

突破性的创新解决方案可降低 UM16 汽车芯片环氧胶覆盖不良率 PPM

作者：
Michael Capili
Leandro Saria
Rodrigo Manalo
Reneil Pormilda
Robert Hidalgo

STMicroelectronics Inc. BEM&T – Calamba, Philippines

摘要

UM16 是在意法半导体菲律宾公司生产的首款智能汽车用半导体产品，并且是支持当代汽车停车辅助系统最新功能的关键产品。产品如果未能达到严格的质量要求，将会造成交通事故，导致意法半导体菲律宾公司退出汽车业务。UM16 产品良率是所有封装中最低的，为 98.04%，没有达到客户 99.5% 的良率目标。在 2018 年 4 月产品发布期间，造成贴片缺陷的主要原因是 1360 PPM 的环氧胶覆盖不良率。为了提高 UM16 整体封装良率，我们需要在 2018 年第四季度末之前，将贴片工艺中的环氧胶覆盖不良率从 1360 PPM 降低到 300 PPM。我们采用六西格玛 DMAIC 方法及其适用的统计工具，将 14 个关键过程输入变量或潜在原因压缩到 4 个在统计学上有意义的导致环氧胶覆盖率低的主要真实原因：点胶嘴堵塞、胶干燥时间过长、断尾参数不合理、贴片前检查无效，并提出了解决和降低胶覆盖不良率的预防方案。我们选择实现四个突破性的创新解决方案：每 10 分钟自动清洁一次点胶嘴、60 分钟胶干燥容许时间、优化断尾参数，以及在贴片前检查工具上安装双侧照明超亮光源。这些解决方案是将胶覆盖不良率降到平均 2 PPM 的关键，让公司年化资金节省达到 1.686 万美元，节省新机器购置费 20.5 万美元。

1. 定义阶段

1.1 项目识别/评选

1.2 项目与 ST 卡兰巴公司的年度政策的相关性

我们的业务案例与 ST 卡兰巴后工序制造和技术公司的 2018 年政策部署中的提高封装良率相关，支持 ST 提高制造效率的年度首要工作（图 2）。

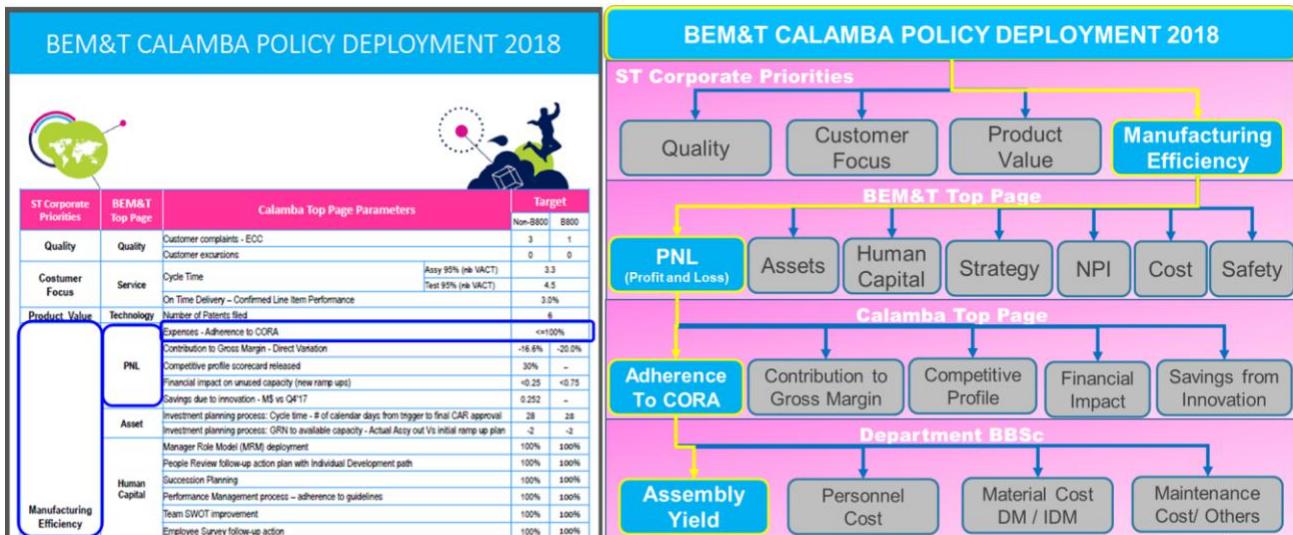


图2：2018年项目符合ST卡兰巴工厂年度政策部署

1.3 问题识别/选择

封装良率是芯片制造中的 KPI 关键绩效考核指标之一，在 2018 年 4 月产品发布期间，UM16 封装良率为 98.04%，在所有产品中最低，没有达到客户 99.5% 的产品良率目标。UM16 是 ST 卡兰巴工厂制造的第一款汽车产品。因此，必须集中力量把这个产品做好。



图4: 产品应用

UM16 是一款重要的智能汽车芯片，支持停车辅助系统的最新功能，适用于当今的各种汽车。质量缺陷可能致使产品功能失效，威胁汽车行驶安全，还会影响客户对 ST 卡兰巴工厂汽车产品的形象和信心。

UM16 贴片工艺的良率为 98.36%，是该产品良率最低的封装工艺之一。在我们负责管理的工作范围内，出胶量不足是贴片的首要缺陷，因此，我们集中精力降低 1360 PPM 的胶覆盖不良率。排序图的进一步分类显示，机器频发的与出胶量不足缺陷相关的主要错误是胶覆盖率低，其次是胶覆盖面积不合格、胶涂覆形状太大/太小错误。

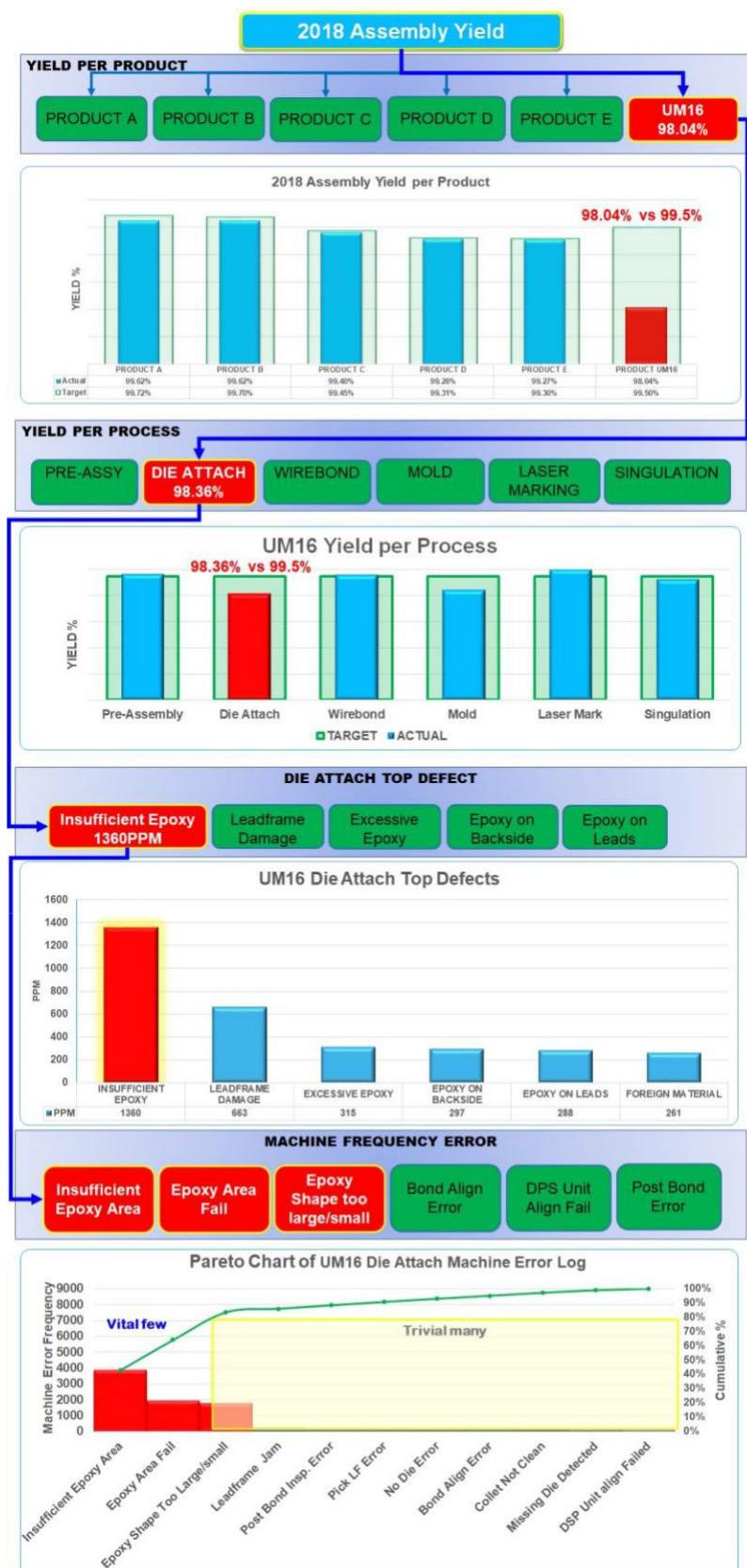


图3: 问题定义树

因此，我们的问题描述是：“在 2018 年 4 月产品发布期间，因贴片工艺出胶量不足缺陷，UM16 汽车封装的胶覆盖不良率为 1360 PPM。”

我们向自己发出挑战，将目标定为把平均成绩和最佳成绩之间的差距缩减 90%，而 DMAIC 标准目标是缩减差距 70%。

我们的目标描述是：“到 2018 年第四季度末，将 UM16 产品贴片胶覆盖不良率从 1360 降到 300 PPM。”

2. 测量阶段

2.1 分析原因和根本原因

这是我们项目的总体图，详细描述了贴片工艺流程，整个工艺共有 6 个工序，并且我们确定点胶和贴片前检查是关键工序。

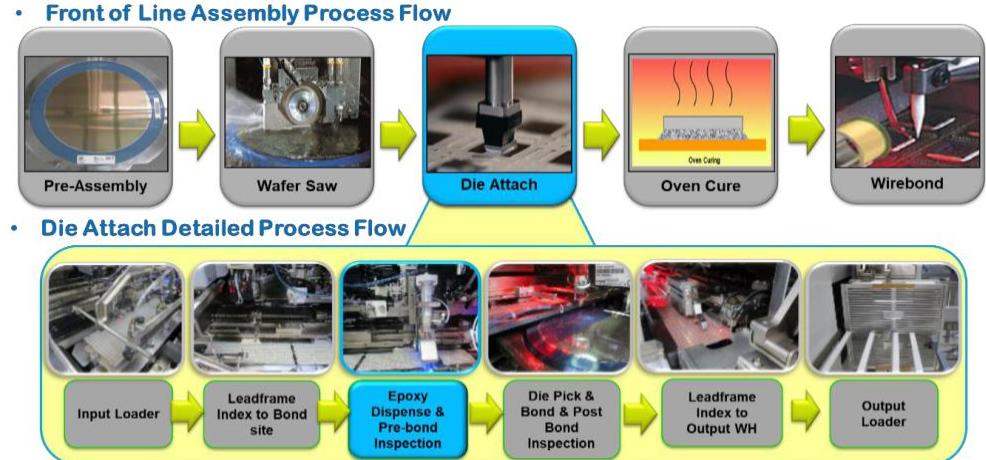


图 5: 贴片工艺流程图

2.3 了解点胶和贴片前检查工序

点胶针或点胶嘴按照控制的胶量向引线框架注胶。贴片前检查视觉控制系统负责确定点胶位置。贴片前检查是点胶机的一个出胶量检查功能，在贴片前先检查胶的实际覆盖图案与设定图案是否一致。如果胶涂覆在设定图案的绿线和红线之间，则是覆盖面积合格。PBI 贴片前检查功能还能检测胶量过多或不足缺陷，如果发现这类问题，点胶机会自动报警并停机。

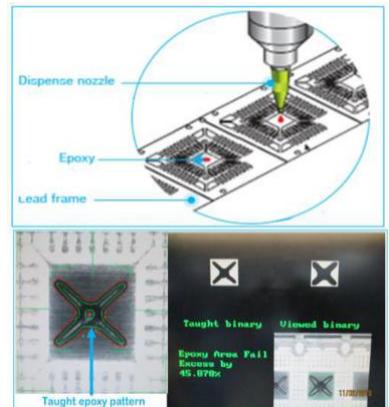


图 6: 点胶和 PBI 检查



图 7: 胶覆盖率评价标准图

2.4 了解出胶量不足问题

环氧胶应均匀涂覆在芯片下面。如果在芯片的每一面上没有 100% 涂胶，则被认为是出胶量不足。

2.5 分析最可能的原因

从前文流程图中确定的关键工序开始，项目小组用输入-输出检查表(简称“ I-O 检查表)，系统地分析造成出胶量不足的全部潜在原因。每道工序都经过仔细检查，从关键流程输入变量 KPIV 中找出潜在的 X 原因。最后，有 14 个 KPIV 变量被确定是与出胶量不足相关。

通过分析潜在因素与“关键质量特性分析”(CTQ)的关系，项目组使用因果矩阵给潜在因素优先级排序。因果矩阵的用途类似于鱼骨图，但因果矩阵功能更为全面，提供的被研究因素与输出响应之间的关系是可以测量的。在所有项目都经过因果矩阵优先级排序后，最初在输入-输出检查表中确定的 KPIV 变量从 14 个减少到 7 个。用标准的失效模式和影响工具分析评估剩余的 KPIV 变量。

风险的严重性、发生率和检测性分析或 FMEA 评分。根据这些分数计算出风险优先级或 RPN 值。RPN 值越高，KPIV 变量越重要。最终，使用 FMEA RPN 值选择了 6 个 KPIV 变量。

从这个 FMEA 验证中可以看到，有一项被确定为可能与出胶量不足有关的变量，在 FMEA 验证中被视为速效方案(Quick Wins)。图 8 是我们的 X 漏斗检查表摘要。在分析阶段采用统计方法验证剩下的 6 个 KPIV 变量或潜在原因。



图 8: X 漏斗检查表

3. 分析阶段

3.1 分析识别根本原因

我们用统计方法分析了剩余的六个因素或潜在原因，使用适合的统计工具检查这些因素对出胶量不足缺陷的重要影响。

3.2 识别根本原因 - 点胶机闲置时胶嘴堵塞

为确定出胶量不足的根本原因，我们进行了三项统计分析。首先是统计验证机器待机时间过长，点胶嘴是否堵塞，导致出胶量不足。我们评估了 0、5、10、15 分钟待机时间，然后检查出胶量是否随时间变化。使用双样本比例检验进行统计检验，获得的 P 值为 0.0477，机器待机 15 分钟出胶量发生明显变化的置信度为 95%。在待机 15 分钟后，观察到在点胶嘴中有胶堆积现象，这可能导致胶嘴堵塞，出胶异常，胶量不足。不过，在点胶机待机达到 10 分钟前，未发现出胶量不足缺陷。

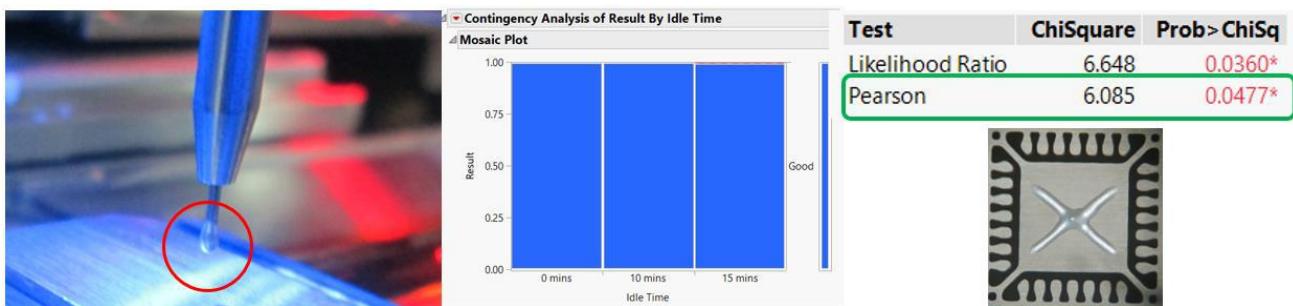


图9：识别根本原因 - 机器闲置时点胶嘴堵塞

3.3 识别根本原因-胶暂置时间过长而变干

第二个是统计验证胶暂置时间或干燥时间。胶干燥时间又称定形时间或湿法上胶时间，是树脂混合材料胶凝或变稠到不再能拉伸所用时间。胶干燥时间从点胶开始到芯片拾放或贴片为止。使用双样本比例检验进行统计检验，得出 P 值为 0.0106。在 75 分钟时胶反应发生明显变化的置信度为 95%。在贴片工序中，干燥 75 分钟的胶不能再拉伸或者涂覆，胶变干燥导致胶覆盖率降低。在干燥时间达到 60 分钟前，未发现胶覆盖不足问题。

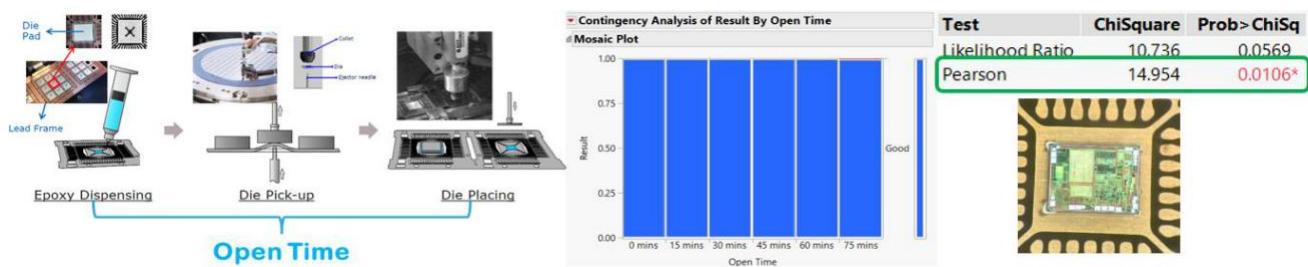


图10：识别根本原因 - 环氧胶暂置时间过长变干

3.4 识别根本原因-断尾参数不合理，可能致使点胶异常

第三个是统计验证断尾参数和胶覆盖不足之间的关系。断尾偏移量是胶嘴在断尾延时之前向上移动的高度。断尾延时是指胶嘴在移动到下一个焊盘位置之前在实际点胶位置上的停留时间。相关性分析表明，断尾参数与胶覆盖不足的正相关性很强，置信度为 95%。当胶嘴抬起过快，致使点胶尾部过程中断，覆胶图案残缺不全，发生胶覆盖不足的缺陷。

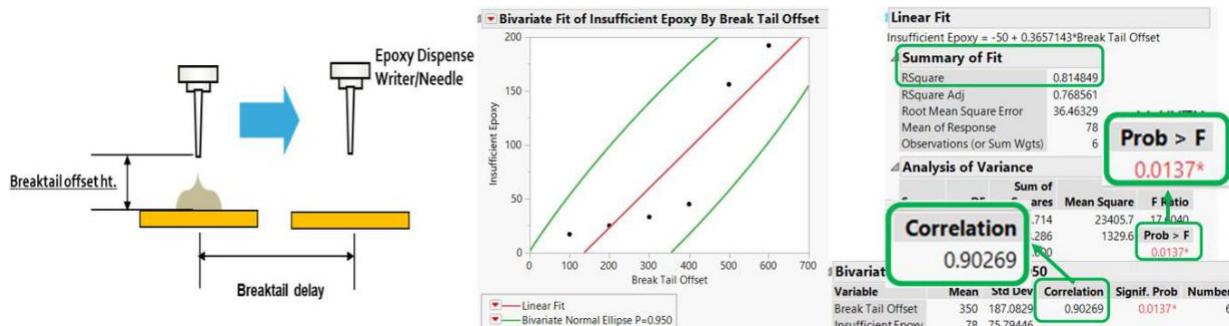


图 11：根本原因识别 - 未优化的断尾参数可能导致环氧树脂不规则分配

3.5 识别根本原因-贴片前检查可靠性低

项目组验证了当前 PBI 检测控制系统的准确性和有效性，使用 Attribute MSA(测量系统分析)分析方法确定贴片前检查视觉系统是否仍然可以可靠地发现胶覆盖率低的问题。Attribute MSA 报告显示，当前的 PBI 检查结果无效且不可接受。在粗糙的引线框架上，由于焊盘变暗，机器检查无法完全检测出第 9 列到第 11 列的覆胶图案。在粗糙引线框表面上对比度发生变化，导致贴片对准和胶覆盖检查错误频发。

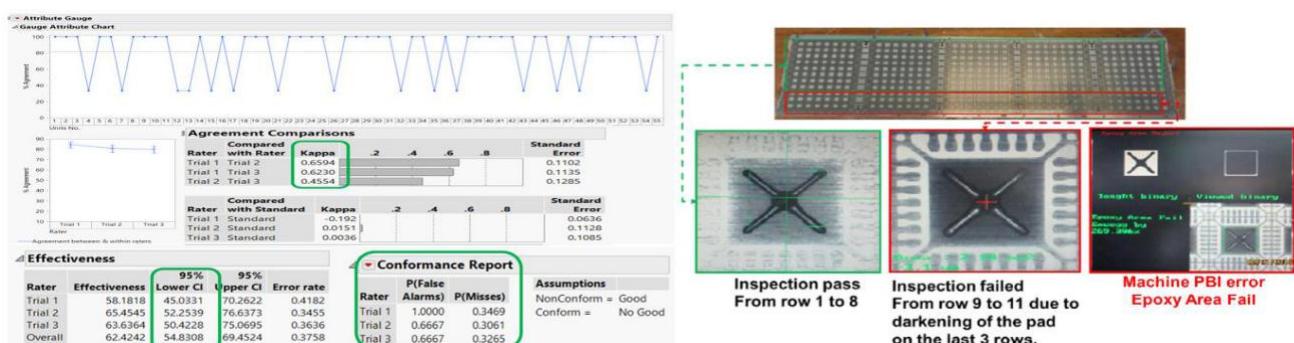


图 12：识别根本原因-贴片前检查可靠性低

在确定贴片前检查有问题之后，为找出导致检测不良的可能原因，我们用不同的砧块平面度和引线框架粗糙度测量值做了一系列统计验证，总体数据检验得到 P 值 > 0.5，贴片前检查的检测不良率没有显著差异的置信度为 95%，但是，在引线框类型测量时，检测不良率却存在明显差异，标准 PPF 引线框架没有遇到 PBI 问题，如图 15 所示。

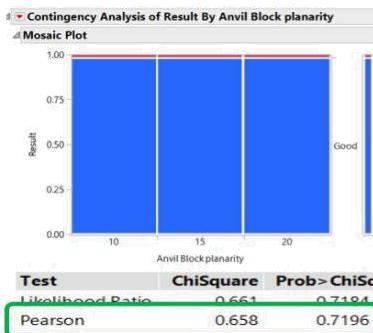


图13: 砧座平面度

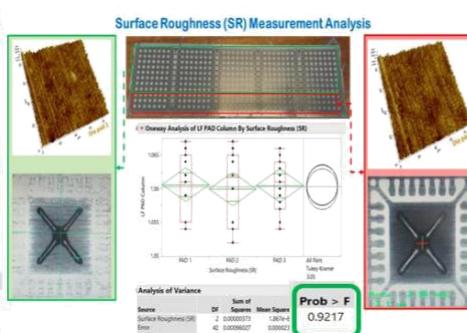


图14: 引线框焊盘的粗糙度

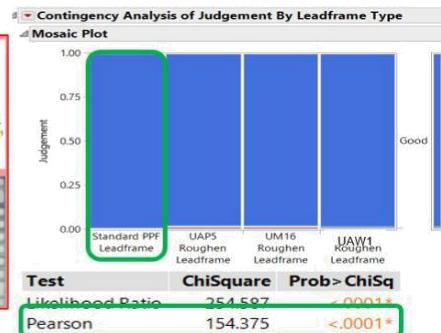


图15: 引线框类型

在对 6 个 KPIV 类别进行全部统计验证之后, 我们确定有 4 个 KPIV 是具有统计学意义的真实原因。

改进阶段

4.0 制定解决方案

4.1 基准

根据机器 OEM 厂商分析, 当前的贴片机 PBI 装置无法检测到粗糙引线框架上的覆胶图案, 建议换用售价 20.5 万美元的最新机型, 这不切实际, 项目小组需要找到替代的解决方案。

4.2 查阅相关文献

为寻找替代解决方案, 项目小组钻研光影科学原理, 进一步了解贴片前检查背后的科学, 并提出新的想法。

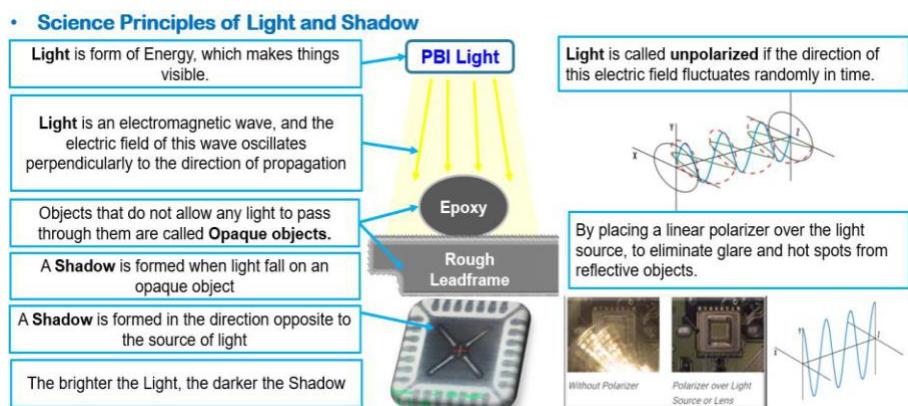


图16: 光影的科学原理

为解决引线框架上的光对比度反差大和不均衡的问题, 小组提出了一个新的想法, 用亮度更高的光源, 去除覆胶图案中的粗糙引线框架焊盘的深色图像。因为光线越亮, 阴影越暗, 所以, 消除阴影, 我们需要一个反射镜照射阴影。

4.3 替代方案评估

在识别真实原因之后, 我们提出了所有的替代解决方案, 并评定预防程度、效果、成本、风险和安全性。预防是我们识别替代解决方案的指南。

Priority	Rating	Error Proofing Level		Effectiveness	Cost	Risk of Failure	Safety
High	9	EP 1	Error Elimination	High Effective	No Cost	Very Low (0 Defect)	No Safety issue
	7	EP 2	Error Prevention	Moderate Effective	Less Cost <1K USD	Low Risk (1 Defect)	Low Risk
	5	EP 3	Error Detection/Defect Prevention	Low Effective	Moderate Cost 2-5K USD	Medium Risk (2 Defect)	Medium Risk
	1	EP 4	Effect Detection @ Source				
	Less	EP 5	Effect Detection @ Post Process	Not Effective	High Cost >20K USD	High Risk (>3 Defect)	High Risk

Solution Type Category

Novel	New/ Unique solution not present on other existing machines
Innovative	Out of the Box thinking using resources on-hand into useful tool or solution
Benchmark	Fan-out project type coming from different sites, plant or same machine technology

表1: 选择标准

4.4 替代解决方案

经过小组评估，每个项目确定 4 个应对措施，选择评分最高的应对措施解决出胶量不足的真正原因。通过统计分析法验证这些应对措施。

表 2: 选择最佳的替代方案

No.	Valid True Cause	Alternative Solution	EP Level	Solution Category Type	Selection Criteria				Score	Decision
					Effectiveness	Cost	Risk of Failure	Safety		
1	Dispense Nozzle Condition	Implement Auto dispense nozzle cleaning Change Dispensing Tool into Stamp tool	2	Innovative	9	9	7	9	34	GO
2	Epoxy Staging / Open Time	Study the workable idle time of Auto dispense nozzle cleaning. Change Epoxy material properties	2	Innovative	7	5	7	9	28	NO GO
3	Break Tail Parameter	Optimize the Break Tail Parameter Change Epoxy material properties	2	Innovative	9	9	7	9	34	GO
4	Polarized lighting PBI Setting	Evaluate suitable setting of PBI. Qualify the product to higher machine model Change Material Leadframe	2	Innovative	9	7	7	9	32	GO
			2	Benchmark	9	1	5	9	24	NO GO
			2	Benchmark	9	1	5	9	24	NO GO

4.5 断尾参数优化方案

实用结论: DOE 实验设计等高线和曲面图的分析结果建议，将断尾延时参数范围设定在 100-300 ms 之间，断尾偏移量设为 250-450 点。

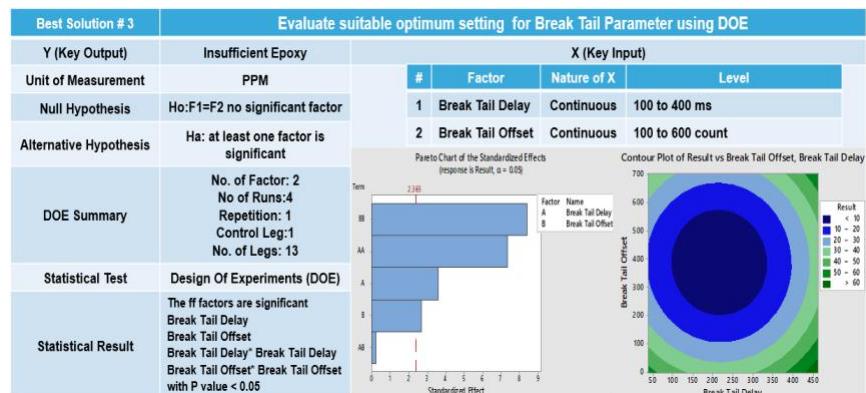


图 17: 使用 DOE 优化断尾参数

4.6 贴片前检查装置优化方案

实用结论: DOE 交互作用图显示，为了提高良率，我们需要在 PBI 上安装双面照明的超亮光源。

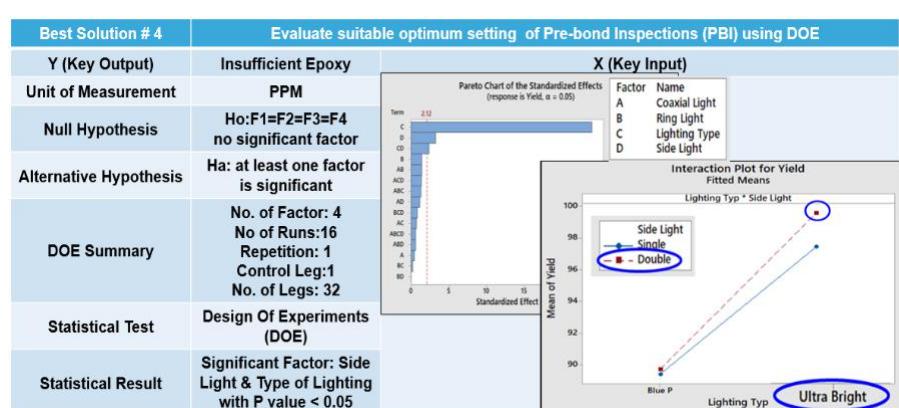


图 18: 使用 DOE 优化贴片前检查装置

MSA 属性报告表明，在安装双面照明的超亮光源后，新 PBI 工具的检测控制功能有效且可以接受。

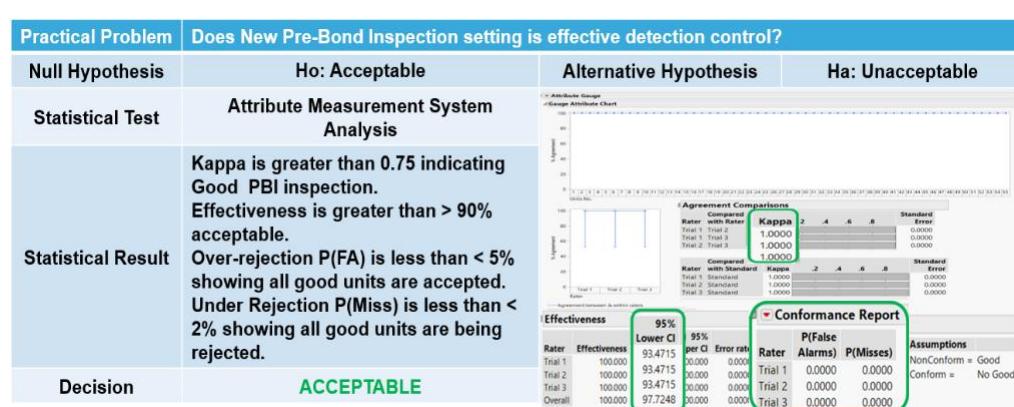


图 19: Attribute MSA

4.7 分析潜在问题

在实现最佳解决方案之前，我们进行了潜在问题分析，确定了应对措施，以解决在实施过程中可能出现的潜在问题。

4.8

解决方案实现计划

在 2018 年 5 月至 8 月，我们用计划-执行-检查-改进 PDCA 方法，实现了最终确定的最佳解决方案。

表 3：解决方案实施计划

Best solution	Potential Problem	Potential Cause	Preventive Action			EP Level	Responsible	Target	Status
Implement Open time until 60 minutes.	Wrong Parameter used	Altered parameter	Update DA e-Parameter, Update Recipe Management System (RMS) and Lock the parameter.			EP2	Michael D. Capili	MAY 2018	Done 
Implement Auto Nozzle Cleaning every 10 min machine idle	Wrong Parameter used	Altered parameter	Update DA e-Parameter, Update Recipe Management System (RMS) and Lock the parameter.			EP2	Michael D. Capili	JUNE 2018	Done 
Implement Optimize Break tail parameter Break Tail delay from 100 to 300 ms and Break Tail offset is from 250 to 450 count	Wrong Parameter used	Altered parameter	Update DA e-Parameter, Update Recipe Management System (RMS) and Lock the parameter.			EP2	Michael D. Capili	JULY 2018	Done 
Use Ultra Bright Light with double side light for PBI.	Lack of availability of Ultra Bright Light with double side light	No spare part	Update requirement & Inventory in DA Tooling Management			EP3	Leandro Saria	AUG 2018	Done 

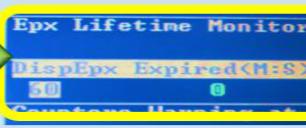
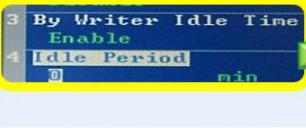
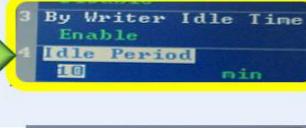
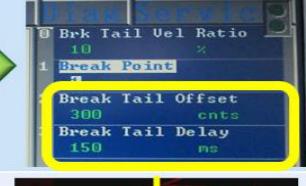
表 4：潜在问题分析

PDCA	PLAN			DO					CHECK		ACT	
	Valid True Causes	Best Solution	Steps	Implementation Date					Result Monitoring	Learning	Status	
				Plan vs. Actual	MAY 2018	JUN 2018	JUL 2018	AUG 2018				
	Insufficient Epoxy Dispense due epoxy dry up.	Implement open time until 60 minutes.	Documentation DA e-Parameter & RMS Update	Plan Actual					Mike C.	20.74% PPM Reduction	Error Proofing the System	Done 
	Insufficient Epoxy Dispense due incomplete dispense pattern.	Implement Auto Nozzle Cleaning every 10 min machine idle	Tooling Availability DA e-Parameter & RMS Update	Plan Actual					Mike C.	13.80% PPM Reduction	Error Proofing the System	Done 
	Insufficient Epoxy Dispense due incomplete dispense pattern.	Implement Break tail delay range from 100 to 300 ms and Break Tail offset is range from 250 to 450 count	Documentation DA e-Parameter & RMS Update	Plan Actual					Mike C.	16.86% PPM Reduction	Error Proofing the System	Done 
	Poor detection of insufficient Epoxy Dispense (PBI)	Use Ultra Bright Light with double side light for PBI.	Tooling Availability Installed on Die Attach Machine	Plan Actual					Andro S. Mike C.	46.98% PPM Reduction	Error Proofing the System	Done 

4.9 实现最佳解决方案

以下内容描述了已实现的最佳解决方案的详细信息以及其错误预防程度。

表 5：实现最佳解决方案

Best Solution	EP Level	Before	After
#1 Implement OPEN TIME 60 mins is allowable epoxy staging time. More than 60 mins the machine will auto skip the leadframe in bond process.	2		
#2 Implement Auto Nozzle Cleaning every 10 min machine idle. More than 10 min machine idle, the machine will perform Auto purge / Auto Nozzle Clean.	2		
#3 Implement Optimize Break Tail parameter. Break tail delay range from 100 to 300 ms and Break Tail offset is ranger from 250 to 450 count base on DOE.	2		
#4 Use Ultra Bright Light with double side light in Pre-bond inspection for PPF Leadframe.	3		

4.10 实现成果

在执行预定应对措施后，2018 年最后一个季度，我们观察到，UM16 的环氧胶覆盖不良率平均为 2 PPM，优于 300 PPM 的目标，提高了 99.8%。

IE 部门计算并证明，从 2018 年 8 月所有最佳解决方案执行后开始计算，年化节省成本 1.686 万美元。

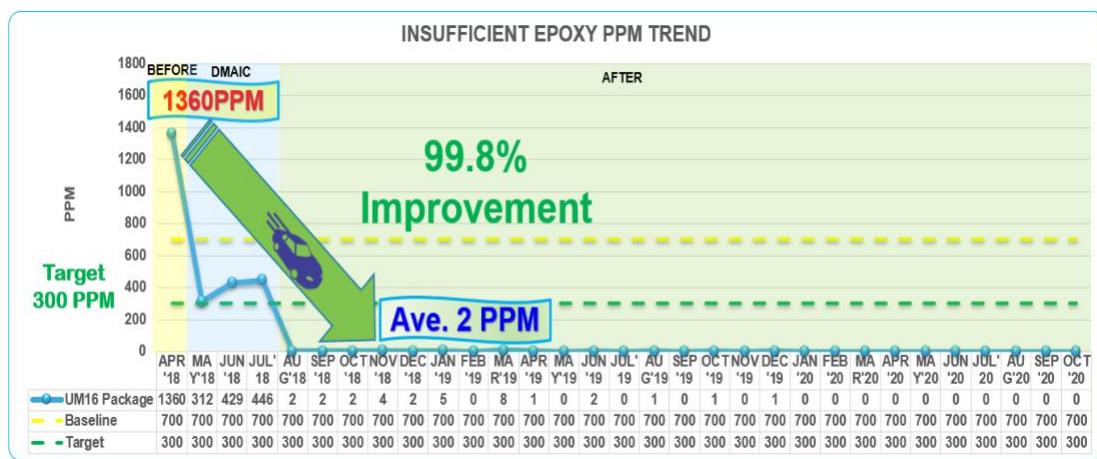


图 20：UM16 胶覆盖不良率 PPM 趋势

UM16 贴片良率从 99.36% 提高到 99.98%，良率提高了 62%。总体而言，2018 年 4 月到 12 月，UM16 芯片良率提高，保持在 99.68%，超过了 99.5% 的良率目标。

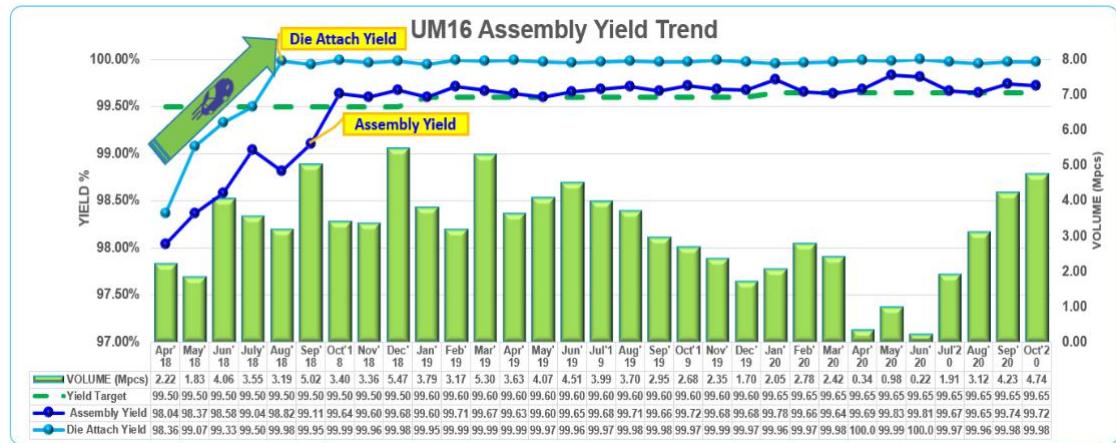


图 21: UM16 封装和贴片良率

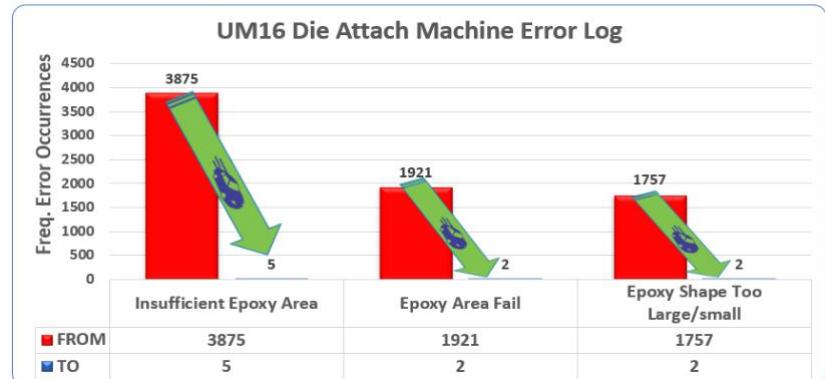


图 22: UM16 机器错误日志

5. 控制阶段

5.1 标准化

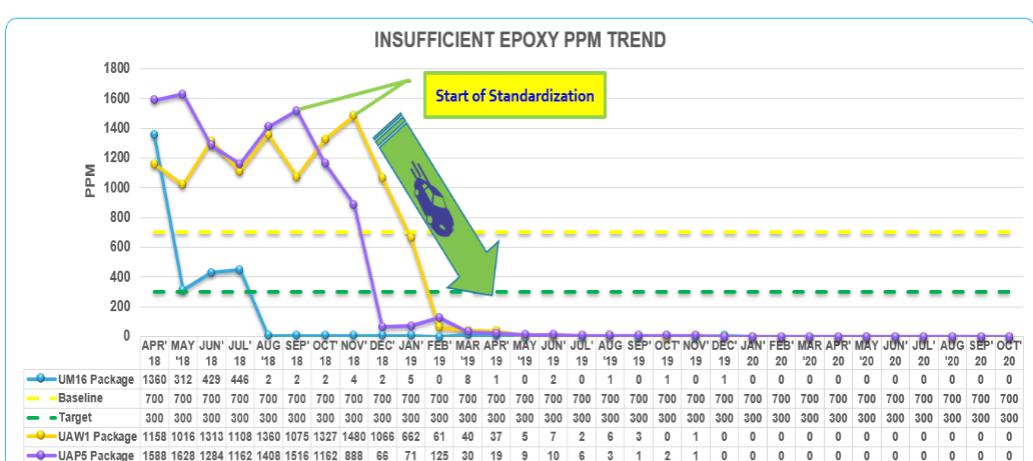
因为我们知道应对措施的一致性和可持续性十分重要，所以小组创建了所有相关文件资料，以反映我们所执行的全部改进措施。同样，还召集所有相关人员开了工作部署会议。

#	Action Item	Responsible	Doc # / Rev	Remarks
1	Generate PMCS (Process Change Management) for all the Changes.	Michael C.	PCMS # PTM_CAL_054478 Class 2	
2	Update the Die Attach Recipe Management	Michael C. Rodrigo M.	MRS Recipe # A8152653	
3	Update Die Attach eParameter & Tooling Matrix and deploy.	Robert H. Reniel P.	Spec# 8585314 Per Product/device	
4	Update the Die Attach Work Instruction procedure and deploy.	Michael C.	Spec# 8511034	
5	Update OCAP spec	Michael C.	Spec# 8585314	
6	Update FMEA's	Michael C.	FMEA# F00004110 FMEA# F00007193	
7	Update Preventive Management	Leandro S.	Spec# 8185999	100% Completed

表 6: 标准化

5.2 结果标准化

在接受最佳解决方案的有效性之后，在适用机器和有相同粗糙引线框架的产品中安排执行创新推广计划，复制成果。



标准化结果表明，其他的采用粗糙引线框架的封装同样降低了胶覆盖不良率 PPM。

图 23: 结果标准化