

- [ 2 ] Dirac P A M. Proc. Camb. Phil. Soc. Math. Phys. Sci, 1930, 26:361
- [ 3 ] Mills A P. J Appl. Phys. Lett., 1979, 35:427
- [ 4 ] Tong B Y. Phys. Rev. B, 1972, 5:1436
- [ 5 ] Camobell J L. Appl. Phys., 1977, 13:365
- [ 6 ] Nieminen R M, Oliva J. Phys. Rev. B, 1980, 22:2226
- [ 7 ] Valkealahti S, Nieminen R M. Appl. Phys. A, 1984, 35:51
- [ 8 ] Weng H M, Wang D Z *et al.* Mater. Sci. Engin. B, 1994, 26:163
- [ 9 ] 翁惠民, 周先意等. 高能物理与核物理, 1993, 17:775  
[ WANG Hui Min, ZHOU Xian Yi *et al.* High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1993, 17:775(in Chinese) ]
- [ 10 ] Kumar P A, Gossmann H J, Unterwald F C *et al.* Phys. Rev. B, 1993, 48:5345
- [ 11 ] Coleman P G. Mater. Sci. Forum, 1995, 175-178:15
- [ 12 ] 韩荣典, 周先意, 翁惠民等. 核技术, 1994, 17:321 [ HAN Rong-Dian, ZHOU Xian Yi, WENG Hui Min *et al.* Nucl. Tech., 1994, 17:321(in Chinese) ]
- [ 13 ] Hiroyama Y *et al.* Nucl. Instrum. Methods B, 1993, 74:87
- [ 14 ] Simpson P J *et al.* Mater. Sci. Forum. 1992, 105-110:1439
- [ 15 ] Smith D L *et al.* Mater. Sci. Forum. 1992, 105-110:1447
- [ 16 ] Suzuki R *et al.* Jap. J. Appl. Phys., 1991, 32:352
- [ 17 ] Zhou X Y, Stormer J *et al.* Phys. Rev B, 1996, 54:1398;  
Zhou X Y, Bauer - Kugelmann W *et al.* Phys. Lett. A, 1997, 225:143
- [ 18 ] Kogel G. Mater. Sci. Forum. 1995, 175-178:107
- [ 19 ] Stormer J *et al.* Mater. Sci. Forum. 1995, 175-178:213

## 纳秒脉冲电晕放电成像技术\*

葛自良 马宁生 章昌奕 谢嘉祥

(同济大学物理系 上海 200092)

**摘要** 阐述了脉冲电晕放电成像的物理过程. 根据气体放电的流光理论, 采用纳秒脉冲放电技术, 获得清晰的电晕放电的硬币成像图像, 并展望其应用前景.

**关键词** 电晕放电, 纳秒脉冲, 成像

### IMAGING BY TRANSIENT CORONA DISCHARGE

GE Zi-Liang MA Ning-Sheng ZHANG Chang-Yi XIE Jia-Xiang

(Department of Physics, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** The physics of transient corona discharge imaging is discussed. Based on the streamer theory in gas discharges, nanosecond pulse discharge technology has been used to obtain good resolution images of coins. Further potential applications are also presented.

**Key words** corona discharge, nanosecond pulse, image

## 1 引言

当在电极两端加上较高但未达到全路击穿的电压时, 若电极表面附近的电场很强, 则电极附近的气体介质会被局部击穿而产生电晕放电现象. 物体表面呈凹凸不平状态时, 其凸处曲率半径很小, 该处局部场强特别高, 很容易发生电晕放电. 在非均匀场中, 由于电晕放电发光的细丝存在着径向场分量, 在放电间隙中会从起晕电极沿径向发展, 形成流光. 电晕放电成像, 就是在脉冲电压作用下, 因物体表面微结构而产生的放电光辐射的感光记录过程. 电晕放

电成像, 既适用于金属, 也适用于诸如动植物样品的非金属, 可记录被成像物体的表面凹凸状态.

近年来, 国外对电晕放电成像技术进行研究, 获得硬币、树叶及指纹等成像图像<sup>[1,2]</sup>, 但由于采用毫秒或微秒级脉冲放电, 成像的图像并不清晰, 这或许是电晕放电成像技术目前尚未获得应用的原因之一. 本文分析正电晕放电成像的物理过程, 根据气体放电的流光理论, 采用纳秒脉冲放电技术, 获得了清晰的电晕放电的硬币成像图像.

\* 1999-09-27 收到初稿, 1999-11-22 修回

## 2 实验装置及结果

本实验在暗室中进行,为提高电晕放电成像的清晰度,采用大连理工大学静电与特种电源研究所研制的纳秒级脉冲高压电源,可产生上升沿为 20ns 左右的高压正脉冲.成像样品采用硬币,以与电源相连的 200g 砝码作为一个电极.另一电极为接地的平整铝板.两电极间覆盖着感光材料,采用乐凯牌 21° 黑白胶片.硬币图案与胶片间的空隙,即放电间隙,实测约为 20 $\mu$ m.

实验中脉冲电压施加时间为 30s.实验结果如图 1 所示,5 分硬币面值面表面凹凸差实测值为 280 $\mu$ m,国徽面表面凹凸差实测值为 350 $\mu$ m.细视成像图像可见流光迹.硬币边缘与胶片的接触点,即电极、介质和空气三者交汇点,电场会发生畸变,称之为三重点效应(triple junction effect).所谓三重点,是指不同介电常数的两种电介质和电极三者相互重叠结合之点.在该点电场得以增强,容易发生沿介质表面的放电.这些表面放电在感光胶片上的成像,呈明亮的光斑,其线径约 2mm.图像左上方边缘处可见表面放电的光斑,致使该处附近胶片曝光.



图 1 电晕放电成像实验结果  
(实验条件:电压 5.0kV,室温 12℃,相对湿度 78%)

## 3 正电晕放电成像的物理过程

电极的几何构形在电晕放电中起着重要的作用.硬币的表面呈凹凸不平状态,造成电场的不均匀性,使主要的电离过程局限于局部电场很高的电极附近,即硬币表面凸处附近的薄层中.气体的发光仅发生在该区域内,该区域称为电晕层.在硬币表面凹处附近,由于电场弱,则不发生电离.

在实验中,当使用一个幅值在若干微秒内衰减至一半的脉冲电压时,便可忽略离子电荷的迁移和积累.在纳秒脉冲电压作用下的正电晕放电,可认为电极间隙内无空间电荷的积累.

在两电极间插入绝缘介质的感光胶片,当在放电电极上施加适当的高电压时,电极间的空气,即使在很高气压下也会被击穿,形成所谓的介质阻挡放

电.本实验的介质阻挡放电,是用频率为 50Hz 的高电压来启动的.在大气压强( $10^5$  Pa)下,介质阻挡放电时,通过放电间隙的放电电流是由大量的脉冲电流细丝组成的,电流细丝半径约为 0.1mm.放电电流细丝在空间和时间上均呈无规则分布,称之为微放电.每个微放电的时间过程非常短暂,不到 10ns<sup>[3]</sup>.

应用气体放电的流光理论,可解释正电晕放电成像中的物理过程.当正脉冲电压加在硬币电极上时,进入硬币表面凸处附近电晕层的电子,是由电晕层内强电场中激发粒子的光辐射产生的.光致电离所形成的电子,从电场中获取能量,通过与周围的原子分子碰撞,把自身的能量转移给它们,使它们激发电离,引起电子雪崩.最初的电离具有丝状分枝的性质,这便是流光.在非均匀场中,由于存在径向场分量,流光沿径向发展,增加了分枝的数目,造成大量的电流细丝通道,每一个微通道就是一个流光击穿,形成了微放电.单个微放电是在放电间隙内硬币表面凸处某一点上发生的,同时在硬币表面凸处的其他点上也会产生另外的微放电.由于胶片的绝缘性质,微放电能彼此独立地发生在硬币表面凸处的很多点上.由于施加的是纳秒脉冲电压,当发生微放电处电场强度稍低于空气击穿场强时,电流就会截止.在硬币表面凸处只有当场强重新增加到击穿场强数值时,才会发生再击穿,在同一点再次产生微放电.这样,插入电极间的感光胶片,多次被硬币表面凸处产生的微放电光辐射感光,从而将硬币表面的凹凸状态成像记录下来.

## 4 应用前景

电晕放电成像方法是由苏联的 Semyon Kirlian 首创于 40 年代.其后,虽经众多研究者的努力,至今尚未达到应用阶段.但该成像方法具有潜在的应用价值,可应用于样品复印、无损检测及生物样品表面状态分析中,可望成为生物学和医学上的一种新型成像技术.

### 参 考 文 献

- [1] Kwarck C, Lee C W. Electronics Letters, 1993, 29:173-175
- [2] Halahmi E, Kronik L. IEEE Trans Plasma Science, 1996, 24:87-88
- [3] 徐学基,诸定昌.气体放电物理.上海:复旦大学出版社,1996.310 [XU Xue-Ji, ZHU Ding-Chang. Gas Discharge Physics. Shanghai: Fudan University Press, 1996.310(in Chinese)]