

在封塑成型中采用人工智能控制输入变量，预防与封装厚度相关的缺陷

Ernani D. Padilla
Emmanuel P. Birog

ernani.padilla@st.com
emmanuel.birog@st.com

意法半导体

摘要

本文旨在于识别在半导体塑封成型(又称模压成型)工艺中出现的封装厚度相关缺陷的原因，厚度相关缺陷包括封装厚度错误、引线和/或芯片裸露在封装外面、模具溢料。

在塑封成型过程中有三种情况会遇到封装厚度问题，其中包括在模具上所选的产品配方与实际芯片批次不一致，装入的芯片批次与模具当前保存的配方不一致，以及装入模具产品表面不规整，例如，存在错位芯片、基板侧轨或端轨破损。采用人工智能(AI)技术的模具可以在产品入口检测并识别各种异常问题，防止异常芯片进入后面的塑封工序。

采用人工智能可以预防与封装厚度相关的所有缺陷以及模具停机时间。

关键词: 人工智能, 塑封成型, 相机扫描, 激光扫描

1.前言

塑封成型工艺是集成电路封装技术最近几年取得的一项进步，该技术采用颗粒状塑封材料封装芯片，第一道工序是扫描基板上已完成引线键合的基板，获取基板上芯片的总数量，然后按照封装厚度要求计算所需塑封颗粒材料的数量。

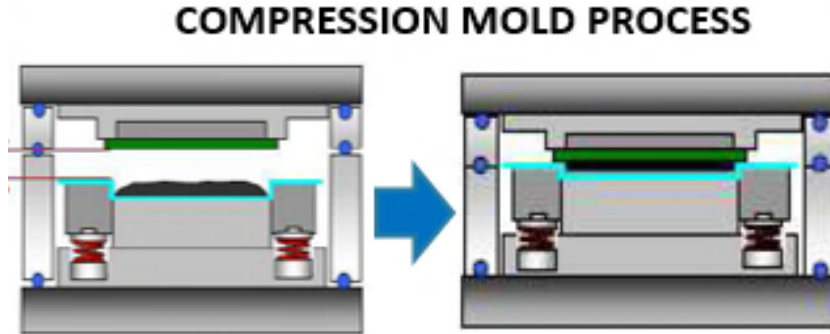


图 1：塑封成型工艺

第二步是把模塑颗粒注入到下模具，下模具载体台面涂有一层脱模剂，将基板引线朝上置于上模具夹具内。下模具抬起合模，把塑封材料压向基板，达到封装厚度要求后，下模具停止加压，如图 1 所示。

芯片扫描是塑封成型工艺中最重要的工序，因为这道工序决定了产品封装的厚度。芯片扫描分为激光扫描和相机扫描两种类型。激光扫描用于计算大尺寸芯片的数量，而相机扫描用于计算小尺寸芯片的数量。芯片扫描仅覆盖整个基板的有效区域，但不包括端轨和侧轨。图 2 所示是实际基板和实际芯片扫描结果。

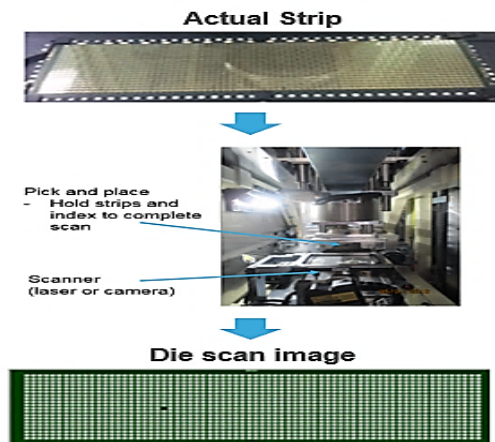


图 2：实际基板和扫描图像

1.1 封装厚度相关问题

芯片扫描方法根据在产品配方中记录的芯片配置数据，识别产品批次错误或配方不正确，防止模具误操作。如果装入的产品与产品配方不一致，模具将会发现芯片尺寸不同或芯片垂直高度错误。最近推出的新产品的芯片配置数据完全相同，唯一的区别是封装厚度要求不同，如图

3 所示。如果使用封装厚度高的配方加工封装厚度低的产品，芯片扫描不会发现错误，因为芯片配置相同，反之亦然。

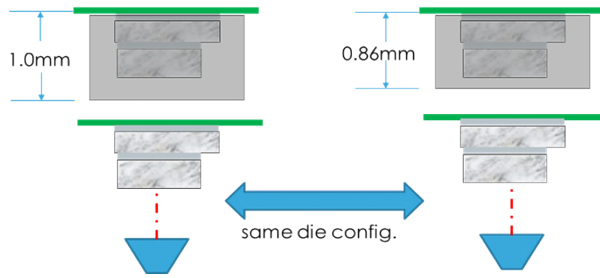


图 3：芯片配置相同，但封装厚度不同

另一个封装厚度错误的问题是装入产品的引线键合存在差异。如果存在错位芯片，模具压板平整度将会受到影响，导致塑封材料从压板四边缝隙溢出。破损基板的裂缝如果延伸到模具工作区域，将导致塑封材料在合模过程中泄漏，这两种溢料情况都会导致模塑材料数量减少，无法满足封装厚度要求。最坏的情况是，由于封装很薄，材料不足将导致芯片和引线裸露在封装外面，如图 4 所示。

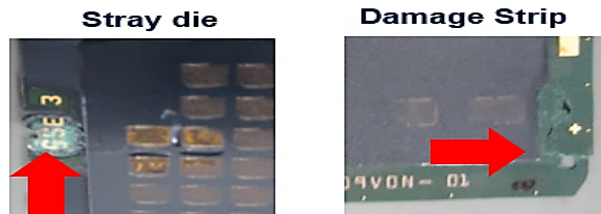


图 4：错位芯片和破损基板导致芯片和引线裸露在外面

如何避免错位芯片和破损基板，改进办法目前仍在研究中，但是由于模塑材料和多个芯片叠装工艺都很复杂，改进还有待时日。

表 1：不同产品的工艺和材料比较

| | Product A | Product B | Product C | Product D | Product E |
|---------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|
| Substrate damaged contribution? | 4% | 47% | 18% | 2% | 21% |
| DB/WB Dual pass? | - | Yes | - | - | Yes |
| Substrate Thickness? | 0.2mm | 0.13mm | 0.13mm | 0.18mm | 0.13mm |
| Rank in damaged? | | 1 st | 3 rd | | 2 nd |

对于基板破损，通过比较不同的产品发现，产品 B 和 E 在芯片键合和引线键合处都有通孔，基板破损发生率最高。多通孔工艺有较高的基板破损风险。对于错位芯片，只有在上道芯片贴装工序之后才能处理。在芯片面平整度较低时，可能会发生芯片错位问题。还值得注意的是，

产品 A 和 D 的基板较厚，破损率较低。薄基板更容易破损，合模压力稍大一点就会损坏。下面章节比较表 1 中不同的产品。

1.2 与封装厚度有关的缺陷率

2018 年塑封成型工艺封装厚度相关缺陷的月均缺陷率为 106 ppm，如图 5 所示。

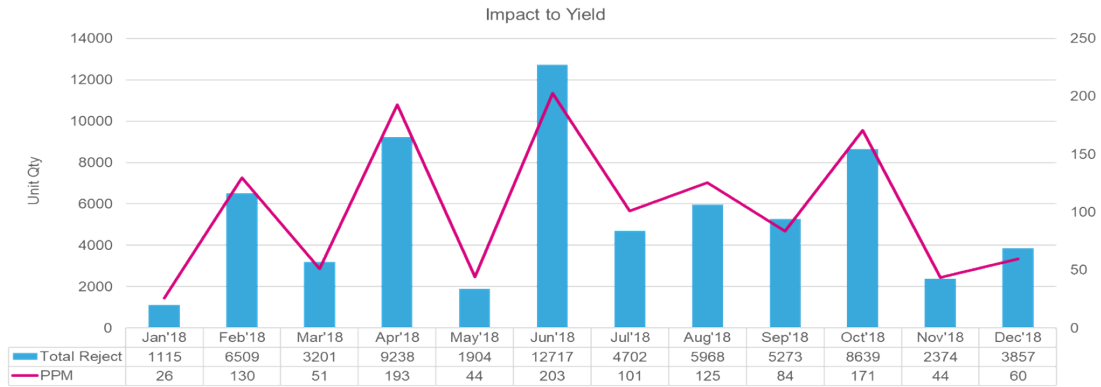


图 5: 封装厚度相关缺陷趋势(2018 年)

模具溢料将会堵塞机台的真空流道，疏通流道需要停机，抽出阻塞物，这可能会影响生产效率。从 2018 年停机时间趋势来看，每月平均停机 28 个小时，如图 6 所示。

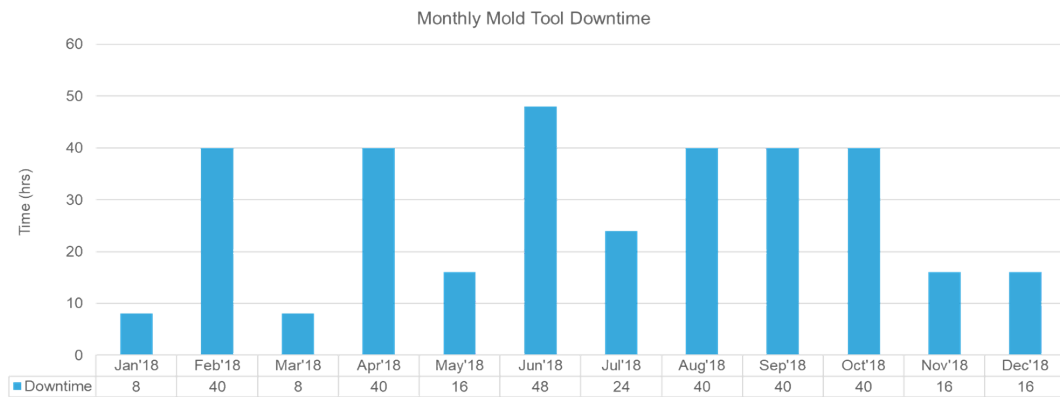


图 6: 停机时间月度趋势

1.3 目前的模具封装厚度误操作控制办法

当前防止因错误程序或装入错误批次而引起的加工错误的控制办法包括在模具上粘贴产品封装厚度要求，如表 2 所示。

Table 2. Compression mold package thickness matrix 表 2.塑封成型封装厚度对照表

| Device Name | Package Description | Mold Cap Thickness(mm) | LF/Substrate Thickness(mm) | Package Thickness(mm) |
|------------------------|---|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| ACCELEROMETER | LLGA 3X3X1.0 16L - FOR SENSOR | 0.785 mm | 0.20 mm | 0.942 - 1.027 mm |
| GYRO | LGA 4x4x1 16 Lead Pitch 0.65mm | 0.785 mm | 0.20 mm | 0.942 - 1.027 mm |
| GYRO DIS | LLGA 3X3X1.0 16L - FOR SENSOR | 0.785 mm | 0.20 mm | 0.942 - 1.027 mm |
| KITKAT | VFLGA 3X3X1 22L | 0.855 mm | 0.13 mm | 0.942 - 1.027 mm |
| ORA ET LABORA | TFLGA 3.5X3X1 24L | 0.855 mm | 0.13 mm | 0.97 - 1.027 mm |
| VULCANO | VFLGA 2X2X1 12LD | 0.785 mm | 0.18 mm | 0.95 - 1.0 mm |
| ARGENTERA | VFLGA 2X2X0.86 12LD | 0.70 mm | 0.13 mm | 0.78 - 0.86 mm |
| ARGENTERA | LGA2X2X0.7 12LD | 0.54 mm | 0.13 mm | 0.62 - 0.70 mm |
| ARGENTERA | VFLGA 2X2X0.7MM 14LD | 0.54 mm | 0.13 mm | 0.64 - 0.70 mm |
| ALCANTARA | LLGA 3X3X1.0 16L | 0.84 mm | 0.13 mm | 0.92 - 1.00 mm |
| OGGIONO | VFLGA 3X3X0.86 | 0.70 mm | 0.13 mm | 0.78 - 0.86 mm |
| SEOUL | VFLGA 3X3X0.86 16L | 0.70 mm | 0.13 mm | 0.78 - 0.86 mm |
| SUWON/SWAN | VFLGA 2.5X3X0.86 14L | 0.70 mm | 0.13 mm | 0.78 - 0.86 mm |
| GROHMANN | VFLGA 2X2X0.86 12LD | 0.70 mm | 0.13 mm | 0.78 - 0.86 mm |
| COL | WFQFPN4X4X0.75 COL 20L 0.5P | 0.55 mm | 0.20 mm | 0.70 - 0.80 mm |
| NEWTON | WFLGA 2.3X2.3X0.7 16L | 0.53 mm | 0.13 mm | 0.61 - 0.70 mm |
| STARK | LGA2X2X0.7 12 LEADS | 0.53 mm | 0.13 mm | 0.61 - 0.70 mm |
| COL | UFD FPN 1X1.45X0.6 6L P0.5 | 0.35 mm | 0.155 mm | 0.50 - 0.60 mm |
| COL | VFD FPN 1.0X1.0X0.38 4L PITCH 0.6 | 0.25 mm | 0.13 mm | 0.34 - 0.40 mm |
| COL | UFQFPN 1.5x1.5x0.55 8L PITCH 0.5 | 0.40 mm | 0.125 mm | 0.42 - 0.55 mm |
| SALIX/NOBLE/WILLOW/DAK | XFBGA 7.0x4.2x0.47 87 0.5 PITCH 0.22 BALL | 0.20 mm | 0.13 mm | 0.28 - 0.38 mm |
| SALIX | UFBGA 5x7x0.60 117 0.5P | 0.27 mm | 0.13 mm | 0.38 - 0.45 mm |

如图 7 所示，在每个批次芯片装入模具之前，检查每个批次的追溯信息(行程卡)、实际基板和模具配方是否完全一致。

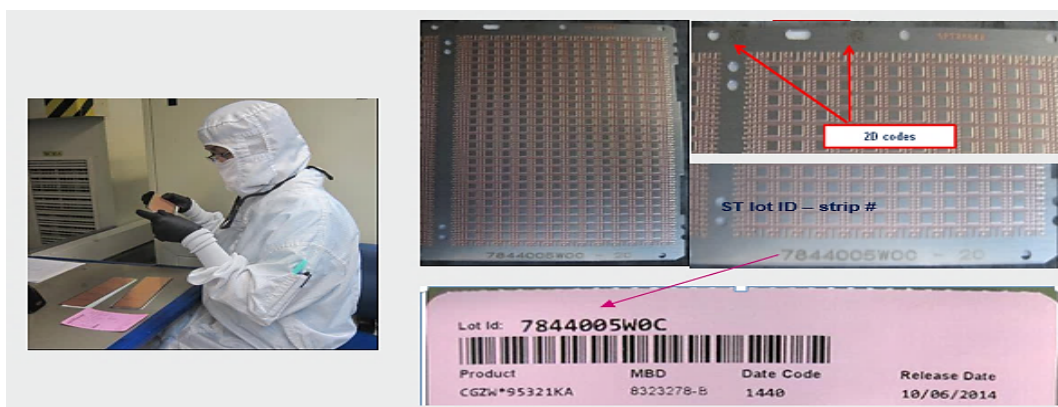


图 7：批次、行程卡和模具对照检查

如果某个批次的基板有异常，例如，在上线前发现基板损坏或有错位芯片，则将图 8 所示的标签贴到该批次基板上，提供可追溯信息，以评估该基板是否可以加工或从不能用于前次模具。

Leadframe Damaged/Manually Handled Strip Tag

Failure: Leadframe damaged Manually handled strip

ST Lot ID: _____ LEMS no. _____

Process/Strip no: Diebond 1 Wirebond/ _____

Diebond 2 Plasma (DB: WB: Mold)

Diebond 3 _____

Interposer _____ Molding/ _____

图 8：提示上线前基板异常的标签

要求操作员使用千分尺测量模压封装厚度，从每个批次抽取 1 块基板测量，确保不会漏掉封装厚度错误，这是生产操作规范。

1.4 在塑封成型中应用人工智能

针对因为配方错误或装入错误批次而导致的加工错误，芯片扫描范围被扩大到侧轨和端轨，如图 10 所示。

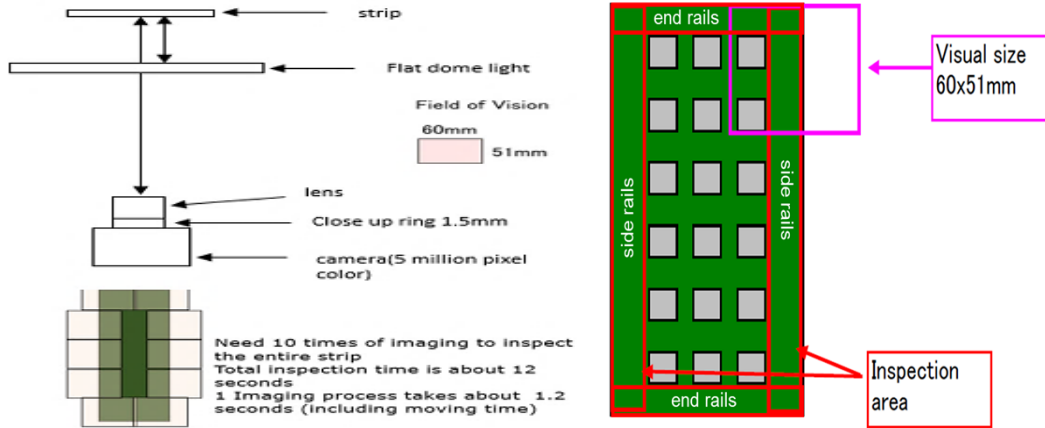


图 10：芯片扫描图解

创新的想法是能够通过光学字符识别(OCR)方法识别基板端轨上的具有唯一性的由字母数字组成的产品材料代码，然后与所选产品配方中记录的材料代码对照检查。如果成分一致，继续检查其余的基板，直到检查完该批次的所有基板为止；如果不一致，模具将提示错误并停机。

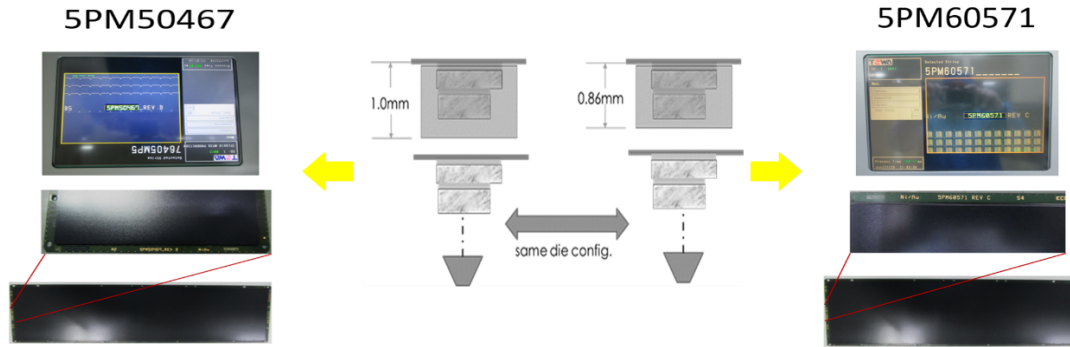


图 11：材料代码光学识别

对于损坏的基板或错位芯片，通过相机或激光扫描侧轨和端轨，对比扫描影像与合格产品的影像或轮廓，检查是否存在异常。如果发现异常，模具将提示发现错误并停机。

1.5 相关技术资料概述

为了更好地理解具有唯一性的 8 位字母数字产品材料代码放错识别方法及其关键使能技术，本章将简要介绍各种相关的光学识别技术。光学字符识别是一种前景广阔的技术，可以将手写

字母或文字转换为计算机文本。这项技术还是印刷文字数字化常用的一种方法，印刷文字转换为计算机格式后，可以进行电子编辑、检索、存储以及在线显示。光学字符识别分为多个阶段，包括预处理、分类、获取后处理，前段处理、分段处理、后段处理、特征提取。

1. 多层感知器神经网络让光学字符识别成为可能。正常流程是先获取图像，然后对其进行预处理和分割。在分割期间，字符被线分开。字符图像中字符线的列举对于界定可检测区间边界至关重要。分割后的下一步是分离字符，接着时提取特征。为了完成特征提取过程，我们采用了图像到矩阵映射处理方法，将图像转换为 **2D** 矩阵。下一步是训练系统。通过训练，系统能够做出高效工作决策，并且在无法预测的环境中产生更好的结果。所提出的系统方案采用多层感知器学习算法。该方法采用金字塔状结构，这个结构不仅可以用于学习过程，还可以用于分类过程。通过在多层网络体系结构中应用学习过程算法，突触权重和阈值可以特定方式更新，使系统执行分类/识别任务的效率更高。突触权重对于迭代很重要。在迭代过程中，权重被更新为某个整数值。因此，为了识别对象，将其特征数据送入网络输入层，生成输出向量。现在使用这个输出向量和目标输出来计算误差。通过分析所得的输出值，可以确定字符的识别准确率。该方案识别独立字符取得 **91.53%** 的准确率，成句字符识别准确率达到 **80.65%**。
2. 我们利用模板匹配和反向传播算法开发出了光学字符识别软件。模板匹配是最常用的一种光学字符识别技术，主要用于特征提取。因为简单，容易实现，这项技术很受欢迎。模板匹配又称关联。这种方法使用单个字符的像素矩阵提取特征。在测试数据集中使用相关函数 **R**，并将结果存保存在数据库中。关联值最高的字符被选为最匹配的字符。反向传播算法使用反向机制来查找错误，并通过向后传播来减少错误。这种方法基于纠错机制。分组后发现的问题是，存在无法识别的字符，这些无法识别的字符是产生错误结果的字符。使用此方法可提高字符识别的正确率。

对于错位芯片和损坏基板检测，我们做了相机扫描识别物体的研究，重点研究图像分辨率增强技术，详见下文。

3. 有报道称采用深度神经网络识别物体取得了非常好的效果，不过，这些方案通常假设，有可用的适合的物体大小和图像分辨率，这在实际应用中可能无法保证。我们提出的框架是通过图像增强网络和对对象识别网络两个深度神经网络协作学习，来识别超低分辨率图像。图像增强网络试图通过使用来自对象识别网络的协作学习信号，提升分辨率极低图像的锐度和信息量。针对高分辨率图像训练权重的对象识别网络，积极参与图像增强网络的学习过程，还将图像增强网络的输出用作增强学习数据，以提高其超低分辨率图像的识别性能。通过用各种低分辨率图像基准数据集做实验，我们证明了该方法能够提高图像重建和分类性能。

在错位芯片和损坏基板检测中，我们比较了激光扫描与相机扫描的性能，做了激光扫描在物体检测中的适用性研究。

4. 低成本 **3D** 成像，特别是通过使用激光检测和测距 (**LIDAR**) 成像，对于物体识别、地面测绘和机器视觉等应用非常重要。传统的飞行时间激光雷达使用扫描激光来获得目标的光强和距离，这需要窄带宽的照明光源和高速同步器。无脉冲宽度的 **3D** 激光雷达的非扫描产品原型，据我们所知，是业界首次整合单像素成像传感器和衍射光学元件。压力感测技术用于测量物体反射的回波脉冲，并重建目标场景的强度图。衍射光学元件用于提供结构化照明光源，并且可以从激光光斑提取数据，获得目标场景的深度图。我们给出了验证原型识别效果的仿真结果，并例证了在传统 **3D** 成像方法不

可用或受限的情况下，使用我们的方案的优越性。这个创新原型在可见光谱以外的波长上具有成本低和结构灵活的优点，并且因为实用而受到高度关注。

2.材料与方法/实验细节/方法论

2.1 材料

我们将使用涵盖所有可能的情况的产品来验证芯片扫描软件升级能否识别配方错误和批次误装。从封装厚度要求不同的三种产品中选择了三个批次，每个批次有 20 块基板。产品 B 和 C 具有相同的芯片配置，产品 A 的配置不同于 B 和 C。产品 A 和 C 的模套厚度要求相同，而基板厚度不同。具有唯一性的材料代码是区别不同产品关键特征的重要工具，详见表 3。

表 3：错误配方/批次误装评测表

| Device Name | Package Description | Mold Cap Thickness | Strip Thickness | Package Thickness | Material Part No |
|-------------|---------------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Product A | LLGA 3x3x 1.0 16L | 0.785 mm | 0.20mm | 0.942-1.027mm | 5PM18525 |
| Product B | VFLGA 2x2x 0.86 12L | 0.70 mm | 0.13mm | 0.78 – 0.86mm | 5PM60571 |
| Product C | VFLGA 2x2x 1.0 12L | 0.785 mm | 0.18mm | 0.95 – 1.0mm | 5PM50467 |

制备有错位芯片和损伤的芯片基板，模拟模具在芯片扫描过程中能否发现异常。异常位置包括端轨和侧轨。对于错位芯片，使用不同尺寸的芯片测试是否能发现异常。

2.1.1 芯片扫描软件升级

测试芯片扫描升级软件能否识别基板端轨上的唯一 8 位字母数字代码，如图 12 所示。

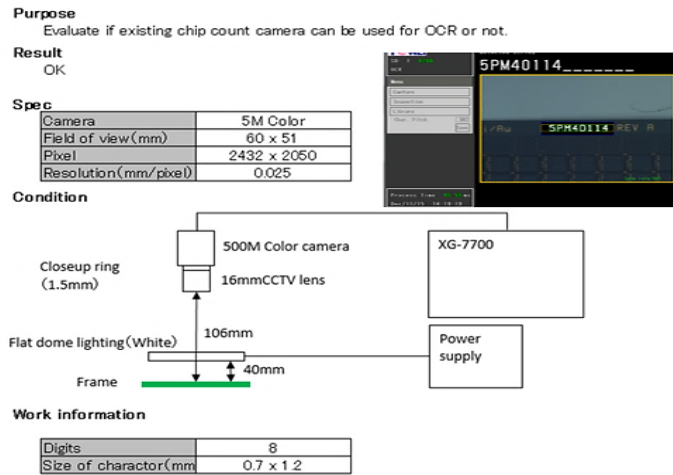


图 12 相机扫描示意图和实际扫描图像

扫描捕获的信息将与被测产品配方信息对比。如果内容相同，则模具将继续运行；否则，模具将提升错误并停机，如图 13 所示。

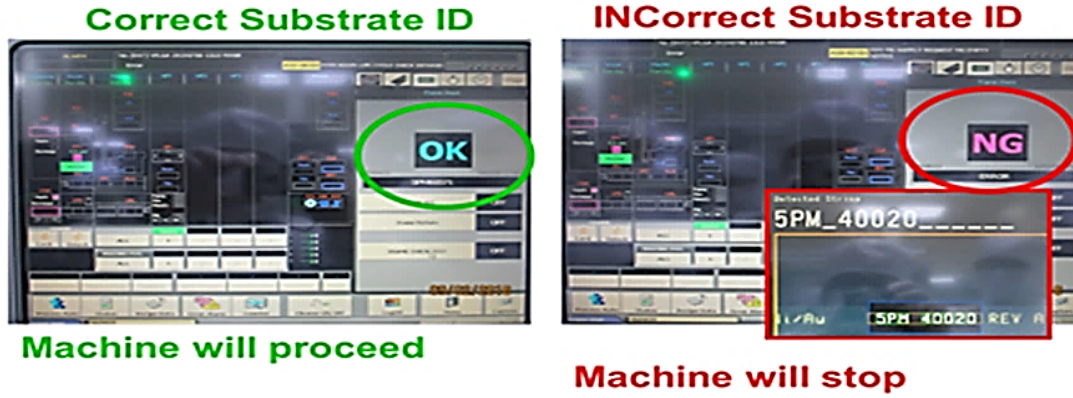
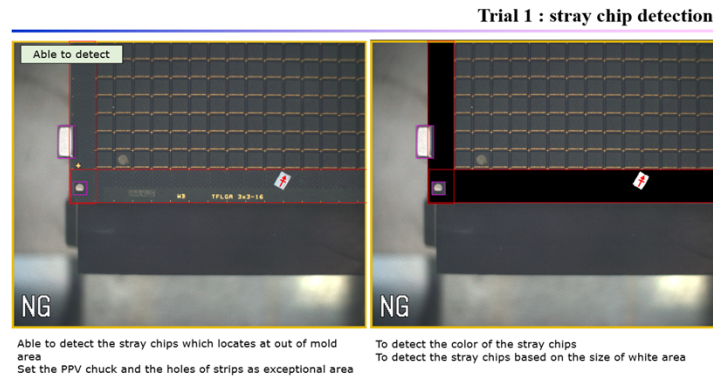


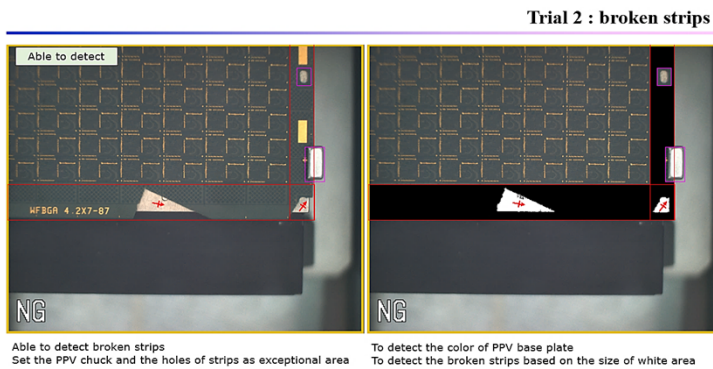
图 13: 模具的物料代码检测屏幕

为了检测芯片基板上是否有错位芯片或端轨和侧轨是否损坏，我们又开发了基板检测软件。这里将使用激光扫描和相机扫描两种不同的扫描技术测试该软件的识别能力。

相机扫描是通过比较坏基板与好基板的像素来识别基板是否存在错位芯片和损坏，如图 14 所示。



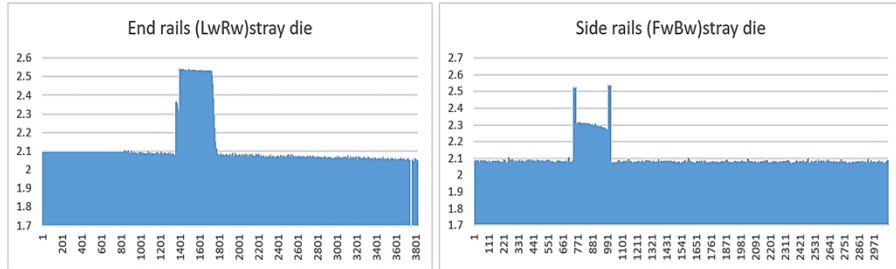
(a)



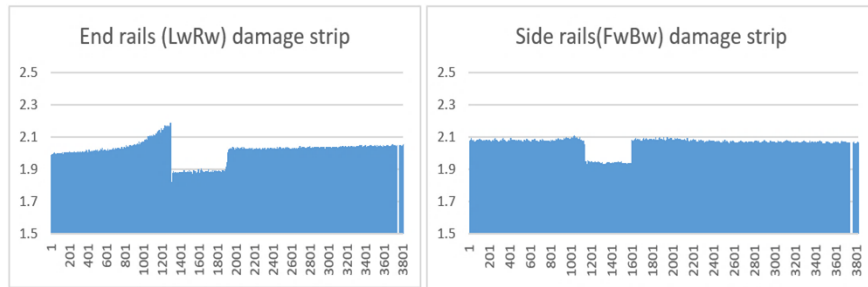
(b)

图 14: 扫描检测图像(a)错位芯片视图(b)损坏基板视图

另一种检测技术是激光扫描，该技术扫描基板表面高度，并将捕获的图像与好基板的高度进行对比，如果高度偏差较大或较小，则模具将提示错误并停机。测试将使用有错位芯片和侧轨和端轨损坏的基板，如图 15 所示。



(a)



(b)

图 15 端轨和侧轨高度激光扫描图(a)错位芯片高度(b)损坏的基板

2.2 测试过程

测试目的是比较两个扫描软件升级对材料代码识别和错位芯片及基板损坏检测的识别效果。

材料代码检测将测试相机能否准确识别不同产品的材料代码。面临的挑战是能否识别所有字母数字的字体大小、样式和方向。使用 20 块基板，随机插入错误材料代码，板对板测试升级软件的识别结果是否一致，详见表 4。

表 4.材料代码检测实验设计

| Device Name | Package Description | Material Code | No. of good strips | No. of wrong material code |
|-------------|---------------------|---------------|--------------------|----------------------------|
| Product A | LLGA 3x3x 1.0 16L | 5PM18525 | 20 | 10 (5PM60571) |
| Product B | VFLGA 2x2x 0.86 12L | 5PM60571 | 20 | 10 (5PM50467) |
| Product C | VFLGA 2x2x 1.0 12L | 5PM50467 | 20 | 10 (5PM18525) |

通过检测错位芯片和损坏基板，比较激光扫描和相机扫描的缺陷检测准确率。使用在端轨和侧轨上有不同尺寸和形状的缺陷的实际基板，测试芯片扫描的准确率；使用不同尺寸的错位芯片测试扫描灵敏度，如表 5 所示。

表 5.错位芯片/破损检测实验设计

| Scan Technique | Stray Die size | Damage/Broken |
|----------------|----------------|---------------|
| Camera | 2x2 | Chip |
| Camera | 3x3 | Crack |
| Laser | 2x2 | Chip |
| Laser | 3x3 | Crack |

3.实验结果与分析探讨

3.1 材料代码识别测试

根据升级软件检测每个产品的材料代码的测试结果，三种测试产品的全部基板的检测准确率 100%。正确和错误的物料代码均被准确识别，如图 16 的图表所示。

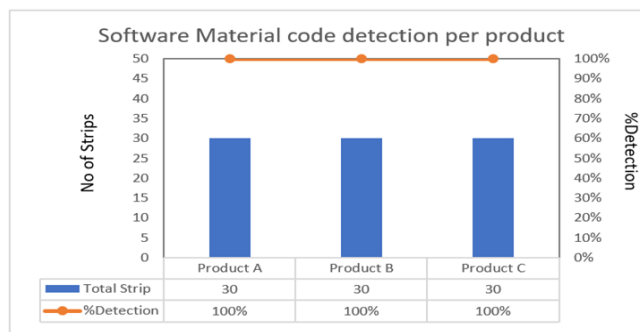


图 16: 不同产品之间的升级软件双比例检验

测试结果证明，检测准确率很高，所有被测产品的基板都被正确识别，包括另外 10 块材料代码错误的基板。

3.2 异常基板识别测试

为了验证相机扫描和激光扫描哪个方法检测错位芯片和损坏基板的效果更好，进行了双比例检验，比较检测准确度。

对于错位芯片，使用当次被测产品的两种不同芯片尺寸进行卡方检验，比较激光扫描和相机扫描之间的扫描准确度差异。在置信度为 95%， P_{value} 值为 0.0003 时，相机扫描和激光扫描之间的扫描准确度存在显著差异，如图 17 所示。

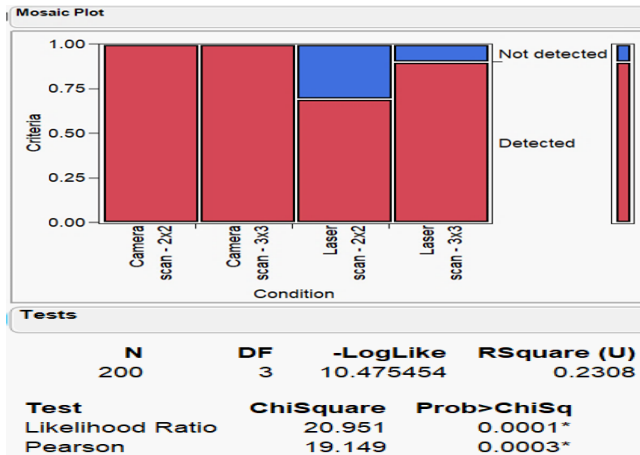


图 17 错位芯片的相机扫描和激光扫描之间的卡方检验比较

实验结果证明，即使芯片尺寸很小，相机扫描仍能够始终如一地发现错位芯片的存在，因为像素识别对于相机阈值仍然很重要。相反，激光扫描准确度随着芯片尺寸减小而降低，因为它不能区分由于基板高度和平整度变化而导致的从基板导轨底部向上的高度相对于阈值的的变化。

损坏基板检测实验再次使用两块损坏特征不同的基板，一块基板上缺口，另一块有裂缝，比较相机扫描和激光扫描的检测准确度，如图 18 所示。在置信度为 95%， P_{value} 值 <0.0001 时，相机扫描和激光扫描的识别准确率存在明显差异。

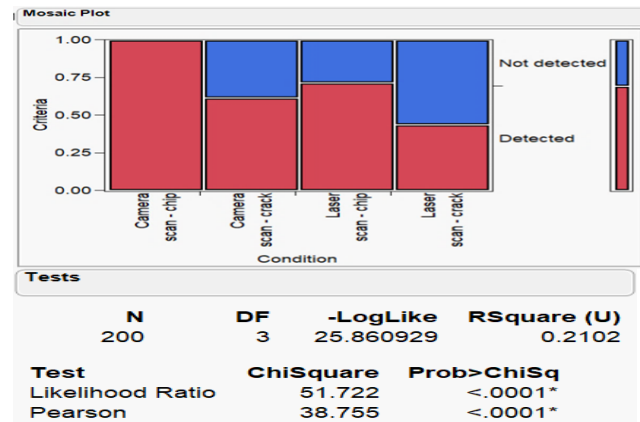


图 18: 损坏基板相机扫描和激光扫描之间的卡方检验比较

相机扫描检测损坏基板的准确率高于激光扫描，同理，错位芯片检测也是这种情况。但是，随着基板损坏的特征从高可见度的缺口变为裂缝时，检测的准确率也会降低。

3.2 建议

建议进一步开发检测功能，应对将来两种产品的材料代码相同但封装厚度要求不同的情况。当前的做法是在基板上雕刻每个产品的附加代码，包括在产品的 8 位字母数字识别码中增加代附加码。

未来研究方向还可以是评估使用分辨率更高的相机提高检测准确度，特别是针对损坏基材的裂缝特点和尺寸小于本研究项目所测试的错位芯片。

应当设法改进错位芯片和损坏基板两个问题，因为本项目旨在改进缺陷检测率，防止残次产品进入塑封成型工序，预防产品质量问题和故障停机。如果基板不能返工，产品良率仍将会下降。

4. 结论

可以得出这样的结论，当前芯片扫描相机可以用光学字符识别（OCR）检测 8 位字母数字组成的唯一材料代码，并根据当前所选模具配方的参数发现模具误装的产品。

在检测芯片尺寸、基板缺口方面，相机扫描的准确率高于激光扫描，这是由于激光扫描对基板高度变化过于敏感，难以区分错位裸片和/或损坏基板。相机扫描不受这些因素影响，而是使用像素数作为检测参考依据。

参考文献

1. Abdullah-al-mamun, Tanjina Alam, "An approach to empirical Optical Character recognition paradigm using Multi-Layer Perceptorn Neural Network", 18 th International conference on computer and information technology, pp. 132-137, 2015
2. Swapnil Desai, Ashima Singh, Optical character recognition using template matching and back propagation algorithm, IEEE, 2016.
3. Jeongin Seo, Hyeyoung Park, "Object Recognition in Very Low Resolution Images Using Deep Collaborative Learning", IEEE Access volume 7 pp1&11 , Sep 13, 2019,
4. Yulong An, et all, "Compressive Sensing-Based Three-Dimensional Laser Imaging With Dual Illumination", IEEE Access, pp1&8, February 21, 2019,