

# T/ZJBDT

团 体 标 准

T/ZJBDT XXXXXX

## 集成电路芯片多图案晶粒小微缺陷测试方 法

Test Method for Micro-Defects in Multi-Pattern Dies of Integrated Circuit Chip

2026 - 0X - X发布

2026- 0X - X实施

浙江省半导体行业协会 发布

## 目 次

1 范围 .....	1
2 规范化文件 .....	1
3 术语、定义和缩略语 .....	1
4 总体要求 .....	1
5 测试方法 .....	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：西安电子科技大学杭州研究院，杭州朗迅科技股份有限公司，上欧科技（湖州）有限公司。

本文件主要起草人：陈冰，张洪瑞，徐振，龚海，熊凯，李志凯。

# 集成电路芯片多图案晶粒小微缺陷测试方法

## 1 范围

本文件描述了集成电路芯片多图案晶粒中小微缺陷的测试设备、测试条件、测试方法、数据处理及结果输出要求。

本文件适用于采用高分辨显微成像系统结合人工智能图像识别算法，对集成电路芯片生产过程中晶粒表面小微缺陷进行种类检测与定位。

## 2 规范化文件

本文件无规范性引用文件。

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

**多图案晶粒：**晶圆级尚未分割和封装的包含多种结构图案芯片

**小微缺陷：**在显微成像条件下可观察到、尺寸通常小于100  $\mu\text{m}$ 、可能影响芯片可靠性或外观质量的微小异常，主要类型包括变色、护层异常、脏污、针偏。

**变色：**芯片表面局部颜色异常

**护层异常：**钝化层破损、起泡或厚度异常

**脏污：**异物颗粒或污染物

**针偏：**探针接触位置偏移或压痕异常

**Ultralytics YOLO框架：**基于 Python 的目标检测深度学习框架

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

**YOLO：**You Only Look Once，目标检测算法名称，一眼看完整张图。

## 4 总体要求

### 4.1 环境要求

测试环境条件如下：

- a) 环境温度：20℃~26℃；
- b) 相对湿度：20%~70%；
- c) 洁净度：不低于 ISO 7 级
- d) 测试区域内无影响仪器正常工作的气流、震动、与电磁干扰。

### 4.2 测试系统：

#### 4.2.1 系统组成

测试系统应由多光源混合照明显微成像系统、工业相机采集系统、XY扫描运动平台、Z轴主动自动对焦系统、上位机软件系统和缺陷识别与结果输出模块组成。

测试系统应能够完成待测晶圆或芯片晶粒区域的自动扫描、主动对焦、图像采集、图像预处理、缺陷识别、缺陷分类、缺陷坐标定位和检测结果输出。

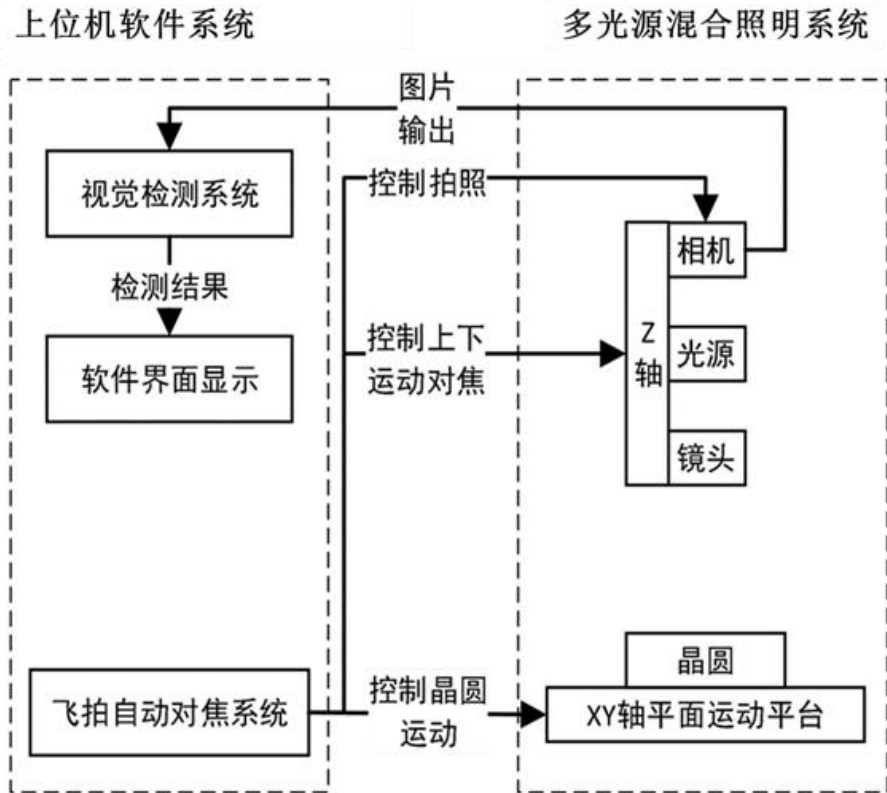


图1 测试系统框架图

#### 4.2.2 多光源混合照明显微成像系统

多光源混合照明显微成像系统应满足表1要求。系统应根据晶粒表面图案、材料反射特性和缺陷类型，选择合适的照明组合，并应能够保存和调用不同缺陷检测任务对应的光源参数。

表1 多光源混合照明显微成像系统要求

项目	技术要求
成像方式	应支持明场成像；宜支持同轴光、暗场光、低角度斜射光、环形光、偏振光等多种照明方式中的不少于三种。
光源控制	应支持多通道独立开关和亮度控制；各通道光强应可独立调节，并可与相机曝光和平台运动联动。
光强调节范围	0%~100%连续或分级可调。
光源稳定性	连续工作30 min内，光强波动应不大于±3%。
光谱范围	可见光范围宜覆盖400 nm~700 nm；根据缺陷类型可扩展至近紫外或近红外照明。
成像分辨率	物方成像分辨率应优于2 μm；采用标准分辨率板或等效标定样片验证时，应能够分辨不大于2 μm的特征。
物方像元尺寸	应不大于1.0 μm/pixel；高精度检测场景宜不大于0.5 μm/pixel。
放大倍率	应支持5×~20×范围内的显微成像；可根据晶粒尺寸和缺陷尺寸选择固定倍率或多倍率切换。
单幅视场范围	应覆盖单个待检晶粒的局部检测区域；宜不小于1.0 mm×0.7 mm。
成像均匀性	经平场校正后，视场内亮度不均匀性应不大于±10%。
图像畸变	成像视场内几何畸变应不大于1%。

对于变色、脏污等表面灰度或颜色异常缺陷，宜采用明场、同轴光和多角度斜射光组合；对于护层异常、划伤、异物颗粒、针偏压痕等形貌类缺陷，宜增加暗场光、低角度斜射光或偏振光成像通道。

#### 4.2.3 工业相机采集系统

工业相机应满足表2要求。相机应与光源控制、运动平台控制和图像采集软件实现同步，保证扫描过程中的图像清晰度、曝光一致性和数据完整性。

表2 工业相机要求

项目	技术要求
相机类型	可采用面阵相机、线阵相机或TDI线扫相机。
有效像素	面阵相机有效像素应不低于500万像素；线阵或TDI相机线宽应不低于4096 pixels。
灰度位深	应不低于8 bit；宜不低于10 bit或12 bit。
动态范围	应不低于60 dB。
帧率/线频	应满足自动扫描检测节拍要求；面阵相机帧率宜不低于20 fps。
曝光控制	应支持曝光时间、增益、白平衡或灰度响应参数设置。
触发方式	应支持软件触发；宜支持硬件触发和外部同步触发。
图像格式	应支持bmp、png、jpg、jpeg、tiff中的不少于三种格式；宜支持无压缩原始图像格式。
数据接口	宜采用USB3.0、GigE、Camera Link、CoaXPress等工业相机接口。
图像编号	图像应按晶圆编号、晶粒编号、扫描位置、照明通道和采集时间进行编号或关联存储。

对于变色类缺陷检测，系统宜采用彩色相机、多光谱相机或多通道灰度成像方式，并应具备颜色或灰度响应一致性校正功能。

#### 4.2.4 XY 扫描运动平台

XY扫描运动平台应满足表3要求。平台应能够按照晶圆、芯片或晶粒排布方式生成扫描路径，并支持点位扫描、行列扫描、蛇形扫描或用户自定义扫描路径。

表3 XY 扫描运动平台要求

项目	技术要求
运动轴	应至少包括X轴和Y轴二维平面运动；宜支持 $\theta$ 向旋转校正。
有效行程	应满足待测晶圆、芯片或样品载台的检测范围要求。
扫描速度	应支持不低于180 mm/s的XY平面扫描速度，并应在该速度条件下支持主动自动对焦和图像采集。
最小运动步距	应不大于1 $\mu\text{m}$ 。
定位精度	应不大于 $\pm 5 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景宜不大于 $\pm 3 \mu\text{m}$ 。
重复定位精度	应不大于 $\pm 2 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景宜不大于 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。
运动控制方式	应支持扫描区域、扫描步距、重叠率、起始点、终止点、扫描方向和运动速度设置。
运动稳定性	平台运动和停止过程不应造成影响缺陷识别的图像拖影、振动或失焦。
坐标反馈	应能够将平台坐标与图像坐标关联，用于缺陷位置换算。

#### 4.2.5 Z 轴主动自动对焦系统

Z轴主动自动对焦系统应满足表4要求。系统应在高速扫描和不同晶粒表面高度变化条件下，保持图像处于可识别焦面范围内。

表4 Z 轴主动自动对焦系统要求

项目	技术要求
Z轴运动方式	应支持电动Z轴控制，并可与XY扫描运动平台联动。
主动对焦能力	应在XY扫描速度不低于180 mm/s条件下实现主动自动对焦或焦面补偿。
最小Z向步距	应不大于1 $\mu\text{m}$ 。
自动对焦重复性	应不大于 $\pm 2 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景宜不大于 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。
对焦方式	应支持基于图像清晰度评价函数的自动对焦；宜支持激光测距、结构光、共焦位移检测或其他辅助主动对焦方式。

项目	技术要求
对焦区域	应支持全图对焦、局部ROI对焦或多点对焦。
对焦策略	应支持每个晶粒对焦、每个视场对焦、按高度图补偿对焦或连续主动对焦。
异常处理	自动对焦失败时，系统应给出报警信息，并记录对应晶粒编号、平台坐标和图像编号。

#### 4.2.6 上位机软件系统

上位机软件系统应至少具备以下功能：

- a) 控制相机完成图像采集；
- b) 控制多通道光源的开关、亮度、照明模式和通道切换；
- c) 控制Z轴完成主动自动对焦或焦面补偿；
- d) 控制XY运动平台完成自动扫描；
- e) 接收、显示、存储和管理原始图像数据；
- f) 完成图像预处理，包括去噪、平场校正、亮度归一化、畸变校正、图像裁切和图像拼接；
- g) 调用人工智能模型进行缺陷检测、缺陷分类和置信度计算；
- h) 将缺陷图像坐标转换为晶粒坐标或晶圆坐标；
- i) 显示检测结果，包括缺陷类别、缺陷位置、缺陷尺寸、置信度和缺陷标注图；
- j) 输出检测结果文件和检测报告；
- k) 保存检测参数、模型版本、设备参数、标定记录和操作记录。

软件系统应支持加载YOLO类目标检测框架或等效人工智能识别框架训练得到的模型文件。采用Ultralytics YOLO框架时，软件系统应支持加载.pt格式模型权重文件；宜支持onnx等通用模型格式。

#### 4.2.7 缺陷识别与分类模块

缺陷识别与分类模块应能够识别并输出下列缺陷类型：变色、护层异常、脏污、针偏，以及其他由供需双方或测试任务约定的缺陷类型。

缺陷识别结果应至少包括缺陷类别、缺陷置信度、缺陷外接矩形框或分割区域、缺陷中心坐标、缺陷尺寸、缺陷所在晶粒编号或检测区域编号、原始图像编号和照明通道信息。缺陷置信度宜采用0~1或0%~100%的数值表示，检测报告中应明确缺陷判定阈值。

#### 4.2.8 坐标定位与标定

测试系统应具备图像坐标、平台坐标和晶粒/晶圆坐标之间的转换功能。坐标定位与标定应满足表5要求。

表5 坐标定位与标定要求

项目	技术要求
坐标系	应定义图像坐标系、平台坐标系和晶粒/晶圆坐标系。
坐标单位	缺陷位置坐标应以 $\mu\text{m}$ 或 $\text{mm}$ 为单位输出。
坐标原点	应明确坐标原点位置，可采用晶粒左上角、晶粒中心、晶圆中心或用户指定基准点。
像素标定	应采用标准刻线尺、标定板或等效方法进行像素尺寸标定。
平台标定	应对XY运动方向、步距、垂直度和重复定位误差进行标定。
坐标定位误差	缺陷坐标定位误差应不大于 $\pm 10 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景宜不大于 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。
标定记录	应记录标定日期、标定人员、标定工具、标定结果和软件版本。

#### 4.2.9 输出要求

测试系统应能够输出结构化检测数据和可视化检测结果。检测结果文件应至少包括样品编号、晶圆编号或芯片编号、晶粒编号、检测时间、检测设备编号、检测参数、图像编号、缺陷类别、缺陷坐标、缺陷尺寸、缺陷置信度、缺陷标注图路径或文件名和检测结论。

检测结果文件格式应支持csv、xlsx、json、xml中的至少一种；可视化报告宜支持pdf、html或图片格式输出。

#### 4.2.10 测试系统基本技术指标

测试系统在完成安装、调试和标定后，应满足表6规定的基本技术指标。

表 6 测试系统基本技术指标

序号	指标项	技术要求	说明
1	主动对焦扫描速度	XY平面运动速度不低于180 mm/s条件下，应实现主动自动对焦或焦面补偿。	用于评价高速扫描状态下的对焦保持能力。
2	成像分辨率	物方成像分辨率应优于2 μm。	采用标准分辨率板、标定样片或经确认的标准缺陷样品验证。
3	有效成像效率	应不低于400 mm <sup>2</sup> /s。	有效成像效率按有效检测面积与完成该面积图像采集所用时间之比计算。
4	最小统计缺陷尺寸	应覆盖2 μm及以上缺陷。	小于2 μm的缺陷可作为扩展能力，不纳入本指标统计。
5	缺陷坐标定位误差	应不大于±10 μm；高精度检测场景宜不大于±5 μm。	以标定样片或人工复核结果为基准。
6	图像输出与报告	应输出缺陷类别、坐标、尺寸、置信度、缺陷标注图和统计汇总。	支持csv、xlsx、json、xml中的至少一种结构化格式。

#### 4.2.11 指标计算方法

有效成像效率按公式（1）计算：

$$\eta = A / t$$

式中：η为有效成像效率，单位为mm<sup>2</sup>/s；A为完成图像采集并纳入缺陷识别的有效检测面积，单位为mm<sup>2</sup>；t为完成该面积检测所用时间，单位为s。t宜包括扫描运动、主动对焦、曝光采集和必要的稳定时间；是否包括算法离线推理时间应在测试记录中说明。

### 5 测试方法

测试方法包括验证数据采集、验证数据筛选与整理、验证数据标注、检测策略选择、检测前预处理、方法验证、待测数据采集、缺陷自动识别与分类、测试结果汇总与输出等步骤。

测试前应先采集验证数据，对检测方法参数进行校准，确认测试方法有效可行后，再开展待测数据采集与缺陷检测。

#### 5.1 验证数据采集

采集待测晶圆或芯片表面图像，图像应覆盖正常样本和典型缺陷样本。缺陷样本类别至少应包括变色、护层异常、脏污、针偏等，必要时可根据产品工艺特点和缺陷形貌扩展缺陷类别。

采集图像应覆盖不同批次、不同图案区域、不同缺陷程度和不同成像条件下的样本，以保证验证数据具有代表性。采集完成后，建立图像数据编号，并记录对应的晶粒编号、批次信息、采集设备、采集时间和成像参数等信息。

#### 5.2 验证数据筛选与整理

对采集图像进行筛选，剔除严重失焦、曝光异常、图像缺失、重复图像以及无法判定类别的样本。筛选后的图像应按照正常、变色、护层异常、脏污、针偏等类别进行分类整理。

对于存在多种缺陷的样本，根据实际检测需求标注为主要缺陷类别或复合缺陷类别。对于类别无法确认的样本，应单独归入疑似样本，不宜直接用于方法验证。

#### 5.3 验证数据标注

对整理后的图像进行缺陷类别标注。采用图像分类方法时，标注图像级缺陷类别；采用目标检测方法时，标注缺陷类别及缺陷区域矩形框。

标注结果保持类别名称、标注格式和标注规则的一致性。对于边界不清晰、缺陷形貌不典型或存在争议的样本，宜经人工复核后确定标注结果。

#### 5.4 检测策略选择

根据缺陷判断任务选择检测策略。仅需判断晶粒是否存在缺陷或判断缺陷类别时，采用图像分类方法；需要同时输出缺陷类别和缺陷位置时，采用目标检测方法。

#### 5.5 检测前预处理

对图像进行预处理，包括尺寸统一、格式转换、亮度校正、对比度校正、归一化等操作。预处理方法和参数应在验证数据和待测数据中保持一致。

当图像存在噪声、亮度不均、背景差异或局部模糊等情况时，根据实际需要采用去噪、增强、背景校正、图像裁剪或图像拼接等处理方法。预处理过程不应改变缺陷的真实形貌和位置关系。

#### 5.6 方法验证

采用验证数据对检测方法进行验证。采用图像分类方法时，统计总体准确率、各类缺陷准确率、精确率、召回率、F1值和混淆矩阵等指标。采用目标检测方法时，统计缺陷类别、检测框位置、置信度、交并比和平均精度均值等指标。

方法验证完成后，确定正式测试所采用的检测策略、算法参数、判定阈值和预处理参数。对于不满足测试要求的检测方法，重新调整参数后再次验证。

#### 5.7 待测数据采集

启动高分辨显微成像系统，对待测晶圆或芯片进行全视场自动扫描。系统按预设路径完成逐点或逐区域扫描，并自动完成对焦、曝光与图像采集。

采集完成后，生成原始图像数据并进行编号存储。图像编号能够与晶圆编号、芯片编号、晶粒位置、采集时间和成像参数等信息对应。

#### 5.8 缺陷自动识别与分类

根据缺陷判断任务选择缺陷检测策略，对待测图像进行识别与检测。检测过程中使用与方法验证阶段一致的图像预处理方法、参数和判定阈值。

采用图像分类方法时，输出缺陷类别和置信度。采用目标检测方法时，输出缺陷类别、缺陷位置和置信度。

当检测结果置信度低于设定阈值，或缺陷类别无法明确判定时，输出为疑似缺陷，并转入人工复核流程。

#### 5.9 测试结果自动汇总与输出

测试完成后，自动汇总并输出缺陷判断结果。输出内容应包括图像编号、晶粒编号、晶粒位置、缺陷类别、置信度、缺陷位置、判定时间和测试结论等信息。

测试结果以表格、图像标注结果和统计报告等形式保存。对于目标检测结果，保留缺陷位置的可视化结果，便于后续复核、追溯和质量分析。

#### 5.10 技术指标要求

系统应满足以下基本指标：

最小可检测缺陷尺寸： $\leq 2\ \mu\text{m}$

检测准确率： $\geq 99.9\%$

误检率： $\leq 5\%$

坐标定位误差： $\leq 1\ \mu\text{m}$