

介质阻挡放电中不同放电丝的光谱线形研究

董丽芳, 商洁, 嵇亚飞, 刘亮, 李新春

河北大学物理科学与技术学院, 河北保定 071002

摘要 在氩气/空气混合气体的介质阻挡放电中, 研究了直径及运动状态均不同的两种放电丝发光中 Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) 谱线的频移以低气压(10 Pa 左右)的氩气放电发射的 Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) 光谱线作标准线和展宽随空气含量的变化。在大气压条件下, 当空气含量从 0.4% 变化到 4% 时, 观察到了规则排列的静止的粗放电丝(静止大点)与运动的细放电丝(往复运动的小点, 其轨迹为细线)两种不同的放电丝。分别测量了大小点中 Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) 谱线的频移及其随空气含量的变化, 结果发现: 二者均随空气含量的增加而增大; 在任一空气含量下小点谱线的频移均大于大点的频移, 二者差值先是减少至空气含量为 1% 后两者的频移变化趋势大体同步。

关键词 介质阻挡放电; 谱线频移; 放电丝

中图分类号: O461.2; O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)02-0306-03

引言

介质阻挡放电(亦称无声放电), 是一种非平衡交流气体放电^[1], 其典型的装置是两个平行放置的电极其上覆盖着电介质。当电极两端所加交流电压达到击穿阈值时, 气体雪崩电离, 击穿形成等离子体, 产生放电通道。在大气压条件下, 介质阻挡放电是由很多放电丝(从端面看为点)组成的。通常情况下, 放电丝随机分布并做无规运动。在合适的条件下, 大量放电丝非线性自组织排列成规则结构, 其时每个放电丝保持静止不动。最近, 我们在大气压氩气和空气混合气体的介质阻挡放电中, 首次发现了一种规则排列的静止粗放电丝(从端面看为静止大点)与运动细放电丝(从端面看为往复运动的小点, 其轨迹为线)两种不同类型的放电丝共存的状态。初步分析发现, 二者直径及运动状态不同, 是由其等离子体状态不同所致。为此, 本工作采用光谱线型法, 对二者的电子密度进行了比较。

在实验中, 用 Ar I 696.54 nm 谱线进行反卷积得到发光谱线的 Stark 展宽来计算等离子体的电子密度。等离子体中原子发射谱线的 Stark 展宽和频移与等离子体电子密度 N_e 有一定的比例关系。非氢原子谱线是二次 Stark 效应, 它导致谱线的展宽。Stark 频移 d_i 及 ω_i 展宽由以下两式给出^[3-5]

$$d_i = [d_e \pm 2 \times 10^{-4} N_e^{1/4} \alpha \omega_e \times (1 - 0.068 N_e^{1/6} T_e^{-1/2})] \times 10^{-16} N_e$$

$$\omega_i = 2 \times [1 + 1.75 \times 10^{-4} N_e^{1/4} \alpha \times (1 - 0.068 N_e^{1/6} T_e^{-1/2})] \times 10^{-16} \omega_e N_e$$

其中 d_e 是电子碰撞频移参数, α 是离子碰撞加宽参数, ω_e 是电子碰撞加宽参数。

由上式可见, Stark 频移及展宽越大, 等离子体的电子密度将会越大。这样通过研究放电参数变化对谱线频移及展宽的影响, 就可得知放电等离子体的电子密度随着放电参数的变化。

本工作测量了上述介质阻挡放电中运动小点和静止大点发光中 Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) 谱线的频移及展宽, 比较了二者电子密度的大小, 同时研究了它们的电子密度随放电气体中空气含量的变化。

1 实验

实验装置如图 1 所示。它由以下几部分构成: 真空腔体、一对水电极、高压驱动电源及示波器、光谱仪和数据采集系统。电极为两个铜质圆环浸没分别在两个充满水的直径为 65 mm 的圆柱形有机玻璃器皿中, 它们与高压交流电源相连, 水电极两端分别用两块厚度为 1.5 mm 的玻璃片封装, 电压峰值范围在 0~10 kV, 频率为 55 kHz, 放电气体间隙在 1.6~2.2 mm, 边界边长为 2.5 cm。真空室两侧分别设观察窗, 用数码相机(Konica Minolta Dimage Z2)从一侧拍摄放电丝的形成及空间分布。通过高压探头(Tektronix P6015A),

收稿日期: 2011-05-03, 修订日期: 2011-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(10975043, 11175054)和河北省自然科学基金项目(A2010000185)资助

作者简介: 董丽芳, 女, 1963 年生, 河北大学物理科学与技术学院教授 e-mail: donglf@mail.hbu.edu.cn

1000X)及数字示波器(Tektronix TDS 3054, 500 MHz)来测量外加电压值。气体放电发光经透镜会聚,会聚后的光由位于发光中心位置的光纤经过 $50\ \mu\text{m}$ 的狭缝,导入光谱仪(型号: ACTON SP22758, CCD: $1\ 340\times 400$ pixels),通过计算机控制,选择、采集光谱。实验时,采集光谱前,要先采用 He-Ne 激光对光谱仪进行定标^[6-8],为计算大气压放电的谱线频移,采用低气压(10 Pa 左右)的氩气放电发射的 Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) 光谱线作标准线。

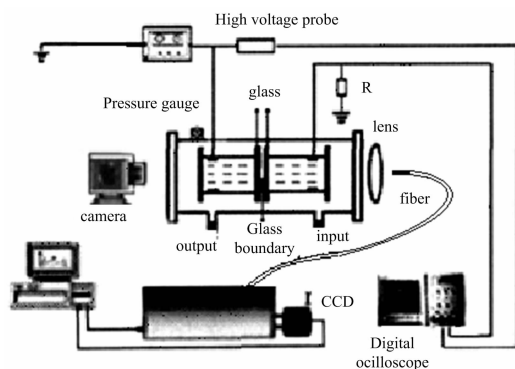


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

2 结果与讨论

图 2 分别给出了运动与静止放电丝共存放电在不同曝光时间下的照片,比较二者不难看出,当曝光时间较长时,曝光时间较短的照片中的小点变成了线段,而大点没变,说明大点是静止的而小点是运动的。

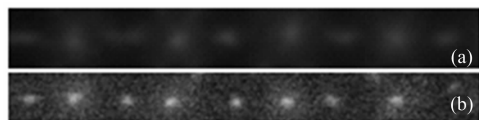


Fig. 2 Pictures of regular arrangement of static wide filaments (static big dots) and moving thin filaments (reciprocating moving small dots whose traces are lines) in a dielectric barrier discharge. Exposure time is 40 ms in (a) and 10 ms in (b). Discharge parameters: driving frequency $f=55\ \text{kHz}$, gap width $d=20\ \text{mm}$, gas pressure $P=10\ \text{Mpa}$, and air content $x=4\%$

为了比较静止大点和运动小点的等离子体参数,实验测量了二者发光中的 Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) 谱线,发现二者谱线峰值位置不同。进一步,实验测量了二者的 Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) 谱线相对于前述参考谱线的频移及其随空气含量的变化,如图 3—图 4 所示。由图可见,随空气含量增加,静止大点与运动小点的 Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) 谱线均展宽,同时整体均向长波方向移动。

比较图 3 与图 4 发现,在同一空气含量下,细放电丝谱线展宽和频移均比粗放电丝的大,表明小点的电子密度大于大点。

图 5 给出了粗细放电丝的谱线频移随空气含量的变化。

可见空气含量在 0.4% 到 1% 时,小点谱线的频移均大于大点谱线的频移。随着空气含量的增加,二者差值先是减少,当空气含量为 1% 后,谱线的频移变化趋势大体同步。

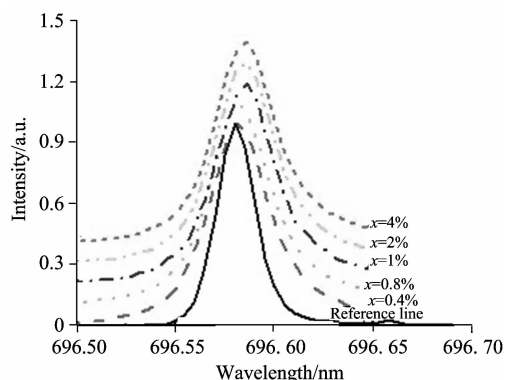


Fig. 3 Variation of the profile of Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) spectral line in a static big dot as a function of air content

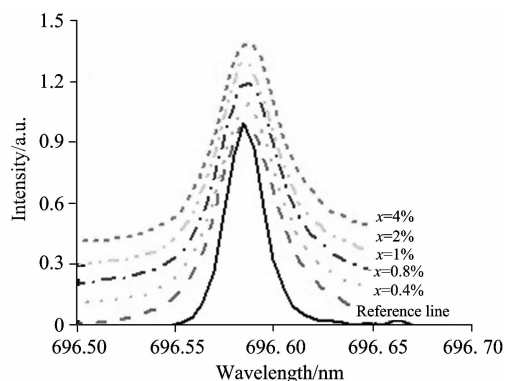


Fig. 4 Variation of the profile of Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) spectral line in a moving small dot as a function of air content

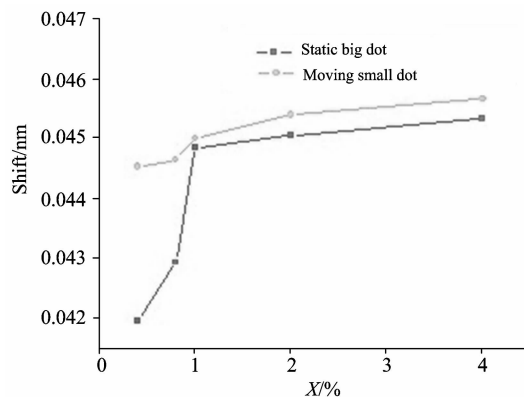


Fig. 5 The variation of the shift of Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) spectral line with increase of air content

3 结论

在氩气/空气混合气体的介质阻挡放电中,分别研究了静止的粗放电丝及运动细放电丝发光中 Ar I ($2P_2\rightarrow 1S_5$) 谱线的频移和展宽随空气含量的变化。结果发现:二者的展宽

及频移均随空气含量的增加而增大;在任一空气含量下小点谱线的频移均大于大点,随着空气含量的增加二者差值先是减少至空气含量为 1%后谱线的频移变化趋势大体同步。

该工作对介质阻挡放电系统中等离子体动力学微放电诊断研究具有重要意义。

References

- [1] Lee T I, Park K W, Baik H K, et al. Appl. Phys. Lett., 2005, 87: 261502.
- [2] LI Dan, SUN Xiang-ying(李 丹, 孙向英). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2011, 31(2): 431.
- [3] Konjevic R, N. Konjevic N. Spectrochimica Acta Part B, 1997, 52: 2077.
- [4] Griem H R. Plasma Spectroscopy, New York: McGraw-Hill, 1964. 492.
- [5] Nikolic D, S. Djurovic S, Mijatovic Z, et al. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., 2004, 86: 285.
- [6] Gigosos M A, Cardenoso V. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 1996, 29: 4795.
- [7] Yoshiki H, Oki A, Ogawa H, et al. Thin Solid Film, 2002, 407: 156.
- [8] LÜ Yinghui, DONG Lifang, LIU Weiyuan. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2011, 31(3): 254.

Study on Spectral Line Profile of Different Types of Filaments in Dielectric Barrier Discharge

DONG Li-fang, SHANG Jie, JI Ya-fei, LIU Liang, LI Xin-chun

College of Physics Science and Technology, Hebei University, Baoding 071002, China

Abstract The variations of width and shifts of Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) spectral line emitted from two types of filaments, whose diameters and states are different, in argon/air dielectric barrier discharge with the change in air content were researched for the first time. In order to measure the wavelength shift, Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) spectral line emitted from argon discharge at pressure of 10 Pa was used as a reference line. Regular arrangements of static wide filaments (static big dots) and moving thin filaments (reciprocating moving small dots whose traces are lines) were obtained in discharge at atmospheric pressure when the air content was in the range of 0.4%~4%. The variations of width and shifts of Ar I ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) spectral line emitted from the big and small dots with the change in air content were measured respectively. It was found that they all increase with the increasing in air content. The width and shift of small dot are bigger than those of the big dot at any air content. The difference between the former and the latter decreases with the increase in air content firstly and remains basically unchanged after the air content reaches up to 1%.

Keywords Dielectric barrier discharge; Shift of spectral line; Filament

(Received May 3, 2011; accepted Aug. 6, 2011)