法更有其方便之处。早期的工作是用于染料激光器的增益测量,而后又将它用于电子束泵浦的准分子激光器增益测量<sup>[4,5]</sup>。

在文献[6]中,我们曾报道了用掩模板控制 X 射线预电离的区域,而 X 射线预电离的区域可以控制放电区的尺寸。这样只要改变掩模板的尺寸,就可以在一台放电装置中

收稿日期:1984年9月25日。

使放电区长度分别为  $L_0$  和  $L_0/2$ 。为了保证二种放电长度下放电情况完全一致,除保证采用相同的充电电压、相同的气体混合比和总气体压力外,在放电长度分别为  $L_0$  和  $L_0/2$  时,还分别用容量为  $C_0$  和  $C_0/2$  的脉冲形成网络和供电电容供电;同时由于在放电间距和宽度不变的情况下,放电长度为  $L_0$  时的气体放电阻抗应为放电长度为  $L_0/2$  时的  $1/2$ ,因此它们放电回路中相应的传输线阻抗应分别为  $Z_0/2$  和  $Z_0$ 。

图 1 给出了二种放电长度下的实验装置。为清楚起见,二种放电的供电参数和结构分二个图给出,图中  $C$  表示控制 X 射线范围的掩模,  $D$  表示紫外快速光电二极管。实验中测量的是  $\text{XeCl}(B \rightarrow X)$  跃迁波段的特性,在二极管前方有中心波长为  $305.8 \text{ nm}$ , FWHM 为  $11.8 \text{ nm}$  的干涉滤光片  $F$ 。此外,还用已定标的中性滤光片来保证接收系统工作在线性范围内。荧光强度最后由宽带示波器显示。

根据 Silfvast<sup>[7]</sup> 等的分析,用放大自发辐射方法测量到的小信号增益系数由下列表达式给出:

$$g_A = \frac{1}{L_0} \left[ \frac{I_2(L_0)}{I_1(L_0/2)} - 1 \right]$$

式中  $I_2(L_0)$  和  $I_1(L_0/2)$  分别为放电长度为

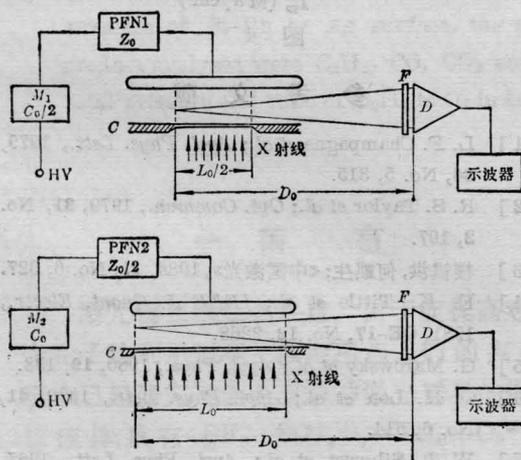


图 1 用于测量增益的放大自发辐射法的实验装置示意图

$L_0$  和  $L_0/2$  时用图 1 结构测得的荧光强度。

根据放大自发辐射法测增益的理论分析,要求接收器距放电区的距离  $D_0$  远大于放电区的长度,在本文的实验条件下,  $L_0 = 2 \text{ cm}$ ,  $D_0 = 40 \text{ cm}$ , 而  $Z_0 = 50 \Omega$ 。图 2 给出气体混合比为  $\text{Ne}:\text{Xe}:\text{HCl} = 9923:70:7$  时,用放大自发辐射法求得的小信号增益系数随总气体压力变化的关系曲线。为了保证二种放电长度下使用同一种混合气体,采用一个大混气瓶使气体预混;同时,每个实验数据采用 5 个脉冲的平均值,以提高实验精度。

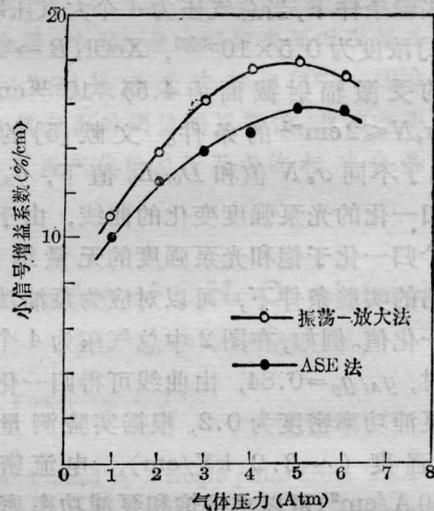


图 2 小信号增益系数与气体压力的关系曲线

## 二、饱和泵浦功率密度的确定

作为比较,图 2 同时给出了在相同实验条件下,用振荡放大方法测得的结果。首先可以看到,二种方法具有相同的随总气压变化的趋势;其次,用振荡放大法测得的值比放大自发辐射法测得的值平均大  $12\% (\pm 5\%)$ 。从下面的分析中可以看到,从这个差别可以确定 X 光预电离  $\text{XeCl}$  准分子激光放电的饱和泵浦功率密度。

根据 Marowsky<sup>[5]</sup> 等的分析,对于一个二能级系统,采用稳定近似条件,由振荡放大法测量的增益系数  $g_0$  和用放大自发辐射法

测量的增益系数  $g_A$  的比值与下列参量有关:

(1) 与  $\sigma_e N$  有关, 这里  $\sigma_e$  为受激辐射截面,  $N$  为工作物质的粒子数密度; (2) 与  $D_0/L_0$  的比值有关。

实验采用的脉冲形成网络是高压传输同轴电缆, 放电时间为 200 ns, 且是一个准稳态过程, 放电电流近似为方波<sup>[6]</sup>。为了使二种方法测量的增益值比较接近, 要求  $\sigma_e N < 2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $D_0/L_0 \geq 20$ 。

准分子激光器的工作物质浓度仅在放电过程中存在,  $N$  值由动力学过程编码算出。在本实验条件下, 当总气压为 4 个大气压时,  $[\text{XeCl}]$  浓度为  $0.5 \times 10^{-5} \text{ [8]}$ ,  $\text{XeCl}(B \rightarrow X)$  跃迁的受激辐射截面为  $4.55 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ , 满足  $\sigma_e N \leq 2 \text{ cm}^{-1}$  的条件。文献 [5] 的图 3 给出了不同  $\sigma_e N$  值和  $D_0/L_0$  值下,  $g_A/g_p$  值随归一化的光泵强度变化的曲线, 由于它是一个归一化于饱和光泵强度的无量纲量, 在我们的实验条件下, 可以对应为泵浦功率的归一化值。例如, 在图 2 中总气压为 4 个大气压时,  $g_A/g_p = 0.84$ , 由曲线可得归一化的饱和泵浦功率密度为 0.2, 根据实验测量的电场强度 ( $\sim 3.2 \text{ kV/cm}$ ), 电流密度 ( $\sim 250 \text{ A/cm}^2$ ) 可以求得饱和泵浦功率密度为  $I_{ps} = 0.8 \text{ MW/cm}^2$ 。

根据速率方程的计算, 在忽略激光介质吸收的近似条件下, 小信号增益系数与归一化的泵浦功率密度  $I_p$  有如下关系:

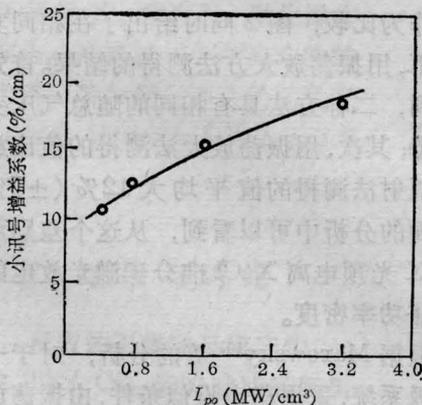


图 3 小信号增益系数与泵浦功率密度的关系

$$g = \frac{\sigma_e N I_p}{1 + I_p}$$

式中  $I_p = I_{p0}/I_{ps}$ , 而  $I_{p0}$  为泵浦功率密度。图 3 给出小信号增益系数与泵浦功率密度的关系曲线, 图中圆点表示文献 [1] 用振荡放大法测得的实验值, 比较两者, 其结果能很好符合。据此可以通过比较两种方法测量的增益值, 确定导致增益饱和的饱和泵浦功率密度。

图 4 给出激光器效率  $\eta$  与注入激光介质的功率密度的关系, 激光气体混合比为

$$\text{Ne}:\text{Xe}:\text{HCl} = 9923:70:7,$$

总气压为 4 个大气压。对比图 3 的结果, 我们可以看到虽然小信号增益系数随泵浦功率增大而增大, 但激光器的本征效率却随泵浦功率的增大而减小, 其原因之一是饱和泵浦功率导致了增益并不按泵浦功率线性增长。

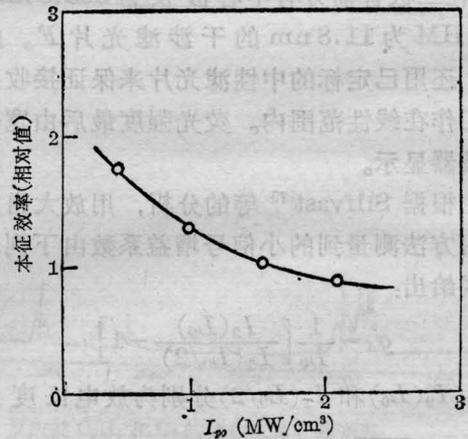


图 4

### 参 考 文 献

- [1] L. F. Champagne *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, No. 5, 315.
- [2] R. S. Taylor *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **31**, No. 2, 197.
- [3] 楼祺洪, 何麒生; 《中国激光》, 1984, **11**, No. 6, 327.
- [4] F. K. Tittle *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-17**, No. 12, 2268.
- [5] G. Marowsky *et al.*; *Appl. Phys.*, 1980, **19**, 138.
- [6] Q. H. Lou *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, No. 6, 514.
- [7] W. T. Silfvast *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, 94.
- [8] 楼祺洪等; 《光学学报》, 1983, **3**, No. 8, 709.