激光技術
Vol.11, No.2

TEA CO_2 激光器中辅助气体对均匀放电的影响

陈文和　李万荣　袁婷　丘军林

（华中工学院激光研究所）

在TEA CO_2激光器中，对激光器的放电影响最严重的是CO_2的分解。通过向工作物质中添加辅助气体可以改善激光器的放电特性。本文分析和计算了CO_2的分解速率，对添加CO和H_2与放电情况作了详尽的理论分析和实验研究。

一、引　　言

Nighan 等人[1]应用Hass[2]的放电稳定性理论，对普通连续波CO_2激光器中的等离子体过程进行了分析，建立了放电不稳定性的增长率的表达式，讨论了其成因。他们认为，放电不稳定性的出现与负离子的存在具有密切关系。Shields[3]又指出，初始的负离子主要产生于二体分解附着反应或三体附着反应。因此，为了提高放电稳定性，必须减少CO_2的分解。

二、实验装置简述

实验所用激光器采用合金铝制作的Rogowski电极，放电体积为600×38×30mm³。为形成均匀放电，采用了火花紫外预电离。半反镜透过率为20%，输出激光通过焦距为120mm的聚焦镜后用激光能量计测量。激光器激励电源用Blumine 型电路，如图1所示，高压开关是自制的火花隙。

三、CO_2 的分解速率

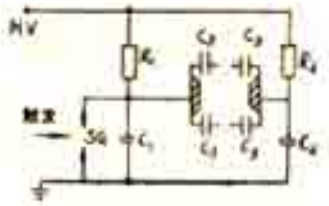

图1　激光器激励电路原理图

Matsumoto 等人[4]认为，主放电引起的分解是单电子过程产生的，预电离引起的CO_2分解是多电子碰撞过程产生的。同时，Smith[5]也证明，在预电离的火花通道上，CO_2强烈分解，但整个CO_2的分解率远小于其主放电引起的分解。电子与分子的碰撞是CO_2分解的主要机制，其反应式为：

$$e+CO_2 \rightarrow O+CO+e \qquad (1)$$

收稿日期：1986年10月16日

对Blumine型电路，CO_2分解速率为[4]，

$$\frac{\alpha}{P} = \frac{0.014A}{nVC} \ln\left(\frac{P_0}{P_n}\right) \qquad (2)$$

式中，α是每个电子运动1cm使CO_2分解的分子数，V是电容C充的电压，A是放电面积，P是总气压（Torr），P_0和P_n是n个脉冲前后的CO_2分气压，$C = c_1c_2/(c_1+c_2)$，实验中$C_1 = 0.064\mu F$，$C_2 = 0.4\mu F$，$A = 228cm^2$。随着放电中CO_2的不断分解，O_2的浓度不断提高。当O_2的浓度比较大时，过程

$$e + O_2 + M \rightarrow O_2^- + M \qquad (M = CO_2,\ O_2,\ N_2,\ He) \qquad (3)$$

变得十分重要。放电等离子体中具有最大密度的负离子可能是O_2^-和随之产生的CO_4^-（$O^-_2 + CO_2 + M \rightarrow CO_4^- + M$，$M = CO_2$，$O_2$）。因此，随$O_2$的成分不断提高，电子损失的主要过程逐渐从复合转变成附着，而附着的增强导致不稳定性出现的几率增大。故提高放电稳定性的有效措施为[6]：1.减少O_2的浓度；2.加快对O^-的去附着。

因此，加入有高结合去附着速率的H_2或CO是减少O^-浓度的有效方法，而且H_2或CO的加入还能显著地减少CO_2的分解[7]，进而达到稳定放电的目的。最重要的反应式为：

$$e + H_2 \rightarrow H^- + H \qquad (4)$$

$$H + O_2 \rightarrow OH + O \qquad (5)$$

$$OH + CO \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad (6)$$

我们可以看到：H_2在CO和O生成CO_2的过程中起着催化还原的作用。

四、CO和H_2对均匀放电影响的实验研究

为了分析CO_2的成分含量变化，我们用103型层析仪来测量激光气体混合物中CO_2的含量。图2是我们实验中CO_2成分随脉冲数的变化情况。可以看出，不加H_2时，经过5×10^3

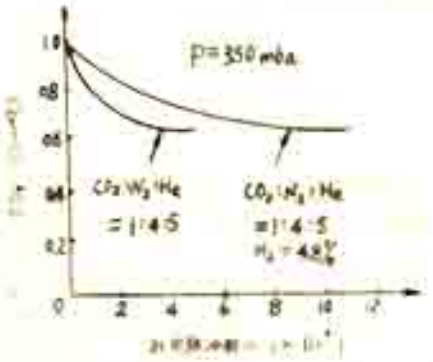

图2　CO_2含量随放电脉冲数的变化

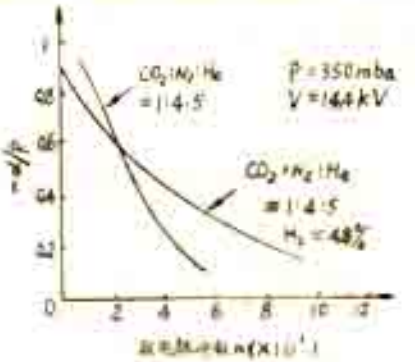

图3　CO_2的分解速率-α/P

个脉冲后，CO_2只有初始的64%，而加4.8%的H_2经过5×10^3脉冲后，CO_2含量仍为初始的75%。图3是根据（2）式求得的分解速率-α/P。这些结果表明：无H_2的情况下，经过4×10^3次脉冲后达到了分解和化合的平衡，而加4.8%的H_2情况下，经过10^4次脉冲后才达到

了平衡，说明了CO_2分解速率以加H_2为慢。

由于H_2的加入降低了负离子浓度，减少了CO_2的分解，从而大大提高了放电稳定性。图4是弧光率随脉冲数的变化情况。可以看出，H_2的加入大大降低了弧光率，并且在无H_2的情况下，激光器的重复率只能在1 pps工作，在2 pps工作时弧光率几乎是100%，而加入9.1%的H_2，重复率在2 pps运行，且弧光率低于0.5%。因此，适量的H_2有利于稳定放电。

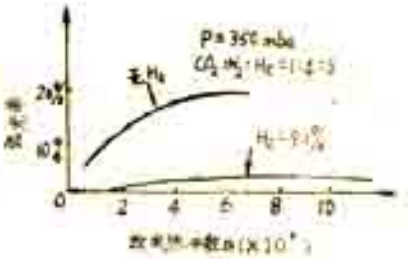

图4　弧光率随放电脉冲数的变化

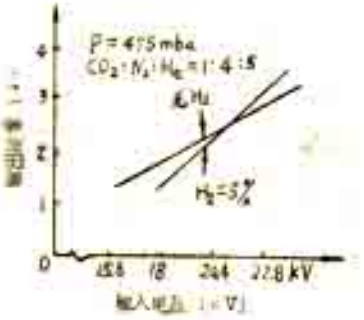

图5　加H_2与不加H_2时输出能量与输入电压关系

虽然H_2的加入减少了CO_2的分解速率，降低了负离子浓度，提高了放电稳定性，但是H_2的加入却降低了电光转换效率，这主要是H_2对激光上能级的消激发，降低了粒子反转数。图5是加H_2与不加H_2时输出能量与输入电压的关系图，结果表明：H_2的加入使得在与无H_2相同条件下输出能量降低了一些。但在注入能量很高，不加H_2便出现弧光时，加H_2就显示出了优越性。在不加H_2时，电压达21kV就出现了弧光，但加5%的H_2后，在相同条件下，电压提高到24kV仍不出现弧光。因此，我们可以在系统中加入H_2后，通过提高充电电压或增加混合物中CO_2和N_2的成分来提高输出能量。图6是加5%和10%H_2时输出能量的比较，结果表明：在相同条件下，加5%比加10%H_2的输出能量要高，但放电稳定性要差一些。

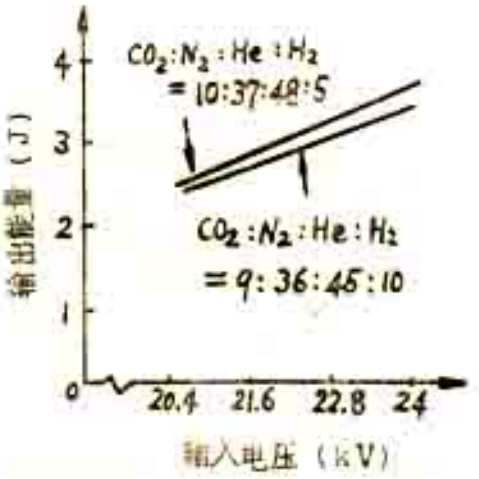

图6　加不同含量H_2时输出能量的比较

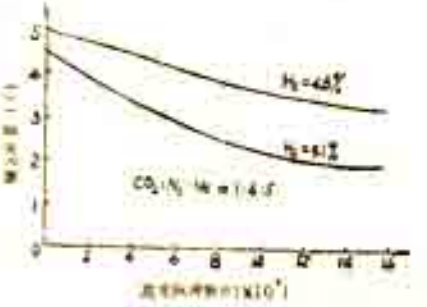

图7　加不同含量H_2时输出能量随放电脉冲数变化图

但是H_2的加入量也不是越多越好。由（5）式产生的OH和H_2化合会生成H^+，其反应式为

$$H_2+OH\rightarrow H_2O+H \qquad (7)$$

H_2O的增长又会产生大量的H^+（$e+H_2O\rightarrow H^++OH$）和O^-，这又有助于OH^-的形成，使负离子浓度增大，这是我们不希望出现的情况。

由图7可以看到，H_2加入的越多，能量下降得越快。加4.8%的H_2，经过1.6×10^4次脉冲后能量降为初始的66%，而加9.1%的H_2经过1.6×10^4次脉冲后能量降为初始的44%。由

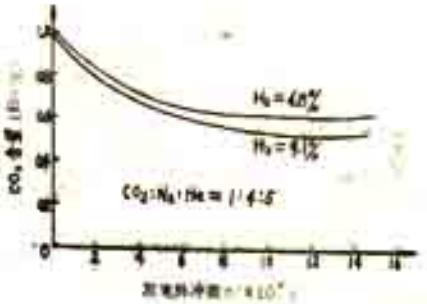

图8　加不同H_2时CO_2含量随放电脉冲数的变化

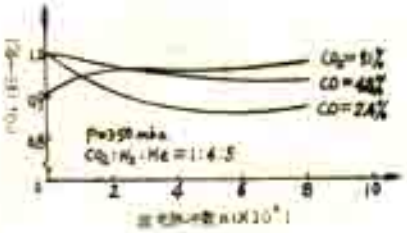

图9　加不同含量的CO时，CO_2含量随放电脉冲数的变化

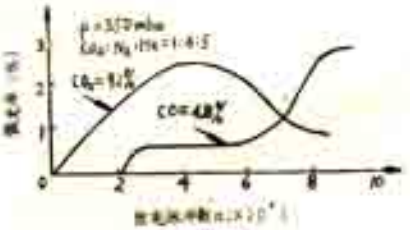

图10　加CO时能元平随放电脉冲数变化

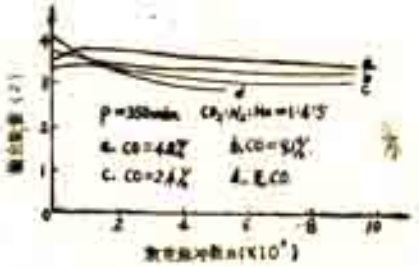

图11　加不同含量CO时输出能量随放电脉冲数变化

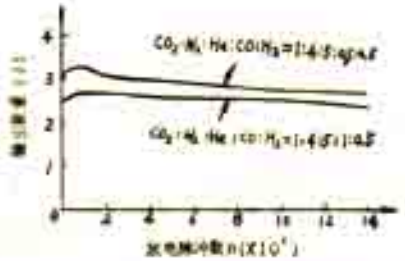

图12　加入CO和H_2时输出能量随放电脉冲数变化

图13　加CO和H_2时能元平随放电脉冲数变化

图8可知，这主要是CO_2含量较低的缘故。因此可以加入适量的CO，促成O与CO的化合生成CO_2。

图9说明了加不同含量的CO时，CO_2含量随脉冲数的变化情况。结果表明：在加CO比较多时，CO_2含量虽然在初始时较少，但随脉冲数的增加，CO_2含量几乎不下降，这主要是CO与O化合在起作用，但CO的加入并没能很好地解决弧光问题。图10是弧光率随脉冲数变化的情况，与图4比较，加CO比纯CO_2+N_2+He的弧光率要低，但比加H_2的弧光率要高，这主要是CO和H_2在去负离子O^-能力不同造成的。但是CO的加入使能量随脉冲数下降很小，如图11所示，可以看出，纯CO_2+N_2+He在放电开始时能量较加CO要高，但随放电进行能量下降很快，这也是由CO_2含量的变化过程决定的。

因此，单独加H_2可以提高放电稳定性，但降低了电光转换效率，输出能量下降较快；单独加CO，输出能量下降很慢，但放电稳定性不如加H_2时好。故为了克服它们各自的缺点，采取CO和H_2混合加入的方法，利用它们各自的优点，使激光器输出能量基本保持不变而无弧光的工作。由图12知，在$CO_2:N_2:He:CO:H_2=1:4:5:0.5:0.5$时，经过$1.4\times10^4$脉冲后能量降为初始的94%，表明CO和$H_2$的混加使激光能量下降很慢。图13说明了此时的弧光率的确很低。

从能量的绝对值大小来说，CO和H_2的混合加入比只加CO要低，但CO和H_2的混合加入使能量下降慢，弧光率又低，解决了长寿命存在的问题。

最后感谢罗小兵、刘扬满、龚志伟等同志对我们工作的帮助。

参 考 文 献

[1] W.L.Nighan et al., Phys.Rev., 1974, A10, P.922.

[2] R.A.Hass, Phys.Rev., 1973, A8, P.1017.

[3] H.Shields, J.Phys.D: Appl.Phys., 1976, Vol.19, P.1587.

[4] K.Matsumoto et al., Japan. Appl. Phys., 1980, Vol.19, P.1959.

[5] A.I.S.Smith, J. Phys. D: Appl. Phys., 1975, Vol.8, P.1387.

[6] 舍之斯等，《兵器激光》，1985年，第3期，第21页。

[7] A.I.S.Smith, et al., J. Phys. D: Appl. Phys., 1974, Vol.7, P.1652.

The influence of assistant gases on the homogeneoui discharge in a TEA CO_2 laser

Chen Yihong, Li Wanrong, Yuan Yu and Qiu Junlin

(Institute of Laser, HUST)

Abstract

In a TEA CO_2 laser, the most important influence on the discharge is the dissociation of dioxide carbon. By adding the assistant gases into the laser, the discharge characteristics are improved. In this paper, we have analysed and computed the dissociation rate of CO_2 and made the theoretical analyses and experimental researches of the influence of gases CO and H_2 on the discharge in detail.