

BSRF 上同步辐射深度光刻的实验研究*

彭良强 伊福廷 韩勇 张菊芳

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 大结构深度和高深宽比是同步辐射深度光刻的突出优点. 提出采用现有掩模, 进行多次曝光、显影的方法, 实验获得厚 2.2mm 的胶结构. 系列研究掩模、光刻胶、基底、光谱和光强对深宽比的影响, 实验获得深宽比 104 的胶结构.

关键词 同步辐射深度光刻 超深结构 高深宽比

1 引言

LIGA 技术由同步辐射 X 光深度光刻、电铸、塑铸 3 种工艺构成, 可以加工的最细线条达亚微米量级, 可加工的结构深度达毫米量级, 深宽比高达 200, 表面光洁度高, 适用于塑料、金属、陶瓷等多种材料, 可应用领域广. 由于 LIGA 技术需要昂贵的同步辐射装置, 人们以感应耦合等离子体刻蚀、深紫外光刻等代替同步辐射深度曝光, 发展出准 LIGA 技术, 靠牺牲结构深度和深宽比等性能换来价格便宜, 准 LIGA 技术的竞争使得 LIGA 技术的应用集中到大结构深度和高深宽比的高精尖领域, 鉴于这些领域的重要性, 而准 LIGA 技术又不能达到要求, 因此国际上在应用 LIGA 技术十年后的今天, 非但没有因为准 LIGA 技术的出现而放弃 LIGA 技术, 反而重新回过头来重视同步辐射深度光刻基础工艺过程的深入研究^[1]. 本文报道北京同步辐射装置(BSRF)的 LIGA 实验站上深度光刻的实验研究.

2 大结构深度实验

H. Guckel 等人采用硬 X 光、长时间曝光获得厚 1cm 的胶结构^[2], 但由于上表面曝光剂量过大, 显影不良, 未获得实际应用. 程曜等人将掩模直接做在光刻胶上, 提出多次曝光、显影的方法, 获得显影良好、厚达 2mm 的胶结构^[3]. 但这样一来失去利用掩模批量复制的功能, 二来将掩模直接做在光刻胶上的工艺较复杂. 本文提出采用现有掩模,

* 国家攀登计划和中国科学院专项基金资助

进行多次曝光、显影的改良方法,以获得厚胶结构.实验中采用一固定夹具,使掩模与光刻胶保持一定间隙,显影液通过固定夹具中的间隙进入样品,可以进行多次曝光、显影的操作.

北京同步辐射装置 3W1 光束线的 X 光硬成分较多,可直接获得厚 1mm 的胶结构^[4].作为对比,采用长时间曝光的方法,实验获得厚 2mm 的胶结构,但不能很好显影.为了获得显影良好的厚胶结构,采用多次曝光、显影的方法.经多次试验,采用 4 次曝光、一次曝光 0.5mm,效果较好,图 1 是采用该方案得到的 2.2mm 厚的光刻胶结构,可见外表面光滑平整,未出现因多次曝光、显影的中断而产生的起伏.由于存在气泡类缺陷,涂厚胶工艺尚需进一步提高.



图 1 实验获得的 2.2mm 厚的光刻胶结构

3 高深宽比实验

高深宽比是 LIGA 技术的最突出特点,也是准 LIGA 技术难以企及的一个方面.影响深宽比的因子很多,如光刻胶的品质、基底材料的性质、光谱和光强、掩模的结构等.

首先是掩模的性质.我们采用基于 SU8 胶的准 LIGA 技术制作掩模,曾获得深宽比 44 的结果^[5].目前掩模制作工艺已趋于成熟.其次是 PMMA 光刻胶的特性,尤其是内应力影响很大.我们设计了一个正交实验,以考察交联剂和引发剂的浓度、固化温度和时间对内应力的影响,结果表明在合理的范围内,交联剂和引发剂的浓度影响不大,固化温度和时间影响很大,固化温度以 110℃为宜,充分固化后的降温过程需十分缓慢,才能有效降低内应力.然后是基底的性能.实验结果表明硅片、玻璃片传热性能不良,对曝光不利,钛片、铜片与 PMMA 的结合良好,且传热性能良好,但铜片在显影液中易被侵蚀,因此钛片具有最佳的综合性能.

最后,光谱和光强的影响极大.北京同步辐射装置 3W1 光束线的 X 光硬成分较多,光强较大,对于产生高深宽比结构不利.考虑到同步辐射角分布中高能光子更集中于小角度区,这里采用 X 光斩波器方法去除光束线光谱中硬成分,具体地说,将金属阻挡棒插在光路中,挡住光斑中心的 X 光,从而改变了光谱.同时 X 光斩波器大大降低了光强,实验中通过测量金属阻挡棒后金箔上的光电流强度来比较光强的相对大小,结果表明,降低光强有助于减小光刻胶中的热应力,有利于产生高深宽比结构.图 2 是在优化条件下获得的厚 470μm 的胶结构,最细线条设计尺寸 5μm,实测尺寸 4.5μm,深宽比达 104.

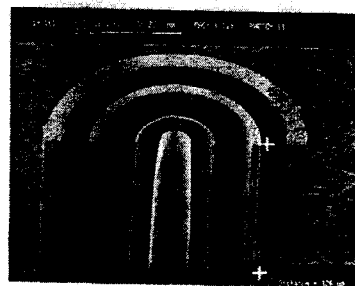


图 2 实验获得的高深宽比胶结构,最大深宽比 104

4 小结

本文提出采用现有掩模, 进行多次曝光、显影的方法, 既可获得厚胶结构, 又保持了掩模的批量复制功能, 实验获得 2.2mm 厚的光刻胶结构, 其外表面光滑平整. 系列研究掩模、光刻胶、基底、光谱和光强对深宽比的影响, 针对 3W1 光束线的实际情况, 采用 X 光斩波器方法调制光谱和光强, 实验获得深宽比 104 的胶结构. 2.2mm 厚的深胶结构和深宽比 104 的胶结构的获得, 表明我们的微细加工技术研究为新的应用领域开辟了道路.

中国科学院化学所的习复研究员提供了 PMMA 光刻胶, 并给予了有益的指教, 在此表示感谢.

参考文献(References)

- 1 Griffiths S K, Hruby J M, Ting T. J. *Micromech. Microeng.*, 1999, 9:353
- 2 Guckel H, Christenson T R, Klein J et al. *Proc. 7th Int. Symp. On Microsystems, Intelligent Materials and Robots*, 1996, p21
- 3 CHENG Y, Shew B Y, Lin C Y et al. *J. Micromech. Microeng.*, 1999, 9:58
- 4 YI F, JIN M, TANG E et al. *Microsystem Technologies*, 1996, 3:7
- 5 PENG Liang-Qiang, YI Fu-Ting, ZHANG Ju-Fang et al. *Micro/Nano Science and Technology*, 2000, 5:51 (in Chinese)
(彭良强, 伊福廷, 张菊芳等. *微米/纳米科学与技术*, 2000, 5:51)

Study on Synchrotron Radiation Lithography at BSRF*

PENG Liang-Qiang YI Fu-Ting HAN Yong ZHANG Ju-Fang

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

Abstract It is the excellence for fabricating microstructures with high aspect ratio and great structural height by synchrotron radiation lithography. A successive exposure method with present masks is put forward in this paper. Microstructures with thickness 2.2mm have been obtained by this method. A serial of studies of the effects on aspect ratio of mask, PMMA resist, substrate, wavelength range and dose of X rays have been processed. Microstructures with aspect ratio 104 have been obtained under optimized condition.

Key words synchrotron radiation lithography, ultra-deep microstructure, high aspect ratio

* Supported by National Climb Plan and Science Foundation of The Chinese Academy of Sciences