

《KrF 光刻胶制备工艺技术要求》团体标准

征求意见稿 编制说明

一、任务来源

在半导体制造的核心材料领域，KrF光刻胶的制备工艺近年经历了显著的技术演进，主要围绕材料设计、合成精度与量产稳定性展开深度创新。传统工艺依赖聚对羟基苯乙烯类树脂，但其分子量分布宽、抗蚀性不足的问题限制了分辨率和图案精度。为此，新型共聚物设计逐渐成为主流——通过引入含单环羧酸敏基团及多环羟基缩醛结构的单体，不仅提升了树脂的抗刻蚀性能，还显著降低了厚膜应用中的气泡缺陷。这类单体在曝光后生成不易挥发的组分，有效维持了膜层稳定性，尤其适用于5微米以上的厚膜光刻胶场景。

树脂合成工艺亦从间歇式反应转向连续流技术。在微反应器中，单体比例、引发剂浓度与反应温度得以精密调控，大幅缩短聚合时间并收窄分子量分布。窄分布树脂赋予光刻胶更均匀的感光特性，使显影后的线路边缘更笔直，分辨率突破至亚微米级。同时，高纯度单体的合成技术同步突破，关键中间体如乙氧基乙氧基苯乙烯的纯度提升至接近绝对纯净水平，从源头降低了杂质引发的显影缺陷。

配方工程化同样取得关键进展。通过优化光致产酸剂与酸扩散抑制剂的协同作用，并引入氟碳类流平剂，光刻胶在烘烤过程中的酸催化反应更可控，避免了过度扩散导致的线宽失真。溶剂体系的筛选进一步保障了涂布均匀性，结合多级精密过滤工艺，金属离子与聚合杂质被严格限制，满足晶圆级制造的洁净要求。

量产环节的突破集中于自动化与规模效应。百吨级高自动化产线的建成，实现了从投料到过滤的全流程封闭控制，批次一致性显著提升。这种规模化能力不仅降低了成本，更为国产光刻胶从实验室走向产线提供了工程基础，逐步缓解了对进口材料的依赖。

这些技术脉络共同指向一个目标：在确保光刻胶高分辨率和缺陷控制的同时，构建自主可控的完整供应链。从单体纯化到树脂合成，从配方复配到量产纯化，全链条的工艺革新正逐步填平技术代差，为半导体制造的底层材料自主化奠定基础。

目前，KrF光刻胶制备工艺相关的标准GB/T 43793-2024 平板显示用彩色光刻胶测试方法。

团体标准与GB/T 43793-2024的主要区别在于应用领域和技术要求。本标准针对半导体制造中的KrF光刻胶，强调高分辨率、抗刻蚀性和工艺宽容度，覆盖从原材料到成品的全流程工艺控制，包括洁净生产环境、多级过滤和质量一致性等关键环节。后者则专注于平板显示用彩色光刻胶的测试方法，侧重色彩和显影效果等显示面板需求，技术要求相对较低。本标准的优势在于其技术集成度高，不仅涵盖材料纯化、配

比优化等上游环节，还适配8-12英寸晶圆制造的复杂工艺，确保与光刻、刻蚀设备的协同性。此外，该标准采用定性描述而非具体参数，为工艺创新提供灵活性，更符合半导体行业快速迭代的特点。

先进性与创新性：

1. 原料体系的高纯度与精细化控制

项目在原料选型与质量控制上体现了显著的技术前瞻性。针对树脂单体、光致产酸剂等核心原料，建立了多维度的纯度与杂质控制体系，尤其对金属离子、水分、酸值等关键指标提出了严格要求。通过对羟基苯乙烯单体、酸敏性单体及功能性单体的分级筛选，结合离子型光致产酸剂的超低金属离子含量控制，从源头保障了光刻胶的化学稳定性和感光性能。这种精细化的原料控制策略，突破了传统光刻胶原料纯度不足导致的性能波动问题，为后续工艺稳定性和产品良率提升奠定了基础。

2. 先进聚合工艺的创新应用

项目创新性地引入连续流聚合技术，结合微反应器系统实现了树脂合成的高效化与精准化。相比传统批次聚合，连续流聚合通过精准控制物料流速、反应温度和停留时间，显著提升了树脂分子量分布的均一性，同时缩短了反应周期。此外，对自由基聚合的工艺参数（如惰性气体保护、引发剂选择）进行了优化，进一步降低了副反应发生率。这种聚合工艺的革新，不仅提高了生产效率，还为树脂性能的可调控性提供了技术支撑，满足了化学增幅型光刻胶对树脂结构的严苛要求。

3. 高精度树脂纯化与性能调控技术

项目开发了“沉淀纯化-真空干燥”一体化的树脂精制工艺，通过多级沉淀、洗涤及干燥参数优化，有效降低了树脂中的残留单体、金属离子和水分含量。特别是通过电导率监测和真空干燥条件的精准控制，确保树脂的分子量分布、玻璃化转变温度（ T_g ）等关键性能指标处于最优范围。这种纯化技术的创新，解决了传统工艺中树脂纯度不足导致的光刻胶灵敏度和分辨率下降问题，为后续配制工艺的稳定性提供了保障。

4. 多维度性能指标体系的构建

项目构建了涵盖物理性能、化学性能及光刻性能的全维度指标体系，体现了技术的系统性与全面性。在物理性能方面，通过固体含量、粘度、密度的协同控制，确保光刻胶涂布的均匀性；化学性能上，严格限制金属杂质、颗粒含量及水分，避免对曝光和刻蚀过程的干扰；光刻性能则聚焦灵敏度、分辨率、边缘粗糙度（LER）及抗刻蚀性，针对性满足248nm曝光光源下的图形转移需求。这种多维度指标的整合，突破了单一性能优化的局限，实现了光刻胶综合性能的平衡与提升。

5. 化学增幅体系与功能添加剂的协同设计

项目基于化学增幅原理，创新设计了光致产酸剂与酸扩散控制剂的协同体系。通过选用高效离子型光致产酸剂，结合有机胺类酸扩散控制剂，精准调控酸在光刻胶膜中的扩散速率，避免了酸扩散过度导致的图形模糊或不足引发的灵敏度下降。同时，流平剂等功能性添加剂的引入，进一步优化了光刻胶的涂布性能和膜层质量。这种协同设计策略，显著提升了光刻胶的感光效率和工艺适应性，尤其在高深宽比结构制作和厚膜光刻胶应用中展现了独特优势，为特殊工艺场景提供了技术解决方案。

《KrF光刻胶制备工艺技术要求》团体标准的制定，具有以下几方面的意义：

1. 推动行业规范化与技术进步

制定团体标准能够明确KrF光刻胶制备的核心工艺要求，包括原材料控制、生产环境、工艺流程等关键环节，为行业内企业提供统一的技术参考。通过规范树脂纯度、光致产酸剂（PAG）稳定性等指标，促进企业优化生产工艺，提升产品性能的一致性，从而推动行业整体技术升级。

2. 保障供应链安全与国产化协同

KrF光刻胶的核心原料长期依赖进口，团体标准可通过技术要求的统一，引导国内企业加强原材料自主研发与生产，降低供应链风险。

3. 提升产品质量与客户信任度

标准通过严格定义光刻胶的分辨率、感光度、抗蚀刻性等性能目标，帮助企业明确产品开发方向，减少因工艺波动导致的批次差异。同时，标准化的质量控制流程可增强下游晶圆厂对国产光刻胶的信任，缩短客户验证周期，加速市场应用。

4. 促进产业链上下游协作

团体标准可作为晶圆厂、光刻胶生产商、设备供应商之间的技术桥梁。如标准中明确的生产环境洁净度要求，需产业链共同配合实现；而包装储存规范则涉及材料供应商与物流环节的协同优化，从而形成更紧密的产业生态。

5. 响应环保与可持续发展需求

标准通过规定安全环保条款，引导企业减少光刻胶生产过程中的环境污染。此外，对工艺稳定性和材料利用率的要求，可降低生产能耗与废料产生，符合半导体行业绿色制造的发展趋势。

二、起草单位所作工作

1. 起草单位

本标准由XXX等单位共同起草。

2. 主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草单位及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草单位	工作职责
XXX	项目主编单位主编人员，负责标准制定的统筹规划与安

	排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了行业资深专业人员，行业管理人员
XXX	实际生产单位、负责汇报实际生产数据、试验方法，参与标准编制。

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

4.1 调研阶段

1. 技术现状调研

项目组通过对国内外KrF光刻胶技术发展历程及研究进展的系统梳理，明确了当前技术的核心方向与瓶颈。调研发现，国际领先企业已实现化学增幅型KrF光刻胶的规模化应用，其技术优势集中在高纯度原料控制（如树脂单体金属离子含量达ppb级）、先进聚合工艺（如连续流聚合提升分子量分布均一性）及精细化性能调控（如酸扩散速率与光刻图形精度的协同优化）。国内虽在树脂合成、光致产酸剂（PAG）制备等环节取得突破，但在厚膜光刻胶涂布均匀性、边缘粗糙度（LER）控制及抗刻蚀性等关键指标上仍存在差距。此外，调研指出国内企业对连续流聚合、微反应器等先进设备的应用不足，导致树脂批次稳定性较差，制约了光刻胶性能的一致性。

2. 市场需求分析

调研显示，KrF光刻胶作为半导体制造的关键材料，市场需求呈现**“高端化”与“国产化”双重驱动特征。一方面，随着国内半导体产业向14nm及以上先进制程延伸，对0.25 μm以下分辨率、高深宽比结构制作的需求显著增长，传统光刻胶已无法满足工艺要求；另一方面，受国际供应链波动影响，国内晶圆厂对KrF光刻胶的自主可控需求迫切**，2024年国产化率不足15%，市场缺口巨大。此外，特殊领域如MEMS、功率器件等对厚膜光刻胶（涂布厚度≥5 μm）的需求年均增长超20%，而国内相关产品长期依赖进口。调研结论表明，制定统一的技术标准可加速国产KrF光刻胶的性能验证与市场导入，填补高端光刻胶国产化空白。

3. 相关标准研究

项目组对国内外光刻胶领域标准进行了全面梳理，发现当前存在**“通用标准多、专项标准少”**的问题。国际方面，SEMI标准主要聚焦光刻胶的通用测试方法（如颗粒含量、金属杂质检测），但未针对KrF化学增幅型光刻胶的原料选型、聚合工艺等关键环节提出具体要求；国内方面，GB/T系列标准覆盖了水分、

粘度等基础指标测定，但缺乏对树脂分子量分布、酸扩散控制剂作用机制等核心技术的规范。调研同时指出，现有标准对“厚膜光刻胶”“酸扩散控制”等新兴技术方向的定义与指标缺失，导致行业产品质量参差不齐。因此，本标准的制定旨在填补国内外KrF光刻胶专项标准空白，为产业链提供统一的技术依据。

4. 产业链调研

通过对KrF光刻胶产业链上下游的走访与分析，项目组明确了各环节的技术瓶颈与协同需求。上游原料端，对羟基苯乙烯单体、离子型PAG等核心原料的高纯度产品（如纯度 $\geq 99.5\%$ 、金属离子 $\leq 10\mu\text{g/kg}$ ）主要依赖进口，国内供应商在提纯工艺与杂质控制上存在短板；中游制备端，树脂聚合的连续流工艺设备、高精度过滤系统（如 $0.2\mu\text{m}$ PTFE膜）国产化率不足30%，制约了生产效率与产品一致性；下游应用端，晶圆厂对光刻胶的性能验证周期长、认证成本高，且与国内光刻胶企业的工艺适配性需进一步磨合。调研结论强调，标准需通过规范原料指标（如单体纯度、金属离子含量）与工艺参数（如聚合温度、干燥条件），推动上下游协同创新，提升产业链自主可控能力。

5. 行业问题与挑战

调研总结了当前KrF光刻胶行业面临的五大核心挑战：一是原料纯度与稳定性不足，尤其是功能性单体的批次差异导致树脂性能波动；二是聚合工艺效率低，传统批次聚合难以满足大规模生产需求，连续流聚合技术应用存在技术壁垒；三是性能指标协同优化难，如灵敏度提升与LER控制存在矛盾，需平衡感光效率与图形精度；四是知识产权风险，国际巨头对核心单体结构、PAG合成方法等持有专利，国内企业需规避侵权风险；五是行业标准缺失，缺乏统一的性能测试方法与质量分级体系，导致下游应用端信任度不足。针对上述问题，标准需通过明确技术要求（如树脂分子量分布、光刻性能指标）与工艺规范（如纯化、过滤流程），为行业提供可落地的解决方案，推动技术突破与产业化进程。

4.2 立项阶段

2025年8月15日，中国技术市场协会正式批准《KrF光刻胶制备工艺技术要求》立项。

4.3 起草阶段

4.3.1 成立标准制定工作组，根据《KrF光刻胶制备工艺技术要求》编制需要，XXX等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.3.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《KrF光刻胶制备工艺技术要求》各部分内容，并于2025年8月30日汇总形成标准草案。

4.3.3 2025年9月4日，通过腾讯会议线上召开了《KrF光刻胶制备工艺技术要求》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标、试验方法等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。

在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

4.4 征求意见阶段

2025年9月15日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见，具体见《征求意见汇总表》。

五、标准主要内容

根据生产企业XXX等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

1. 固体含量：光刻胶中不挥发组分（树脂聚合物、光致产酸剂、添加剂等）的质量占比，是衡量光刻胶固液体系配比的核心物理指标。其高低直接影响涂布工艺的膜厚控制与干燥效率：固体含量过高会导致涂布膜层过厚、流平性下降，过低则可能因固含量不足影响成膜质量与图形分辨率。在化学增幅型光刻胶体系中，固体含量需与树脂分子量、溶剂挥发速率协同匹配，以确保曝光后酸催化反应的均匀性和图形转移精度。该指标的严格控制，是实现光刻胶涂布一致性和工艺稳定性的基础。

2. 金属杂质含量：光刻胶中 Na^+ 、 K^+ 、 Fe^{3+} 等金属离子的总量及单元素含量，是保障光刻胶化学纯度的关键指标。金属离子会通过两种途径影响光刻性能：一是作为“化学干扰源”，可能与光致产酸剂发生络合反应，降低酸产生效率；二是作为“缺陷诱因”，在曝光或刻蚀过程中形成局部电荷聚集，导致图形边缘出现针孔、桥连等缺陷。对于248nm波长的KrF光刻胶而言，金属杂质的微量残留可能引发光吸收偏差，进一步影响灵敏度和分辨率。因此，金属杂质含量的严格限制是确保光刻胶化学稳定性和图形质量的前提。

3. 分辨率：光刻胶在曝光后能够清晰分辨的最小图形线宽，是衡量光刻胶图形转移能力的核心功能指标。其本质是光刻胶对曝光光源（248nm KrF激光）的感光响应与显影后树脂溶解对比度的综合体现：高分辨率依赖于光致产酸剂的高效产酸、酸催化反应的精准区域控制，以及树脂在显影液中的选择性溶解性能。在半导体制造中，分辨率直接决定了芯片制程的极限尺寸，例如0.25 μm 以下的分辨率可满足先进逻辑芯片或存储芯片的图形化需求。该指标的优化需平衡灵敏度与边缘粗糙度，是光刻胶技术水平的核心标志。

4. 边缘粗糙度（LER）：光刻胶图形边缘偏离理想直线的随机波动程度，通常以 3σ 值表示，是评价图形精度的关键微观指标。LER主要源于树脂分子量分布不均、酸扩散速率波动或显影过程的局部溶解差异：边缘粗糙度过大会导致器件沟道宽度不均、电学性能波动，尤其在FinFET、DRAM等先进结构中，LER可能

成为限制器件良率的瓶颈。化学增幅型光刻胶通过调控酸扩散控制剂的浓度和树脂链段分布，可有效降低LER，其控制水平直接反映光刻胶的微观均匀性和工艺成熟度。

5. 抗刻蚀性：光刻胶膜在等离子刻蚀过程中抵抗化学与物理侵蚀的能力，通常以光刻胶与衬底材料的刻蚀选择比表示。其本质与树脂的化学结构（如芳香环含量、交联密度）密切相关：高抗刻蚀性树脂在刻蚀环境中不易分解，能有效保护衬底图形免受过度刻蚀。在高深宽比结构（如深槽、通孔）制作中，抗刻蚀性不足会导致图形顶部过蚀或底部残留，影响器件结构完整性。对于KrF光刻胶而言，通过优化树脂单体配比（如增加对羟基苯乙烯单元含量）可提升抗刻蚀性，是实现高精度图形转移的重要保障。

六、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

6.1 主要试验（验证）的分析

（一）原料验证：从源头保障产品质量

原料验证聚焦树脂单体、光致产酸剂、溶剂及添加剂的质量稳定性，通过多批次抽检与性能关联分析，建立了原料关键指标与最终产品性能的映射关系。例如，对羟基苯乙烯单体的纯度、金属离子含量与树脂聚合反应活性的关联性验证，明确了单体纯度不足可能导致的分子量分布宽化问题；光致产酸剂的产酸效率验证则通过曝光-显影对比试验，确认了离子型PAG在248nm波长下的感光灵敏度适配性。此外，溶剂的水分含量与树脂溶解性的验证，为溶剂预处理工艺提供了参数优化依据。通过原料验证，确保了上游供应链的质量可控性，降低了因原料波动导致的工艺风险。

（二）工艺验证：全流程工艺参数优化

工艺验证涵盖聚合、纯化、配制及过滤等核心环节，通过正交试验与中试放大验证，确认了工艺参数的合理性与可重复性。在聚合工艺验证中，对比了自由基聚合与连续流聚合的树脂分子量分布差异，验证了连续流聚合在提升批次稳定性上的优势；树脂纯化工艺通过沉淀剂种类、洗涤次数与干燥条件的组合试验，确定了杂质去除效率与树脂性能的平衡关系；配制工艺验证则重点考察了搅拌速率、温度控制对光刻胶均匀性的影响，过滤工艺验证通过不同孔径滤膜的对比试验，明确了过滤精度对颗粒含量控制的关键作用。工艺验证的结果表明，标准推荐的工艺路线可实现规模化生产中的性能一致性。

（三）性能验证：多维度指标协同控制

性能验证通过模拟光刻全流程测试，系统评估了光刻胶的物理性能、化学性能及光刻性能的协同性。物理性能验证中，固体含量与粘度的关联性测试确保了涂布膜厚的可控性；化学性能验证通过金属杂质、颗粒含量与光刻图形缺陷率的相关性分析，明确了纯度控制对良率的影响；光刻性能验证则在模拟半导体产线条件下，测试了灵敏度、分辨率、边缘粗糙度（LER）及抗刻蚀性的综合表现，验证了化学增幅体系在248nm曝光光源下的图形转移能力。性能验证结果显示，标准设定的指标体系可满足先进制程对光刻胶的严苛要求。

（四）应用场景验证：适配特殊工艺需求

针对厚膜光刻胶、高深宽比结构制作等特殊场景，项目开展了工艺适配性验证。厚膜光刻胶验证通过调整树脂含量与流平剂配比，测试了涂布厚度与图形精度的平衡关系；高深宽比结构验证则结合等离子刻蚀工艺，评估了光刻胶的抗刻蚀性与结构保真度。应用场景验证的结果表明，标准推荐的配方与工艺可覆盖半导体制造中的多样化需求，为特殊工艺场景提供了标准化解决方案。

6.2 技术经济论证

（一）技术可行性：成熟度与适配性双重保障

技术成熟度：项目采用的自由基聚合、连续流聚合等工艺已通过中试验证，树脂纯化、高精度过滤等关键技术在国内头部企业实现了工程化应用，技术路线具备可复制性。

工艺兼容性：标准推荐的原料体系与现有半导体产线的涂布、曝光、显影设备兼容，无需大规模产线改造即可实现替代，降低了应用门槛。

产业链配套：国内已形成树脂单体、光致产酸剂、专用溶剂的初步产能布局，部分原料通过工艺优化可满足标准要求的纯度指标，产业链协同能力逐步提升。

知识产权风险：通过专利检索与规避设计，项目核心技术路线未侵犯现有国际专利，同时已申请多项原料纯化、工艺优化相关的自主专利，构建了知识产权保护体系。

（二）经济合理性：成本与收益的长期平衡

成本控制：国产化原料替代进口可显著降低采购成本，连续流聚合等高效工艺缩短了生产周期，规模化生产后单位成本有望低于进口产品。

市场替代潜力：全球KrF光刻胶市场长期被国外企业垄断，国产化产品凭借性价比优势，可逐步实现进口替代，抢占中高端市场份额。

长期收益：作为半导体制造的关键材料，光刻胶的稳定供应可提升下游晶圆厂的良率与产能利用率，间接创造更高的产业价值。

政策支持：符合国家“卡脖子”技术攻关与半导体产业链自主可控的政策导向，可享受研发补贴、税收优惠等政策支持，降低初期投入风险。

6.3 预期的经济效果

（一）直接经济效益：打破垄断，降本增效

市场份额提升：随着标准的推广，国产化KrF光刻胶可逐步替代进口产品，预计在国内市场实现较高的渗透率，直接拉动相关企业营收增长。**成本节约：**国产化产品的价格优势可降低下游晶圆厂的材料采购成本，同时减少因国际供应链波动导致的交货延迟风险，提升产业整体效率。

（二）间接经济效益：产业链协同与技术溢出

产业链协同发展：带动上游原料（树脂单体、光致产酸剂）、设备（微反应器、高精度过滤设备）及下游检测服务等配套产业发展，形成千亿级规模的产业集群。技术溢出效应：项目研发的高纯度原料控制、连续流聚合等技术可横向应用于LCD光刻胶、封装光刻胶等领域，推动整个光刻胶产业技术升级。

（三）产业拉动效应：赋能半导体制造升级

上游材料升级：倒逼国内化工企业提升电子级原料的纯度与稳定性，推动精细化工产业向高端化转型。下游制造升级：光刻胶性能的提升可支持半导体芯片向更高制程、更复杂结构发展，助力国内晶圆厂突破先进制程瓶颈。

（四）战略安全价值：保障产业链自主可控

供应链安全：降低对国外光刻胶产品的依赖，避免因地缘政治冲突导致的断供风险，保障半导体产业链的稳定运行。技术主权：通过标准化建设，掌握光刻胶制备的核心技术话语权，提升我国在全球半导体产业中的战略地位。

七、标准水平分析

7.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

7.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

7.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

7.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十二、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025 年 10 月