

文章编号 1004-924X(2018)09-2198-07

## 微喷孔聚酰亚胺表面持续性亲水工艺

赵翔<sup>1,2</sup>, 贾志新<sup>1</sup>, 张康生<sup>1</sup>, 李勇<sup>2\*</sup>, 周凯<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083;

2. 清华大学机械工程系精密超精密制造装备及控制北京市重点实验室, 北京 100084)

**摘要:**在聚酰亚胺材料上加工用于喷墨打印头的喷孔时,广泛采用激光打孔后填充亲水聚合物使喷孔内壁具有一定的亲水性,从而有利于提升打印头的工作频率。为了简化喷孔的制备工艺,本文提出一种使用氧气与氩气混合等离子体处理的方法,在引入亲水基团的同时增大表面粗糙度,克服通常等离子体处理中聚酰亚胺表面亲水性随着时间增加而逐渐丧失的局限,以期能够长时间维持亲水性。实验结果表明,经过长时间放置后,聚酰亚胺表面能够维持一定的亲水性,表面的接触角能够保持在 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。最后,通过仿真分析验证了亲水性提升对于喷墨打印中墨滴填充的有利影响,墨滴填充时间由 $140\ \mu\text{s}$ 缩短至 $70\ \mu\text{s}$ 。

**关键词:**喷墨打印;混合气体;等离子体;聚酰亚胺;微喷孔;亲水性

**中图分类号:**TH162.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20182609.2198

## Hydrophilic retention process of micro nozzle on polyimide surface

ZHAO Xiang<sup>1,2</sup>, JIA Zhi-xin<sup>1</sup>, ZHANG Kang-sheng<sup>1</sup>, LI Yong<sup>2\*</sup>, ZHOU Kai<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Beijing Key Lab of Precision/Ultra-precision Manufacturing Equipments and Control, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

\* Corresponding author, E-mail: liyong@mail.tsinghua.edu.cn

**Abstract:** When processing the polyimide material used to fabricate the nozzles of an inkjet printer head, it is necessary for the inner wall of the nozzle to be hydrophilic so that the operating frequency of the print head can be maximized. Currently, laser drilling followed by hydrophilic polymer filling is commonly used to achieve this. In an attempt to simplify the nozzle preparation process, the present study set out to devise a plasma-based method using a mixture of oxygen and argon, to simultaneously introduce hydrophilic groups and increase the surface roughness, overcome the issue of hydrophilicity loss with an increase in the duration of the plasma processing, and ensure that the hydrophilicity is maintained throughout the lifetime of the print head. The results of our experiments reveal that the surface of the polyimide continues to be hydrophilic after an extended duration, with a surface contact angle maintained in  $50^{\circ}\text{--}60^{\circ}$ . The results of a simulation-based analysis demonstrate that the hydrophilic enhancement has a beneficial effect on droplet filling in the print head, with the fill time being shortened from  $140\ \mu\text{s}$  to  $70\ \mu\text{s}$ .

**Key words:** inkjet printing; mixed gas; plasma; polyimide; micro nozzle; hydrophilic

收稿日期:2017-11-14;修订日期:2017-12-11.

基金项目:苏州-清华创新引领专项资助(No. 2016SZ0304)

## 1 引言

喷墨打印是一种利用压电驱动或热泡驱动将墨水从微细喷孔处高速挤出,精确喷射至承印材料上的技术<sup>[1]</sup>。喷墨打印的特点在于其非撞击及非接触的工作原理,喷射介质不再局限于墨水,而是各种类型的流体介质,在广告喷绘、纺织印花、印刷电子,以及3D打印中都有着广泛的应用<sup>[2]</sup>。

喷墨头是喷墨打印系统的核心部件,通常由喷孔板、墨水驱动器及封装结构组成。喷孔板上分布有微喷孔阵列,微喷孔质量会直接影响到喷墨系统的打印分辨率及工作频率<sup>[3]</sup>。这些喷孔一般是直径50 μm以下的微型孔,所用材料分为硅、金属、陶瓷及高分子材料<sup>[4-5]</sup>,加工方法有光刻腐蚀加工、电火花/电解加工、激光加工及微细机械加工等。其中,金属及高分子材料的喷孔板最为常用。

在制备高分子材料的喷孔板时,通常采用聚酰亚胺(PI)作为喷孔板基材,使用激光进行加工<sup>[6]</sup>。在工业应用中,为了提升喷墨头的工作频率,对喷孔的表面性质也提出了要求,需要制备一种具有内壁亲水、外壁疏水结构的喷孔<sup>[7]</sup>。亲水性内壁让墨滴更容易进入喷孔,有利于提升喷墨打印头的工作频率,疏水性外壁保证墨滴喷射的准确性。在国内外的研究中,早期主要聚焦喷孔外壁的表面处理,例如使用聚二甲基硅氧烷等降低聚酰亚胺的表面能<sup>[8]</sup>,降低表面的亲水性。对于喷孔板结构的研究,Lindemann等人设计了多层式聚酰亚胺喷孔板,提出具有表面微结构的喷孔板等设计方案<sup>[9]</sup>,实现了喷孔形状与表面性质的控制,但这些方法的加工工艺都比较复杂。2011年,英国赛尔公司提出了一种基于环氧树脂填充的喷孔制备工艺<sup>[10]</sup>,具体分为三步:首先在具有聚酰亚胺薄膜上使用激光打出基孔,然后在基孔内填充亲水性环氧树脂,最后在环氧树脂上再次使用激光打孔形成喷孔。这种工艺一直沿用至今,并广泛应用于工业大批量生产中。

本文探寻一种更加简单的喷孔制作方式,通过等离子体对聚酰亚胺喷孔内壁进行表面改性,在不使用环氧树脂填充的情况下,使喷孔内壁具有良好的亲水性,简化了生产工艺,提高了喷孔密度。

## 2 聚酰亚胺微喷孔制备工艺设计

聚酰亚胺的基本构成决定了其表面能低、亲水性差<sup>[11]</sup>。目前,聚酰亚胺亲水性的提高方法是表面处理。表面处理的方法有通过碱溶液使聚酰亚胺表面基团水解成为聚酰胺酸和聚酰胺酸金属盐化学处理<sup>[12]</sup>,通过气体的辉光放电轰击聚酰亚胺表面的低温等离子体处理<sup>[13]</sup>,采用物理方法控制分子聚集状态的离子束处理和使用其它材料在表面进行聚合反应的表面接枝<sup>[14]</sup>等。

等离子体处理提高聚酰亚胺亲水性的原理分为增加亲水性基团<sup>[15]</sup>及提高表面能<sup>[16]</sup>两种。例如,使用氧气等离子体处理能够使聚酰亚胺表面产生大量的羟基,羟基的亲水性会使聚酰亚胺表面的亲水性显著提高。但是羟基等含氧基团易与空气中的成分发生氧化还原反应,导致亲水性逐渐丧失<sup>[17]</sup>。氩气等离子体的能量较高,能够更容易打断聚酰亚胺表面的化学键,增大表面能,从而提高其表面亲水性,但表面能也会随着时间而逐渐减小<sup>[18]</sup>。

将等离子体处理应用于喷孔的制作,可以简化制作工艺,其研究重点在于如何长时间保持聚酰亚胺表面的亲水性。已有文献表明,在微观尺度下物体表面粗糙度对表面的气体流动具有显著影响,表面粗糙度的存在使表面附近的空气流速梯度减小<sup>[19]</sup>。如果此时聚酰亚胺表面存在亲水基团,如图1所示,低流速的空气能够减少亲水基团与空气的接触,保持聚酰亚胺表面的亲水性。

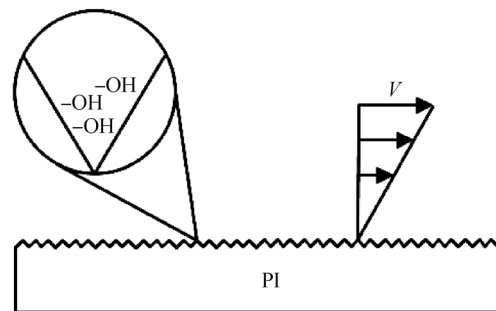


图1 聚酰亚胺表面亲水性保持原理

Fig. 1 Maintain principle of hydrophilic of polyimide surface

鉴于此,本文提出一种在引入亲水基团的同时增大表面粗糙度的方法,在使用氧气等离子体引入亲水基团的同时使用氩气等离子体增大表面粗糙度,以期能够长时间保持聚酰亚胺表面的亲水性。

具体工艺过程如图 2 所示。首先,在聚酰亚胺薄板外壁使用匀胶旋涂的方式覆盖  $5\sim 10\ \mu\text{m}$  的 SU-8 胶保护层,用以保护聚酰亚胺表面疏水性,利用超短脉冲激光加工微细喷孔,加工时调整光斑直径为  $50\ \mu\text{m}$ ,加工完成后在超声波清洗机中使用乙醇进行清洗去除加工屑。然后,使用氧气和氩气的混合等离子体对聚酰亚胺进行表面改性处理,调节功率为  $200\ \text{W}$ ,起辉压强为  $40\ \text{Pa}$ ,气体流量为  $200\ \text{mL}/\text{min}$ ,时间为  $40\ \text{min}$ ,等离子体处理增大了喷孔内壁的表面粗糙度并提升了亲水性。最后,使用 PG 去胶剂去除 SU-8 胶保护层,从而获得内壁亲水,外壁疏水的喷孔。

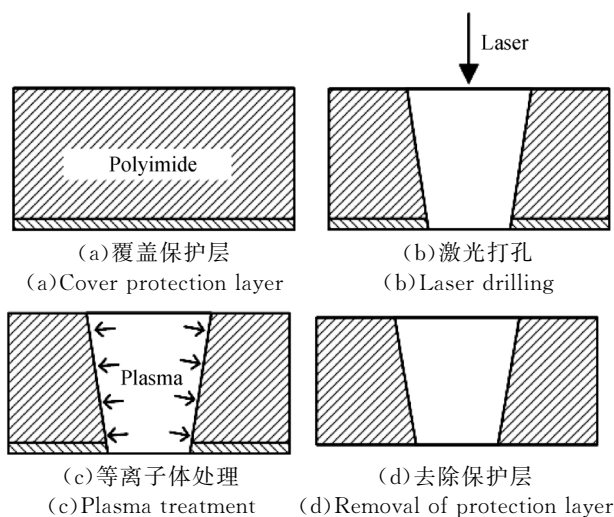


图 2 喷孔制备工艺

Fig. 2 Nozzle preparation process

### 3 聚酰亚胺表面亲水性保持测试

本文使用旋涂聚酰亚胺薄膜对表面亲水性保

持机理进行实验,原料为北京波米科技有限公司生产的 SKPI-305IIB 型涂层胶。采用 4 英寸石英玻璃片作为旋涂聚酰亚胺的基底,旋涂前对基底进行清洁预处理,将石英玻璃片浸入乙醇溶液中超声波清洗  $3\ \text{min}$ ,在洁净间内取出后使用高压氮气表面吹干,放入等离子体清洗机(铭恒 PDC-MG)中进行氧气等离子体处理( $15\ \text{s}$ ),增加玻璃表面与聚酰亚胺涂层的结合力。使用匀胶机(创世威纳 SC-1B)对聚酰亚胺进行旋涂处理,最高旋涂速度为  $4\ 000\ \text{r}/\text{min}$ 。旋涂完成后置于鼓风干燥箱中进行热固化处理,固化后的聚酰亚胺薄膜厚度约为  $1\ \mu\text{m}$ 。

为了对比等离子体处理对聚酰亚胺表面性质的影响,所用气体种类为氧气、氩气以及氧气氩气比例为  $1:1$  的混合气体。等离子体处理前对真空室进行气体清洁,使所用的气体比例达到真空室的  $90\%$  以上。调节射频功率为  $200\ \text{W}$ ,起辉压强为  $40\ \text{Pa}$ ,气体流量为  $200\ \text{mL}/\text{min}$ ,起辉开始后真空室中的压强维持在  $45\sim 50\ \text{Pa}$ ,单次等离子体处理时间为  $10\ \text{min}$ ,处理前在试样上覆盖 PE 掩膜以保留原始表面,等离子体处理后再次覆盖掩膜,重复进行气体清洁、等离子体处理及覆盖掩膜,直至暴露出石英玻璃基底,过程如图 3 所示。多次掩膜使聚酰亚胺薄膜表面呈现出台阶形貌,取下所有掩膜后,利用白光干涉仪(Mapvue AE)观察试样表面形貌,可以获得聚酰亚胺薄膜表面的台阶高度及表面粗糙度信息,其中台阶高度反映表面刻蚀速率。

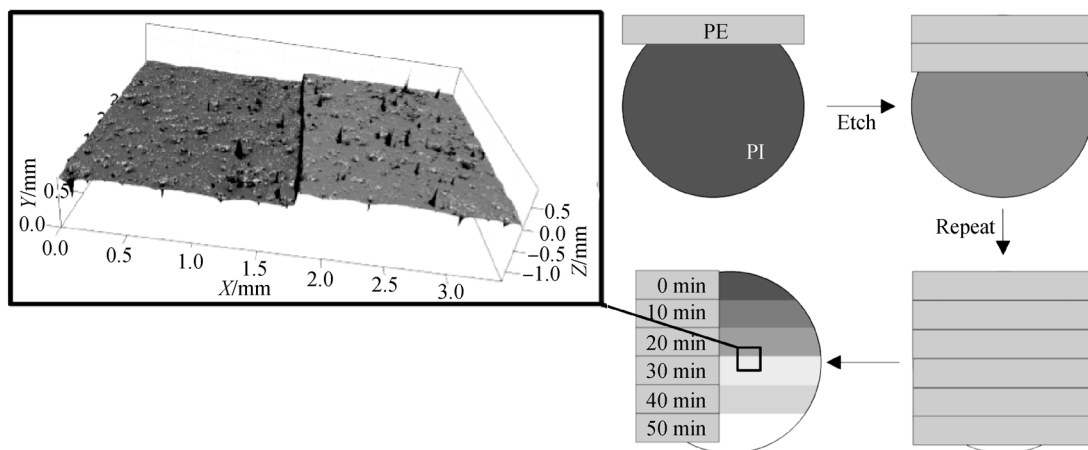


图 3 聚酰亚胺表面掩膜覆盖

Fig. 3 Cover masks on polyimide surface

### 3.1 表面粗糙度及刻蚀速率

在使用不同等离子体处理后,聚酰亚胺的表面形貌如图4所示。氧气等离子体处理后表面质量最高,对表面粗糙度进行测定,结果如图5所示,使用氧气等离子体处理时,表面粗糙度呈持续下降趋势;使用氩气和氩氧混合气体时,表面粗糙度先下降再升高。



图4 不同气体等离子体处理后的表面形貌

Fig. 4 Surface morphology after different plasma treatment

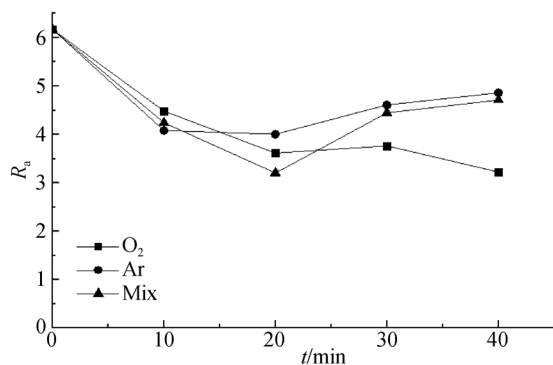


图5 表面粗糙度与等离子体处理时间的关系

Fig. 5 Relationship between surface roughness and plasma treating time

氧气等离子体处理时,化学性刻蚀占主导地位。化学性刻蚀是利用等离子体中的化学活性原子团与被刻蚀材料发生化学反应以达到刻蚀的目的,与化学抛光类似,能够获得较高的表面质量。氩气等离子体主导的物理性刻蚀是依靠能量的轰击打出原子,导致表面粗糙度会随着时间的增加而逐渐变大。使用混合气体时,由于化学抛光现象的存在,表面粗糙度略低于仅使用氩气时的情况。

### 3.2 聚酰亚胺薄膜表面亲水性

等离子体处理后,立即对聚酰亚胺表面进行亲水性测试。将接触角作为聚酰亚胺薄膜亲水性的评价标准,接触角越小则亲水性越强,使用直接测量法获得接触角信息<sup>[20]</sup>。如图6所示,使用微

量进样器取5 μL去离子水滴于聚酰亚胺表面,通过电子显微镜直接观察并测量水滴所构成弓形的弓高h、弓长l以及所在圆半径R,多次测量后使用公式(1)计算其接触角均值。将试样长时间放置于室温环境中,再次测量并计算接触角得到:

$$\theta = 90^\circ - \arctan[2(R-h)/l]. \quad (1)$$

等离子体处理对聚酰亚胺表面的亲水性影响是十分显著的,如图7所示,未经等离子体处理的聚酰亚胺表面的平均接触角为76°。经过等离子体处理后,聚酰亚胺表面的亲水性得到显著提高,如图8所示。氧气及氩气等离子体处理使聚酰亚胺的表面接触角降低至30°~40°,氩气氧气混合气体的等离子体处理使聚酰亚胺的表面接触角降低至20°~30°。使用混合气体等离子体处理能够明显改善聚酰亚胺表面的亲水性。

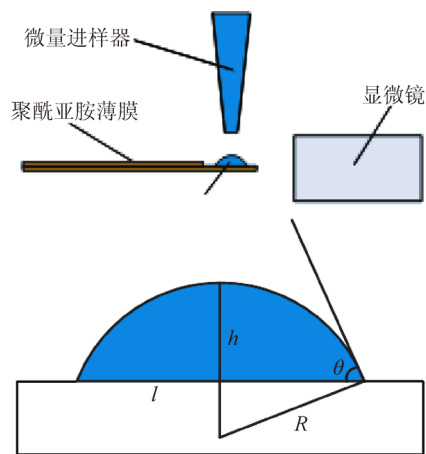


图6 接触角测量原理

Fig. 6 Principle of contact angle measurement

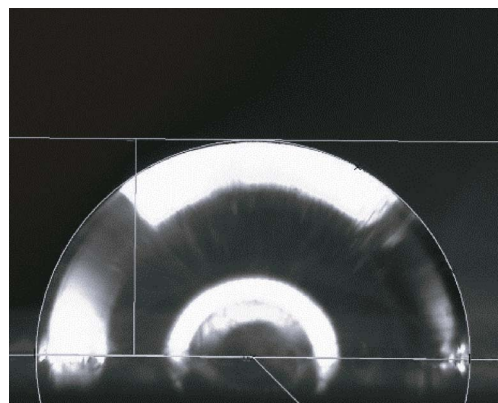


图7 未处理聚酰亚胺表面接触角

Fig. 7 Surface contact angle of untreated polyimide

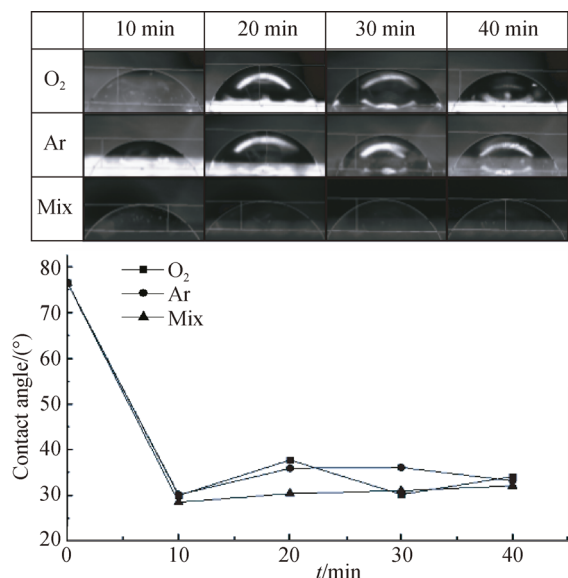


图 8 立即测量的接触角与等离子处理时间的关系

Fig. 8 Relationship between contact angle and plasma treating time in immediate measurement

经过 100 h 以上的长时间放置之后,再次对接触角进行测量,结果如图 9 所示。氩气和氧气单气体处理的表面接触角已经基本接近未经处理的表面,混合气体等离子体处理后的接触角要比单一气体处理后低 20°~30°,并且等离子体处理时间越长,长时间放置后接触角越小。使用混合气体等离子体处理能够长时间保持聚酰亚胺表面的亲水性。

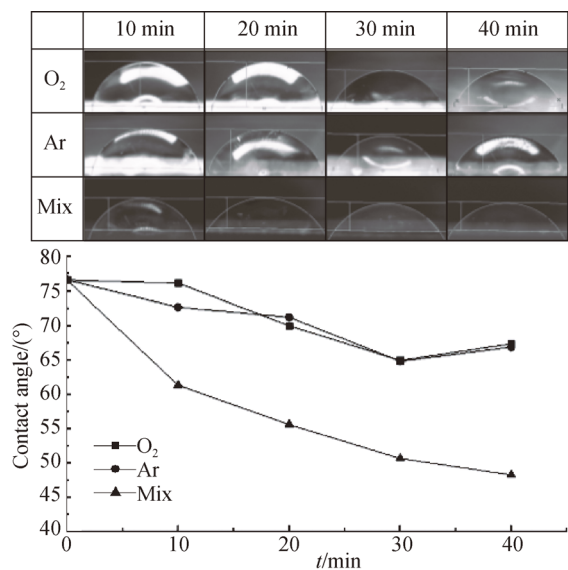


图 9 100 h 后测量的接触角与刻蚀时间的关系

Fig. 9 Relationship between contact angle and plasma treating time measured after 100 hours

### 4 微喷孔处理实验与仿真

利用超短脉冲激光在 100 μm 厚度的聚酰亚胺薄板上加工出微细喷孔,如图 10 所示,该喷孔的出口直径为 58 μm,对它进行混合等离子处理。由于在微尺度下无法测量亲水性,本文通过测定喷孔内壁的表面粗糙度,并与聚酰亚胺薄膜实验结果进行对比。使用白光干涉仪进行观测,喷孔内壁的平均表面粗糙度  $R_a = 4.82$ ,达到与薄膜实验相近的表面粗糙度。由于等离子体处理无方向性,喷孔内壁上也必然附着羟基,可以认为聚酰亚胺喷孔处理与薄膜处理能够获得相同的表面性质。

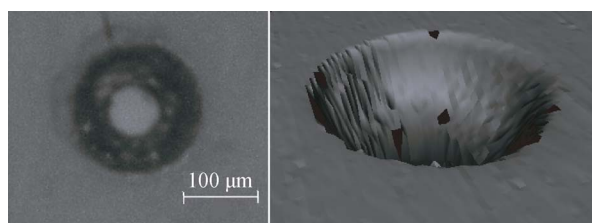


图 10 喷孔等离子体处理及白光测试

Fig. 10 Plasma treatment and white light test of nozzle

喷孔内壁亲水性对喷墨打印的影响主要体现在墨水填充速度上。建立图 11 所示的墨水毛细填充模型,当墨水与壁面的接触角  $< 90^\circ$  时,墨水会在毛细力的作用下逐渐填满喷孔,提高墨水填充速度,有利于提升打印头的工作频率。仿真模型中喷孔直径为 50 μm,孔深为 100 μm,孔内壁接触角分别为 78°和 50°,墨水表面张力为 728 m · N/m,输出墨滴在喷孔内壁边界位移与时间的关系。

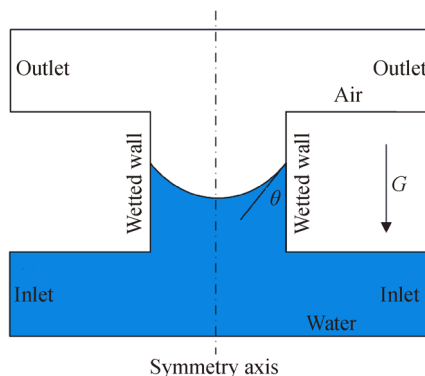


图 11 毛细填充模型

Fig. 11 Capillary filling model

仿真结果如图 12 所示,当内壁接触角为 50°时,墨水自发填充时间需要 70 μs;当接触角为 78°时,填

充时间需要  $140 \mu\text{s}$ ,表明更高的亲水性能够有效提升墨滴填充速率,有利于提升喷墨打印频率。

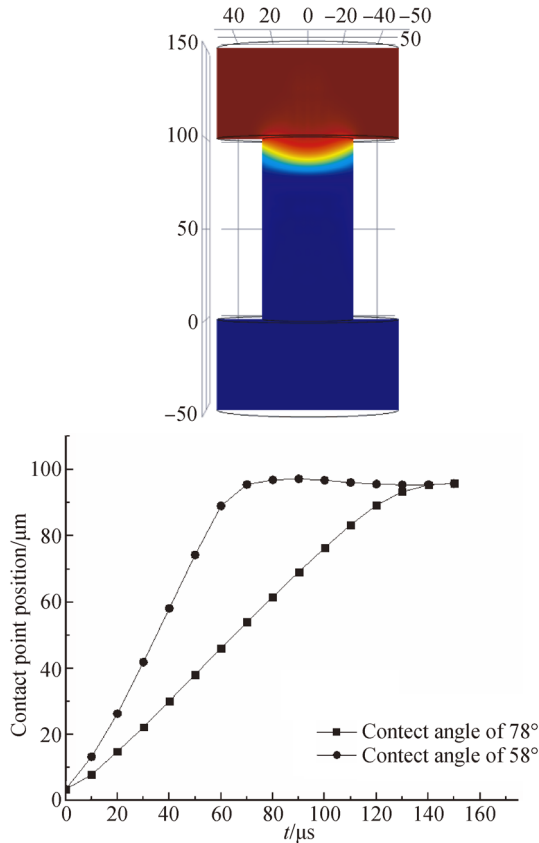


图 12 墨滴填充仿真结果

Fig. 12 Simulation results of ink droplet filling

#### 参考文献:

- [1] 常家庆, 黄博, 刘亚欣. 圆管式压电喷头的液体分配[J]. 光学精密工程, 2017, 25(4):954-962. CHANG J Q, HUANG B, LIU Y X. Liquid distribution of tubular piezoelectric print head [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(4):954-962. (in Chinese)
- [2] 姚海根. 数字印刷与平面数字出版 [J]. 印刷杂志, 2005(10): 60-61. YAO H G. Digital printing and plano-digital publishing [J]. *Printing Field*, 2005(10): 60-61. (in Chinese)
- [3] 杨强. 喷墨打印墨滴的动态行为研究 [D]. 北京: 中国科学院大学博士论文, 2015. YANG Q. *Study on the Dynamic Behavior of Ink-Jet Printing Ink* [D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2015. (in Chinese)
- [4] SHEN S C, LEE C J, WANG M W, et al.. Fabrication micro-nozzle plates for inkjet print head using LIGA process [J]. *Materials Science Forum*, 2008, 594:132-137.

## 5 结 论

本文提出了一种使用氧气与氩气混合等离子体处理的方法,在引入亲水基团的同时能够增大表面粗糙度,用以保持聚酰亚胺微喷孔内壁的亲水性。在经过氧气、氩气及氩氧混合气体等离子体处理后,对聚酰亚胺薄膜的表面粗糙度及接触角进行了测量分析,并在实际加工的微喷孔中进行了实验及仿真。实验结果表明:使用氩气、氧气混合气体的等离子体处理能够长时间保持聚酰亚胺薄膜表面的亲水性,经过长时间放置后,聚酰亚胺的表面接触角保持在  $50^\circ \sim 60^\circ$ ,相比初始表面降低了  $20^\circ \sim 30^\circ$ ,验证了聚酰亚胺表面保持亲水性理论的可行性。经过混合等离子体处理后,喷孔内壁达到与薄膜实验相近的表面粗糙度,由于等离子体处理无方向性,喷孔内壁上也必然附着羟基,认为微喷孔与薄膜表面等离子体处理具有相同的表面性质。通过建立仿真模型,验证了提升亲水性有利于喷墨打印中的墨滴填充,接触角由  $78^\circ$ 减小至  $50^\circ$ 时,墨滴填充时间由  $140 \mu\text{s}$ 缩短至  $70 \mu\text{s}$ 。

- [5] 褚祥诚, 仲作金, 张红军, 等. 喷墨打印头陶瓷喷孔的皮秒激光加工研究 [J]. 佛山陶瓷, 2014, 24(12):24-26. CHU X CH, ZHONG Z J, ZHANG H J, et al.. Picosecond laser machining of ceramic nozzle for inkjet printhead [J]. *Foshan Ceramics*, 2014, 24(12):24-26. (in Chinese)
- [6] LINDEMANN T, ASHAUER H, YU Y, et al.. One inch thermal bubble jet printhead with laser structured integrated polyimide nozzle plate [J]. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2007, 16(2):420-428.
- [7] 邓永波, 张平, 杜新, 等. 亲/疏水性不同壁面组成微通道的深宽比与通道内液体的自发毛细流动 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(7):1562-1567. DENG Y B, ZHANG P, DU X, et al.. Aspect ratio for microchannels with nonuniform surface properties and spontaneous capillary [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7):1562-1567. (in Chinese)
- [8] BEACH B L, SMITH S D, JACKSON T H, et al.. Polyimide nozzle plate for ink jet printer with surface

- containing a layer derived from a polydialkylsiloxane having a reactive end group which covalently binds the polysiloxane to the polyimide; ink repellency in selected areas: US, US 6151045 A[P]. 2000.
- [9] LINDEMANN T, ASHAUER H, GOETTSCHE T, *et al.*. Bubble jet printhead with integrated polyimide nozzle plate [J]. *18th IEEE International Conference on*, 2005:560-563.
- [10] DRURY P R. Method of manufacturing a component for droplet deposition apparatus: WO, US8042269 [P]. 2011.
- [11] 辜信实. 印制电路用覆铜箔层压板 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002:389.  
GU X SH. *Copper Clad Laminate for Printed Circuit Board* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:389. (in Chinese)
- [12] GHOSH I, KONAR J, BHOWMICK A K. Surface properties of chemically modified polyimide films [J]. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1997, 11 (6): 8772893.
- [13] PARK W J, YOON S G, JUNG W S, *et al.*. Effect of dielectric barrier discharge on surface modification characteristics of polyimide film [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2007, 201 (9211):501725020.
- [14] WANG W C, KANG E T, NEOH K G. Electroless plating of copper on polyimide films modified by plasma graft copolymerization with 4-vinyl pyridine [J]. *Applied Surface Science*, 2002, 199 (1/4):52266.
- [15] 马进, 吴臣国, 吴佩璇. 等离子体轰击致聚酰亚胺表面亲水性研究 [J]. *真空科学与技术学报*, 2009, 29(6):664-668.  
MA J, WU CH G, WU P X. Hydrophilicity of polyimide surface-modified by plasma bombardment [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2009, 29(6):664-668. (in Chinese)
- [16] KOH S K, PARK S C, KIM S R. Surface modification of polytetrafluoroethylene by Ar<sup>+</sup> irradiation for improved adhesion to other materials [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1997, 64 (10):1913-1921.
- [17] 杨建忠, 杨冰磊. 利用低温等离子体处理实现聚酰亚胺纤维表面改性 [J]. *西安工程大学学报*, 2009, 23(2):136-140.  
YANG J ZH, YANG B L. Surface modification effect of polyimide fiber by low temperature plasma treatment [J]. *Journal of Xi'an Polytechnic University*, 2009, 23(2):136-140. (in Chinese)
- [18] 郑朝奎, 沈丽. 等离子体处理条件对聚酰亚胺薄膜表面处理效果的影响 [J]. *表面技术*, 2012, 41 (3):90-93.  
ZHENG X L, SHEN L. The effect of different plasma treatment conditions on the surface properties of polyimide film [J]. *Surface Technology*, 2012, 41(3):90-93. (in Chinese)
- [19] 唐桂华, 何雅玲, 陶文铨. 粗糙度与气体稀薄性对微尺度流动特性的影响 [J]. *工程热物理学报*, 2006, 27(2):304-306.  
TANG G H, HE Y L, TAO W Q. Roughness and rarefaction effects on flow characteristics in microchannels [J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2006, 27(2):304-306. (in Chinese)
- [20] 徐志钮, 王国利, 赵丽娟, 等. 亲水性时静态接触角算法及在硅橡胶憎水性检测中的应用 [J]. *高电压技术*, 2012(8): 1891-1900.  
XU ZH N, WANG G L, ZHAO L J, *et al.*. Static contact angle algorithm of hydrophilicity and its application in silicone rubber hydrophobicity detection [J]. *High Voltage Technology*, 2012(8): 1891-1900. (in Chinese)

## 作者简介:



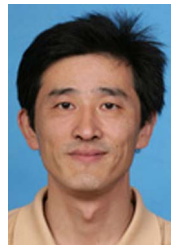
赵翔(1991—),男,山东青岛人,博士研究生,2013年于北京科技大学获得学士学位,主要从事喷墨打印和3D打印方向的研究。E-mail: 56114151@qq.com

## 通讯作者:



李勇(1962—),男,河南方城人,博士,教授,博士生导师,1991年于日本新潟大学获得博士学位,主要从事微细电加工工艺与装备、单点金刚石刀具超精密切削加工及微流控 MEMS 等技术的研究。E-mail: liyong@mail.tsinghua.edu.cn

## 导师简介:



贾志新(1968—),男,吉林长春人,博士,教授,1995年于山东工业大学获得博士学位,主要从事特种加工、数控机床可靠性和虚拟技术的研究。E-mail: jiavax1@sina.com