

文章编号 1004-924X(2000)01-0038-04

# LIGA 技术基础研究

梁静秋, 姚劲松

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 阐述了LIGA技术的组成及特点。对LIGA工艺掩膜、X射线光刻、电铸及塑铸等进行了工艺原理分析。用一次成型法制作了以聚酰亚胺为衬基,以Au为吸收体的X射线光刻掩膜,简单介绍了这种掩膜的制作工艺过程,并用这种掩膜在北京电子对撞机国家实验室进行了同步辐射X射线光刻,得到了深度为500 $\mu\text{m}$ ,深宽比达8:3的PMMA材料的微型电磁马达联轴器结构。给出掩膜和X射线光刻照片。同时,对Au、Ni等金属材料的厚膜电铸进行了工艺研究。

**关键词:** LIGA技术;光刻;掩膜;电铸

**中图分类号:** TN305.7 **文献标识码:** A

## 1 引言

随着光、机、电元器件日趋微型化和一体化,需要寻求一种能实现这种微型化的方法。在常规的微机械制作中,主要依赖于Si微加工技术。但由于Si晶体的固有特性使其在微加工中受到很大限制。为了实现任意材料的高深宽比微结构常选用LIGA工艺。LIGA是德国名字Lithographie, Galvanoforming, Abformung缩写。LIGA技术包括X射线深层光刻、电铸成型和塑铸成型等三个工艺过程。80年代它起源于德国Karlsruhe原子核研究中心,他们经过6~7年的努力,应用同步辐射光源首先解决了深层光刻的一系列关键技术,然后又解决了这个尺度上的电铸及塑铸技术,完成了LIGA技术的可行性研究。

LIGA工艺有以下主要特点:

(1)它的产品可具有很大的结构强度,因而坚固耐用,实用性强;

(2)LIGA产品可以用多种材料制备,例如:金属、陶瓷、聚合物等;

(3)可以直接生产复合结构(包括运动部件),并同时具有电路制作能力,便于制成机电一体化的产品;

(4)可以获得亚微米精度的微结构;

(5)便于批量生产(在基底片上可一次生产上千个部件)和大规模复制,因而成本低,价格便宜。

LIGA技术目前被认为是微机械加工的一个极为重要的发展方向,有着良好的发展前景。用LIGA技术可制成为有自由振动及转动或具有其他动作功能的微结构。因此,它已经变成生产微机械、微流体和微光学元件最有前途的微制造技术。

国际上十分重视LIGA技术的研究。欧洲、美国及亚洲等均开展了大量的研究工作,特别是欧洲对LIGA技术投入了相当强的力量,取得很大进展并继续保持领先地位。不仅在基础研究方面做了深入细致的研究,而且在工业应用方面,也已开始瞄准工业技术应用目标,研究微喷嘴、微电机、微型光谱仪及光纤连接器等。其中,直流电机、光纤连接器等已形成产品并批量生产。我国自92年开始开展LIGA工艺技术的研究,几年来已取得显著成果。

## 2 LIGA 工艺原理分析

LIGA技术包括深层同步辐射X射线光刻、电铸成型及塑铸等三个重要环节,其工艺过程如图1所示。

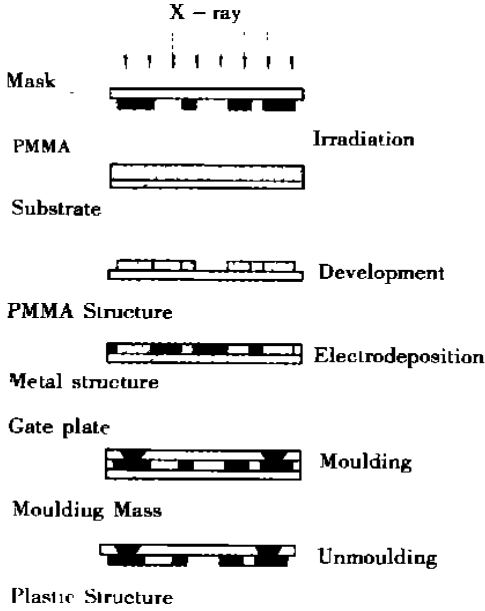


Fig 1 The process of the LIGA process

### 2.1 X 射线光刻掩膜

X 射线光刻掩膜技术是 X 射线光刻成功应用的关键之一。X 射线透过掩膜对厚 X 射线光刻胶进行曝光, 然后对曝光后的光刻胶进行显影以制成初级模版。

X 射线的特性决定了 X 射线光刻掩膜技术与普通光学光刻掩膜的情况完全不同, 它应具有对 X 射线足够高的反差 (> 10)。因此, X 射线光刻掩膜通常是由低原子序数的轻元素材料形成的薄膜衬基及在其上面用高原子序数的重元素材料制成的吸收体图形构成的。掩膜反差可表示为掩膜“透明区”和“不透明区”的透射系数比, 即掩膜反差

$$C = \frac{T_s}{T_a \cdot T_s} = \frac{1}{T_a} = C_a$$

式中:  $T_s$ ——薄膜衬基的透射率

$T_a$ ——吸收体的透射率

由此可见, 掩膜反差可简单地由吸收体的反差不特性 ( $C_a$ ) 决定, 并等于吸收体透射率的倒数。对于同步辐射光源而言, 它是一定波长范围内各种波长 X 射线作用的平均结果。

### 2.2 X 射线光刻

X 射线透过掩膜对厚的 X 射线光刻胶 (PMMA) 进行曝光, 然后对光刻胶进行显影, 制成初级模版, 该模版是具有横向掩膜几何图形, 固定在基底上的光刻胶 (未曝光部分) 结构, 厚度可达  $10^{-1} \sim 10$ mm。

同步辐射光源是 LIGA 技术研究的最理想光源。这种光源具有高亮度和高强度, 并且在前进方向上具有高度的准直性。它的连续光谱允许对 X 射线波长进行调节以满足不同刻蚀深度的需要。

### 2.3 电铸与塑铸

电铸过程和电镀过程一样都是一种电沉积过程, 它是指电解液中的金属离子 (或络合离子) 在直流电的作用下, 在阴极表面上还原成金属 (或合金) 的过程。该过程一般包括三个步骤, 即金属水化离子 (或络合离子) 由溶液内部向阴极表面传递的液相传输步骤, 金属水化离子 (或络合离子) 在阴极表面上得到电子并还原成金属原子的电化学反应步骤和反应产物形成新相的电结晶步骤。

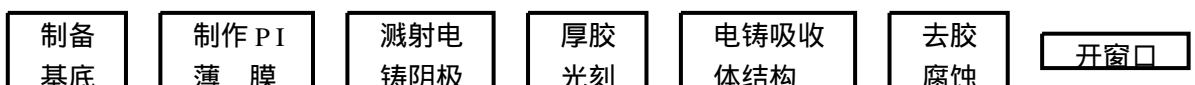
按照电铸的电流方式可为直流和脉冲电铸两类。与直流电铸相比, 脉冲电铸能改变金属离子的电沉积过程, 脉冲电铸可通过控制波形、频率、通断比及平均电流密度等参数, 使电沉积过程在很宽的范围内变化, 从而在某种镀液中获得具有一定特性的镀层。

电铸并剥离后的金属结构作为二级模版。用闸板将模版覆盖, 闸板有穿透的喷射孔, 以便注入聚合物到排空的容器内。喷射孔位于结构自由空间的上方, 低粘滞度的聚合物充满模板内的小空间。待聚合物变硬后, 塑性结构与闸板在喷射孔处形成牢固的连接, 使得塑性结构可以从模板中提出。按此方法可重新制作塑性结构。

## 3 实验研究

### 3.1 X 射线光刻掩膜的研究

目前国内研究出 LIGA 工艺厚吸收体掩膜的制作技术主要有两种, 即二步图形转移法及一次掩膜成型法。我们采用后一种方法。其主要工艺过程如下:



在厚  $0.8\text{mm}$  的抛光玻璃片上制作一层厚度为  $2\mu\text{m}$  的聚酰亚胺 (PI) 薄膜作为深层 X 射线光刻掩膜的衬基; 在聚酰亚胺表面磁控溅射  $1\sim 2\mu\text{m}$  厚的 Cu 膜作为电铸时的导电层; 在室温下, 自旋涂覆厚膜光刻胶使膜厚达  $10\mu\text{m}$  以上, 经选择性曝光及显影形成光刻胶膜结构; 将托载光刻胶膜结构的金属 Cu 底层作为阴极进行电铸, 制成厚度大于  $10\mu\text{m}$  的 Au 的结构为掩膜吸收体; 去除光刻胶及下面的 Cu 膜; 背面开出窗口, 从而得到一块完整的厚吸收体射线掩膜。图 2 为 X 射线光刻掩膜 SEM 照片。此图形为微型电磁驱动器的联轴器结构。该掩膜衬基材料为聚酰亚胺, Au 吸收体厚度达  $20\mu\text{m}$ 。



Fig 2 The photo of X-ray lithography mask

### 3.2 X 射线光刻

用图 2 掩膜在北京正负电子对撞机国家实验室进行同步辐射 X 射线光刻实验, 得到了深度达  $500\mu\text{m}$ , 深宽比达  $8:3$  的侧壁陡直的端面摇摆式微型电磁驱动器联轴器 PMMA 结构。如图 3 所示。

### 致 谢

感谢北京高能所同步辐射实验室和中国科技大学国家同步辐射实验室的支持与合作!

### 参考文献:

- [1] Guckel H. X-Ray lithography with high energy photons High Aspect Ratio Microstructure Technology, Karlsruhe, 1995
- [2] 梁静秋, 姚劲松 LIGA 技术中的 X 射线掩膜 仪表技术与传感器 [J], 1997 (3): 17~ 18



Fig 3 SEM photo of linkage structure of the topface-sway micro electromagnet motor

### 3.3 电铸工艺研究

用脉冲电铸设备对深层光刻胶模进行了 Au, Ni 等材料的深层电铸实验研究, 得到深度大于  $100\mu\text{m}$  的金属结构。

## 4 结 论

LIGA 工艺技术作为微机械三维立体结构制作的首选工艺, 已经在各国得到更多、更广泛的重视。我国虽然起步较晚, 但经过几年的努力其效益是很显著的。然而与德、美、法等发达国家相比还有很大的差距。因此我们不仅要在基础研究方面, 如 LIGA 技术的光源、掩膜及光刻胶的附着特性、残留效应和灵敏度等方面做大量深入细致的工作, 而且还需针对工业技术应用进行深入研究, 才有可能逐渐缩小我们与世界先进水平的距离。

## The study of LIGA technology

LIANG Jing-qiu, YAO Jin-song

*(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)*

**Abstract:** The composition and feature of LIGA technology was explicated. The principles of LIGA process on mask, X-ray lithography, electroform and model were analyzed. The X-ray lithography mask using polyamide as substrate and using Au as a absorber was fabricated by one step forming. The synchronous radiation X-ray lithography experiment using this kind of mask was made in Beijing Key Lab of the Synchronous Radiation. The PMMA linkage structure of micro electromagnetic motor with depth of  $500\mu\text{m}$  and depth-width ratio of 8:3 was made. The SEM photo of X-ray lithography and mask was given. The electroform technique of Au and Ni metal thick film were studied, too.

**Key words:** LIGA technology; lithography; mask; electroform

**作者简介:** 梁静秋(1962-), 女, 1984年毕业于吉林大学电子科学系半导体物理与器件专业, 获学士学位。曾从事半导体工艺、器件及微型传感器等研究工作。自1993年开始参加微型机械领域研究工作, 从事微细加工技术及微马达的研究。现任国家攀登计划B《微电子机械系统》子课题《端面摇摆式微型电磁驱动器(马达)设计、制造及其应用研究》课题负责人。