

XeCl 准分子激光器寿命的研究

胡雪金 赵震声 李昭临 车明瑜
(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

XeCl 准分子激光器的寿命主要取决于 HCl 消耗的情况。实验结果表明,在环氧树脂筒的激光器室中,补充适量而价廉的 HCl 气体,器件寿命就可延长。我们在一次充入 Xe 气和 Ar 气的前提下,适时补充几次 HCl,已获得大于 1.03×10^6 个脉冲输出,即在每秒 5.3 次的重复率和脉冲能量约 100 mJ 的情况下,器件连续工作 54 hr 还能正常运转。最大输出能量 160 mJ,文中还讨论了 HCl 对激光输出性能的影响。

一、前 言

改善 XeCl 准分子激光器的性能和寿命是一个人们普遍关注的问题。影响准分子激光器寿命的因素很多,比如激光介质成分的变化,工作气体的污染,激光材料的腐蚀和光学元件的破坏等^[1]。在一般情况下,激光工作气体 HCl 的消耗及其化学反应生成物所引起的激光器内工作气体的污染对寿命是起着十分重要的作用,在有水蒸汽杂质的情况下尤其如此。如果严格控制器件中水的含量,保证 HCl 的纯度,并在激光输出能量下降到一定的程度时,补充适量的 HCl 气体以补偿它的消耗,就有可能延长激光器的寿命。基于这种设想,我们在一台带有水冷的贮气筒的圆筒式准分子激光器中,采用实验室制备的 HCl 气体,得到大于 100 mJ 的能量输出,最大的单脉冲能量为 160 mJ。在一次充入稀有气体 Xe 气和缓冲气体 Ar 气的前提下,激光器以每秒 5.3 次的平均重复率激射出的脉冲数在 1×10^6 个以上。

二、实验装置

激光器工作原理图如图 1 所示,激光管采用外径 18 cm、壁厚 1 cm 的环氧树脂管。主电

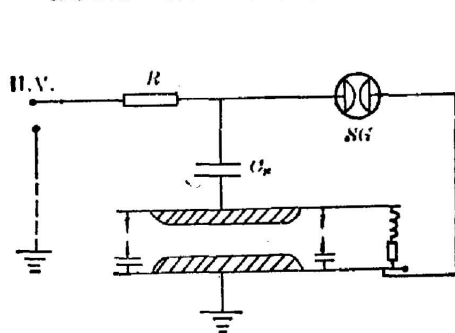


图 1 激光器工作原理图

Fig. 1 Schematic of the laser

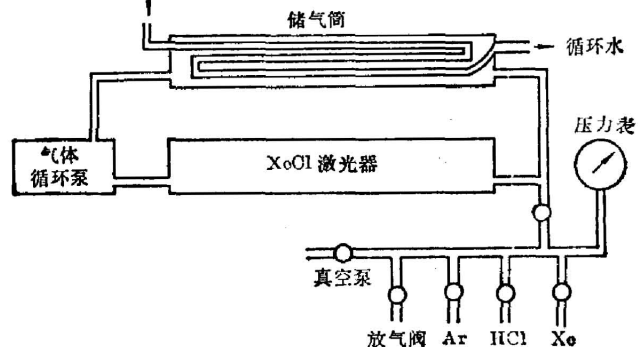


图 2 激光器装置示意图

Fig. 2 Setup of the laser device

极为一对 $R=20\text{ mm}$ 的镀镍黄铜电极,有效放电长度 830 mm ,极间距 20 mm ,贮能电容器 C_0 为 26 个 2700 pF 的无感电容并联而成,紫外光预电离源平行排列于主电极两侧,由两排 24 对火花针产生。每对火花针接一个 780 pF 电容器,谐振腔由一块镀铝的曲率半径为 3 m 的全反射镜和一块石英平面输出镜组成,贮气筒与激光管之间采用纵向循环,筒内置以若干米长的紫铜水冷管,整个系统如图 2 所示。

三、实验结果及分析

影响 XeCl 准分子激光器的寿命有很多因素。为提高激光器的寿命,我们主要从两个方面进行实验研究:(1)根据 XeCl 准分子激光的动力学过程,并通过实验,选配好激光介质的混合比使之满足较佳的工作条件;(2)在较佳的气体混合比条件下,配以各种辅助手段如循环系统、贮气筒和水冷等单元技术,来提高器件的寿命。

图 3 给出了在配有循环系统、不带贮气筒时,二组不同气体混合比的输出激光能量 E 与寿命 τ 之间的关系。在 Xe:HCl:Ar=36 Torr:1.35 Torr:1.35 atm 时,初始输出能量 $E=42\text{ mJ}$ 左右,一次充气喷射 1×10^5 个脉冲后,能量 E 就下降到初始值的一半,图中(A)曲线示出这种关系。减少 HCl 浓度,使 Xe:HCl:Ar=30 Torr:5.2 Torr:1.4 atm 时,初始输出能量 $E=73\text{ mJ}$ 左右,一次充气喷射 8×10^4 个脉冲后,输出能量 E 下降至初始能量的一半,此时及时加入 2 Torr 的 HCl 气体,输出能量 E 回升到 65 mJ,又连续喷射 12×10^5 个脉冲后,输出能量 E 又下降到初始值的一半,此时再及时补充 2 Torr 的 HCl,如此补充下去一直补充到 9 次总共连续喷射 74×10^4 个脉冲后,再加入 HCl 气体,输出能量 E 再也不回升了,如图中(B)曲线所示。

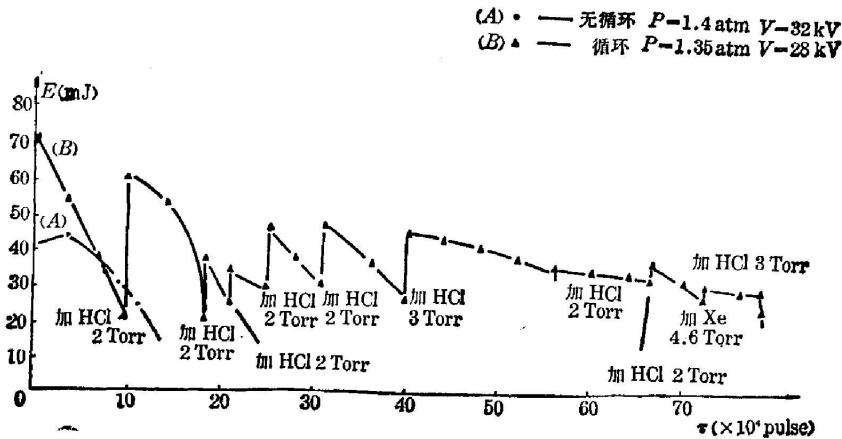


图 3 不加贮气筒时, XeCl 准分子激光器寿命曲线

Fig. 3 Lifetime curve of XeCl excimer laser with no gas reservoir

图 4 示出了配以循环系统并带有贮气筒(没通水冷却)时两组不同气体配比的激光输出能量 E 与寿命 τ 之间的关系。在 Xe:HCl:Ar=40 Torr:8 Torr:1.3 atm 时,初始输出能量 $E=140\text{ mJ}$ 左右,一次充气喷射 3.8×10^5 个脉冲后,能量 E 下降到初始值的一半,补加三次 HCl 气体,输出能量 E 都回升到 100 mJ 左右,并分别连续运转 15 万个、28 万个和 21 万

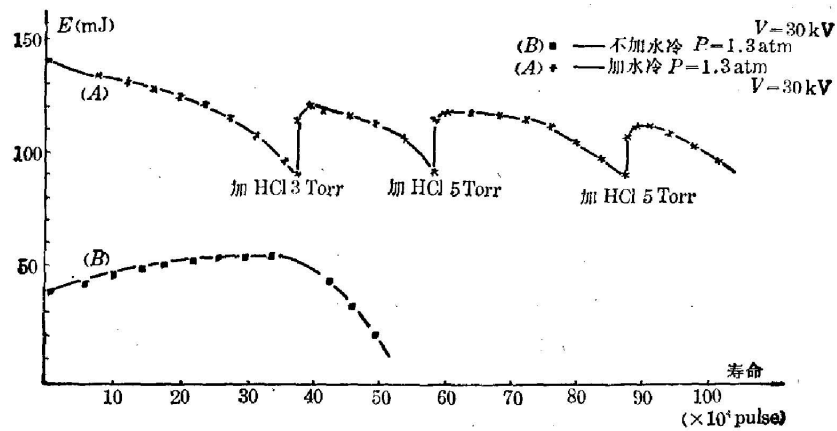


图 4 加储气筒时, XeCl 准分子激光器寿命曲线

Fig. 4 Lifetime curve of XeCl excimer laser with gas reservoir

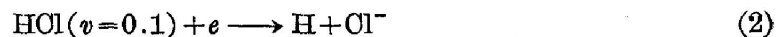
个脉冲, 在器件总共激励 103 万个脉冲后, 输出能量 E 还在 70 mJ 左右。工作的重复频率是 5.3 pps, 所以器件连续运转了 54 hr, 其寿命曲线 ($E \sim \tau$) 由图中 (A) 所示。在上述的混合气体下, 工作电压 37 kV 时, 输出能量 E 达 160 mJ 左右。

图 4(B) 曲线是在 Xe:HCl:Ar=35 Torr:15 Torr:1.3 atm 的气体混合比、贮气筒通水冷却的情况下得出的实验结果。该曲线清楚地表明, HCl 浓度较高时, 输出能量减小。一次充气的寿命约 45 万次, 器件寿命提高。

理论和实践都告诉我们, 在 XeCl 激光产生的过程中, 隋性气体 Xe 与卤素施主的 HCl 组分有一个最佳混合比范围。为要形成 XeCl 准分子而提供 Cl 施主的 HCl 气体的含量有一个最佳值。它的含量过多或过少都将影响输出能量^[2]。从反应式^[3]



可以看出, HCl 浓度过高, XeCl* 的消激发增加; 另一方面, 由于 HCl 具有较高的电子亲和力, 会使放电带来不稳定, 在反应式



中, 其电子吸附过程是随着 HCl 浓度的变化而变化的。当 HCl 浓度高时, 电子密度减小, 放电电阻增加。电子密度减小使放电带来不稳定, 放电电阻的增加, 使注入到激光介质的输入能量减少^[3]。两者的作用均使激光输出能量减少, 这就解释了图 3 和图 4 中含有效高 HCl 浓度时的 (A) 曲线和 (B) 曲线的实验结果。当 HCl 浓度较低时, 由于不能提供足够的 Cl 施主, 使 XeCl* 的分子数减少, 使输出能量不高。这与图 3(B) 曲线的结果相一致。

在激光器件运转的早期阶段, 影响器件寿命是 HCl 气体的消耗枯竭所致。在这个阶段, 气体的污染问题比起激光材料的腐蚀等问题来要轻得多。在紫外预电离区和放电区, HCl 与金属部件在放电条件下将产生一些金属氯化物如 COCl_4 、 FeCl_3 、 SiCl_4 、 POCl_3 和 AlCl_3 等^[3]。对器件中使用的绝缘介质如环氧树脂、有机玻璃和密封器件的 O 形圈都将有氯化烃的化合物形成。这些氯化物的形成, 使光学表面有沉积的涂层, 也使材料带来腐蚀。当器件运转到一定时间, 谐振腔片上有炭白色的沉积层, 在金属表面上, 尤其位在紫外光源下方的金属表面发现有一堆堆发黑发粘的沉淀物。这些现象的发生严重地消耗了 HCl 气体, 同时

也污染了工作气体。但在一次充气的早期运转阶段,工作气体的污染并非严重。从图 4(A)条曲线可知,经 38 万个脉冲激射,输出能量下降到初始值的一半,此时及时补充了 3 Torr 的 HCl,输出能量又回升到初始值的 75% 左右,这就支持了上面的分析,并且是合理的。但经多次补充 HCl 气体和长时间的连续工作后,气体污染累积到一定程度就变得特别严重,会使激光猝灭。如图 3(B)条曲线所示,当第 10 次加入 3 Torr 的 HCl 后,输出能量不再回升,并且很快就没有激光输出。

在激光器运转 10^6 个脉冲后,可清楚地观察到石英窗片和镀铝全反镜上有同激光光斑大小相同的矩形光斑,这是化学腐蚀和激光作用下微粒损伤的结果。只有在全部更换新的工作气体后,还能产生 XeCl 激光,但输出能量有所下降。由此可见,窗片和全反镜的损伤不是终止激光寿命的根本原因,而激光管内的工作物质的污染最终使激光猝灭。

比较图 3 和图 4 的实验结果,带贮气筒的寿命比不带贮气筒的寿命长。从图 4 中(A)实验曲线可以看出,采用水冷和高纯 HCl 气体,有益于寿命的延长和输出的稳定。

比较图 4 中(A)和(B)的实验结果,在一次充气的前提下,要获得较长寿命和低能量的稳定输出,充以较高的 HCl 含量就可能实现此目的。因为在高于最佳混合配比的 HCl 含量时,由上面的分析可知,输出能量是不高的。随着多次脉冲的激射,过多的 HCl 含量由于消耗逐渐接近最佳的配比值,而同时工作气体的污染也慢慢地变得严重起来,前者使激光输出能量增加,后者使输出能量减少,因为在早期的工作阶段,工作气体的污染不太严重,其作用不如前者的影响大,所以两者的合成结果,使输出能量稍有增加。如果激射脉冲继续增加,HCl 含量将从最佳值向越来越少的方向变化,而工作气体的污染却越来越变得严重。这样共同作用的结果使激光输出能量由增加到最高的趋势滑向从最高到减少的趋势,出现了这种马鞍形的寿命关系,这正好与图 4(B)曲线的实验结果相一致的。

四、小 结

如前所述,为要提高 XeCl 准分子激光器的寿命,降低器件中水的含量,提高 HCl 的纯度,使用带水冷却的贮气筒,可有效地减少金属材料的腐蚀和工作气体的污染。在 HCl 消耗到一定的程度时,向器件补充适量的价格便宜的价格便宜的 HCl 尽可能使它达到最佳值所需的含量,使激光输出能量有效地回升,这样在无需添加十分昂贵的稀有气体 Xe 气的前提下,既延长了激光器件的寿命又节省了成本。这些措施,使器件具有很大的实用意义和经济效益。

总之,通过上述这些实验,我们所积累的数据和经验将有助于研制出寿命更长输出能量更高的准分子激光器。

武汉光学仪器厂的库耕、黄欣明、杨柳、张万清、李大桥等同志参加了试验工作,作者表示感谢。

参 考 文 献

- [1] *Laser Focus*, 1981, 17, No. 10 (Oct), 65.

[2] 私人通讯。

[8] Hirokazu Hokazono *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1984, **56**, No. 3 (Mar), 680.

Study on the operation lifetime of an excimer laser

HU XUEJIN ZH AO ZHENSHENG LI ZHAOLIN AND CHE MINGYU

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 28 February 1985; revised 23 April 1985)

Abstract

Long-term stable operations of XeCl excimer lasers depend considerably on the depletion of HCl. Our experiments have shown that the lifetime of such device can be extended significantly by adding appropriate amount of cheap donor gas HCl into the laser chamber made of epoxy resin pipe. In this way, more than 1.3×10^6 pulses were obtained by once filling Xe and Ar and then replenishing HCl at several appropriate times. For a repetition rate of 5.3 pulses per second and single-pulse energy of 100 mJ, the laser was still able to operate normally after working continuously for 54 hours. The maximum single-pulse energy of the laser was 160 mJ. The influence of the content of HCl on the output characteristics of the laser was also studied.