

常压等离子体特性研究及其在材料改性应用

汤佳林^{a, b} 唐晓亮^{a, 1}

a, 东华大学应用物理系; b, 申美商品检测公司

摘要 用自制改进的介质阻挡放电(DBD)连续处理纺织材料的装置, 采用示波器李萨如图形测量放电功率, 介绍了对涤纶(PET)织物和熔喷非织造布(PBT)两种材料进行改性实验的结果, 以及相应的扫描电子显微镜(SEM)图片, 并简单分析了材料润湿性发生改变的原因。

关键词 介质阻挡放电 等离子体诊断 材料改性

中图分类号 O461.2

文献标识码 A

0 引言

两个平行的平面电极间至少存在一个独立的介质层, 并施加交流电压的介质阻挡放电(图1)的优点是可在大气压气体中产生非平衡态等离子体, 比真空条件下的方法经济且适于工业化生产, 现已广泛用于工业臭氧发生器、聚合物表面改性、等离子体化学气相沉积、污染控制、CO₂激光、准分子灯和大屏幕平面等离子体彩电等方面^[1~7], 用等离子体进行材料改性的研究最近亦取得可喜成果。介质阻挡放电电压和电流、放电功率、放电间隙、气体成分和流量等是该研究领域的重要参量, 在放电过程中它们相互作用, 共同影响着放电的产生、效果、等离子体的性质和强度, 对等离子体反应的方向和速度以及生成物的性质有决定性的作用^[7]。

1 实验装置

实验用自行设计的等离子体连续处理装置(见图2a), 在大气中两个被绝缘电介质所覆盖的矩形

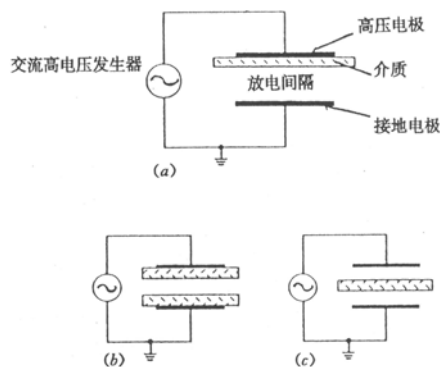
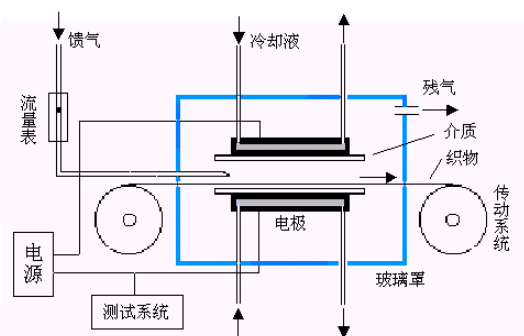


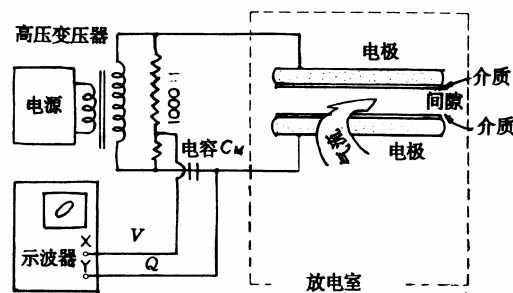
图1 介质阻挡放电的电极结构

Fig. 1 Typical barrier-discharge configurations



(a) 连续处理装置简图

(a) Diagrammatic of DBD equipment



(b) Q-V 测量装置简图

(b) Diagrammatic of Q-V measurement equipment

图2 介质阻挡放电连续处理实验装置简图

Fig. 2 Diagrammatic of DBD used to continuous modification of materials

铜电极(25.0×6.0 cm²)上下平行正对放置, 电极为中空状, 使冷却液流过以利于放电时散热, 高

¹ 通讯作者: 唐晓亮(1976—), 男, 硕士, 讲师。联系电话: 021-67792025。E-mail: xltang@dhu.edu.cn

频高压正弦交流电加在两极间，放电气体经气体流量计均匀导入放电间隙，当电压超过击穿电压时，气体被击穿而形成介质阻挡放电产生等离子体。放电室置于透明玻璃罩内，用 1000: 1 的高压探头和 Tektronics TDS2000 示波器对介质阻挡放电功率等电学参量（图 2b）。

2 实验方法

实验采用 Q-V 李萨如图形法诊断介质阻挡放电功率，当电源激励频率 < 20kHz 时介质阻挡放电的等效电路见图 3^[1]，其中 C_d 、 C_g 分别是电介质层和放电间隙的等效电容。图 2(b)中串联的测量电容 C_m 用以测量放电输送的电荷量 Q 。放电时 C_m 两端的电压为 U_m ，则流过回路的电流为 $I = C_m dU_m / dt$ ，故放电功率

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) I(t) dt = \frac{C_m}{T} \int_0^T U(t) \frac{dU_m}{dt} dt = f C_m \oint U dV_m$$

图 4 为示波器测得的 Q-V 李萨如图形，闭合平行四边形曲线内的面积为一个周期内放电装置消耗的视在功率^[1, 7]。图 5 为放电电压和电流波形。

3 实验结果与讨论

实验中选取 PBT 熔喷非织造布和涤纶两种纺织材料进行改性实验，两种材料处理前后的扫描电子显微镜(SEM)图片见图 6 和图 7。水平扫描电镜照片显示，较之处理前、后，高能高密度等离子体在纤维表面刻蚀，产生了大量的微坑微沟并有颗粒状凸起生成。表面物理结构的这种改变赋予纤维表面更大的比表面积，增强了毛细效应。

纺织材料的吸水也是一个普通

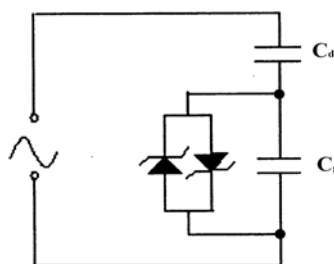


图 3 介质阻挡放电的等效电路图

Fig. 3 Diagrammatic of equivalent circuit for DBD

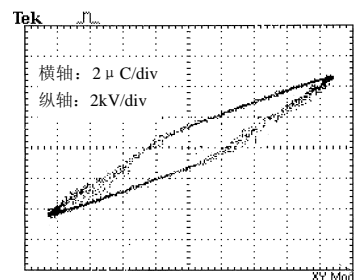


图 4 Q-V 李萨如图形

Fig. 4 Corresponding Q-V Lissajous figure

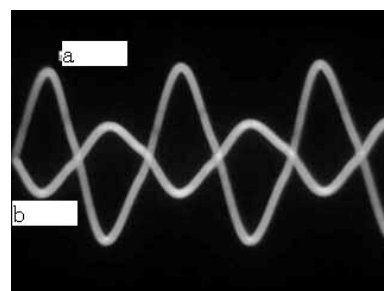


图 5 放电电压 (a) 和电流 (b)

Fig. 5 Discharge voltage(a) and current(b)

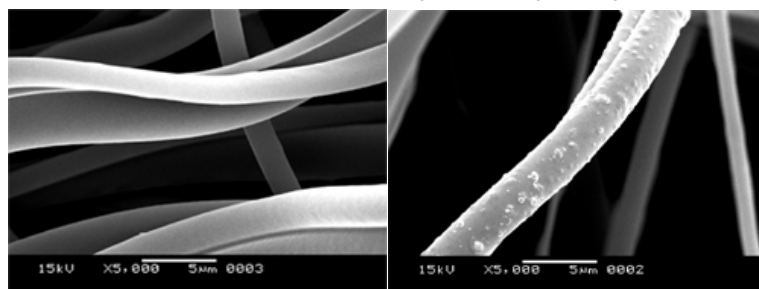


图 6 PBT 材料处理前 (左) 和氩气处理 1 分钟 (右) 扫描电镜图片

Fig. 6 PBT melt-blown nonwovens before (L) and after treatment in argon (R)

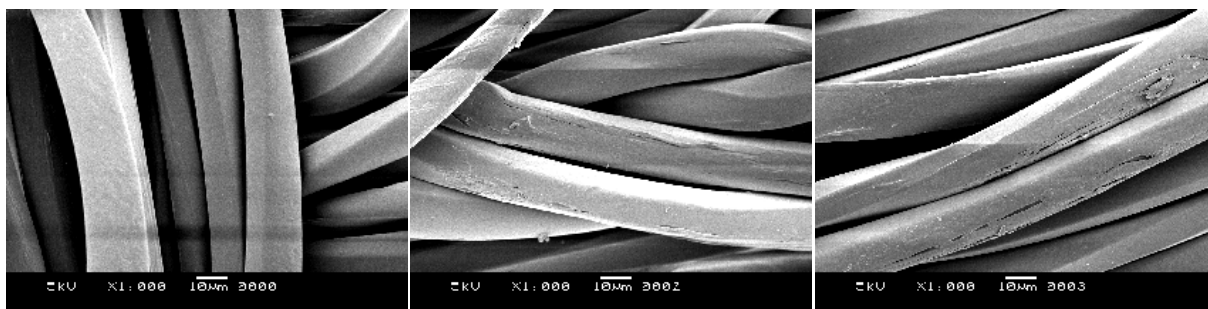


图 7 涤纶处理前 (左)、氩气处理 1 分钟 (中) 和氩气处理 3 分钟 (右) 扫描电镜图片

Fig. 7 PET fabrics before (L), after 1 minute (M) and 3 minutes' treatment (R) in argon

的自然现象，纤维表面微细沟槽所产生的毛细现象，使液相水分由芯吸、扩散、传输等作用，迅速迁移至纤维另一端并发散，从而达到导湿快干的目的。可以说，毛细管效应是最常用也是最直观的一种方法，可以表现吸水能力以及扩散能力。织物由于纤维上或纤维间的毛细通道，产生芯吸作用

而具有干爽导湿性能。芯吸作用愈大，导湿性能愈好。由于芯吸效应测试原理较为简单，一般采用手工测试的方法。将纤维上端固定，使下端自由下垂，浸入水中，放置一段时间，然后用直尺量出水在纤维上超出液面的高度。如图 8 所示。为便于比较，可采用将处理前后两种材料同时进行测试的方法。

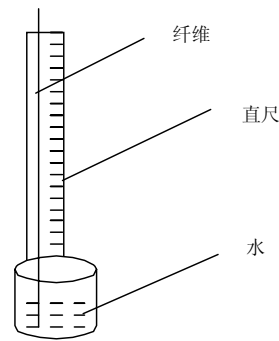


图 8 芯吸效应测试原理图
Fig. 8 Diagrammatic of hygroscopic measurement equipment

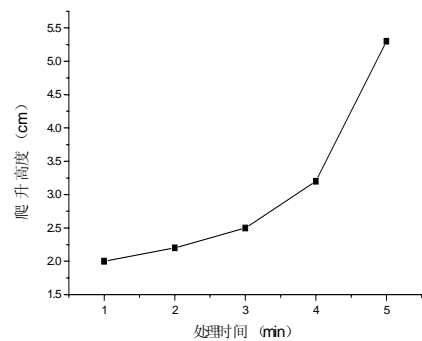


图 9 PBT 熔喷非织造布爬高实验结果
Fig. 9 Hygroscopic measurement of PBT

本实验取处理时间不同的 PBT 样品各一份，长度为 10 厘米。

把样品垂直悬挂，下端浸入水中，3 分钟后测量纤维的润湿爬高。由于未经常压氩等离子体处理的 PBT 熔喷非织造布基本不润湿爬高，处理后材料的实验结果如图 9 所示。

4 结束语

介质阻挡放电等离子体已被广泛用于材料表面改性研究上，其优点在于它对材料表面处理属于干式工艺，不会因产生“三废”污染环境，与电子束、放射线处理等干式工艺相比，其表面处理的作用仅涉及表面极薄层，一般离表面几十 ~ 数百埃，能显著改善界面性质而不影响材料本体。研究表明，通过对 PBT 熔喷非织造布进行大气压下的等离子体表面改性处理使材料获得了吸湿性改变，从憎水性转变为吸水性，很好地改善材料表面性能。

参 考 文 献

- [1] 张芝涛, 白敏冬, 赵艳辉, 等. 高浓度臭氧发生器放电特性实验研究[J]. 高电压技术, 2003, **29** (5): 33
- [2] 尹增谦, 董丽芳, 韩理, 等. 大气中介质阻挡放电发光的时间特性[J]. 光谱学与光谱分析, 2002, **22** (6): 886
- [3] U. Kogelschatz. Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharge [J]. IEEE Trans. Plasma Sci., 2002, **30** (4): 1400
- [4] B Eliasson, U Kogelschatz. Modeling and applications of silent discharge plasmas [J]. IEEE Trans. Plasma Sci., 1991, **19** (2): 309
- [5] B Eliasson, M Hirth, U Kogelschatz. Ozone synthesis from oxygen in dielectric-barrier discharge [J]. J. Phys. D: Appl. Phys., 1987, **20** (11): 1421
- [6] H. E. Wagner, R. Brandenburg, K. V. Kozlov, et al. The barrier discharge: basic properties and applications to surface treatment[J]. Vacuum, 2003, **71** (3): 417
- [7] 徐学基, 诸定昌. 气体放电物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996
- [8] 杨 超, 邱 高. 新型常压等离子体源及在血液过滤材料表面改性中的应用研究[J]. 东华大学学报, 2001, **27** (6): 91