

2501  
林太基  
不厚十日

860802  
长春电机所  
北京电子研

改  
860807  
860804

# 含 Ar 大体积紫外光预电离 TEA CO<sub>2</sub> 激光器

于澍生 杜龙龙

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 实验研究了在大体积紫外光预电离的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中用工业纯 Ar 部分取代 He 时, 不同 Ar 取代比分对放电稳定性、激光输出能量的影响以及掺入少量正三丙胺后使放电稳定性得到一定改善的结果。

## A large volume UV preionized TEA CO<sub>2</sub> laser containing Ar

Yu Shusheng, Du Longlong

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

**Abstract:** In a large volume UV preionized TEA CO<sub>2</sub> laser partial replacement of He with industrial-grade Ar is possible. The effects of Ar contents on the discharge stability and the output pulse energy are studied. When CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He-Ar is doped with tripropylamine, the discharge stability can be improved.

### 一、引言

在大体积紫外火花预电离的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中, 均匀稳定的辉光放电与电极形状、气体比分密切相关。当电极形状确定之后, 则需在改变气体比分和掺杂等方面进行工作。为了在大体积、高气压(>0.5 atm)和紫外光预电离的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中获得稳定的无弧放电, 需要控制 CO<sub>2</sub> 的含量, 并增加 He 的比分, 而且这一比分通常不得低于总气压的百分之五十。因此, 这类器件的工作需要大量价格昂贵的 He 气。我们曾发现惰性气体 Ar 在 CO<sub>2</sub> 激光介质的紫外火花中有较高的离化度, 而工业纯 Ar 只是二级纯 He 气价

格的 3~4%, 因此, 可以考虑用 Ar 部分地取代 He, 以降低激光器的运行费用。在脉冲工作的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器中 He 起着重要的作用。一方面在紫外光预电离中 He 提供最大的光电离, 由于光电离截面大, 从而使放电的  $E/P$  值降低 ( $E$ ——两电极间的电压降,  $P$ ——工作气体压力), 这有利于电子对 CO<sub>2</sub> 激光上能级的直接激发, 使放电稳定性增加; 另一方面 He 可增加激光下能级的弛豫速率, 而不影响激光上能级的寿命。在波长小于 80 nm 的紫外光中 Ar 的光离化截面远大于 He<sup>[1]</sup>。尽管如此, 但由于 N<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 在此波段内有大的吸收截面, 特别是在强火花照射下, CO<sub>2</sub> 分解产生的 O<sub>2</sub> 在波长小于 80 nm

收稿日期: 1986年8月2日。

波段也有大的吸收截面,因此不能期望 Ar 能提供比 He 更多的光电子。实验表明,在激光介质透明的紫外火花中,Ar 的光离化度与 He 相当<sup>[2]</sup>。同时,Ar 对 CO<sub>2</sub> 激光上、下能级的消激活影响很小。因此,在 CO<sub>2</sub> 激光介质中 Ar 的作用与 He 不完全相同,只能用 Ar 部分取代 He。本文研究不同 Ar 取代比相对放电稳定性、激光输出功率的影响,以及掺入少量正三丙胺后放电稳定性的改善。

## 二、实验结果与分析

用于实验研究的是直径为 28 cm 的大口径二节 TEA CO<sub>2</sub> 激光器。张氏面形电极,单节放电体积为  $7 \times 8 \times 50 \text{ cm}^3$ ,总放电体积约 5.6 升。主放电为三级 Marx 发生器,每级电容为  $0.14 \mu\text{F}$ ,充电  $-32 \text{ kV}$ 。预电离为面放电的 5 排火花隙阵列,共  $33 \times 5$  个火花隙。预电离面板放在网状阳极后边,相距 2.5 cm。预电离为二级 Marx 发生器。主放电与预电离两路同时充电,由延迟触发器控制两路的最佳延迟。器件两端用 NaCl 窗口密封,光学谐振腔由曲率半径为 20 m 的镀金全反射镜及透过率 46% 的锗平镜构成,腔长为 3 m。激光输出能量用  $\phi 100 \text{ mm}$  炭斗接收,激光波形用光子牵引接收器及 6200 示波器观察。电流、电压波形用儒可夫斯基线圈、电压分压器及 OK-19 高压示波器观察。图 1、图 2 给出该器件不含 Ar 时的工作特性。由图中可以看出当激光气体中 He 的比分低于 50% 时,放电不稳定,出现弧光放电的几率增加。我们用出弧率表示放电的稳定性。本文所给出的出弧率是一次充气后,手控连续 30 次脉冲放电,出现弧光放电的几率。由图可见,He 的含量在 50~60% 时,激光输出能量最大。当 He 的比分再增加时激光能量减少,这是由于激光工作气体 CO<sub>2</sub> 的比分相对减少;而当 He 的比分减少时,CO<sub>2</sub> 的比分相对增加,致使光电离降低,增加了放电的不稳定性。

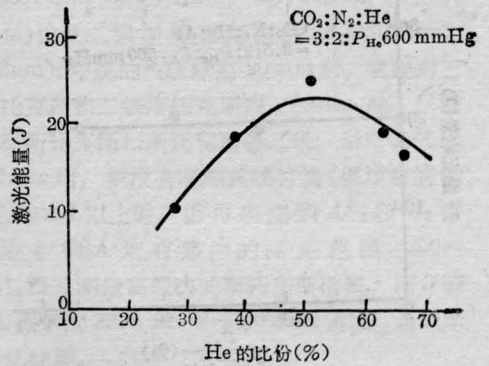


图 1 激光介质中 He 比份对激光输出的影响

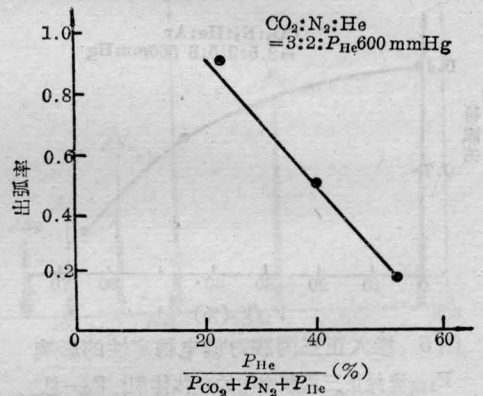


图 2 在激光介质中 He 的含量对放电稳定性影响

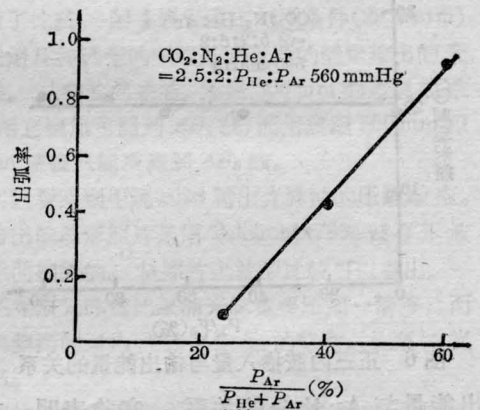


图 3 Ar 的含量对放电稳定性的影响

图 3 给出用 Ar 部分取代 He 时对放电稳定性的影响。由图可以看出随着 Ar 分压的增加,出弧率递增,当用 Ar 取代一半 He 时,放电稳定性几乎完全被破坏。因此用 Ar 取代 He 的比分必须控制在  $\frac{P_{Ar}}{P_{Ar} + P_{He}} < 50\%$ <sup>[6]</sup>。图 4 给出 Ar 部分取代 He 时激光

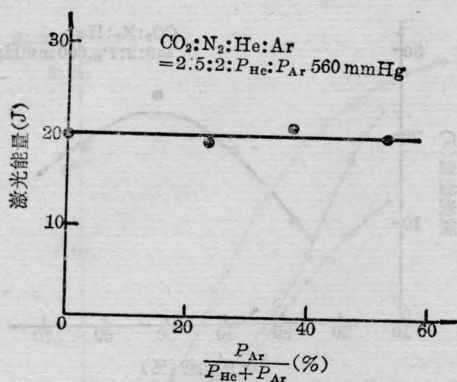


图4 Ar的含量与激光输出的关系

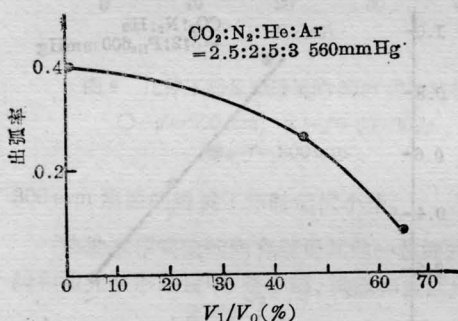


图5 掺入正三丙胺对放电稳定性的影响  
 $V_1$ —流经正三丙胺空间的气体体积;  $V_0$ —总激光气体体积

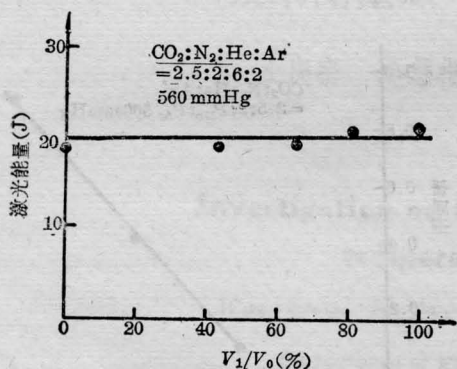


图6 正三丙胺掺入量与输出能量的关系

输出能量与Ar比分的关系。实验表明,在稳定无弧放电的条件下,用Ar部分取代He对激光输出能量没有明显影响。这也表明Ar在CO<sub>2</sub>激光介质中只是提供预电离,对激光能级没有作用。

图5、图6给出激光介质CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He:Ar为2.5:2:5:3和2.5:2:6:2,总气压为560 Torr时掺入少量正三丙胺对放电稳定性及

激光输出能量的影响。与不含Ar的TEA CO<sub>2</sub>激光器一样,当含Ar的TEA CO<sub>2</sub>激光器中掺入少量的正三丙胺时,可大大地改善放电的稳定性。正三丙胺在常温下是液体状态的有机溶剂,具有低的离化电位和高的饱和蒸气压。使一部分激光气体流过含正三丙胺溶剂的容器,一部分正三丙胺的分子就被带入激光气体中。由于很难精确估计种子液体的蒸发量,种子气体的压力采用任意单位。正三丙胺的离化电位为7.23 eV,相应的光波长为170.5 nm,在120到140 nm有最大的光离化截面,且为一步光离化<sup>[4]</sup>。在175到220 nm范围内光离化截面又一次达到极大,这相应于两步光离化。120 nm与175 nm附近正好是CO<sub>2</sub>激光工作介质的两个透明窗口区,光子的穿透深度不受激光气压的影响,因此,即使在激光工作气体压力较高的情况下,仍然能够提供均匀的体电离,使放电稳定。含Ar的TEA CO<sub>2</sub>激光器放电易出现弧光及掺入少量正三丙胺后放电稳定性的改善说明了这种器件的初始预电离不够强。由图6可以看出,在我们所采用的工作气压下,少量地掺入正三丙胺对激光输出能量没有影响。这说明掺入激光工作气体中的正三丙胺不与激光气体反应,对激光能级的粒子数没有影响,且对激光振荡波长的吸收也极少。

### 三、讨 论

1. 在大体积接近大气压下运转的紫外火花预电离 TEA CO<sub>2</sub>激光器中能否实现无He运转?从上面的实验中可以看出没有He是不行的。进一步分析可以看出,这种器件中均匀稳定的无弧放电的先决条件是应提供均匀的初始光电离。为此,总是加强紫外辐射的强度,而激光介质尤其是CO<sub>2</sub>在强紫外光照射下极易分解,产生对稳定放电极为不利的O<sub>2</sub>。这种固有的缺欠是通过控制CO<sub>2</sub>的含量,提高He的比分以增强光电离来克服

的。另外, He 有高的导热能力, He 的增加也增加了工作气体的导热能力, 而 Ar 的导热性能较差, 不能完全起到 He 的作用。因此, 不能仅仅从可提供的起始光电离来决定一种气体成份在激光中的作用。

2. 我们曾经指出在紫外光火花预电离的 CO<sub>2</sub> 激光介质中, Ar 和 He 的光离化度相当, 那么为什么用 Ar 部分取代 He 时出弧的几率会增加呢? 这不仅是 Ar 的热导率较低, 而且与 Ar 的纯度有关。我们用高纯 Ar 做同样的实验发现出弧几率显著减少。高纯 Ar 与工业纯 Ar 的主要区别在于杂质含量。Ar 中的主要杂质为 N<sub>2</sub> 与 O<sub>2</sub>, 在工业纯 Ar 中对 CO<sub>2</sub> 激光介质有害的 O<sub>2</sub> 含量为 10 PPM, 而高纯 Ar 中 O<sub>2</sub> 的含量则小于 0.0002% (体积比) 在二级纯 He 气中也含有 5 PPM 的 O<sub>2</sub>,

这样, 激光介质本身中含的 O<sub>2</sub> 再加上放电和紫外光使 CO<sub>2</sub> 分解产生的 O<sub>2</sub>, 使均匀放电所需的初始电子大为减少, 稳定的无弧放电就不能维持。如果在实验上采用简便的方法去除工业纯 Ar 中的 O<sub>2</sub>, 则用 Ar 部分取代 He 的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器更有实用价值。

### 参 考 文 献

- [1] Earl W. McDaniel; "Collision Phenomena in Ionized Gases Printed in the United States of America 1964" p. 344~357.
- [2] Herb J. Seguin *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, No. 3, 315.
- [3] M. F. Borisov *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1985, **15**, No. 8, 1158.
- [4] H. J. J. Seguin *et al.*; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 1, 82.

(上接第 567 页)

表 1

	Rh 6G	Rh B	Kiton Red S
染料浓度** (M/L)	1.2×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-3</sup>	0.87×10 <sup>-3</sup>
调谐范围 (nm)	563~615	586~643	584~642
峰值波长 (nm)	580	610	600
单纵模激光功率* (mW)	205	153	87
单纵模宽度 (MHz)	100	100	100
单纵模激光效率* (%)	4.5	3.4	2

\* P<sub>p</sub>~4.5 w, \*\* 溶剂为无水乙醇。

脉冲宽度是随着泵浦功率的增加而增加的。

表 1 列出了使用 Rh6G、RhB 和 Kiton

Red S 三种染料作工作物质, 获单纵模运转时的诸项激光性能。它们覆盖了 563~643 nm 波段, 其中 RhB 和 Kiton Red S 两种染料未使用在最佳浓度。

感谢于开义同志在实验工作中特别是铜蒸气激光器工作中的大力帮助。

### 参 考 文 献

- [1] 汤星里, 赵梅村等; 《中国激光》, 1986, **13**, No.5, 298.
- [2] A. F. Bernhardt, P. Rasmussen; *Appl. Phys. B*, 1981, **26**, 141.
- [3] F. J. Duarte, J. A. Piper; *Opt. Commun.*, 1982, **43**, No. 5, 303.
- [4] S. Lavi *et al.*; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 13, 1905.