

大气压介质阻挡放电三种模式的电学特征

徐 旭, 欧琼荣, 舒兴胜, 孟月东

(中国科学院等离子体物理所, 合肥 230031)

摘要: 为了解大气压介质阻挡放电3种放电模式(丝状放电、辉光放电、伪辉光放电)的电学特征, 利用10~50 kHz、0~20 kV电源在平板电极结构上实现3种放电模式, 并通过放电图片、电压电流曲线、电压-电荷李萨如图形对各放电模式进行诊断和电学特征阐述。试验证实3种放电模式确实存在且可在一定条件下相互转化。

关键词: 介质阻挡放电; 丝状放电; 辉光放电; 伪辉光放电; 大气压

中图分类号: TM836 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6520(2006)01-0063-02

Electrical Characteristics of Three Models of Dielectric Barrier Discharges Under Atmospheric Pressure

XU Xu, OU Qiongrong, SHU Xingsheng, MENG Yuedong

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Dielectric barrier discharge under atmospheric pressure has three models, filamentary discharges, glow discharges and pseudoglow discharges. In our experimental study, those three models are achieved in parallel electrodes with the high-voltage source (10~50 kHz, 0~20 kV). Analyzing discharging photos, voltage-current curves and voltage-charge figures, the three models are diagnosed and their respective electrical characteristics are fully demonstrated.

Key words: dielectric barrier discharges; filamentary discharges; glow discharges; pseudoglow discharges; atmospheric pressure

0 引言

近20年来,介质阻挡放电(DBD)作为产生非平衡等离子体的最简便方法,已在臭氧发生、紫外光源、聚合物表面改性、干法刻蚀、消毒灭菌等方面广泛应用^[1~5]。而大气压DBD有丝状、辉光、伪辉光等放电模式,不需真空系统,能连续处理材料,大大降低成本,故日益受到关注。丝状放电持续时间短(ns量级),且在时空上不均匀,易损伤被处理材料表面。近期发现伪辉光放电的均匀性较好,所需的能量面密度较小,这与辉光放电相同;同时伪辉光放电在每半个周期内多次均匀放电,产生更多活性粒子,持续更长时间,而操作条件却没有辉光放电苛刻,故更受科研人员重视。这3种放电各有特点并可在一定条件下相互转化,但大气压辉光放电和伪辉光放电常在惰性气体中获得且对试验条件要求严格,同时大气压DBD的一些机理性问题还未解决^[6~8]。大气压等离子体一些微观参量(如电子离子温度、密度和内部场强分布)的诊断很难实现,故通过控制试验条件获得所希望的放电模式并通过电学手段诊断宏观参量,极有理论和实际意义,本文就此尝试做些试验工作。

1 试验装置

整个试验装置(见图1)外部用不锈钢材料、内

部用绝缘材料,以保证良好的绝缘与分离。不锈钢上下电极(直径100 mm、厚度9 mm)均覆有石英玻璃(直径150 mm、厚度1 mm)作为介质板,上电极连接高压电源(频率10~50 kHz,电压0~20 kV),下电极经两个头尾相连的无感电阻(RX20N-25W50RJ)或高频电容(22 nF)接地。上电极的电压信号由高压探头(Tektronix P6015A 1:1000)测量,接地电阻和电容的电压信号由电压探头(Tektronix P2200 1:1)测量并同步导入数字存储示波器(Tektronix TDS2024, 200 MHz)。3种放电模式的照片(见图2)由垂直于放电方向放置的照相机拍摄,丝状放电是装置暴露在大气中获得,而辉光放电和伪辉光放电是装置达到本底气压0.1 Pa后充入纯氦(99.995%)获得。

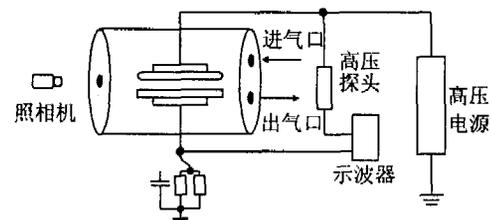


图1 试验装置结构图

Fig. 1 Schematic of the experimental system

2 试验结果

由图2可见,丝状放电在时间和空间上随机分

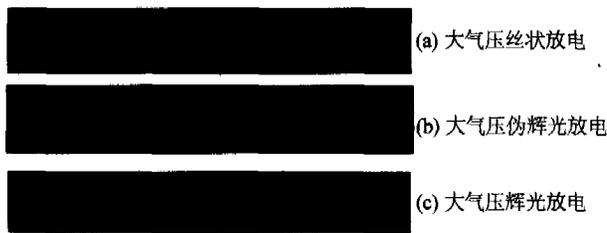


图 2 3种放电模式的放电照片

Fig. 2 Image of three discharge models

布,在黑暗的放电背景下有 14 根放电细丝即微放电电流通道,需强调的是介质表面积累电荷的作用大大降低了细丝分布的随机性,使细丝在电极极性反转后优先发生在上次发生的位置,这也是从放电照片上仅看到 14 根细丝而不是更多根的原因之一。伪辉光放电和辉光放电均未形成放电细丝,放电均匀地分布在整个放电空间。同时国外的研究者用曝光时间 < 10 ns 的高速相机表明,伪辉光放电在每半个周期数次放电且每次放电均与辉光放电相同,整个电极表面同时均匀放电而非某几个点放电^[9,10]。

3 种放电模式的电压电流曲线见图 3。丝状放电的特征是有一系列持续时间短(约 ns 级)强度较大的电流峰,需注意每个电流峰并非代表一次单一放电,而是此刻若干个放电所积累的宏观反映。伪辉光放电的特征是每半个周期内有数个持续时间长(约 μ s 级)的放电峰,且放电峰在数个周期内准确地出现在相同位置,重复性好;电流峰值出现在电压峰值前,说明放电均匀覆盖整个电极表面^[11,12]。辉光放电的特征是每半个周期内只有一个持续时间长(约 μ s 级)的放电峰,且放电峰在数个周期内准确地

出现在相同位置,重复性好。辉光放电和伪辉光放电的电压波形在电流峰处都出现不连续,这是因为在氦气中放电形成阴极位降区,而电极间电压主要集中在该区,该区变得越来越薄,这样电压减小的同时位降区电场强度并无明显变化,因而曲线中电压下降而电流上升。

3 种放电模式的电压电荷李萨如图形见图 4。丝状放电的特征是平行四边形图形不完整不规则且主曲线附近有很多斑点,这正是微放电在时空上随机分布的表现。伪辉光放电的特征是整个平行四边形图形基本上规则整齐,左、右手方向有平滑的弯曲,这显示出伪辉光放电脉冲的上升时间较慢,而不象丝状放电上升时间较快,且通过计算四边形围成的面积可得注入放电区间等离子体的能量为 45 μ J。辉光放电的特征是平行四边形规则整齐^[13,14]。

这 3 种放电模式在宏观参量上区别明显,原因是其起始维持机制不同:丝状放电是因为电极表面某些点的局域电场强度达到击穿阈值后电离击穿放电气体并无阻碍地迅速发展形成放电通道,适于用流注理论解释;而伪辉光放电和辉光放电是因为存在亚稳态粒子和潘宁电离,使局域击穿联立并限制电流的发展,最终发展成整个表面的均匀放电,适于用汤生放电理论解释^[6~9,11]。

3 结 语

试验证实 3 种放电模式确实存在且可相互转化。一定电压下增加频率到一定值时伪辉光放电转化成辉光放电,一定频率下增加电压至一定值时辉光放电转化成伪辉光放电,继续增加电压则转化成

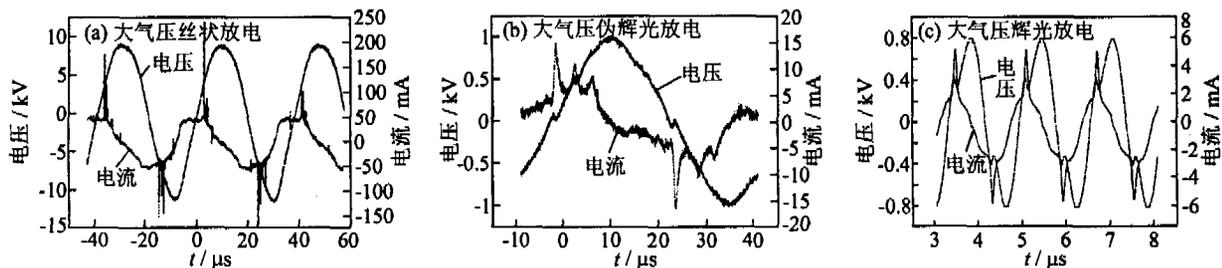


图 3 3种放电模式的电压电流曲线

Fig. 3 Voltage-current curves of three discharge models

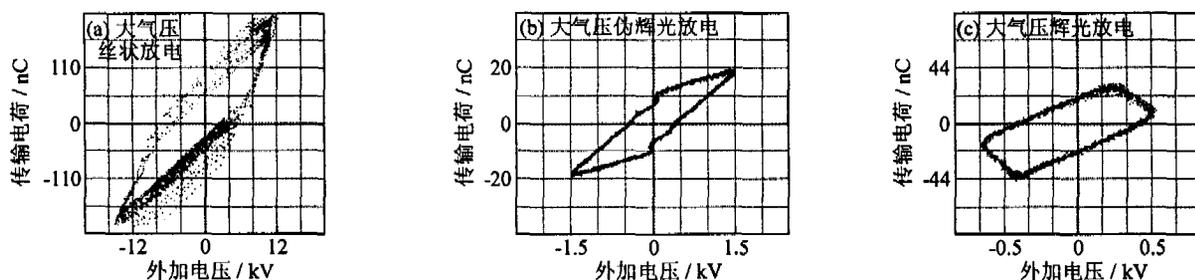


图 4 3种放电模式的电压电荷李萨如图形

Fig. 4 Voltage-charge figures of three discharge models

(下转第 118 页)

体端。接地装置部分与绝缘操作部分通过磁性吸住,旋转操作棒,横销对应卡口可卡住并带动旋转接地装置。b)将螺纹连接体(其螺纹标准按现有多数电缆分支箱双头螺杆的2种尺寸而定)套在电缆分支箱双头螺杆上,旋转绝缘杆将其拧紧,即接地装置前端接好。c)推绝缘杆使弹簧收缩旋转一角度,使销轴脱出底座槽口,接地线后端螺纹开始受力。旋转绝缘杆,使夹片与螺纹连接体和螺件紧密接触,即接地装置后端安装牢固。d)拔出绝缘杆重复操作将三相全部接好,即接地线装设完毕。

由使用方法可见,整个过程都避免让检修人员直接接触可能带电的部位,保证了其人身安全。

(上接第 64 页)

丝状放电。改变试验条件,在3种放电模式下进行高聚物表面改性以提高其亲水性,发现丝状放电下的样品局部亲水性有所提高,但样品处理不均匀,有些地方还出现电流丝烧蚀的小孔;而伪辉光放电和辉光放电下的样品处理均匀,亲水性显著提高^[15]。

参 考 文 献

- [1] Liu Chaozong, Cui Naiyi, Brown Norman M D. Effects of DBD plasma operating parameters on the polymer surface modification[J]. Surface & Coatings Technology, 2004, 185: 311-320.
- [2] Gnedonkov S V, Khrisanfova O A, Zavidnaya A G. Production of hard and heat-resistant coatings on aluminium using a plasma micro-discharge [J]. Surface and Coatings Technology, 2000, 123: 24-28.
- [3] Mohan R, Sankaran, Giapis K P. High-pressure micro-discharges in etching and deposition applications[J]. J Phys D: Appl Phys, 2003, 36: 2914-2921.
- [4] Borcia G, Anderson C A, Brown N M D. Dielectric barrier discharge for surface treatment: application to selected polymers in film and fibre form [J]. Plasma Sources Sci Technol, 2003, 12: 335-344.
- [5] OU Qiongrong, MENG Yuedong, XU Xu. Effect of frequency on emission of XeI* excimer in a pulsed dielectric barrier discharge[J]. Chin Phys Lett, 2004, 21: 1317-1319.
- [6] Trunec D, Brablec A, Buchta J. Atmospheric pressure glow discharge in neon[J]. J Phys D: Appl Phys, 2001, 34: 1697-1699.
- [7] Baldur Eliasson, Ulrich Kogelschatz. Modeling and applications of silent discharge plasma[J]. IEEE Trans on Plasma Sci, 1991, 19: 309-323.

(上接第 114 页)

c)状态检修的实现是长期的过程,应以科学的态度逐步推进,并应视具体情况选取最为经济可靠的检修方式,不可一概而论。

d)它是一种先进的设备检修方式,是以后电力设备检修方式的发展方向。

3 结 语

本文研制的电缆分支箱验电接地工具可解决目前广泛使用的电缆分支箱验电接地的普遍难题,填补其在安全措施方面的空白,应用前景广阔。

参 考 文 献

- [1] DL409-91, 电业安全工作规程(电力线路部分)[S]. 北京:水利电力出版社, 1991.

(收稿日期 2004-09-28 编辑 李 东)

浦仕亮 1970—,从事电缆检修管理工作。电话:(0510)5926172; E-mail: pushiliang@sina.com

- [8] Gadri Rami Ben, Roth J Reece, Montie Thomas C, et al. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma[J]. Surface and Coatings Technology, 2000, 131: 524-528.
- [9] Radu I, Bartnikas R, Wertheimer M R. Frequency and voltage dependence of glow and pseudoglow discharges in helium under atmospheric pressure[J]. IEEE Trans on Plasma Sci, 2002, 30: 1363-1378.
- [10] Radu I, Bartnikas R, Wertheimer M R. Diagnostics of dielectric barrier discharges at atmospheric pressure in noble gases: Atmospheric pressure glow and pseudoglow discharges and spatio-temporal[J]. IEEE Trans on Plasma Sci, 2003, 31: 411-421.
- [11] Nicolas Gherardi, Gamal Gouda, Eric Gatt. Transition from glow silent discharge to micro-discharges in nitrogen gas[J]. Plasma Sources Sci Technol, 2000, 9: 340-346.
- [12] Massines F, Rabehi A, Decomps P, et al. Experimental and theoretical study of a glow discharge at atmospheric pressure controlled by dielectric barrier[J]. J Appl Phys, 1998, 83: 2950-2957.
- [13] Massines F, Segur P. Physics and chemistry in a glow dielectric barrier discharge at atmospheric pressure: diagnostics and modeling[J]. Surface and Coatings Technology, 2003, 174: 8-14.
- [14] Falkenstein Zoran, Coogan John J. Microdischarge behaviour in the silent discharge of nitrogen-oxygen and water-air mixtures[J]. J Phys D: Appl Phys, 1997, 30: 817-825.
- [15] 徐 旭. 大气压介质阻挡放电实验研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2005.

(收稿日期 2005-03-10 编辑 李 东)

徐 旭 1981—, 硕士, 研究方向为低温非平衡等离子体物理及应用。电话:(0551)5592798; E-mail: forxuxu@126.com

参 考 文 献

- [1] DL/T664-1999, 带电设备红外诊断技术应用导则[S]. 北京:中国电力出版社, 1999.
- [2] DL/T596-1996, 电力设备预防性试验规程[S]. 北京:中国电力出版社, 1996.

(收稿日期 2005-02-02 编辑 卫 琳)

张道乾 1964—, 高工, 从事电网管理工作。

王思印 1974—, 工程师, 从事高压试验与油化分析工作。E-mail: siyinwang@mail.china.com