

X 光预电离 XeCl*3080 Å 放电准分子 激光器增益与饱和特性的研究

郑承恩 霍芸生 魏运荣

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文用最大损耗法测定了 X 光预电离 XeCl*3080 Å 雪崩放电准分子激光器在 2~5 个大气压运转的增益与饱和特性。结果表明,在这个气压范围内小讯号增益系数与饱和强度均随气压的上升而增加。

Gain and saturation characteristics of an X-ray preionized avalanche discharge XeCl laser

Zheng Chengen, Huo Yunsheng, Wei Yunrong

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

Abstract: The small signal gain and saturation intensity of an X-ray preionized avalanche discharge XeCl laser are determined with the maximum loss method over a gas pressure range of 2 to 5 atm., and they are found to increase with the laser gas pressure up to at least 5 atm.

XeCl*3080 Å 放电激光器的增益与饱和特性。

一、引言

XeCl*3080 Å 气体放电激光器已被实验证实是一种输出能量与效率都比较高的准分子激光器。同其它惰性气体卤化物准分子激光器相比,其运转寿命也长得多。进一步延长其寿命并改进输出光束的质量,有可能使它在光化学领域获得比较广泛的应用。为了按比例扩大这类装置并提高输出光束的亮度,研究它的增益与饱和特性是重要的。我们利用改变腔内损耗以确定阈值振荡条件的方法^[1],研究并讨论了 X 光预电离

二、实验测量装置

激光器的电激发是由波阻抗 0.6 欧姆的水介质传输线提供的,电学长度 70 毫微秒,通过一个宽度 80 厘米的轨道开关与放电室电极电连接。放电室阳极的材料是黄铜,阴极是 20 目的黄铜网,电极间距 18 毫米。有效放电区为 1.8×1.5×70 厘米。放电区两侧由有机玻璃组成。水传输线的充电是由一

收稿日期:1982年5月28日。

个输出总电容为 0.15 微法的两级 Marx 发生器完成的。预电离是用大面积发射的脉冲强流电子束的韧致辐射实现的，该辐射穿过 0.5 毫米厚的铝板窗口从电子枪真空室进入气体放电室，引起了气体的预电离，预电离电子密度 $n_0 \sim 10^{10}$ 个/厘米³，并与气压成正比。X 光二极管阴极加速电压 -150 千伏。装置的其它参数与特性可进一步参阅^[2,3]。

图 1 是测量装置简图。图中 C 为激光输出的耦合反射镜，采用未镀膜的石英平板； B 为石英平板窗口，其法向与光轴夹角 $\sim 1^\circ$ ； T_i 是一组透过率为 T_i 的介质膜反射镜； A 是 R 为 5 米的高反射率介质膜凹面反射镜，其反射率在 3080 Å 大于 98%。通过改变 T_i 的大小与数目可以改变谐振腔一端的反射率 R_2 的数值； D 是激光输出探测系统。激光能量是用经过标定过的 JNK-1 型碳斗与检流计测量；激光功率或激光波形用 GD-10 型强流光电管与仿 OK-19M2 高电压示波器测量。

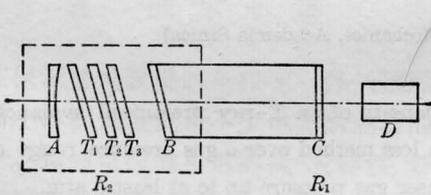


图 1 实验测试装置简图

三、测量方法与结果

在激光放电增益较小时，比较容易确定相应于激光振荡阈值的腔内损耗数值，从而定出小讯号增益系数 g_0 。在增益较高时，由于增益介质超辐射的影响，给阈值振荡损耗的确定带来一定范围的不准确性。为了解决这一问题，我们采用了 Champagne 对介质吸收所用的近似^[4]，即把放电介质对激光的分布性吸收看成是位于每个反射镜前的吸收分数为 A 的集中性损耗。对 Rigrod 的谱线均匀加宽的振荡器输出理论进行修正，得到激光

器输出强度 I 与谐振腔两端反射率 R_1 与 R_2 的关系为：

$$I/I_s = \frac{\sqrt{R_2}(1-R_1)(1-A)}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})[1 - (1-A)^2\sqrt{R_1R_2}]} \times \left[g_0 L - \ln \frac{1}{\sqrt{R_1R_2}(1-A)^2} \right] \quad (1)$$

式中 L 是放电长度； I_s 是饱和参量；分数 A 可用放电介质对激光的非饱和吸收系数 α 表示， $A = 1 - \exp(-\alpha L/2)$ 。式(1)改写为

$$I_y = I_s \left[g_0 L \lg e - \lg \frac{1}{\sqrt{R_1R_2}(1-A)^2} \right] \quad (2)$$

式中量

$$I_y = \frac{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})[1 - (1-A)^2\sqrt{R_1R_2}]}{\sqrt{R_2}(1-R_1)(1-A)} \times I \lg e。$$

显然， I_y 与 $\lg \sqrt{R_1R_2}$ 成线性关系。测量此关系，由图线与横座标的交点位置即可定出阈值振荡时有关系的数值，由此得到

$$g_0 = \frac{1}{L} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1R_2}} \Big|_{I \rightarrow 0} + \alpha \quad (3)$$

图 2 是这种测量的一个例子。在测量中，激光输出强度 I 随 R_2 的减小降低了一个数量级以上。输出耦合采用石英平板，气体比分为 0.1% HCl/1% Xe/其余 Ne，总气压如图所示。

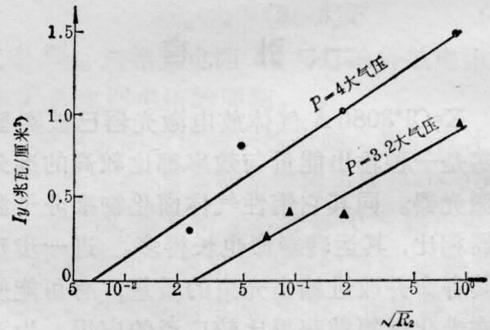


图 2 I_y 随 $\sqrt{R_2}$ 的变化

$$I_y = \left\{ \frac{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})[1 - \sqrt{R_1R_2}(1-A)^2]}{\sqrt{R_2}(1-A)(1-R_1)} \lg e \right\} \cdot I$$

根据激光放电室电压电流波形，估计放电功率 ~ 2 兆瓦/厘米³，放电电子密度 $n_0 \sim$

10^{15} 个/厘米³, 根据 [5, 6], 我们取放电气体对激光的吸收系数 $\alpha = 0.025$ /厘米。

图 3 是激光小讯号增益 g_0 与放电气体气压的关系。显然用 Ne 作稀释气体 g_0 随气压 P 线性上升, 直到 5 大气压尚未出现饱和, 而用 He 稀释时, 在 4~5 大气压时 g_0 出现饱和趋势。

图 4 给出小讯号增益系数与 HCl 含量的关系。

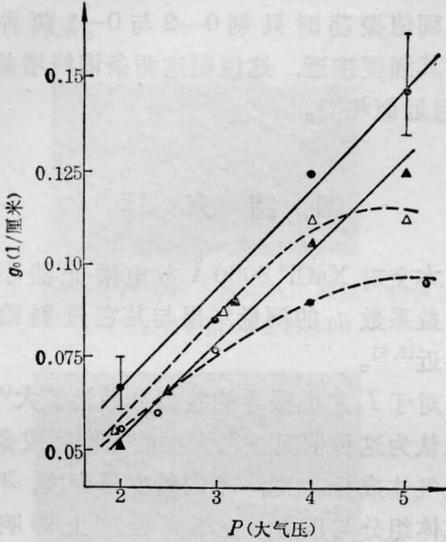


图 3 激光小讯号增益 g_0 同放电室总气压 P 的关系

图中 ● 0.18% HCl/1% Xe/其余 Ne;
▲ 0.1% HCl/1% Xe/其余 Ne;
○ 0.1% HCl/1% Xe/其余 He;
△ 0.19% HCl/1% Xe/其余 He

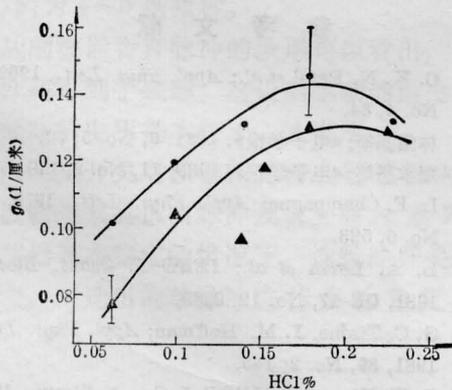


图 4 小讯号增益 g_0 随 HCl 含量的变化

图中 ● 5 大气压, 1% Xe, 其余 Ne
▲ 4 大气压, 1% Xe, 其余 Ne

为了求出饱和参量 I_s , 我们放弃把放电介质对激光吸收看成是集中性损耗的近似, 应用 Rice 等人的结果 [7], 在我们的情况下, 可以把激光输出强度 I 、饱和参量 I_s 、非饱和吸收系数 α 、小讯号增益系数 g_0 之间的关系写为

$$\ln \sqrt{R_1 R_2} - \alpha L = \frac{\gamma}{\sqrt{(\gamma-1)^2 - 4\delta}} \ln \times \frac{(\sqrt{\delta/R_2 - P_+})(\sqrt{\delta R_1 - P_-})}{(\sqrt{\delta/R_2 - P_-})(\sqrt{\delta R_2 - P_+})} \quad (4)$$

式中 $\gamma = g_0/\alpha$;

$$P_{\pm} = \frac{1}{2} \{ (\gamma-1) \pm \sqrt{(\gamma-1)^2 - 4\delta} \};$$

$$\delta = \frac{R_2}{(1-R_2)^2} \left(\frac{I}{I_s} \right)^2.$$

采用非饱和吸收系数 $\alpha = 0.025$ /厘米, 测量激光强度随腔镜反射率的变化, 可以由方程 (4) 定出饱和参量 I_s 。在图 5 中, 我们给出了放电气体气压分别为 3.2、4 和 5 个大气压时的测量结果, 图中实线为具有相应参变量的计算结果。计算表明, 只有当 I_s 分别取 0.39、0.55 和 0.91 兆瓦/厘米² 时, 才能使计算的曲线最接近图示的三组实验数据。

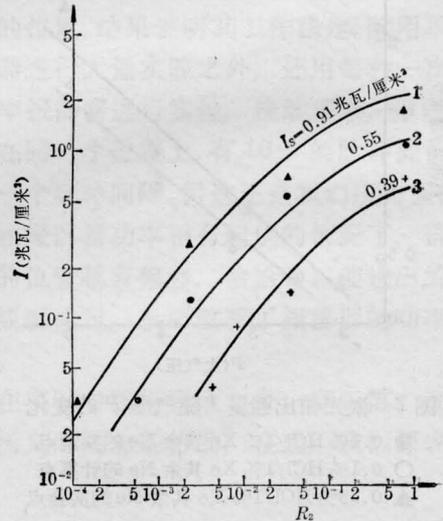


图 5 在谐振腔的输出耦合采用未镀膜的石英平板时, 激光输出强度随谐振腔另一端反射率的变化

HCl/Xe/Ne = 0.1%/1%/98.9%
曲线 1, 5 大气压, $g_0 = 0.125$; 曲线 2, 4 大气压, $g_0 = 0.116$; 曲线 3, 3.2 大气压, $g_0 = 0.96$;

图6给出了求得的饱和参量 I_s 随气压的变化。图中圆黑点是用上述方法求得的 I_s 值, 显见 I_s 随气压上升而上升。为了比较, 我们也把对吸收采用集中性损耗近似的结果, 即方程(2)的结果用小圆圈示于图中, 这些数据可直接从类似于图2所示图线的斜率得到。

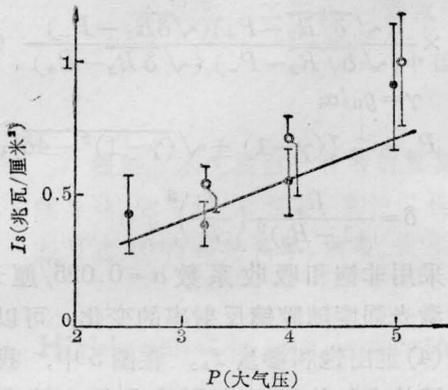


图6 饱和参量随放电室气压的变化
0.1% HCl/1% Xe/其余 Ne
● 方程(4)的结果 ○ 方程(2)的结果

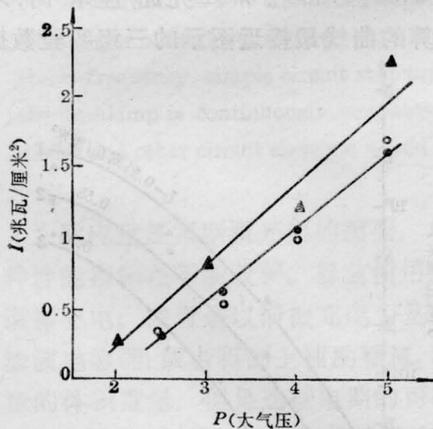


图7 激光输出强度 I 随气压 P 的变化
● 0.1% HCl/1% Xe 其余 Ne 的实验点
○ 0.1% HCl/1% Xe 其余 Ne 的计算点
▲ 0.18% HCl/1% Xe 其余 Ne 的实验点

图7给出激光强度 I 随气压的变化(此时取去图1中的 T_i)。图中相应于2.2兆瓦/厘米²的实验点, 其激光能量~700毫焦耳。为了比较, 我们就0.1% HCl/1% Xe/其余 Ne 的一组实验数据, 由方程(1)计算激

光输出强度 I , 根据图6中图线所示的饱和参量 I_s 值与图3中相应图线上的 g_0 值, 所得结果用小圆圈示于图7中。结果与相应的实验数据点接近。

用 WPG-1 平面光栅光谱仪测量激光输出谱, 共有4条谱线振荡, 即3084.2 Å、3081.9 Å、3079.4 Å与3076.7 Å, 它们分别相应于 XeCl* $B \rightarrow X$ 的0-3、0-2、0-1、0-0跃迁。可是随着腔镜反射率的降低, 在接近阈值振荡时只剩0-2与0-1两种跃迁, 其强度接近, 这说明这两条谱线增益最强, 且近似相同。

四、结束语

本文对 XeCl* 3080 Å 放电激光器小讯号增益系数 g_0 的测量结果与其它资料给出的接近^[6, 8]。

对于 I_s 来说报导的数值分散性较大^[4, 6], 我们认为这种情况在很大程度上同激发条件以及气体成分有关。不同的电子密度, 不同的气体组分与压力, 在不同程度上影响了 XeCl* 上激光能态寿命的长短, 这可能是引起 I_s 数值有较大差别的一个重要原因。

钱铮同志参加了本文方程(4)的计算机求解工作, 作者深致谢意。

参 考 文 献

- [1] C. K. N. Patel *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1962, **1**, No. 4, 84.
- [2] 林绍基等;《电子学报》, 1981, **9**, No. 5, 70.
- [3] 郑承恩等;《电子学报》, 1983, **11**, No. 2, 110.
- [4] L. F. Champagne; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, No. 6, 523.
- [5] L. A. Levin *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-17**, No. 12, 2282.
- [6] G. C. Tisone, J. M. Hoffman; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**, No. 2, 145.
- [7] J. K. Rice *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, No. 12, 1315.
- [8] R. S. Taylor *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **31**, No. 2, 197.