

高重复率 XeCl 准分子激光器的放电特性

王华胜 倪晋智 汪建业 朱广寅 余吟山

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

本文报道紫外预电离放电泵浦的高重复率 XeCl 准分子激光器的放电特性,分析了放电参数的改变对放电过程的影响。最佳转换效率达 2.2%。

关键词: 准分子激光器, 高重复率运转, 放电特性。

一、引 言

放电泵浦 XeCl 准分子激光器是一种用途广泛的紫外相干光源。为提高 XeCl 准分子激光器的效率及放电性能,研究人员采用了种种技术和方法,例如,在低重复率器件中,采用高压预脉冲、自持放电泵浦的 XeCl 准分子激光器,其效率高达 4.2%^[1], Kenzo Miyazaki 等人^[2]采用宽电极、窄间距、*O-O* 能量转移快放电回路,并将放电电容置于放电腔内以减小回路截面和电容的方法,其最高效率也达到 2.9%。由于高重复率准分子激光器对气体循环流速要求很高,因此放电电容一般均远离电极。所以它的放电回路的截面比低重复率 (~1 Hz) 器件大,而且其电极、预电离结构也有所不同。因此,通常商用高重复率激光器的效率只有 1%~2%^[3],为获得高功率、高效率的激光输出,必须对激光器的电极面型、放电宽度和长度、预电离结构、放电回路及风速、风阻等作全面合理的设计。本文是在一台 20W 级 XeCl 激光器上针对 *O-O* 放电回路的匹配作了实验分析,比较了高重复率运转时不同的电容配比,总气压及充电电压的放电特性,并给出了最佳放电参数及实验结果。

二、放 电 回 路

激光器放电电路作者曾作过详细报道^[4],图 1 给出了该激光器放电时的等效电路。图中 C_s 、 C_d 分别为储能电容和放电电容, L_1 、 L_2 分别为转移回路 (C_s 对 C_d 充电回路) 和放电回

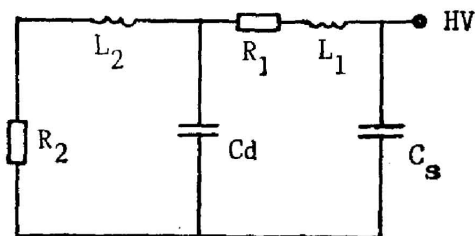


Fig. 1 Equivalent circuit of the laser

路(C_a 对激光气体放电回路)的等效电感。 R_1 、 R_2 分别为两回路中的等效电阻。 R_1 包括预电离间隙和金属接触阻抗, R_2 主要为放电气体的阻抗,它是时间及气压的函数。

三、实验结果与讨论

1. 电容比的变化对输出和效率的影响

在 $C-C$ 能量转移快放电回路中,忽略损耗因素,能量转移效率为

$$\eta_E = \frac{C_s U_s^2}{C_d U_{d\max}^2} = \frac{4\eta_C}{(\eta_C + 1)^2}, \quad (1)$$

式中 $\eta_C = (C_s/C_d)$ 为电容比, U_s 为储能电容的电压值, $U_{d\max}$ 为放电电容上的电压最大值。由(1)式可知,当电容比 $\eta_C = 1$ 时, η_E 为极大值。 η_C 越大, η_E 越小。由于实际放电回路中始终存在各种损耗,因此 C_s 总是大于 C_d , 以便多贮些能量。若电路设计合理, L 和 R 越小, 则损耗也越小, 电容比也越接近于 1。

在实验中,固定 $C_s = 48.6 \text{ nF}$, 改变 C_d 的值, 在 3 atm、26 kV、70 Hz 条件下得到了图 2 所示的功率、效率随电容比的变化曲线。当 $(C_s/C_d) = 1.2$ 时, 最大输出功率为 24 W, 最高转换效率达 2.1% (70 Hz 时平均单脉冲能量为 343 mJ)。由此可见, 该放电回路的损耗较低。

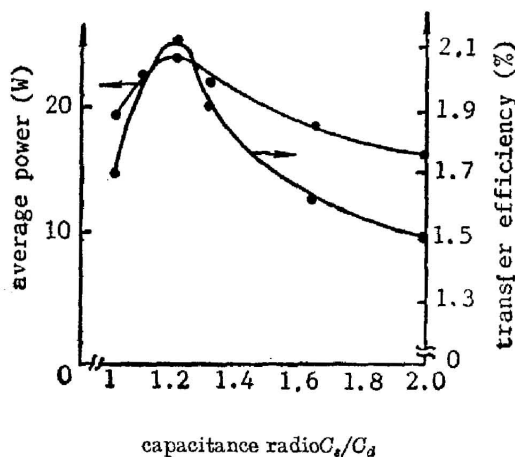


Fig. 2 XeCl laser output power and transfer efficiency as a function of capacitance ratio C_s/C_d

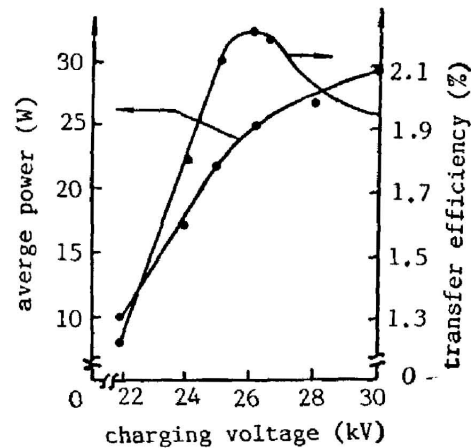


Fig. 3 XeCl laser output power and transfer efficiency as a function of charging voltage of capacitor bank C_s

2. 充电电压的变化对输出和效率的影响

在获得最佳化的电容比 $(C_s/C_d) = 1.2$ 后, 比较了不同充电电压下的功率和效率特性。其结果是在 4 atm 下, 如图 3 所示, 在 22~26 kV 范围内, 功率随充电电压的上升曲线较陡; 大于 26 kV 后则趋于平缓; 而在 26 kV 时, 效率最高, 达 2.2%。根据 C_d 两端电压上升过程的表达式^[5]

$$U_d = \frac{C_s}{C_d} U_0 \left[1 - \exp(-\gamma_1 t) \left(\cos \omega t + \frac{\gamma_1}{\omega} \sin \omega t \right) \right], \quad (2)$$

式中 U_0 为 C_s 上的初始电压, γ_1 是转移回路上的阻尼因子, ω 为振荡角频率。当相角 $\phi =$

$\omega t = \pi$ 时, U_d 达到最大值

$$U_{d \max} = \frac{C_s}{C_d} U_0 [1 + \exp(-\gamma_1 \pi / \omega)], \quad (3)$$

结合上式及图 3 的结果可知, 充电电压的提高使得 C_s 转移到 C_d 的能量相应增大, 其输出也会有所提高。但在一定的气压下, 气体的击穿相角是随电压变化的, 电压过高或过低, 都使得气体的击穿相角未落在最佳点, 导致 C_s 转移到 C_d 的效率下降。文中提及的充电电压均为 C_s 上的电压值*。

3. 总气压与充电电压及效率的关系

在最佳电容配比和充电电压 (26 kV) 不变条件下, 改变激光器的总气压 (此时 $P_{Xe} = 45$ Torr, $P_{HCl} = 4$ Torr, P_{Xe} 的值变化) 时发现 (如图 4 所示), 随着气压的上升, 平均功率和效率也随之上升。但当总气压达 3.5 atm 后, 上升曲线趋于饱和。在充电电压为 23 kV 时, 气压超过 3 atm 之后, 平均功率反而下跌。这表明, 气压升高后气体密度上升, 导致预电离期间的阴极区初始电子密度下降, 同时气体对紫外光的吸收也有所增强; 此外, 在气压较高的情况下, 气体的击穿相角延迟, 导致一部分能量未能沉积到激活区, 而是损失在激光室的边壁区。因此, 在增加总气压时应与气体本身的击穿电压和稳态平衡电压成比例^[9]。

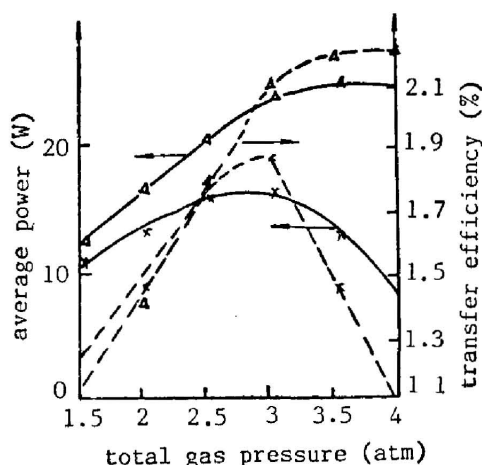


Fig. 4 XeCl laser output power (—) and transfer efficiency (---) as a function of total gas pressure under 26 kV (Δ), 23 kV (\times) and 70 Hz

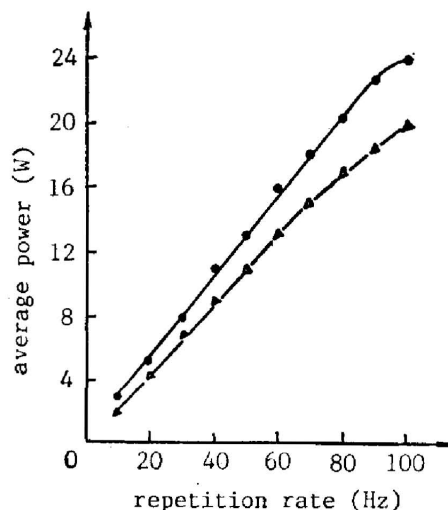


Fig. 5 XeCl laser output power as a function of repetition rate

4. 重复频率与输出功率的线性关系

平均功率不仅取决于重复频率的高低, 还取决于高重复率下每个脉冲能量与单次放电时的脉冲能量的下降率如表 1 所列。该激光器的输出功率与重复率之间有一个比较好的线

Table 1 The decrease rate of pulse energy under different repetition rate. ($V = 24$ kV, $P = 3$ atm)

Repetition Rate (Hz)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pulse Energy (mJ)	284	280	275	267	270	264	263	257	253	249	240
Decrease Rat of Energy %	0	1	4	6	5	7	7	10	11	12	16

* 用分压器和示波器测量高重复率放电时 C_s 上的电压值。

性关系如图 5 所示。而要做到这一点,不仅需要激光器放电稳定性好,而且对激光器的结构、尤其是循环冷却系统的设计提出了很高的要求。

四、结 束 语

纵观该激光器在不同条件下的放电特性,其最大特点是转换效率高。其最佳效率时的电容比,工作电压和总气压分别为 $(C_s/C_d) = 1.2$, $V = 26 \text{ kV}$ 和 $P = 3.5 \text{ atm}$ 。其次是输出效率与重复率之间的线性关系好,在高重复率下输出功率近乎线性增加。分别讨论了电容比、充电电压和总气压的变化对放电的影响。在放电回路损耗小,各种参数匹配的条件下,其效率较高,这点对高重复率准分子激光器放电特性的研究具有一定的参考价值。

张志平同志参加了这项工作。

参 考 文 献

- [1] W. H. Long *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **43**, No. 8 (Oct), 735~737.
- [2] Kenzo Miyazaki *et al.*; *Rev. Sci. Instrum.*, 1985, **56**, No. 2 (Feb), 201~204.
- [3] *Laser & Optronics-1988 Buying Guide*
- [4] 余吟山,王华胜等;《中国激光》,1989,(待发表)。
- [5] 邓国扬 《中国激光》,1987, **15**, No. 6 (Jun), 331~335。
- [6] J. W. Gerritsen, G. J. Ernst; *Appl. Phys. (B)*, 1988, **46**, No. 2 (Feb), 141~146.

Discharge characteristics of XeCl excimer laser with high repetition rate

WANG HUASHENG, NI JINZHI, WANG JIANYE, ZHANG ZHIPING,
LI GUANGYIN AND YU YINSHAN
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 4 January 1989; revised 7 May 1989)

Abstract

The discharge characteristics of XeCl excimer laser using UV preionization discharge pump with high repetition rate are described. Influence of discharge parameters on discharge process are analyzed. The transfer efficiency maximum has reached 2.2%.

Key words: excimer laser; high repetition rate; power properties; efficiency properties.