

《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》

（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本文件由北京中研博采技术服务有限公司提出，经中国技术市场协会标准化工作委员会批准，正式列入 2025 年团体标准制修订计划，标准名称为《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》。

（二）项目背景

随着半导体产业向高集成度、微纳化方向快速发展，晶圆作为集成电路制造的核心基材，其表面缺陷直接影响芯片良率与可靠性。全自动明场光学晶圆缺陷检测设备作为半导体制造过程中的关键检测装备，广泛应用于硅晶圆及化合物半导体晶圆的生产、封装等环节，市场需求持续攀升。

半导体制造工艺的不断迭代，对检测设备的灵敏度、检测速度及智能化水平提出了更高要求。当前行业内检测设备性能参差不齐，缺乏统一标准规范，导致检测结果一致性差、数据无法互通，制约了产业链协同效率。同时，国际巨头在高端检测设备领域形成技术垄断，国内企业面临技术壁垒与标准制约。制定符合产业发展需求的团体标准，既是破解行业发展瓶颈、规范市场秩序的迫切需要，也是提升国内设备制造企业核心竞争力、推动产业自主可控的重要举措。

（三）目的意义

1. 目的

（1）保障检测质量

通过明确设备的技术要求、试验方法及检验规则，建立统一的质量评价体系，解决当前市场设备检测精度不稳定、重复性差等问题，确保晶圆缺陷检测结果的准确性与可靠性，为半导体制造过程中的质量管控提供保障。

（2）规范行业生产

对设备的研发、生产、检验等环节进行标准化约束，引导企业优化生产流程，提升制造工艺水平，淘汰技术落后、性能不达标的产能，推动行业向标准化、精细化方向发展。

（3）提升市场竞争力

构建与国际接轨的标准体系，助力国内企业突破核心技术瓶颈，满足半导体高端制造领域对检测设备的严苛需求，打破国外企业的市场垄断，推动国产设备在全球市场的份额提升，增强产业国际话语权。

2. 意义

（1）保障产业安全与绿色发展

通过规范设备的安全性能与环保指标，降低检测过程中的安全风险，减少能源消耗与污染物排放，助力半导体产业实现绿色低碳生产，提升产业链供应链的安全性与稳定性。

（2）促进技术创新与产业升级

标准预留技术创新接口，引导企业加大研发投入，推动检测设备向高灵敏度、高速度、智能化方向升级，助力我国在半导体检测装备领域实现技术跨越，支撑下游集成电路产业的创新发展。

（3）推动行业可持续发展

通过标准化整合产业链资源，优化设备研发-生产-应用的生态体系，实现规模效应与降本增效。预计标准实施后，将有效整合行业资源，提升产业整体发展质量，为半导体产业高质量发展提供装备支撑，促进行业长期健康可持续发展。

（四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：昂坤视觉(北京)科技有限公司、浙江昕微电子科技有限公司、北京中研博采技术服务有限公司、北京六只猫创意科技有限公司、北京彬诚科技有限公司等单位。

本文件主要起草人：马铁中、姚政鹏、乐志斌、夏卫彬、杨笛等。

（五）主要起草过程

1. 文本调研

2025 年 3 月启动了文本的调研工作，并于 2025 年 4 月完成了相关资料的收集和分析工作。

2. 标准立项

2025 年 7 月向中国技术市场协会标准化委员会提出申请，于 2025 年 7 月 16 日获得中国技术市场协会标准化工作委员会批准立项。

3. 形成标准草案

2025 年 8 月 4 日，起草组对资料收集情况进行汇总处理，确定了标准框架和主要内容。2025 年 9 月 8 日，《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》形成标准初稿。

4. 形成征求意见稿

2025 年 9 月 9 日~2025 年 9 月 29 日，起草组根据反馈的意

见和建议，对草案内容进行了修改和调整，形成标准征求意见稿。

二、确定标准主要内容的论据

（一）编制原则

本文件按照 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》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

（二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了全自动明场光学晶圆缺陷检测设备技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于硅晶圆及化合物半导体晶圆进行自动化明场光学缺陷检测的设备制造和检验。

（三）确定标准主要内容的论据

1. 强化产业链协同性

晶圆缺陷检测设备的性能直接影响半导体制造各环节的质量管控效率，检测数据的一致性与互通性是实现“设备-晶圆-芯片”全链条质量追溯的关键。通过标准化设备的技术参数、数据格式及接口要求，可打通产业链各环节的信息壁垒，提升协同研发与生产效率，保障半导体制造流程的稳定性。

2. 适配产业技术升级

针对半导体工艺微纳化、制造智能化的发展趋势，标准对设备的检测性能、自动化程度及智能分析功能等方面的规定，既满足当前量产线的检测需求，又为未来更高精度、更高速度的检测技术预留了发展空间。同时，标准涵盖不同规格晶圆的检测要求，适配多样化应用场景，引导行业向多功能、复合型检测设备方向

发展，助力产业技术升级。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

（一）主要试验[或验证]情况分析

为保障标准的科学性、严谨性与可落地性，在标准编制阶段，起草组联合半导体设备检测机构、晶圆生产企业，选取不同型号的全自动明场光学晶圆缺陷检测设备（覆盖国产主流品牌及进口入门机型），严格遵循 GB/T 43493、GB 4793.1 等国家标准开展全项目试验验证，累计完成试验项目 186 项，获取有效数据 680 余组，具体验证结果如下：

1. 基础性能指标验证

外观与电气安全：对 8 台设备进行外观目视检查及电气安全测试，所有设备均满足表面无划痕锈蚀、接地电阻 $\leq 4\ \Omega$ 、绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ 的要求，耐压测试无击穿、闪络现象，合格率 100%，验证了基础安全指标的通用性与必要性。

晶圆尺寸兼容性：使用 4 英寸、6 英寸、8 英寸、12 英寸标准晶圆各 5 片进行自动化上下料及检测测试，测试设备均能精准识别晶圆尺寸并完成全流程检测，单晶圆平均上下料耗时 $\leq 30\text{s}$ ，证明设备可适配半导体行业主流晶圆规格。

2. 核心性能指标验证

检测灵敏度：将 150nm、200nm、250nm 标准缺陷颗粒粘附于空白晶圆表面，测试结果显示，8 台设备对 200nm 及以上颗粒识别率均 $\geq 99.2\%$ ，最高达 99.8%；150nm 颗粒识别率均 $\leq 4.5\%$ ，无设备出现过度识别或漏检情况，各设备灵敏度数据离散度 $\leq 2\%$ ，

验证了 $\leq 200\text{nm}$ 灵敏度指标的区分度与合理性。

检测速度：选取 12 英寸标准缺陷晶圆 10 片进行连续检测，8 台设备平均检测速度为 56 片/小时，最快达 62 片/小时，最慢为 51 片/小时，均满足 ≥ 50 片/小时的指标要求，且检测过程中数据存储无卡顿，验证了设备的高效性。

重复性误差：在晶圆表面标记 10 个固定坐标缺陷点，每点连续检测 10 次，8 台设备的最大坐标差值均 $\leq 0.8\ \mu\text{m}$ ，最低仅 $0.3\ \mu\text{m}$ ，远低于 $\leq 1\ \mu\text{m}$ 的指标限值，数据离散度 $\leq 5\%$ ，证明设备定位精度可满足晶圆高精度检测需求。

3. 智能性能指标验证

缺陷分类准确率：使用含 100 个已知类型缺陷（颗粒、划痕、凹坑等）的标准晶圆进行测试，8 台设备平均分类准确率为 97.3%，国产高端机型最高达 98.5%，进口机型为 96.8%，均超过 $\geq 95\%$ 的指标要求，且对边缘破损类缺陷识别准确率达 99%以上，验证了智能分类功能的实用性。

自动化流程稳定性：模拟产线连续作业场景，对设备进行 100 次自动上料-检测-下料循环测试，8 台设备平均故障停机次数 ≤ 1 次，循环流畅度 $\geq 99\%$ ，且均能自动生成缺陷趋势报表，满足产线自动化作业需求。

（二）技术经济论证

1. 产业链层面

标准实施将推动上游光学元器件、精密运动平台、AI 算法模块等供应商提升产品一致性与性能指标。据调研，符合本标准的设备所需高分辨率 CMOS 传感器与精密导轨成本较通用型号高

约 18%，但规模化采购后预计成本可降低 12%。中游设备制造商通过标准化接口与模块化设计，可缩短新产品开发周期 30%，降低适配不同晶圆厂的定制成本约 25%。下游晶圆厂因设备检测效率提升（单台日检量增加 200 片以上）和漏检率下降（从 3%降至 0.8%），每万片晶圆可减少返工损失约 18 万元。

2. 企业层面

制造商为达到本标准要求，需在光学系统、运动控制及 AI 识别算法方面加大研发投入，预计研发强度将从当前营收占比 4.5% 提升至 6.5%。但高精度设备溢价能力显著：符合全部一级指标的设备售价可提高 20%~35%，且客户验收周期缩短 40%。以年产 100 台设备的中型企业为例，标准实施后年新增营收可达 3000~4000 万元，投资回收期约 1.8 年。

3. 社会经济层面

标准推广有助于提升国产半导体检测设备的市场占有率。当前国内 12 英寸产线缺陷检测设备进口依赖度超 70%，本标准实施后有望在 3 年内将国产化率提升至 40% 以上，年节省外汇支出超 5 亿美元。同时，因检测准确率提升，预计可减少因缺陷漏检导致的芯片良率损失约 0.5 个百分点，按全国年产能 800 万片 12 英寸晶圆测算，年增产值约 12 亿元。

（三）预期经济效果

制定和实施《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》标准后，预计将对行业产生显著的经济效益与社会效益：

1. 提升产业效率与降低生产成本

标准实施后，检测设备平均吞吐量提升至 50 片/小时以上，

预计可使国内主流晶圆厂的单线检测成本降低 18%~22%。按国内现有 12 英寸晶圆产能每月 130 万片测算，全年可节约检测成本约 15~18 亿元。同时，设备标准化将缩短安装调试周期约 40%，加速产能爬坡。

2. 增强关键装备自主化与市场竞争力

目前国内高端明场检测设备市场占有率不足 30%，本标准通过规范技术门槛，推动国产设备性能提升。预计标准实施三年后，国产设备市场占有率有望提升至 45%以上，年替代进口设备规模可达 12 亿元，降低行业对国外技术的依赖。

3. 促进半导体产业良率提升与质量优化

凭借高灵敏度与智能分类功能，达标设备可帮助晶圆厂更早识别工艺缺陷，提升整体良率 0.5%~1%。以 12 英寸逻辑芯片产线为例，良率每提升 1%，对应产值增加约 8000 万元/月。全国推广后，预计年均可增产业价值 20~30 亿元。

4. 推动行业规范化与资源优化

标准实施将淘汰约 20%技术落后、性能不稳定的低端产能，促进行业资源向技术领先企业集中。预计五年内行业将从目前的 42%提升至 60%以上，有利于形成健康、高效的产业链生态。

四、采用国际标准和国内外先进标准的程度

本文件不涉及国际国外标准的采标情况。

五、重大分歧意见处理经过及依据

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性

与现行相关法律、法规及相关标准相协调。

七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、其他应予说明的事项

无。

《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》

团体标准工作组

2025 年 12 月 9 日