

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510016552.2

[51] Int. Cl.
G02B 3/00 (2006.01)
G21K 1/00 (2006.01)

[43] 公开日 2006 年 8 月 2 日

[11] 公开号 CN 1811491A

[22] 申请日 2005.1.28

[21] 申请号 200510016552.2

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 梁静秋 乐孜纯 孔庆峰

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司
代理人 梁爱荣

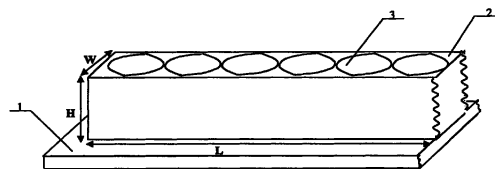
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种 X 射线组合透镜及其制作工艺

[57] 摘要

本发明属于 X 射线微结构光学器件，尤其是 X 射线组合透镜及其制作工艺。本发明包括：支撑体，透镜主体和空气腔。首先在单晶硅片表面依次制作聚酰亚胺和金属薄膜，光刻、电铸，去胶，开窗口，完成 X 射线光刻掩膜制作；然后，在钛片表面制备 X 射线光刻胶，用制备好的掩膜进行 X 射线光刻形成双抛物面型透镜形状的光刻胶结构和空气腔形状的空隙；最后进行电铸，塑铸，完成 X 射线组合透镜制作。本发明的优点是采用了抛物面结构透镜并采用 LIGA 技术制作，减小了聚焦成像时的球差，降低了粗糙度，减小了散射；高度方向的集光口径增大，提高辐射透过率。此外，可以制作出一体化、一次性精密加工成型、不需要精密装调、多种材料的 X 射线聚焦组合透镜。



1、一种 X 射线组合透镜，其特征在于：包括：支撑体（1）、透镜主体（2）、空气腔（3），在支撑体（1）的一个表面制备有透镜主体（2），透镜主体（2）由若干个双抛物面型透镜单元(4)顺序排列组成，透镜主体（2）的焦距尺寸大于透镜主体（2）的长度，在双抛物面型透镜单元(4)之间有空气腔。

2、一种 X 射线组合透镜的制作工艺步骤如下：

（A）对单晶硅片进行清洁处理，

（B）在步骤（A）的一个表面自旋涂覆一层聚酰亚胺涂料，

（C）将步骤（B）放在烘箱中固化，固化温度、时间根据需要设定，

（D）在步骤（C）的一个表面生长一层金属薄膜作为电铸阴极，

（E）对步骤（D）涂覆一层厚光刻胶，

（F）对步骤（E）进行光刻、显影、坚膜，

（G）对步骤（F）的一个表面生长金属层，作 X 射线光刻掩膜吸收体，

（H）去除步骤（G）的光刻胶及光刻胶下面的金属层，

（I）对步骤（H）的另一个表面进行光刻并腐蚀单晶硅片，即在单晶硅片上开出窗口，则完成 X 射线光刻掩膜的制作，

（J）将金属钛加工成钛片，

（K）用氢氧化钾和过氧化氢的混合溶液对步骤（J）表面进行处

理，

(L) 在钛片的一个表面涂敷所需厚度的 X 射线光刻胶，

(M) 对步骤 (L) 中的 X 射线光刻胶进行固化，

(N) 利用同步辐射 X 射线，用步骤 (I) 的 X 射线光刻掩膜，对步骤 (M) 中的 X 射线光刻胶进行曝光并显影形成双抛物面型透镜形状的光刻胶结构和空气腔形状的空隙，

(O) 利用电铸金属材料填充步骤 (N) 中的空隙，

(P) 对步骤 (O) 进行无掩膜 X 射线曝光，显影，以去除 X 射线光刻胶，

(Q) 利用步骤 (P) 的结构作模具进行塑铸，完成 X 射线组合透镜制作。

一种 X 射线组合透镜及其制作工艺

技术领域

本发明属于 X 射线微结构光学器件，尤其是涉及 X 射线组合透镜及其制作工艺。

背景技术

X 射线组合透镜是 A. Snigirev 在 1996 年提出的一种适用于高能 X 射线波段（即 X 射线辐射能量超过 5keV）的新型 X 射线微结构光学元件。X 射线组合透镜具有许多优点，比如不需折转光路、高温稳定性好且易冷却、结构简单紧凑、对透镜表面粗糙度要求低。特别是它适用于 X 射线辐射能量超过 5keV 的场合，因此该元件在科学的和技术的研究中有广泛的应用前景。近年来，基于 X 射线组合透镜的各种 X 射线诊断技术研究非常活跃。比如用于样本中元素分布测量的高能 X 射线荧光微层析实验系统；利用 Al 材料 X 射线组合透镜的中子显微镜；以及用于单细胞检测、化学微分析、早期胸部肿瘤检测等的高能 X 射线实验系统等等。这些都表明了 X 射线组合透镜的巨大应用潜力和广泛应用前景。

国际上与本发明最接近的工艺方法是采用电子束刻蚀与反应性离子束刻蚀相结合的平面微制作技术制成的 Si 材料抛物面形 X 射线组合透镜（C. Schroer, *et al.*, **Appl. Phys. Lett.**, 2003, vol.82, pp1485-1487）。

其制作过程是先将组合透镜用电子束刻蚀方法刻写在 Cr 膜上，然后再用反应性离子束刻蚀方法转写到 Si 材料上，完成组合透镜的制作。由于采用了微细制作技术，加工精度较高，但由于组合透镜高度尺寸受制作技术的限制，致使器件在高度方向的集光口径受到很大限制，并进而地影响了 X 射线辐射透过率。此外这种技术对 Si 材料的微细制作工艺较成熟，而对于其他材料限制较大。目前国内关于 X 射线组合透镜的研究较少，特别是对有机材料 X 射线组合透镜的研究更少。已授权的发明专利（02133089.1）是采用准分子激光刻蚀技术制作的。由于采用圆柱面，使得组合透镜聚焦成像时球差较大。同时，准分子激光刻蚀技术制作的 X 射线组合透镜结构高度和侧壁粗糙度指标均较低。

发明内容

为了解决背景技术球差大影响聚焦效果；结构的高度尺寸薄，影响 X 射线辐射透过率；粗糙度偏高使散射增大等问题，本发明的目的是提供一种加工精度高、表面粗糙度低、一体化并一次性精密加工成型、不需要精密装调的抛物面型的 X 射线聚焦组合透镜及制作工艺方法。

本发明包括：支撑体、透镜主体、空气腔，在支撑体的一个表面制备有透镜主体，透镜主体由若干个双抛物面型透镜单元顺序排列组成，透镜主体的焦距尺寸大于透镜主体的长度，在双抛物面型透镜单元之间有空气腔。

本发明的制作工艺步骤如下：

(A) 对单晶硅片进行清洁处理，(B) 在步骤 (A) 的一个表面自旋涂

覆一层聚酰亚胺涂料, (C) 将步骤 (B) 放在烘箱中固化, 固化温度、时间根据需要设定, (D) 在步骤 (C) 的一个表面生长一层金属薄膜作为电铸阴极, (E) 对步骤 (D) 涂覆一层厚光刻胶, (F) 对步骤 (E) 进行光刻、显影、坚膜, (G) 对步骤 (F) 的一个表面生长金属层, 作 X 射线光刻掩膜吸收体, (H) 去除步骤 (G) 的光刻胶及光刻胶下面的金属层, (I) 对步骤 (H) 的另一个表面进行光刻并腐蚀单晶硅片, 即在单晶硅片上开出窗口, 则完成 X 射线光刻掩膜的制作, (J) 将金属钛加工成钛片, (K) 用氢氧化钾和过氧化氢的混合溶液对步骤 (J) 表面进行处理, (L) 在钛片的一个表面涂敷所需厚度的 X 射线光刻胶, (M) 对步骤 (L) 中的 X 射线光刻胶进行固化, (N) 利用同步辐射 X 射线, 用步骤 (I) 的 X 射线光刻掩膜, 对步骤 (M) 中的 X 射线光刻胶进行曝光并显影形成双抛物面型透镜形状的光刻胶结构和空气腔形状的空隙, (O) 利用电铸金属材料填充步骤 (N) 中的空隙, (P) 对步骤 (O) 进行无掩膜 X 射线曝光, 显影, 以去除 X 射线光刻胶, (Q) 利用步骤 (P) 的结构作模具进行塑铸, 完成 X 射线组合透镜制作。

本发明的优点是透镜采用了抛物面结构, 减小了组合透镜聚焦成像时的球差, 使聚焦效果好; 由于采用本发明三维微加工制作技术, 使组合透镜具有加工精度高、可加工多种几何形状和结构等优点。本发明表面粗糙度低, 解决了因粗糙度偏高带来的散射大的问题, 采用 LIGA (LIGA 为德文缩写, 代表一种高深宽比的微型三维结构制作技术, 其主要工艺步骤为 LI—同步辐射 X 射线光刻, G—电铸, A—塑铸)

技术，制作出的 X 射线聚焦组合透镜具有更高的结构高度和深宽比，解决了结构的高度尺寸薄，影响 X 射线辐射透过率的问题；由于 X 射线聚焦组合透镜在高度方向的集光口径增大，从而提高了 X 射线辐射透过率。同时，X 射线聚焦组合透镜侧壁粗糙度指标较准分子激光刻蚀技术好。此外，用 LIGA 技术中的塑铸工艺可以制作出一体化、一次性精密加工成型、不需要精密装调、多种材料的 X 射线聚焦组合透镜。本发明适用于有机材料或金属材料或陶瓷材料的抛物面形 X 射线组合透镜制作的场合。

附图说明：

图 1 是本发明结构示意图。

图 2 是本发明双抛物面型透镜单元结构示意图。

具体实施方式：

如图 1 所示，本发明 X 射线聚焦组合透镜包括支撑体 1、透镜主体 2、空气腔 3。支撑体 1 和透镜主体 2 可选用三甲基丙烯酸酯、聚酰亚胺、聚碳酸酯、环氧树脂等有机材料。空气腔 3 为空气。透镜主体 2 的焦距尺寸大于透镜主体 2 的长度可选择为 0.5 米或 1 米或 2 米或 3 米或 5 米或其它尺寸。

本发明的制作工艺具体如下：

1、硅衬底可采用（100）或（110）或（111）晶面的单晶硅片，衬底清洁处理步骤为：

- 1). 以甲苯、丙酮、乙醇等去除油污等有机物，
- 2). 用王水煮沸去除金属离子，
- 3). 用去离子水超声清洗，无水乙醇脱水后烘干，

2、表面自旋涂覆一层聚酰亚胺涂料厚度在 2—30 微米之间，

3、聚酰亚胺涂料固化条件与厚度有关，升温时采用梯度升温法，到达最高温度后持续适当时间后缓慢降到室温，以保证聚酰亚胺充分固化同时不发生脆裂，

4、电铸阴极材料可选用 Cu，钛或金等金属材料，

5、厚光刻胶可选用 AZP4000 系列产品，AZP4903，AZP4620 等，

6、掩膜吸收体材料选用金，

7、用丙酮或专用去胶剂去除厚光刻胶，用干法或湿法腐蚀去除光刻胶下面的金属层，

8、用湿法腐蚀或干法刻蚀在单晶硅片上开出窗口，

9、钛片表面的 X 射线光刻胶采用自旋涂敷或滴胶等方式进行涂胶，也可直接采用实现固化好的 X 射线光刻胶板粘在钛片表面，

10、对 X 射线光刻胶采用接近式曝光，

11、利用电铸金属材料镍或钛或坡莫合金或不锈钢等填充 X 射线曝光后形成的空气腔形状的空隙，

12、无掩膜 X 射线曝光的曝光条件与有掩膜曝光的曝光条件相同，

13、塑铸的材料可采用三甲基丙烯酸酯、聚酰亚胺、聚碳酸酯、环氧树脂等有机材料，或其他可以采用塑铸技术的低原子序数的材料。

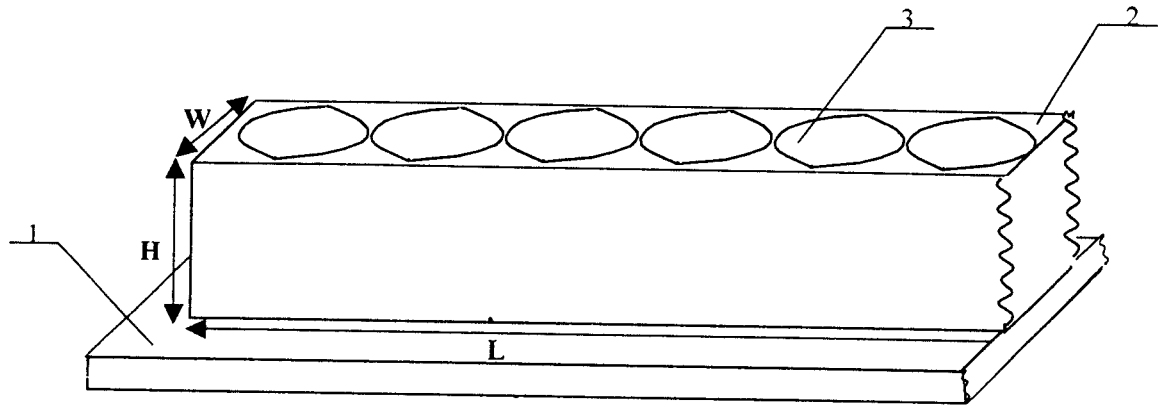


图 1

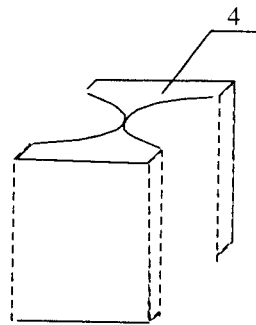


图 2