

紫外预电离的参量研究

谢培良 王凤云 张锡刚 王玉芝
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

陈 哲 人
(美国加州理工学院喷气推进实验室)

提 要

用静电探针及 Boxcar 测量了 TEA CO₂ 激光器气体混合物及 Ar、Ar-N₂ 气体紫外预电离电子密度 n_e 及电子温度 T_e ，研究了 n_e 、 T_e 的时间关系特性，实验表明， T_e 衰减比 n_e 衰减缓慢。本文也描述了 CO₂ 激光器气体混合物中的预电离机构。

自从紫外预电离 TEA CO₂ 激光器成功运转以来，在许多横向放电气体激光器中，广泛地采用了紫外预电离技术，以改善放电均匀性，提高输出特性，在紫外预电离器件里，预电离电子主要是放电体积中的气体分子经紫外辐照电离所致。阴极材料的光电子发射及紫外放电直接注入电子对预电离电子也有贡献^[1]。为了研究预电离性能，已经用微波干涉仪^[2]、光电子集电器^[3]、静电探针^[4]等方法测量了 TEA CO₂ 激光器电子密度。本文用探针及 Boxcar 测量了 TEA CO₂ 激光器混合物，Ar、Ar-N₂ 等气体的紫外预电离电子密度及电子温度，获得了 n_e 、 T_e 的时间变化特性。

一、实验装置和方法

实验装置如图 1 所示，紫外预电离火花源由 6 对钨针构成，放电电容 0.02 微法，电源电压 35 仟伏，触发脉冲重复率为 1~10 次/秒，预电离室直径 9.6 厘米，探针为直径 1 毫米的钨丝；它离火花源的距离可调，探针扫描电压范围 -75 伏至 +75 伏，扫描时间可调。在不同的探针电压，测量探针电流的时间关系，探针电流信号经放大后，显示于 SRS 示波器上。探针电流信号并馈给 Par-160 Boxcar，然后输出给 X-Y 记录仪，在不同时间取样探针电流信号，得到时间分辨探针特性，由此根据探针理论，获得紫外预电离的电子温度 T_e 、电子密度 n_e 的时间关系特性。

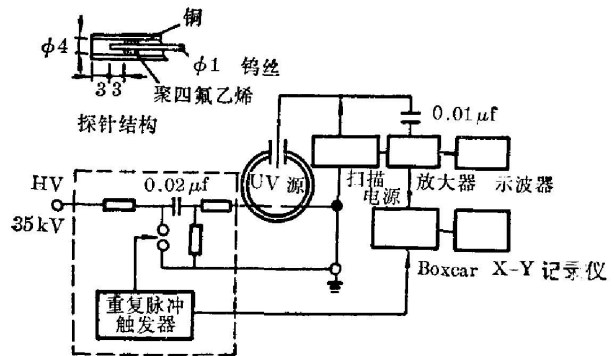


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

实验工作气体为 CO₂ 激光器气体混合物及 Ar、Ar-N₂ 气体等，气压为 1 大气压，由于气压高，简单探针理论不尽适用，我们采用大鞘层中碰撞为主的圆柱探针理论，电子密度 n_e 为^[7]：

$$n_e = \frac{I_e (m_e T_e)^{1/2} \ln(\pi l / 4 r_p R_s)}{4.87 \times 10^{-13} \lambda_e l (T_i + T_e)}$$

而

$$R_s = 1 + 0.06 [\lambda_e l V_p^2 / (T_e m_e)^{1/2} r_p^2 I_e]^{0.33}$$

式中， I_e 为探针电子电流 (amp)， $m_e = \frac{1}{1839}$ ， V_p 为探针电压 (V)， T_e 为电子温度 (°K)， T_i 为离子温度 (°K)， l 为探针长度 (cm)， r_p 为探针半径 (cm)，在混合气体中，电子平均自由程 λ_e 为：

$$\lambda_e = \frac{1}{\pi \sum_r n_r d_{er} \sqrt{1 + \frac{m_e}{m_r}}}$$

其中 m_r 为 r 类粒子的质量， $d_{er} = \frac{1}{2}(d_e + d_r)$ ， d_r 为 r 类粒子半径， n_r 为 r 类粒子的密度，在我们的紫外光电离情况下， $T_i \ll T_e$ ，由此，根据探针理论，可以得到 T_e 、 n_e 曲线。

二、实验结果

实验气体的流动速率为 1 l/min，在图 2~4 中，探针离紫外源距离为 6 cm。

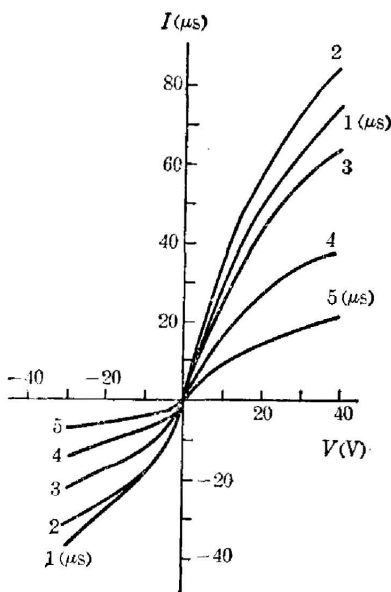


图 2 不同时间的取样探针特性曲线
Fig. 2 Sampled probe characteristics at different times ($P=1 \text{ atm.}$
 $\text{He:N}_2=1:1$)

图 2 为 He:N₂=1:1, 1 atm 时，紫外预电离的探针的 I - V 特性曲线，不同的曲线表明对不同时间取样得到的，由这些曲线可以获得 n_e 、 T_e 与时间 t 的关系。

图 3 为 CO₂:N₂:He=1:1:8 及 He:N₂=1:1, 1 atm 时 n_e 、 T_e 随时间的变化，我们观察到电子 n_e 的衰变比 T_e 要快，估计 n_e 的衰减特性时间约 10^{-5} sec ，这与测量值相近^[6]，电子温度则由于亚稳态的 He 与 N₂ 相碰撞，将 N₂ 电离产生较高能量的电子，使总电子温度较缓慢衰减。当存在 CO₂ 时，峰值电子密度减少，这是因为紫外辐射被 CO₂ 吸收而减弱之故。

图 4 为探针电压固定时的探针电流信号照片，从图 4(a)~(c) 得知，单纯 Ar, He 紫外光电离 n_e 随时间变化有凹陷区出现，加 N₂ 后，凹陷消失，我们认为，有 N₂ 时，有部分高能电子把 He, Ar 激发至亚稳态，这种亚稳态粒子与 N₂ 碰撞电离，电离电子补偿了凹陷区的电子而使之消失。

图 5 为 CO₂ 激光器气体混合物中紫外光电离电子密度 n_e 随 r (探针距紫外源的距离) 的变化关系。图中 (a) 是单光子电离理论^[1] 以实验数归一化后的曲线，(b) 是双光子理论的相应曲线，圆圈及点

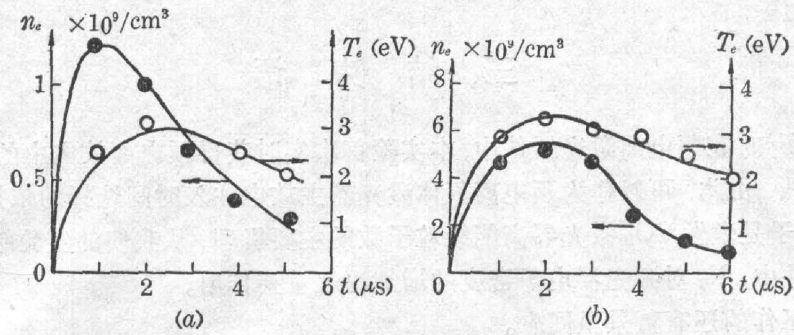


图3 电子密度 n_e 与电子温度 T_e 与时间 t 的关系

Fig. 3 The electron density, the electron temperature T_e versus time t
(a) $\text{CO}_2:\text{N}_2=1:1:8, 1 \text{ atm}$ (b) $\text{He}:\text{N}_2=1:1, 1 \text{ atm}$.

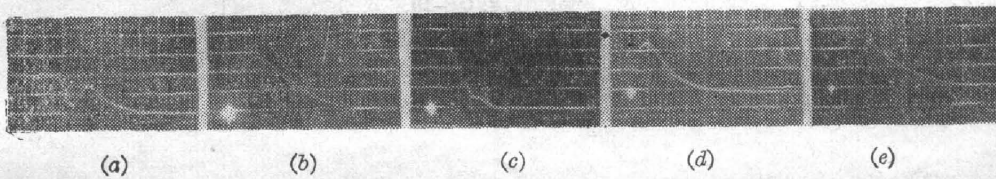


图4 探针信号波形图

Fig. 4 Oscillogram of probe signals $P=1 \text{ atm}$.

(a) He $1 \text{ V/div}, 2 \mu\text{s/div}$; (b) He: $\text{N}_2=1:1$ $1 \text{ V/div}, 2 \mu\text{s/div}$; (c) Ar $1 \text{ V/div}, 2 \mu\text{s/div}$;
(d) Ar: $\text{N}_2=1:1$ $2 \text{ V/div}, 2 \mu\text{s/div}$; (e) $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8$ $0.05 \text{ V/div}, 1 \mu\text{s/div}$.

为实验结果,因此,实验与单光子理论比较,在实验误差允许的范围内是符合的。

单光子电离产生的电子密度 n_e 为^[1]

$$n_e = I_0 \sigma_i n_i \exp(-\bar{\alpha}pr) / r^2,$$

式中 I_0 为有效光子流, n_i 为光电离分子密度, σ_i 为光电离分子截面, $\bar{\alpha}$ 为气体混合物平均吸收系数, 对于 TEA CO_2 激光器气体混合物, 实验得到, 由 CO_2 引起的平均吸收系数为 $1.2 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ 。

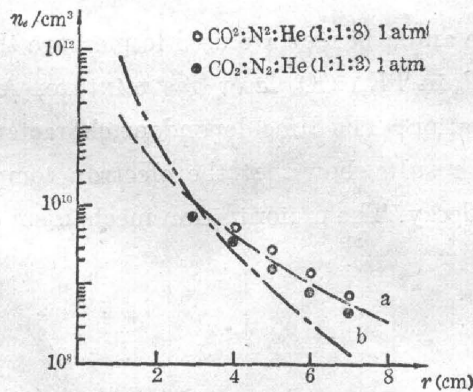


图5 电子密度 n_e 随离紫外源距离 r 的变化

(a) One-photon ionization; (b) Two-photon ionization

Fig. 5 Variation of the electron density n_e with the distance r from UV source

三、结 束 语

据我们所知,在预电离激光器件中,本实验首次实时获得预电离放电中的电子 n_e , T_e 的时间关系曲线,由此,可以作为预电离气体激光器主放电注入时间选择的依据。我们知道, N_2 激发态分子是激发 CO_2 激光器高能级粒子数的主要机理,从我们的实验结果,在预电离 CO_2 激光器件中, N_2 对激光器电子密度的增加也起重要作用。

参加本工作的还有董景星同志。

参 考 文 献

- [1] R. V. Babcock *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1976, **QE-12**, No. 1 (Jan), 29.
- [2] H. J. Seguin *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1974, **QE-10**, No. 3 (Mar), 311.
- [3] C. Yamabe *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, No. 2 (Feb), 898.
- [4] N. M. Goglin, J. D. Lawrence; *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**, No. 10 (Oct), 4176.
- [5] R. E. Kiel; *J. Appl. Phys.*, 1969, **40**, No. 9 (Aug), 3668.
- [6] Massey & Buphop; *«Electronic and Ionic Impact Phenomena»*, (Oxford University Press, 1956), 631, 421.

Parametric studies of UV preionization

XIE PEILIANG WANG FENGYUN ZHANG XIGANG AND WANG YUZHAI
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, China)

CHE JENCHEN

(Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, USA)

(Received 6 June 1983, revised 24 August 1983)

Abstract

An electrostatic probe and a boxcar are used to measure the electron density n_e and the electron temperature T_e in TEA CO_2 laser gas mixture, Ar and Ar- N_2 under the condition of UV preionization. The time-dependent characteristics of n_e and T_e are studied. The experimental results show that the electron temperature decay is slower than the electron density decay. The preionization mechanism in CO_2 laser gas mixtures is described.