

SU-8 胶光刻工艺研究

张立国, 陈迪, 杨帆, 李以贵

(上海交通大学微纳米科学技术研究院, 上海 200030)

摘要: SU-8 胶是一种基于环氧 SU-8 树脂的环氧型的、近紫外光、负光刻胶。其专门用于在非常厚的底层上需要高深宽比的应用。但是 SU-8 胶对工艺参数的改变非常敏感。本文对影响光刻后图形质量的主要工艺参数前烘温度和时间、中烘温度和时间、曝光时间及显影时间进行了研究, 发现前烘时间和显影时间是影响图形分辨率及高深宽比的最主要的参数。随后给出了 200Lm 厚 SU-8 光刻胶的建议工艺条件: 200Lm/s 甩胶, 1h 的 95°C 前烘, 近紫外光(400nm)接触式曝光, 95°C 的中烘 30min, PGMEA 中显影 20min。另外对实验中实现的主要问题基片弯曲和光刻胶的难以去除作了一定的探讨, 给出了合理化建议: 对于基片弯曲可采用以下四种措施来降低, 降低中烘的温度同时增加中烘的时间、用厚硅片来代替薄硅片、对于薄硅片在前烘后可用金刚石刀切成 4~8 小片、适当的设计掩模板; 对于光刻胶的去除用热丙酮泡、超声清洗、反应离子刻蚀和高温灰化法相结合, 能达到较好的效果。

关键词: SU-8 胶; 高深宽比; 光刻

中图分类号: TN305.7 文献标识码: A

1 引言

SU-8 胶是一种环氧型的、近紫外光负光刻胶, 它基于环氧 SU-8 树脂(来源于橡胶工业)。由于平均一个分子中含有 8 个环氧基, 所以名称中包含/80。目前已经商业化的 SU-8 胶有美国的 Microlithography Chemical 公司生产的 SU-8 系列光刻胶, 如 SU8-5 和 SU8-50, 以及瑞士 Sotec Microsystems 公司生产的 SM 系列光刻胶。

SU-8 胶专门用于在非常厚的底层上需要高深宽比的应用。此光刻胶在近紫外光范围内光吸收率低, 这使得它在整个光刻胶厚度上都有较好的曝光均匀性。即使膜厚达 1000Lm, 所得到的图形边缘仍近乎垂直, 深宽比可达 50:1。因此对于整个结构的高度可以有一个很好的尺寸控制。

SU-8 胶可用环氧树脂 SU-8 溶解在有机溶剂 GBL(γ -butyrolactone 百万分之一克的丁内酯)。溶剂的数量决定了粘度, 从而也决定

了光刻胶可能的厚度范围。最后, 光引发剂三苯基硫盐(环氧 SU-8 重量的 10%) 被混合在树脂中。SU-8 胶另一个优点是在前烘中它的自平整能力, 因此也去除了边缘的水珠效应。结果在接触式光刻中使掩模版和光刻胶之间有良好的接触。该胶经 100e 以上固化后, 已经交联的 SU-8 具有良好的抗腐蚀性, 热稳定性大于 200e, 因而可以在高温、腐蚀工艺中使用。例如能在高温下抵御 PH=13 的强碱性电镀液。同时 SU-8 成膜材料具有良好的物理及光塑化特性, 其本身也可以制作微型的零件。

SU-8 的光刻机理简述如下: 光刻胶中的光引发剂吸收光子发生了光化学反应, 生成一种强酸, 其作用是在中烘过程中作为酸催化剂促进交联反应的发生。只有曝光区域的光刻胶中才含有强酸, 而未曝光的区域则没有这种强酸的存在。在随后的中烘过程中, 曝光区域在强酸的催化作用下, 分子发生交联。交联反应以链式增长, 每一个环氧基都能与同一分子或不同分子中的其他环氧基反应。如前所述, 每个环氧基平均/预连接 0

有另外7个环氧基,再经扩展交联就形成了致密的交联网络。这种网络不溶于显影液中。而未经曝光的区域,光刻胶未发生交联,则溶于显影液中,因此显影后形成了掩模板的反图形^[25]。

2 SU-8胶工艺研究

SU-8胶具有许多优异的性能,可以制造数百Lm甚至1000Lm厚、深宽比可达50的MEMS微结构,在一定程度上代替了LIGA技术,而成本大大降低,成为近年来研究的一个热点^[27]。但众所周知,SU-8对工艺参数的改变非常敏感,且固化厚的光刻胶难以彻底的清除。这些工艺参数包括衬底类型、基片预处理、前烘温度和时间、曝光时间、中烘温度和时间、显影方式和时间等。

在这些工艺参数中,我们选择前烘温度和时间、中烘温度和时间、曝光时间及显影时间进行了研究,得到如下的结论:

1)前烘的温度较低时,成品率较高。但是升高前烘温度有利于减小光刻胶图形于掩模板图形线宽差。对于阳图形,由于存在成品率不高的问题,因此可采用较低的前烘温度。但一般应高于80e。对于阴图形,其主要问题则是光刻胶交联不足使曝光区域会发生开裂现象,因此应该采用较高的前烘温度来增加交联度,以改善线形;但不宜超过95e,因为前烘温度太高会减弱光引发剂的感光性,反而影响其光化学反应,使生成的酸催化剂的量减少,交联度降低。

2)对于同一图形,随曝光时间的增加,阳图形线宽偏差单调递增,阴图形线宽偏差单调递减。即阳图形线宽将大于掩模板图形线宽,阴图形线宽将小于掩模板图形,且随曝光时间增加此偏差逐渐拉大,同一图形的阴阳板线宽偏差几乎对称。其原因是曝光时间短时,光引发剂反应产生的酸催化剂量少,光刻胶交联不足,受热后由于部分曝光区域边缘的胶在被显影液也溶解掉了。因而,阳图形的线宽大于掩模板图形线宽,而阴图形则相反。随曝光时间的增加,交联变的充分,因而线宽偏差将减小。

3)中烘温度应控制在70~90e之间,随温度的升高,图形开裂程度逐渐减弱,80e以上就可以达到较好的效果。中烘时间则应根据光刻胶的厚度及曝光时间来控制,光刻胶越厚,曝光时间短

时,中烘的时间应长,这样可使交联变得充分,开裂也会越少。但超过一定的时间限度,作用也不明显了。

4)显影的时间以不超过20min为宜,且加噪声显影的质量要优于不加时的。

5)在前烘时间、曝光时间、中烘时间及显影时间这四个参数中,其对最终图形的质量影响所占的比例并不一样。其中,前烘时间和显影时间是影响图形分辨率及高深宽比的最主要的参数。而曝光时间和中烘时间的影响则较小。而随着光刻胶厚度的增加,显影时间对图形质量影响所占的比重也越来越大。其原因是更多的光刻胶需要显影了,因此这就需要更精确的控制曝光时间。另外随着结构的变厚,显影液渗透到光刻胶的底部将变得困难,这使得显影液的效率降低。在这四个参数中,前烘时间是最重要的因素之一。其原因在于前烘的作用是除去溶剂,增大光引发剂在光刻胶中的比例,而时间短时,溶剂去除的较少,单位体积内光引发剂所占的百分比较小,曝光后曝光区域产生的酸催化剂量就较少,中烘后交联就不完全,大大影响图形的质量。如果时间较长,则因中烘后交联度过大,内应力也较大,对衬底的附着力较小,成品率不高。对于曝光时间,当曝光时间太短时,产生的酸催化剂的量就不够,即使在适当的中烘条件下所有的酸催化剂都发生了反应,光刻胶的交联密度也不高,因此,适当的曝光是保证图形质量的首要因素之一。

3 问题与讨论

在实验中也存在着一些问题,其中最主要的是基片弯曲及交联后的光刻胶难以彻底的去除干净的问题。

1)基片弯曲

在SU-8的厚胶工艺中存在的一个很大的问题是内应力和热应力都很大,导致基片发生了弯曲,这样就使得光刻胶图形发生了较大的变形,图形无法经受显影液的的腐蚀大量脱落。下面分析一下应力的来源。在前烘阶段,由于晶片和SU-8胶的热膨胀系数不同,产生了小的拉伸应力。这个应力很小,因为在前烘的冷却阶段,SU-8分子链在没有交联的光刻胶中发生了重排。晶片的这种小弯曲在接触式光刻中非常有用,这

是因为好的掩模板或晶片接触可以得到保证。当光刻胶的厚度与晶片的厚度可比较时,这个应力会很高,从而使晶片弯曲。

曝光阶段只是光引发剂发生了光化学反应,并不引入应力。在中烘阶段,在交联后的 SU-8 胶冷却的过程中,产生了主要的应力。一方面是因热膨胀系数不同而产生的拉伸应力;另一方面也是最主要的是,光刻胶聚合所产生的内应力。由于在中烘的冷却阶段,交联后的光刻胶分子链较长,大分子无法进行大的重排,应力就无法消解,导致晶片发生了弯曲。简而言之,涂有 SU-8 胶的晶片弯曲(应力)可以通过下面四种措施降低:

(1)降低中烘的温度同时增加中烘的时间。

(2)用厚硅片来代替薄硅片,前者承受应力的能力比后者要强得多,弯曲变形也要小得多。

(3)若用薄硅片做实验,在前烘后可用金刚刀切成 4~8 小片。

(4)适当的设计掩模板以降低曝光区域。

2) 光刻胶去除

SU-8 厚胶工艺中存在的另外一个问题是高度交联后的光刻胶难以去除彻底,尤其是经过电铸工艺以后,专用的 SU-8 去胶剂无能为力,因此在实验中我们初步探索了 SU-8 胶的去除工艺。

对于交联面积大的 SU-8 胶,可以采用热丙酮加热数小时,使得 SU-8 胶充分溶胀,再用超声振荡,破坏胶膜与衬底之间的结合力,可以去除 SU-8。交联的光刻胶并不是在热丙酮当中溶解了,而是以一层膜的形式脱落下来,去除效果较好。

对于残留在底部的少量 SU-8 胶可以采用 RIE 刻蚀的方法除去。刻蚀的具体工艺条件如下:

刻蚀气体: $O_2 = 25\text{sccm}$

RF Power: 25Watt

工作气压: 40 mTorr

自偏压: 140 Volt

刻蚀时间: 10min

在刻蚀当中尤其要注意的是刻蚀时间不能过长,刻蚀功率不能过大,否则 SU-8 胶容易发黑、变性,则会更加难于除去。

而试验中最难于除去的则是间隔开来、残留在微孔隙中的 SU-8 胶,采用热丙酮超声或者是反应离子刻蚀的方法均难以除去。下图即为

DNA 芯片模具当中残留在微孔隙中的 SU-8 胶的电镜照片,由图可见采取以上两种方法都难以彻底除掉 SU-8 胶。

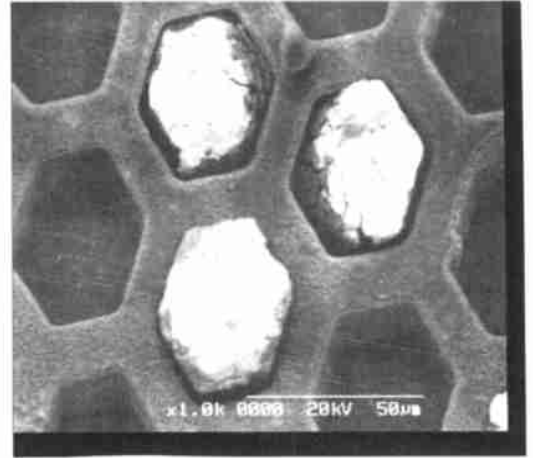


图 1 残留有 SU-8 的 DNA 芯片模具的电镜照片
Fig. 1 SEM picture of DNA mold with SU-8.

对此种情况,应采取高温灰化法。用高温烧灼模具来除胶,其后再把片子用热丙酮超声清洗,取得了较好的效果。但是此种方法只适用于金属模具除胶,而硅片等不适用,因此在实际应用中有极大的局限性。下图为此法处理后的 DNA 芯片模具电镜照片。

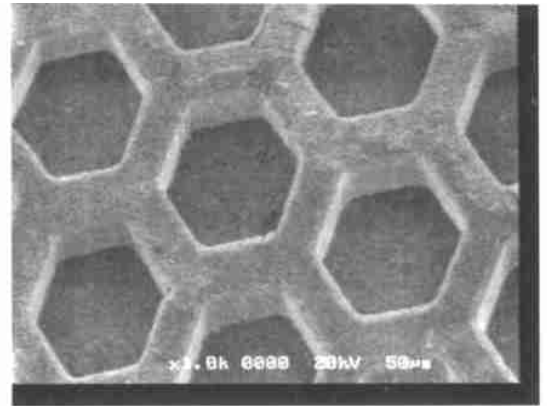


图 2 高温灰化法处理后的 DNA 模具电镜照片
Fig. 2 SEM picture of DNA mold using hot cineration.

对 200Lm 厚的 SU-8 光刻胶的硅片甩胶,曝光及显影建议工艺条件如下:

(1)低速的、短时间的甩胶(200Lm/s),用传统的甩胶台。

(2)1h 的 95e 前烘。

(3)近紫外光(400nm)曝光,接触式。

(4) 95℃的中烘 30min。

(5) 在 PGMEA 中显影 20min。

4 结束语

本文系统地阐述 SU-8 光刻工艺,解决了其

研究工作中普遍碰到的难题,工艺成熟,提供了一种加工高分辨率和高深宽比的 MEMS 结构的有效方法。SU-8 光刻技术相对于 LIGA 技术其成本低,加工周期短,与半导体工艺的兼容性好,其厚胶工艺的成熟研究相信对于 MEMS 的产业化会有深远的影响。

参考文献:

- [1] Bertsch A, Lorenz L, Renaud P. 3D microfabrication by combining microstereolithography and thick resist UV lithography [J]. *Sensors and Actuators*, 1999, 73: 14- 23.
- [2] Bogdanov L A, Peredkov S S. Use of SU-8 photoresist for very high aspect ratio x-ray lithography [J]. *Microelectronics Engineering*, 2000, 53: 493- 496.
- [3] Lorenz H, Despont M, Fahrni N, et al. High-aspect ratio, ultrathick, negative-tone near-UV photoresist and its application for MEMS [J]. *Sensors and Actuators*, 1998, A64: 33- 39.
- [4] Zhang J, Tan L K, Gong Q H. Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its application in micro-electro-mechanical systems [J]. *Polymer Testing*, 2001, 20: 693- 701.
- [5] Eyre B, Blosiu J. Taguchi optimization for the processing of SU-8 resist [A]. *MEMS. 98, IEEE, Heidelberg* [C]. 1998. 218- 222.
- [6] Labianca C N, Gelorme D J, Lee Y K, et al. High aspect ratio optical resist chemistry for MEMS application [A]. in: *Proceeding of 4th International symposium on Magnetic Materials, Processes and Devices* [C]. Chicago, 1993. 386- 396.
- [7] Ghantal G, Khan M. SU8 resist for low-cost X-ray patterning of high-resolution, high-aspect-ratio MEMS [J]. *Microelectronics Journal*, 2002, 33: 101- 105.

Research on SU-8 resist photolithography process

ZHANG Li_guo, CHEN Di, YANG Fan, LI Yi_gui

(Research Institute of Micro/ Nanometer Science and Technology,
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: SU-8 resist is an epoxy type, near-UV, negative photoresist based on EPON SU-8 resin. The resist has been specifically developed for the applications requiring high aspect ratios in very thick layers. However, this photoresist has proven very sensitive to process variations. The main process variations influencing the pattern such as pre- and postbake temperature and time, exposure time and development time have been studied. And the conclusion that prebake and development time are the main factors affecting the image resolution and aspect ratio, has been drawn. After analyzing the experiment results, a proposed fabrication process for 200Lm SU-8 application is given as follows: coating at a speed of 200Lm/s, prebaking at 95℃ for 1 hour, near-UV (400nm) contacting lithography, postbaking at 95℃ for 30 min and development for 20 min. In addition, the main two problems involved in the experiment are researched. One is the bend of substrate, which can be resolved by the following solutions: decreasing the postbake temperature and increasing the postbake time, using thick wafer instead of thin one, dividing the thin wafer into 4~8 pieces and designing the mask reasonably. The other is the removal of SU-8, which can be resolved by the combination of marinating in hot acetone, ultrasonic cleanout, RIE and cineration at high temperature.