

小型 TEA CO₂ 激光器寿命过程的质谱诊断

黄宗琳

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

王欲知

(西南交通大学物理系, 成都 610031)

提要: 使用四极质谱仪对小型 TEA CO₂ 激光器作了寿命过程的质谱分析。直接测出了寿命过程中输出能量与各种气体成分变化的对应关系。

关键词: 四极质谱仪, TEACO₂ 激光器

Mass-spectrometric diagnostic for a small TEA CO₂ laser during its lifetime

Huang Zonglin

(Department of Opto-Electronics, University of Electronics Science and Technology, Chengdu)

Wang Yushi

(Department of Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu)

Abstract: An analysis on the lifetime of a small TEA CO₂ laser has been performed by quadrupole mass spectrometer. The variation of output energy with the gas components has been measured.

Key words: quadrupole mass spectrometer, TEA CO₂ laser

一、引 言

为了解激光器在寿命过程中气体成分变化的情况和规律, 以及由此引起的器件特性的改变和对器件寿命的影响, 我们建立了一套适用于高压充气器件的质谱分析系统。即使用四极质谱仪配以极微流量阀, 该阀在开启时对氮气的线性进样最高压强延伸至一个大气压, 开阀漏率为 6.2×10^{-5} Torr·l/s, 关阀漏率小于 1×10^{-9} Torr·l/s, 死空间体积仅为 0.4 mm^3 。使用该阀进行差分抽气, 能使质谱仪适用于高压气体激光器的质谱分析。同时由于使用该阀进行质谱分析时, 气体损失极微, 在激光器寿命期间, 因质谱取样引起的气体损失可忽略不计。另外鉴于质谱仪灵敏度在工作过程中会发生缓慢变化, 我们在系统上安装了标准气样瓶, 用来校正仪器灵敏度变化所产生的影响。在上述系统上对金属外壳小型 TEACO₂ 激光器作了寿命过程的质谱分析。该激光器为脉冲放电型, 重复率 1 Hz, 采用电晕预电离^[1]。直接测出了寿命过程中输出能量与各种气体成分变化的对应关系。

二、实 验 装 置

实验系统示于图 1, B 阀和 A 阀为极微流量阀。激光器和气样瓶中同时充入工作气体,

在激光器工作之前通过 *B*、*A* 阀对气体取样, 记录下激光器和气样瓶的质谱图。当激光器工作一段时间后, 又分别通过 *B*、*A* 阀记录它们的质谱图, 用气样瓶气体质谱图上谱峰高度的相对变化来校正激光器气体质谱图中由于仪器灵敏度变化对谱峰高度的影响, 同时测量激光的输出能量。比较不同时间记录的、经过校正的激光器中气体的质谱图, 得出激光器中气体成分的变化以及该变化与激光器输出能量的对应关系。

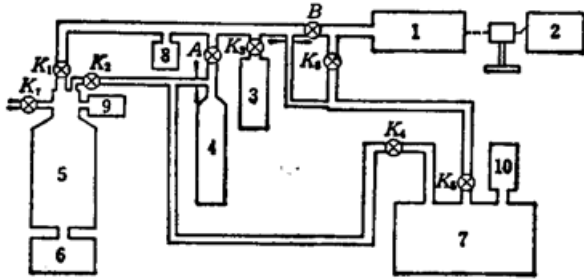


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

1—laser; 2—energy meter; 3—quadrupole tube; 4—gas sample; 5—turbomolecular pump; 6—mechanical pump; 7—gas distribution system; 8, 9—*B-A* gauge; 10—vacuum-gauge; $K_1 \sim K_5$ —ultrahigh vacuum valve; *A*, *B*—ultramini-flow valve; K_6 —glass valve

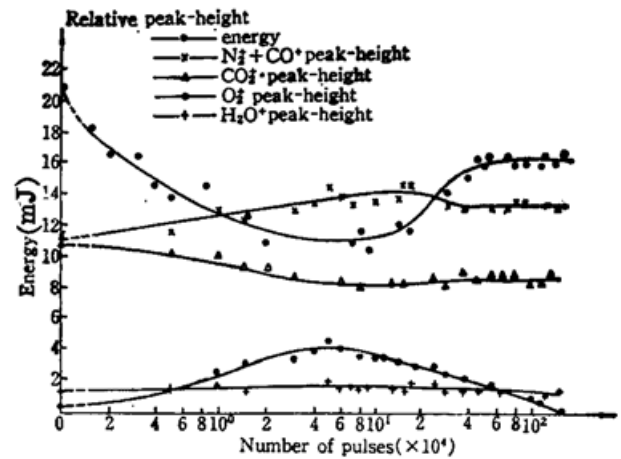


Fig. 2 Variation of energy output with O_2^+ peak-height during the first lifetime

三、实验结果

1. 第一次寿命过程实验结果如图 2 所示。充气压强: $H_2:CO_2:N_2:He = 3:65:101:348$ (Torr), 总压强 $P = 517$ Torr。实验共进行 136 万次。由于激光器是经过长期暴露大气后进行实验的, 激光器的电极、管壁上吸附有空气(氮、氧)、水气等气体, 充气之前激光器又不能加热除气, 所以激光器工作之前的质谱图上有 O_2^+ (32) 峰。

2. 第二次寿命过程实验结果如图 3 所示。将第一次寿命过程实验中激光器的气体抽掉, 重新充气进行了第二次实验。充气压强 $H_2:CO_2:N_2:He = 6:94:99:324$ (Torr), 总压强 $P = 523$ Torr。实验共进行 156 万次。图 3 记录了激光器工作过程中, CO_2^+ (44) 峰、 $N_2^+ + CO^+$ (28) 峰、 O_2^+ (32) 峰、 H_2O^+ (18) 峰的相对峰高与输出能量的变化关系。与第一次寿命过程实验相比, 开始观察不到 O_2^+ 峰, 随寿命过程的进行, O_2^+ 峰增加, 输出能量下降, 但下降幅度不大, 放电 6 万次后, 输出能量开始回升, O_2^+ 峰下降, 到 40 万次时输出能量恢复至初始值的 80%, O_2^+ 峰很低, 与之对应 CO_2^+ 峰下降至初始值的 80%, $CO^+ + N_2^+$ (28) 峰高为初始值的 117%。50 万次后, 输出能量与气体成分都保持相对稳定。

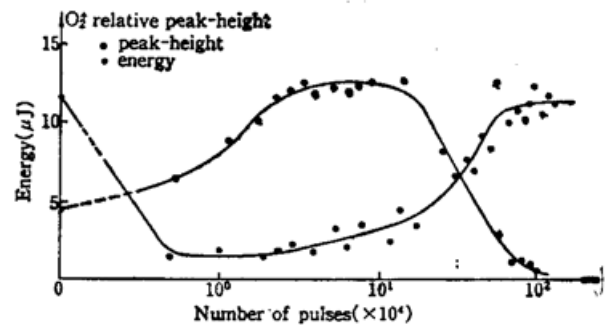


Fig. 3 Variation of energy output with different gases, peak-height during the second lifetime

从两次实验结果, 我们观察到: (1) 氧气含量与输出能量的对应关系。氧气含量较高时, 对应输出能量较低, 氧气含量高到一定值, 激光器起弧率高, 不能正常工作, 输出能量接近零(测

10 次输出能量取平均值); (2) 在激光器工作过程中, 有一个氧气增加然后减少的过程。随氧气增加, 输出能量降低, 而随氧气减少, 输出能量上升。当氧气减少到一定值以下, 激光器输出稳定, 相应的 CO_2 、 CO 、 N_2 等气体成分也保持不变。实验中, 这种过程维持了较长时间。

四、讨 论

1. 激光器开始工作时, CO_2 分解的主要机制是由于电子碰撞分子引起的, $\text{CO}_2 + e \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O} + e$, 离解产生的氧原子通过碰撞很快形成氧分子。随着放电中 CO_2 的不断分解, O_2 浓度不断提高, 由于氧气是负电性气体, 电子容易附着其上形成负离子, 并将多余能量通过碰撞交给其它粒子 M , $e + \text{O}_2 + M \longrightarrow \text{O}_2^- + M$ ($M = \text{CO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{He}$), 还可以通过电子与氧分子碰撞形成氧原子的负离子, $\text{O}_2 + e \rightleftharpoons \text{O} + \text{O}^-$ 。负离子的产生以及随后涉及的分、复合等过程对于等离子体中电子的净产额, 以及对该混合气体维持放电所需的 E/n 值均有很大影响, 即负离子过程强烈地影响等离子体的特性。随着 O_2 浓度增加, 等离子体中电子损失的主要过程逐渐从复合变为附着, 附着的增强将引起电离不稳定性(电子密度扰动增加), 而对于高压的 CO_2 激光器, 更重要的影响是由于负离子的存在非常有利于热不稳定模式^[2], 热不稳定性的增长将导致辉光的崩溃(或称为辉光向弧光的转变、起弧、颈缩)。以上过程对应了实验中观察到的随着放电进行, 质谱图上 O_2 增加, 输出能量下降, 当 O_2 增加到一定值时, 激光器起弧, 输出平均能量接近零的现象。

2. 实验中还观察到激光器工作一定时间后, O_2 减少的过程, 产生此过程的原因尚不清楚, 估计有以下几个因素, 一是由于 CO_2 分解出的 CO 和 O_2 增加到一定量后, CO 和 O_2 的复合过程加强, 使 O_2 不再增加, 这是放电空间进行的重要等离子体化学过程之一; 二是激光管中两个平行平板电极面积较大, 放电时在电极上的等离子体化学过程不能忽略, 其中之一是氧气与电极材料反应形成各种氧化物 M_xO_y ($\text{O}_2 + M \longrightarrow \text{M}_x\text{O}_y$, M 为电极金属), 消耗了放电中的氧气, CO 与 O_2 还可能在电极表面复合为 CO_2 , 电极表面起了催化作用; 还可能是因为工作气体中加入了 H_2 , H_2 在 CO 和 O_2 生成 CO_2 的过程中起了催化还原作用^[3], $e + \text{H}_2 \longrightarrow \text{H}^- + \text{H}$, $\text{H} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{OH} + \text{O}$, $\text{OH} + \text{CO} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$, 或 $\text{OH} + \text{CO}^* \longrightarrow \text{CO}_2^* + \text{H}$ 。激光器中残留的水气也起着上述催化还原作用。可能是上述几种作用使管中氧气含量降低, 减少了氧气对激光器工作的不良影响。以上过程对应了实验结果中随 O_2^+ (32) 峰降低, 输出能量增加, 同时对应 CO_2^+ (44) 峰略有增加, 而 $\text{CO}^+ + \text{N}_2^+$ (28) 峰略有降低(图 3) 的现象。

3. 使用文献[4]中的方法, 对实验激光管中 O_2 分压强进行估算, 结果如下: 第一次寿命实验中, 开始管中氧气约占总压强的 0.9%, 而对应输出能量接近零(起弧)时, 氧气分压强约占总压强的 3.8%。第二次寿命过程实验中, 对应激光器输出能量最低时, 氧气分压强约占总压强的 2.4%, 当激光输出能量上升到保持稳定时, 管中氧气分压强约小于总压强的 1.1%。

黄飙同志参加了实验工作, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 潘承志, 翟明 *et al.*, 应用激光, 8(6), 258(1988)
- 2 G·贝克福等著, 庄国良, 褚成译, 激光等离子体原理, 168~169
- 3 俞之圻 *et al.*, 兵器激光, 3, 21(1985)
- 4 黄理胜, 激光, 6, 416(1982)