

# 用于微器件加工的 AZ4620 厚胶光刻工艺研究

罗铂靓<sup>1</sup>, 杜惊雷<sup>1</sup>, 唐雄贵<sup>1</sup>, 杜春雷<sup>2</sup>, 刘世杰<sup>3</sup>, 郭永康<sup>1</sup>

(1. 四川大学物理学院, 成都 610064; 2. 微细加工光学技术国家重点实验室, 成都 610209;

3. 陕西理工学院物理系, 陕西 汉中 723001)

**摘要:** 对 AE4620 厚胶紫外光刻工艺进行了实验研究, 探讨了其工艺特性及光刻胶层的刻蚀面形与各种工艺条件的关系, 提出了刻蚀高深宽比、最佳浮雕面形所需的工艺条件。通过对光刻工艺过程的研究, 可为较好地控制正性光刻胶面形, 制作微机械、微光学器件提供了参考依据, 对微浮雕结构的深刻蚀具有重要的指导意义。

**关键词:** 光刻胶; 前烘; 曝光; 显影

**中图分类号:** TN305.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-353X(2005)07-0034-05

## Technical Study of AZ4620 Thick Photoresist for Micro Fabrication

LUO Bo-liang<sup>1</sup>, DU Jing-lei<sup>1</sup>, TANG Xiong-gui<sup>1</sup>, DU Chun-lei<sup>2</sup>, LIU Shi-jie<sup>3</sup>, GUO Yong-kang<sup>1</sup>

(1. Physics Dept of Sichuan University, Chengdu 610064, China;

2. State Key Lab of Optical Technology on Microfabrication, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China; 3. Physics Dept of Shanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China)

**Abstract:** AZ4620 photoresist is a widespread availability thick photoresist for micro fabrication. Technical study of this thick resist for ultraviolet- lithography was carried out, and the relation between processing property, lithographic results and various technological conditions are explored. then the optimization conditions for etching high depth-to-width ratio and relief are given figure. We can better control the positive photoresist figure, provide a reference for making MEMS and MOEMS, it is of an important instructional significance for deep relief of micro structure.

**Key words:** photoresist; prebake; exposure; development

## 1 前言

近年来, 微系统(MEMS)研究进展十分迅速。由于 MEMS 结构的特殊性, 需在传统的 IC 工艺基础上发展与之相适应的微加工新工艺。其中, 紫外厚胶光刻作为高深宽比微器件制造的关键工艺, 成

为微系统制作工艺研究的热点。

在以往的许多文献中<sup>[1,2]</sup>, 人们经常忽略光刻过程中光刻胶非线性效应的影响, 把曝光和显影过程近似地看成线性关系。而对厚胶光刻而言, 要想获得高深宽比光刻图形, 应考虑并尽量避免图形传递中的非线性因素影响, 控制工艺条件使图形在线性区传递。由于曝光显影过程各参量多而复杂, 并与光刻胶本身的特性有关, 仅由经验来决定工艺过程中的各种参数, 很难获得理想的显影深度与面

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60276018、60376018、60376021); 微细加工光学技术国家重点实验室基金资助项目(0F03001, 0F03002)

形。因此,针对所选用的光刻胶的吸收和感光显影特性,通过实验获取合理的工艺及其规律性,可避免微器件制作过程的盲目性,有效降低微加工成本。我们对AZ4620光刻胶的紫外光刻工艺过程进行了多次实验,得到了工艺条件影响最终显影面形的规律,提出“强曝光、速显影”工艺,有助于推动厚胶光刻工艺的发展。

## 2 基本性质

光刻胶是一种主要由碳、氢等元素组成的高分子光敏化合物<sup>[3,4]</sup>,根据其在曝光前后溶解特性的变化,可以分为正性光刻胶和负性光刻胶两种。由于负性光刻胶在显影过程中胶膜会出现溶胀,其分辨率受到了限制。因此我们采用美国Shipley公司生产的正性光刻胶AZ4620,它广泛用于微细加工,通常在i线光谱范围内使用,具有分辨率高、深宽比大、吸收系数小等优点。

### 2.1 成分及其典型反应

正性光刻胶一般由三部分组成<sup>[3,4]</sup>:基质树脂、有机溶剂和光敏混合物。其中基质树脂作为成膜载体,具有良好的碱溶性。而光敏混合物PAC作为抑制剂能抑制树脂在显影液中的溶解,但它吸收光能后会发生分解,其生成物又作为促进剂能加快树脂在显影液中的溶解。其光化学反应过程为:感光树脂中的邻重氮醌官能团经紫外光照射后发生分解反应,分子空间结构发生重排,使不溶于水的邻重氮醌转化为茚酮。茚酮在碱性显影液中发生反应,生成可溶性的羧酸盐并被溶解掉,而没有被曝光的区域,因不易溶解而保留下来<sup>[5]</sup>。

### 2.2 成像机理

光刻的目的是为了获得与设计掩模一致的光刻胶图形,其成像过程如下:光经掩模照射到光刻胶上,其中受光照部分的胶吸收光能发生分解,导致其内部各点的PAC浓度发生变化,生成潜像。进而通过PAC浓度的分布影响到光刻胶内部各点的显影速率,最终经显影得到设计的浮雕轮廓。整个光刻加工过程主要包括:掩模加工、基片处理、涂胶、前烘、曝光、后烘、显影、坚膜等一系列步骤。而在这些步骤中,每一项工艺条件都对图形传递质量、分辨率以及后续工艺有重要影响。本文

重点讨论前烘和曝光工艺对显影结果的影响。

## 3 光刻工艺

### 3.1 前烘对显影结果的影响

对高深宽比光刻胶浮雕的制作,前烘是非常重要的一个环节。曝光前烘焙光刻胶增加了溶剂的蒸汽压和系统的动力学能量,可以除去在空气中干燥时所不能除去的溶剂,并使胶与衬底的接触更加紧密,有助于减缓显影时图形畸变。前烘的温度和烘焙时间取决于光刻胶的种类和光刻过程要求,应由实验来决定。我们针对表1确定的工艺条件,研究了AZ4620不同前烘温度下的显影情况。

表1 实验中光刻胶AZ4620的光刻工艺条件

光刻工序	工艺参数
涂覆	2500r/min, 胶厚 10 $\mu$ m
前烘	不同温度, 不同时间
曝光	i line stepper and/or Contact Aligner, 2.4mW, 150s
显影	AZ400K Developer:DI water=1:5, 20℃, 100~300s
漂洗	DI-water

实验表明,对显影结果影响的主要因素有:显影温度、显影液浓度和显影时间。在一定曝光量下,温度越高,显影液浓度越大,显影时间越长,则膜层的显影量越大。为讨论方便,我们在恒温20℃的条件下进行显影。按照表1的工艺参数,在固定了涂覆、曝光、显影、漂洗等条件下,对不同前烘温度、不同显影时间进行了多次实验。实验中发现,在不同前烘温度下可能出现三种现象:①过高的烘焙温度(>100℃)将造成胶面肌肤效应,不利于内部胶层的溶剂挥发,与基底的粘附力降低,感光度下降;②过高的烘焙温度将引起聚合物的热交联,产生表面噪声和底膜。显影后,在显微镜下观察,胶面粗糙,有黑色斑块,图形底部呈枝形斑点状(或不均匀颗粒状),显影速度明显下降,胶面的颗粒杂质很难去除;③过低的烘焙温度(<70℃)会造成AZ4620光刻胶的溶剂难以彻底挥发,接触式曝光时胶层过软易污染掩模版,且易使图形变形,同时显影速度过快,难以控制。

综上所述,过高的烘焙温度可能发生聚合物的

塑性流动而使显影图像形变,或使聚合物发生热交联,显影时留下底膜。这层底膜会延长图形的腐蚀时间或使腐蚀不均匀,造成严重后果。而过低的烘焙温度导致厚胶烘焙不够,胶体内大量溶剂未除去,在显影时常引起光刻胶图形缺陷或完全破坏。

针对上述问题,我们实验研究了同一曝光条件、不同前烘温度与曝光后图形情况的关系和不同前烘温度、时间与胶层变化的关系,见图1(前烘温度和时间分别为85℃,40min;100℃,

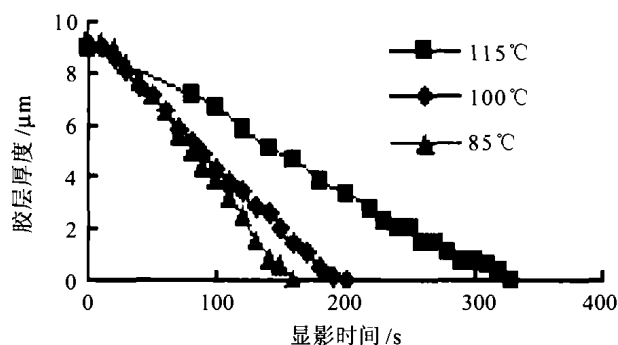


图1 显影时间与剩余胶厚的曲线图

20min; 115℃, 10min)和图2。实验结果表明,对厚胶层的烘焙,可采取低温长时间前烘法,最佳工艺参数为:室温加热至70~90℃,进行60~90min长时间前烘。前烘后光刻胶的感光度基本不变,图形表面噪声小,无底膜和塌胶现象,显影速度容易控制。实验中胶层制作工艺条件的稳定性和重复性较好,保证了结果的可靠性。

### 3.2 曝光对显影结果的影响

实验中制备的AZ4620胶膜厚度约为10 μm。当曝光源照明强度一定时,由于AZ4620的感光度较低,曝光时大部分能量被上层光刻胶所吸收,下层光刻胶曝光相对不足,易形成较厚的底膜。实验发现,这种情况若单纯增加显影时间,不能有效地去除较厚的底膜,反而会造成光刻胶的溶胀,使光刻图形扩大和变形,降低图形质量。增加曝光时间,可将胶膜曝透,但若曝光控制不好,光刻胶图形也易呈倒梯形,侧壁陡直度较差。因此,有效地控制厚胶曝光过程是获得较好显影图形的关键。

固定前烘温度和时间,对一定曝光强度下不同曝光时间的显影结果进行了研究。当将曝光时间从

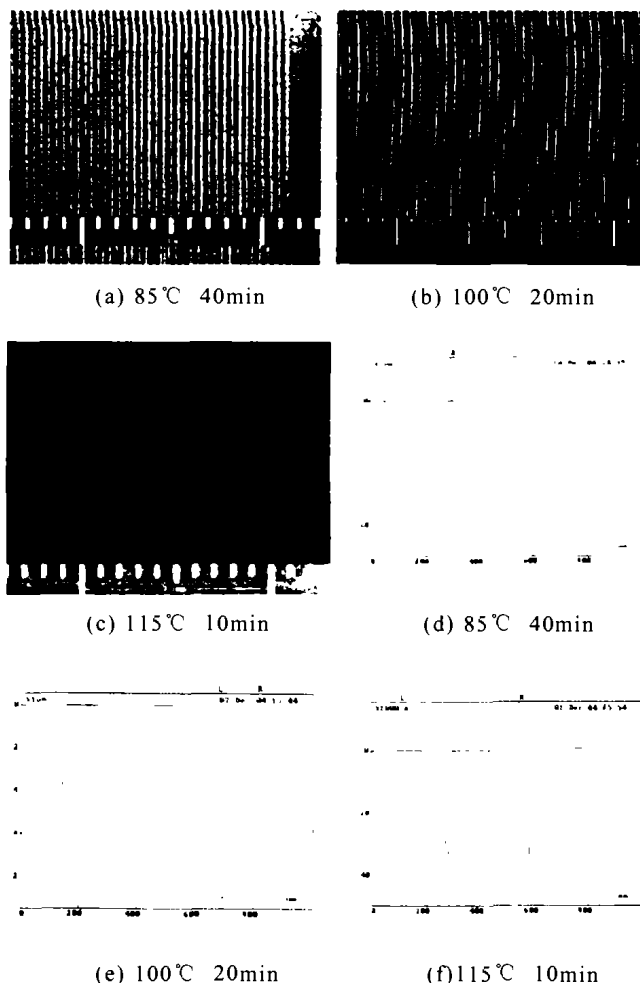


图2 (a), (b), (c)不同前烘温度下显影后的胶面照片;(d), (e), (f)用台阶仪测量的结果

150s增加到1800s时,发现光刻胶在显影过程中存在一个比较特殊现象:其显影速率和曝光时间之间并不是单纯的递增关系,而是存在一个曝光时间的阈值。即曝光时间超过一定时长后,显影的速率将急剧下降,且显影后胶表面粗糙,图形呈枝形斑点状交联,曝光区域可见较多小气泡状斑点,经分析,为光刻胶的表面抑制效应所致。

图3显示了长时间曝光后两个厚胶样品的显影度率测试曲线。当显影开始时,胶面表现出很强的抗溶解性,以至于显影开始时的溶解速率很小,表面抑制效应非常明显。图4中的显影轮廓存在着明显的底切现象,实验中也出现了类似的情况。尽管底切现象的成因比较多,但表面抑制效应的存在是其形成的一个重要原因。

表面抑制效应的成因比较复杂,一般认为原因至少有以下几点:①胶层面在前烘过程中发生了氧化反应<sup>[7, 8]</sup>。②前烘后,胶层内部的剩余溶剂形

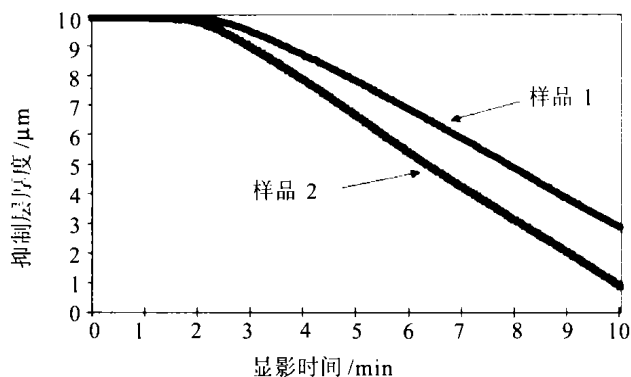


图3 光刻胶表面的显影速率受表面抑制效应影响图



图4 光刻胶显影轮廓受表面抑制效应影响图<sup>[6]</sup>

成了明显的浓度梯度<sup>[9, 10]</sup>。由于厚胶的前烘温度比薄胶高, 烘烤时间比薄胶长, 在烘烤过程中表层更易发生氧化, 且胶层表面的溶剂比深处的溶剂蒸发得快, 表层易被烘干而形成一层对显影液起阻挡作用的抑制层。③长时间的紫外曝光, 使得光刻胶内的感光材料变质, 感光灵敏度下降, 胶面有类似“烧焦”的现象。

由上述分析可知, 在选定好前烘温度、曝光强度、显影液浓度配比等条件下, 适合的曝光时间的确定是相当重要的, 曝光不足和曝光过度都会对显影结果产生不良影响, 因此, 曝光时间需要根据具体情况合理选取。对于较厚的光刻胶, 在胶的光

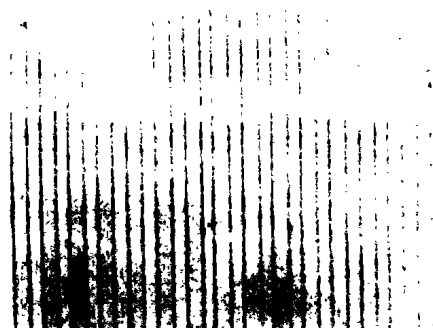


图5 “强曝光, 速显影”后获得的面形

敏感线性范围内, 我们提出可尽量增大曝光强度, 相应控制曝光时间和缩短显影时间, 即采用“强曝光、速显影”工艺。这样, 在曝光和显影的过程中, 能有效地缩短图形转移和定形的时间, 减少外界干扰, 提高工艺的效率, 实现图形的完好转移并获得较高质量的胶形貌。实验结果如图5所示。

## 4 结论

厚胶光刻工艺在微器件加工领域有着重要的地位, 其成像质量对微器件性能的影响是不言而喻的。本文通过实验, 研究了AZ4620正性光刻胶制作高深宽比图形的光刻工艺, 通过大量实验并对不同的工艺条件进行逐个分析, 得到了厚胶光刻的一些最佳工艺参数。厚胶显影图形质量与前烘、曝光等工艺有很大关系。文中提出, “低温长时间前烘”及“强曝光, 速显影”等工艺规律, 有助于制作微器件过程中提高厚胶光刻图形质量和加工效率。这些厚胶工艺条件的确定, 为进一步制作大浮雕深度不同面形的微机械器件奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] DILL F H. Optical lithography[J]. IEEE Trans on Electron Devices, 1996, 22(7): 440-444.
- [2] DILL F H, NEUREUTHER A R, TUTTLE J A, et al. Modeling projection printing of positive photoresist [J]. IEEE Tran Electron Devices, 1975, 22(7): 456-467.
- [3] 史密斯 H M. 全息记录材料[M]. 科学出版社, 1984.
- [4] 中国科学院化学研究所《光致抗蚀剂组》. 光致抗蚀剂 [M]. 北京: 科学出版社, 1977.
- [5] 李善君. 高分子光化学原理及应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- [6] ARTHUR G. Modifying the surface inhibition layer of thick resists for Improved process control[J]. SPIE, 2001, 4404: 372-379.
- [7] PAMPALONE T R. Novolac resist used in positive resist systems[J]. Solid State Tech, 1984, 27(6): 115-218.
- [8] KIM D J, NEUREUTHER W G. Development of positive photoresist[J]. IEEE Trans Electron Dev, 1984, 31 (12): 1730-1735.
- [9] LEHAR O C, SAGAN J P, ZHANG L Z. Solvent content of thick photoresist films[J]. SPIE, 2000, 3999: 442-451.

[10] MACK C A, DEWITT D P. Modeling of solvent evaporation effects for hot plate baking of photoresists[J]. SPIE, 1994, 2195:584-595.

(收稿日期: 20050202)

作者简介:

罗铂靓 (1980-), 男, 四川大学硕士生, 研究方向为微光学、光电子器件、光电信号处理、微细加工技术等;

杜惊雷 (1964-), 男, 四川大学教授、博导, 研究方向为微光学、信息光学、微细加工技术等。

(上接第29页)

图5是LC并联谐振回路的幅频响应曲线。

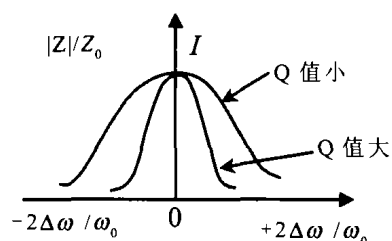


图5 LC并联谐振回路的幅频响应

从图5的曲线可以得出如下得结论:(1)从幅频响应可见,当外加信号角频率 $\omega = \omega_0$  (即 $2\Delta\omega/\omega_0=0$ )时,产生并联谐振,回路等效阻抗最大值 $Z_0=L/RC$ 。当角频率 $\omega$ 偏离 $\omega_0$ 时,  $|Z|$ 将减小,而 $\Delta\omega$ 愈大,  $|Z|$ 愈小;(2)谐振曲线的形状与回路的 $Q$ 值有密切的关系,  $Q$ 值越大,谐振曲线愈尖锐,阻抗 $|Z|$ 越高。

## 4 测量数据和分析

使用本视频阻抗测试仪测试微波二极管,获得典型数据如表1。

对以上数据分析可知,在 $I_F=20\mu A$ 条件下被测二极管视频电阻较小,且其规律与公式(3)相吻合。由于使用该仪器所测得的数据稳定可靠,尤其对于使用方来说,通过该仪器能够快速获得微波二极管最佳的偏置工作点,显著提高了测量工作效率,满足了用户要求。

表1 测试获得典型数据

测试条件 管号	$R_V / k\Omega$ (零偏)	$R_V / k\Omega$ ( $I_F=20\mu A$ )
34-6-5	140	1.6
34-6-4	94	1.6
14-6-1	150	1.6
04-13-2-3	68	1.8
04-13-2-2	145	1.7
01-3-117	150	1.6
01-3-121	150	1.6
01-3-119	150	1.6
01-3-118	155	1.6
25-5-6	145	1.5

## 参考文献:

- [1] 王霄.WJ3022A型硅低势垒检波二极管研究报告[R].南京器件研究所,1998,3-4.
- [2] GB6570-86,微波二极管测试方法[S].59-60.
- [3] 吴润宇,轩荫华,苗银梅,等.实用稳定电源[M].北京:人民邮电出版社,1994,378-379.
- [4] 赵学泉,张国华.电源电路[M].北京:电子工业出版社,1995,230.
- [5] 康华光.电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1998,403-405.

(收稿日期: 20041206)

作者简介:

李苏萍 (1964-), 女, 江苏南京人, 本科, 工程师; 90年毕业于南京理工大学无线电专业, 主要从事于微波二极管测试。

**微波IT行业、企业刊登广告**