

《晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范》

团体标准（报批稿）编制说明

1 项目背景

随着半导体工艺制程不断微缩，晶圆级芯片晶粒（Die）表面的微观缺陷已成为影响芯片良率与可靠性的关键因素。自动光学检测（AOI）技术以其高效、非接触、可重复等优势，被广泛应用于晶粒缺陷的在线检测，在半导体封装测试领域有着重要的地位。

根据市场研究数据，2023年全球半导体检测设备市场规模已达到约85亿美元，预计2030年将超过120亿美元，年复合增长率约为5.5%至6.0%。其中，自动光学检测（AOI）设备作为晶圆缺陷检测的核心装备，市场需求持续增长。根据QYResearch发布的报告，2022年全球晶圆AOI设备市场规模约为18亿美元，预计2029年将达到32亿美元。中国作为全球最大的半导体消费市场，随着芯片国产化进程加速，国内晶圆制造和封装测试企业对AOI检测设备及配套检测规范的需求日益迫切。

晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测是一种通过高分辨率光学成像和图像处理算法，对晶圆表面各材料层（金属层、焊垫、护层、Polyimide层、凸块等）的微观缺陷进行自动识别与分类的检测技术，具有高速、高精度、非接触等特性。伴随国内半导体产业的持续发展，晶粒缺陷AOI检测技术必将给芯片制造和封测产业带来重要支撑，为整个产业链带来可观的效益。

目前，晶粒缺陷AOI检测面临以下突出问题：

检测标准不统一：行业内缺乏统一的晶粒缺陷检测规范，不同企业、不同产线的检测方法、缺陷判定准则差异较大，导致检测结果可比性差，影响产业链上下游的协同效率。

缺陷分类不规范：晶粒缺陷种类繁多、涉及多个材料层，缺乏统一的缺陷分类体系，影响缺陷数据的跨平台共享与质量分析。

AOI设备检出能力参差不齐：不同厂商、不同型号AOI设备的检测灵敏度、分类准确率差异较大，缺乏统一的评价指标与验收依据。

国产替代需求迫切：传统人工目检效率低、准确性差，难以满足大规模量产需求。随着AI技术的引入，AOI系统正向智能化方向发展，亟需建立与之匹配的技术规范。

故在国内针对晶粒缺陷AOI检测技术进行对应研究，研制具有较高可靠性和可重复性的检测方法，帮助检测人员更好地组织和管理检测工作，提高检测效率和效果，在实现国产替代、技术先进性、经济性、商业竞争力等维度都有其重要性和必要性。浙江机电职业技术大学联合省内外集成电路上下游企业、研究所院校共同编制《晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范》团体标准。

2 项目来源

本项目根据浙江省半导体行业协会浙半协〔2026〕XX号文件《浙江省半导体行业协会关于〈晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范〉团体标准立项的通知》，由浙江机电职业技术大学、杭州朗迅科技股份有限公司、西安电子科技大学杭州研究院、上欧科技（湖州）有限公司、浙江大学、杭州芯云半导体集团有限公司、杭州芯云海半导体有限公司、芯云半导体（诸暨）有限公司、杭州芯光半导体有限公司等主导起草，项目周期为4个月。

3 标准制定工作概况

3.1 标准制定相关单位及人员

3.1.1 本标准起草单位：浙江机电职业技术大学、杭州朗迅科技股份有限公司、西安电子科技大学杭州研究院、上欧科技（湖州）有限公司、浙江大学、杭州芯云半导体集团有限公司、杭州芯云海半导体有限公司、芯云半导体（诸暨）有限公司、杭州芯光半导体有限公司等。

3.1.2 本标准起草人为：卓婧、徐振、郑晓峰、林千皓、陈冰、龚海、周纯江、丁勇、李其朋、李志凯等。

3.2 主要工作过程

3.2.1 前期准备工作

- ◆ 标准提案：5月底召开的工作组会议，决定编制《晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范》的协会团体标准，为争取浙江省地方标准奠定基础。
- ◆ 召开启动、研讨会：7月15日，以线上线下结合的方式召开第一次研讨会，标准起草单位的相关负责同志参加此次会议，初步确定标准名称、标准框架、起草单位，表明本标准编制工作正式启动。
- ◆ 标准立项：8月份协会下达了标准立项文件。
- ◆ 组建工作组：组建了协会和主要企业相关负责人参加的标准编写工作组，明确了编制任务，拟定了编制工作计划。

3.2.2 标准草案研制

- ◆ 收集国内相关标准：收集到GB/T 30868—2023《半导体硅片表面缺陷检测方法》、GB/T 43315—2023《硅片流动图形缺陷的检测 腐蚀法》、GB/T 43493.1—2023《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》、GB/T 25915.1—2021《洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级》、GB/T 14264《半导体材料术语》、

T/CIE 144—2022《半导体器件可靠性强化试验方法》等标准及其编制说明，并参考了国内在研团体标准《高精度暗场扫描式晶圆缺陷检测设备》《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》草案，为编制该标准取得了重要依据和参考。

- ◆ 开展企业调研：到杭州芯云半导体集团有限公司、杭州芯光半导体有限公司、芯云半导体（诸暨）有限公司、上欧科技（湖州）有限公司等地进行了实地调研，然后设计了相关调研表，向省内集成电路制造、封装测试企业了解晶粒缺陷 AOI 检测的关键参数和实际检测需求。
- ◆ 咨询行业研究专家：与西安电子科技大学杭州研究院、浙江大学专家进行了连线，就有关问题进行了交流、请教，取得了一些有益的意见。
- ◆ 编写标准草案及其编制说明：根据标准编制原则，经反复研究，确定了标准主要内容，编制了标准草案及其编制说明。

3.2.3 标准研讨会

2026 年 7 月 15 日，召开了标准启动会暨研讨会。会上，编制组向与会专家作了标准的编制说明，汇报了标准编制的进展。与会专家和代表对标准的测试范围和方法细节行了研讨，提出了具体的修改意见，并提出四大问题：

1. 进一步明确本标准适用的晶圆类型和工艺阶段，确定是否涵盖碳化硅等第三代半导体晶圆。
2. 检测环境条件中的温度、湿度控制范围是否需要进一步细化，以适配不同季节、不同地区的实际生产条件。
3. 缺陷分类体系中 43 类缺陷的划分依据及完整性，是否需要根据不同产品类型进行动态调整。
4. 标准中涉及的相关术语，需与半导体材料通用术语标准的要求

保持一致。

会后，标准工作组与生产企业进行了深入的沟通，取得了更加详细的实际能耗数据，结合专家和代表的意见对标准草案进行了修改完善，特别是对能耗限额各等级作了放宽处理，最终形成标准征求意见稿及其编制说明。

3.2.4 征求意见

8月X日开始，向X个相关单位和个人发送电子版标准征求意见稿进行征求意见。同时在省半导体行业协会官网上广泛征求意见。近一个月内共回收收到X家单位和个人回复，其中X条显示无意见，X条反馈意见，经标准工作组经逐条分析研究，对该条意见部分采纳（详见标准征求意见稿汇总表）。标准工作组对标准文本和编制说明再次进行修改完善，形成了标准送审稿。

3.2.5 专家评审

X月X日，省半导体行业协会组织专家在杭州召开标准评审会。标准工作组介绍了标准编制说明；专家组对标准送审稿及编制说明进行质询、讨论。专家组一致同意通过该标准的评审，并形成了《浙江省半导体行业协会团体标准〈晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范〉评审意见》。

3.2.6 标准报批

标准工作组按照专家评审意见，对标准送审稿及其编制说明进行了修改，形成了标准报批稿及其编制说明，报浙江省半导体行业协会批准发布。

4 标准编制原则、主要内容确定依据

4.1 编制原则

4.1.1 协调性原则

本标准作为晶粒缺陷AOI检测的技术规范，其内容应符合国家现行的方针、政策、法律、法规，同时还应与行业发展技术水平相协调，以促进行业技术升级。

4.1.2 适用性原则

技术要求指标的确定，不仅要考虑科学性、先进性，还要考虑适用性，满足使用要求，确保可操作性。

4.1.3 规范性原则

本标准在编制过程中严格按照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》、GB/T 30868—2023《半导体硅片表面缺陷检测方法》和GB/T 43493.1—2023《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》等规定的基本原则和要求进行编写。。

4.2 主要内容确定依据

标准主要内容包括晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测的范围、规范性引用文件、术语和定义、总体要求（环境要求、静电防护、安全要求、检测系统与设备、图像质量评价）、检测流程与方法（检测前准备、宏观检验、微观检验、判定标准）、检验规则、结果记录与报告等。

4.2.1 范围

根据标准主要内容和适用对象确定范围。明确了本标准适用于基于 AOI 的晶圆级芯片晶粒缺陷检测，适用对象为已完成主要前道工艺、待进行划片或测试的集成电路晶圆（包括但不限于硅晶圆、碳化硅晶圆等），晶圆规格涵盖 4 英寸、6 英寸、8 英寸、12 英寸。

4.2.2 规范性引用文件

根据实际所引用的规范性文件按规定要求排列。主要包括：GB/T 2828.1—2012《计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）

检索的逐批检验抽样计划》、GB/T 30868—2023《半导体硅片表面缺陷检测方法》、GB/T 43315—2023《硅片流动图形缺陷的检测 腐蚀法》、GB/T 43493.1—2023《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》、GB/T 25915.1—2021《洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级》、GB/T 14264《半导体材料术语》、IEC 61340-5-1《静电放电防护》、SEMI M1-0323《抛光单晶硅片规范》、SEMI M40-1123《硅片表面质量规范》、IPC-9712《Requirements for Automated Inspection Process Control for IC Substrates》、T/CIE 144—2022《半导体器件可靠性强化试验方法》等。

4.2.3 术语和定义

为了便于使用者对标准的理解和使用，对标准中涉及的核心术语进行了定义，包括“晶粒”“晶圆”“缺陷”“宏观检验”“微观检验”“自动光学检测”“感兴趣区域”“图像质量评价”“检测灵敏度”“缺陷分类准确率”等。

参照 GB/T 14264《半导体材料术语》和 GB/T 43493.1—2023《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》，在晶粒缺陷 AOI 检测标准中涉及的相关部分术语方面，与半导体材料通用术语的要求保持一致，主要涉及以下相关部分：

- ◆ 晶粒：构成晶圆上每一个独立功能电路的最小单元，是在晶圆制造工艺完成后，通过切割工艺从晶圆上分离出的单个裸露芯片。
- ◆ 缺陷：结晶中断或晶片表面上能观察到的损伤、残留尘埃和其他不完整性。
- ◆ 检测灵敏度：AOI系统能够稳定识别的最小缺陷尺寸。

- ◆ 缺陷分类准确率：AOI系统对检测到的缺陷进行正确分类的比例。

4.2.4 测环境与安全要求

根据半导体行业洁净厂房的一般控制标准，以及实际 AOI 检测产线的运行参数，确定了检测环境的温度、湿度、洁净度要求。环境温度控制在 $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度控制在 $50\% \pm 10\%\text{RH}$ ，洁净度符合 ISO 14644-1 Class 1000（或更优）的要求。

静电防护（ESD）要求参考 IEC 61340-5-1《静电放电防护》的规定，结合实际产线 ESD 防护实践，确定了摩擦电压 $\leq 100\text{V}$ 、接地阻抗 $1 \times 10^4 \Omega \leq R < 1 \times 10^9 \Omega$ 的具体指标。

4.2.5 检测系统与设备

4.2.5.1 宏观检测设备

宏观检测设备（光学显微镜 OM）的技术要求，参考了行业内晶圆宏观检验的通用配置，包括明场和暗场照明模式、5 倍至 100 倍的放大倍数范围、可调节晶圆载台支持 4 英寸至 12 英寸晶圆的全片扫描。

4.2.5.2 微观检测设备

微观检测设备（自动光学检测 AOI）的基本功能要求、检出能力要求、光源与成像要求、运行流程要求，参考了起草单位 AOI 设备的实际运行参数，并结合了国内在研团体标准《高精度暗场扫描式晶圆缺陷检测设备》《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》中的验证数据。主要技术指标包括：

- ◆ 明场AOI对 $\geq 200\text{nm}$ 缺陷颗粒识别率 $\geq 99\%$ ；
- ◆ 暗场AOI对 $\geq 80\text{nm}$ 缺陷可稳定识别；
- ◆ 缺陷分类准确率 $\geq 95\%$ ；
- ◆ 设备重复性误差 $\leq 1 \mu\text{m}$ （坐标偏差）。

AOI 设备的运行流程（建立 Wafer 模型→建立晶粒模型→建立产品光源参数→机台抓取物料→Wafer 精确定位→扫描物料），依据起草单位 AOI 设备的实际操作流程制定。

4.2.6 缺陷检测项目

标准第 6.3.1 条列出了 43 类晶粒缺陷，按缺陷所在材料层划分为：金属层缺陷（10 类）、焊垫与凸块缺陷（11 类）、护层与介电层缺陷（9 类）、Polyimide 层缺陷（7 类）、芯片级缺陷（3 类）、凸块缺陷（3 类）。该分类体系依据以下来源确定：

- ◆ 向省内集成电路制造、封装测试企业调研收集的客户规范缺陷清单；
- ◆ 集成电路缺陷分类的通用框架；
- ◆ GB/T 43493.1—2023 中的缺陷分类思路。

4.2.7 检测方法

AOI 微观检验的八步流程（晶圆预对准→建立坐标系与标准模型→ROI 设定→图像采集与比对→缺陷预筛选→缺陷尺寸卡控→缺陷分类→人工复检），基于起草单位 AOI 设备的实际检测流程制定。其中缺陷预筛选部分详细说明了基于灰阶对比度阈值的亮坏品和暗坏品判定逻辑，以及 Delta 阈值与检测松紧度的关系。

4.2.8 判定标准

致命缺陷的六类判定（金属线路桥接、钝化层破裂、芯片崩缺、凸块桥接、焊垫开窗不足导致无法打线、针测孔洞导致焊垫结构破坏），参考了 MIL-STD-883 Method 2010《微电路芯片内部目检规范》中关于拒绝接收准则的分类思路，同时结合了行业实际的不良品判定实践。

缺陷判定优先级的设定（客户规范 > 行业标准 > 内部规范），体现了对客户需求的尊重，同时与 SEMI M40 等标准的分类与限值保持衔接。

5 标准先进性体现

当前查阅到的国内半导体检测类相关标准，包含GB/T 30868—2023《半导体硅片表面缺陷检测方法》、GB/T 43315—2023《硅片流动图形缺陷的检测 腐蚀法》、GB/T 43493.1—2023《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》等，主要针对硅片表面缺陷检测方法、流动图形缺陷的腐蚀法检测、碳化硅外延片缺陷分类等方面做出了规定与要求，但在晶圆级芯片晶粒（Die）的微观缺陷AOI检测方法、检测流程、缺陷分类体系及判定标准等方面并未提出明确要求。

在AOI设备方面，国内在研团体标准《高精度暗场扫描式晶圆缺陷检测设备》《全自动明场光学晶圆缺陷检测设备》聚焦于设备本身的技术要求和性能指标，而本标准侧重于晶粒缺陷AOI检测的方法规范、流程要求和判定准则，两者形成互补关系。

本标准针对这一细分空缺领域，进行了相应的补全和细化：

- ◆ 统一的缺陷分类体系：首次将晶粒缺陷按6大材料层系统划分为43类，为行业提供了统一的缺陷分类框架。
- ◆ 明确的检测流程规范：将AOI检测流程细化为八个标准步骤，使检测过程具有可操作性和可重复性。
- ◆ 量化的检出能力指标：规定了检测灵敏度、分类准确率、重复性误差等量化指标，为设备验收和工艺控制提供了明确依据。
- ◆ 完善的判定准则：区分致命缺陷与非致命缺陷，建立优先级判定规则，使缺陷判定具有明确依据。
- ◆ 使该类晶粒缺陷检测在实施中能得到全面且量化的测量结果，确保了检测的先进性和准确性。

6 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

6.1 目前未查阅到同类晶粒缺陷AOI检测的国内标准。

6.2 本标准与相关法律、法规、规章、强制性标准无冲突。

6.3 本标准引用了以下标准：

GB/T 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 30868—2023 半导体硅片表面缺陷检测方法

GB/T 43315—2023 硅片流动图形缺陷的检测 腐蚀法

GB/T 43493.1—2023 半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据

GB/T 25915.1—2021 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

GB/T 14264 半导体材料术语

IEC 61340-5-1 静电放电防护

SEMI M1-0323 抛光单晶硅片规范

SEMI M40-1123 硅片表面质量规范

IPC-9712 Requirements for Automated Inspection Process Control for IC Substrates

T/CIE 144—2022 半导体器件可靠性强化试验方法

7 社会效益

随着半导体工艺制程不断微缩，晶圆级芯片晶粒表面的微观缺陷已成为影响芯片良率与可靠性的关键因素。自动光学检测（AOI）技术以其高效、非接触、可重复等优势，被广泛应用于晶粒缺陷的在线检测，在半导体封装测试领域有着重要的地位。伴随国内半导体产业

的持续发展，晶粒缺陷 AOI 检测技术无疑蕴含着重要的产业价值，将为整个产业链带来非常可观的效益。

通过本标准的制定，一是为晶粒缺陷 AOI 检测在半导体制造和封装环节提供了标准化的技术参考方案，更好地推动检测工作的规范化开展。二是通过对晶粒缺陷检测流程与方法所做的明确规定，为相关企业的工程验证及量产检测活动的开展提供了有力的技术支撑。三是提升了晶粒缺陷检测的一致性和可靠性，降低漏检和误判风险，整体提高芯片产品的商用品质，提升其与国外同类产品争夺市场时的核心竞争力。四是与国内在研的 AOI 设备标准形成互补，共同构建完整的 AOI 检测标准体系。

综上所述，本标准的制定在经济性、商业竞争力等维度都有其重要性和必要性，可以实现较好的社会经济效果。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

9 废止现行相关标准的建议

无。

10 提出标准强制实施或推荐实施的建议和理由

本标准 of 浙江省半导体行业协会团体标准，为推荐性标准，建议在协会会员中推广使用。经协会同意，也可供其他企业使用。

11 贯彻标准的要求和措施建议

标准文本在浙江省半导体协会官方网站上全文公布，供社会免费查阅。协会适时组织开展标准的宣贯工作。

12 其他应予说明的事项

本标准中引用的“国内在研标准验证数据”（明场 AOI 对 $\geq 200\text{nm}$ 颗粒识别率 $\geq 99.2\%$ 、暗场 AOI 对 $\geq 80\text{nm}$ 缺陷可稳定识别、缺陷分类准确率 $\geq 95\%$ ），来源于国内相关在研团体标准征求意见稿中的验证数据。待相关标准正式发布后，将根据实际情况更新引用。

本标准第 6.3.1 条所列的 43 类缺陷清单，为“应至少覆盖”的基础清单。实际应用中，可根据具体产品类型和客户要求进行扩展。

《晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范》

标准编制工作组

2026 年 8 月 X 日