

# 横流准分子激光器的寿命研究

楼祺洪 霍芸生 董景星 丁泽安  
魏运荣 丁爱臻

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文研究了混合气体比例、气体钝化、窗口污染和存放时间对横向流动氯化氙准分子激光器寿命的影响。适当地选择各种参量,使该激光器的一次充气寿命大于  $10^6$  个脉冲,一次充气寿命大于  $10^5$  个脉冲,一次充气存放时间大于 1000 hr。

关键词: XeCl 准分子激光器, 存放时间, 寿命

## 一、引 言

输出波段在紫外区的氯化氙准分子激光器近几年来已逐步从实验室走向应用,要求激光器有长的工作寿命和一次充气存放时间。文献[1]对影响准分子激光器寿命的因素进行了比较全面的讨论。文献[2]对紫外予电离输出脉冲能量为 100 mJ 量级的氯化氙准分子激光器寿命进行了比较详细的研究,采用闭合循环装置,一次充气寿命大于  $10^5$  个脉冲量级。

本文研究输出单脉冲能量为焦耳量级的 X 射线予电离氯化氙准分子激光器的寿命特性。众所周知,准分子激光器的效率大部分在 1% 量级,随着单脉冲输出能量和平均输出功率的提高,注入激光放电解质的电能也会大幅度增加。因此,研究在输高功率水平下(10 W 量级)的寿命是有实际意义的。同时,考虑到目前准分子激光器在科学实验和研究中应用,研究一次充气放置寿命可以使激光器的运转费用降低,从而节省比较昂贵的氙气的消耗量。

## 二、实 验 装 置

实验用的准分子激光器是一台横向流动闭合循环 X 射线予电离氯化氙激光器,详细结构特性已由文献[3]给出,除了少数绝缘部分外,激光器主体由不锈钢加工而成\*,采用离心风机将气体进行横向流动,其流速可达 20~25 m/s, X 射线予电离源的结构和特性由文献[4]给出。其谐振腔采用内腔结构,一面是反射率为 98% 以上的多层介质膜,另一面是未涂膜的石英板,两者组成平面-平面谐振腔,腔长为 1.2 m。

收稿日期: 1986年6月30日; 收到修改稿日期: 1986年10月5日

\* 不锈钢材料虽对氯化氙有良好的抗腐蚀性,但在再次暴露大气后,必须马上进行表面清洁处理,否则也会发生生锈现象<sup>[1]</sup>。

### 三、激光器寿命实验结果

在影响氯化氙激光器寿命的诸因素中,管壁材料与氯化氢等腐蚀气体的反应、气体成分的变化和窗口光学材料的污染被认为是比较重要的原因,尤以氯化氢的消耗是影响一台新建器件寿命的主要因素。

由于氯化氢与环氧树脂、金属以及密封圈等材料会产生一些含氯烃化合物和金属氯化物。这些反应中消耗氯化氢,其结果是激光器寿命很快中止。当激光工作气体经多次运转以后,器件内壁表面形成氯化物保护层,不再进行化学反应(或使反应几率减小),从而延长了激光器的寿命。表1给出充气次数与一次充气存放寿命之间的关系。显然,经过多次充气运转,寿命可有两个数量级的提高。这里一次充气存放寿命定义为激光输出能量大于初始激光能量的存放时间,在存放时间内激光器运转脉冲个数为 $10^4 \sim 10^5$ 个脉冲以上。

Table 1 Relation between one-fill storage lifetime and gas passivation  
(number of filling process)

number of filling	one-fill storage lifetime (hr)
1	~16
2	60
6	430
7	720
8	$\leq 1000$

在激光器经过长时间的运转后,打开激光腔,电极上会形成有很强腐蚀性的粘液,黄铜电极表面被严重腐蚀,出现凹坑,而在铝阴极上呈现一些白色粉末。这些污染物还由于光子在谐振腔内振荡而喷涂在激光窗口上,其污染面积与输出光斑的大小一致,如图1所示。采用分光光度计测量污染区的透过率表明,对于 $3080 \text{ \AA}$ 波长处的透过率比新的石英平板下降10%。为了克服以上缺点,我们采用了两个办法:

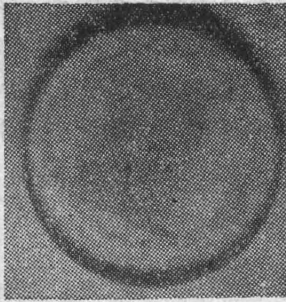


Fig. 1 Photograph of the polluted laser window after  $10^6$  pulses

(1) 用平行平面腔代替曲率半径为5m全反片组成的平凹腔,后者在输出窗口处光束呈会聚状,光斑较小,实验上发现污染的面积亦较小,激光脉冲进行 $10^5$ 个以后,污染十分明显,但当采用平面平行腔以后,光斑面积与放电截面一致,污染情况比平凹腔要小。

(2) 在全反射镜和输出窗口附近放置了多层光阑,用以阻挡喷射物对光学材料的污染,使窗口的污染大大减小。

除了采取以上两个方法外,实验还注意到尽量减少激光器弧光放电的次数。因为根据文献[1]的分析,光学材料表面上沉积的覆盖物是激光器件内部存在的微粒、含氯烃、氯化氢(在放电条件下)与金属的反应物,对于紫外予电离器件,大部分氯烃来源于弧光放电式的予电离源,本文采用X射线予电离源,对气体的予电离应比紫外予电离“干净”,但是,放电区

的不均匀弧光放电及丝状放电,同样会产生氯烃,我们在实验中注意到尽量不使激光器在没  
有予电离的条件下放电,从而减少窗口污染的可能性。

在以上改进的基础上,我们测试了激光器的寿命特性。首先测量激光输出平均功率与  
脉冲重复频率之间的关系。在第七次充气的条件下,经过 720 hr 以后,其输出功率约为初始时  
的一半左右,如图 2 所示,其原因是由于气体中氯化  
氢成分的变化。

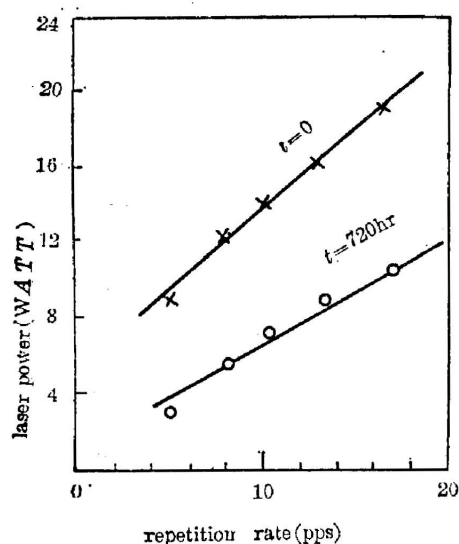


Fig. 2 Laser output power as a function of repetition rate

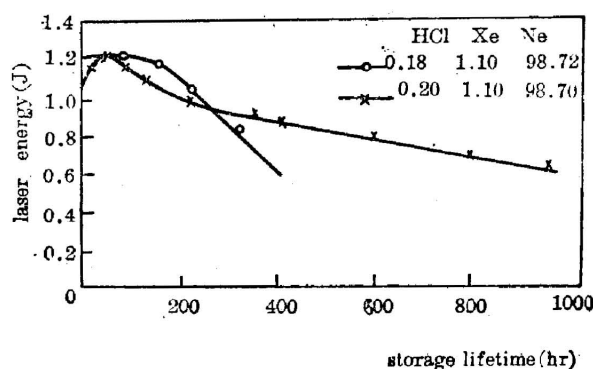


Fig. 3 Effects of HCl concentration on the laser storage lifetime

根据以上分析,可以设想如果增加 HCl 的浓度可能会有助于激光器寿命的提高。作者  
在激光器进行多次充气以后,作了改变 HCl 浓度对寿命影响的实验,图 3 给出氯化氢分压  
分别为 4 Torr 和 4.5 Torr 时的存放寿命特性。从图 3 可见,当氯化氢的浓度较小时,初始  
阶段的输出较为平坦,但当  $t > 170$  hr 以后,输出能量下降很快。适当提高氯化氢含量后,  
初始激光能量较小,当  $t = 50$  hr 时,激光能量达到最大值,然后逐步下降,但下降速度比较  
缓慢。

因此,适当的选择氯化氢的含量有利于氯化氙激光器寿命的扩展,但氯化氢的浓度不宜  
太高,否则会使激光能量有大幅度的下降。

我们还测试了激光输出功率与脉冲次数的关系。当 HCl, Xe 和 Ne 的气压分别为  
5 Torr, 30 Torr 和 22.45 Torr 时,在五天内总脉冲次数大于  $10^5$  个,其结果如图  
4 所示,整个曲线是每 150 个脉冲取样一次的平均结果。为明显起见,图 5 给出  $10^4$   
脉冲周期内实测曲线。测量系统是在能量计前  
放置一个低速调制盘(有一个通光时间为  
 $0.5 \mu\text{s}$  的缺口),调制盘转速为 2 c/min,当  
激光器连续运转时,每过 30 sec 即取样一

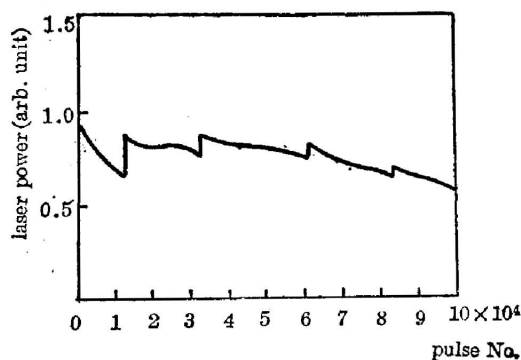


Fig. 4 Laser output characteristics of  $10^5$  pulses

次。图 5 的结果对应于图 4 中输出比较平坦的一段,可见激光输出有相当好的稳定性。根

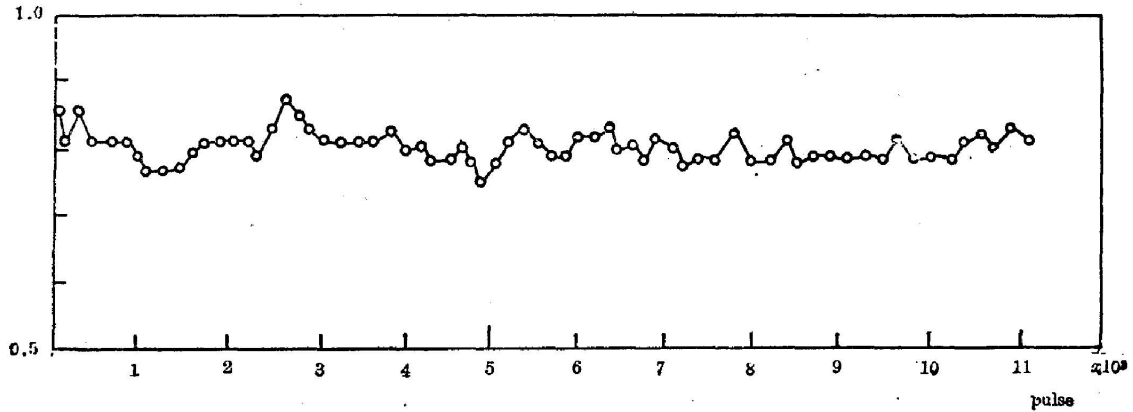


Fig. 5 Laser output characteristics of  $10^4$  pulses (Sampling two times each min.)

据图5的结果,  $10^4$  脉冲周期内输出功率的最大偏差小于  $\pm 10\%$ 。

事实上, 图4并未显示出激光器寿命的终结, 我们按照文献[3]介绍的办法, 在激光介质中补充适当的氯化氢气体, 使激光能量有  $10\sim 20\%$  的提高, 并延长了激光器的寿命。

#### 四、讨 论

(1) 由表1给出一次充气存放寿命与气体纯化的关系, 我们可以作出如下曲线(如图6

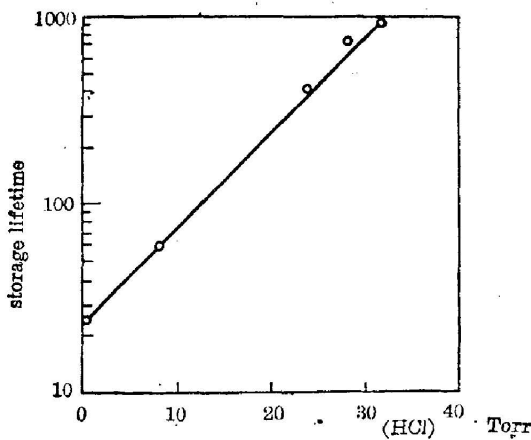


Fig. 6 Storage lifetime ( $T$ ) as a function of the numbers of passivation process (the abscissa represents the summation of HCl for each passivation process)

所示): 纵坐标为存放寿命的对数坐标, 横坐标为充气次数。结果表明, 曲线呈线性关系, 其斜率  $K$  为

$$K = \frac{\log T_N - \log T_1}{N \cdot [\text{HCl}]} = 0.055$$

该值一定程度上反映激光器内壁表面吸附等过程的速率。上式中  $T_N$  和  $T_1$  分别为第  $N$  次和第 1 次充气的存放寿命,  $N$  为总充气次数,  $[\text{HCl}]$  为每次充气 HCl 的含量。上述  $K$  值表明激光器工作初始阶段每 Torr HCl 使器件存放寿命增加的速率。事实上, 加大每次充气 HCl 含量, 可以大大缩短钝化次数。

(2) 由图3给出的激光输出能量与存放时间的关系, 我们还同时监测了不同阶段的激光脉冲波形(如图7所示)。在  $\text{Ne}:\text{Xe}:\text{HCl} = 98.7:1.1:0.2$  情况下, 刚充气时激光脉冲波形如图7(a)所示, 图7(b)给出经过一定存放时间后, 输出能量最大时的激光脉冲波形, 除了幅度略有增大以外, 脉冲宽度亦有明显的增大。当存放时间进一步增大, 激光能量下降, 如图7(c)所示, 而脉冲宽度基本上与图7(b)一致。

根据我们对高压 XeCl 准分子激光放电稳定性的分析, 为了使放电等离子体的电子连

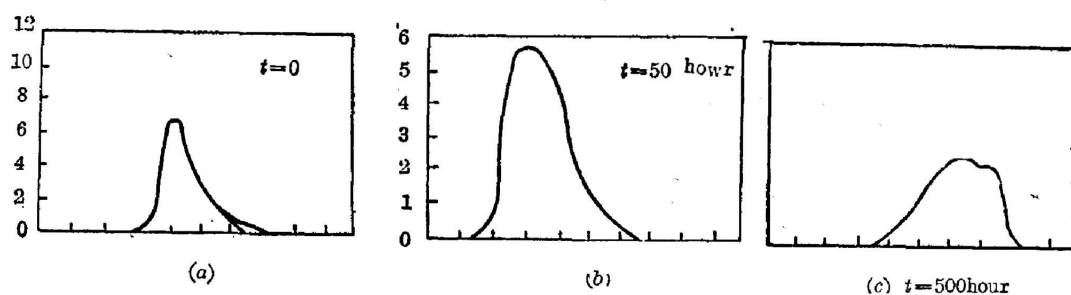


Fig. 7 Laser pulse detected at various storage lifetimes  $(\text{HCl})_0 = 0.2\%$ , 20 ns/div.

性方程有稳态解, 均匀放电的持续时间与氯化氢浓度的平方根成反比<sup>[5]</sup>  $\tau \propto \sqrt{2/n_e^0 [\text{HCl}]_0}$ , 这里  $n_e^0$  为初始电子密度,  $[\text{HCl}]_0$  为混合气体中 HCl 的初始浓度。从图 7 可见, 初始 HCl 浓度为 0.2%, 激光波形如图 7(a), 脉冲的半高度全宽度约为 30 ns, 那么经过 50 hr 存放后, 激光波形如图 7(b) 时, 脉宽加大到 43 ns, 相应的 HCl 浓度应按比例下降到 0.1%, 而该浓度正好是我们对应的输出能量最大的比例。当存放时间进一步增加, 则 HCl 浓度进一步减小, 图 7(c) 的脉宽为 58, 由此可推算出此时 HCl 浓度约为 0.05%。

### 参 考 文 献

- [1] R. Tennant; *Laser Focus*, 1981, 17, No. 10 (Oct), 65.
- [2] 胡雪金等;《光学学报》, 1985, 5, No. 10 (Oct), 881~885.
- [3] 楼祺洪等;《中国激光》, 1986, 13, No. 10 (Oct), 635~638.
- [4] 楼祺洪等;《中国激光》, 1985, 12, No. 1 (Jan), 20~21.
- [5] 楼祺洪等;《物理学报》(待发表)。

## Lifetime study of a transverse flow excimer laser

LOU QIHONG, HUO YUNSHENG, DONG JINXING, DING ZIAN,

WEI YUNRONG AND DING AIZHEN

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

(Received 30 June 1986; revised 5 October 1986)

### Abstract

The effects of gas mixture ratio, gas passivation, optical window deposition and laser gas storage time on the lifetime of a transverse flow XeCl excimer laser were studied in detail. By optimizing these parameters, a lifetime of more than  $10^5$  pulses was obtained with a storage time of 1000 hours for one gas fill.

**Key Words:** XeCl excimer laser; storage time; lifetime.