文章编号: 1007 - 4252(2021)04 - 0004 - 367

国产 KrF Lift-off 光刻胶在高性能滤波器芯片加工中的应用

曹明霞[1],吴 信[2]
(1. 上海新微技术研发中心有限公司,上海 201800;
2. 徐州博康信息化学品有限公司上海研发中心,上海 201612)

摘要: 集成电路是信息社会的基础设施,集成电路制造的核心工艺是光刻工艺,光刻胶的国产化是我国集成电路产发展的重要保障。本文介绍了 HTKN601 在声表面波滤波器件加工中的应用,利用该光刻胶剥离技术(Lift-off)在曝光和显影过程之后,显示出独特且控制良好的"底切"轮廓,从而能够在剥离后形成微细金属的图形。同时,通过树脂及配方筛选优化,进一步改善去胶后残留问题。该产品技术实现了线宽小于 0.25 μm 的图形制作,可广泛应用于基于金属剥离工艺的微纳图形加工技术。

关键词: 声表面波; 负性光刻胶; 剥离工艺
中图分类号: TN04/TN47 **文献标志码:** A

Application of domestic KrF lift-off photoresist in processing of surface acoustic wave devices

CAO Ming-xia[1], WU Xin[2]
(1. Shanghai Industrial μTechnology Research Institute Co., Ltd, Shanghai 201800, China;
2. Shanghai R&D Center, Xuzhou B&C Chemical Co., Ltd, Shanghai 201612, China)

Abstract: Integrated circuit is the infrastructure of the information society. The core process of integrated circuit manufacturing is photolithography. The localization of photoresist is an important guarantee for the development of integrated circuit industry in China. This paper introduces the application of a domestic negative photoresist HTKN601 in the processing of Surface Acoustic Wave (SAW) devices. The photoresist lift-off technology (Lift-off) shows a unique and well-controlled after the exposure and development process. "Undercut" the contour, which can form a fine metal pattern after peeling. At the same time, through the selection and optimization of resin and formula, the residual problem after degumming is further improved. This technology can be used to produce chips with a line width of less than 0.25μm, which is a vital and valuable technology in the micron and sub-micron range.

Key words: SAW; Negative Photoresist; Lift-off

收稿日期: 2021-07-20; **修订日期:** 2021-08-13

通信作者: 曹明霞(1984-),女,硕士,集成电路从业经验超过 10 年,多年来一直从事集成电路领域技术管理及战略研究领域的工作,目前的研究方向为半导体工艺材料、MEMS 传感器、功率及光电器件、生物器件等领域(E-mail: jessica.cao@ sitrigroup.com).

0 引言

随着通信系统的发展，特别是民用通信系统的飞速发展，对声表面波(SAW)[1]滤波器件的需求越来越大，要求也越来越高。然而传统 SAW 器件采用湿法加工技术，已不能满足制造高性能器件和批量生产的需求。为了改变这种情况，开展了剥离工艺(Lift-off)[2,3]研究。

用于金属图案化的剥离方法[4,5]已广泛应用于各种电子器件制造过程，如半导体封装、MEMS、和 LED 制造。与根据金属种类需要不同方法的传统金属蚀刻方法相比，使用剥离方法的最大优点是节省成本和简化工艺。在 Lift-off 中，在涂覆、曝光和显影工艺之后，在晶片上形成具有倒锥形轮廓的光刻胶图案，然后沉积指定的金属，最后一步是用化学剥离剂剥离光刻胶。在剥离过程中，随着光刻胶的剥离，位于光刻胶顶部的金属一同被去除，而沉积于晶圆衬底上的金属则被保留下来，形成特定的金属图案，从而制造出符合设计规则的金属布线。随着对滤波器件性能要求的不断提升，需要越来越小的金属线尺寸[6]，例如 0.25 μm 的图形尺寸，就需要 KrF 光刻工艺及光刻胶材料来支撑。

剥离技术的关键是光刻胶图形(线条)的侧壁与衬底平面之间所呈现的角度有极为重要的关系。如果线条的剖面与衬底呈“底切形态”，则使得在金属沉积过程中侧壁上金属膜层最薄，甚至没有这层金属膜，从而在去胶的过程中，使光刻胶膜能较快地溶解，将其上面的金属膜“浮起来”，而被移除。相反，如果线条的剖面与衬底呈“顶切形态”，则使得在金属沉积过程中侧壁上沉积大量金属膜层，从而使光刻胶膜层被包裹，导致光刻胶膜与去胶液的接触困难，从而很难被移除。其主要示意图如下:

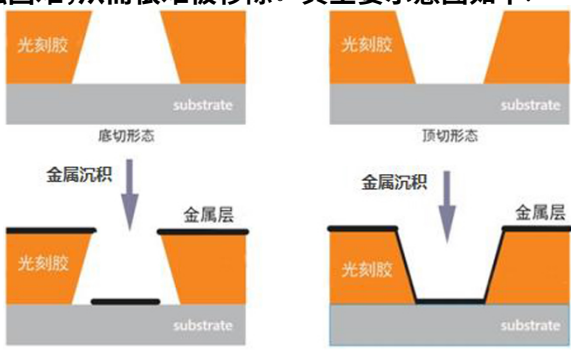


图 1 剥离工艺示意图

Fig. 1 Diagram of the Lift-off Process

虽然“底切形态”的侧壁，更加有利于剥离工艺中光刻胶的移除，但是随着分辨率的提高，“底切形态”更容易出现光刻胶倒胶现象，导致图形缺陷。

本文着重探讨了徐州博康信息化学品有限公司(以下简称“徐州博康”)HTKN601 系列光刻胶从树脂优化到配方优化，以此提高分辨率，同时进一步改善剥离去胶效果。

1 正文

1.1 原材料

KrF 负性化学放大光刻胶主要组成: 不同分子量的对羟基苯乙烯聚合物树脂 A、B 和 C，作为交联剂的三聚氰胺衍生物和作为光致产酸剂(PHOTO-ACID GENERATOR，PAG)的三苯基硫鎓盐衍生物组成的光刻胶。此处，光刻胶中 A、B 和 C 包含树脂分子量分别为高、中及低。

1.2 光刻评估

取适量的光刻胶按下面工艺进行操作，显影液采用标准 2.38% TMAH 溶液，剥离液采用高纯丙酮或 N-甲基吡咯烷酮或剥离液。工艺基本过程如下:

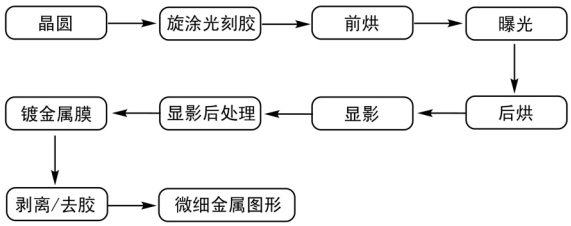


图 2 光刻工艺流程

Fig. 2 Process Flow for the photolithography

2 结果与讨论

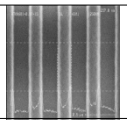
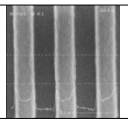
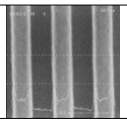
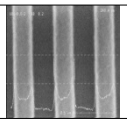
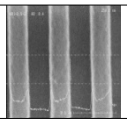
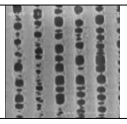
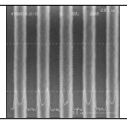
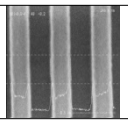
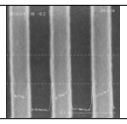
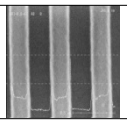
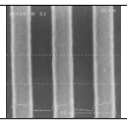
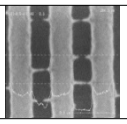
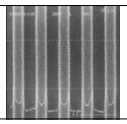
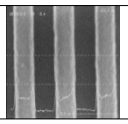
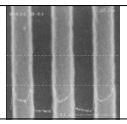
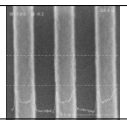
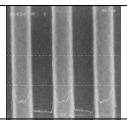
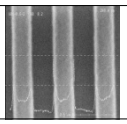
2.1 分子量对工艺窗口的影响

针对负性化学放大光刻胶而言，测试发现: 树脂分子量对光刻胶分辨率也存在着直接关系。随着树脂起始分子量的增加，达到凝胶化所需的交联程度减少。相反，初始分子量较大的光刻胶体系，随着曝光能量的变化，分子量急剧变化，过大的分子量会导致微桥接，从而降低光刻胶的分辨率，同时降低工艺窗口。所以可用的树脂体系必须具有低起始分子量以保持分辨率能力。如下表 1 所示，这些结果表明

分子量的进一步降低可以进一步提高分辨率。

表 1　　分子量对分辨率的影响

Table 1　　Resolution Influence by molecular weight

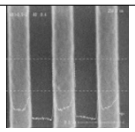
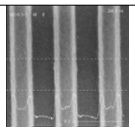
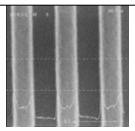
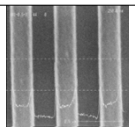
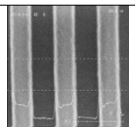
	Mw	分辨率	DOF 窗口	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4
Resin A	高		BARC: 600A THK: 6000A CD: 250nm PAB: 120C60S PEB: 120C60S DEV: 60S					
		250 nm		249.8	245.7	249.4	250.3	
Resin B	中							
		200 nm		246.4	246	245.4	251.3	
Resin C	低							
		200 nm		267.3	249.8	245.7	249.4	250.3

2.2　交联剂对光刻性能的影响

考察了树脂初始分子量与分辨率之间的关系,另一个相关因素: 交联程度,也与分子量的变化息息相关。基于徐州博康 HTKN601 系列光刻胶在交联剂含量优化上,同样存在与 EL、DOF 窗口的联动关系。当交联剂含量过高时,底部容易出现残胶现象,同时,也不利于最终工艺的去胶。这种现象的原因怀疑是交联程度过高,导致部分受诱导交联的部分在显影液中溶解性差,导致出现残胶现象。同时,过低的交联剂含量也发现明显“白边”现象,推测当交联剂过低时,整体曝光区域交联程度不足,由于光刻胶顶部与显影液接触最为充分,导致损失更多,致使形成“顶切形态”。

表 2　　交联剂含量对光刻性能的影响

Table 2　　Resolution Influence by TIACwt%

交联剂含量 wt% @ Resin	基准 a	150% a	200% a	250% a	300% a
Energy Latitude EL(10%)	22.0%	26.9%	26.0%	26.0%	22.5%
Focus Latitude DOF	0.4 μm	0.8 μm	0.8 μm	0.6 μm	0.6 μm
形貌					
备注	白边较重	好	好	好	底部 Scumming

注: 工艺条件: BARC DUV44: 600 A、THK: 6000 A、MASK CD: 250 nm,PAB: 90C60S、PEB120C60S,DEV: 60 S。

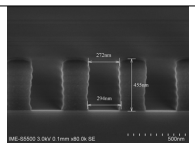
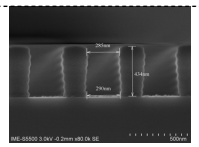
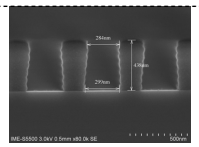
2.3　UV 吸收对倒角的影响

Lift-off 工艺的关键是“底切形态”的控制,这种“底切形态”的形成,主要是由于光刻胶垂直方向上光强的差异,导致顶部与底部交联程度的不同,造成在显影液中溶解性的差异。通常为了控制这种差异,采用一种比较通用的方法是加入 UV 吸收剂。测试发现: 随着 UV 吸收的增加,底部与顶部光强度的差异更加明显,有利于“底切形态”的形成。同时从 Si 基数据显示,驻波有改善效果。但是过高的 UV 吸收,会降低有效作用于 PAG 的光学性能,导致

成曝光能量的明显上升，过高的曝光能量是光刻工艺中不愿看到的，过高的曝光能量会对曝光机硬件带来损伤，例如镜头，同时也会导致曝光机产能的损失。所以配方设计时需要考虑这部分平衡。

表 3 UV 吸收剂含量对倒角的影响

Table 3 Chamfer angle influence by UV absorbent

	Dyewt%@ Resin	UV 吸收 /μm	透过率%(6000 A)	形貌 Profile
PR A	基准 b	0.35	61.7	
PR B	b +	0.40	57.5	
PR C	b ++	0.44	54.4	

注：工艺条件：Si 基、HMDS(120C60S)，THK：6000A、MASK CD：250 nm，PAB：90C60S、PEB120C60S，DEV：60 S。

2.4 金属沉积后的形态

基于上述的树脂、UV 吸收及交联程度优化的 HTKN601 系列负性光刻胶，可以很好地应用在基于化合物半导体基材的金属剥离工艺。通过调整工艺参数，经过多次实验，获得了线宽为 0.25 μm 的金属沉积层。由于良好的“底切形态”控制，光刻胶侧壁几乎没有金属沉积，为高性能声表面波器件的微纳图形加工提供支撑。

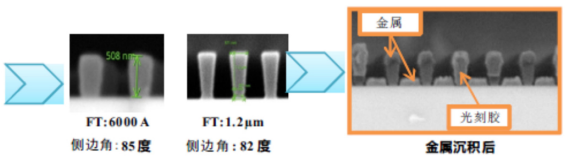


图 3 徐州博康 HTKN601 系列光刻胶在 $LiTaO_3$ 基底金属沉积后形貌(FT: film thickness，光刻胶厚度)

Fig. 3 Deposition morphology of Photoresist made by Xuzhou B&C Chemical Co., Ltd

3 结论

徐州博康 HTKN601 系列光刻胶通过树脂选择及配方优化，成功开发并应用于基于化合物半导体基材的金属剥离工艺，可应用于线宽小于 0.25 μm 的高性能声表面波器件 SAW 制作，芯片合格率、芯片性能一致性好，广泛应用于基于金属剥离工艺的微纳图形芯片制造中。

参考文献：

[1] 赵保华. 声表面波民用滤波器 [J]. 压电与声光，1983(01)：69-75+44.

[2] 杨正兵，冷俊林，曾 武等. 声表面波器件制作中的一种剥离技术 [J]. 压电与声光，2012，34(02)：163-165+168.

[3] 陈颖慧，高 杨，郑英彬等. 剥离工艺制作 SAW 滤波器 IDT 的研究 [J]. 微纳电子技术，2012，49(02)：124-128.

[4] 王文如，杨正兵. 微细金属图形制作中的剥离技术 [J]. 压电与声光，2001(01)：68-73.

[5] Jones S K，Chapman R C，Pavelchek E K. A Practical Approach To Lift - Off [C]. Microlithography Conference，1987.

[6] Redd R，Spak M，Sagan J，et al. Lithographic process for high-resolution metal lift-off [J]. Proceedings of the society of photo - optical instrumentation engineers (SPIE)，1999. 3678：1341-1351.