

文章编号: 1007-2780(2011)02-0174-04

电子纸微杯结构金属模具的设计与制作

浦东林¹, 胡 进¹, 朱鹏飞², 魏国军¹, 陈林森^{1*}

(1. 苏州大学 信息光学工程研究所, 江苏 苏州 215006, E-mail: pudonglin@suda.edu.cn;

2. 苏州苏大维格光电科技股份有限公司, 江苏 苏州 215026)

摘 要: 提出了用于电子纸的微结构金属模具的“选择生长”方法, 即通过在金属基材上形成选择性的导电与不导电图形, 来制作深纹的“微杯”金属模具。在金属基材上涂布负性光刻材料、用带有空间光调制器的激光直写系统曝光形成“微杯”图形, 然后通过电铸工艺制作出镍金属模具。实际制作的“蜂窝”分布的微杯结构参数与设计参数基本吻合。该工艺流程适合研制更大尺寸的电子纸的微杯模具, 将为“微杯”模具制作提供一种有效手段。

关 键 词: 电子纸; 微杯模具; 光刻电铸

中图分类号: TN27

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20112602.0174

Design and Fabrication of Metal Microcup Mould for E-Paper

PU Dong-lin¹, HU Jin¹, ZHU Peng-fei², WEI Guo-jun¹, CHEN Lin-sen¹(1. *Information Optical Engineering Institute of Suzhou University,**Suzhou 215006, China, E-mail: pudonglin@suda.edu.cn;*2. *SVG Optronics, Suzhou 215026, China)*

Abstract: A ‘selective grow’ method for fabricating E-paper metal mould was approached. The microcup pattern with insulating material was made on metal substrate and the mould was obtained with follow-up process. First, Negative photo resists was coated on the metal substrate and the microcup pattern was exposed by a SLM LDW system. Second, after developing process, the metal mould was made by electroforming. The experiment results are according to the input parameters. This method is suit for larger format process, it will be an effective method for microcup mould.

Key words: E-paper; microcup mould; LIGA

1 引 言

电子纸是一种柔性化的新型显示器件, 无需背光, 断电后可以维持显示页面达两个星期以上, 属于节能环保型显示技术, 一些国际大厂和众多研究机构均在积极进行技术与产品研发, 如 E-ink、Sipix、富士通、高通等^[1]。美商显像资讯管

理顾问(Display Search)预估, 2018 年全球电子纸面板产值将达到 96 亿美元^[2]。SiPix 公司提出的“微杯”(Microcup)电泳技术是当前最先进的电子纸技术之一, 其特点是可通过卷对卷生产方式完成微杯压印、灌墨、封装等全部工艺流程^[3-4]。

这种电子纸有如下几项关键技术: (1) 电驱动, 可沿用 TFT 现有的驱动技术; (2) 触摸屏, 也

收稿日期: 2010-08-31; 修订日期: 2010-10-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60777039)

作者简介: 浦东林(1977-), 男, 江苏无锡人, 硕士, 在职博士生, 主要从事激光直写系统设计、微纳结构制作研究。

* 通讯联系人, E-mail: lschen@suda.edu.cn

可沿用目前的技术;(3)“微杯”结构不同于 LCD, 电子纸的结构中必须要有一层用于盛放电子墨水的微容器, 这是一种几百微米宽、几十微米高的深纹结构。深纹结构的模具制造是生产电子纸的一项关键技术, 实验室一般采用 SU-8 厚胶工艺制作深纹模具^[5]。王健等提出了无模具制作微杯的方法^[6]。最近, 韩国 Kwang-Sun Kang 在硅基材上制作了微杯模具^[7]。但是, 上述方法所制作的幅面都受到很大的限制, 不利于工业化应用。

本文提出了光刻+电铸工艺制作“微杯”结构金属模具的方法, 在金属基材上涂覆光刻材料, 用无掩膜图形化光刻获得深纹图形结构, 采用电铸工艺制作“微杯”结构金属模具, 获得镍基材蜂窝“微杯”结构。所提出方法的特点是工艺步骤少且各工艺步骤均适合向大尺寸方向发展, 更有利于电子纸生产中的卷对卷生产工艺。

2 电子纸的微杯结构

电子纸的结构如图 1 所示。从上到下依次是密封层、微杯和透明电极, 电子墨水注入并封装于微型杯内。在电场驱动下, 电子墨水在微杯中进行电泳, 实现显示。如果在相邻的微杯中分别注入三色墨水, 则可实现彩色显示, 无需 LCD 显示屏中的彩色滤光片(Color Filter, CF)。Sipix 公司卷对卷生产电子纸的流程如图 2 所示。

电子纸的微杯结构层是通过金属模具转移工艺获得的, 金属模具的幅面决定了最终可获得的电子纸显示器的尺寸。微杯是一种典型的深纹(高宽比大于 1)结构, 尺度为 $10\sim 20\ \mu\text{m}$ (宽度)、 $15\sim 40\ \mu\text{m}$ (深度)、 $10\sim 20\ \mu\text{m}$ (壁厚), 由于杯壁起支撑和隔离作用, 不参与显示, 所以厚度不宜过大, 如图 3 所示。

传统机械加工手段不能实现这样较为复杂的

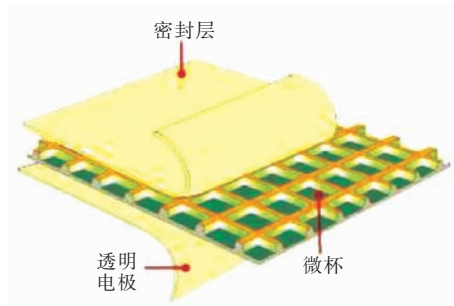


图 1 微杯电子纸结构图

Fig. 1 Structure of microcup E-paper

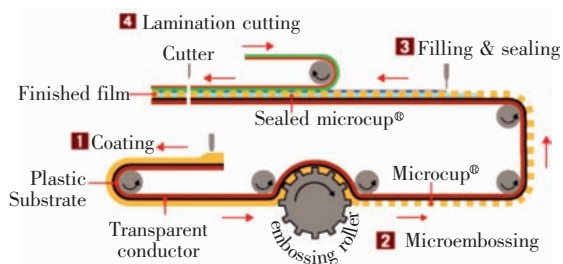


图 2 Sipix 的电子纸生产流程示意图

Fig. 2 E-paper production processes of Sipix

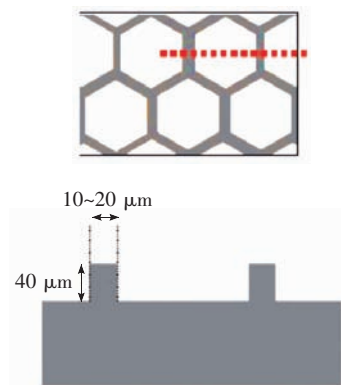


图 3 微杯结构示意图

Fig. 3 Diagram of microcup

深纹微纳加工, 而半导体工艺, 通过 ICP 在硅基上的刻蚀一般只有数微米的深度, 超过 $10\ \mu\text{m}$ 的情况属于 MEMS 工艺^[8], 所以, 半导体工艺也不能直接应用于电子纸微杯模具制作。采用空间调制器的激光直写系统进行图形深纹光刻, 通过精密电铸工艺制作微杯金属模具, 可满足上述微杯结构的精密度要求。

3 选择生长法制作微杯模具

激光直写光刻与电铸工艺均在洁净工作环境中进行, 无需真空环境。宽幅激光直写光刻系统, 可实现尺寸达到 $1\ \text{m}$ (40 in) 的大面积制作。具体制作工艺流程如图 4 所示。首先, 在光滑的镍板上涂布光刻胶(负胶), 用激光图形化光刻方式, 通过空间调制输入单元像素结构, 在光刻胶上逐像素单元(如蜂窝图形)光刻, 并做显影处理, 未曝光部分被去除并“透底”, 这样, 就获得了具有深纹图形结构的光刻胶母板。

“透底”部分图形具有导电性, 而光刻胶图形部分不导电。在电铸工艺中, 由于“透底”金属镍基材有导电性, 所以金属镍将在其上电沉积“生长”, 逐步扩展出覆盖层, 直至覆盖整个光刻胶图

形(厚度约 $500\ \mu\text{m}$);

将镍和光刻胶母板剥离,最后,清洗镍板,将残留在微结构中的光刻胶去除,通过背面研磨抛光,即获得金属镍的微杯模具。

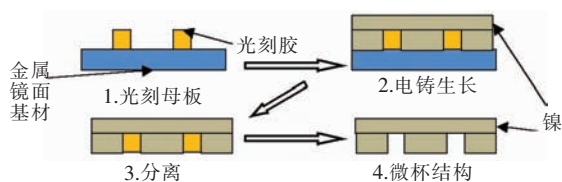


图 4 制作工艺流程图

Fig. 4 Process flow diagram

4 实 验

我们使用的是自行研制的激光并行直写光刻设备 Microlab,采用空间光调制技术(Spatial light modulator,SLM), $405\ \text{nm}$ 波长下的图形分辨率可达 $0.4\ \mu\text{m}$ 。SLM 技术的特点是可以逐图形单元曝光,形成所需要的图形结构排列。本项目“微杯”是蜂窝排列结构,我们选择杜邦公司生产的 Riston LDI840 干膜光刻胶进行了实验验证。

LDI840 干膜属于蓝光敏感的负性光刻胶,在 PET 基材上涂布成膜,厚度为 $38\ \mu\text{m}$,在 $405\ \text{nm}$ 下具有较好的感光灵敏度,适合用激光直写的方式进行图形化。使用时,通过热滚压方式在金属镍基板上贴膜,光刻后用 1% 的 Na_2CO_3 溶液显影。实验中使用镜面镍板作为基板。

图 5 为 Microlab 激光并行直写光刻设备(a)和光学系统原理图(b)。设备采用 $405\ \text{nm}$ 半导体激光器作为光源,空间光调制器为 DMD-SLM,分辨率为 $1\ 024 \times 768$, $10.8\ \mu\text{m}/\text{像素}$ 。DMD-SLM 上的图形经过光学系统后,微缩成像至光刻材料表面。使用数值孔径为 0.8 的物镜,可完全满足微杯结构所需的图形分辨率。精密工件台采用运动分辨率为 $10\ \text{nm}$ 的闭环控制方式,可达到亚微米级别的图形位置精度。

实验中,按照蜂窝微杯结构尺寸(边长 $174\ \mu\text{m}$)生成六边形 bmp 图像,输入至 DMD-SLM,移动工件台逐个单元曝光,控制每个六边形的边间距为 $15\ \mu\text{m}$ (最终将得到微杯的壁),经过显影后曝光部分保留,电铸、清洗后,得到微杯金属镍模具样品,图 6 为样品的检测照片。

经检测,微杯的高度为 $37.1\ \mu\text{m}$,壁宽度为 $13.5\ \mu\text{m}$,六边形两边周期为 $315\ \mu\text{m}$,与制作设计参数基本一致,如表 1 所示。

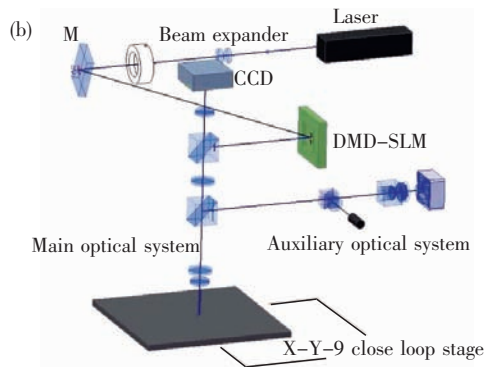


图 5 (a)直写光刻设备;(b)光学原理图。

Fig. 5 (a) Laser direct write system; (b)Optical Schematic diagram of this system.

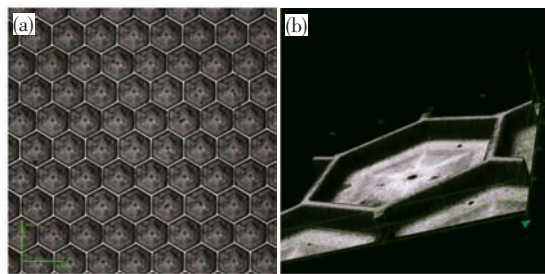


图 6 (a)样品显微照片;(b)微杯单元的激光共焦三维形貌照片。

Fig. 6 (a) Photomicrograph of the sample; (b) Laser confocal 3D image of a microcup.

表 1 设计参数和实验结果对比

Table 1 Results vs. design parameter

项目	设计参数/ μm	实验结果/ μm
微杯高度	38	37.1
微杯壁宽度	15	13.5
六边形两边周期	316	315.0

5 结 论

使用负性光刻材料,采用并行激光直写和电铸方法,制作了微杯金属模具样品,证明了“选择

生长法”制作电子纸微杯模具的技术可行性。通过进一步研究器件的品质参数,积累工程化工艺,该方法可成为电子纸精密“微杯”模具制造的有效技术手段。

参 考 文 献:

[1] 陈俐雯,钱金维. 电子纸的现状与未来 [J]. 现代显示,2009,(98):54-57.

[2] E-Paper display revenues forecast to reach \$ 9.6 B by 2018, display search reports [OL]. [2009-08-26]. http://www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/090826_e_paper_display_revenues_forecast_reach_9_6b_by_2018.asp.

[3] Liang Rongchang, Wang Xiaojia, Zang Hongmei. Electrophoretic display and novel process for its manufacture, USA; US7158282B2 [P]. 2007-01-02.

[4] Liang R C, Hou J, Zang H M, *et al.* Microcup displays: Electronic paper by roll-to-roll manufacturing processes [J]. *Journal of SID*, 2003, 11(4):621-628.

[5] Wu H K, Odom T W, Chiu D T, *et al.* Fabrication of complex three-dimensional microchannel systems in PDMS [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2003, 125(2):554-559.

[6] 王健,孟宪伟,唐芳琼,等. 掩膜光刻法制备柔性抗蚀电子纸微杯及其性能表征 [J]. 过程工程学报, 2009,9(4): 813-818.

[7] Kang Kwangsun. Micromold fabrication for flexible display application [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2010, 161:289-292.

[8] 泽田廉士,羽根一博,日暮荣治,等. 微光机电系统 [M]. 李元燮(译). 北京:科学出版社,2005:277-308.

《液晶与显示》关于作者署名的通告

针对目前论文署名比较随便,论文作者要求增减合著者或改变排名顺序的情况时有发生,本刊编辑部特提请文章作者注意:论文署名是一件十分严肃的事情。在论文上署名的作者应为参与论文撰写或对论文所涉及的研究工作有贡献的人,所有署名作者均应对文章内容负责。凡合著的文章,投稿前应仔细斟酌,考虑周全,并征得所有合作者的同意,同时应写明联系人。署名及排序在投稿后确实需要改变时,应由联系人向编辑部出示有关合著者同意并签名(盖章)的函件。否则,编辑部有权拒绝其要求。

《液晶与显示》编辑部