

机械外,还制作出了多种其他的微结构或微机械,在此不一一举例.总之,实验已经证明,LIGA技术是制作微结构和微机械的成功方法.

国内LIGA技术的研究工作尚处于起步阶段,目前中国科学技术大学国家同步辐射实验室和中国科学院高能物理研究所同步辐射实验室等单位正在进行这方面的研究工作.

参 考 文 献

- [1] E. W. Becker, E. Ehrfeld et al., *Microelectroc. Eng.*, 4(1986), 35.
- [2] A. Ronger, J. Echert, D. Munchmeyer et al., *J. Micromech. Microeng.*, 2(1992), 133.
- [3] W. Ehrfeld, P. Bley, F. Gots et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, B6-1(1988), 178.
- [4] W. Ehrfeld and D. Munchmeyer, *Nucl. Instrum. and meth. in Phy. Res.*, A303(1991), 523.
- [5] H. Leher, W. Ehrfeld, Proc. of the European Symposium on Frontier in Science and Technology with Synchrotron Radiation, Aix-en-Provence, France, April 5—8, 1994.
- [6] D. Munchmeyer and J. Langen, *Rev. Sci. Instrum.*, 63(1992), 713.
- [7] H. Lehr, W. Ehrfeld, M. Schmidt et al., *J. Micromech. Microeng.*, 2(1992), 229.
- [8] B. Kowang, W. Bacher, P. Bley et al., Proc. of Micromech. Europe, Nov. 26—27, 1990, Berlin, Germany.
- [9] C. Burbaum, J. Mohr and P. Bley, *Sensors and Actuators A*, 25—27(1991), 559.
- [10] J. Mohr, C. Burbaum et al., Proc. of 1st Int. Conf. on Micro. Electro. Mechanical Systems, Sept. 10—13, 1990, Berlin, Germany.
- [11] P. Bley, J. Gottert, M. Harmening et al., 2nd Int. Conf. Micro. Electro. Opt. Mech. Systems and Components, Oct. 29—Nov. 1, 1991, Berlin.
- [12] A. Rogner, W. Ehrfeld, D. Munchmeyer et al., *J. Micromech. Microeng.*, 1(1991), 167.
- [13] H. Guckel, *Nucl. Instrum. and Meth. in Phy. Res.*, B79(1991), 247.
- [14] H. Lehr, W. Ehrfeld, The 6th Chinese International Summer School of Physics Application of Synchrotron Radiation, Beijing, July, 1992.
- [15] W. Ehrfeld, *Microsystem Technologies '90*, ed. H. Reichl, Berlin, Springer, pp. 521—528.
- [16] J. Mohr, B. Anderer and W. Ehrfeld, *Sensors and Actuators A*, 25—27(1991), 571.
- [17] D. Munchmeyer and W. Ehrfeld, *SPIE*, 803(1987), 72.
- [18] A. Rogner and W. Ehrfeld, *SPIE-Proc.*, 1506(1991), 80.
- [19] J. Cottert and J. Mohr, *SPIE-Proc.*, 1506(1991), 170.
- [20] A. Robner, Proc. Plastic Optical Fibers and Applications Conf., Paris, (1992).
- [21] K.-H. Brenner, M. Kufner, S. Kufner et al., *Appl. Optics*, 32(1993), 6464.
- [22] A. Muller, J. Gottert and J. Moht, *J. Micromech. Microeng.*, 3(1993), 158.
- [23] U. Wallrabe, P. Bley, B. Krevet et al., Micro. Electro. Mechanical Systems'92, Feb. 4—7, 1992, Trave-munde, Germany.

合肥国家同步辐射实验室同步辐射光刻研究*

胡 一 贯

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室,合肥 230026)

摘 要 同步辐射光刻技术是X射线光刻技术的重要发展,适用于深亚微米乃至纳米级图形的超微细加工,特别是LIGA技术的出现大大拓展了同步辐射光刻的应用领域,使它不仅适合于超大规模集成电路等平面微结构的加工,也适合于具有复杂构造的三维立体结构和器件的制作.文章简要介绍了NSRL光刻光束线和实验站概况及研究工作进展.

* 1995年6月28日收到.

关键词 X射线光刻,同步辐射光刻,超微细加工,LIGA技术;

纵观集成电路的发展进程,可以看出这一进程的关键是以光刻技术为核心的微细加工技术的进步.虽然近年来对光学光刻技术从光源、抗蚀剂、掩模等多方面进行改进,使极限分辨率指标有所提高,但同时也增加了工艺技术的复杂性.因此有必要发展深亚微米乃至纳米级的其他光刻技术.X射线光刻、电子束光刻、离子束光刻等新一代技术应运而生,其中X射线光刻以其独具的综合优势引人注目^[1].实验研究表明,X射线光刻的加工极限可达10nm左右^[2].然而传统的X射线管亮度低,平行性差,加工效率低,不能满足工业生产的实用化要求,因此采用等离子X射线源、同步辐射(SR)等高亮度光源进行光刻技术的开发.1974年,E. Spiller等在德国DESY进行了首次同步辐射光刻实验.可以说,同步辐射光刻技术是X射线光刻技术的重大发展.SR光源的高度平行性使得光刻的几何学误差(半影模糊、位置偏离等)减小到可以忽略的程度.光源的高亮度使得曝光效率大大提高.

同步辐射光刻技术受到世界上越来越多的国家的重视,特别是80年代中期出现了以同步辐射深度光刻为核心工艺的LIGA技术^[3](德文:Lithographie, Galvaformung, Abformung;中文:光刻、电铸制模、注模复制).这是一种非常有价值的三维微细加工技术,它的出现大大拓展了同步辐射光刻的应用领域,使它不仅适合于集成电路等平面微细结构的加工,也适合于具有复杂构造的三维立体微结构、微器件乃至微系统的制作.

国家同步辐射实验室(NSRL)的X射线光刻实验站几年来开展了一系列实验研究,取得了一批有意义的研究成果,表明合肥同步辐射光源非常适合X射线光刻研究和单次曝光微器件的研制,也适合LIGA技术深度光刻的初期研究.

合肥NSRL二期工程即将启动,原有实验线站将进一步得到完善,还将新建一批实验线站,其中有一个LIGA专用实验线站.

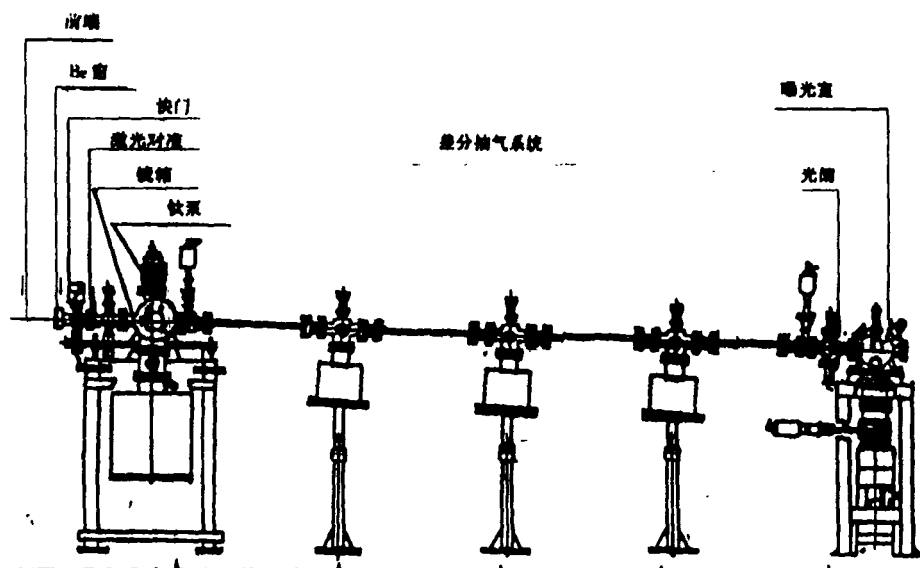


图1 NSRL光刻光束线结构示意图

1 NSRL 光刻光束线实验站组成及技术参数

光刻光束线(U₁)结构如图1所示^[5]。光束线主要由前端、曝光快门、扫描镜箱、差分抽气管道、曝光室、测量控制系统以及真空联锁保护系统所组成。单次曝光机安装在洁净室中。另外实验站还附设专用工艺及测量实验室。

主要技术参数如下:

工作波长: 0.5—2.0nm; 曝光面积: 30 × 30mm²; 曝光室真空度 < 5 × 10⁻⁴Pa; 曝光均匀性: 优于 ±10%。

2 主要实验研究结果

(1) 采用国产光刻胶和国外 X 射线掩模进行了一系列曝光、显影和图形转换实验, 光刻胶为正性胶 PMMA 和负性胶 PCMS, 掩模吸收体为 0.8 μm 厚的金, 掩模基底为 2 μm 厚的硅, 掩模图形最小线宽为 0.2 μm。光刻胶采用旋涂和静态两种方式涂敷。典型的实验结果是: 做出了线宽 0.2 μm、高宽比大于 6:1 的正性光胶 PMMA 图形〔见图 2 扫描电镜 (SEM) 照片〕和线宽 0.3 μm 负性光刻胶 PCMS 图形^[6]。

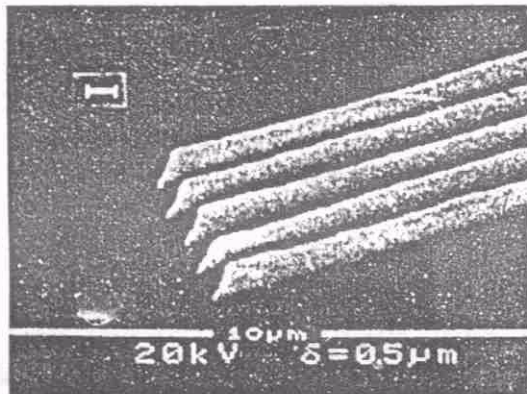


图2 同步辐射 X 射线光刻得到的深亚微米图形 SEM 照片(线宽小于 0.2 μm)

(2) 采用静态涂胶工艺和本实验室自制的 25 卷 (1996 年) 第 2 期

X 射线掩模, 开展了一系列深度 X 射线光刻 (LIGA 技术核心工艺) 实验研究, 研制出一系列 PMMA 材料微型叶轮、齿轮、光纤夹、马达定子等零件, 最小齿轮直径 35 μm、高 50 μm (见图 3 的 SEM 照片)^[7]。

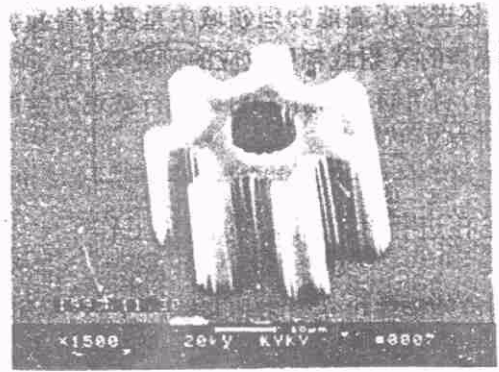


图3 LIGA 深度 X 射线光刻得到的微齿轮 SEM 照片

(3) 采用同步辐射曝光、离子束刻蚀等组合工艺开展纳米级加工的探索研究, 获得了最小线宽 50nm 的金线条, 此方法可望用于量子线、量子点器件的研制。

(4) 开展了 X 射线光刻掩模研制工作, 采用聚酰亚胺 (PI) 基底, 金吸收体结构, 已研制出最小线宽 0.7 μm 声表面波叉指换能器掩模和多种 LIGA 深度光刻用掩模。

(5) 采用同步辐射光刻方法复制光栅、波带片等微光学元件, 取得良好的实验结果。

(6) 接待用户课题, 开展合作研究也取得一些很有意义的研究结果。如: 与东南大学合作进行的超薄层 PMMA LR 膜高分辨率 X 射线刻蚀研究, 初步证实了超薄层光刻胶 (小于 10nm) 结合 X 射线曝光, 具有进行纳米级超微细加工的潜力。与中国科学院半导体研究所和微电子中心合作进行的 HEMT 材料物理与器件研究, 通过一系列光刻实验研究表明, 同步辐射光刻可作为研制超高频 HEMT 器件的有效手段。与中国科学技术大学材料科学系合作进行的新型 X 射线光刻胶研究也取得一些较好的实验结果, 将促进原有光刻胶性能改进和新

型 X 射线光刻胶的研制.

(7)进行了一系列同步辐射 X 射线辐照实验研究,并取得了一些有意义的实验结果.如:进行了同步辐射 X 射线对多层膜性能影响的研究.进行了农作物种子的 X 射线辐照效应的研究,还进行了高能物理领域中重要材料新型闪烁晶体的 X 射线辐照效应的研究等.

(8)利用同步辐射 X 射线进行微观力学测试的研究.

3 正在进行和拟开展的研究工作

(1)同步辐射光刻相关基础技术研究:如:曝光工艺及图形转换技术,X 射线掩模研究与研制,光刻胶技术,干法刻蚀及镀膜技术等.

(2)只需单次 X 射线曝光的微结构与器件的研制.如声表面波器件、多层膜光学元件、HEMT 器件、超导红外探测器件等.

(3)LIGA 技术研究及三维微结构与器件的研制.继续开展深度同步辐射光刻、精密电铸等 LIGA 相关基础技术研究,并利用 LIGA 工艺研制集成光学元件和传感器等.首批选定的研制目标是微光学元件、微光纤夹和微型加速度传感器.

参 考 文 献

- [1] 阿刀田伸史, *ULVAC Technical Journal*, 34(1990), 12.
- [2] A. Heuberger, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 6(1988), 107.
- [3] D. C. Flanders, *Appl. Phys. Lett.*, 36(1980), 93.
- [4] W. Ehrfeld and D. Munchmeyer, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.*, A303(1991), 523.
- [5] 胡一贯、田扬超、刘泽文等,第一次两岸同步辐射学术研讨会论文集,北京,1993年10月,第379页.
- [6] 刘泽文、田扬超、胡一贯等, *科学通报*, 39(1994), 572.
- [7] 田扬超、洪义麟、付绍军等, *科学通报*, 40(1995), 83.

合肥扭摆器光源的特性和利用*

徐朝银 张允武 刘乃泉 周洪军

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室,合肥 230026)

摘 要 国家同步辐射实验室正在设计和制造一台 6T 单周期超导扭摆器(wiggler),把合肥同步辐射光源的可用范围延伸到 X 射线,满足部分 X 射线用户的要求.利用扭摆器光源装备四条光束线,分别用于 X 射线吸收精细结构(XAFS),生物大分子晶体多波长反常衍射(MAD),X 射线深度光刻(LIGA)和高分辨 X 射线衍射(HRXD)的研究.该文介绍了合肥扭摆器光源的主要特性、光束线前端保护、分束系统和各条光束线的设计参数及结构方案.

关键词 扭摆器,同步辐射,光束线,单色仪

1 光源特性

合肥同步辐射电子储存环的电子能量为 0.8GeV,从弯铁引出的同步辐射主要使用其真空紫外和软 X 射线波段.为了扩展光源的使用

范围,目前正在设计和制造一台 6T 单周期超导扭摆磁铁,它将安装于储存环的长直线节上.电子束团由于受到超导扭摆磁铁的强磁场作用,局部偏离正常的直线轨道,形成曲率半径随

* 1995年7月11日收到.