

文章编号 1004-924X(2007)05-0735-06

UV-LIGA 技术制备微型柔性镍接触探针

明平美^{1,2}, 朱 荻², 胡洋洋², 曾永彬²

(1. 河南理工大学 机械与动力工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要:对探针的制作方法、关键工艺环节等进行了分析与研究,给出了基于 UV-LIGA 技术制备微型柔性镍接触探针的工艺过程,分析了制备的技术关键,试验优选了关键制备环节的工艺参数,在此基础上,制作出微型柔性镍接触探针。试验结果表明:采用工艺条件优选的 UV-LIGA 技术,如前烘 60 °C,120 min,90 °C,120 min;较大曝光剂量;后烘 65 °C,10 min,95 °C,45 min;匀胶后静置、随炉冷却和超声辅助显影等辅助措施,所制备出的柔性接触探针(主体总长 4 mm,宽 80 μm,高 100 μm;弹簧处高宽比为 5(100 μm:20 μm))尺寸精度高;三角锥状针尖曲率半径小于 5 μm;缺陷少,形貌质量高。

关键词:UV-LIGA;柔性接触探针;SU-8 胶;光刻;电铸

中图分类号:TN305.7 **文献标识码:**A

Fabrication of nickel soft contact microprobe based on UV-LIGA

MING Ping-mei^{1,2}, ZHU Di², HU Yang-yang², ZENG Yong-bin²

(1. *School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China*; 2. *Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China*)

Abstract: Fabrication method and its key process points of the micro probes used in ICs or semiconductors were analyzed. The processes of nickel soft contact microprobes produced by UV-LIGA were introduced. By analyzing on its fabricating keys and optimizing the experimental process parameters of some key fabrication steps, a kind of nickel soft contact microprobe was fabricated. The experimental results show that nickel soft contact microprobe has total length of 4 mm, width of 80 μm, and height of 100 μm. Radius of curvature of the tip is less than 5 μm and the high-to wide ratio(100 μm : 20 μm) of spring is 5. The micro probes with appropriate dimensional accuracy, good appearance quality and less drawbacks can be fabricated relatively economically based on the optimized process conditions (before-exposure bake: 60 °C, 120 min, 90 °C, 120 min; exposure: high level of exposure energy; post-exposure bake: 65 °C, 10 min, 95 °C, 45 min; accessorial measurements: ultrasonic stirring developing, placing in air, cooling resist with stove closed) of UV- LIGA.

Key words: UV-LIGA; soft contact microprobe; SU-8 resist; photography; electroforming

收稿日期:2006-12-11;修订日期:2007-1-7.

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(No. 2004214)

1 引言

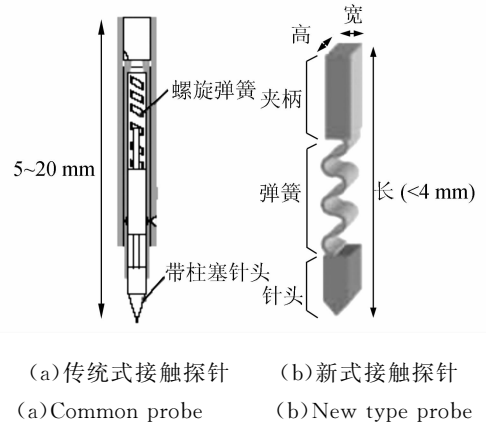
集成电路芯片的检测是微电子和半导体行业极其关键的工艺步骤,是保证和评价微电子、半导体器件质量和性能的重要手段,也是占用巨大工艺成本的工艺环节。所以,对微电子和半导体半成品、成品实施密集高效的检测十分必要。基于探针接触式检测原理的探针卡是实施该任务的常用检测装置,其中,高强度柔性接触探针是其核心部件。

随着功能产品(如移动产品、航空航天产品、生物检测产品等)日渐功能化和微型化,半导体芯片也随之高度集成化,使得电极焊盘的尺寸变得越来越小,一般为 $100\ \mu\text{m}$ 左右,有的甚至小于 $40\ \mu\text{m}$,且焊盘之间的间隔也越来越密集。这就要求接触探针相应缩小,以满足检测的要求。传统的接触探针制造方法——由螺旋弹簧与探针等装配而成,很难满足现实应用的需要。为此,日本 SEI 公司(Sumitomo Electric Industries, Ltd.)利用 LIGA(德语: Lithographie, Galvanoformung, Abformung 三词缩写,由 X 射线光刻、电铸成型和塑铸成型等三个主要工艺步骤组成)技术开发了新型接触探针,其中探针(方形截面, $<80\ \mu\text{m} \times 80\ \mu\text{m}$)和弹簧连为一体。据报道,采用镍锰合金制备而成的该种接触探针强度和弹性大、耐热和导电性能好,耐磨且工作寿命长。

但由于 LIGA 技术工艺成本极其昂贵,使得该种探针制造方法很难推广应用,有必要探求制造成本更低而工艺能力相当的新的实现手段^[1]。以具有优越机械光化学性能的 SU-8 系列光刻胶为光敏材料、紫外光为曝光光源的 UV-LIGA 技术,工艺可控性好,易于实现批量生产,加工成本低廉,胶模图形制作质量高,是近年微加工领域的研究热点,尤其在制造高深宽比复杂形状 Micro/Meso 尺度结构方面更具工艺优势。以该技术为主要加工手段,已制作出含有金属 Micro/Meso 尺度结构的加速度计、探针阵列、带平面线圈的涡流传感器、磁力驱动执行器等元器件^[2-4]。本文采用 UV-LIGA 技术来制造柔性接触探针。在介绍制备工艺过程和分析技术关键的基础上,试验优选了重要操作环节的工艺参数,以期制备出形貌光整且缺陷少的柔性镍接触探针。

2 试验设备、试验过程和试验条件

UV-LIGA 由基片处理、匀胶、前烘、曝光、后烘、显影、漂洗干燥、电铸、去胶等多个工艺环节组成。由于 SU-8 胶对工艺参数和操作条件的依赖性非常强,受其改变非常敏感,且相互影响,应用不同,工艺参数和操作条件可能相差很大^[5-7]。为了便于电铸后的金属探针与基底分离,本文采用金属薄片——不锈钢片(1Cr18Ni9Ti, 直径 $40\ \text{mm}$, 厚 $400\ \mu\text{m}$)为基片,而金属基底的 SU-8 胶工艺很少研究报道。金属基片的线性热膨胀系数(CET)比较大,极易受后续工艺环节如前烘、后烘等升降温过程的影响;胶模易引入很大内应力,使胶模畸变损坏。



(a)传统式接触探针 (b)新式接触探针
(a)Common probe (b)New type probe

图 1 两种柔性接触探针

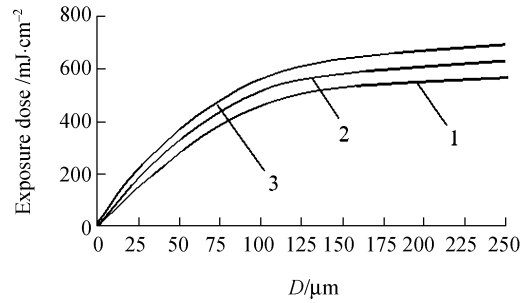
Fig. 1 Two types of soft contact probe

为了尽可能减少探针和被检测对象在检测过程中受损害的几率和程度,延长检测设备的寿命,增强检测的适应性,保证探针与被检测对象的良好接触,接触探针需要较大的弹性和刚度,这主要靠弹簧来实现,如图 1 所示。由于弹簧厚($>80\ \mu\text{m}$)而窄($<20\ \mu\text{m}$),高宽比 >4 ,且整个探针最宽处与最窄处的尺寸之比也 >4 ,从而使光刻成型过程中,由于胶模面积的差异大而出现应力分布的严重不均和应力集中现象,弹簧模腔易产生变形;另外,由于弹簧模腔窄且深宽比大,显影和电铸过程中会出现很严重的物质传输受限现象,致使胶模出现显影不透、金属探针针孔和积瘤多等缺陷。为此,弹簧的制作是探针制备的关键。另外,探针的针尖既要尽量尖,又要一定的硬度和耐磨性,需

要从工艺优化和材料选择两方面来保证,针尖的制作是探针制备的又一关键工艺。

试验所使用的胶为 SU-8 100 (MicroChem. Corp., MCC 公司提供),研磨抛光后的金属基片除油除污、漂洗与干燥等预处理环节按文献[8]介绍的方法进行。倒胶上胶采用文献[9]描述的方法。匀胶转速控制为:700 r/min,5 s;按 5 r/s^2 角加速度增加转速到 2000 r/min,并保持 15 s,按 -8.33 r/s^2 的角加速度使转速降为零。匀胶后静置 30 min。前后烘在改装后的恒温对流烘箱(附加可调节水平度的承片板)中进行,前烘温度和时间、曝光剂量、后烘温度和时间等工艺参数如表 1 所示。其中,前烘温度和时间采用两组参数,一组是硅基片 SU-8 胶光刻推荐采用的工艺参数^[10],另一组为“温和型”的,以期减少长时间高温引发大热应力的风险;曝光剂量(根据胶膜厚度由紫外光强度 \times 时间确定)分为大、中、小三个等级,其中中等级为 SU-8 胶生产商推荐的曝光剂量,大和小等级分别比中等级的曝光剂量高或低 10%,如图 2;后烘工艺条件也分为两组,一组相对“温和”,另一组延长了 95 $^{\circ}\text{C}$ 的交联反应时间,比前者(硅基片推荐使用)的后烘程度要“过”一些。为实现缓慢平稳降温,尽可能避免温度骤变引入大应力,前烘和后烘降温时都采用随炉冷却方式:关掉恒温箱电源后,继续关闭箱门,让其自

然冷却 10 min,然后开箱自然冷却至室温。用 SU-8 胶配套显影液进行显影,显影时采用常规浸泡方式,同时辅助人工搅拌或超声振动搅拌,超声显影装置由超声清洗设备改造而成,振动频率较低(33 kHz),超声功率(0~100 W)连续可调。



1. 小曝光剂量 2. 推荐曝光剂量 3. 大曝光剂量
图 2 试验中采用的不同曝光剂量级
Fig. 2 Different exposure doses used in experiment

微细电铸采用新型复合工艺:周期性抽气+周期性冲液+热梯度,且阴极板水平放置,具体实施过程如文献[4]。电解液组成与工艺条件为:氨基磺酸镍(浓缩液),420 ml/l;氯化镍,6 g/l;硼酸,37.5 g/l;适量润湿剂;电流密度 300 A/m^2 ;温度 25 $^{\circ}\text{C}$ /60 $^{\circ}\text{C}$;高速冲液式搅拌。电铸时间 6 h。去胶过程是利用 NMP 专用去胶剂并辅助超声搅拌、加热和热胀冷缩等工艺措施来完成。用电子扫描显微镜(SEM)观测胶模和电铸件的形貌特征。

表 1 SU-8 胶光刻部分工艺参数

Tab. 1 Parameters of photography with SU-8 resist

序号	前烘				曝光剂量	后烘				探针胶模形貌 (Fig. 3)
	温度 (°C)	时间 (min)	温度 (°C)	时间 (min)		温度 (°C)	时间 (min)	温度 (°C)	时间 (min)	
1	65	60	95	180	大	65	10	95	45	(a)
2	65	60	95	180	中	65	10	95	45	(b)
3	65	60	95	180	小	65	10	95	45	(c)
4	60	120	90	120	大	65	10	95	45	(d)
5	60	120	90	120	中	65	10	95	45	(e)
6	60	120	90	120	小	65	10	95	45	(f)
7	65	60	95	180	大	65	5	95	65	(g)
8	65	60	95	180	中	65	5	95	65	(h)
9	65	60	95	180	小	65	5	95	65	(i)
10	60	120	90	120	大	65	5	95	65	(j)
11	60	120	90	120	中	65	5	95	65	(k)
12	60	120	90	120	小	65	5	95	65	(l)

3 结果与分析

3.1 前烘、曝光和后烘

在相同显影条件下(辅助超声振动,功率 15 W,时间 12 min,常温),前烘、曝光和后烘对应采用表 1 的工艺条件和参数。各组工艺条件下对应制作出的柔性探针胶模关键区域形貌如图 3 所示。试验结果显示,前烘、曝光和后烘采用表 1 第 4 组对应的工艺参数,即,前烘 60 $^{\circ}\text{C}$,120 min,90 $^{\circ}\text{C}$,120 min;较大曝光剂量;后烘 65 $^{\circ}\text{C}$,10 min,95 $^{\circ}\text{C}$,45 min,并结合匀胶后静置、随炉冷却等工艺措施,光刻出来的柔性探针胶模结构质量非常好,没有明显缺陷。这说明,在不锈钢上进行 SU-8 胶光刻,不能直接采用硅基片常用的前后烘

条件和曝光剂量。适度降低前烘程度,尤其是高温阶段的温度和时间,以“平缓式”的烘烤来去除胶模中大部分水分,有利于减小高温阶段金属基底和胶模热失配而引发大热内应力的几率和程度,为后续工艺步骤的顺利进行创造了有利条件,另一方面,适当提高曝光剂量,使曝光区域吸收充分的光能量,并施以适当程度的后烘,既能保证胶模的彻底曝光,又不至于使曝光区域光交联度过大(即后烘程度偏大)时,引发很大的机械应力,使胶模变形脱落。

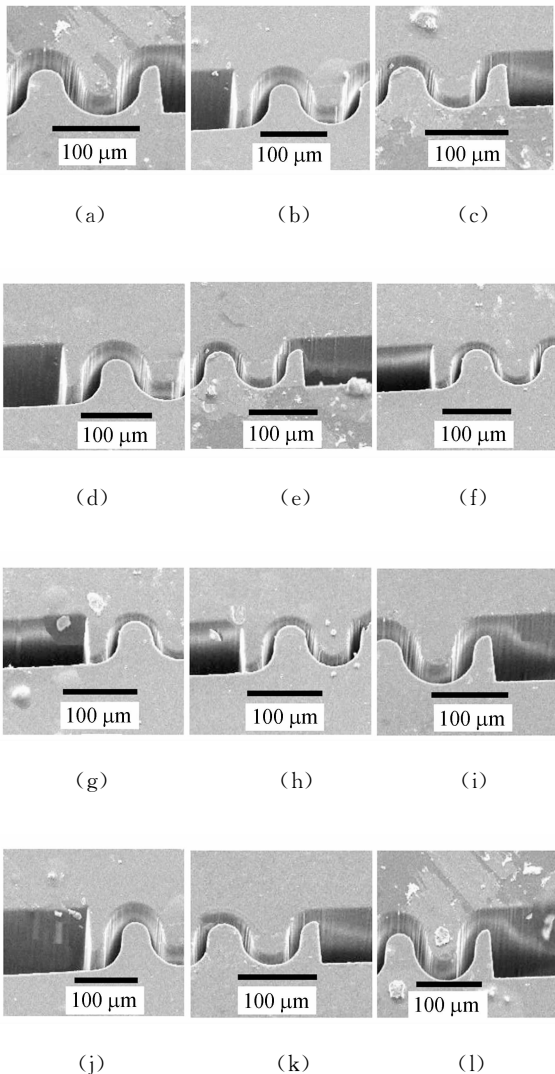


图3 按表1光刻工艺条件对应制作的探针胶模局部形貌图

Fig. 3 Local profiles of probe resist moulds produced according to process parameters in Tab. 1

3.2 显影

柔性探针胶模是典型由高深宽比沟槽结构组

成的阴型结构图形,显影时,不可避免存在严重的物质输运受限现象,人工搅拌(晃动显影容器或玻璃棒搅拌)和辅助超声振动显影(12 min)对比试验结果表明,不施加超声搅拌或超声功率小于 25 W 时,无法显影彻底,虽然进一步延长显影时间,但效果仍然不理想,且显影时间过长,探针模腔外围及胶模表面会出现过显影斑点。这是因为超声功率太小时,超声搅拌效应到达模腔底端前就几乎衰减为零了。超声功率为 30 W 时,显影的效果比较理想,当功率大于 35 W 后,如 40 W, 45 W,探针胶模出现脱落现象。图4是采用表1第4组前后烘和曝光条件(辅以匀胶后静置、随炉冷却),经超声振动搅拌显影(30 W, 12 min)后的柔性探针胶模形貌图。

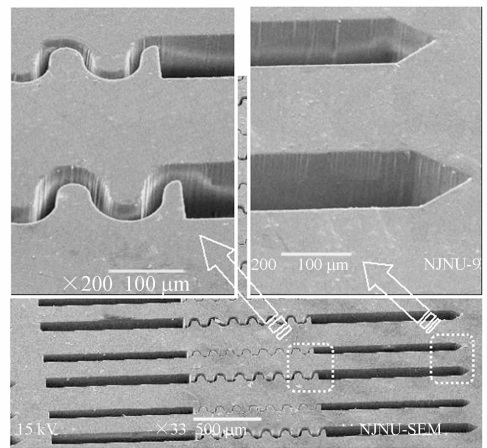
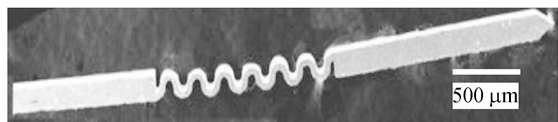


图4 接触探针胶模形貌图

Fig. 4 Resist mould profiles of contact probes

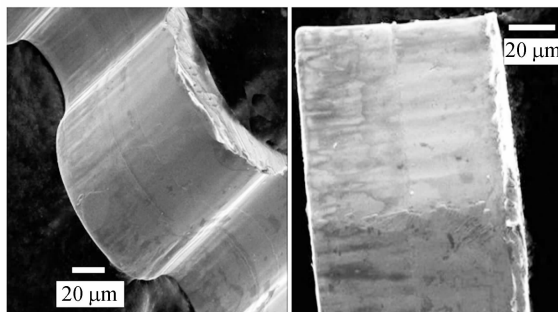
3.3 微细电铸

经上述优化工艺步骤(前后烘、曝光和显影)制备出 SU-8 胶模后,须经微细电铸步骤才能转化为金属器件。试验时,采用了多种工艺措施(附加超声搅拌、施加脉冲电流、组合添加表面活性物质等),以期提高传质效果、减少电沉积缺陷。结果表明,采用作者新研发的微细电铸装置进行胶模金属化,铸件质量最好。利用该装置可以实施复合工艺措施,即阴极板水平放置+周期性施加负压+周期性高速自冲液+热梯度,具体而言:阴极板水平放置浸于电解液中,真空泵抽气一定时间后(使电铸槽内大气压力降低且保持为 0.05 MPa),开启阀门进气,对阴极板处电解液进行高速冲液搅拌数秒,然后真空泵又抽气一定时间,接着高速冲液数秒,……,如此周期性反复;在此基



(a)整体形貌

(a)General view

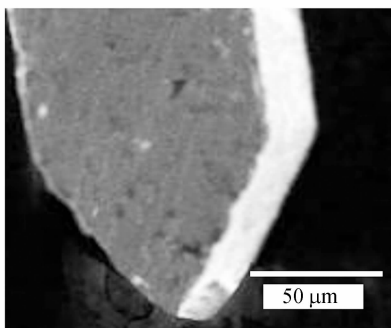


(b)局部弹簧形貌

(b)Local view

(c)针尖侧面形貌

(c)Side view



(d)针尖正面形貌

(d)Front view

图5 电铸镍柔性接触探针形貌图

Fig. 5 Profiles of soft contact probes electroformed

础上,保持阴极板(25 ℃)和体液(60 ℃)间的温差为35 ℃。图5为电铸后的镍柔性接触探针形貌图。由图可以看出,探针针尖和弹簧轮廓清晰,表面较光整,无明显缺陷。

4 结 论

采用工艺成本相对低廉的UV-LIGA技术,在优化某些重要操作步骤工艺条件的基础上,制备出的柔性接触探针(主体总长4 mm,宽80 μm,高100 μm;弹簧处高宽比为5(100 μm:20 μm))尺寸精度高;三角锥状针尖曲率半径小于5 μm;缺陷少,形貌质量好,并由此可知:

(1) 金属基片SU-8胶光刻时不能采用硅基底相应工艺条件;通过组合优化前烘温度和时间、曝光剂量、后烘温度和时间等工艺条件,即,前烘60 ℃,120 min,90 ℃,120 min;较大曝光剂量;后烘65 ℃,10 min,95 ℃,45 min,并结合匀胶后静置、随炉冷却和超声辅助显影等辅助措施,可制备出质量较好的探针胶模。

(2) 超声辅助显影(30 W,33 kHz)相比常规显影方式,大大提高了胶模显影质量。

(3) 采用电沉积复合工艺措施,即周期性抽气+周期性高速冲液+热梯度,且阴极板水平放置,实施微细电铸,镍接触探针形貌质量较好。

参考文献:

- [1] 梁静秋,姚劲松. LIGA技术基础研究[J]. 光学精密工程,2000,8(1):38-41.
LIANG J Q, YAO J S. The study LIGA technology[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(1):38-41. (in Chinese)
- [2] HAN M, LEE W, LEE S K, *et al.*. 3D microfabrication with inclined/rotated UV lithography[J]. *Sensors and Actuators A*, 2006, 111(1):14-20.
- [3] 刘泽文,宣云,雷啸锋,等. 高阻硅上RF-MEMS共面波导设计及测量研究[J]. 光学精密工程,2005,13(2):158-164.
LIU Z W, XUAN Y, LEI X F, *et al.*. Design and measurement of RF-MEMS CPW on HRS[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(2):158-164. (in Chinese)
- [4] 尤政,张高飞,林杨,等. MEMS固体化学推进器设计与建模研究[J]. 光学精密工程,2005,13(2):118-126.
YOU ZH, ZHANG G F, LIN Y, *et al.*. Design and modeling of MEMS-based solid propel and propulsion [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(2):118-126. (in Chinese)

- [5] HONG S J, CHOI S K, CHOI Y S, *et al.*. Characterization of low-temperature SU-8 photo resist processing for MEMS application[C]. 2004 *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, Boston, MA*, 2004.
- [6] CHANG H K, KIM Y K. UV-LIGA Process for high aspect ratio structure using stress barrier and C-shaped etch hole[J]. *Sensors and Actuators A*, 2000, 84(3):342-350.
- [7] 郑晓虎, 朱荻. 模糊神经网络在 UV-LIGA 工艺优化中的应用[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(1):139-144.
ZHENG X H, ZHU D. Application of fuzzy neural network to optimizing UV-LIGA process[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(1):139-144. (in Chinese)
- [8] EYRE B, BLOSIU J, WIBERG D. Taguchi optimization for the processing of epon SU-8 resist[C]. *Proceedings MEMS98*,. *IEEE. Eleventh Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, New York: IEEE*, 1998:218-222.
- [9] 明平美. UV-LIGA—微细电火花加工组合制造技术基础研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2006.
MING P M. *Basic research on combining technology of UV LIGA—Micro EDM*[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006. (in Chinese)
- [10] NANOTM SU-8 negative tone photo resist formulation 50-100[DB/OL]. <http://www.microchem.com/products/pdf/S-U8 50-100>.

作者简介:明平美(1974—),男,湖北黄石人,博士,河南理工大学机械与动力工程学院讲师,主要从事微细特种加工、微细加工和 MEMS 加工等方面的教学科研工作,已发表论文 17 篇。E-mail: mpm163@163.com