

# 大气压氩气放电中的斑图形成<sup>\*</sup>

尹增谦 柴志方 董丽芳<sup>†</sup> 李雪辰

(河北大学物理科学与技术学院,保定 071002)

(2002 年 5 月 22 日收到,2002 年 7 月 28 日收到修改稿)

采用双水电极的介质阻挡放电装置,在混有 0.5% 空气的大气压氩气放电中观察到了六边形及正方网格斑图;测量了正方网格中的微放电的时间行为,发现相邻两次放电的时间间隔是长短交替的;分析了壁电荷对放电丝自组织成斑图过程的影响.

关键词:气体放电,自组织斑图,微放电

PACC:5280P,0565

## 1. 引言

在空间扩展系统中,由于微观分量的相互作用可导致宏观有序结构的自发形成过程.这个现象被称为斑图形成.近些年来,人们在很多领域都发现了斑图形成现象<sup>[1]</sup>,并对其进行了研究,例如,流体系统中的瑞利-斑纳(Rayleigh-Bénard)对流斑图,生物系统中细菌群的合作性与竞争性生长行为,以及化学反应-扩散系统中的图灵斑图等.

介质阻挡放电是一种典型的非平衡态交流气体放电,其装置主要包括两个平行的电极,其中至少一个被电介质覆盖.当两电极间加上交流高压后,极板间的气体将击穿形成放电.放电的模式取决于气压与气隙间距离的乘积  $pd$  的值.在高  $pd$  值条件下,介质阻挡放电是由很多微放电通道(又称放电丝)组成的,在某些条件下这些放电丝可以形成斑图.近十几年来,人们在不同的介质阻挡放电系统中发现了斑图形成现象.例如 Ammelt 等<sup>[2]</sup>在用半导体做电极的介质阻挡放电系统中,在  $(6-20) \times 10^3$  Pa 气压下观察到了条状斑图和六边形斑图<sup>[2]</sup>;Müller 等<sup>[3]</sup>采用导电玻璃作电极,在  $1.33 \times 10^4$  Pa 的氩气放电中观察到了条状斑图和六边形斑图,Breazael 等<sup>[1]</sup>在近大气压条件下观察到了六边形和条状斑图.

本工作在以前研究空气中介质阻挡放电斑图的

基础上<sup>[4]</sup>,在含有 0.5% 空气的一个大气压的氩气放电中,观察到了稳定的正方形网格斑图,并测量了其微放电通道的时间特性.

## 2. 实验装置与实验方法

图 1 为实验装置示意图,放电电极是装在内径为 4.67cm 的玻璃管内的水中,电介质层为 1.5mm 厚度的玻璃板,放电气隙间距由螺旋测微计调节,调节范围为 0.1—2mm,整个电极放在用有机玻璃做成的反应室内,在反应室的两侧均设有由玻璃做成的观察窗(6cm × 6cm);电源使用高压高频交流电源,电压峰峰值调节范围为 0—30kV,频率调节范围为 10—40kHz,放电气体为氩气,压强为  $1.013 \times 10^5$  Pa.

实验中,放电在气隙形成的斑图由数码相机记录.放电斑图经透镜成像,用光阑选择斑图中心部位的放电丝的发光进入光电倍增管(RCA7265)中,光电倍增管将光信号转换为电信号后送入数字示波器(Tektronix TDS3052)进行观察和存储.电压信号在电阻  $R_2$  上获得并送入数字示波器记录.

## 3. 结果与讨论

实验发现,氩气放电产生的放电丝的分布随放电气隙间距和外加电压而变化.例如,当  $d =$

<sup>\*</sup> 河北省科学攻关项目(批准号 01212180)和教育部科学研究重点项目(批准号 02020)资助的课题.

<sup>†</sup> 通信联系人. E-mail: Donglf@mail.hbu.edu.cn

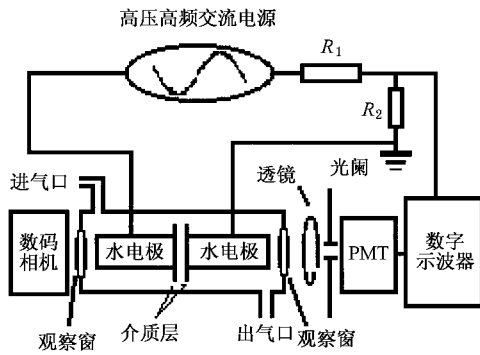


图1 实验装置示意图 电极直径为  $4.67\text{cm}$  ,透镜焦距为  $f = 10\text{cm}$  ;电阻为  $R_1 = 200\text{M}\Omega$  ,  $R_2 = 1.5\text{M}\Omega$  ;气体间隙为  $0.1\text{--}2.0\text{mm}$  ,电压为  $0\text{--}30\text{kV}$  ,频率为  $10\text{--}40\text{kHz}$

$1.5\text{mm}$  ,  $f = 26\text{kHz}$  时 ,在电压达到  $1800\text{V}$  左右后气体被击穿 ,进一步升高电压 ,发现电极间出现了无规则运动的放电丝 ,其数目随着电压的升高而增多 ;在电压升高到  $2000\text{V}$  左右时 ,开始观察到不断作定向运动的丝中出现了六边形的结构 ,进一步升高电压 ,放电丝的密度进一步变大 ,并且放电丝的斑图也发生变化 ,在电压为  $2200\text{V}$  左右时斑图为六边形与四边形的混合结构 ,而再升高电压则出现正方网格 ,电压超过  $2600\text{V}$  后 ,四边形首先从斑图的边缘消失 ,并随着电压的升高直至完全消失 ,放电的图案进一步发生变化 .

在上述斑图中正方网格斑图相当稳定 ,但有时会沿着某个方向作定向运动 .

图2给出了几个典型的放电斑图及相应的形成条件 ,由于这些斑图是从径向拍摄的 ,因而图中的一个亮点代表一个放电丝 .

在实验中发现 ,反应室内氙气的含量对斑图的形成有重要的影响 .例如出现四边形斑图所需要的反应室内氙气的含量为  $99.5\%$  ,氙气的含量超过该值时 ,放电极易弥散 ,而氙气的含量小于该值时 ,则放电丝只是作极不规则的运动 .在这两种情况下难以观测到稳定的正方网格斑图 .

关于介质阻挡放电何以形成斑图 ,人们通常认为在介质阻挡放电中电极上覆盖的电介质起了决定性的作用 .由于电极上介质层的存在 ,每一次放电结束后都会在介质的表面积累大量的电荷 ,即壁电荷 ,壁电荷将产生内建电场 ,它的方向与外加电场相反 ,其作用是熄灭放电 .但当下一个半周期来临时 ,上述内建电场与外加电场同向 ,因而对放电起促进作用 .由于壁电荷在本半周和下半周的作用不同 ,使得放

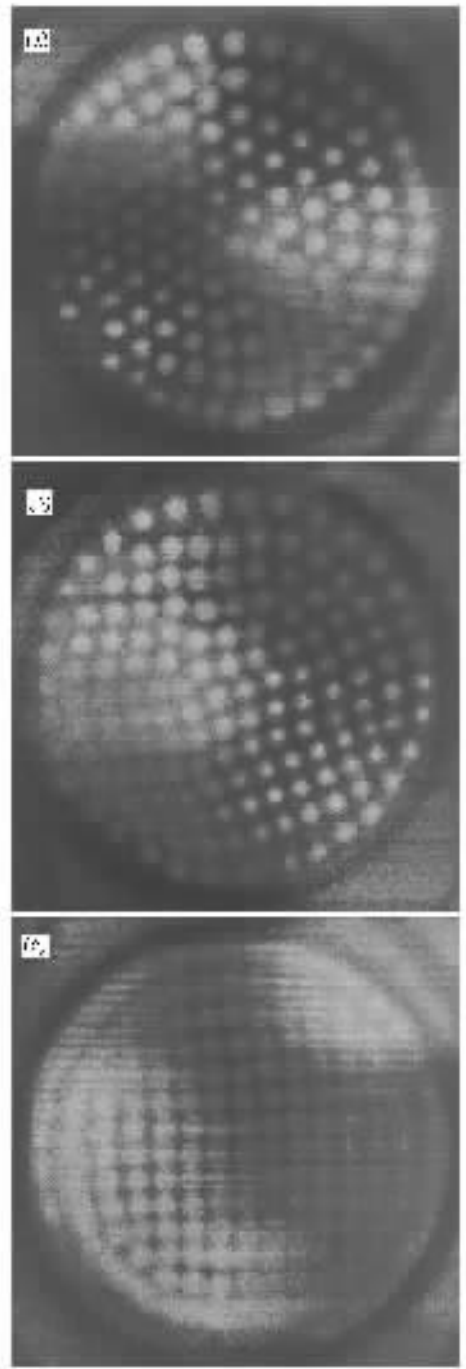


图2 不同的外加电压  $V$  条件下大气压氙气介质阻挡放电中的斑图 : ( a ) 为六边形斑图 ,  $V = 2000\text{V}$  ( b ) 为六边形与四边形混合结构 ,  $V = 2200\text{V}$  ( c ) 为正方形网格 ,  $V = 2400\text{V}$  ;其他参量 :频率为  $26\text{kHz}$  ;气隙间距为  $1.5\text{mm}$  ;放电区直径为  $4.67\text{cm}$  ;曝光时间为  $(1/250)\text{s}$

电一旦在某处发生将始终在一个地方发生 ,这就是壁电荷的记忆效应 .另一方面 ,某一处壁电荷产生的场是局域的 ,使得其周围一定范围内不会再有放电丝产生 ,即壁电荷要占据一定的“地盘” .在适当的外

加条件下,如果整个放电极板上地盘的分割形成稳定的格局,放电丝就自组织形成了斑图.

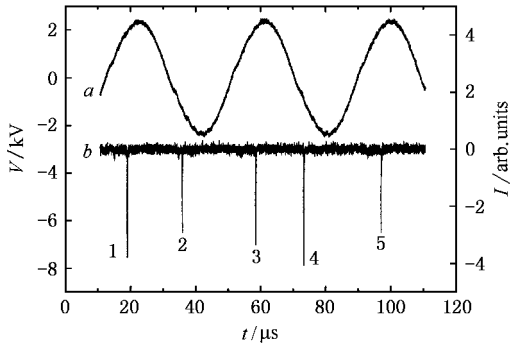


图3 正方形网格中单个微放电通道的时间特性

为了搞清正方网格斑图形成的动力学过程,我们测量了图 2(c)给出的正方网格斑图中单个放电丝的时间行为.图 3 为该正方网格斑图中心区域单个放电丝的时间特性.其中波形 *a* 为驱动电压波形,波形 *b* 为单个放电丝放电发光的波形.由图 3 可以看出,在驱动电压的每半个周期内,发生一次放电,每个放电脉冲的持续时间大约为  $0.2\mu\text{s}$ ,并且放电时间在驱动电压的正负半周并不是固定的,也就

是两个相邻两次放电的时间间隔是不相等的,而是出现了长短交替的状态.比如用 1—5 来依次标记图中的放电脉冲,则 1 与 2 之间相差  $16.66\mu\text{s}$ ,而 2 与 3 之间则相差了  $22\mu\text{s}$ .通过对不同放电丝放电时间行为的测量发现,放电丝的相邻两次放电的时间间隔都是长短交替的,而值得指出的是我们的实验装置和外加电压关于正负半周都是对称的,因此不对称的时间行为是介质阻挡放电的内在特点.而不同放电丝放电的时间行为或者极为接近,或者有恒定的差别,这反映了不同放电丝之间存在着相互作用,可能正是由于放电丝间的相互作用,使得正方形结构有很好的稳定性,进一步的研究工作正在进行之中.

## 4. 结 语

本工作采用特殊设计的双水电极的介质阻挡放电装置,在大气压氩气放电中观察到了六边形及正方网格斑图,测量了正方网格中的微放电的时间行为,分析了壁电荷对斑图形成及其动力学过程的影响.上述结果对介质阻挡放电斑图形成的研究具有重要的意义,同时对其他系统的斑图动力学研究也有一定的参考价值.

[1] Breazael W, Flynn K M and Gwinn E G, 1995 *Phys. Rev. E* **52** 1503

[2] Ammelt E, Astrov Y A, Purwins H G *et al* 1997 *Phys. Rev. E* **55** 6731

[3] Müller I, Punset C, Ammelt E *et al* 1999 *IEEE Trans. Plasma Sci.* **27** 20

[4] Dong L F, Li X C, Yin Z Q *et al* 2001 *Chin. Phys. Lett.* **18** 1380

# Pattern formation in the dielectric barrier discharge in argon at atmospheric pressure<sup>\*</sup>

Yin Zeng-Qian Chai Zhi-Fang Dong Li-Fang Li Xue-Chen

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

( Received 22 May 2002 ; revised manuscript received 28 July 2002 )

## Abstract

The hexagon and square gridding patterns were observed in Ar ( 0.5% Air ) at atmospheric pressure by using a dielectric barrier discharge set-up with double water electrodes. The temporal behaviour of an individual filament in square gridding was measured. The experimental results show that the time interval between two adjacent discharges are changed between long and short alternately. The influence of the charges deposited on dielectric surface on the self - organized filament pattern has been discussed.

**Keywords** : gas discharge , pattern , micro-discharge

**PACC** : 5280P , 0565

---

<sup>\*</sup> Project supported by the Committee of Science and Technology ,Hebei Province ,China( Grant No.01212180 )and by the Ministry of Education ,China( Grant No.02020 ).