

# 微流控芯片光固化模塑成型的快捷加工技术

罗锡丹 贺建芸\* 康维嘉 胡凌骁 杨卫民 谢鹏程

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

**摘要:** 采用光固化模塑法代替传统的芯片加工方法,用液体光固化材料代替传统的热塑性高分子材料以及玻璃和硅等无机材料,研究了一种微流控芯片的快捷、低成本制作方法;同时研制出了适用于光固化材料芯片的键合方法。对键合后的芯片进行检验,实验结果表明,光固化模塑成型的微流控芯片流道精度高、完整性好、通畅度佳;芯片透光性良好,红外光及紫外光透过率分别达94%和24%;在芯片的混合流道内能形成水包油的液滴。整个制造过程能够满足微流控芯片批量化生产的要求,且相应的生产设备造价不高,降低了微流控芯片的制作成本。

**关键词:** 微流控芯片;光固化模塑;微加工;液滴

**中图分类号:** TQ320.72 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2017.05.014

## 引言

微流控芯片技术起源于分析化学领域,现已发展成为涉及分析化学、微机电系统(MEMS)、计算机科学、材料学、生物学等多学科领域的集成化技术。微流控芯片是微流控分析的主要平台,可以实现多种分析功能,如样品的制备、反应、分离、检测、自动分析等,具有材料消耗低、分析速度快及分析液流动可控等优点,是当前微全分析系统的主要发展方向<sup>[1-2]</sup>。

早期制造微流控芯片的材料主要是硅、石英玻璃及高分子材料<sup>[3]</sup>,但以硅和石英玻璃为原料的芯片制作通常采用刻蚀的加工方法,工艺较复杂,且硅、石英玻璃价格昂贵、易碎<sup>[4-5]</sup>;若采用便宜的玻璃与光刻胶来制作微流控芯片,由于玻璃与光刻胶之间的黏附力小,耐刻蚀时间不足从而得不到适合深度的微通道<sup>[6-7]</sup>。目前微流控芯片主要成型方法是高分子材料注塑法,但热塑性高分子材料熔体黏度较高,且随充模过程的进行熔体黏度会进一步增大,因此注塑法加工微流控芯片中常出现微结构填充不满的情况<sup>[8]</sup>。

光固化模塑成型法采用室温下的液体光固化材

料,主要由树脂、单体和光引发剂组成,其黏度大小可根据配方中的单体含量进行调节,能够克服微结构充填不完整的问题。

本文采用光固化注塑成型装置成功制得微流控芯片的基片和盖片,再利用本实验室研制的光化学键合方法成功键合了芯片,通过对芯片进行检测,表明该光固化模塑成型方法可制得满足使用要求的微流控芯片。

## 1 实验准备

### 1.1 主要原料

聚氨酯丙烯酸酯,预聚物,洞头恒立印刷材料有限公司;三羟甲基丙烷三丙烯酸酯(TMPTA),二丙二醇二丙烯酸酯(DPGDA),单体,江苏利田科技有限公司;UV907,UV1173,UV369,光引发剂,长沙新宇化工实业有限公司;去离子水,动力黏度0.001 Pa·s,密度1000 kg/m<sup>3</sup>,合肥亿成实验仪器有限公司;石蜡油,动力黏度0.003 Pa·s,密度887 kg/m<sup>3</sup>,天津市盛鑫源伟业贸易有限公司;色香油(绿色),着色剂,潮州市潮安区不二臣食品贸易有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

紫外光源辐射系统,自制;光源,保定特种光源电器厂;激光显微镜,OLS 4100,显微镜,BX51,万分位电子称,ME104E,奥林巴斯工业有限公司;光学透光率测量仪,KJD-NS550A,深圳市科精达仪器设备有限公司;微注射泵,LSP01-2A,保定格兰恒流泵有限公司;光固化注射成型试验机,自制(图1)。

收稿日期: 2017-03-08

基金项目: 国家自然科学基金(51573017)

第一作者: 女,1993年生,硕士生

\* 通讯联系人

E-mail: jyhe2009@163.com

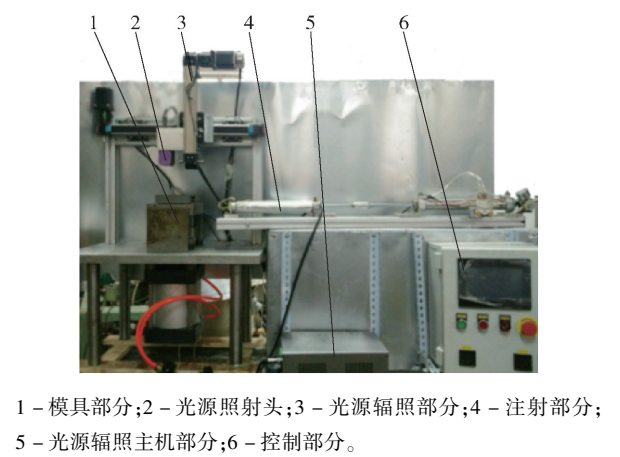


图 1 自制 UV 光固化注射成型试验机  
Fig. 1 UV curing injection molding prototype

1.3 加工步骤

- (1) 利用微注射泵将光固化料充满微型腔；
- (2) 采用 365 nm 波长的紫外光源以 2000 mW/cm<sup>2</sup> 的光照强度对微型腔内的物料辐照 10 s；
- (3) 型腔中的光固化物料快速固化；
- (4) 固化后的制品脱模。

2 芯片的制作

2.1 微通道图形的选择

微通道的选择主要包括储液池的分配,进样通道长度和结构、分离通道的长度和结构(T形、十字形、双T形、Y形)的确定。本实验采用目前流通较广的比较典型的十字形流道,其结构示意图如图 2 所示。

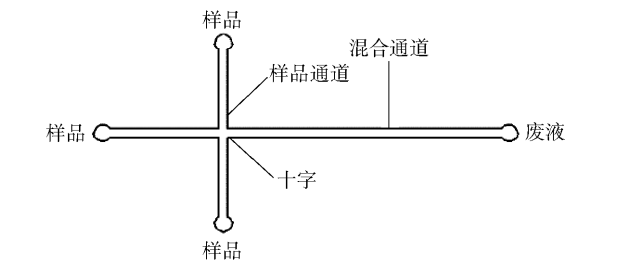


图 2 流道结构示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of the microchannel

2.2 原材料的制备

将聚氨酯丙烯酸酯、三羟甲基丙烷三丙烯酸酯(TMPTA)、二丙二醇二丙烯酸酯(DPGDA)和光引发剂(UV907, UV 1173, UV369)以一定的比例配置,通过搅拌、抽真空等工序,研制出微流控芯片专用光固化材料。

2.3 微流控芯片基片的制备

使用如图 3 所示的带有十字凸台的基片模芯配合自制的模具,用图 1 中自制的光固化注射系统在一定的注射压力下进行注射,待光固化注射料充满型腔后合模;使用紫外光源辐射设备对型腔内的物料以一定的功率进行辐照,待制品完全固化后脱模,取出制品得到微流控芯片带有十字流道的基片,实物图如图 3 所示。

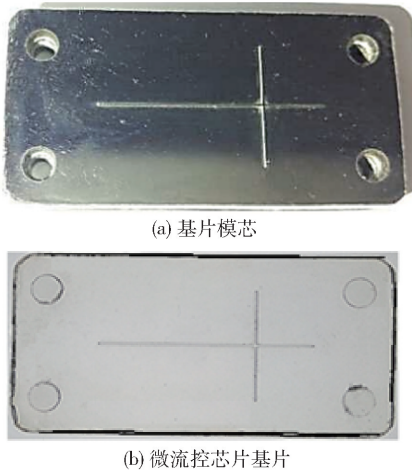


图 3 基片实物图  
Fig. 3 View of the microfluidic chip substrate

2.4 微流控芯片盖片的制备

用如图 4 所示的盖片模芯替换图 1 中自制的光固化注射系统模具的模芯,重复微流控芯片基片制备的步骤,得到微流控芯片的盖片(图 4(b))。

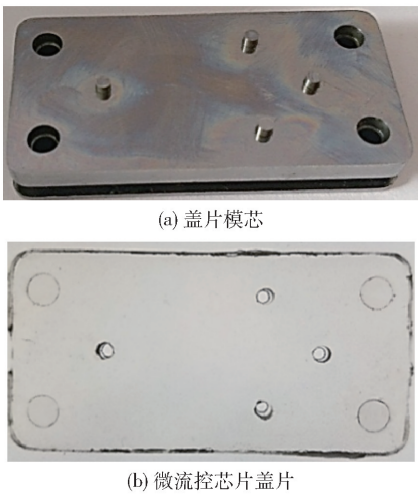


图 4 盖片实物图  
Fig. 4 View of the microfluidic chip cover

2.5 芯片的键合与连管

基片和盖片表面及空气中粘附的颗粒对芯片键合质量有重要影响<sup>[9]</sup>,本实验室选用与基材一致的

微量光固化料作为胶黏剂,能克服一般胶黏剂堵塞微流道的现象。把微流控芯片带有“十字”流道的基片与微流控芯片的盖片进行贴合,利用基片与盖片表面残留的微量光固化料,在一定温度及压力下,制得键合好的微流控芯片,然后连接管路。制成的微流控芯片如图 5 所示。



图 5 制成的微流控芯片

Fig. 5 The microfluidic chip

### 3 芯片的检测及结果分析

#### 3.1 流道复制度

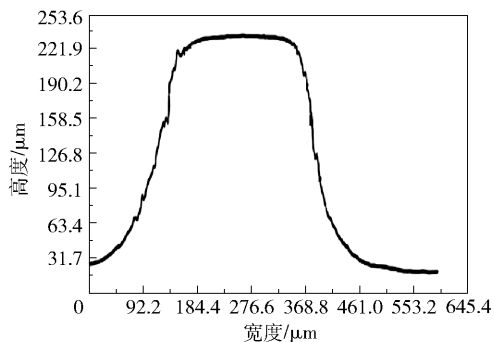
使用激光显微镜观察到的模芯上凸起轮廓图如图 6(a) 所示,光固化模塑成型法得到的基片流道轮廓图如图 6(b) 所示。从图 6(b) 中可以看到流道底部的宽度约为 200 nm,流道从顶部到底部的深度也约为 200 nm,且微流道完整,直线度较好。光固化模塑成型方法解决了目前国内中小批量的微流控芯片制作成本高、芯片质量不稳定、复制度较低的问题。

#### 3.2 流道通畅性

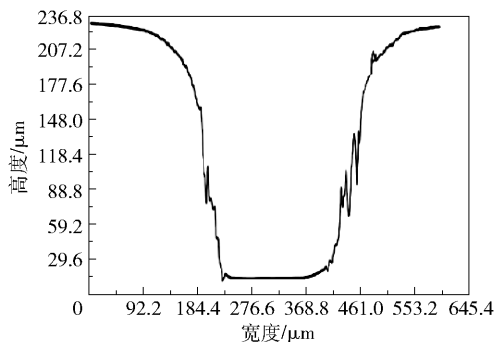
用 4 根管分别与微流控芯片上的 4 个孔相连(图 7(a)),然后使用微泵以 6 mL/min 的速度向管 1 中注入石蜡油,以 4 mL/min 的速度向管 2、管 3 中注入掺有一定比例着色剂的去离子水。使用 BX51 显微镜的 MPL10X 镜头观察微流控芯片的混合流道,能够清晰看到在混合流道内形成了稳定的水包油的液滴(图 7(b)),可以看出水包油液滴稳定地流过芯片混合流道并经管 4 排出,既证明了芯片键合成功,流道无堵塞及漏液现象,也证明在由本文光固化模塑成型法制得的微流控芯片上,可实现微小体积液体的操控。

#### 3.3 透光性

使用光学透过率测量仪测得本文制得的微流控芯片可见光透光率为 90%,红外光透光率为 94%,紫外光透光率为 24%,证明芯片透光性良好,可用于光学检测系统。



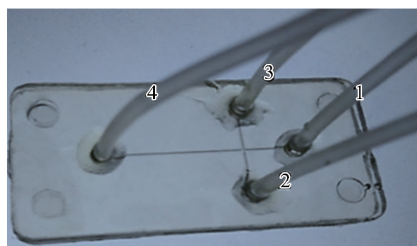
(a) 模芯凸起



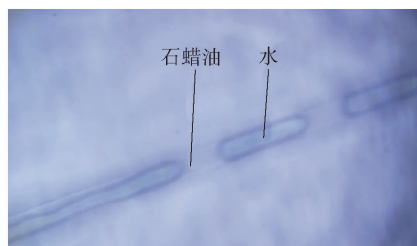
(b) 基片流道

图 6 流道轮廓图

Fig. 6 Outline of the flow microchannel



(a) 连管后的微流控芯片



(b) 微流道内液滴

图 7 流道通畅性检测

Fig. 7 Patency test of the microchannel

### 4 结论

(1) 本文键合方法克服了硅、玻璃芯片的键合需要在超净实验室及超纯水环境中进行的难题,可忽略基片和盖片表面及空气中粘附颗粒对芯片键合质量的影响,从而解决了粘结剂进入只有几百微米深的微通道引发的堵塞问题。

(2) 本文方法成型的基片微通道复制度较好,微流道完整、直线度较好;且制品透光性能良好,可用于光学检测系统。

(3) 本文方法成型的微流控芯片在合适的进样速度下可形成稳定的水包油液滴,能够实现对微小体积液体的操控。

## 参考文献:

- [1] 方肇伦. 微流控分析芯片发展与展望[J]. 大学化学, 2001, 16(2): 1-6.  
Fang Z L. Developments and trends of microfluidic chip analytical systems[J]. University Chemistry, 2001, 16(2): 1-6. (in Chinese)
- [2] 林炳承. 微流控芯片实验室及其功能化[J]. 中国药科大学学报, 2003, 34(1): 1-6.  
Lin B C. Microfluidic-based lab-on-a-chip and its functionality[J]. Journal of China Pharmaceutical University, 2003, 34(1): 1-6. (in Chinese)
- [3] 郑小林, 鄢佳文, 胡宁, 等. 微流控芯片的材料与加工方法研究进展[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(6): 1-4.  
Zheng X L, Yan J W, Hu N, et al. Research progress of materials and fabrication methods of microfluidic chip[J]. Transducer & Microsystem Technologies, 2011, 30(6): 1-4. (in Chinese)
- [4] 江树镇, 郭钟宁, 郑文书, 等. 生物芯片微流道的微细加工工艺[J]. 电加工与模具, 2014(3): 66-70.

- Jiang S Z, Guo Z N, Zheng W S, et al. The micro machining processes of microchannels on biochips [J]. Electro-machining & Mould, 2014(3): 66-70. (in Chinese)
- [5] 唐天同, 王兆宏. 微纳加工科学原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.  
Tang T T, Wang Z H. The scientific principles of micro and nano fabrication[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010. (in Chinese)
- [6] 林炳成, 秦建华. 图解微流控芯片实验室[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
Lin B C, Qin J H. Graphic microfluidic chip lab [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [7] 殷学锋, 沈宏, 方肇伦. 制造玻璃微流控芯片的简易加工技术[J]. 分析化学, 2003, 31(1): 116-119.  
Yin X F, Shen H, Fang Z L. A simplified microfabrication technology for production of glass microfluidic chips [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2003, 31(1): 116-119. (in Chinese)
- [8] 宋满仓, 刘莹, 祝铁丽, 等. 微流控芯片注塑成型缺陷的成因与对策[J]. 机械工程学报, 2011, 47(6): 33-38.  
Song M C, Liu Y, Zhu T L, et al. Analysis of injection molding defects for microfluidic chip [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(6): 33-38. (in Chinese)
- [9] 殷学锋, 方群, 凌云扬. 微流控分析芯片的加工技术[J]. 现代科学仪器, 2001(4): 10-14.  
Yin X F, Fang Q, Ling Y Y. Microfabrication techniques for production of microfluidic chips[J]. Modern Scientific Instruments, 2001(4): 10-14. (in Chinese)

# A simple microfluidic chip fabrication technology for UV curing molding

LUO XiDan HE JianYun\* KANG WeiJia HU LingXiao YANG WeiMin XIE PengCheng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** A light cured resin, monomer, and photoinitiator agent have been employed as a replacement for traditional polymer materials such as glass and silicon to provide a low-cost, fast process for the fabrication of microfluidic chips, giving a light curing molding method rather than the traditional chip processing method. A bonding method suitable for light curing material chips has been developed at the same time. Tests showed that the reproducibility, consistency and patency of the obtained runner are good. The results also show that the chip has good transmittance, with the infrared and ultraviolet transmissivity being 94% and 24% respectively, and droplets of oil in water are formed in the mixed channel of the chip. Since the method has low materials requirements and the manufacturing cost, it can meet the needs of mass production.

**Key words:** microfluidic chip; light curing molding; microfabrication; droplet

(责任编辑:汪 琴)