

一种集成非 PDMS 气动阀的塑料微流控芯片研制

王晓东¹, 杨平¹, 范真真¹, 周海梦¹, 叶嘉明^{1,2}

(1. 浙江清华长三角研究院萧山生物工程中心, 浙江杭州 311231;

2. 国家食品安全风险评估中心应用技术合作中心, 浙江嘉兴 314006)

摘要: 研制了一种使用双面胶带和弹性薄膜加工集成气动阀的高聚物微流控芯片。使用弹性薄膜和胶带材料制备气动阀具有快速和低成本优势, 该方法可应用于集成气动阀的一次性塑料芯片制备, 降低芯片制造成本和周期。实验表明: 通过施加外源气体压强, 可以精确控制流体通路中气动阀的打开及关闭, 继而精密调控流体运行速度及方向, 验证了气动阀的有效性。

关键词: 柔性微流控芯片; 气动阀; 压力驱动; PMP; 低成本

中图分类号: O657 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2016)04-0005-03

Plastic Microfluidic Devices Integrated with Pneumatic Valves Made by Non-PDMS Material

WANG Xiao-dong¹, YANG Ping¹, FAN Zhen-zhen¹, ZHOU Hai-meng¹, YE Jia-ming^{1,2}.

(1. Biotechnology Center at Hangzhou, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Hangzhou 311231, China;

2. China National Center for Food Safety Risk Assessment Cooperation Center for Application Technology, Jiaxing 314006, China)

Abstract: A low-cost and rapid approach to fabricate flexible microfluidic devices integrated with pneumatic valves using double-sided adhesive tape and Polymethylpentene (PMP) film was described in this paper, whose performance was characterized by applying external pressure source to the control channel. The proposed method can greatly reduce manufacture costs and period. The experimental results show that by applying exogenous gas pressure, the pneumatic valve opening and closing can be precisely controlled and fluid speed and direction can be controlled, thus verifying the effectiveness of the valve.

Key words: flexible microfluidic devices; pneumatic valves; pressure actuation; PMP; low cost

0 引言

微流控芯片又称芯片实验室 (lab on chip)^[1], 是通过微加工技术在硅、金属、高分子聚合物、玻璃、石英等材质基片上, 加工成型微米级流体通道及各种结构单元, 而后对流体进行操控以完成单个或多个化学和生物化学过程。流体操控是微流控芯片分析的关键技术, 微阀作为流体操控部件, 可实现流体通道的开、关以及流体流向的切换, 是微流控系统最重要的部件之一^[2-3], 微阀的研究已成为当前微流控系统研究中最活跃的一个分支。

近年来, 基于不同设计原理和结构的微阀如气动阀^[4-5]、压电阀^[6-7]、相变阀^[8-9]等已相继得到报道。其中聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 气动微阀因其易用性及高度集成性, 成为目前微流控芯片领域最常用的微阀之一^[4]。但 PDMS 材料本身存在的缺陷 (表面较难改性、对有机溶剂适用性差)^[10] 和加工的复杂性 (需专业设备、成本高、周期长等) 都限制它的进一步应用。因此, 迫切需要开发一种简单、快速、低成本的非 PDMS 材料气动阀制作方法。

本文提出了一种集成非 PDMS 气动阀的塑料微流控芯片

研制, 芯片所需微结构和通道由激光雕刻机刻蚀完成, 最后双面胶带逐层键合制得。气/液隔离层为商品化 (Polymethylpentene, PMP) 弹性薄膜, 具有优异的光学透明性和低氧渗透性, 无需表面修饰处理即可实现与双面胶带快速高强度键合。该方法降低气动阀芯片制造成本和周期, 工艺简单, 可广泛应用于一次性微流控芯片系统。

1 实验

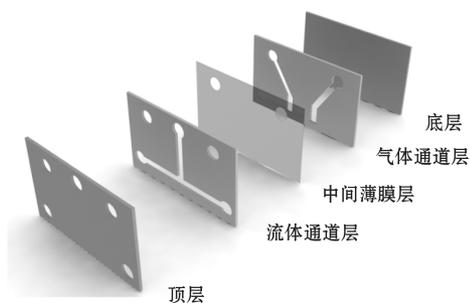
1.1 材料与仪器

PET, 厚度 200 μm , 乐凯胶片公司乐凯薄膜厂; 双面胶带 (ARcare[®] 90106), 厚度 100 μm , 上海 Adhesives Research 公司; PMP 弹性薄膜, 厚度 20 μm , 托普日用化学品有限公司。

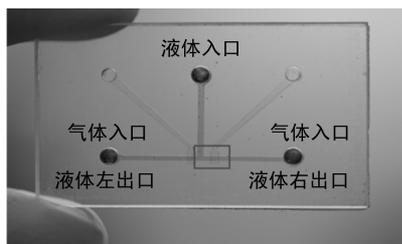
二氧化碳激光芯片雕刻机 (GCC Laser PRO[™] Mercury, 广州里程科技有限公司); 光学显微镜 (DM-IRB, Leica); 微量注射泵 (RSP01-A, 瑞创科技); 氮气钢瓶 (杭州民星化工科技有限公司)。

1.2 芯片设计

如图 1(a) 所示, 气动阀芯片由 5 层组成, 依次为顶层、流体通道层、中间薄膜层、气体通道层和底层, 所用材料分别为 PET、AR 双面胶带、PMP 弹性薄膜、AR 双面胶带、PET。图 1(b) 为芯片实物图, 图中深色为 T 型液路通道; 浅色为气体控制通道, 框内为气动阀区, 流体和控制通道尺寸均为 1 mm 宽和 200 μm 深。



(a) 芯片三维结构示意图



(b) 气动阀芯片实物照片

图1 芯片的设计及实物图

1.3 芯片加工

芯片的制备流程如图2所示。使用CO₂激光雕刻机在芯片基材烧蚀所需微结构,CO₂激光器连续发射光束($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$),光路系统将其聚焦在芯片基材表面使照射区域的高分子材料热熔和气化。计算机控制激光器按软件编制的图案移动光斑,最终完成芯片微结构的加工,最后双面胶带逐层键合制得芯片。

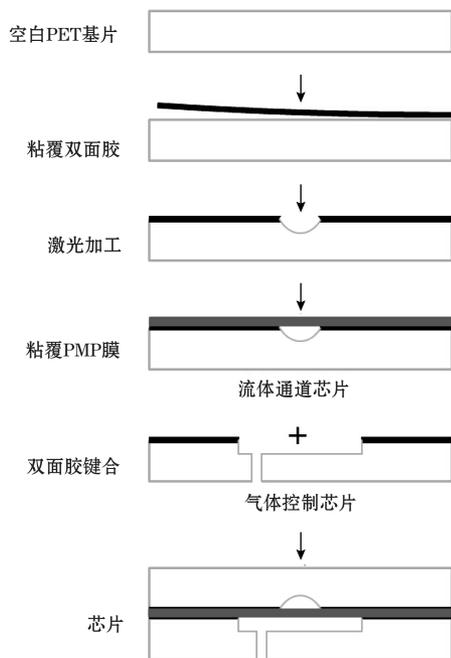
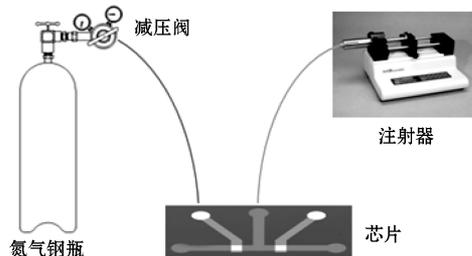


图2 芯片制作流程示意图

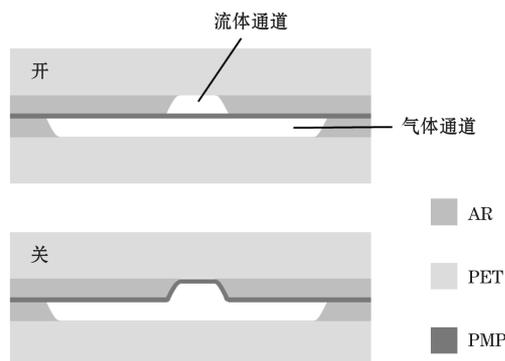
1.4 微阀测试实验装置

搭建如图3(a)所示的微阀测试实验装置,微量注射泵连接芯片入液口,驱动通道内液体的流动,氮气钢瓶连接芯片一侧气体入口,通过调节控制层腔室正压力实现薄膜的上偏移,

可迅速关闭上部流体通道(图3(b))。



(a) 微阀测试实验装置示意图



(b) 气动阀工作示意图

图3 气动阀测试装置及工作示意图

2 结果和讨论

2.1 弹性薄膜的选择

目前用于制备气动微阀的薄膜材料主要是PDMS,考虑到微阀材料的加工成本及材料性能,本文选择商品化PMP膜作为芯片中间层,该材料具有价格低廉、低毒性、高透光性(90%~92%可见光透射率)、低氧渗透性(32.3 Barrer)和热稳定性(熔点:235℃)等优点,无需表面修饰处理即可实现与双面胶带快速及高强度键合,尤其适合于一次性塑料芯片中气/液路的隔离。

2.2 圆弧状流体通道的制备

激光雕刻机的光束能量强度为高斯曲线分布(图4(a)),在PET基材上加工的通道截面也为高斯曲线状(图4(b)),完全满足Quake气动阀所需液体通道截面为圆弧状的要求^[4]。因此激光刻蚀法制备的微阀在较小气压下即可实现流路的完全关闭。

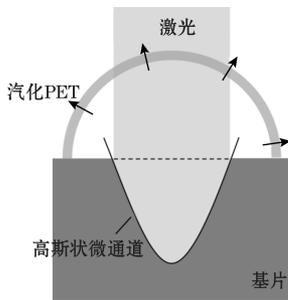
2.3 微阀性能测试

2.3.1 耐压性

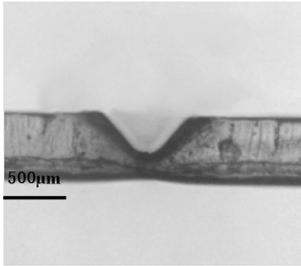
通过对控制层施加外源压力,评估了芯片的耐压性。测试结果表明芯片能够承受最高400 kPa的压强而不发生通道泄漏或脱开现象,该工作条件足以满足多数塑料芯片的压强应用范围。

2.3.2 微阀有效性考察

在恒定入口流速(500 $\mu\text{L}/\text{min}$)下对控制层施加不同的气体压强,微阀显微镜照片如图5(a)所示,随着压强增大,流体通道颜色越来越浅,表明弹性膜向通道层的翘曲程度逐渐加强,直至右侧微阀完全关闭,液体全部由另一侧流出,该压强($P = 80 \text{ kPa}$)即为当前流速下的通道截止压强。图5(b)为不同入口



(a) CO₂ 激光加工 PET 原理图

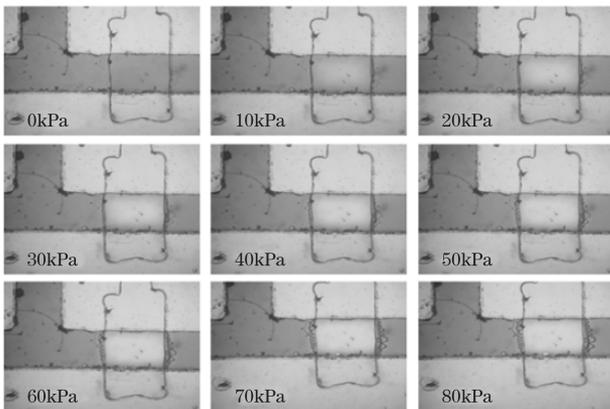


(b) 微通道横截面照片

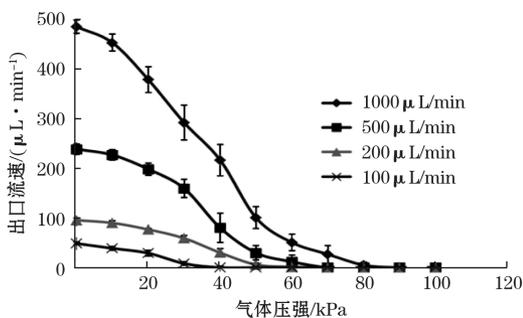
图4 圆弧状流体通道制备示意图

流速下气动阀压强-流速曲线,结果表明在入口流速 100~1 000 μL/min 区内间,气动微阀都可以实现出口流速的精确调节及流路通断。

通过改变两侧气动阀开关切换,该 T 型流路芯片也可用作三通阀,实现对流体的方向控制。上述实验表明了 PMP 气动微阀具有良好的开/关和流速调节性能。



(a) 气动微阀在不同压强下的显微镜照片 (500 μL/min)



(b) 压强-流速曲线(PS)

图5 性能测试图

3 结束语

研制了一种集成非 PDMS 气动阀的塑料微流控芯片。该气动阀具有的优势:(1)CO₂ 激光加工成本低,双面胶封装工艺简单、易于集成;(2)避免繁琐的 PDMS 材料表面修饰和制备过程;(3)PMP 材料化学稳定性好、透光率高。该方法降低芯片制造成本和周期,工艺简单,易于批量化生产,尤其适合于一次性塑料芯片中气/液路的隔离。

参考文献:

- [1] WHITESIDES G M. The origins and the future of microfluidics [J]. Nature, 2006, 442: 368-373.
- [2] OH K W, AHN C H. A review of microvalves [J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2006, 16: R13-R39.
- [3] AU A K, LAI H, UTELA B R, et al. Microvalves and micropumps for BioMEMS [J]. Micromachines, 2011, 2: 179-220.
- [4] UNGER M A, CHOU H P, THORSEN T, et al. Monolithic microfabricated valves and pumps by multilayer soft lithography [J]. Science, 2000, 288: 113-116.
- [5] STUDER V, HANG G, PANDOLFI A, et al. Scaling properties of a low-actuation pressure microfluidic valve [J]. Journal of Applied Physics, 2004, 95: 393-398.
- [6] KIRBY B J, SHEPODD T J, HASSELBRINK E F. Voltage-addressable on/off microvalves for high-pressure microchip separations [J]. Journal of Chromatography A, 2002, 979: 147-154.
- [7] LI H Q, ROBERTS D C, STEYN J L, et al. Fabrication of a high frequency piezoelectric microvalve [J]. Sensors Actuators A, 2004, 111: 51-56.
- [8] CARLEN E T, MASTRANGELO C H. Surface micromachined paraffin-actuated microvalve [J]. Journal Microelectromechanical Systems, 2002, 11: 408-420.
- [9] PAL R, YANG M, JOHNSON B N, et al. Phase change microvalve for integrated devices [J]. Analytical Chemistry, 2004, 76: 3740-3748.
- [10] WEIBEL D B, WHITESIDES G M. Applications of microfluidics in chemical biology [J]. Current Opinion in Chemical Biology, 2006, 10: 584-591.

作者简介: 王晓东 (1978—), 副研究员, 博士, 主要从事生物传感器研究。E-mail: wangxd_2014@126.com

提醒作者注意

近期发现有人冒充《仪表技术与传感器》建立虚假网站,并以编辑名义误导作者投稿,以快速发表文章为诱饵收取版面费、审稿费。我刊提醒作者注意:www.i-s.com.cn 或 www.17sensor.com 为本刊投稿网站,编辑部未委托任何投稿机构征稿,也从未委托任何代理机构和个人对外组稿。郑重提醒广大作者,投稿时,一定要登录 www.i-s.com.cn 或 www.17sensor.com,先在线注册,然后在线投稿。

汇版面费时注意汇款地址,本刊版面费不支持个人账户、微信、支付宝等汇款方式,提高警惕,保障自己的权益。

编辑部咨询电话:024-88718630 88718620