

# 带有金环的 CO<sub>2</sub> 激光器的着火及放电特性研究

陈肖燕 王欲知

(西南交通大学应用物理系, 成都, 610031)

**摘要:** 将金环置于 CO<sub>2</sub> 激光器的放电毛细管中, 是近几年出现的一种新的 CO<sub>2</sub> 催化再生方法, 以 He, Ne 两种气体为放电气体, 对带有金环的 CO<sub>2</sub> 激光器的着火及放电特性进行了实验研究, 结果表明: 与普通的 CO<sub>2</sub> 激光器相比, 加入金环的激光管中两种气体的着火电压及放电时的端电压都明显地提高了。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光器 放电特性 着火特性 金环

## Study on discharge and break-down characteristic of CO<sub>2</sub> laser with distributing of gold rings

Chen Xiaoyan, Wang Yuzhi

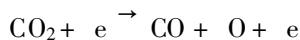
(Department of Applied Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

**Abstract:** In order to study the discharge and break-down characteristics of CO<sub>2</sub> laser with distributing of gold rings, a comparison experiment has been carried out with CO<sub>2</sub> laser tubes one was typical, the other was improved by putting a series of gold rings in the discharge capillary. Two kinds of gases helium and neon have been used in the experiment. The results showed that both the break-down voltage and the terminal voltage of the laser tube with gold rings are increasing significantly in comparison with the tube without gold rings.

**Key words:** CO<sub>2</sub> laser discharge characteristics break-down characteristics gold rings

### 引 言

对于放电激励的 CO<sub>2</sub> 激光器, 始终存在着工作物质 CO<sub>2</sub> 由于电子碰撞而分解的问题:



这一反应通常在 CO<sub>2</sub> 分解达 60% 时才能最终达到平衡<sup>[1]</sup>。1985 年, 王欲知、刘建生采用玻璃微孔对激光器早期过程进行了直接质谱诊断<sup>[2,3]</sup>, 结果表明, 对于纯 CO<sub>2</sub> 放电, 5min 内的分解

- 14 Gunter P, Huignard J P eds. Photorefractive Materials and Their Applications (E). Berlin: Springer-Verlag, 1988; P Yeh. Photorefractive Nonlinear Optics. New York: Wiley, 1993
- 15 Vinetskii V L, Kukhtarev N. Sov Phys, 1975; 16: 2414
- 16 Kodama Y, Hasegawa A. IEEE J Q E, 1987; 23: 510
- 17 Blow K J, Doran N J, Wood D. J O S A, 1988; B5: 1301

\* \* \*

作者简介: 刘劲松, 男, 1959 年 11 月出生。工学博士, 教授, 博士生导师。研究方向为非线性光学、激光物理、目标与环境的光学特性、红外图像处理与光电成像制导。

将达到80%。放电过程中CO<sub>2</sub>的分解严重限制了CO<sub>2</sub>激光器的稳定性、输出功率及寿命。主要表现在:(1)CO<sub>2</sub>的分解直接导致工作物质的减少;(2)分解过程中产生的O, O<sub>2</sub>等可生成NO<sub>x</sub>(NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>等),这些气体对于激光器(特别是中低气压下)放电稳定性和输出功率都有较大的影响<sup>[4~8]</sup>。因此,工作气体的催化再生问题一直是CO<sub>2</sub>激光器的一个重要课题。经过国内外多年的开发研究,已有大量有效的催化剂被发现和应用。其中有气相催化剂CO, H<sub>2</sub>; 固相催化剂Pt, Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Au/MnO<sub>2</sub>/Hopcalite(含50% MnO<sub>2</sub>, 30% AuO, 15% CoO<sub>3</sub>及Ag<sub>2</sub>O)等。固相催化剂往往需要较高的催化温度(催化活性随温度的降低而降低),或者可工作于环境温度,但必需使工作气体与催化剂颗粒密切接触,从而克服较慢的扩散和反应速率。鉴于此,固相催化剂不便应用于封离型CO<sub>2</sub>激光器;为使封离型CO<sub>2</sub>激光器寿命延长、工作性能稳定,一般采用气相催化,并采用Pt等具有催化作用的材料作阴极。CO<sub>2</sub>的催化再生实际上仍然不够迅速有效。

1988年, J. A. Macken提出了一种新的方法<sup>[9]</sup>,为封离型CO<sub>2</sub>激光器工作物质的催化再生提供了新的途径。这一方法是以Au或Ag<sub>2</sub>O作催化剂,直接置于毛细管内壁,充分利用放电区存在的活性氧,在放电区实时催化,取得了良好的效果。但是,作为催化剂的金环本身是一种导体,置于放电管以后将对放电过程产生怎样的影响?为此,我们做了一些实验,在本文中给出了部分实验结果。

## 1 实验及结果

### 1.1 系统的预处理

为了实现比较,实验中采用了西南技术物理研究所提供的两支结构、工艺及材料完全相同的激光管。其中一支管子为普通激光管,另一支管子的放电毛细管中放置了金环。金环是由铜片镀金而成,每一金环宽度为8mm,相互之间间隔1.5~2mm。实验之前对系统进行了相当严格的预处理。

(1)真空加热除气:首先使用涡轮分子泵对两支管子进行真空除气(涡轮分子泵所能实现的极限真空度为 $10^{-8}$ Pa),放电管以加热带缠绕,通电加热1h后,真空度可达到 $10^{-4}$ Pa。加热除气时,激光管冷却套空置,即不通水。

(2)放电老化:为保证结果的可靠性,加热除气之后接着进行了适当的放电老化。此时,管内充He气,放电电流 $I=15\sim 20$ mA。每次放电2h,然后抽掉放电气体,进行换气。对于普通管,老化过程进行了两次。第一次,充He气 $P=1067$ Pa,放电电流 $I=15$ mA,放电初始阶段为正常的紫色,随后逐渐变为白色,表明放电过程中,逐渐有杂质气体(主要是水汽)释放出来;第二次仍充He气 $P=1067$ Pa,  $I=15$ mA,放电状态已相当理想,放电区保持为稳定的紫色,辉光区明亮且均匀。金环管的情况则有很大不同。第一次充He气 $P=1067$ Pa,  $I=15$ mA,放电颜色为白色,且很不稳定,有明显的辉纹,在外部电路条件不变的情况下,放电电流不断下降,管压降不断上升,气体的导电性能愈来愈差,这表明氦气放电使大量吸附于金环的杂质气体释放出来,包括H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>等粒子。这些粒子在电场的作用下发生分解、电离、电子附着等过程,使得管内粒子数密度增加,负电性气体增加,参与导电的电子数目减少。因此,放电电流逐渐减小而管压降却逐渐升高。第一次除气维持了1h,然后抽空。逐渐增大气压和放电电流,又进行了三次老化,累计5h,基本达到了普通管的状态。

### 1.2 着火及 I-V 特性实验

实验装置如图 1 所示, 实验的气压范围为 133.3~ 1333 Pa, 选用了 He, Ne 两种气体, 实验结果如图 2~ 图 4 所示。结果表明: (1) 毛细管内置金环以后, 放电仍保持了正常的辉光放电特性; (2) 毛细管内置金环以后, Ne 气的着火电压平均增加了 0.2kV, He 气的着火电压增加了 0.4kV (气压范围 666.5~ 1333Pa); (3) 在保持两支激光管中放电电流相同的情

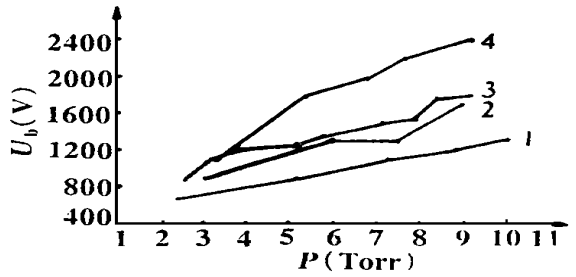


Fig. 1 Experiment set

- 1—laser tube 2—ionization vacuum gage 3—turbomolecular pump 4—mechanical vacuum pump 5—U shape barometer 6—gases distribution system

况下, 有金环管两端的电压明显地增加了。充 Ne 气时, 管压降平均增加了 0.2kV, 充 He 气时, 管压降平均增加了 0.29kV (气压范围 666.5~ 1333Pa)。

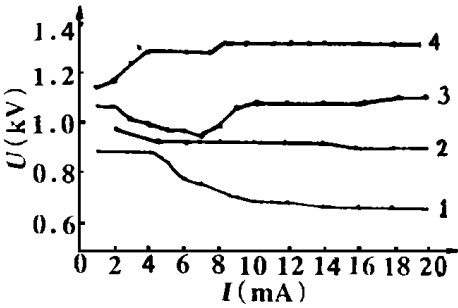


Fig. 2 Break-down characteristics curve of He and Ne discharge tube diameter  $D = 1.3\text{cm}$   
 1—break-down characteristics curve of Ne without gold rings 2—break-down characteristics curve of He without gold rings  
 3—break-down characteristics curve of Ne with gold rings 4—break-down characteristics curve of He with gold rings

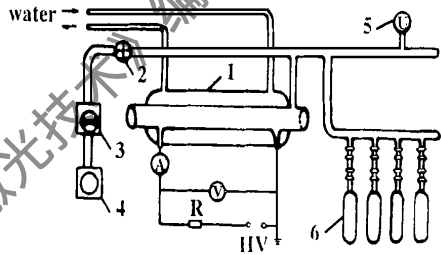


Fig. 3 I-V characteristics curve of Ne and He  
 1, 2—without gold rings,  $P_{1\text{Ne}} = 693\text{ Pa}$ ,  $P_{2\text{He}} = 693\text{ Pa}$  3, 4—with gold rings,  $P_{3\text{Ne}} = 787\text{ Pa}$ ,  $P_{4\text{He}} = 706\text{ Pa}$

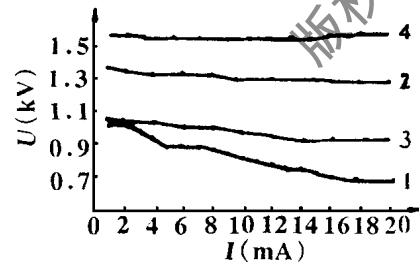


Fig. 4 I-V characteristics curve of Ne and He  
 1, 3—without gold rings,  $P_{1\text{Ne}} = 987\text{ Pa}$ ,  $P_{3\text{He}} = 1053\text{ Pa}$  2, 4—with gold rings  $P_{2\text{Ne}} = 1000\text{ Pa}$ ,  $P_{4\text{He}} = 1013\text{ Pa}$

## 2 讨 论

激光管内加入金环以后, 其放电特性发生了明显的变化, 引起变化的原因, 作者认为主要有以下两个方面:

(1) 激光管中加入金环以后, 放电空间受到了限制, 效果上等效于管径减小了。气体的击穿主要靠两种过程,  $\alpha$  过程——电子与气体分子碰撞使其电离的过程;  $\gamma$  过程——空间正离子携带一定能量打上阴极, 使阴极产生二次电子发射, 放电管中气体的着火电压主要由管径、气体成分、电极材料和表面状态所

决定。由于金环是良导体, 每一金环可认为是等电位的, 管壁附近轴向电位降落将主要产生于金环之间的狭缝处, 也就是说, 金环附近的电场会变得减弱, 而狭缝处的电场增强。故金环的存在使管壁附近的电场发生严重的畸变, 与不置金环的毛细管相比, 放电激励的有效空间减小了, 靠近金环处电场减弱, 电离的过程难以发展, 管壁附近总的带电粒子数下降, 带电粒子径

向分布梯度增加,加剧了管轴处带电粒子向管壁的扩散,最终导致放电发生困难,着火电压升高。另外,根据 Schottky 理论,可以计算出管中的放电电流:  $I = 1.36en_0R^2$ ,有效的放电空间减小了,必然会导致放电电流的减少。

(2) 激光管中加入金环以后,加剧了带电粒子的损失,从而影响放电管中的双极性扩散。气体着火以后,进入稳定的辉光放电状态,此时,电子雪崩过程主要产生于阴极位降区,正柱区电场相对较弱,其中的主要过程是电子直接碰撞电离和双极性扩散。双极性扩散的形成,是由于正、负粒子在由浓度差引起的从管轴向管壁的扩散中,电子的扩散速度大于正粒子的扩散速度,因此,电子首先到达管壁,形成一负电位,阻碍电子的扩散,加剧正粒子的扩散,最终达到动态平衡——电子扩散速度等于正粒子扩散速度。设管壁上形成的负壁电位为  $V_0$ ,则双极性扩散中的电子流密度为<sup>[10]</sup>:

$$\Gamma_e = (1/4)n_e V_e \exp[-eV_0/(KT)]$$

式中,  $n_e$  为电子密度,  $V_e$  是电子平均热速度。可见,  $\Gamma_e$  随  $V_0$  的减小而增大。当管壁由绝缘体变为导体金环时,不利于负电位的形成,结果可能使负电位减  $V_0$  增大,也即带电粒子的损失速率增大。另外,由于靠近金环处,带电粒子密度减小,引起带电粒子密度分布径向梯度增加,这两个因素都将引起带电粒子在管壁的损耗增加,从而使带电粒子密度下降,放电电流  $I$  下降。

### 3 结 论

将金环作为催化剂直接置于激光管放电毛细管壁上,可以保持正常的辉光放电,但是,其着火及放电特性发生了明显的变化:与无金环管相比,Ne 气的着火电压平均增加了 0.2 kV, He 气的着火电压增加了 0.4 kV (气压范围 666.5~1333 Pa); Ne 气的放电端电压平均增加了 0.2 kV, He 气的放电端电压平均增加了 0.29 kV (气压范围 666.5~1333 Pa)。显然,为充分利用金的催化作用,应使金环的面积尽量大;但是金环愈宽,对放电的影响也愈大。所以,为保证催化效果,又减少不利影响,应改进置金方式。

本工作得到西南技术物理研究所屈乾华研究员、侯天晋研究员、赵刚博士的大力支持帮助,在此致以诚挚的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Karube N, Yamaka E. J A P, 1970; 41(5): 2031~ 2041
- 2 王欲知,刘建生. 中国激光, 1986; 13(5): 277~ 280
- 3 Wang Y Zh, Liu J Sh. J A P, 1986; 59: 1834~ 1838
- 4 王 道,田宁宁,郭 丽 *et al.* 激光杂志, 1985; 7(6): 302~ 305
- 5 壮斗南,林英仪. 光学学报, 1994; 4(5): 50~ 54
- 6 高桂珍. 激光杂志, 1993; 15(1): 1~ 5
- 7 Stark D S, Harris M R. J Phys E, 1978; 11: 316~ 319
- 8 Stark D S, Harris M R. J Phys E, 1983; 16: 158~ 161
- 9 Macken J A. USP, 4756512, 1988-07-12
- 10 金佑明,樊友三. 低温等粒子体物理基础. 北京: 清华大学出版社, 1983: 16

作者简介: 陈肖燕,女,1961年8月出生。硕士,讲师。现主要从事通信及激光技术方面的教学和研究工作。  
王欲知,男,1934年1月出生。教授,博士生导师。现主要从事真空技术及气体激光的研究工作。