

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2208899

高长宽比金属铝热偶条的制备^{*}白悦杭¹ 雷程¹ 梁庭¹ 关一浩¹ 宫明峰¹ 齐蕃²

(1. 中北大学动态测试技术国家重点实验室 太原 030051; 2. 北方自动控制技术研究所 太原 030006)

摘要: 金属铝因其与多晶硅具备良好的塞贝克系数差且成本低在红外热电堆中常用作热偶条,热偶条制备在MEMS工艺流程制备中至关重要,其结构形貌对热电堆性能有很大影响。为研究不同制备方法对铝热偶条的形貌及性能影响,本实验采用金属刻蚀工艺、剥离工艺进行热偶条制备,调整溅射功率、光刻胶厚、曝光剂量、超声功率等参数对制备工艺进行优化,通过共聚焦显微镜、扫描电子显微镜及台阶仪表征形貌,半导体分析仪表征电阻值。实验表明:通过ROL-7133负胶,前烘1 min 30 s,曝光剂量85 mj/cm²,中烘1 min 40 s,显影48 s,采用金属剥离工艺制备得到了宽度3 μm,厚度0.4 μm的高长宽比金属铝热偶条,且整体形貌良好,器件电阻值符合要求。

关键词: 高长宽比;热偶条;铝;lift-off;曝光

中图分类号: TN305 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.3050

Preparation of aluminum thermocouple strips with high aspect ratio

Bai Yuehang¹ Lei Cheng¹ Liang Ting¹ Guan Yihao¹ Gong Mingfeng¹ Qi Lei²(1. State Key Laboratory of Dynamic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Aluminum metal is often used as thermocouple strips in infrared thermopiles because of its good Seebeck coefficient difference with polysilicon and low cost, the preparation of thermocouple strips is crucial in the preparation of MEMS process, and its structure and morphology have a great influence on the thermopile performance. In order to study the effect of different preparation methods on the morphology and performance of aluminum thermocouple strips, this experiment used metal etching process and stripping process to prepare thermocouple strips, adjusted sputtering power, photoresist thickness, exposure dose, ultrasonic power and other parameters to optimize the preparation process, and characterized the morphology by confocal microscope, SEM and step meter, and the resistance value by semiconductor analyzer. The experiments show that the high aspect ratio metal-aluminum thermocouple strips with width of 3 μm and thickness of 0.4 μm are prepared by ROL-7133 negative adhesive, pre-baking for 1 min 30 s, exposure dose of 85 mj/cm², mid-baking for 1 min 40 s, and development for 48 s by metal stripping process, and the overall morphology is good and the device resistance value meets the requirements.

Keywords: aspect ratio; thermocouple strip; aluminium; lift-off; exposure

0 引言

铝因其导电性能好、密度小、价格低廉、易于溅射沉积、易于干法刻蚀等特点,使得其在MEMS等领域有着广泛的应用。红外热电堆探测器原理基于塞贝克效应,也即两种不同电导体或半导体材料之间的温度差异而引起两种物质间的电压差的热电现象,因此在选择时要求两种热偶材料塞贝克系数相差较大,理想的热偶条材料为P型多晶硅和N型多晶硅,然而其制备成本较高不适于批量生产制

备^[1-2]。综合考虑热偶材料热导率、电阻率、CMOS兼容性以及经济性等因素后,实际应用中大都选择铝和多晶硅作为热偶条的两种材料^[3]。

目前MEMS工艺产线上制备铝条常用刻蚀工艺,冀新友等人通过调整刻蚀液的浓度及添加剂的种类控制刻蚀反应,得到坡度角满足要求的电极^[4]。蒋会刚等^[5]针对此通过对刻蚀的前处理步骤以及改变RIE刻蚀时腔体中气体比例、压强功率等参数等后处理步骤改善铝腐蚀现象。其中湿法刻蚀因其横向腐蚀严重、条宽损失较大的特性不满

收稿日期:2022-01-20

^{*} 基金项目:中央引导地方科技发展资金项目(YDZX2020140001664)、山西省重点研发计划项目(201903D121123)资助

足本实验中高长宽比铝条制备的需求,一般金属干法刻蚀工艺难以对高长宽比铝条线宽进行精确控制,加之金属铝本身具有的高反射性及金属活泼性,使得其与大多数显影液发生不同程度的反应,影响线条精度及表面形貌,最终导致低的成品率及较差的电学性能。高长宽比铝条常用于热电堆探测器热偶条、传感器电极导线等部分,现有研究多侧重于对刻蚀工艺的调整和优化,对其它工艺方法开发较少。

传统刻蚀工艺的限制和精细的结构设计要求使得我们难以制备出符合要求的铝热偶条,而剥离工艺具备两个显著优势,一是采取光刻—沉积—剥离的方式,避免了铝与显影液反应这一重要问题;二是铝条线宽完全取决于光刻工艺后的窗口区域,消除刻蚀过程中侧向钻蚀造成的误差,能够实现高精度图形的转移及优良的线宽控制^[6-7]。

基于此,本文分析总结刻蚀法铝条制备遇到的问题,提出了剥离法高长宽比铝条制备方案,使用 ROL-7133 负性光刻胶成功制备了线宽 3 μm,厚度 0.4 μm,线宽误差在 0.2~0.4 μm 之间的高长宽比铝热偶条,通过共聚焦显微镜、扫描电子显微镜、台阶仪以及半导体分析仪测试表明,剥离工艺制备的器件形貌及电学性能良好,且条宽误差较小。

1 热电堆中高长宽比铝热偶条制备需求

在红外热电堆探测器设计制备中,一般选用氧化硅和氮化硅复合膜层作为支撑层,除此之外探测器的输出电势还与两种材料的塞贝克系数有关,两种材料塞贝克系数差值越大,则输出越高;在各种研究中经常采用各种化合物来提高热电堆的性能,但是一般与 MEMS 工艺兼容性较差。而 P 型多晶硅材料除了具备较高的塞贝克系数,其工艺简单易制备,金属铝虽然热导率较高但是具备良好的塞贝克系数差和良好的热电优值,且成本低,易批量制备^[8-10]。因此设计常采用 P 型多晶硅和铝作为热偶材料。

热偶条的形貌对热电堆器件的性能起决定性因素。根据式(1)可知热电堆的响应输出与温差成正比,温差越大,输出越高。

$$R_v = \frac{\Delta U}{P_0} = \frac{\Delta U}{\varphi_0 A_d} = \frac{N \eta \alpha_{ab}}{G_{th}} \quad (1)$$

式中:ΔU 为输出电压, P₀ 为辐射功率, φ₀ 为辐射功率密度, A_d 为吸收区面积, N 为热偶条对数, G_{th} 为总热导。

为了确保热偶具备较高的温差,从而要求热电堆探测器具备较低的热导。热偶条结构热导对整个器件的总热导影响较大,而其中金属铝条更是具备较高的热导率,为了减小热损失,得到更大的温差,就需要铝热偶条结构横截面尽可能小。然而铝热偶条过窄会造成更大的热电堆电阻,从而产生更高的噪声电压,影响器件的探测率等性能,因此制备符合要求的金属铝热偶条对提高热电堆红外探测器的性能具有重要意义^[11]。

根据前期热电堆探测器的理论设计及仿真验证,得到

了器件的关键尺寸如表 1 所示,其中金属铝热偶条制备要求长度 800 μm,宽 3 μm,高 0.4 μm,且热偶条间隙窄,对准精度要求高。

表 1 热电堆器件设计关键尺寸

结构参数	双端结构	圆形结构
Al(L×W×H)	800×3×0.4 μm ³	475×3×0.4 μm ³
P-polySi(L×W×H)	800×3×0.4 μm ³	475×3×0.4 μm ³
热偶条对数	50	90
热绝缘空腔(L×W)	1 100×1 100 μm ²	∅1 200 μm
复合支撑膜	1 800×1 800× 2 μm ³	1 800×1 800× 2 μm ³

因此本文针对热电堆中铝热偶条,分别采用 IBE 刻蚀工艺、Lift-Off 剥离工艺等方法制备研究,优化制备工艺,最后通过剥离工艺制备得到了形貌及电性能均满足热电堆设计指标的铝热偶条。

2 高长宽铝热偶条的制备讨论

在 MEMS 制备工艺中,铝通常作为金属引线和焊盘等。目前金属铝结构常采用干法刻蚀、湿法刻蚀以及 Lift-Off 剥离工艺^[12]。

干法刻蚀金属铝主要包括 RIE 反应离子刻蚀、ICP 等离子刻蚀、IBE 离子束溅射刻蚀 3 种类型。离子束溅射刻蚀常用 Ar 等惰性气体,带电粒子在电场的作用下加速,通过溅射刻蚀作用将未被掩蔽的表面材料去除进而达到刻蚀的目的,属纯物理刻蚀,该刻蚀方法优势在于定向性和普适性较高,但刻蚀后图形质量不高且对表面损伤较大,选择比 1:1 且极难提高^[13];RIE 反应离子刻蚀方法中常用 Cl₂、BCl₃ 等气体对铝进行刻蚀,铝则会与主刻蚀气体 Cl₂ 反应生成 AlCl₃, AlCl₃ 熔点沸点相对较低易挥发,会在刻蚀过程中随气流排出反应腔室,然而铝本身极易与氧气反应生成氧化铝屏蔽层,对刻蚀的进一步进行造成阻碍,导致钻刻明显,为此加入辅助刻蚀气体 BCl₃,其一方面被电离生成 BCl₃⁺,对衬底表面进行物理轰击,另一方面 BCl₃ 可与氧化铝反应生成 AlCl₃ 排出腔室,属于物理化学刻蚀,该刻蚀方法选择比较好,但成本较高;ICP 等离子刻蚀原理为刻蚀气体与待刻材料表面活性自由基发生化学反应,属化学刻蚀,但由于铝表面极易被氧化,ICP 等离子刻蚀在干法刻蚀铝中极少应用。

湿法刻蚀常用于厚铝刻蚀工艺,在部分高压、大功率器件制备中,常要求铝线能够承受高电压、大电流,3 μm 及以上铝刻蚀常规胶掩膜已无法达到掩蔽目的,纯干法刻蚀不可行,湿法腐蚀铝常利用加热的磷酸、硝酸、醋酸及水的混合溶液,选择比高,适用于厚铝工艺,但湿法腐蚀工艺侧腐严重,属各项同性刻蚀,对铝边缘损伤较大^[14-15]。

由于铝本身的高反射性和多粒度特性,使得微细线条

的刻蚀存在困难, Lift-Off 剥离工艺据此提出。剥离金属化工艺首先在衬底表面利用光刻胶进行图形化形成模板, 而后以此作掩模进行金属膜层的生长溅射, 最后使用有机溶剂去除胶掩膜以及覆盖在其表面的金属膜层, 从而获得金属结构的完整图形^[16]。

本实验针对热电堆中铝热偶条进行制备研究, 线宽低

至 $3\ \mu\text{m}$, 厚度低至 $0.4\ \mu\text{m}$, 湿法腐蚀工艺原理为化学腐蚀液与晶圆表面发生反应, 溶液里的反应物利用扩散效应达到被蚀刻薄膜的表面, 横向钻蚀使得腐蚀剖面呈现圆弧型状, 属于各项同性刻蚀, 如图 1 所示, 不能满足本实验设计需求。基于此, 本实验选择干法刻蚀工艺和剥离工艺进行铝条制备。

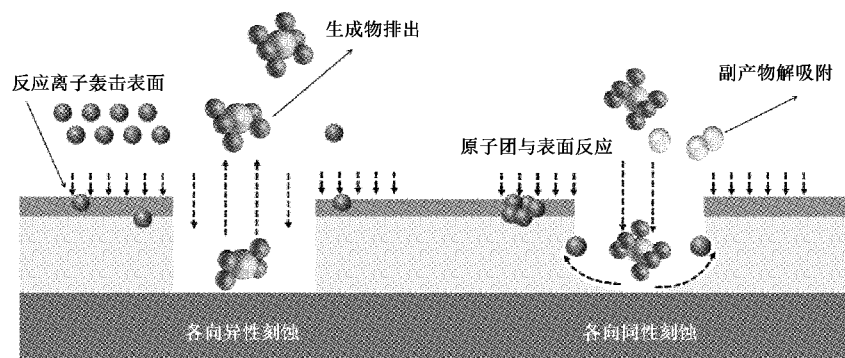


图 1 各向异性刻蚀和各向同性刻蚀原理示意图

2.1 刻蚀法 Al 条制备

选用晶向 $\langle 100 \rangle \pm 0.5^\circ$, 电阻率 $1 \sim 3\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的 4 寸硅晶圆作为衬底, 在晶圆表面依次通过热氧制备 $1\ 600\ \text{nm}$ 氧化硅, 通过 SENTECH 公司的 SI500D 等离子体增强化学气相沉积 ICP-ECVD 设备沉积 $550\ \text{nm}$ 的氮化硅作为支撑层, 使用 DENTON 公司的磁控溅射机溅射沉积厚度为 $40\ \text{nm}$ 的 Ti 以及 $400\ \text{nm}$ Al, 使用 EVG610TB 双面光刻机进行光刻, 实验室配备有苏州路图微电子的 RIE-10NR 的反应离子刻蚀机、极智芯科技有限公司的 AE4 离子束刻蚀机等干法刻蚀设备, 为避免金属进入腔室污染腔体影响其它类型膜层刻蚀, 选用极智芯科技有限公司的 AE4 离子束刻蚀机对 Al 进行刻蚀。

常规刻蚀工艺通常旋涂 $2 \sim 3\ \mu\text{m}$ AZ6130 光刻胶, 由于本实验制备 Al 条宽度低至 $3\ \mu\text{m}$, 为保证曝光精度, 需选用薄胶作为刻蚀掩膜, 图 2 对比了国产 HTI751 光刻胶与常规 AZ6130 光刻胶胶膜厚度与转速关系, 可见 AZ6130 光刻胶最低胶厚为 $2.05\ \mu\text{m}$, 不满足本实验高精度制备要求, 而 IBE 刻蚀属于纯物理刻蚀, 对 Al 和光刻胶不具有良好的选择性, 为避免过刻, 选择旋涂厚度为 $1\ \mu\text{m}$ 的 HTI751 光刻胶作为刻蚀掩膜。

经前烘预处理、曝光、全方位显影、镜检、氧等离子体去除残胶、后烘坚膜等标准化工艺步骤完成图形化后, 选用极智芯科技有限公司的 AE4 离子束刻蚀机完成铝热偶条刻蚀, 如图 3 所示。

干法刻蚀制备过程出现以下问题。

1) 铝膜层被腐蚀

在图形化过程中过显, 如图 4 所示, 去胶清洗后发现 Al 表面仍残留光刻图形印迹, 无法有机清洗去除; 且进行显影时有气泡产生, 如图 5、6 所示, 提前溅射铝的晶圆局

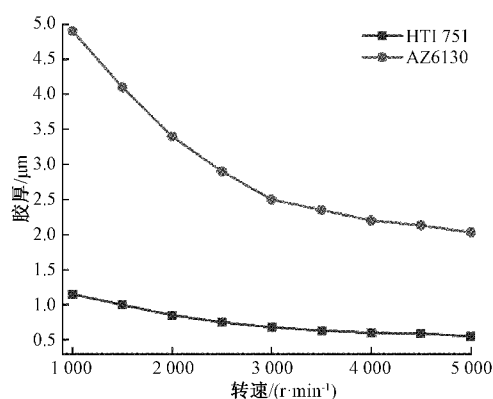


图 2 两种胶厚随转速变化关系

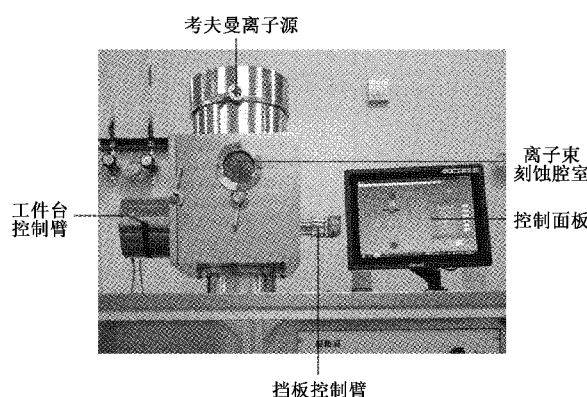


图 3 AE4 离子束刻蚀机

部(非器件区)破损起泡, 严重时整个晶圆铝膜层大面积(器件区)发黑, 对器件形貌影响严重。

造成这些问题的原因是金属铝被反应腐蚀。AZ400K 与 ZX238 显影液的主要成分为硼酸钾水溶液、TMAH 水

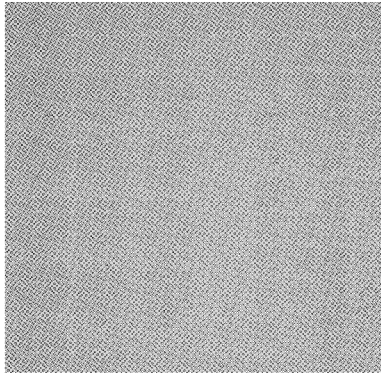


图 4 去胶后残留印记

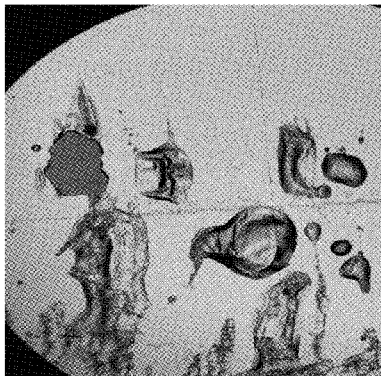


图 5 局部非器件区轻微腐蚀

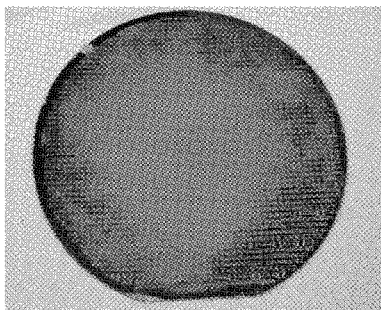
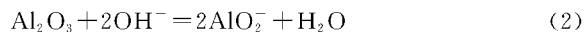


图 6 大面积器件区严重腐蚀

溶液,均属于碱性溶液,铝及氧化铝会与碱性显影液中的 OH^- 发生反应,反应机理如式(2)、(3)所示,导致铝表面被轻度腐蚀,且有杂质沉积,如图 4(b)所示。



显影液中的碱成分与铝反应使得铝条表面破损,空间中的温度、湿度以及显影时人为操作因素均会对显影效果产生影响,无法满足极细铝条的制备需求。

2) 铝条断裂

离子束刻蚀所用刻蚀气体一般为 Ar 等惰性气体,被电离后经电场加速对待刻表面进行垂直轰击从而达到刻蚀目的,属于物理刻蚀,整体操作简单且具有普适性,但也因此刻蚀出的图形质量不高,对器件表面损伤较大,导致

低的刻蚀比和低生产能力。

经实验调整后确定主要参数设置:能量 500 eV,束流 112 mA,中和 143 mA。

刻蚀后显示部分铝条断裂损伤,如图 7 所示。出现该情况有主要两个原因,一是离子束刻蚀因不具有良好的选择性,导致过刻蚀(over etch)量大,离子源中具有能量的离子、电子以及激发态分子的轰击作用使得部分位置铝条断裂,二是孤立铝条上剩余的掩膜太薄,在刻蚀过程中不足以完成掩蔽作用导致部分铝条被刻蚀后断裂。

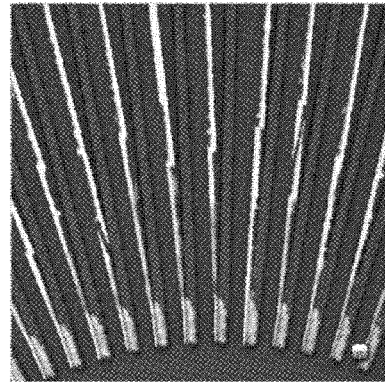


图 7 刻蚀后 Al 条断裂

3) 刻蚀精度差

在实际的刻蚀中,不同图形的刻蚀速率不尽相同,刻蚀过程中反应聚合物在侧壁不断淀积,等离子基团到达图形底部受到一定阻挡,刻蚀深度也受到影响,也就是微负载效应。对于本实验而言,相同条件下较为稀疏的焊盘引线位置刻蚀程度大,再加之光刻过程中铝与显影液反应的叠加影响,铝条边缘在刻蚀后出现微量合金化现象,热偶条之间间距较小,微量合金化,间隙最窄处刻蚀不干净,如图 8 所示,这会导致整个热电堆器件发生串联短路,严重影响器件的电学性能。

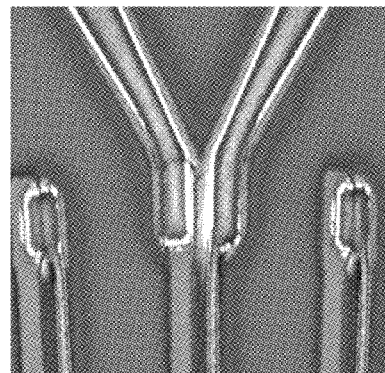


图 8 刻蚀后出现合金化

4) 选择性差

离子束刻蚀利用正离子轰击基片表面达到刻蚀的目的,属于纯物理刻蚀,因此对材料没有选择性,刻蚀精度差,导致刻蚀 Al 条时,刻蚀时间不足使得局部刻蚀不干净

影响器件性能,而过刻对下膜层氮化硅造成损伤,无法准确控制,刻蚀截面如图 9 所示,悬浮膜结构是整个热堆器件实现温差的关键因素,作为悬浮膜的氮化硅被刻蚀,严重影响后续支撑层的释放,从而影响器件的机械稳定性。

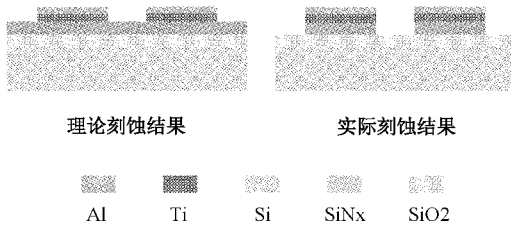


图 9 理论实际刻蚀情况对比

综合以上因素,传统溅射、刻蚀无法满足热堆铝热偶条的制备,因此我们拟采用剥离法铝条制备工艺。

2.2 剥离法 Al 条制备

热氧生长的氧化硅致密性良好且应力较小,为保证器件支撑层应力匹配,如图 10(a)所示在晶圆表面依次热氧生长 1 600 nm 氧化硅、ICP-CVD 生长 550 nm 氮化硅作为复合支撑层,如图 10(b)为在氮化硅表面匀涂光刻胶作为牺牲层,去除铝条位置光刻胶创建反向图案,如图 10(c)所示溅射沉积目标材料,经图 10(d)所示步骤将光刻胶连同覆盖在其表面的金属剥离,留下与氮化硅衬底直接接触的金属,为了避免铝剥离时大面积脱落,首先溅射 40 nm Ti 作为黏附层,即溅射 40 nm Ti, 400 nm Al。

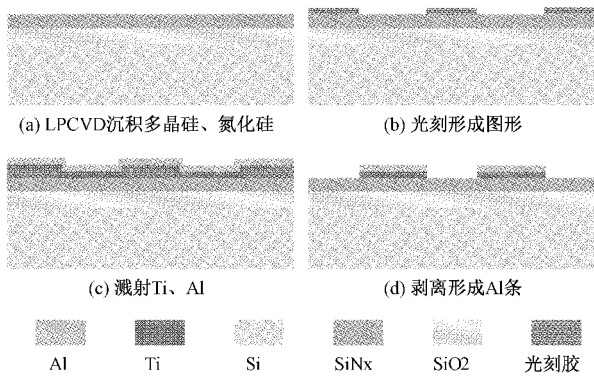


图 10 剥离法工艺流程设计

1) 光刻工艺参数讨论

本实验选用负胶 ROI-7133 作为光刻掩膜,ROI-7133 倒角 $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$,黏附性好,胶厚适中,同正性光刻胶相比,负性光刻胶更容易形成剖面上宽下窄的倒梯形结构,其与衬底接触面小,淀积的金属在负胶掩模边缘无法连接,有利于剥离溶剂渗透进而使得金属底部光刻胶溶解,造成表面金属坍塌实现金属剥离,相比于正梯形结构,负胶形成的倒梯形结构更容易实现剥离。需要注意的是,为降低剥离难度,光刻工艺中不烘涂 HMDS 增粘剂。使用瑞士 SAWATCC 公司的 SM-150B 旋涂仪进行匀胶,为保证曝光精度及剥离效果,使用台阶仪及共聚焦显微镜确定胶厚为 $1.9 \mu\text{m}$,并严格控制各项参数。

曝光剂量不足导致曝光不完全,出现光刻胶残留,而曝光剂量过度使得不该发生光聚合反应的光刻胶发生聚合,增加显影难度。在曝光剂量 $55 \sim 155 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 之间每隔 $5 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 进行一次曝光实验。

实验结果表明,曝光剂量在 $105 \sim 155 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 内过曝严重,过强光源降低了曝光分辨率,对极细线条敏感度下降,图形无法完全显现,图 11(c)为曝光剂量 $155 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时显影结果,可以看到大结构部分已经过显,但 $3 \mu\text{m}$ 线宽处无明显变化;曝光剂量在 $55 \sim 70 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 内曝光剂量不足, $3 \mu\text{m}$ 线条处光刻胶未完全变性,残存的光刻胶难以被完全图形化,图 11(a)为曝光剂量 $55 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时显影情况,图形大面积过显,然而 $3 \mu\text{m}$ 线条处仍有大部分光刻胶残留,严重影响后续剥离工艺;曝光剂量在 $75 \sim 100 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 区间内, $3 \mu\text{m}$ 铝条可以图形化,但经测量此区间内的线宽会随曝光剂量的改变而发生微小变化,曝光剂量略大会导致原本无需曝光的区域边缘被轻微曝光,导致线宽略高于设计值,而曝光剂量较小会导致需曝光的区域未曝光完全,导致线宽略低于设计值。图 12 为不同曝光剂量下显影后线宽以及与实际设计值的偏差情况,曝光剂量低于 $85 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 时线宽低于设计值,而 $90 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 及以上线宽高于设计值,且偏差较大。

通过以上实验调整曝光剂量至 $85 \text{ mJ}/\text{cm}^2$,可保证光刻出的图形宽度为 $3 \mu\text{m}$,偏差量控制在 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 内,误差在 2.5% 内,与设计值基本一致。通过多次调试,如表 2 所示,确定了 $1.9 \mu\text{m}$ 胶厚下图形化的各项参数。

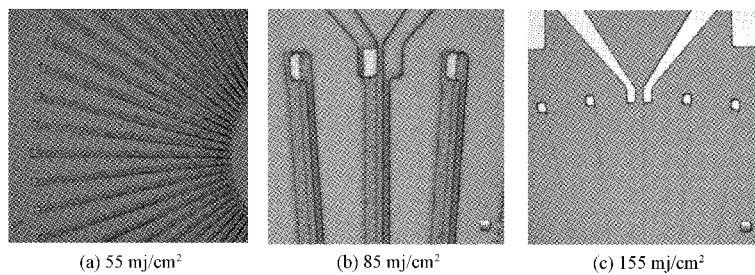


图 11 不同曝光剂量后显影情况

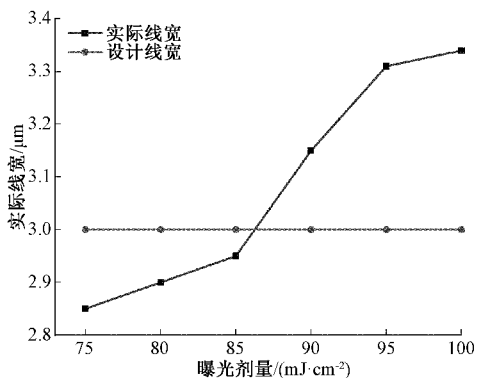


图 12 曝光剂量与线宽关系

表 2 光刻工艺参数

工艺步骤	工艺参数
匀胶	500 rpm, 10 s
	3 000 rpm, 40 s
前烘	热板 100 °C, 90 s
曝光	85 mJ, 1.5 s
中烘	热板 110 °C, 160 s
显影	1 : 4 400 K, 48 s
等离子体去胶	O ₂ , 120 s

光刻后通过共聚焦显微镜观察可发现图形形貌良好且边缘清晰, 结构完整且无残留光刻胶, 测量后线宽符合设计值, 如图 11(b) 所示。结果表明该参数配置合理, 能够保证光聚合反应的充分进行, 对高长宽比线条的光刻工艺具有很好的参考意义。

2) 剥离工艺设计

MEMS 领域金属淀积一般采用蒸发和溅射两种方式, 在本实验流片过程中, 我们选择方向性及台阶覆盖性较好的磁控溅射镀膜设备。磁控溅射镀膜设备工艺参数的选择对于膜层生长速率和膜层质量都有很大的影响, 沉积速率以及膜层附着力会在一定范围内随着功率的改变而变化, 一般情况下, 沉积速率随着功率的增大呈线性增大, 过度的调低功率会导致沉积的膜层结构松散, 而适当的调高功率可使部分溅射粒子获得更高能量, 有助于粒子注入, 在衬底与膜层之间形成可提高金属膜层附着力的伪扩散层。因此, 为了在保证膜层质量的前提下降低剥离难度, 磁控溅射参数设置如表 3 所示。

表 3 磁控溅射参数

沉积金属	沉积功率/W	沉积厚度/nm
Ti	400	10
Ti	100	30
Al	400	400

去除 ROL-7133 光刻胶常用无水乙醇, 为保证剥离效

果, 实验采用无水乙醇超声 5 min、丙酮超声 5 min、无水乙醇超声 8 min 完成铝条的剥离。此处值得注意的是, 因所制备铝热偶条较细, 剥离过程中需控制超声机水温及功率, 本实验设定水温不超过 25 °C, 超声功率 100 W。

通过共聚焦显微镜观察剥离后形貌如图 13 所示, 结果表明, 剥离法制备出的铝条形貌清晰, 几何尺寸宽于设计值 0.2~0.4 μm, 误差 ≤ 2%, 在设计冗余范围内。使用台阶仪及显微镜进行侧壁分析, 如图 14 所示, 可发现铝条侧壁较为光滑, 无明显点痕; 后将制备的热电堆器件进行合金退火形成欧姆接触, 使用半导体分析仪对器件电学性能进行测试, 欧姆接触正常形成且阻值正常, 如图 15 所示, 与设计制基本一致。

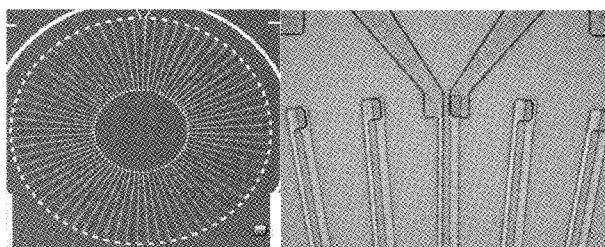


图 13 剥离后热电堆器件形貌图及局部放大图

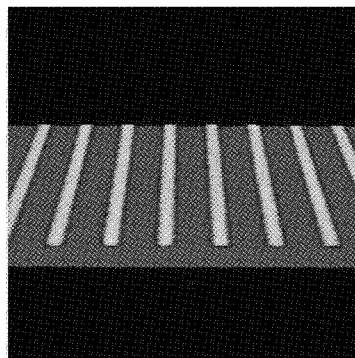


图 14 剥离后侧壁形貌

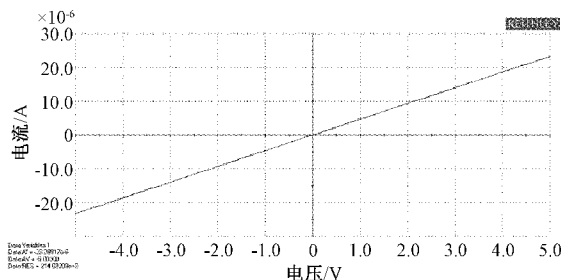


图 15 热电堆 I-V 特性曲线

3 结 论

针对热电堆器件中高长宽比铝热偶条制备这一问题, 本文总结分析了常规刻蚀法制备过程中遇到的铝与碱性显影液反应、干法刻蚀选择性较差导致过刻以及刻蚀法本

身存在的侧壁形貌较差等问题,通过优化 lift-off 剥离工艺中负胶图形化参数,制备出线宽 $3\ \mu\text{m}$,厚度 $0.4\ \mu\text{m}$,线宽误差在 $0.2\sim 0.4\ \mu\text{m}$ 之间的高长宽比铝热偶条,最终实现了热电堆探测器的器件制备,通过共聚焦显微镜、台阶仪以及半导体分析仪测试表明,整个器件形貌及电学性能良好,而且避免了常规干法刻蚀中出现的问题。

参考文献

- [1] 刘泽元,尚永红,林博颖,等. 红外测温设备的空间环境影响及防护研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 232(4):165-171.
- [2] 任品秋,钟攀,张琳,等. 人体红外测温枪的温度测量补偿研究[J]. 电子测量技术, 2021, 44(16):62-67.
- [3] BELTRÁN P B, PRADO G J, POWELL A V, et al. Thermal conductivity, electrical resistivity, and dimensionless figure of merit (ZT) determination of thermoelectric materials by impedance spectroscopy up to 250 C [J]. Journal of Applied Physics, 2018, 124(2), DOI:10.1063/1.5036937.
- [4] 冀新友,张家祥,王亮,等. 刻蚀液的调整对 Array Mura 影响的研究[J]. 液晶与显示, 2018, 33(2): 138-143.
- [5] 蒋会刚,高建剑,王晏酪,等. RIE 模式干法刻蚀 ADS 产品铝腐蚀改善研究[J]. 液晶与显示, 2017, 32(7): 518-525.
- [6] YANG Z, XU G, CHEN S, et al. High-detectivity Infrared Detector Based on Dual-layer Thermopile[C]. 2021 IEEE 16th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS), IEEE, 2021: 1574-1578, DOI: 10.1109/NEMS51815.2021.9451458.
- [7] ABASAHL B, SANTSCHI C, RAZIMAN T V, et al. Fabrication of plasmonic structures with well-controlled nanometric features: A comparison between lift-off and ion beam etching [J]. Nanotechnology, 2021, 32(47), DOI:10.1088/1361-6528/acla93.
- [8] 雷程. 双端梁 MEMS 热电堆红外探测器关键技术研究[D]. 太原:中北大学, 2016.
- [9] KE W, WANG Y, ZHOU H, et al. Design, fabrication, and characterization of a high-performance CMOS-compatible thermopile infrared detector with self-test function[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2018, 28(12), DOI: 10.1088/1361-6439/aaeafe.
- [10] LIN P S, SHEN T W, CHAN K C, et al. CMOS MEMS thermoelectric infrared sensor with plasmonic metamaterial absorber for selective wavelength absorption and responsivity enhancement [J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 20(19): 11105-11114, DOI: 10.1109/JSEN.2020.2997534.
- [11] 刘晓光,余开. 基于红外热成像的回流焊炉测温仪设计[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(4):121-124.
- [12] ALVAREZ H S, CIOLDIN F H, SILVA A R, et al. Silicon micro-channel definition via ICP-RIE plasma etching process using different aluminum hardmasks[J]. Journal of Microelectromechanical Systems, 2021, 30(4): 668-674.
- [13] 李源. 聚焦离子束溅射刻蚀工艺建模与应用研究[D]. 南京:东南大学, 2019, DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2019.003895.
- [14] 蒋玉贺. 芯片制造中的厚铝刻蚀工艺[J]. 微处理机, 2016, 37(3):23-24, 27.
- [15] GABLECH I, BRODSKÝ J, PEKÁREK J, et al. Infinite selectivity of Wet SiO_2 etching in respect to Al [J]. Micromachines, 2020, 11(4): 365.
- [16] 刘浩,高鹏飞,郝腾,等. 新型复合显影金属剥离工艺的研究[J]. 中国标准化, 2020(S1):362-366.

作者简介

白悦杭, 硕士, 主要研究方向为红外热电堆测温技术研究。

E-mail: baiyuehang1109@163.com

雷程, 博士, 高级实验师, 主要从事微纳红外传感、微纳压力传感及微纳器件制造与系统集成相关的研究工作。

E-mail: leicheng@nuc.edu.com