

文章编号: 1001-3806(2006)01-0047-03

LIGA 工艺中微电铸工艺研究

马 龙, 周月豪, 熊良才, 柳海鹏, 史铁林*

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了得到微米级的微型结构, 先用准分子激光加工高深宽比的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 微孔结构, 并以此和光刻成型的微结构作为模具, 进行了微电铸试验, 通过对电镀参数方法进行调整和优化, 改善了微结构加工中镀液难以进入孔隙、浓差极化严重、结晶粒子不能得到及时补充等优点, 得到了线宽为 $10\mu\text{m}$ 级的微型结构。为进一步的微结构加工奠定了基础。

关键词: 微电铸; LIGA; 准分子激光; PMMA

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

The study of micro-electroform in LIGA

MA Long, ZHOU Yue-hao, XIONG Liang-Cai, LIU Hai-peng, SHI Tie-lin

(School of Mechanical Science and Engineering HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract A high aspect ratio hole with line width of $32\mu\text{m}$, height of $200\mu\text{m}$ are drilled on PMMA by excimer laser, then it is used as mould in electroform as well as another structure made by lithographic. Through experiments, the parameters are optimized to fit the high aspect ratio structure electroform, two main difficulties, including the surface tension and polarization of concentration are resolved and their microstructure with line width of $10\mu\text{m}$ is obtained.

Key words microelectroform; lithographic galvanofomung; abformung (LIGA); excimer laser; PMMA

引 言

EHRFELD 等人^[1]用电子加速器产生的同步辐射 X 射线进行光刻, 结合电铸和注塑技术发展出同步辐射 LIGA (lithographie galvanofomung abformung) 技术。LIGA 技术被认为是制造微型机械最有前途的方法, 具有加工图形深宽比大、线宽小、取材广泛、加工精度高等优点。其中电铸是一个非常重要的工艺环节, 也是其它方法难以替代的。在电压的作用下, 阳极的金属失去电子, 变成金属离子进入电铸液, 金属离子在阴极获得电子, 沉积在阴极上, 当阴极的金属表面有一层光刻胶图形时, 金属只能沉积到光刻胶的空隙中, 形成与光刻胶图案相对应的金属微结构。目前, 金属镍的微电铸工艺比较成熟, 金属镍较稳定, 且具有一定的硬度, 可用于微复制模具的制作。国内关于提高电铸质量和电镀速度的研究报道很多, 但是在深孔电铸, 以及微米尺寸电铸方面的研究比较少。在微米尺寸和深孔的电铸中一方面由于表面张力的存在使得电镀液很难

进入, 另外一方面液相传质困难, 析出的金属粒子不能及时得到补充, 这些因素使得微孔电铸存在了一定的技术难度^[2], 本文中着重研究了电铸在深孔和微小尺寸的结构中的应用。试验中采用小分子量无机物组成的电镀溶液以提高其深镀能力和采用提高温度增加电镀液循环速度的方法来提高其电镀速度, 可提高效率, 且效果明显。

1 试验内容

1.1 实验条件

主要设备有: 电铸设备 (包括镀液循环系统, 过滤系统, 可控温度加热系统, 恒流电源等), Lumonics 公司的 PM-848 型准分子激光器, 刻有图形的光刻胶片 (铜为基底), 氯化镍 (AR), 硼酸 (AR), 去离子水 (大量), 双氧水 (H_2O_2), 表面活性剂 (十二烷基硫酸钠), 精密 pH 值试纸, 温度计。

1.2 模具的制备

LIGA 技术中包括涂胶, X 光刻蚀显影成模, 铸模, 脱模等工艺步骤, 其中因为 X 光刻蚀的成本占去 LIGA 技术成本的大部分, 因此, 采用其它的技术代替 X 光刻蚀成为降低成本的关键。

试验中采用了两种模具, 用准分子激光加工的深孔和利用成熟光刻技术制作的图形。其中激光加工深

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目 (2002AA421190)

作者简介: 马 龙 (1980), 男, 硕士研究生, 研究方向为微制造加工工艺。

* 通讯联系人。E-mail: tish@public.wh.hb.cn

收稿日期: 2004-10-20 收到修改稿日期: 2004-11-03

孔线宽达到 $32\mu\text{m}$ 、深 $2000\mu\text{m}$ ，光刻微孔电铸的线宽 $11\mu\text{m}$ ，试验中试图将大深度和小线宽结合，加工更高深宽比结构。进一步的试验仍在进行中。

准分子激光直接刻蚀光路简单，可实现任意形状图形的加工^[3]，通过对型号为 PM-848K rF 准分子激光 (248nm) 的加工特性研究，发现其对聚合物有很好的加工特性。对聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 的加工试验中证明在低能量的状态下，可以加工出质量很好的孔，如图 1 所示，试验中加工了直径为 $32\mu\text{m}$ 、深 $2000\mu\text{m}$ 和直径为 $125\mu\text{m}$ 、深 $3000\mu\text{m}$ 的孔，因此，可以利用激光对聚合物良好的加工特性用 PMMA 做模具得到大深宽比的结构。

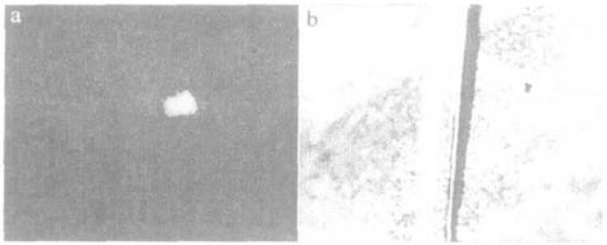


Fig 1 Photograph of fabricated PMMA by excimer laser (diameter is $31.25\mu\text{m}$, depth is $2000\mu\text{m}$)
a— front face b— side face

另外，在光刻图形的基础上电铸图形，可以得到和图形相同尺寸的微型结构，由于溶胀现象的存在甚至可以得到线宽更小的结构。未电铸前光刻结构模具如图 2 所示。

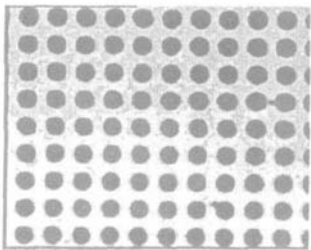


Fig 2 Photograph of the fabricated protective film (diameter is $37.5\mu\text{m}$)

1.3 电铸试验参数和方法的优化

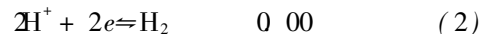
为了实现深孔和微孔的电铸，首先要解决的关键技术一方面是使电镀液进入微孔，另一方面是改善电镀液的液相传质，使消耗的金属离子能得到及时的补充。另外，影响深镀和镀层质量的因素还包括阴极极化、镀液电导率、阴极电流效率等^[4]，试验中针对一些主要的因素分别作了工艺条件的优化。

氯化镍 (NiCl_2) 是电镀液的主盐，也作为导电盐，含镍量高，可以提高极限电流密度上限，而大量的氯离子可以有效地防止阳极钝化，提高电镀液的分散能力^[5]。

实验中加入硼酸 (H_2BO_3) 是为了维持电铸液的 pH 值恒定，防止镍离子在阴极基体附近以碱性物质析出，造成电铸层疏松。

表面活性剂 (十二烷基磺酸钠) 电镀液表面张力的存在致使镀液不能进入微孔，另外，表面张力的存在也会影响阴极产生气泡的排除，使电流出现波动从而导致电铸质量下降，所以，表面张力的减小是微米电铸技术存在的最大难题。加入少量的表面活性剂可以明显地减小电镀液表面张力，但是当表面活性剂的加入量大于 0.05g/L 时，改变表面张力的效果不再十分明显，如果再加入过量或者加入其它的高分子物质会起到相反的效果，这可能是因为深孔电镀中，存在着电渗流 (electroosmotic flow)^[6]，电渗流起着“平流泵”的作用，推动电镀液向阴极移动，然而大量高分子有机表面活性剂的加入，严重削弱了这种作用，甚至改变电渗流的方向，从而阻碍电镀液进入微孔，使得电镀难以进行。当表面活性剂的加入量较少时，其表面活性剂的性质起主导作用，当表面活性剂加入过量时，阻碍电渗流作用就会起主导作用，因此，试验采用分子量低的黑镍镀液，加入适量的表面活性剂，尽量地避免高分子试剂的使用以提高其分散和深镀能力。另外，试验中还使用了超声的诱导镀液进入微孔改进镀层质量。

双氧水在电镀过程中由于氢的析出电位接近镍的析出电位，所以在浓差极化存在的条件下很容易析出氢气，这既降低了电流效率，也影响镀液进入微孔，为了防止氢气的析出，实验加入了少量的双氧水以防止阴极氢气的析出，其原理为：



由上可以看出，双氧水的电位要比氢的正，因此，在电镀过程中上述 (1) 式反应更容易发生，如此就可以避免氢气的析出。同表面活性剂一样，过氧化氢液不能加入太多，因为它的加入影响镀液的分散能力^[5]。

实验中采取措施提高电化极化并且降低浓差极化，以实现电镀颗粒的细致和电流效率的提高。阴极极化可以分为两种，阴极电化极化和浓差极化，前者是由于金属离子在阴极表面放电迟缓而引起的极化，后者是由于反应物扩散到阴极表面的速度慢于在阴极表面的反应速度，或者产物扩散离开电极表面的速度小于产物生成的速度而使得阴极表面的电位发生变化，虽然同样是阴极极化，但是对于电镀的作用恰恰相反，电化极化可以使阴极产生一定的过电位，过电位越大则电沉结晶越细，电镀加工的表面越光滑^[7]；浓差极化不但会降低极限电流密度，而且会降低电流效率。试验中采取由提高电流密度来提高电化极化，以及采用喷镀提高主盐浓度和镀液温度等方法减小浓差极化，同时也大大提高了电镀的速度和效率。

在瓦特镀镍的基础上综合以上因素改进试验，试验参数如下：氯化镍 350g/L ；硼酸 30g/L ；表面活性剂

0.02g/L~0.05g/L; 双氧水 (30%) 0.5mL; pH 值 3.5~4.5; 温度 60℃; 电流密度 13A/dm²; 镀液循环速度 100L/h。

2 试验结果

在上述试验条件下电铸即可得到相应微结构,如图 3 所示。

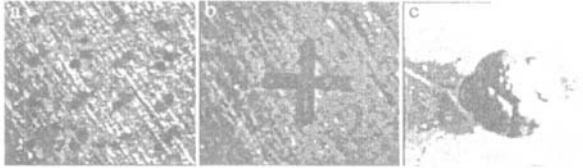


Fig 3 Photograph of electroplated structure

图 3a 中是用光刻胶为模具电铸的微柱状结构,直径为 1μm。图 3b 为十字形结构,线宽 25μm,厚 10μm,是 MEMS 工艺中电枢驱动结构的基本单元,为以后进一步试验打下了基础。图 3c 是利用准分子激光加工的微孔为模具电铸的结构,直径为 400μm、长 2000μm,有较大的深宽比,利用此工艺适当地改进镀液的分散力,可以得到直径为 32μm、长 2000μm 的微结构。表面较粗糙,是由于镀液循环系统不十分完善、脉动性较大的缘故,需要进一步改进以实现更好的表面质量。

3 结 论

通过这次试验得到了一些基本的结构,其最小线

宽达到了 11μm,而通过准分子激光加工 PMMA 做模具,深孔达到了线宽 400μm,长 2000μm。而且适当地提高镀液的分散能力,很容易加工出直径为 32μm、深 2000μm 的结构。电镀液配方简单,便于维护,容易实现,并且该试验适合快速电镀,实验中采用的喷射电镀镀速可以达到常规电镀的 90 倍左右^[8]。对微结构电镀有很好的借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] EHRFLD W, MUNCHMEYE D. 3-d in ensional micro fabrication using synchrotron radiation [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1991, A303: 523~526.
- [2] CHEN D. Three-dimensional microstructure machining technology without Si [J]. Electronic Science and Technology Review, 1999(9): 32~36 (in Chinese).
- [3] WEIR X. Relationship between etching identities and laser pulse parameters in excimer direct etching fabrication [J]. Laser Technology, 2004, 28(1): 85~87 (in Chinese).
- [4] SUN K N, XU M, ZHANG G W *et al*. Bright nickel plating on parts with deep hole [J]. Plating and Environment Protection, 1995, 15(4): 3~6 (in Chinese).
- [5] LOWENHEM F A. Modern plating [M]. Beijing Machine Industry Publishing Company, 1982: 344~410 (in Chinese).
- [6] CHEN H F, JIN W R, QUAN R X. Electroosmotic flow in capillary zone electrophoresis [J]. Journal of Analytical Science, 1998, 14(3): 257~262 (in Chinese).
- [7] LIM H, YUAN Sh P, HUANG W Ch. Fast plating [M]. Chengdu Sichuan Peoples Publish House, 1980: 30~43, 73~77 (in Chinese).
- [8] XIONG Y, JING T F. A study of jet electrodepositioning nanometer crystalline nickel [J]. Plating and Finishing, 2000, 22(5): 1~4 (in Chinese).

(上接第 33 页)

率密度函数在误差限范围内正态分布^[9]。采用 3 种不同误差限所得到的物镜质量分布情况见图 4。由于波

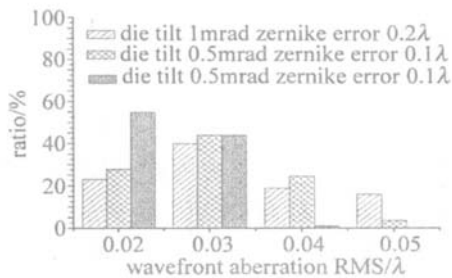


Fig 4 Lens quality distribution for various tolerance

像差将会缩小实际播放中离焦和光盘缺陷的公差,所以必须将汇聚光束的像差水平限制在 0.05λRMS 内^[1]。对于较大离焦和其它缺陷的纠正可以用信号的处理方法如数字信号中的误差纠正,且这种情况很少出现。可以看出,若能很好地控制斜模和面形误差,物镜的出厂质量可以达到很高的水平。

5 小 结

总结了 CD 物镜在实际设计过程中应当考虑的多因素。以设计实例为基础,给出了物镜在各种误差条件下的光学特性。该设计不仅达到了批量注塑生产的要求,而且在工程上具有较高的实用价值。

参 考 文 献

- [1] BOUWHUIS G, BRAAT J. Principles of optical disc systems [M]. UK: Adam Hilger Ltd, 1985: 34, 47.
- [2] STAN S G. The CD-ROM drive a brief system description [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998: 15~16.
- [3] YAMAZAKI H, MATSUMARU T. Optical system for recording and reproduction device [P]. China Patent CN1071471C, 2001-09-19 (in Chinese).
- [4] WANG Y X. The characteristic of inclination servo of optical disc and auto test method [D]. Beijing: Tsinghua University, 2004: 44 (in Chinese).
- [5] PAN J H. The design, manufacture and testing of aspheric surface [M]. Beijing: Science Press, 1994: 50 (in Chinese).
- [6] YUAN X C. Optical design [M]. Beijing: Science Press, 1985: 241 (in Chinese).