



带领工厂质量建设 进入到下一个阶段

作者:SELIM NAHAS

应用材料公司正在开发一种质量改进策略,此策略以一种内聚性和自动化的方式结合质量数据,并将结果映射到失效模式与影响分析(FMEA)系统中,为用户提供行动建议。

随着工厂自动化系统的发展和演化,现在大多数晶圆厂发现自己拥有大量的生产数据,但是这些数据并未被充分理解、排序或集成。因此,这些数据在很大程度上并未用于决策。

在提高产品质量时,这种缺乏整合的情况导致了两个根本问题。首先,质量可视化仍然依赖手工操作。其次,数据不能用于实时决策来减少缺陷。

为了克服这些问题,应用材料公司提出一项策略,该策略可将尚未充分有效利用的关键制造原则统一起来。检测是该策略的核心,与持续改进和风险管理的方法密切相关。此外,公司还提出一种归档策略,以此来快速而准确地审核数据。

在竞争激烈的半导体行业,最大限度地降低生产成本是关键。报废是催生销货成本(COGS)的一个重要因素。在设备制造中,减少销货成本和实现零缺陷是主要优先事项,因此使

用端到端质量原则采集工厂数据的新方法是必要的。快速准确地识别不合格在制品(WIP)的能力也是减少不合格品,以及更快、更有效制定决策的关键(图1)。

然而,如果您询问一位自动化专业人士,有多少数据实际用于决策,大多数人会说,是在5-10%之间。在许多情况下,我们都很清楚,如果能够以达到标准的速度来获得结构化数据,就可以从数据集中获取价值,但其庞大的容量构成了根本性的挑战。这是因为这些系统有许多使用实时高速数据并且必须协同工作的运动部件。从根本上说,这意味着我们现在必须关注分布式架构和新的算法。

让每个信号都发出声音

在过去六个月里,应用材料公司的一个团队一直在开发 Applied SmartFactory® 自动化异常处理平台。此专家系统可实时解释现有晶圆数据,以实现更大程度的异常检测,旨在让每个信号都发出声音,以决策形式最终促成行动。这种结构化方法将成为未来工厂系统使用人工智能(AI)/机器学习(ML)原则的基础。

应用材料公司团队工作的现实依据是,大多数计算机集成制造(CIM)解决方案通常都会以错误的代码和消息的形式显示数千个信号。然而,这些信号经常被忽视,因为(1)它们没有着陆点,(2)它们往往含混不清,以及(3)基本设计中没有考虑到它们的全局影响。

带领工厂质量建设 进入到下一个阶段

设计良好的系统会考虑制造环境中信号和测量结果的相互依赖性，允许用户有效地关联信号。通过关联这些数据，用户可以专注于真正对质量有影响的元素。

由于晶圆厂可能维护着 30,000 到 150,000 个统计制程控制 (SPC) 图，并且很容易就拥有超过一百万个故障检测图，因此任何能够在保持或提高预期质量的同时减少所需图表数量的策略都可能具有价值。然而，说起来容易做起来难，这需要高级专家系统原则。

客户要求更高的品质

日益严格的客户要求驱动着对更高质量的需求。例如，汽车行业是增长最快的行业，预计未来两年的复合年增长率 (CAGR) 为 9-11%。在过去的五年中，汽车中使用的半导体设备的数量增加了两倍，目前大约 22% 的汽车保修退货产品实际上是电子产品。所有这些增长带来了质量要求上的巨大变化，因为半导体使汽车制造商为客户寻求的高级功能成为可能。

此外，制造汽车设备通常需要新的材料和大量使用记录，因为这些设备将在严酷的环境条件下运行多年 (图 2)。

例如，大约 80% 的汽车元件在 200 毫米或以下的生产线上生产，而碳化硅 (SiC) 等新材料越来越受欢迎。然而，SiC 晶圆没有 300 毫米尺寸，通常也没有 200 毫米尺寸，所以这些更高的质量挑战都落在了使用老一代设备和系统的晶圆厂身上。

将晶圆测量与传感器跟踪相关联

定义一个将晶圆测量结果与传感器跟踪数据相关联的系统 (例如，虚拟量测) 需要强化它们在时间和结构上的关联。应用材料公司正在开展大量活动，配置这些原则，以期应用预测性维护 (PdM) 原则和加强抽样策略。

| 商品成本 | 成熟 | 新产品引入 |
|--------------------|----------|-----------|
| 原料: 消耗品 (化学品、测试晶片) | 15-35% | 25-45% |
| 设备占用时间 | 因厂而异 | 因厂而异 (更高) |
| 设备调优时间 | 因厂而异 | 因厂而异 |
| 系统资源 - IT 基础架构 | | 更高, 实验室数据 |
| 人工异常处理 | 0.5-2.5% | 6-38% |
| 制程良率 | 1-4% | 15-60% |
| 污染防控 | 2-8% | 2-15% |

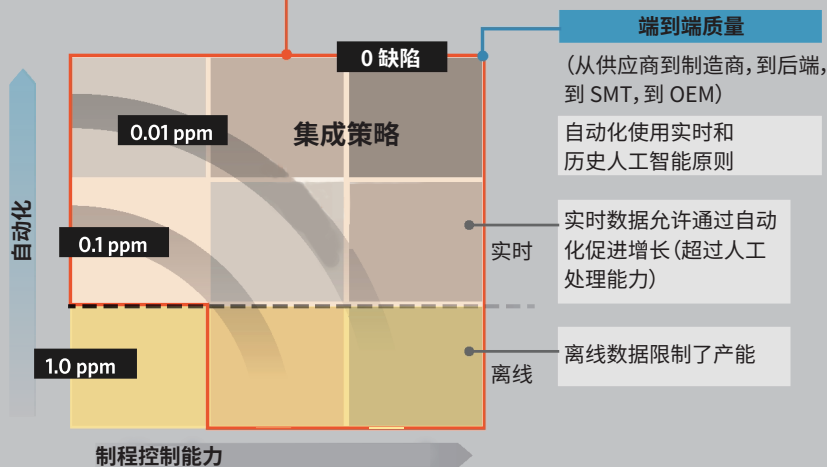


图 1. 顶部图表显示了新产品引入对销货成本的影响。从 1.0ppm (现今大多数制造商的性能水平) 转向零缺陷能力, 需要广泛的自动化和制程控制能力。

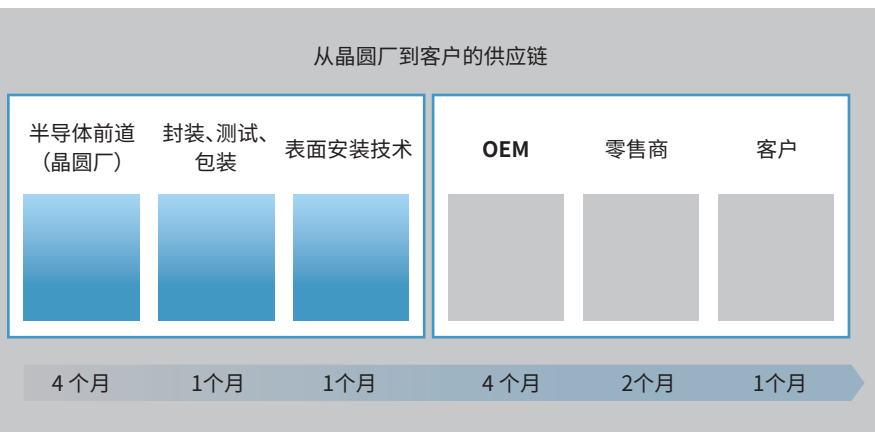


图 2. 需要一种有效的归档策略, 以帮助审计两年后在汽车和其他应用中可能发生的未来市场收益。

带领工厂质量建设 进入到下一个阶段

应用材料公司的团队正在开发一种方法来构建、集成和解释来自晶圆测量的数据,从而实现更高的质量。这需要定义每个测量结果以与其各自的工艺配方相匹配。这也意味着系统将不再以一种离散的方式看待单个的工艺步骤,而是将多个工艺步骤解释为多种制造属性之间的单纯的相互依赖关系。因此,我们将不再基于单个图表来做决策,而是评估导致当前测量结果的所有工艺步骤及其对变异的影响。

此项目源于应用材料公司通过构建工艺和设备 FMEA 获得的专业知识,显然,在该领域,高质量决策所需的变量数量超过了人类认知能力的容量。此外,可以应用某些实时分析技术在来自 FDC 和 SPC 的数据中寻找模式,并将它们映射到人类可以用作自动化操作输入的内容。

统一统计制程控制 和故障检测

首先,我们必须定义一种关系来建立因果关系。此后必须立刻引入可变性,简化功能,以提高用于关联的数据集的质量。主要要求基于两个基本原则:(1)系统必须允许 SPC 和 FDC 数据同时可视化;并且(2)必须就每一个可能的制程运行活动,自动以相互对照的方式评估这两项数据。

例如,图3显示了 SPC 图的结果,其中包含从站点层面上进行分析的数据,这些数据未能通过专有的变异统计测试。蓝点表示传统 SPC 测量数据集中的站点层面故障。图4显示了一组晶圆样品在不同站点的差异。红色表示未能通过变异测试的站点。这些结果被映射到物理坐标系上,以寻找模式中的意义。

数据必须转换成真正有用的数据,因为尽管 SPC 及故障检测和分类 (FDC) 系统提供一种合理的方法来检测偏差,但它们几乎没有提供关于变化根本原因的洞察。测量到的异常和模式映射将提供对故障来源更有效的洞察。

数据中的征兆

SPC 和 FDC 在设施中的典型运行方式存在一些常见缺陷。例如,一个 SPC 图表包含 12 到 40 个原始数据站点,可通过视觉变化模式来解释根本原因。虽然这不是新概念,但大多数质量系统仍未实施数据审查。增强这种能力的指导原则通常可以在单独的良率管理系统 (YMS) 和缺陷管理系统 (DMS) 中找到,这些系统试图赋予晶圆缺陷模式意义,以识别其来源。

同时,对于故障检测,我们通常设置限制来监控警报,并了解系统在给定工艺配方的额定条件下如何运行。但对于将视觉测量数据与传感器数据相关联的策略,此限制范围内的变化具有意义。虽然实时诊断的能力可以通过自动化系统来实现,但人类很难足够快地识别和规避晶圆的质量风险。

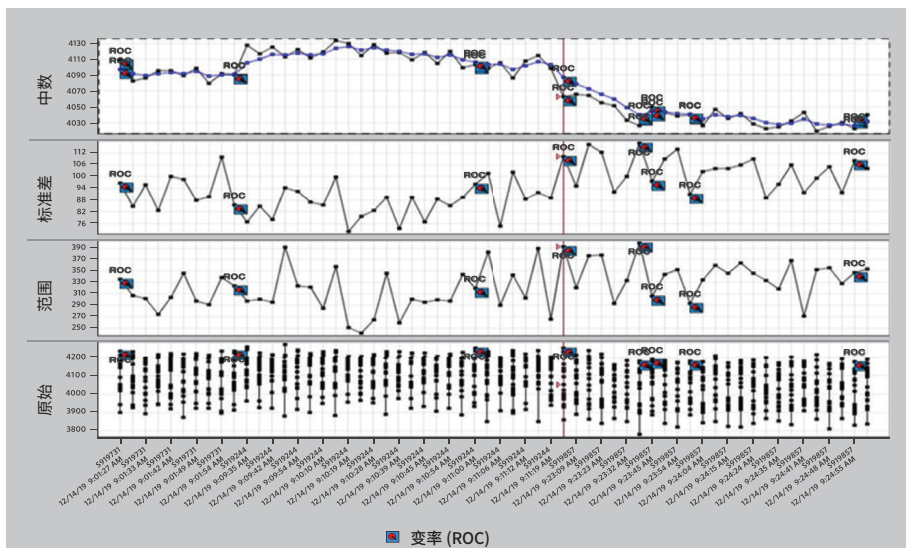


图 3. 此 SPC 图表显示了从站点层面上分析数据的结果,这些数据未能通过变异统计测试。蓝色的方块代表变更失败率。

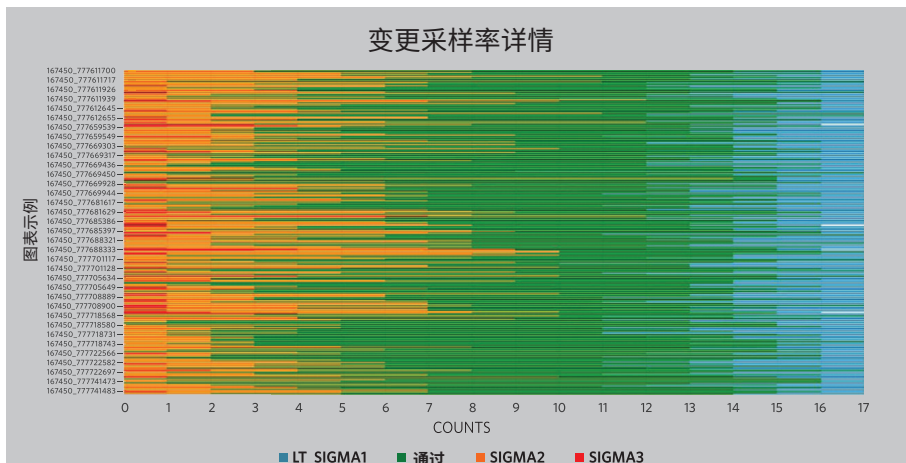


图 4. 此样本显示了 17 个站点的测量结果。红色的点表示这些变化对量测统计数据产生了明显的异常。

带领工厂质量建设 进入到下一个阶段

必须承认,在用来解释限制和行动的数据上设置边界总是具有挑战性。例如,改变设备组件的部件类型和供应商等设备干预活动,可能会导致变化。此外,不同特性的设备在使用相同的工艺配方下也会逐渐差异化。秘诀在于辨别要监控的适当时间和传感器子集,以了解给定产品和工艺配方制程的实际能力。这必须成为自动化操作,否则将无法满足晶圆厂更广泛的需求。如前所述,必须使用自动化对 SPC 数据进行持续的验证。

IP 敏感性和其他问题

可用于解决特定问题的技术也必须对信息共享 (IP) 问题和互联网协议控制敏感。晶圆厂如希望在整个企业中应用机器学习和人工智能自动化能力,就需要确保自己的供应商不违反非竞争/保密协议。这是必要的,因为将内联 SPC 数据与故障检测数据相结合的策略不可避免地还必须考虑来自竞争对手供应商的来料问题。

这些问题历来给开发此类系统创造了许多障碍。但为了实现更高的质量,我们必须在提供相关信息的同时满足保密要求,以便在晶圆厂生产现场做出适当的决策。此类决策的案例会区分测量失败是产生于当前设备组还是上游设备组。

仅在产品变化、预防性维护、化学变化和和设备腔体接合之间做出分类非常困难。因此,如果我们高度确定设备是否出现异常偏移或出现渐进故障,我们就需要了解所有这些方面。

在设施中,一个关键的挑战是信息不按顺序出现。与测量一个或一批晶圆相比,生产操作的顺序对数据解释具有重要意义。另一个挑战是在我们的行业中经常出现的高混合/数量低问题。

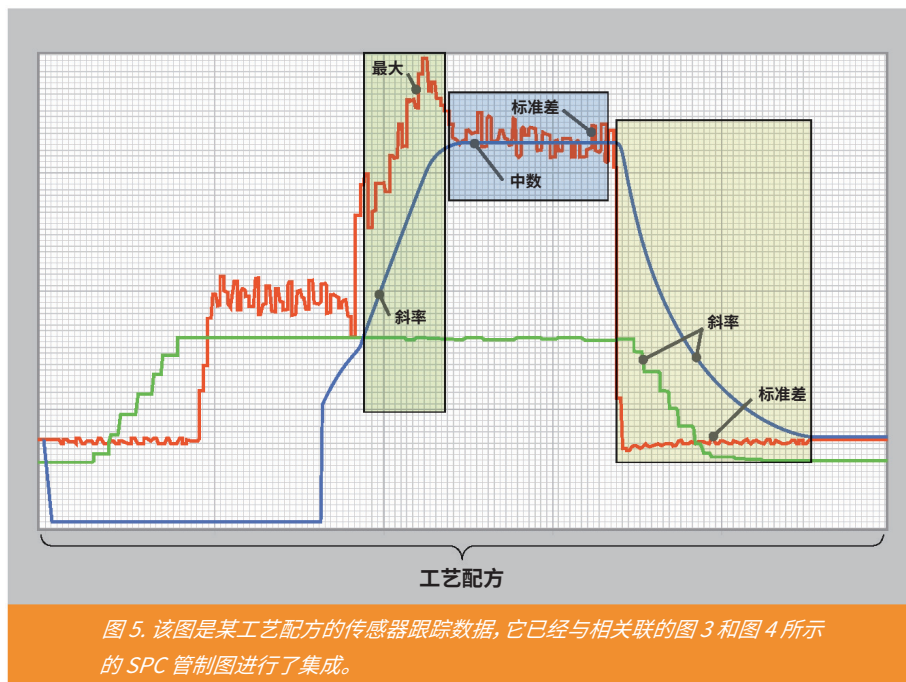


图 5. 该图是某工艺配方的传感器跟踪数据,它已经与相关联的图 3 和图 4 所示的 SPC 管制图进行了集成。

展望新视野

应用材料公司正致力于将 SPC 和 FDC 数据以一种内聚性和自动化的方式结合起来,然后将结果映射到 FMEA 系统,为用户提供行动建议。这一措施是开发未来系统的第一步,该系统将助力在晶圆厂采用人工智能。目前,此系统可被视为处理数据结构和可变性的高级专家系统。

前进的路线越来越清晰,在生产设施中的测试开始展现出有前景的结果。下一步我们将获得更多的经验,并最终扩展到设施的其他部分,包括电气测试。

Selim 领导应用材料公司自动化工艺质量部。

如需了解更多信息,请通过

selim_nahas@amat.com 与他联系

关键词:FDC;SPC;人工智能/机器学习;晶圆缺陷;模式变化;质量改进;晶圆变化;专家系统;传感器跟踪



www.appliedmaterials.com



Nanochip 晶圆厂解决方案 现提供环保的在线版本。

如需索取在线版本或申请个人文章转载,

请发送电子邮件至 nanochip_editor@amat.com。

所有被指定为产品名称或服务,或者以其他方式标为产品名称或服务的商标,均为 Applied Materials, Inc. 在美国和其他国家/地区的商标。本文中包含的所有其他产品和服务商标均为其各自所有者的商标。