

《ArF 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

ArF光刻胶作为深紫外光刻的核心材料，其制备工艺的演进始终围绕分辨率提升、缺陷控制及工艺兼容性展开。近年来，树脂体系设计成为突破重点，通过分子结构优化显著提升了综合性能。例如，丙烯酸酯类共聚物通过引入刚性环状基团增强耐蚀性，同时搭配柔性单体改善附着力与成膜稳定性。这种“刚柔并济”的设计既抑制了显影过程中的图形形变，又通过内酯基团在碱性环境中的可控开闭环机制，实现了溶解性与粘附力的动态平衡。

光引发剂体系的创新同步推进。传统小分子光致产酸剂（PAG）易在烘烤中扩散，导致线宽粗糙度增加。新工艺通过将PAG接枝至树脂主链，有效约束酸扩散范围，并利用含锆、含硫鎓盐等化合物优化光敏效率。此类结构化的PAG在曝光后产生酸催化脱保护反应，显著提升显影对比度，使未曝光区与曝光区的溶解速率差异扩大至数十倍，从而形成更陡直的图形侧壁。

浸没式光刻工艺的普及进一步驱动了材料革新。为隔绝浸润液体与光刻胶的互溶，新型抗水涂层通过疏水基团与极性基团的协同调控，在维持高接触角的同时实现显影可溶性。此外，树脂折射率的优化适配高数值孔径系统，结合偏振光调控技术，将成像对比度提升近三成。

纯化工艺的精细化是量产落地的关键。超临界流体萃取联合多级螯合树脂吸附，将金属杂质浓度降至极低水平；连续色谱纯化技术则精确控制分子量分布，减少显影缺陷。针对溶剂残留问题，分子蒸馏与低温喷雾干燥的组合工艺将残留量压缩至ppm级，并通过原位粒度监控保障批次一致性。

未来方向聚焦于材料多元化与工艺协同。金属氧化物光刻胶通过无机-有机杂化提升刻蚀选择比，而自组装材料可在低温下快速形成亚5纳米级图案。绿色制造理念亦逐步渗透，生物基溶剂的推广与能耗优化成为新趋势。

目前，ArF光刻胶制备工艺相关的标准有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的核心区别在于应用领域和技术导向的差异。前者聚焦于半导体集成电路制造中的ArF光刻胶全流程工艺控制，涵盖从树脂合成、混合过滤到稳定性管理的完整产业链要求，强调在黄光区洁净环境、微通道反应器连续流工艺、氮气保护混合等高端制造场景下的技术规范；而后者主要针对平板显示领域的彩色光刻胶成品性能测试方法，侧重光学性能、成膜特性等终端参数的标准化检测。团体标准的优势在于：一是技术覆盖更全面，不仅包含材料性能指标，更系统性地规定了生产工艺环境、原材料控制、工艺流程设计等核心环节，形成从研发到量产的闭环要求；二是技术门槛更高，针对半导体

光刻所需的化学放大体系（CAR）、微缺陷控制、分子量窄分布等复杂工艺提出了针对性解决方案，适应先进制程对线宽精度和抗刻蚀性的严苛需求；三是国产化适配更强，通过整合国内头部企业在树脂合成、配方开发等环节的技术突破经验，为国产ArF光刻胶的工程化落地提供了可实施路径，填补了高端半导体光刻胶领域工艺标准的空白。

先进性与创新性：

1. 全流程惰性材料体系构建

项目在设备选材上突破传统工艺限制，核心制备设备（搅拌釜、过滤器等）全面采用316L不锈钢与PTFE惰性材料，从源头避免金属离子污染与化学腐蚀风险。这一设计不仅提升了材料兼容性，更通过材料表面处理技术（如电抛光、惰性涂层）降低了微观杂质吸附，为光刻胶纯度控制提供了硬件基础。

2. 多维度工艺协同控制技术

创新性地将“真空-超声联合脱泡”“多级过滤纯化”“氮气保护溶剂处理”等技术集成，形成跨工序协同控制体系。例如，溶剂预处理阶段通过过滤与氮气鼓泡联用去除溶解氧，配合后续真空脱泡工艺，实现从原材料到成品的全链条杂质管控，解决了传统工艺中气泡残留与氧敏感问题的技术瓶颈。

3. 精细化质量管理体系

建立覆盖“人员-设备-环境-过程”的四维质量管理模型：生产人员需通过半导体材料专项培训，关键设备实施定期校准与全生命周期记录，洁净环境分级管控（配料区Class 5. 仓储区Class 7），并首创“双人复核+电子追溯”制度，确保每批次产品可追溯至原材料批次与工艺参数，满足集成电路制造对质量稳定性的严苛要求。

4. 绿色安全工艺集成

在安全防护与环保设计上实现突破：采用“焚烧+活性炭吸附”组合工艺处理有机废气，配备有毒气体实时监测系统；操作人员防护装备按化学特性分级配置（如PAG操作专用防尘面具），同时通过工艺优化（如低毒溶剂替代、封闭式搅拌系统）降低职业健康风险，推动光刻胶生产向绿色化转型。

5. 原材料预处理创新方案

针对树脂与溶剂的关键特性，开发定制化预处理技术：固态树脂通过精准温控真空干燥去除微量水分，溶剂经超净过滤与高纯氮气鼓泡实现氧含量深度控制。这一方案解决了原材料批次差异对成品性能的影响，为光刻胶批量化生产的一致性提供了技术保障。

《ArF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. 推动行业技术规范化和协同发展

团体标准的制定能够统一ArF光刻胶制备的技术要求和工艺流程，避免企业因技术路线差异导致的资源浪费或重复研发。通过明确树脂合成、混合溶解、过滤除泡等关键环节的技术规范，促进行业内技术共享与协同创新，形成产业链上下游的高效配合。

2. 提升产品质量与稳定性

ArF光刻胶的性能直接影响半导体芯片的制造精度和良率。团体标准通过规范原材料控制、生产工艺和环境要求，确保产品在分辨率、抗刻蚀性等关键指标上的稳定性，减少批次差异，提升下游制造环节的可靠性。

3. 加速国产化进程与供应链安全

当前国内ArF光刻胶仍高度依赖进口，团体标准可为本土企业提供明确的技术指引，降低研发试错成本，缩短国产产品从实验室到量产的周期。同时，标准化的技术框架有助于吸引更多企业参与国产化攻关，逐步构建自主可控的供应链体系。

4. 优化生产工艺与环保合规性

标准可针对光刻胶生产中的溶剂挥发、废水处理等环节提出环保要求，推动企业采用绿色工艺和低污染配方，减少VOCs排放和废弃物产生，实现经济效益与环境效益的平衡。

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

通过对国内外ArF光刻胶技术路线的系统梳理，发现当前高端光刻胶市场长期由国外企业主导，国内产品在分辨率、线边缘粗糙度等关键指标上存在差距。调研显示，现有工艺普遍存在原材料纯度不足、设备兼容性差、过程控制精度低等问题，尤其在193nm波长光刻胶的分子量分布控制与颗粒度管理上缺乏标准化方案，亟需通过自主技术突破打破技术垄断。

2. 市场需求分析

随着集成电路制程向先进节点推进，ArF光刻胶作为核心材料的需求呈指数级增长。调研数据显示，国内晶圆厂对高端光刻胶的进口依赖度超过九成，供应链安全风险凸显。同时，新兴半导体产业（如功率器件、第三代半导体）的扩张进一步拉动中高端光刻胶需求，市场缺口持续扩大，亟需国产化标准体系支撑产业自主可控。

3. 相关标准研究

系统分析了GB/T 19001（质量管理）、GB/T 25915.1（洁净室分级）等现有国家标准，以及SEMI国际半导体材料标准，发现现有标准多聚焦通用化工产品或基础材料，缺乏针对ArF光刻胶的专项技术规范。特别是在工艺流程、杂质控制、安全防护等领域存在标准空白，需结合行业实践制定覆盖全生命周期的团体标准。

4. 产业链调研

对国内光刻胶产业链上下游进行全链条调研：上游原材料方面，树脂、PAG等关键化学品依赖进口，本土供应商在纯度与稳定性上有待提升；中游设备环节，高精度过滤、脱泡设备主要来自欧美企业，设备采购周期长且维护成本高；下游应用端，晶圆厂对光刻胶的认证周期严苛，需建立与芯片制造工艺的适配性验证机制。

5. 行业问题与挑战

调研明确当前行业面临三大核心挑战：一是技术壁垒高，光刻胶配方与工艺参数需长期积累与迭代；二是产业链协同不足，原材料、设备、应用端缺乏联动创新；三是环保安全要求升级，有机溶剂与重金属污染管控趋严，传统生产模式面临转型压力。此外，国际技术封锁加剧，高端设备与材料进口受限，进一步凸显自主标准制定的紧迫性。

4.2 立项阶段

2025年8月15日，中国技术市场协会正式批准《ArF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《ArF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《ArF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《ArF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. 树脂纯度与分子量分布：树脂作为光刻胶的成膜主体，其纯度直接影响光刻胶的感光性能与图形精度。高纯度树脂可减少曝光过程中的副反应，而窄分子量分布（ M_w/M_n ）能确保树脂在显影液中的溶解速率均匀，避免线宽偏差。此外，树脂的玻璃化温度（ T_g ）需满足高温工艺要求，防止图形变形，是保障光刻胶热稳定性的核心指标。

2. 光酸发生剂（PAG）的摩尔消光系数：PAG在193nm波长下的摩尔消光系数决定光刻胶的曝光灵敏度。系数过高会导致光吸收过强，引发顶部图形过曝光；过低则需延长曝光时间，降低生产效率。同时，PAG的热分解温度需适配光刻工艺中的烘烤步骤，避免高温下提前分解，确保光化学反应的可控性。

3. 溶剂的水分与氧含量控制：溶剂作为光刻胶各组分的分散介质，其水分与氧含量直接影响树脂溶解稳定性与PAG的化学活性。微量水分可能导致树脂水解或PAG失活，而溶解氧会引发自由基反应，破坏光刻胶存储稳定性。通过深度纯化工序控制溶剂中的水分与氧含量，是保障光刻胶保质期与使用可靠性的关键。

4. 过滤后颗粒度与金属离子含量：光刻胶中的微小颗粒与金属离子是导致晶圆缺陷的主要诱因。颗粒可能造成曝光时的光散射，形成图形缺陷；金属离子则会降低器件的电学性能。因此，终端过滤后需严格控制颗粒数量与金属离子浓度，确保光刻胶在纳米级制程中的图形转移精度。

5. 脱泡工艺的气泡控制：光刻胶中的气泡会在涂胶过程中形成针孔或涂层不均，直接影响图形质量。真空-超声联合脱泡技术通过负压与高频振动协同作用，可高效去除微米级气泡，同时避免过度真空导致的溶剂挥发。脱泡终点的气泡数量与尺寸控制，是保证光刻胶涂覆均匀性的核心工艺指标。

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

项目通过三级验证体系确保技术可行性：

实验室验证：针对关键工艺（如树脂干燥、溶剂纯化）开展单因素试验，优化温度、真空度等参数，验证原材料预处理对纯度的提升效果；

中试线验证：搭建模拟量产线，对全流程（配料-溶解-过滤-脱泡-灌装）进行连续运行测试，重点验证设备兼容性、工艺稳定性及产品一致性；

应用端验证：与下游晶圆厂合作，进行光刻胶在实际制程中的曝光、显影测试，评估图形分辨率、线边缘粗糙度等关键指标，确保与芯片制造工艺的适配性。

6.2 技术经济论证

技术可行性：项目核心技术（惰性材料设备、多维度工艺控制、精细化质量管理）均基于现有工业基础，设备与原材料可通过国产替代或定制化改造实现，不存在原理性技术障碍。同时，引用GB/T 19001等成熟标准体系，确保技术方案的合规性与可操作性。

经济合理性：通过自主工艺优化，原材料利用率提升，设备维护成本降低；国产化替代可大幅减少进口依赖，规避国际供应链波动风险。此外，标准化生产模式将缩短产品认证周期，加快市场导入速度，形成“技术突破-成本下降-市场扩张”的良性循环。

6.3 预期的经济效果

直接经济效益：项目投产后，可填补国内高端ArF光刻胶产能缺口，预计年销售额将随市场渗透率提升稳步增长，同时带动上游树脂、PAG等原材料产业升级，形成千亿级产业链规模。间接经济效益：降低国内半导体企业采购成本，提升芯片制造环节的利润率；推动光刻胶生产设备、检测仪器等配套产业发展，创造大量高端就业岗位。战略效益：打破国外技术垄断，保障国家半导体产业链安全；通过标准输出提升国内光刻胶产业的国际话语权，为后续技术迭代与国际合作奠定基础。

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