

项目计划: 自动化光学检测(AOI)系统原型

项目负责人 Gregorius Karisma

职位 技术项目负责人

开始日期 2025年11月1日

领域 半导体计量与良率分析

背景

本项目涉及桌面式自动光学检测(AOI)系统的设计、制造和编程。该项目利用计算机视觉技术识别印刷电路板(PCB)表面的缺陷，从而模拟工业半导体计量流程。该系统集成了硬件工程(光学装置搭建)、软件工程(Python/OpenCV)和数据分析(SQL/Tableau)，以生成可操作的良率数据。其主要目标是复现大规模半导体制造中使用的缺陷检测和良率提升工作流程。

项目目标

- 工程 → 构建稳定的光学装置，能够采集一致的参考图像(“黄金样品”)和测试图像。
- 软件 → 开发基于 Python 的 OpenCV 算法，以超过 90% 的准确率检测表面异常。
- 分析 → 建立数据管道，将检测结果记录到 SQL 数据库中，用于自动计算良率。
- 应用 → 展示精密工程和数据分析在制造业中的实际应用。

技术架构与技术栈

- 硬件组件：
 - 成像传感器 → 高分辨率网络摄像头或智能手机摄像头，通过 USB/Wi-Fi 连接。
 - 照明 → LED 环形灯，确保均匀照明并消除阴影伪影。
 - 夹具 → 刚性支架或安装座(3D 打印或铝型材)，以保持固定焦距。
 - 被测设备(DUT) → Arduino Uno 开发板或定制 PCB，作为检测对象。
- 软件栈：
 - 编程语言 → Python 3.9+
 - 库：
 - OpenCV-Python → 图像处理、图像减法和轮廓检测。
 - Numpy → 数组操作。
 - sqlite3 / pandas → 数据记录和存储。

c. 可视化 → Tableau(产量仪表盘)。

实施路线图

1. 硬件集成与校准:

- a. 在此阶段, 目标是建立一个受控的成像环境。
 - i. 组装测试装置并固定成像传感器, 以防止微振动。
 - ii. 校准照明, 以防止被测器件 (DUT) 表面出现眩光。
 - iii. 采集“黄金样品”(参考)图像, 用于基线比较。

2. 算法开发(Python):

- a. 在此阶段, 目标是检测人工缺陷(例如, 划痕、异物)。
 - i. 实现图像配准, 使测试图像与参考图像对齐。
 - ii. 编写图像相减逻辑: $Difference = | Reference - Test |$ 。
 - iii. 应用阈值分割和轮廓检测来隔离显著缺陷。

3. 数据管道构建(SQL):

- a. 在此阶段, 目标是从检测过渡到分析。
 - i. 设计包含以下内容的 SQL 模式:
 1. Inspection_ID ← 主键
 2. Timestamp
 3. Defect_Count ← 整数
 4. Status ← PASS/FAIL
 - ii. 开发一个 Python 脚本, 用于自动将检测结果追加到数据库。

4. 良率分析与可视化:

- a. 在此阶段, 目标是生成高级良率指标。
 - i. 将 Tableau 连接到 SQL 数据集。
 - ii. 可视化合格率(合格率与不合格率之比)和缺陷严重程度(帕累托图)。

方法论: 缺陷检测逻辑

该系统采用黄金样本比较法, 这是制造行业的标准方法:

1. 图像采集 → 捕获被测器件 (DUT) 的图像帧。
2. 预处理 → 转换为灰度图像并应用高斯模糊进行降噪。
3. 对齐 → 执行特征匹配(ORB/SIFT)以使 DUT 与参考图像对齐。

4. 减法 → 执行逐像素减法以提取差异。
5. 滤波 → 应用形态学操作以去除误报(例如, 灰尘)。
6. 判定 → 如果 *Defect_Area* 值超过设定的阈值, 则标记为 FAIL。

风险管理

1. 光照不一致 → 误报(将阴影误判为缺陷)→ 使用封闭式照明箱或固定环形灯; 实施图像归一化。
2. 相机未对准 → 减法算法失效 → 在进行减法运算前实施稳健的图像配准(软件对齐)。
3. 处理延迟 → 单个检测单元的检测时间延长 → 在处理前将高分辨率图像调整为标准分辨率。

预期交付成果

1. 物理原型 → 功能齐全的桌面检测站。
2. 代码库 → 已编写文档的 Python 代码。
3. 良率仪表盘 → 显示检测统计数据的 Tableau 可视化图表。
4. 技术报告 → 记录缺陷大小与检测准确率之间关系的文档。