

CO₂ 正柱放电中的径向光电流分布

归振兴 张顺怡 沈桂荣 曹敦厚*

(中国科学院上海光机所)

Radial profiles of optogalvanic signals in a CO₂-discharges positive column

Gui Zhenxing, Zhang Shunyi, Shen Guirong, Cao Dunhou

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

Abstract: Variation of radial profiles of optogalvanic signals with the current, temperature and pressure in a CO₂-discharged positive column has been investigated. An equation of the CO₂ radial OGS is given, the radial distributions of electron density in CO₂ positive column have been calculated. It was found that the distribution of electron density was converged to the axis of the column with rising pressure and current. The experimental results are in agreement with the theory on gas discharge.

1. 当一束面积为 ΔS 、光强均布的调制光束平行于放电管轴线通过 CO₂ 放电介质并径向扫描, 将引起径向电流密度变化

$$\frac{dj}{j}(r) = \frac{dn_e}{n_e}(r) + \frac{d\bar{\lambda}_e}{\bar{\lambda}_e}(r) \quad (1)$$

由于 CO₂ 的共振跃迁引起激光能级粒子数扰动, 通过 $V-T$ 和 $V-V-T$ 过程造成气体密度起伏, 从而改变了电子平均自由程 $\bar{\lambda}_e(r)$ 。如果选用斩波器调制入射光, 使得感生光电流密度的变化量 $\Delta j(r) \propto \Delta \bar{\lambda}_e(r) \propto \Delta N_{001}(r)$, 则 CO₂ 放电介质的径向光电压分布可表示为

$$\Delta V(r) \approx \frac{\beta_\nu(\tau)(dv/di)}{1+(dv/di)/Z} \cdot \frac{I \cdot \Delta S}{1+I/I_s(n_e \cdot T)} \times \frac{en_e(r) \cdot g(r)}{T(r)} \quad (2)$$

式中 $\beta_\nu(\tau)$ 是由发生跃迁的振动能级 ν 的弛豫速率所决定的系数, dv/di 是放电管在电流 i_0 处的动态负载; I 是入射光强; I_s 是饱和光强, 它随 n_e 和 T 而变^[1]。 $n_e(r)$ 、 $g(r)$ 、 $T(r)$ 分别为电子密度、介质增益、气体温度的径向分布, 放电管中气体温度分布为^[2]:

$$T(r) = T_w + \frac{P_{in} J_0(2.4r/R)}{L \cdot K \cdot 2\sigma \cdot 2.4 J_1(2.4)} \quad (5)$$

这里 T_w 是管壁温度, P_{in} 是输入电功率, L 是放电正柱长度, K 是气体热导系数。通过实验测出 $\Delta V(r)$ 和 $g(r)$, 利用(1)和(2)式, 就可以求得放电正柱中径向电子密度分布 $n_e(r)$ 。

2. 实验装置见图 1 所示。选支 CO₂ 激光器输出谱线是 10P(22), 被斩波器调制为 1kHz 的光束通过 $\phi 1\text{mm}$ 的光阑后, 45° 角入射到光束位移反射镜 M_2 , 然后平行于放电管轴穿过 CO₂ 放电介质, 聚焦到光电接收器上, 以保证接收器上光点位置不随光束位移而改变。当光束位移时反射镜平动, 带动线性滑动电位器, 将光束平移量变为电信号输入 X-Y 函数记录仪的 x 轴。记录仪同时还记录光电压信号幅度和通过放电管的光束强度。由于光束的径向扫描时间较短, 同时激光器采用了一定功率稳定措施, 因此, 根据放电和不放电两次径向扫描的光强曲线, 便可计算 CO₂ 介质的径向增益分布, 测量误差为 $\pm 5\%$ 。

* 国防科技大学应届毕业生。

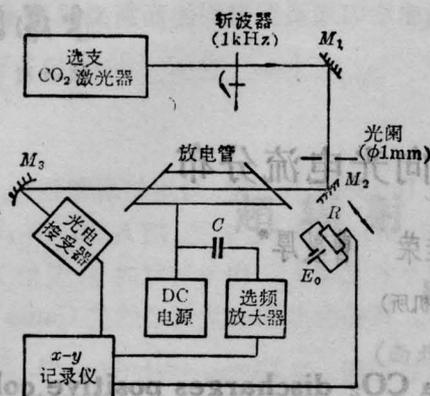
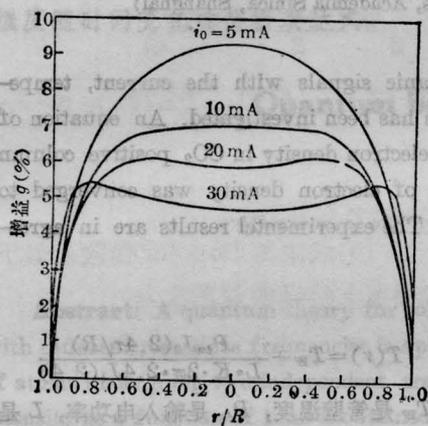
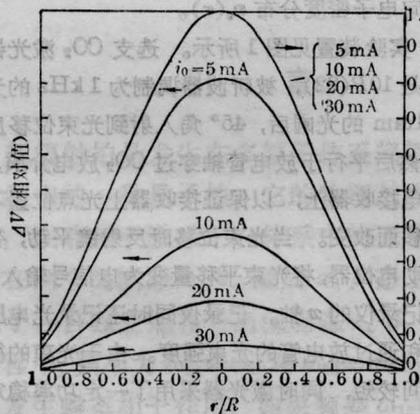


图1 实验装置简图



(a)



(b)

图2 不同放电电流下径向增益和光电电压分布以及归一化光电电压曲线

$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8, P=29\text{Torr}, T_w=4^\circ\text{C}$

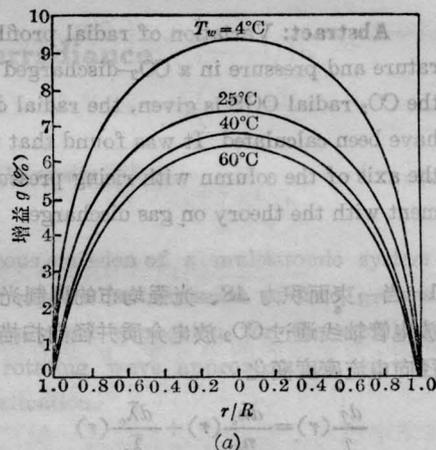
(a) 径向增益分布; (b) 径向光电电压分布

实验用的放电管放电正柱区长度 14 cm, 放电管内径 $\phi 10\text{ mm}$ 。管内充入 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8$ 的混合气体。

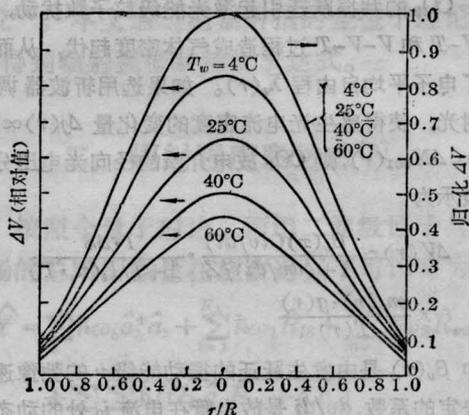
实验测量了不同放电电流下 CO_2 介质的径向增益分布和径向光电电压分布, 结果见图 2。从图 2 可见, 随着放电电流的增加, CO_2 的径向增益分布变平, 在 $i > 30\text{ mA}$ 时, 中心出现凹陷现象, 这和文献 [2] 测量的结果一致。

改变冷却水温, 观察 CO_2 放电介质的径向增益分布和光电电压分布, 发现气体温度的变化, 仅影响 $g(r)$ 和 $\Delta V(r)$ 的幅度, 并不改变径向光电电压的分布, 而且 $\Delta V(r)$ 与 $g(r)$ 成正比。典型结果见图 3。不同的放电电流, 结果也基本相同。

实验还观察了不同气压下的径向增益和光电电压分布的变化, 见图 4。比较不同气压下的径向增益分



(a)



(b)

图3 不同壁温下径向增益和光电电压分布以及归一化光电电压曲线

$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8, P=29\text{Torr}, i=5\text{mA}$

(a) 径向增益分布; (b) 径向光电电压分布

布曲线和归一化的 $\Delta V(r)$, 可以看到, 随着气压升高, 增益分布曲线发生了较大的变化, 而且光电压分布也向管轴收缩了。

改变入射光的谱线或改变 CO_2 混合气体比, 结果和上述的基本一致。

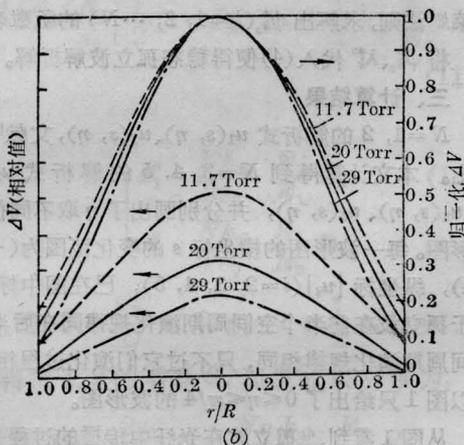
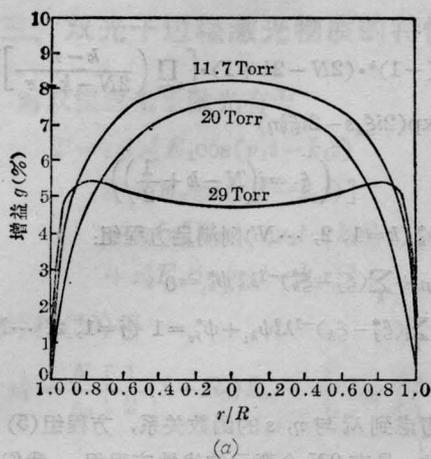


图4 不同气压下径向增益和光电压分布以及归一化光电压曲线

$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8, i=30\text{mA}, T_W=4^\circ\text{C}$

(a) 径向增益分布; (b) 径向光电压分布

3. 在固定放电电流下, $I \cdot \Delta S$ 和 dv/di 均为常量。为了计算方便, 忽略径向饱和效应, 并且, 测量表明径向 $\beta_e(r)$ 近似为常数。因此

$$\Delta V(r) \propto \frac{g(r)n_e(r)}{T(r)} \quad (3)$$

$T(r)$ 可根据放电伏安曲线查得 P_{in} , K 取 $1.5 \times 10^{-3} \text{W/cm} \cdot ^\circ\text{C}$ 计算。

根据实验测得的 $g(r)$ 、 $\Delta V(r)$ 和 $T(r)$ 曲线, 计算了电子密度的径向分布 $n_e(r)$ 。图5给出了在不同放电电流和气压下的归一化径向电子密度分布。发现随着气压升高和电流增大, 电子密度分布向放电管轴收缩, 这和通常观察到的气体放电正柱收缩的现象是一致的。

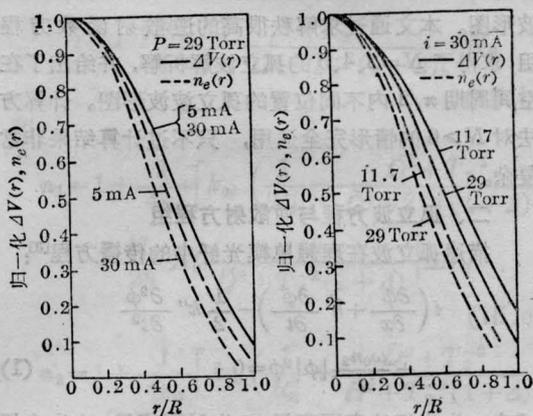


图5 径向归一化电子密度分布与电流及气压的关系

$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8, T_W=4^\circ\text{C}$

参考文献

- [1] R. H. Bullis et al.; *AIJAA J.*, 1972, 10, No. 4, 407.
- [2] D. L. Franzen, R. J. Collins; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, QE-8, No. 4, 400.

(1986年6月24日收稿)

孤立波在理想单模光纤中的传播

谭微思

(中国科学技术大学)

Optical soliton propagation in ideal monomode fiber

Tan Weisi

(China University of Science and Technology, Hefei)