

CO₂ 激光介质紫外光离化度的实验研究

于澍生 楼祺洪 杜龙龙

(中国科学院上海光机所)

提要: 采用改进了的同轴探针作为正探针研究了 He、Ne、Ar、N₂ 和 CO₂ 激光混合气体的紫外光离化度。适量地掺入少量正三丙胺种子气体可大幅度提高光电子密度。

Experimental study of UV preionization in CO₂ laser medium

Yu Shusheng, Lou Qihong, Du Longlong

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

Abstract: UV preionization of pure He, Ne, Ar, N₂ and CO₂ laser gas mixture were studied by means of a modified coaxial probe as positive probe. The experimental result shows that the photoelectron densities are increased by adding moderate amounts of tripropylamine in CO₂ laser gas mixture.

一、引言

在 TEA CO₂ 激光器中,加入少量低离化位的种子气体可使紫外光预电离的效果更好,可大大改善放电特性和激光输出特性。但是对这些影响的机理还缺乏深入的了解。我们对这个问题进行了实验研究。测量工具采用探针。测量了紫外光预电离与气体种类、气体比份、气压和掺杂等关系;研究了 LiF 窗口的紫外透射性能对紫外光离化度的影响。实验表明 N₂ 火花有丰富的紫外谱,因而对气体的离化起重要作用。在 CO₂ 激光器三种气体成份中 He 和 N₂ 有高的光电子密度,而 He 中的光电子密度最高。适当掺入少量

正三丙胺种子气体可大幅度提高光电子密度。实验中还发现惰性气体 Ne 与 Ar 在紫外光照射下可以产生很高的光电子密度,甚至可以与 He 相比或更高。

二、测量装置

我们设计加工了一只圆柱形铜壳测量室,其一边为火花室,另一边为探针室。探针室整个都是铜的,以便获得好的电屏蔽性能。探针室与火花室之间开一通孔,用紫外窗口(如 LiF)把两边隔开,见图 1。探针室、火花室真空度一般为 10⁻³ mmHg,两边可同时或分别充入各种气体。LiF 窗口位于火花室内,

收稿日期:1986年5月29日。

与火花相距大约 1.5 cm。火花隙为两根钨针, $\phi 2.0$ mm, 间距 2.5 mm。火花隙电感电容为 $0.01 \mu\text{F}$, 充电电压 $8 \sim 10$ kV。火花隙由同轴电缆供电。探针置于探针室内, 正对火花隙, 与火花隙相距 6 cm 其结构如图 2。工作偏压线路见图 3。为减少干扰, 探针偏压用干电池供电, 电压从 $0 \sim 110$ V 可调。

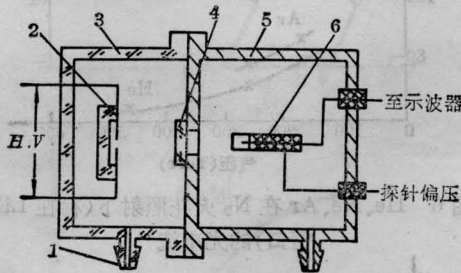


图 1 光离化度测量模拟装置

1—排气口; 2—火花隙; 3—火花室; 4—LiF 窗口; 5—探针室; 6—探针

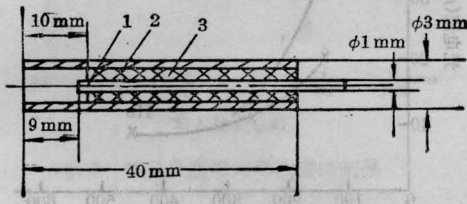


图 2 同轴探针

1—钨杆; 2—外导体(铜); 3—绝缘套

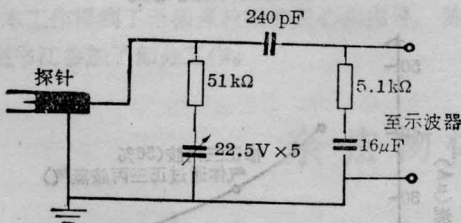


图 3 工作探针线路图

用静电探针测量等离子体的参数是个经典的方法。但在高压下, 碰撞效应占主要地位时, 探针电流不仅与等离子体的密度、电子和离子的温度有关, 而且与等离子体的产生和维持方式有关, 这就需要对没有考虑这些因素的原始探针进行修正。我们采用 N. M. Ceglio^[1]改进同轴探针, 这个探针的工作条

件是 $l \ll \lambda_d$, $l \ll d$, $d > \lambda_d$, 这里 l 为电子与中性粒子碰撞的平均自由程, λ_d 为德拜长度、 d 为探针直径。在我们的实验中气压为 460 Torr, 探针偏压取 90 V 时, 电子在 He 气中的平均自由程约为 0.004 mm, 在 N_2 气中的平均自由程约为 0.001 mm。当电子密度为 $10^9/\text{cm}^3$, 电子温度为 1e V 时, 德拜长度约为 0.2 mm。我们的探针直径为 1 mm, 满足上面的探针工作条件。当探针偏压为 0 时, 探针内部收集极与外导体处于同样的电位, 两者之间没有电流。在大的正、负偏压下探针呈现似饱和现象。当探针的电位向正方向增加时, 圆柱形收集极中的电子在定向场的作用下向探针加速, 而离子则被排斥, 这时探针上的随机电子电流为^[2]:

$$I_p = \frac{1}{4} e \cdot n_e \cdot A_s \cdot \bar{v} \quad (1)$$

式中 e 为电子电荷; n_e 为电子密度; A_s 为探针的有效面积; \bar{v} 为在定向场作用下电子的平均迁移速度。这时等离子体电子密度为:

$$n_e = \frac{4I_p}{e \cdot A_s \cdot \bar{v}} \quad (2)$$

气体受到适当波长的紫外光照射产生光离化。根据探针的峰值光电流可进行各种情况下光离化度的相对比较并根据 (2) 式可计算出光电子密度。

三、测量结果与分析

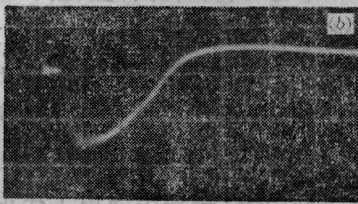
图 4(a) 是纯 He 的电压波形; 图 4(b) 是激光混合气体的电压波形。图 5 是同轴探针在纯 He 中使用的特性曲线 ($V-I$ 曲线)。利用这个探针我们进行了如下的研究。

1. CO_2 激光介质种类、比分、掺杂及气压对光离化度的影响

图 6、7 给出纯 He、纯 Ne、纯 Ar 在 N_2 和 He 覆盖的火花中光离化度测量结果。各种气体的光离化度随气压的增高逐渐减小, 这是由于气压增高时, 电子的吸附和复合



He 的电压波形, 气压 460 Torr, 探针偏压 95 V, 时标 $2\mu\text{s}/\text{div}$, 幅度 $0.1\text{V}/\text{div}$



$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:7:30$ 电压波形气压 460 Torr, 探针偏压 80 V, 时标 $5\mu\text{s}/\text{div}$, 幅度 $0.1\text{V}/\text{div}$

图 4

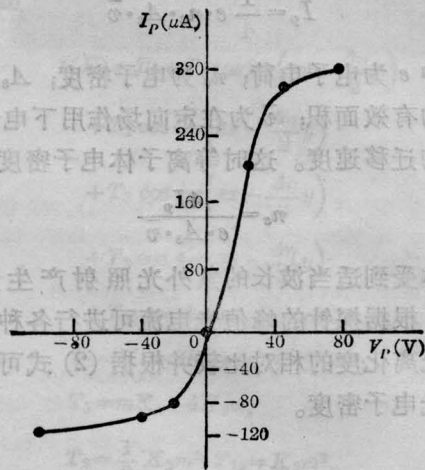


图 5 探针伏安特性曲线

作用增强了。惰性气体 Ne 与 Ar 虽然有较高的电离电位(分别是 21.4eV 和 15.7eV)。但是在这两种气体中可得到相当高的光离化, 可以与 He 相比或更高。这也暗示我们在紫外光预电离的器件中掺入一定量的 Ne 或 Ar 来代替 He 气, 也可以得到只用 He 时相同的效果。

2. 掺杂对纯 He 光离化的影响

表 1 为实验结果。实验中发现现在 He 中混入少量 N_2 时, 可使光电流增加, 而当 He

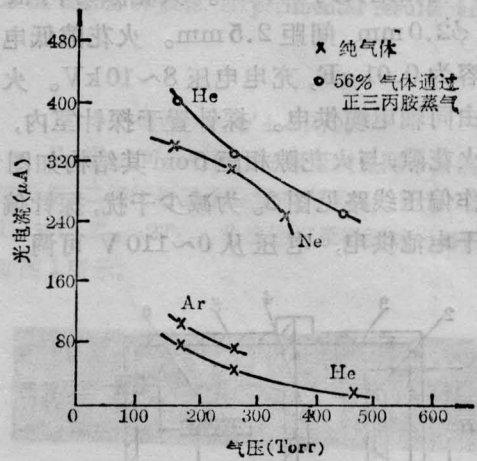


图 6 He、Ne、Ar 在 N_2 火花照射下(存在 LiF 窗口)的光电流

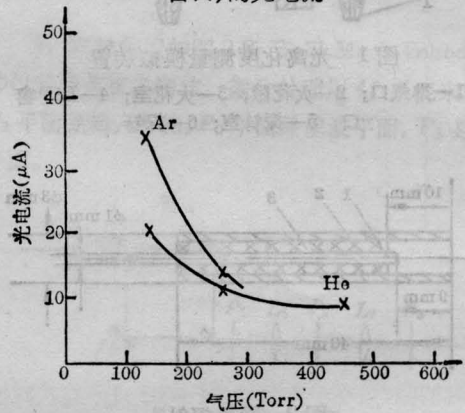


图 7 纯 He、Ar 在 He 火花照射下(通过 LiF 窗口)的光电流

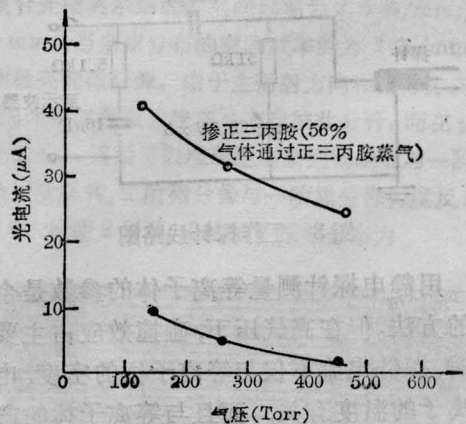


图 8 CO_2 激光介质($\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8$)在自身火花照射下的光电流

(下转第 585 页)