

具有 CO₂ 补充源的封离式 CO₂ 激光器的实验研究

黄启文 张明宝 王宗进

(南京工学院)

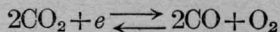
提 要

封离式 CO₂ 激光器长寿命运转受到 CO₂ 离解损耗的限制。本文基于碱土金属碳酸盐分解 CO₂ 的化学平衡原理, 采用碳酸钙为 CO₂ 补充源, 以补偿激光器在运转期间的 CO₂ 离解损耗。对碳酸盐的平衡压强、器件输出特性等问题进行了实验研究, 以获得稳定的长寿命运转。

一、问题的提出

造成 CO₂ 激光器寿命终止的原因很多, 除了器件慢性漏气、阴极溅射、镜片沾污或全反射镜膜层脱落等因素外, 其主要原因是与器件内部气体放电中的化学过程密切相关。

(1) CO₂ 分子是 CO₂ 激光器中的工作物质, 它的离解能约为 7~8 电子伏, 而辉光放电等离子体的电子温度一般在 10⁴~10⁵K, 相应的电子平均能量为 1.5~12.5 电子伏。因此, 在气体放电过程中部分 CO₂ 分子将发生离解, 其主要过程是:



这个过程不可避免地产生, 但其平衡浓度与放电条件、气体成分有关。

人们为了提高封离式 CO₂ 激光器的寿命, 针对上述反应过程采用了不同技术, 以增加 CO₂ 分子的平衡浓度。

P. O. Clark 提出把低电离电位的气体如氙充入工作气体中。由于氙的存在, 高能

电子减少了, 从而减缓了因高能电子引起的 CO₂ 离解。

W. J. Witteman 采用了另一种方法, 他把氢或水蒸气加入工作气体中, 由于放电中产生的氢氧根 (OH) 与 CO 相互作用生成 CO₂, 因而降低了 CO₂ 的离解速率。

之后, N. J. Monmouth 采用自热镍阴极并用氢在管内预放电, 其目的是提供氢气源并解吸 CO₂, 使 CO₂ 浓度得以维持。

(2) 在激光器运转期间, 由于 CO₂ 分子与电极材料发生作用, 改变了 CO₂ 离解的平衡条件, 致使 CO₂ 浓度不断减少, 影响了器件寿命。2CO₂ \rightleftharpoons 2CO + O₂ 离解反应产生的氧使阴极表面氧化, 形成氧化层。如果采用具有还原作用的阴极材料, 那么上述氧化层就可被抵消。从这点考虑, V. E. Hochuli 等人采用 Ag-CuO 合金作阴极材料, 并以 CO 代替工作气体中的 N₂, 以抑制 CO₂ 分子的离解, 从而获得长寿命运转。

上述一些方法虽都能提高 CO₂ 激光器的

收稿日期: 1978 年 12 月 12 日。

寿命,但也存在某些不利因素。例如氢虽可改善 CO_2 分子的离解度,但却增加了 CO_2 分子 00^01 上激光能级的消激发速率,因为氢的存在改变了电子能量分布,使 $\text{N}_2(V=1)$ 能级发生碰撞破坏,从而影响了 $\text{N}_2(V=1)$ 能级的泵浦速率,不利于粒子数反转。另一方面, H_2 多少会与 CO_2 作用生成 CO 和 H_2O ,反过来又消耗 CO_2 。所以 H_2 的含量不宜太多(一般不超过 0.2 托),否则激光输出功率将明显下降。

采用 Ag-CuO 合金作阴极材料并以 CO 代替 N_2 ,对延长器件寿命是成功的,但由于 $\text{CO}(V=1)$ 能级与 $\text{CO}_2(001)$ 能级相差 170 厘米^{-1} ,而 $\text{N}_2(V=1)$ 能级与 $\text{CO}_2(001)$ 能级仅差 18 厘米^{-1} ,显然 CO 的能量转换效率没有 N_2 高。因此这种方法的单位长度输出功率有较大幅度的下降。

能否在 CO_2 激光器中利用碱土金属碳酸盐 $\alpha\text{CO}_3 \rightleftharpoons \alpha\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 这个化学反应来补充 CO_2 (α 为组成碱土金属碳酸盐的金属),它对激光输出特性及器件寿命影响如何?这是本文所要讨论的。

二、碱土金属碳酸盐的平衡浓度

$\alpha\text{CO}_3 \rightleftharpoons \alpha\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 反应是可逆的。反应式中的三种成分即碱土金属碳酸盐 αCO_3 ,碱土金属氧化物 αO 和 CO_2 ,它们总是存在一个与系统温度相关联的量,并由平衡常数 K 所表征:

$$K = \frac{p[\alpha\text{O}]p[\text{CO}_2]}{p[\alpha\text{CO}_3]} \quad (1)$$

式中 p 表示所表成分的气压,

α 表示组成碱土金属碳酸盐的金属。

由于碱土金属碳酸盐和金属氧化物都为固体,所以 CO_2 的平衡压强等于平衡常数 K 。平衡常数又与温度有关,其关系可由下式表示:

$$\lg K = \frac{A}{T} + B \quad (2)$$

式中 A, B 在一定条件下为常数。

图 1 表示碱土金属碳酸盐分解压强与温度的关系。由图 1 可知,碳酸钙的分解压强最高,而其分解温度最低,因此作为 CO_2 补充源的碳酸盐应选用 CaCO_3 为宜。例如当温度在 600°C 时, CaCO_3 的离解压强 (P_{CO_2}) 达 10 托。

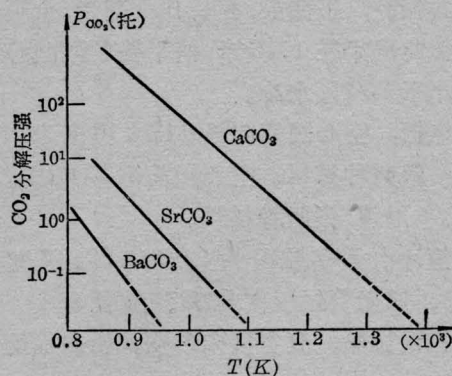


图 1 碱土金属碳酸盐的分解压强与温度的关系曲线

根据上述平衡关系,我们只要改变碳酸盐的温度,就可获得所需要的 CO_2 分压强。因此,选择适当的温度,使碳酸钙分解 CO_2 的速率和激光器放电等离子体中 CO_2 的离解速率达到平衡,以维持稳定的 CO_2 成分,即可延长激光器寿命,而且对激光功率的稳定性也十分有效。

三、实验条件和实验结果

1. 实验条件

(1) CO_2 补充源

CO_2 补充源采用图 2 所示结构。

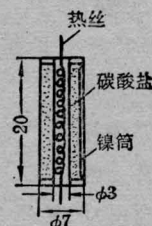


图 2 CO_2 补充源结构示意图

由镍皮作成双层圆筒，内筒装入热丝供加热碳酸盐之用，夹套内装入 200 毫克左右碳酸盐。整个 CO_2 补充源的尺寸为 $\phi 7 \times 20$ 毫米，并安放在激光管储气套内，用钨杆引出。

(2) 实验激光管

放电管：内径 $\phi 8$ 毫米，长 460 毫米

共振腔：平凹腔，腔长 600 毫米，金膜全反射镜曲率半径 1.78 米，锗平镜（不镀膜）平行度小于 30 秒，水冷。

电极：空心圆筒阴极 $\phi 13 \times 16$ 毫米，采用镍、银两种材料。空心圆筒阳极 $\phi 13 \times 13$ 毫米，也用镍、银两种材料。

镜片由 E-7 胶密封（上海树脂研究所提供），激光管经湿度 98%、温度 48°C 、48 小时潮湿试验，真空度未改变，密封性能良好。

激光管玻璃壳经 350°C 除气，保温 4 小时，真空度为 8×10^{-6} 托，并用氦和氢各 10 托放电清洗 2 小时。

CO_2 补充源的除气温度均为 300°C 。

2. 实验结果

(1) CO_2 补充源平衡气压与温度的关系：

在管内充有 H_2 (0.15 托)、 Xe (0.48 托)、 N_2 (3.9 托)、 He (15 托)，总分压为 19.6 托的放电条件下，测得了 CaCO_3 和三元碳酸盐 (BaCO_3 50~55%， SrCO_3 40~45%， CaCO_3 5~8%) 的温度与 CO_2 平衡压强的关系。所得结果绘于图 3。从图 3 可知， CaCO_3 的分解温度较低，而 CO_2 平衡压强远比三元碳酸盐高。热丝电压从 4 伏（电流 1.81 安）增加到 4.6 伏（电流 2.1 安）， P_{CO_2} 从 2 托增加到 4.2 托。平衡压强的重复性极好，可以任意调节，平衡时间约半小时。

由于 CO_2 补充源提供的 CO_2 是借助碳酸盐化学反应生成的，因此 CO_2 的纯度较高。对于提高激光器输出功率是有利的。所用 CaCO_3 最好是光谱纯。

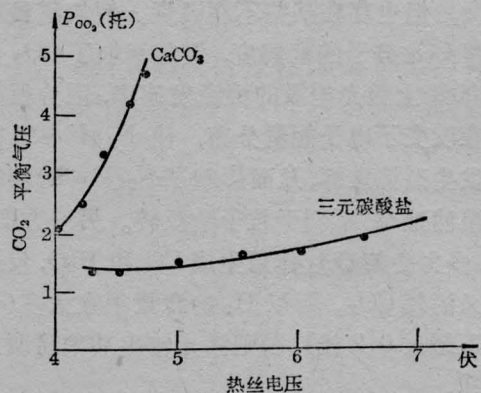


图 3 CO_2 补充源温度与 CO_2 平衡压强的关系

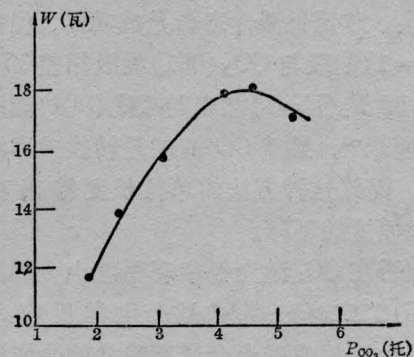


图 4 CO_2 平衡气压与激光功率的关系

(2) 平衡气压与输出功率的关系：

我们在管内充有 H_2 (0.15 托)、 Xe (0.48 托)、 N_2 (3.9 托)、 He (15 托) 的放电条件下，测量了 CO_2 平衡气压与输出功率的关系，如图 4 曲线所示。

从图 4 曲线可以看到， CO_2 平衡气压对输出功率有明显影响。实验得到的结果是 CO_2 和 N_2 的压强比应接近 1 为最佳。而且发现对于 10 瓦级 CO_2 激光器（放电管直径小于 10 毫米）， CO_2 压强最佳值应在 3.5~4.2 托范围。这个值与过去报导的最佳 CO_2 分压为 2 托的结果不一致。但我们在多次重复的实验中，都得到同样的结果。如按国外资料提供的数据配入，激光功率为 12 瓦左右。按我们的结果配入，激光功率可超过 18 瓦。

适当增高 CO_2 分压强，除能提高输出功率外，对于延长器件寿命也是有利的。

(3) CO_2 补充源对延长激光器寿命的初

步效果:

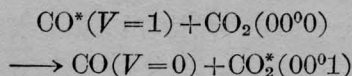
具有 CO₂ 补充源的封离式 CO₂ 激光器的寿命试验表明, 由于管内 CO₂ 压强能够自动地维持最佳状态, 因此器件在运转期间, 激光功率始终保持稳定。这一点已明显表现出来。采用 CO₂ 补充源可使功率漂移控制在 5%, 而若不用 CO₂ 补充源, 功率漂移可达 15% 甚至 20%。时间愈长, 漂移愈大。

目前寿命试验正在进行, 最终的效果如何, 只有经过时间的检验才能确定。

四、结 论

从实验结果我们认为, 利用碱土金属碳酸盐的化学平衡原理, 对于延长封离式 CO₂ 激光器的寿命和提高激光功率稳定性是有效的。由于激光管在运转期间, CO₂ 不断离解为 CO 和 O₂, 虽然“CO₂ 补充源”能维持管内 CO₂ 分压强处于最佳状态, 但一氧化碳的成分不断积累, 这个因素对器件影响如何是需要讨论的。

已有的实验和理论工作都证明了如下观点: CO 具有类似于 N₂ 为 CO₂ 分子上激光能级 (00⁰1) 提供振动能量的作用。这个过程是, CO 分子被电子所激发, 然后与基态 CO₂ 分子碰撞, 通过共振转移把 CO₂ 分子激发到 00⁰1 能级, 即



CO (V = 1) 的能量 2179 厘米⁻¹ 与 CO₂ (00⁰1) 的能量 2349.2 厘米⁻¹ 相差约 170 厘米⁻¹。虽不及 N₂ 那样效率高, 但 CO 能量转移的几率也是较大的。而且, 电子碰撞激发 CO 分子的激发截面较大, 在电子能量为 1.7 电子伏时达 8 × 10⁻¹⁶ 厘米²。所以这一激发过程对形成 CO₂ 分子粒子数反转也起着

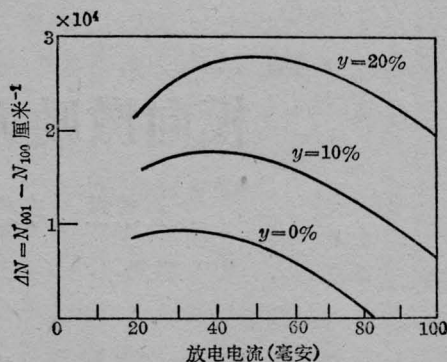


图5 CO₂ 粒子数反转与离解度的关系:
y (离解度) = [N_{CO} / (N_{CO} + N_{CO₂)] %}

有效作用。根据 P. Avivi 等人的研究, CO₂ 离解度对 CO₂ 粒子数反转的影响可由图 5 曲线说明。显然, CO₂ 的离解作用对器件寿命而言是个不利因素, 但离解生成的 CO 对粒子数反转却是有利因素。在通常的密封 CO₂ 激光器中, 由于 CO₂ 离解后得不到补充, 以致浓度愈来愈小, 成为影响器件寿命的要害问题。但在具有 CO₂ 补充源的激光器中, CO₂ 的分压可以维持不变, 而离解生成的 CO 反过来又对粒子数反转有利, 变不利因素为有利因素。对这个因素我们正在作进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] P. O. Clark *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, 263.
- [2] W. J. Witteman; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, 337~338.
- [3] R. J. Carbone; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1967, **QE-3**, No. 9, 373~375.
- [4] R. J. Carbone; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1968, **QE-4**, No. 3, 102~103.
- [5] T. F. Hochuli; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, No. 2, 239.
- [6] 傅献彩编, “物理化学”(上册)。
- [7] P. Avivi; *J. Appl. Phys.*, 1973, **44**, No. 4, 1719~1721.