

T/ZJBDT

团 体 标 准

T/ZJBDT 012—2026

集成电路晶圆/晶粒小微缺陷测试方法

Test Method for Micro-Defect Detection of Integrated Circuit Wafers/Die

2026 - 08 - 24 发布

2026 - 08 - 24 实施

浙江省半导体行业协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 基本要求 3

5 测试方法 5

附录 A（资料性） 测试系统技术要求 7

附录 B（规范性） 缺陷识别、分类与坐标定位要求 9

附录 C（规范性） 测试结果与检验报告要求 10

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。

本文件由浙江省半导体行业协会提出。

本文件由浙江省半导体行业协会归口。

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，浙江大学，上欧科技（湖州）有限公司，杭州中科亿芯微电子科技有限公司，浙江力积存储科技股份有限公司，浙江大学金华研究院。

本文件主要起草人：陈冰，丁勇，张洪瑞，徐振，龚海，薛川，于晓，熊凯，李志凯，王宏宇，何越，韩根全。

集成电路晶圆/晶粒小微缺陷测试方法

1 范围

本文件描述集成电路晶圆与晶粒中小微缺陷的测试系统、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,对集成电路生产过程中晶圆与晶粒表面小微缺陷进行种类检测与定位。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小微缺陷

在显微成像条件下可观察到、尺寸通常小于100 μm 、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。

3.2

变色

芯片表面局部颜色异常。

3.3

护层异常

钝化层破损、起泡或厚度异常。

3.4

脏污

异物颗粒或污染物。

3.5

针偏

探针接触位置偏移或压痕异常。

4 基本要求

4.1 测试环境要求

- a) 环境温度: $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: (45~75)%;
- c) 测试环境洁净度应不低于 GB/T 25915.1 规定的 ISO 7 级要求;
- 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 测试系统组成

测试系统框架如图1所示，测试系统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。

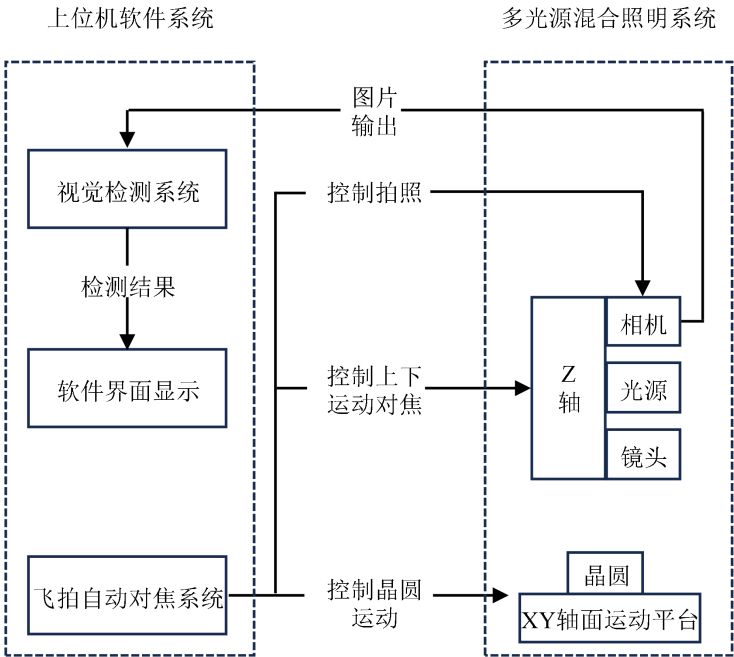


图 1 测试系统框架图

4.2.2 测试系统功能

测试系统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。

4.2.3 测试系统基本技术指标

测试系统基本技术指标如表1所示。测试系统各个组成部分技术要求参照附录A。

表 1 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，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	不低于200 mm²/s（运动速度100 mm/s条件下）	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	覆盖5 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	不大于±10 μm；高精度检测场景不大于±5 μm	以标定样片或人工复核结果为基准
6	检测准确率	不低于 99.0%	反映系统对正常样本和各类缺陷样本进行整体识别和分类的正确程度
7	误检率	不高于5%	反映系统将正常晶粒错误判定为缺陷晶粒的比例
8	综合漏检率	综合漏检率低于0.5%	反映系统将缺陷样本错误判定为正常样本的总体比例
9	图像输出与报告	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

5 测试方法

5.1 测试方法包括新搭建测试系统功能验证性测试与数据测试。系统完成一次功能验证并确认运行状态满足要求后，应支持连续开展数据处理任务，保证任务执行的稳定性和一致性，不应要求针对每次数据处理任务重复进行功能验证。

5.2 新搭建测试系统功能验证性测试

5.2.1 采集测试样本

采集晶圆或晶粒表面图像，图像覆盖正常样本和典型缺陷样本。缺陷样本类别包括变色、护层异常、脏污、针偏等，必要时可根据产品特点 and 缺陷形貌扩展缺陷类别。

采集图像覆盖不同批次、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。

5.2.2 筛选与整理数据

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，单独归入疑似样本，不直接用于方法验证。

5.2.3 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，标注图片路径、图片格式、图片尺寸、缺陷类型；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，经人工复核后确定标注结果。

5.2.4 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。

5.2.5 功能验证

对新搭建系统功能进行性能验证，统计检测准确率、误检率、综合漏检率，结果满足表1规定指标后，功能验证通过，确定后续测试所采用的检测策略、判定阈值。对于不满足表1规定指标的测试系统，重新调整判定阈值后再次验证。

5.3 数据测试

5.3.1 采集数据

启动高分辨显微成像系统，对待测晶圆或晶粒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。

5.3.2 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5.2.6功能验证阶段一致的检测策略和判定阈值。

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。

5.3.3 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。

附录 A
(资料性附录)
测试系统技术要求

A.1 说明

本附录给出测试系统的各个组成部分技术要求，可为测试系统的研发、部署和应用提供参考。

A.2 技术要求

A.2.1 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参照表A.1。系统根据晶粒表面图案、材料反射特性和缺陷类型，选择合适的照明组合，并能够保存和调用不同缺陷检测任务对应的光源参数。对于变色、脏污等表面灰度或颜色异常缺陷，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，增加暗场光、低角度斜射光或偏振光成像通道。

表 A.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	支持明场成像；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	支持多通道独立开关和亮度控制；各通道光强可独立调节，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，光强波动不大于±3%
光谱范围	可见光范围覆盖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	物方成像分辨率优于2 μm；采用标准分辨率板或等效标定样片验证时，能够分辨不大于2 μm的特征
物方像元尺寸	不大于1.0 μm/pixel；高精度检测场景不大于0.5 μm/pixel
放大倍率	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	覆盖单个待检晶粒的局部检测区域；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不大于±10%
图像畸变	成像视场内几何畸变不大于1%

A.2.2 工业相机采集系统

工业相机采集系统参照表A.2要求。相机与光源控制、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。对于变色类缺陷检测，系统采用彩色相机、多光谱相机或多通道灰度成像方式，并具备颜色或灰度响应一致性校正功能。

表 A.2 工业相机采集系统要求

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	面阵相机有效像素不低于500万像素；线阵或TDI相机线宽不低于4096 pixels
灰度位深	不低于8 bit；不低于10 bit或12 bit
动态范围	不低于60 dB
帧率/线频	满足自动扫描检测节拍要求；面阵相机帧率不低于20 fps
曝光控制	支持曝光时间、增益、白平衡或灰度响应参数设置
触发方式	支持软件触发；支持硬件触发和外部同步触发
图像格式	支持bmp、png、jpg、jpeg、tiff中的不少于三种格式；支持无压缩原始图像格式
数据接口	采用USB3.0、GigE、Camera Link、CoaXPress等工业相机接口
图像编号	图像按晶圆编号、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

A.2.3 XY扫描运动平台

XY扫描运动平台参照表A.3要求。平台能够按照晶圆、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 A.3 XY 扫描运动平台要求

项目	技术要求
运动轴	至少包括X轴和Y轴二维平面运动；支持 θ 向旋转校正
有效行程	满足待测晶圆、芯片或样品载台的检测范围要求
扫描速度	支持不低于180 mm/s的XY平面扫描速度，并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	不大于1 μm
定位精度	不大于 $\pm 5 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景不大于 $\pm 3 \mu\text{m}$
重复定位精度	不大于 $\pm 2 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景不大于 $\pm 1 \mu\text{m}$
运动控制方式	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允许造成影响缺陷识别的图像拖影、振动或失焦
坐标反馈	能够将平台坐标与图像坐标关联，用于缺陷位置换算

A.2.4 Z轴主动自动对焦系统

Z轴主动自动对焦系统参照表A.4要求。系统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 A.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	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	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	不大于1 μm
自动对焦重复性	不大于 $\pm 2 \mu\text{m}$ ；高精度检测场景不大于 $\pm 1 \mu\text{m}$
对焦方式	支持基于图像清晰度评价函数的自动对焦；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
对焦区域	支持全图对焦、局部ROI对焦或多点对焦
对焦策略	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，系统给出报警信息，并记录对应晶粒编号、平台坐标和图像编号

A.2.5 上位机软件系统

上位机软件系统具备以下功能：

- 控制相机完成图像采集；
- 控制多通道光源的开关、亮度、照明模式和通道切换；
- 控制 Z 轴完成主动自动对焦或焦面补偿；
- 控制 XY 运动平台完成自动扫描；
- 接收、显示、存储和管理原始图像数据；
- 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；
- 调用人工智能模型进行缺陷检测、缺陷分类和置信度计算；
- 将缺陷图像坐标转换为晶粒坐标或晶圆坐标；
- 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；
- 输出检测结果文件和检测报告；
- 保存检测参数、模型版本、设备参数、标定记录和操作记录。

附 录 B
(规范性附录)
缺陷识别、分类与坐标定位要求

B.1 缺陷识别与分类模块

缺陷识别与分类模块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。

缺陷识别结果包括缺陷类别、缺陷置信度、缺陷外接矩形框、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。缺陷置信度采用0~1或0%~100%的数值表示，检测报告中明确缺陷判定阈值。

B.2 坐标定位与标定

测试系统具备图像坐标、平台坐标和晶粒/晶圆坐标之间的转换功能。坐标定位与标定满足表B.1要求。

表 B.1 坐标定位与标定要求

项目	技术要求
坐标系	定义图像坐标系、平台坐标系和晶粒/晶圆坐标系
坐标单位	缺陷位置坐标以μm或mm为单位输出
坐标原点	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	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	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	缺陷坐标定位误差不大于±10 μm；高精度检测场景不大于±5 μm
标定记录	记录标定日期、标定人员、标定工具、标定结果和软件版本

附录 C

(规范性附录)

测试结果与检验报告要求

C.1 输出要求

测试系统能够输出结构化检测数据和可视化检测结果。

检测结果文件包括以下内容：

- a) 样品编号；
- b) 晶圆编号或芯片编号、晶粒编号；
- c) 检测时间；
- d) 检测设备编号；
- e) 检测参数；
- f) 图像编号；
- g) 缺陷类别；
- h) 缺陷坐标；
- i) 缺陷尺寸；
- j) 缺陷置信度；
- k) 缺陷标注图路径或文件名和检测结论。

检测结果文件格式支持csv、xlsx、json、xml中的至少一种，可视化报告支持pdf、html或图片格式输出。

C.2 指标计算方法

C.2.1 有效成像效率

有效成像效率按公式（C.1）计算：

$$\eta = A/t \quad \text{.....(C.1)}$$

式中： η 为有效成像效率，单位为 mm^2/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^2 ；t为完成该面积检测所用时间，单位为s。t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在测试记录中说明。

C.2.2 缺陷漏检率

各类缺陷漏检率是指实际属于某一缺陷类别，被测试系统判定为无缺陷的样本数量占该类实际缺陷样本总数的比例，按式（C.2）计算：

$$R_{\text{miss},i} = \frac{N_{i \rightarrow \text{defect}}}{N_i} \times 100\% \quad \text{.....(C.2)}$$

其中， $R_{\text{miss},i}$ 表示第i类缺陷的漏检率， $N_{i \rightarrow \text{defect}}$ 表示实际属于第i类缺陷，但被测试系统判定为无缺陷的样本数量； N_i 表示第i类缺陷样本总数。

综合漏检率是指所有实际缺陷样本中，被测试系统判定为无缺陷的样本数量占实际缺陷样本总数的比例，按式（C.3）计算：

$$R_{\text{miss}} = \frac{\sum_i^K N_{i \rightarrow \text{defect}}}{\sum_i^K N_i} \times 100\% \quad \text{.....(C.3)}$$

C.2.3 检测准确率

检测准确率是指测试系统正确判定的样本数量占全部样本数量的比例，按式（C.4）计算：

$$R_{\text{acc}} = \frac{N_{\text{correct}}}{N_{\text{total}}} \times 100\% \quad \text{.....(C.4)}$$

其中： R_{acc} 表示检测准确率， N_{correct} 表示正确判定的样本数量，包括正确判定的正常样本数量和正确识别缺陷类别的缺陷样本数量， N_{total} 表示参与测试的样本总数。

C.2.4 误检率

误检率是指实际无缺陷的正常样本被测试系统错误判定为缺陷样本的数量占实际正常样本总数的比例，按式（C.5）计算：

$$R_{\text{false}} = \frac{N_{\text{normal} \rightarrow \text{defect}}}{N_{\text{normal}}} \times 100\% \cdots \cdots (C.5)$$

其中， R_{false} 表示误检率， $N_{\text{normal} \rightarrow \text{defect}}$ 表示实际为正常，但被测试系统判定为任一缺陷类别的样本数量， N_{normal} 表示正常样本总数。

C.3 检验报告

C.3.1 检测对象

检测对象包括新搭建测试系统和待检测数据。

- a) 新搭建测试设备：开展功能验证性测试，验证测试设备的检测功能及性能指标，确定后续数据测试采用的检测策略和判定阈值；
- b) 待检测数据：用于开展数据测试，在测试设备完成功能验证并确定检测策略和判定阈值后进行检测。

C.3.2 新搭建测试系统功能验证性测试

C.3.2.1 采集测试样本

按照5.2.1规定的方法采集测试样本数据，测试样本覆盖正常样本和典型缺陷样本，缺陷类别包括变色、护层异常、脏污、针偏等。典型测试样本图如图C.1所示。

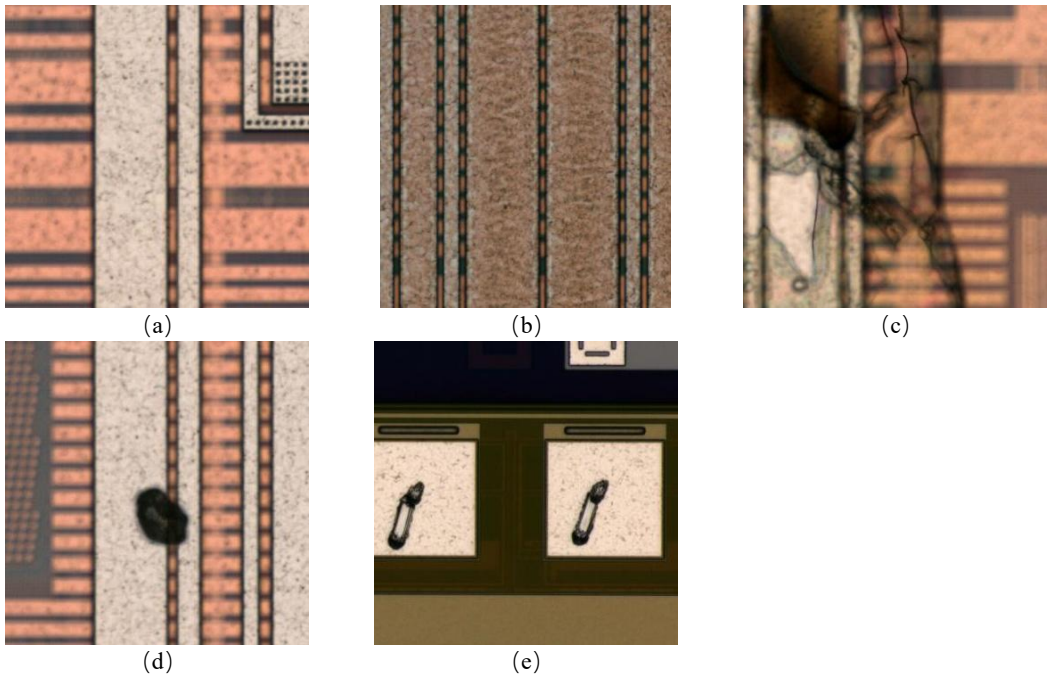


图 C.1 典型测试样本图 （a）正常数据，（b）变色缺陷，（c）护层异常，（d）脏污缺陷，（e）针偏缺陷

C.3.2.2 筛选与整理数据

按照5.2.2规定的方法进行数据筛选与整理，剔除如图C.2所示的失效数据。

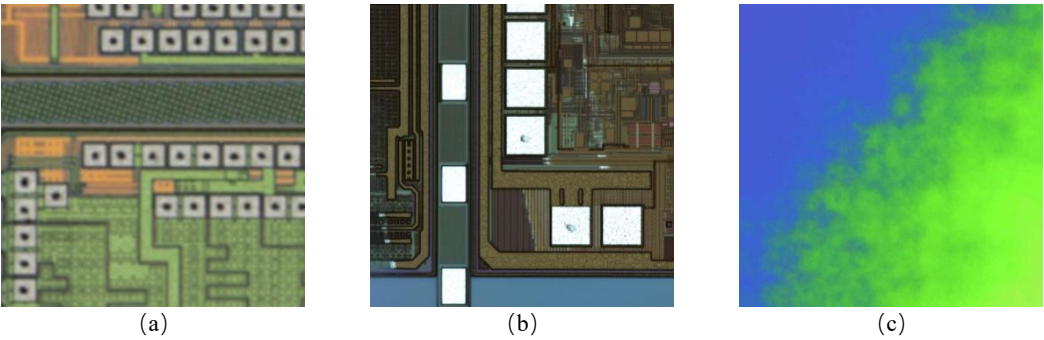


图 C.2 失效数据示例 (a) 失焦样本, (b) 曝光异常样本, (c) 无法判定类别样本
数据筛选整理后整理出一万组有效数据, 数据统计表如表C.1所示。

表 C.1 数据筛选整理后统计表

类别	数据数量
正常	6000
变色	1000
护层异常	1000
脏污	1000
针偏	1000

C.3.2.3 数据标注

按照5.2.3规定对整理后的图像进行缺陷类别标注, 图像分类数据标注示例如表C.2所示, 目标检测数据标注如图C.3所示。

表 C.2 图像分类数据标注示例

图片路径	图片格式	图片尺寸	缺陷类型
.\数据\护层异常\1.jpg	.jpg	341×341	护层异常
.\数据\护层异常\2.jpg	.jpg	341×341	护层异常
.\数据\护层异常\3.jpg	.jpg	341×341	护层异常
.\数据\护层异常\4.jpg	.jpg	341×341	护层异常
.\数据\正常\1.jpg	.jpg	341×341	正常
.\数据\正常\2.jpg	.jpg	341×341	正常
.\数据\正常\3.jpg	.jpg	341×341	正常
.\数据\正常\4.jpg	.jpg	341×341	正常
.\数据\脏污\1.jpg	.jpg	341×341	脏污
.\数据\脏污\2.jpg	.jpg	341×341	脏污
.\数据\脏污\3.jpg	.jpg	341×341	脏污
.\数据\脏污\4.jpg	.jpg	341×341	脏污
.\数据\针偏\1.jpg	.jpg	341×341	针偏
.\数据\针偏\2.jpg	.jpg	341×341	针偏
.\数据\针偏\3.jpg	.jpg	341×341	针偏
.\数据\针偏\4.jpg	.jpg	341×341	针偏

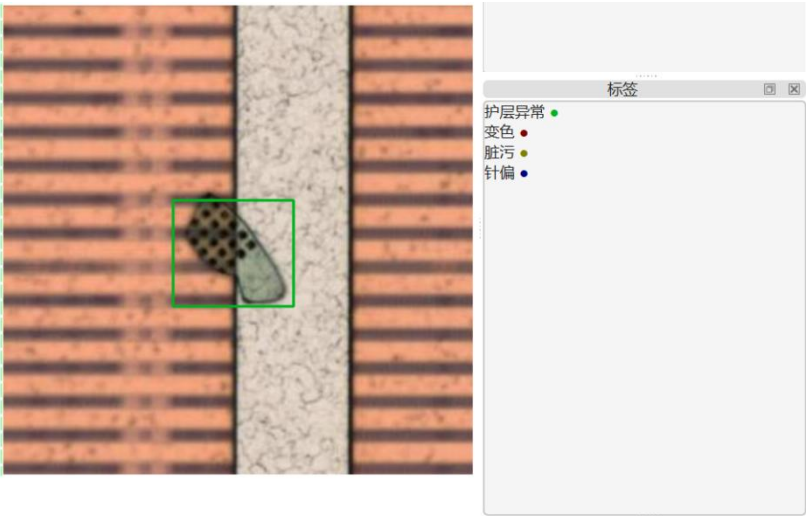


图 C.3 目标检测数据标注示例

C.3.2.4 检测策略选择

按照5.2.4规定选择检测策略，本次选择采用目标检测方法

C.3.2.5 性能测试与功能验证

按照5.2.5规定进行性能测试，验证结果如所示。

表 C.3

实际类别	样本总数	正确检测数	判为正常数量	误判为缺陷数
正常	6000	5940	/	60
变色	1000	998	2	/
护层异常	1000	998	2	/
脏污	1000	997	3	/
针偏	1000	997	3	/
合计	10000	9930	10	60

按照公式（C.3）计算，综合漏检率为0.25 %。（按照表1要求综合漏检率 $\geq 0.2\%$ ）

按照公式（C.4）计算，检测准确率为99.3 %。（按照表1要求检测准确率 $\geq 99.0\%$ ）

按照公式（C.5）计算，误检率为1 %。（按照表1要求误检率 $\leq 1.0\%$ ）

经与表1要求指标比对，系统功能满足指标要求。确定C.3.3测试选择检测策略为目标检测方法，判定阈值为80%。

C.3.3 数据测试

C.3.3.1 采集数据

按照5.3.1规定启动高分辨显微成像系统，对待测晶圆或晶粒进行全视场自动扫描，部分采集数据图如图C.4所示。

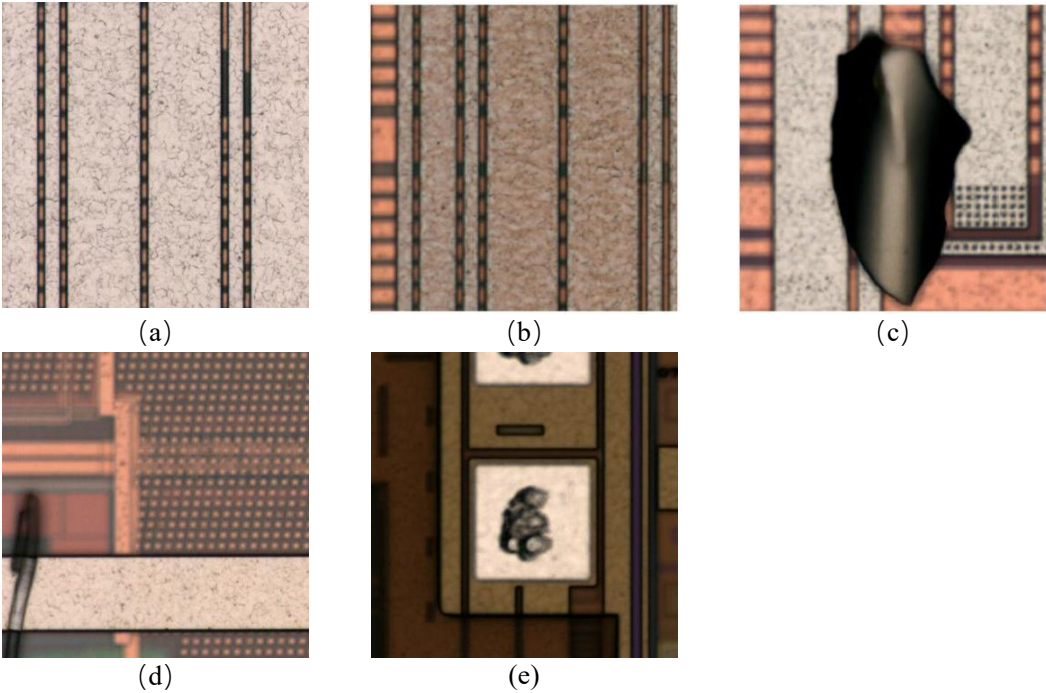


图 C.4 部分采集数据图

C.3.3.2 缺陷自动识别与分类

按照5.3.2规定，结合C.3.2.5结论，选择检测策略为目标检测方法，判定阈值为80%，对数据进行缺陷识别与分类。图C.4部分采集示意图缺陷识别与分类结果如图C.5所示。

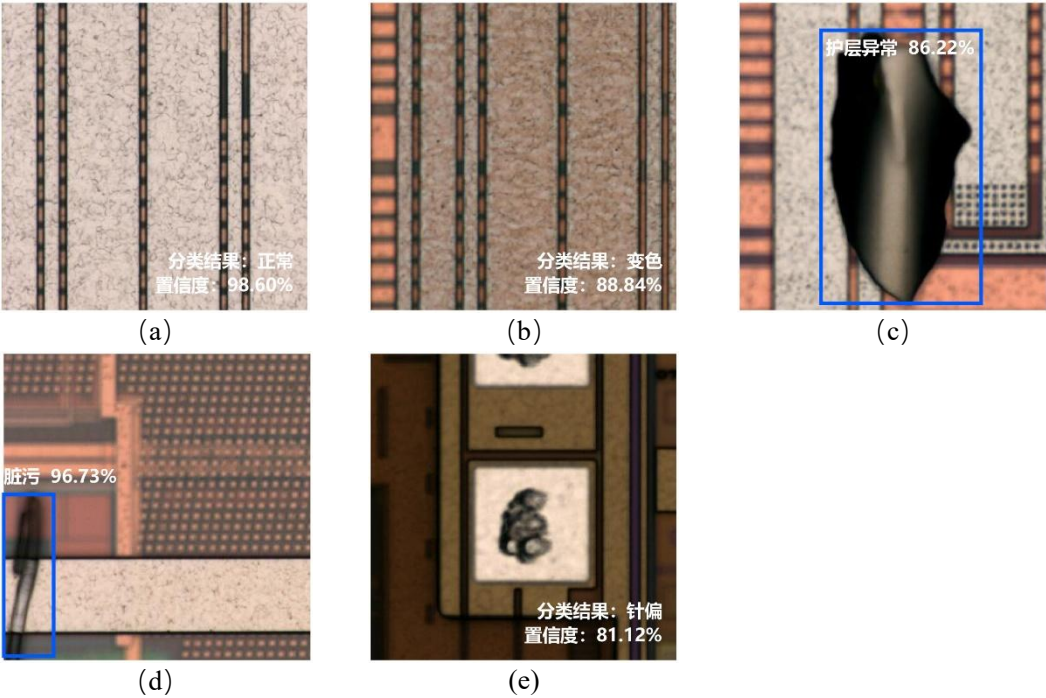


图 C.5 缺陷识别与分类结果

C.3.3.3 测试结果汇总与输出

如图C.6所示，检测结果自动汇总，并以csv格式输出。

