

# 新型 LIGA 掩模板制造工艺研究

陈迪 朱军 雷蔚 王水 张大成<sup>1</sup> 伊福廷<sup>2</sup>

(上海交通大学微纳米科学技术研究院 上海 200030)

<sup>1</sup>(北京大学微电子所 北京 100871)

<sup>2</sup>(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** LIGA 掩模板的制备是 LIGA 技术中的关键工艺. 利用最近发展起来的硅感应耦合等离子体 (ICP) 深层刻蚀工艺开发出了新型 LIGA 掩模板. 与其它类型的 LIGA 掩模板相比, 该掩模板具有加工工艺简单、价格低廉等优点. 利用该 LIGA 掩模板进行了 LIGA 技术的研究, 得到了比较理想的结果.

**关键词** LIGA 掩模板 ICP 深刻蚀 LIGA 技术

## 1 引言

LIGA 技术是一种重要的非硅三维微加工技术. 其关键工艺就是利用同步辐射 X 光进行深层光刻, 获得高深宽比的光刻胶微结构后才能进行微电铸和微复制工艺. 由于用于同步辐射光刻的 X 光波长较短, 而且具有较大的能量, 这就对 LIGA 掩模板提出了相当高的要求<sup>[1]</sup>.

LIGA 掩模板包括两个最基本的部分, X 光透过性好的支撑膜和能有效阻挡 X 光的阻挡层. 由于物质对 X 光的吸收率与原子系数有关, 原子系数越大, 吸收越强, 因此, 支撑膜一般都选用低原子系数的材料制成, 阻挡层则由高原子系数的重金属材料制成, 如 Pt, Pb, W, Au 等.

LIGA 掩模板的支撑膜和阻挡层一般都由不同材料制备而成, 材料之间存在着层面间的粘附和热膨胀系数匹配等问题, 而且为得到足够的反差, 支撑膜一般较薄, 其强度就很难得到保证<sup>[2]</sup>. 我们利用 ICP 硅深层刻蚀技术制备了一种新型的全硅 LIGA 掩模板<sup>[3]</sup>. 这种新型掩模板的支撑膜和阻挡层都是由同一种材料硅构成. 由于硅对 X 光的吸收系数较小, 所以支撑膜可以做得比较厚, 保证了该掩模板具有较大的强度. 此外, 制备该掩模板的工艺过程简单, 造价低廉.

## 2 理论计算

在确定 LIGA 掩模板的材料和结构后, 就要计算支撑膜和阻挡层的厚度, 以保证在光刻中有足够的对比度. 对比度过小, 一方面无法在光刻胶上得到很深的结构, 另一方面, 光刻胶表面也容易有部分程度的曝光, 造成侧壁倾斜<sup>[4]</sup>.

公式(1)给出了对比度  $c$  的定义, 其中  $I_1$  是穿过支撑膜后的 X 光强度;  $I_2$  是穿过阻挡层和支撑膜到达光刻胶表面的 X 光强度

$$c = \frac{I_1}{I_2} - 1 \quad (1)$$

为了计算  $I_1$  和  $I_2$ , 可以利用公式(2)

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_m \rho t} \quad (2)$$

其中  $I_0$  是穿透前的 X 光强度;  $I$  是 X 光穿过某种材料后的强度;  $\mu_m$  是这种材料的质量衰减系数;  $\rho$  是它的密度;  $t$  是它的厚度.  $\mu_m$  是一种物质的特征量, 它与 X 光的波长有关. 由于同步辐射 X 光谱是一个连续光谱, 从可见光区域一直到硬 X 光区域, 所以可以用 X 光的特征波长  $\lambda_c$  来作为 X 光的一个特征量.  $\lambda_c$  (nm) 由同步辐射源中电子能量  $E$  (GeV) 及偏转磁场  $B$  (T) 决定,  $m$

$$\lambda_c = \frac{1.86}{BE^2} \quad (3)$$

设硅支撑膜和阻挡层的厚度分别为  $t_1$  和  $t_2$ , 根据公式(1)和(2)可得

$$c = \frac{I_1}{I_2} - 1 = e^{-\mu_m \rho t_2} - 1 \quad (4)$$

经计算可知, 在 X 光波长为 0.23nm 的条件下(北京同步辐射光源的特征波长与之相近), 硅阻挡层厚度大于 150 $\mu\text{m}$  时,

其反差大于 1000, 基本可以满足光刻胶厚度在 200 $\mu\text{m}$  以下的曝光需要. 又因为在掩模板的制备工艺中, 硅的湿法刻蚀与 ICP 深刻蚀都存在着一定的厚度误差. 为防止硅片被刻穿, 选择支撑膜的厚度为 20 $\mu\text{m}$ . 厚度为 20 $\mu\text{m}$  的硅做支撑层有足够的强度, 而且支撑层的 X 光透过率也能满足要求. 所以将硅支撑层厚度定为 20 $\mu\text{m}$ , X 光阻挡层厚度为 150 $\mu\text{m}$ .

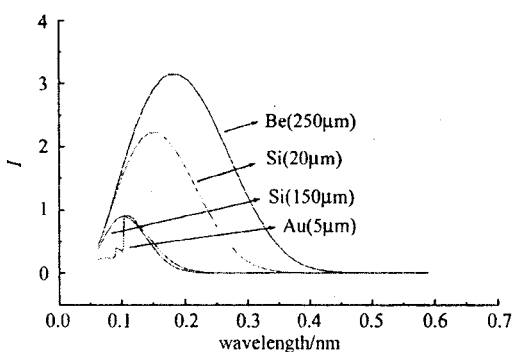


图 1 不同材料对各种波长 X 光的吸收曲线(北京)

图 1 是根据北京同步辐射光源的各种参数得到的 20 $\mu\text{m}$ , 150 $\mu\text{m}$  厚的硅, 5 $\mu\text{m}$  厚的 Au 的透射光谱曲线. 图中的横坐标是 X 光波长, 纵坐标是 X 光强度. 最上面的曲线是 X

光透过 Be 窗后到达掩模板的光谱. 在大于  $0.1\text{nm}$  的波长区域,  $170\mu\text{m}$  厚的硅与  $5\mu\text{m}$  厚的金对 X 光的吸收相差不大, 甚至吸收能力要更强一些. 但  $170\mu\text{m}$  的硅对短波长 X 光 ( $<0.1\text{nm}$ ) 的吸收能力比  $5\mu\text{m}$  厚的金层要差一些. 所以, 根据理论进行的初步计算表明, 由  $20\mu\text{m}$  厚的硅支撑膜和  $150\mu\text{m}$  的硅阻挡层所组成的新型 LIGA 掩模板是适合进行光刻胶厚度小于  $200\mu\text{m}$  的 LIGA 深层光刻工艺的.

### 3 工艺流程

制备新型全硅 LIGA 掩模板的工艺流程如图 2 所示.

掩模板的制备在 3 吋硅片上进行, 硅片表面用热氧化的方法生长了厚度约为  $0.6\mu\text{m}$  的氧化膜. 首先在硅片正面溅射了约为  $70\text{nm}$  左右的铁镍合金层, 然后在硅片背面光刻刻蚀窗口. 用 RIE 刻蚀掉暴露的  $\text{SiO}_2$ , 接着在 KOH 溶液中刻蚀 Si, 直到剩余的硅片厚度为  $170\mu\text{m}$ . 用 20% 的 HCl 加 5% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  的混合溶液除去铁镍合金层. 在硅片正面甩胶、光刻, 做出掩模图形. 再利用 RIE 去掉  $\text{SiO}_2$ , 最后利用 ICP 硅深层刻蚀工艺在硅片上刻出阻挡层结构, 除去剩余的光刻胶, 就可获得该新型 LIGA 掩模板.

在硅深层刻蚀工艺中, 采用了国外近两年来开发出来的主要用于硅深层刻蚀的先进刻蚀工艺<sup>[5]</sup>. 该工艺利用了感应耦合等离子体(ICP: Inductively Coupled Plasma)和侧壁钝化工艺等技术, 可对硅材料进行高深宽比三维微加工, 其加工厚度可达  $500\mu\text{m}$ , 侧壁垂直度为  $90^\circ \pm 0.3^\circ$ .

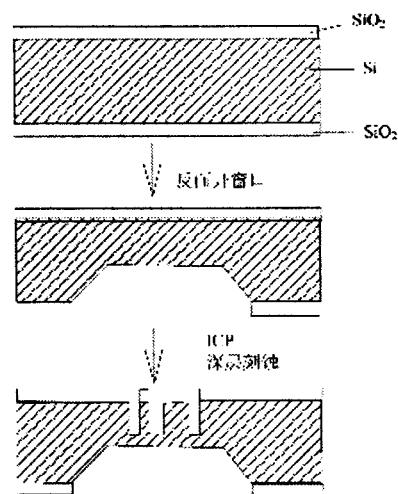


图 2 新型 LIGA 掩模板制造工艺流程

### 4 结果与讨论

利用 ICP 硅深层刻蚀工艺制备了一种新型的全硅 LIGA 掩模板, 该掩模板的 X 光阻挡层和支撑层都是由硅组成. 其阻挡层厚度为  $150\mu\text{m}$ , 最小线宽仅为  $5\mu\text{m}$ , 侧壁垂直度

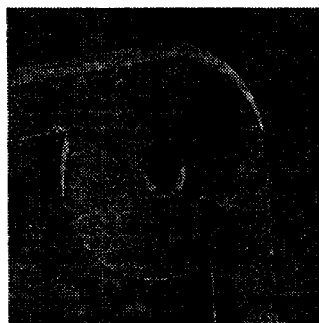


图 3 全硅 LIGA 掩模板电镜照片

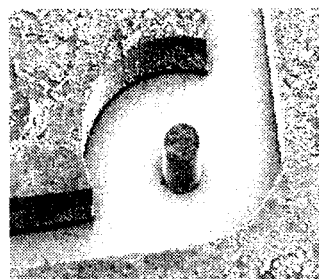


图 4 经过 X 光深层光刻后的光刻胶电镜照片

为  $90^\circ \pm 1^\circ$ , 支撑层厚度为  $20\mu\text{m}$ . 图 3 是该全硅 LIGA 掩模板的电镜照片, 厚度为  $150\mu\text{m}$ . 图 4 是经过 X 光深层光刻工艺后光刻胶电镜照片, 光刻胶厚度为  $200\mu\text{m}$ , 其侧壁陡直, 但表面部分受损, 其主要原因是北京同步辐射光源的短波成份较多,  $150\mu\text{m}$  厚的硅还不能有效阻挡高能量的 X 光.

### 参考文献(References)

- 1 Ehrfeld W, Lehr H. Radiat. Phys. Chem., 1995, 45(3):349
- 2 Sheu J T, Chiang M H, SU S. Microsystem Technologies, 1998, 4:74
- 3 陈迪等. X 光掩模板制造技术. 中国专利. 申请号:00111413.1
- 4 Klein J, Guckel H et al. Microsystem Technologies, 1998, 4:70
- 5 Bhardwaj J K, Ashraf H. Proceedings of SPIE, 1996, 2639:224

## Study on New Type LIGA Mask Fabrication Technique

CHEN Di ZHU Jun LEI Wei WANG Sui ZHANG Da-Cheng<sup>1</sup> YI Fu-Ting<sup>2</sup>

(Institute of Micro/Nanometer Science & Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

1 ( Institute of Microelectronics, Peking University, CAS, Beijing 100871, China)

2 (Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

**Abstract** The fabrication of LIGA masks is a critical and challenging process in LIGA technique. As inductively coupled plasma (ICP) deepetching appears to be the most suitable source for deep silicon etching, we fabricated a new type LIGA mask using this technique. In comparison with other types of LIGA masks, the mask we fabricated has the advantages of its low cost and its simple fabrication process. Desired microstructures have also been fabricated using this new type LIGA mask in LIGA technique.

**Key words** LIGA mask, ICP deepetching, LIGA technique