



端到端数据管理对于满足汽车电子产品的可靠性需求至关重要

汽车制造商需要更强大的电子系统。然而芯片供应商在寻求机会把握该市场的时候，却面临着一个两难的境地：为消费电子产品而优化的质量控制系统，无法交付给一个产品必须运行数年而不是数月的行业应用。Onto Innovation 诠释了为什么高级数据管理是未来成功的关键。

作者：Mike McIntyre, Onto Innovation 软件产品管理部门总监

汽车应用中快速增长的电子部分揭示了两个行业在可靠性预期方面的巨大差异。汽车制造商考虑的是几十年的使用寿命，而电子产品可能在几十个月内就会过时。汽车市场肯定不会采纳电子消费者的有限预期，因此电子工业有责任提高可靠性和延长产品寿命。

电子制造商在制程良率驱动的环境中成长起来的，他们必须将重点转移到产品的可靠性上。对于检测和量测系统的供应商来说，这种转变至少体现在两个重要领域：系统性能和数据管理。为了加强制程控制和减少缺陷，量测系统必须更加精确，检测系统必须更加灵敏。

为了改进可靠性，需要增加量测和检测程序，这将造成收集、储存和分析用于提取可执行信息的数据海啸。最重要的是，电子产品制造商需要数据管理系统以便在日益复杂的产业链中提供晶粒（die/裸片单元）级别的可追溯性。尽管半导体制造商长期以来一直在收集大量的数据，多达90%的数据通常被搁置且不会被提及。一些对高级数据存储行为的预测超过了这个数字，估计多达99%的数据将被主动挖掘存储。最大的挑战之一可能来自于文化方面，如何说服每个供应商在“可信来源”的基础上进行互动并提供数据访问。

在汽车工业史上的大多数时候，对可靠性问题的关注集中在机械系统上。这种关注正在迅速改变，因为汽车工业的电子器件部分的份额/占有率正在快速增长着，电子元件的数量以指数速度增长，且每一个都有可能成为潜在的故障点。如果将器件在单个晶体管层面计数，这个数字马上就会变成天文数字。百万分之一的器件故障率是不够的，甚至十亿分之一器件故障率也会导致无法接受的系统故障。尽管零缺陷的质量控制在字面

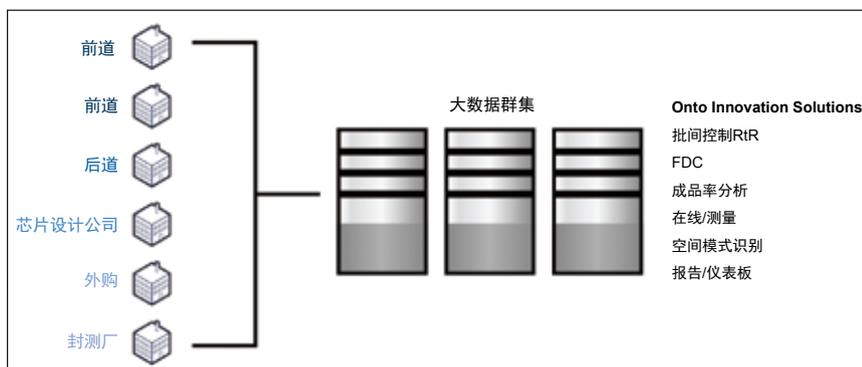


图1. 日益复杂的电子制造产业链的数据收集和管理需要将数据存入一个中央集中数据库，在这个数据库中，不同的数据结构事先校准，以便能够迅速、彻底地分析和提取可执行数据。

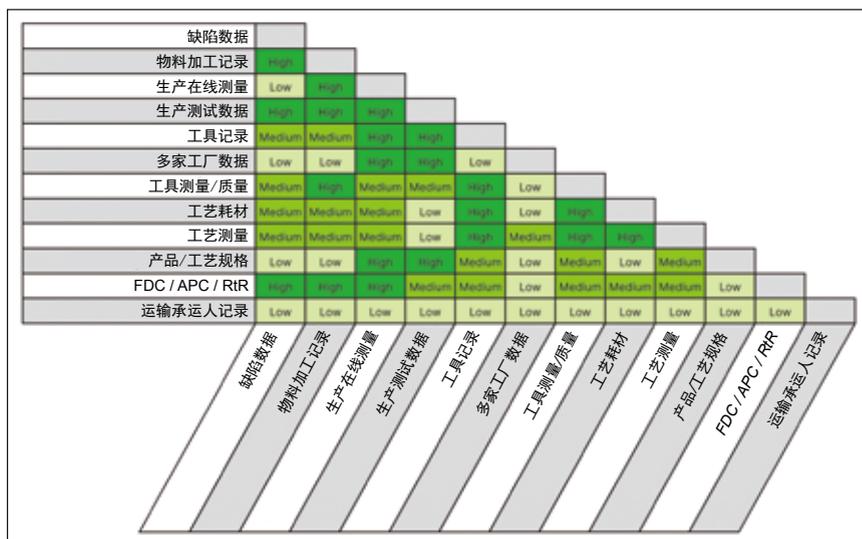


图2. 这张图表强调了整合访问从不同来源获取的预校准数据的重要性，它显示了来自任何两个来源的数据在晶圆厂层级的问题解决场景中相互作用的可能性——高、中、低。

意义上不可能实现，但这个术语捕捉到了一个可持续改善计划的基本前

提，那就是达到“无故障级别”。

汽车工业拥有完善的测试和质量保证系统。零部件在一个有着大量振动和大幅度温度波动的不洁的、苛刻的环境中预期可以工作18年。在一个有着成百上千个零件的机械系统中，百万分之几的故障率并不过分。电子工业对质量和控制也有严格的要求，但从历史上看，它的重点是提高在制程结束时功能器件的良率。相对较短的产品寿命需求让重心较少放在长期可靠性上，大多数电子元件被设计成在相对良性和可控的环境中工作。

产品责任是两个行业之间的另一重要区别。很少有应用于汽车的消费

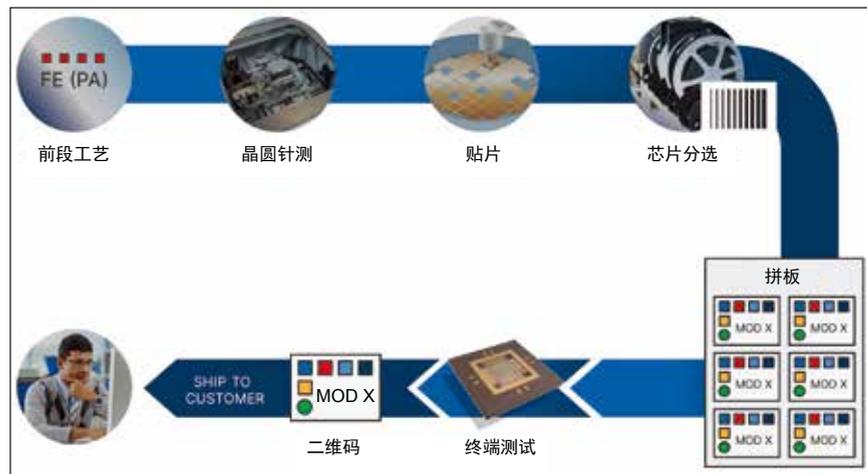


图3. 晶粒级可追溯性要求跟踪单个晶粒，因为它们在制造过程的各个步骤中被不断重新调整配置——从芯片分选到拼板再到模块——每次重构在不同的供应商处经常发生。

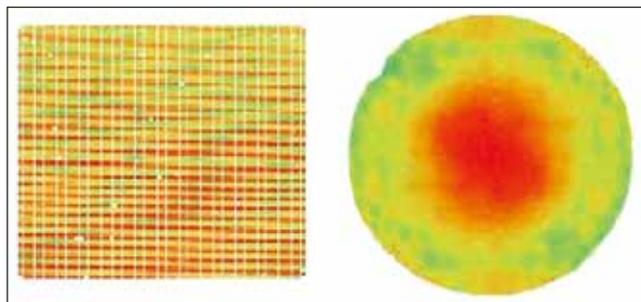


图4. 反向映射可以揭示不明显的空间关系。工程师们在面板片测试结果的视觉呈现中观察到一种特征性条纹图案。反向映射结果展示了原始晶粒在晶圆上的位置，从而揭露了前端工艺出现问题。类似方法可以用于鉴别有失效风险的晶粒。

电子产品会给用户的健康和带来重大风险。对电子装配来说，产品可靠性的一个更独特的方面来自于成品组件的整体特性。一个组件可能由多个芯片和数百万个无法单独修复的晶体管组成。如果组件失效，所有这些组件都将被废弃。对废品的财务责任会转嫁到上游，因此提供缺陷晶粒的供应商最终可能要承担整个组件的费用。这种模式可能适用于手机或智能手表，但不适用于汽车。

目前的趋势只会更加强调可靠性。虽然电子元件的数量及其份额正在迅速增长，但专家们也指出：使用模式正在发生变化。如今，汽车通常大部分时间都停放在那里不被使用。如果我们进入一个无人驾驶汽车可以通过共享经营、按需行驶的时代，汽车的使用率可能接近 100%，一年可以行驶数十万英里。

为了迎接这些挑战，电子工业将不得不从根本上将重点从制程良率转移到产品可靠性上。在可靠性故障成本远远超过良率损失成本的环境下，废弃名义上合格零件的可靠性和测试方法可能得到更广泛地采用。这方面的例子包括保护带设置和参数零件平均法，前者会将位于已知缺陷附近的器件废弃，后者采用零件均值方式，废弃那些统计学的离群值，即使它们

在工艺制程规格范围内。工艺工程师、检测及量测系统供应商必须集中精力，用更严格的制程控制、更精确的测量和更灵敏的检测找到可靠性故障的根本原因。此外，

电子制造商需要在发展得愈加复杂的产业链上，提供详细可见性的数据管

理工具实现端到端的制程控制。

召回控制

一旦一个失效零件从一个已经经过分析并确定了失效原因的区域退回，汽车制造商必须迅速确定有哪些其它车辆包含可能因相同或相关原因失效的部件。晶粒级别的可追溯性(有时也称为谱系学)允许工程师回顾整个生产过程，找到具有相似特征或历程的晶粒。这些特征可能包括常见的材料批次、加工设备、事件、时间、

| Parameter | Histogram | % Failures (Specification) |
|---|-----------|----------------------------|
| WAT-tm_d077e_R515_CZTEOS1_MEAN (F/mm2) | | 17.5439% |
| WAT-tm_d077e_R012_CTEOS1_MEAN (F/mm2) | | 14.0351% |
| WAT-tm_d077e_R410_TEOS2_C_MEAN (F) | | 1.7544% |
| WAT-tm_d077e_R052_TTEOS2_MEAN (m) | | 1.7544% |
| WAT-tm_d077e_R438_RVIAS1__U_MEAN (Ohm/KL) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R482_T2PY_GX_NW_MEAN (m) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R056_Q8D_GX_SK_MEAN (C/cm2) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R054_Q8D_GX_EP_MEAN (C/cm2) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R486_T2PY_FX_SK_MEAN (m) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R443_RSPP__U_MEAN (Ohm/sq) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R370_BV5NProt_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R039_RSMET1_MEAN (Ohm/sq) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R167_BV_40PCH_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R456_UBD_GX_EP_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R183_RON40LDM_MEAN (Ohm mm) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R507_PY_FX_EPC2_MEAN (F) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R236_BVPCH_SM_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R439_RVIAS2__U_MEAN (Ohm/KL) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R136_BV_SNCH_SM_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R189_BV_SPCH_ep_MEAN (V) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R066_CNTNP_LK_MEAN (A) | | 0.0000% |
| WAT-tm_d077e_R271_BVPP_NZ_MEAN (V) | | 0.0000% |

图5. 这个列表是一个具备大量变量的案例，必须加以监控。自动化的程式可以不断地挖掘集成数据存储来发现新的极端案例。

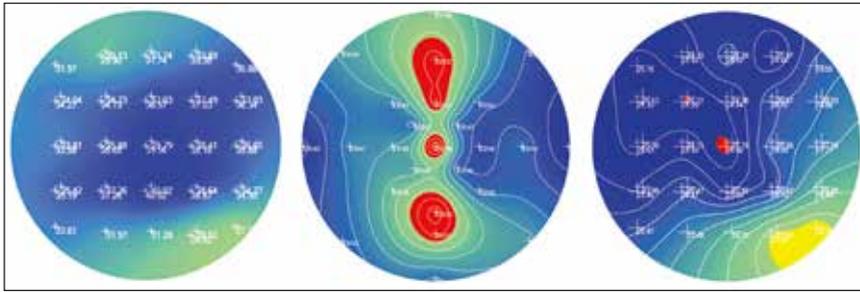


图6. 自适应采样根据测量值调整采样率，以优化和权衡测量和产能。

地点、制造厂、托运人等等，清单几乎是无穷无尽的。数据来源可能包括缺陷探测、良率分析、自动化制程控制以及故障检测与分类系统，所有这些都来自不同的制造商。工程师们面临着诸多挑战，包括数据量、数据格式差异以及产业链上不同实体对数据的访问。一个有效的解决方案需要一个高速、大容量并能够预先整合来自不同来源数据的集成数据库，以方便算法搜索重要的相关性。当发现了共同影响因素并鉴别出高危晶粒时，制造商可以通过召回并且只召回那些可能受影响的车辆，如此可尽量减少成本和责任。

极端案例识别

工程师通过程式化地产品和工艺测试，以确定可接受的各变量规格限制。变量接近规格限制称为边缘案例。当存在多个相互影响的变量时，这个问题会变得更具有挑战性。将边缘比喻扩展到多元分析，当多维度的变量接近它们自己的规格极限，这种情况也被称为是极端案例。在低风险应用中，极端案例会较少受到关注，因为人们假定一个元件遇到多个条件接近其规格的可能性很低。在汽车应用中，由于存在对操作者健康安全构成的风险，故障的成本会很高，因而极端案例会更加重要。对于每一个故障，工程师们都想知道它是否是一个从未见过的

极端案例。虽然二维极端的类比很容易被推崇，但随着变量 / 维数的增加，找到一个“极端”变得更具挑战性。在多元参数空间中的一个从未被验证过的极端案例，导致它在零件或模块发生故障时有能力识别这种极端案例，这是防止漏网之鱼的必备要素。

保护带

在传统工程中，防护带是指在规格限制周围建立一个区域，该区域等于测量系统精度的某个比例。因此，测量和检查系统的功能必须有良好的表征，在所有测试结果中提供误差线或用其他图形化方式展示精度。在半导体工程中，保护带也被用于运行额外的、冗余的电路，以确保单个器件的失效不会导致整个电路的故障。与这个说法更相关的是几何图形保护条带，在该条带中，一个晶粒可能仅仅因为位于晶圆上被检测缺陷

的附近而报废。例如，晶粒紧挨着一条划痕或几个晶粒在一条划痕的延伸方向上都可能被排查出来，因为它们更有可能不合格。在这些情况下，不合格品的潜在成本被断定为高于良率损失的成本。

自适应抽样

在生产能力和测量 / 检验要求之间有一个恒定的张力。从最严格的意义上来说，花在这些功能上的时间不具备生产力，但它对最大限度地提高器件的良率和可靠性是至关重要的。自适应采样旨在通过动态调整采样率或密度来优化权衡，以响应高度可变的测量结果。举个例子，基于样本测量的可变性，相邻两片 wafer 上的采样密度是变化的。

如图 6 所示，样品利用连续的色彩来显示测量参数的实际变化（未知测量系统）。白色数字表示在特定位置测量的采样值。考虑到左边晶圆片的基本均匀性，测量结果的变异性很小，因此它们被认为代表了晶圆片上的所有点，这点可信度高。在中间和右边的晶圆片上，采样测量值显示出较大的变异性，这表明需要增加采样密度来完全表征整块晶圆片，并确保所有点都在可接受的规格范围内。

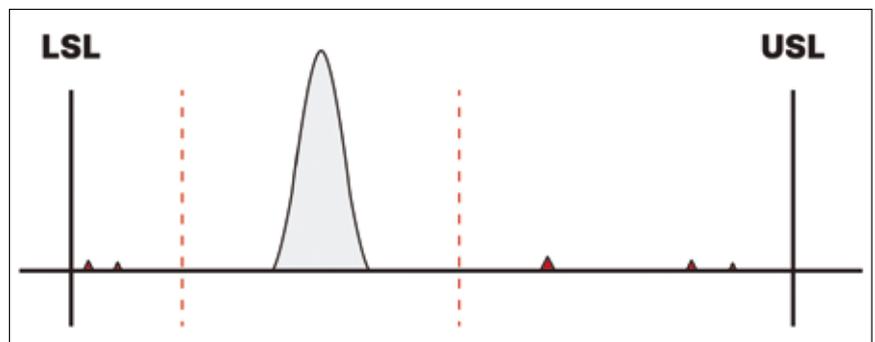


图7. 对于静态参数零件平均测试 (PAT)，正态分布取自一个跨越多个批次的代表性样本，并定期刷新。对于动态PAT，正态分布是通过最近测试零件的滚动样本来计算得出的。