

T/ZJBDT

团 体 标 准

T/ZJBDT 0XX—2026

晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范

Technical Specification for Automatic Optical Inspection of Die Defects

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

浙江省半导体行业协会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 参数测试	5

前 言

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江省半导体行业协会提出并归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：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。

晶圆级芯片晶粒缺陷自动光学检测技术规范

1 范围

本文件规定了基于自动光学检测（AOI）的晶圆级芯片晶粒缺陷检测的技术要求、检测流程、缺陷分类、判定方法、检验规则及结果报告。

本文件适用于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）的晶粒级缺陷检测。

本文件适用于 4 英寸、6 英寸、8 英寸、12 英寸规格晶圆的 AOI 检测。

2 规范化文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

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 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 第 1 部分：缺陷分类

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—2024 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

3 术语和定义

3.1 晶粒 Die

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。

3.2 晶圆 Wafer

由高纯度半导体材料（如单晶硅、碳化硅等）切割而成的薄圆片，作为在其表面同步构建数百至数千个相同电路（晶粒）的平台。

3.3 缺陷 Defect

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。

注：缺陷可分为全局缺陷（如划痕、掩模对准偏差、过刻蚀/欠刻蚀）和局部缺陷（如颗粒、化学污渍、设备颗粒等）。局部缺陷通常呈现聚集分布，其空间模式可反映缺陷产生机制。

3.4 宏观检验 Macro-inspection

采用低于50倍放大倍率的光学成像系统或目视方式，对晶圆表面进行的全域性快速缺陷筛查方法。

3.5 微观检验 Micro-inspection

采用高分辨率光学技术（如AOI），对晶圆表面进行微米级至亚微米级精度的缺陷检测方法。

3.6 自动光学检测 Automated Optical Inspection; AOI

基于机器视觉技术的自动化光学检测方法，通过高分辨率摄像头和专门的图像处理软件，对被测对象进行快速、非接触式的视觉质量控制。

注：AOI系统整合光学照明配置、电控系统、机械机构以及检测软件，可执行瑕疵检测、尺寸测量和定位贴合等任务。

3.7 感兴趣区域 Region of Interest; ROI

从图像中选定的、需重点关注的局部图像区域，是图像分析所聚焦的范围。

3.8 图像质量评价 Image Quality Assessment; IQA

对图像质量进行量化评估的技术方法，用于衡量图像在采集、传输、压缩或处理过程中所呈现的保真度与可用性。

3.9 检测灵敏度 Detection Sensitivity

AOI系统能够稳定识别的最小缺陷尺寸。

注：根据国内在研标准验证数据，明场AOI设备对200nm及以上颗粒识别率 $\geq 99.2\%$ ，暗场AOI设备对80nm及以上缺陷可稳定识别。

3.10 缺陷分类准确率 Defect Classification Accuracy

AOI系统对检测到的缺陷进行正确分类的比例。

注：根据在研标准验证数据，AOI系统缺陷分类准确率不低于95%。

4 总体要求

4.1 环境要求

- 检测环境温度应控制在 $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 范围内，相对湿度应控制在 $50\% \pm 10\% \text{RH}$ 范围内。
- 检测环境洁净度应符合ISO 14644-1 Class 1000（或更优）的要求。
- 检测环境应避免阳光直射、气流扰动及振动源，确保设备运行稳定性。

4.2 静电防护（ESD）

- 所有接触晶圆的操作人员应佩戴防静电腕带，摩擦电压应 $\leq 100\text{V}$ 。
- 防静电腕带、工作台面及设备的接地阻抗应满足： $1 \times 10^4 \Omega \leq R < 1 \times 10^9 \Omega$ 。
- 工作台面应铺设防静电台垫，所有工具、夹具、设备均需可靠接地。
- ESD防护要求应符合IEC 61340-5-1的规定。

4.3 安全要求

- a) 检测区域内应配备化学品（如异丙醇、丙酮等）的安全使用规程及应急处理措施。
- b) AOI设备应具备安全互锁装置，在防护门开启时自动停止运动部件运行。

5 检测系统与设备

5.1 宏观检测设备（光学显微镜 OM）

- a) 光学显微镜应具备明场和暗场照明模式。
- b) 放大倍数应覆盖5倍至100倍范围。
- c) 设备应配备可调节的晶圆载台，支持4英寸至12英寸晶圆的全片扫描。

5.2 微观检测设备（自动光学检测 AOI）

5.2.1 基本功能要求

AOI设备应具备以下基本功能：

- a) 晶圆自动上料、对准与扫描；
- b) 与标准晶粒（Golden Die）图像进行自动比对；
- c) 缺陷自动检测、分类与标记；
- d) 检测数据自动存储与导出。

5.2.2 检出能力要求

- a) AOI设备应能识别材料层表面及内部各类微观缺陷。
- b) 检测灵敏度应符合以下要求：明场AOI：对 $\geq 200\text{nm}$ 缺陷颗粒的识别率应 $\geq 99\%$ ；暗场AOI：对 $\geq 80\text{nm}$ 缺陷的识别率应稳定可靠。
- c) 缺陷分类准确率应 $\geq 95\%$ 。
- d) 设备重复性误差应 $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$ （坐标偏差）。

5.2.3 光源与成像要求

- a) AOI设备应配备可编程的多角度、多波长光源配置，以凸显不同材料层和缺陷类型的图像特征。
- b) 图像采集分辨率应满足最小检测缺陷尺寸的要求。

5.2.4 运行流程要求

AOI设备的运行流程应包括以下核心步骤：

- a) 建立Wafer模型：导入晶圆规格参数及参考对准标记；
- b) 建立晶粒（Die）模型：定义晶粒尺寸、排列方式及ROI区域；
- c) 建立产品光源参数：根据不同产品类型设定最优照明方案；
- d) 机台抓取物料：自动上料与晶圆传输；
- e) Wafer精确定位：通过对准标记实现亚微米级定位；
- f) 扫描物料：逐晶粒扫描、图像采集与缺陷检测。

5.3 图像质量评价（IQA）

- a) AOI系统应具备图像质量自动评价功能，对采集图像的清晰度、对比度和均匀性进行实时评估。
- b) 当图像质量不满足检测要求时，系统应能通过反馈调节机制自动优化成像参数（如光源强度、聚焦位置、曝光时间等）。

6 检测流程与方法

6.1 检测前准备

- a) 设备校准：检测前应对AOI设备进行校准，使用标准校准晶圆验证设备灵敏度、重复性和分类准确率。
- b) 标准晶粒（Golden Die）建立：选取无缺陷晶粒建立标准图像模型，作为缺陷判定的参考基准。
- c) 晶圆清洁：检测前应对晶圆表面进行清洁，去除可能干扰检测的颗粒污染物。

6.2 宏观检验

6.2.1 检验范围：对整片晶圆进行快速全域扫描。

6.2.2 正面检验项目

序号	检验项目	判定标准
1	表面颜色均匀性	与标准晶圆对比，无明显色差
2	薄膜完整性	无肉眼可见的薄膜剥落、起泡
3	光刻图案一致性	图案无明显变形、模糊

6.2.3 背面检验项目

序号	检验项目	判定标准
1	裂纹	无径向裂纹、弧形裂纹或边缘裂纹
2	崩边	边缘崩缺尺寸不超过晶圆直径的0.5%
3	孔洞	表面无贯穿性孔洞
4	划痕	无贯穿性深划痕
5	变色	背面颜色均匀，无明显变色区域

6.3 微观检验（AOI 检测）

6.3.1 缺陷检测项目

依据客户规范，AOI微观检验应至少覆盖以下43类缺陷。按缺陷所在材料层分类如下：

6.3.1.1 金属层缺陷

序号	缺陷名称	描述
1	金属层腐蚀（Corrosion）	金属层受化学腐蚀导致材料损失
2	电弧放电（Arcing）	金属层电击穿痕迹
3	焊垫腐蚀（Pad Corrosion）	焊垫区域的晶体缺陷导致的腐蚀
4	金属线路受损（Trace Damage）	金属线路上的孔洞或破洞
5	金属层变色（Discoloration）	金属层颜色异常变化
6	金属层附着度不佳（Poor Adherence）	金属层与下层附着力不足
7	金属线路桥接（Metal Bridge）	相邻金属线路异常连接
8	接触窗/通孔异常（Contact/Via Abnormal）	接触窗或通孔结构缺陷
9	金属残留（Metal Residue）	非预期区域的金属残留
10	金属线局部消失（Missing Portion）	金属线部分缺失

6.3.1.2 焊垫与凸块缺陷

序号	缺陷名称	描述
11	焊垫/RDL变色	焊垫或重布线层颜色异常
12	钝化物残留（Passivation Residue）	护层钝化物残留在焊垫上
13	焊垫对准不良（Misalignment）	焊垫位置偏移
14	焊垫开窗不足（Insufficient Opening）	焊垫窗口尺寸不足
15	焊垫外物污染（Contamination）	焊垫区域异物污染

序号	缺陷名称	描述
16	无针痕（Missing Probing）	测试后焊垫无针印
17	针印偏移（Probe Mark Shift）	针印超出焊垫边框
18	针痕数目异常	悬臂针卡针痕≥8个为异常
19	针测孔洞（Probe Void）	焊垫上针测孔洞
20	焊垫刮伤（Scratch on Pad）	焊垫表面机械划伤
21	焊垫损伤（Bond Pad Damage）	焊垫结构损伤

6.3.1.3 护层与介电层缺陷（Passivation & Dielectric）

序号	缺陷名称	描述
22	破裂（Crack）	护层与介电层裂纹
23	附着不良（Poor Adherence）	护层与介电层间附着力不足
24	破洞（Breakage）	护层与介电层贯穿性破洞
25	刮伤（Scratch）	护层与介电层表面划伤
26	空洞（Hole）	护层与介电层内空洞
27	接合面保护不完全（Insufficient Junction Protection）	接合面保护层缺陷
28	变色（Discolor）	护层与介电层颜色异常
29	微粒（Particle）	护层与介电层上附着的颗粒
30	污染（Contamination）	护层与介电层化学污染

6.3.1.4 Polyimide层缺陷

序号	缺陷名称	描述
31	开窗尺寸异常（Opening Dimension Abnormal）	Polyimide开窗尺寸偏差
32	残留（Residue）	Polyimide残留在焊垫上
33	微粒（Particle）	Polyimide层上或内部的颗粒
34	污染（Contamination）	Polyimide层化学污染
35	刮伤（Scratch）	Polyimide层机械划伤
36	破洞（Damage）	Polyimide层贯穿性损伤
37	脱层（Peeling）	Polyimide层剥离

6.3.1.5 芯片级缺陷

序号	缺陷名称	描述
38	芯片侧面崩缺（Chip Sidewall Crack）	芯片边缘崩裂
39	钝化层破损（Passivation Breakage）	钝化层结构损伤
40	残胶（Tape Residue）	切割或贴膜后残胶

6.3.1.6 凸块（Bump）缺陷

序号	缺陷名称	描述
41	凸块刮伤（Bump Scratch）	凸块表面机械划伤
42	凸块外物污染（Bump Foreign Contamination）	凸块区域异物污染
43	不规则凸块/异常（Irregular/Solder Abnormality）	凸块形状或成分异常

注：以上缺陷分类参考了集成电路缺陷分类的通用框架，依据缺陷所在材料层进行系统划分。

6.3.2 检测方法

AOI微观检验应按以下流程执行：

步骤一：晶圆预对准

- 通过晶圆缺口（Notch）或平边（Flat）进行机械预对准。

步骤二：建立坐标系与标准模型

- 导入Wafer模型和Die模型，建立晶圆级坐标系；

- 选取标准晶粒（Golden Die）图像作为比对基准。

步骤三：ROI设定

- 根据产品类型，在晶粒上定义关键检测区域（如键合垫、划片道、凸块区域等）；
- 不同ROI区域可设定不同的检测灵敏度。

步骤四：图像采集与比对

- AOI系统逐晶粒扫描，采集高分辨率图像；
- 将实际图像与标准Die图像逐像素比对，识别灰度差异（Contrast Delta）。

步骤五：缺陷预筛选（Contrast-based Pre-screening）

- 基于灰阶对比度阈值进行缺陷预筛选：
 - 亮坏品：实际灰阶 > 标准灰阶 + Bright Delta 阈值；
 - 暗坏品：实际灰阶 < 标准灰阶 - Dark Delta 阈值；
- 参数设定规则：Delta 阈值越大，检测越宽松（漏检风险增加）；阈值越小，检测越严格（误报风险增加）。

步骤六：缺陷尺寸卡控

- 对预筛选出的候选区域，进一步依据**面积（Area）、宽度（Width）、长度（Length）**进行尺寸判定；
- 仅尺寸超过设定阈值的区域标记为缺陷。

步骤七：缺陷分类

- 基于缺陷的形态、位置、灰度特征，自动分类至上述缺陷类别。

步骤八：人工复检

- 对系统标记的缺陷进行人工确认，避免误判。

6.4 判定标准

6.4.1 致命缺陷（Fatal Defect）

以下缺陷判定为致命缺陷，任一晶粒存在即判定为不合格：

- 金属线路桥接（Metal Bridge）；
- 钝化层破裂（Crack on Passivation）；
- 芯片崩缺（Chip Sidewall Crack）；
- 凸块桥接（Bump Bridge）；
- 焊垫开窗不足（Insufficient Opening）导致无法打线；
- 针测孔洞（Probe Void）导致焊垫结构破坏。

6.4.2 非致命缺陷（Non-fatal Defect）

非致命缺陷按以下标准判定：

- 尺寸超过客户规范阈值的缺陷——判定为不合格；
- 位于非关键区域（如划片道内）且尺寸未超标的缺陷——可接受；
- 位于关键区域（如键合垫、凸块表面）的任何缺陷——均需记录并评估。

6.4.3 缺陷判定优先级

优先级	判定依据	说明
高	客户规范	客户明确的缺陷允收/拒收标准优先执行
中	行业标准	参考SEMI M40等标准中的分类与限值

优先级	判定依据	说明
低	内部规范	企业自定的内部质量控制标准

7 检验规则

7.1 抽样规则

- 量产品圆的AOI检测应采用全检方式，每片晶圆的全部晶粒均需接受微观检验。
- 特殊情形下，可依据GB/T 2828.1—2012采用抽样检验方案，但需征得客户同意。

7.2 合格判定

- 单颗晶粒上存在任一致命缺陷，该晶粒判定为不合格。
- 单颗晶粒上非致命缺陷数量或尺寸超出客户规范阈值，该晶粒判定为不合格。
- 单片晶圆上不合格晶粒数量超过客户允收质量限（AQL），整片晶圆判定为不合格。

7.3 复检与仲裁

- 对AOI检测结果存在争议时，应采用更高分辨率的检测手段（如扫描电子显微镜SEM）进行复检。
- 复检结果作为最终仲裁依据。

8 结果记录与报告

8.1 记录内容

检测记录应包括以下信息：

- 晶圆批次号与晶圆编号；
- 检测设备ID与设备校准状态；
- 检测环境参数（温度、湿度）；
- 检测人员与检测日期；
- 检测结果：缺陷类型、缺陷位置坐标、缺陷尺寸、缺陷图像。

8.2 报告格式

检测报告应包括：

- 晶圆缺陷分布图（Wafer Map）：标示所有缺陷晶粒的位置及缺陷类型；
- 缺陷统计表：按缺陷类型统计数量及占比；
- 良率统计：合格晶粒数与总晶粒数的比例。