

LIGA 工艺探讨

王志勤 姚劲松 宣明 王一凡

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文叙述了适用于微型机械制造的一种新的工艺—LIGA 工艺的技术组成。着重介绍了 LIGA 工艺中 X 射线光刻掩模的制作步骤和方法。

关键词: LIGA 工艺; X 射线掩模

1 前言

1987 年德国卡尔斯鲁核中心(KFK)提出了一种称为 LIGA 的新型微细加工方法。这种新工艺的深层软 X 射线光刻,电铸成型和注模为基础,在微细加工中获得了广泛和迅速的发展。这种加工工艺可加工多种金属和非金属材料。它的最大特点是加工深宽比大,其深度可达几百微米,甚至 1 毫米,而宽度可小至十分之几微米。LIGA 工艺的这一特点,弥补了 IC 工艺的不足,与 LCI 工艺相辅相成,成为一种很有前途的微机械零件的加工工艺。

2 LIGA 工艺的技术组成

由图 1 可以看出,LIGA 工艺主要由软 X 射线光源、掩模、抗蚀剂、电铸、成型等工艺技术组成。

2.1 X 射线光源

目前光刻用软 X 射线光源的波长多为(0.4—2)nm。产生这种 X 光的方法主要有四种:电子轰击靶源,同步辐射光源,但是这种光源造价高,运转费用昂贵。目前,许多国家正在研制高强度的非同步辐射适于实验室用的 X 光光源。一般来说,对光源的要求:平行度好;光强分布均匀,这种均匀性是指空间和时间上的均匀性。

2.2 光刻掩模板

LIGA 工艺与其他光刻工艺一样,其掩模的制备是整个工艺流程中的第一步。在 X 射线光刻中,掩模的基体是一种对 X 射线透明或半透明的材料,基体上镀有对 c 射线吸收率很高的薄膜一般掩模与工件之间有一个间隙,使掩模与工件不接触,以防更换工件时磨损掩模。在工件上涂有对辐射敏感的聚合物薄膜,这层薄膜在软 X 射线照射下,产生断链(正胶)或交联(负胶)作用,从而实现曝光。软 X 射线的波长约为 1nm,衍射效应不严重,能复制高分辨率的图形。

用于软 X 射线曝光的掩模由两种材料组成,一种是作为掩模的基本材料,对 X 射线透射率比较高;另一种是镀在基体上构成图形的 X 射线吸收层。X 射线吸收层材料多采用金(Au)。掩模的基体材料有两种:一种为聚酰亚胺;一种是硅。

2.2.1 以聚酰亚胺为基体的掩模的制作

作为 X 射线的掩模,首先要求基体即图形的支持体要对 X 射线有较高的透过率。根据比耳定律: $T = \exp(-\mu\rho x)$

式中: ρ 为密度

x 为膜层厚度

μ 为质量吸收系数

式中质量吸收系数(μ)是被吸收辐射的波长及吸收元素原子序数的函数。

$\mu(\text{化合物}) = (\mu_i w_i)$

式中 μ_i 和 w_i 分别为各个成分的质量吸收系数和重量百分比。

以 3,3',4,4'-四羧酸酐二苯酮和 4-4'-二胺基二苯醚制备的聚酰亚胺为例:

对于 CuKX 射线(1.542 Å)的聚酰亚胺的质量吸收系数。

$$\begin{aligned} (\mu)_{\text{CuKX}} &= (\sum \mu_i w_i) = (\mu_C w_C) + (\mu_N w_N) + (\mu_O w_O) + (\mu_H w_H) \\ &= (452.3 \times 0.667) + (0.045 \times 749.6) + (115.5 \times 0.1811) + (38.2 \times 0.117) \\ &= 342.791 \end{aligned}$$

膜厚 x 为 $10\mu\text{m} = 10^{-3}\text{cm}$, 密度 ρ 为 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$

$$\begin{aligned} T &= \exp(-\mu\rho x) \\ &= \exp(-342.791 \times 1.4 \times 10^{-3}) \\ &= 0.619 \end{aligned}$$

从计算可看出,聚酰亚胺厚为 $10\mu\text{m}$ 时,X 射线的透过率为 62%,透过率较高,符合作掩模的基体条件。

在制作工艺上,我们采取了两种制作方法:

a. 在清洗干净的玻璃片上甩 $10\mu\text{m}$ 左右厚的聚酰亚胺,将此片子在严格的温度控制下进行烘焙。待片子冷却至常温时,再在聚酰亚胺上甩 $(1-2)\mu\text{m}$ 的光刻胶经前烘后进行曝光、显影、坚膜工艺,在已显现图形的光刻胶膜上镀一层铜(纯度 99.9999%)将已镀好铜膜的片子放入丙酮溶液中,未曝光的部分(即有光刻胶的部分)的铜膜在丙酮溶液中的浸泡下浮起剥落,得到了清晰的设计图形。最后,在玻璃片子的反面腐蚀窗口,即得到一块完整的掩模板。上述方法虽然能比较容易地获得所要求的掩膜,但是泡镀的铜层不能太厚,一般在 300nm 以下,否则丙酮溶液很难浸泡下铜层。

b. 上述方法虽能得到所需图形,但由于所镀金属层较薄,对 X 射线吸收少,如用此作为掩模板,光刻后很难达到理想纵横比,所以对于制作厚金属层掩模,我们采用另一种工艺即在干净的玻璃片甩聚酰亚胺(下基体)在此膜上镀铜。镀层厚度可达 $2\mu\text{m}$,然后甩光刻胶(正性) $1\mu\text{m}-2\mu\text{m}$,经前烘、曝光、显影、坚膜后,得到由光刻胶为抗蚀层的片子,放入铜腐蚀液中将无

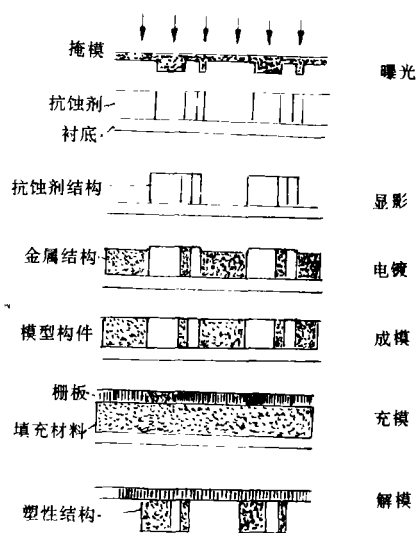


图 1

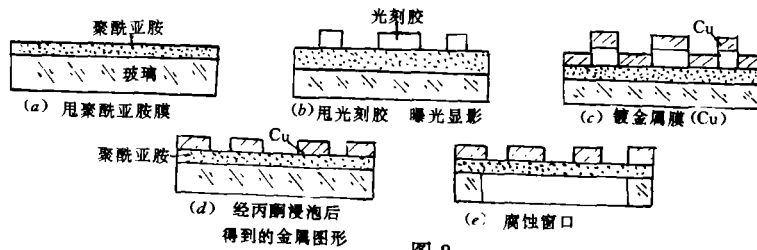


图 2

抗蚀层保护的镀铜腐蚀掉,经过烘焙得到一个清晰的符合设计要求的图形。由于聚酰亚胺对 X 射线有较高的透过率,为了加强掩模板的机械强度,在已制作好的图形上甩一层聚酰亚胺(上基体),在玻璃板反面上腐蚀出一个窗口,便得到了一个达到设计要求的掩模板。

2.2.2 以硅作基体的 X 射线掩模的制作

用硅作为 X 射线掩模的基体,主要是由于硅有良好的机械强度,对 X 射线吸收小,化学腐蚀时,工艺容易控制。其制作方法是在一块厚 $300\mu\text{m}$ 的硅片(晶向 100 无位错)上一面镀

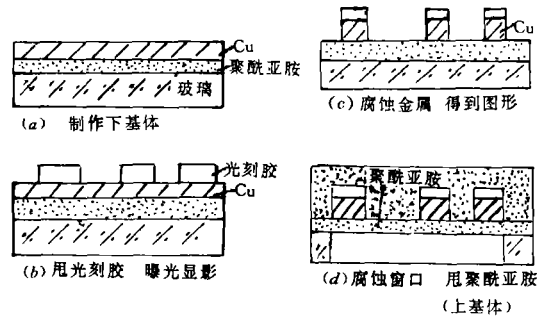


图 3

SiO_2 保护层,;另一面渗硼。镀 SiO_2 作用是保护其下面的硅不受腐蚀成支助,用光刻胶作抗蚀剂,制成一个窗口。渗硼可使厚度只有几微米厚的硅窗口拉平、拉紧、保证窗口平坦。然后对未渗硼的那一面进行化学刻蚀。当化学刻蚀到渗硼层时反应立即停止,硅片的渗硼厚度为 $3\mu\text{m}$,一个厚度为 $3\mu\text{m}$ 的硅窗口制作完成。接下去是硅片上镀铬,然后镀金。镀铬的目的是为了提高金的附着力。在金膜上用常规紫外光刻法制出图形,刻蚀便得到所设计的掩模板。

2.3 抗蚀剂

X 射线对抗蚀作用是将有机高聚物链 打断(正性抗蚀剂)或交连(负性抗蚀剂)一般正性抗蚀剂对 X 射线的灵敏度较低,但分辨率比较高,如:PMMA。目前,常用的 X 抗蚀剂的灵敏度区都是十分之几纳米到几纳米。

2.4 电铸、成型

电铸,类似电镀。这是 LIGA 工艺中重要的一环。由于微机械零件是十分微小的,同时它又是一个三维实体。所以对于电铸工艺像光刻一样,也有一个宽深比的问题。

3 几点探讨

对 LIGA 工艺的研究。我们首先着眼于实验室用的小型强 X 射线光源的研究。只要在这一点上得到突破,LIGA 工艺才具有普遍推广和应用的可能。目前,我所已初步具备了可适于 LIGA 工艺用 X 射线光源条件。由于小型 X 射线光源较弱,所以必须采用灵敏度较高的负性感光胶,负性感光胶的缺点是分辨率较低,但对微机械零件来说是足够的。在掩模制作工艺中,我们采用了聚酰亚胺为基底。这种做法,工艺简单,虽然聚酰亚胺膜张应力和强度不如硅和碳

化硅,但在要求不是十分苛刻的微机械制作工艺中,还是能达到满意的效果。在图形的形成方面,试验了三种方法:(1)离子束刻蚀法;(2)化学腐蚀法;(3)浸泡冲洗法。比较起来,化学腐蚀法比较成功。

参 考 文 献

- [1] 电子工业半导体专业 工人技术教材编写组,《半导体器件工艺》.上海科学技术文献出版社
- [2] 上海无线电十九厂,《半导体集成电路》.上海人民出版社
- [3] D. J. 埃利奥特,《集成电路掩膜技术》.上海交通大学出版社 1991,11

The LIGA

Wang Zhiqin, Yao Jinsong, Xuan Ming and Wang Yifan
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics ,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The paper narrates a new technology suitable for the making of micromechanics — the technical composition of LIGA technology. The paper introduces emphatically the making step and method of X-ray lithograph etching in LIGA technology.

Key words: LIGA technology, X-ray lithograph etching