

产品老化测试服务

Amkor Technology, Inc. 的 WW 测试服务测试技术高级总监 Vineet Pancholi

引言

产品老化（BI）测试是生产测试流程中必不可少的步骤，该测试可确保为客户提供优质，而且功能正常的产品。“为客户提供优质产品”是 Amkor 最重要的企业价值之一，也是我们引以为豪的价值。见图 1。

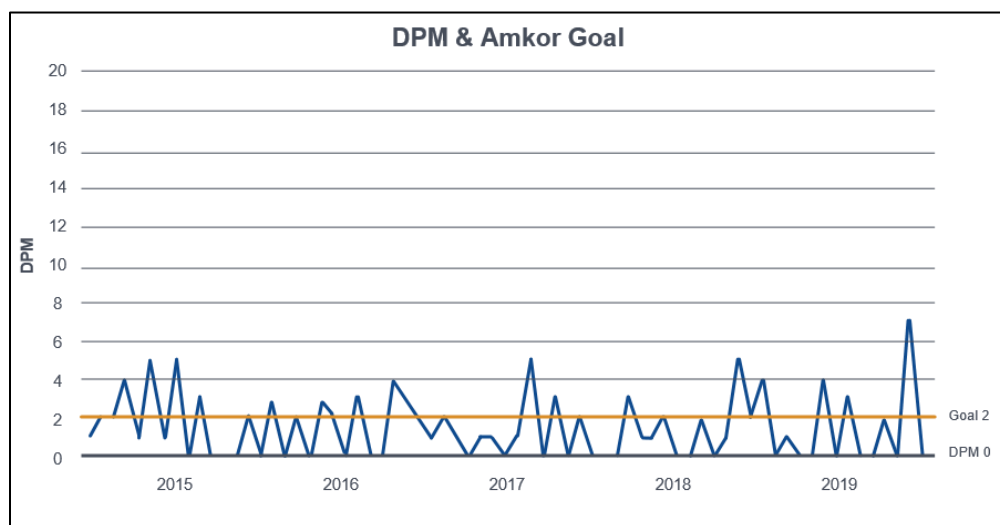


图 1：百万件中的不合格数（DPM）和五年内报告的 DPM 目标。

经过老化测试的集成电路（IC）在其工作寿命内的故障率远低于未测试的 IC。因此，客户应选择采用老化测试设备对产品进行测试。

可靠性浴缸曲线以及老化测试的影响

研究人员发现，可靠性故障率刚开始时非常高，如图 2 中的阶段 A 所示，但最后会降到稳定水平，如阶段 B 所示。在将产品发送给客户前，制造商会通过老化测试筛除工作寿命未结束便出现故障的器件。通过改变加速寿命测试的环境（如高压和高温）锁定早期故障 IC。即使排除早期故障器件，故障率因此下降，但也不可能将其降到零 [1]。无论进行多少次产品老化测试，都不可能彻底避免故障的发生。使用寿命内的故障（阶段 B）具有随机性质，而且无法追溯到系统性生产或设计相关原因。

在产品使用寿命快结束时，故障率会再次升高。这种情况可以归咎于氧化磨损、电迁移、时间相关电介质击穿等原因 [2]。

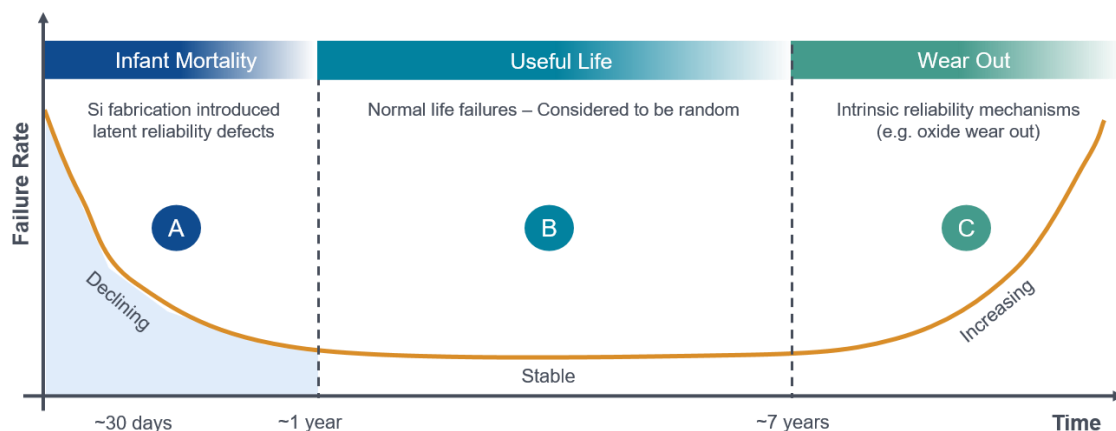


图 2：故障率曲线。

施加压力（老化）条件，加快故障过程，这样做可以筛选出潜在的瑕疵品。以下是可靠性测试的阿伦尼乌斯方程，它被用来计算特定故障时间观察期内的热加速因子：

$$\text{方程 1: } A_T = e^{\left[\left(-\frac{E_{aa}}{k}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]}$$

在此方程中， A_T 代表因温度改变而产生的加速因子， E_{aa} 是激活能（eV）， k 表示玻尔兹曼常数（ 8.62×10^{-5} eV/K）， T_1 代表绝对测试温度（K），而 T_2 则是指绝对系统温度（K）。这个方程可以帮助质量和可靠性工程团队在老化电压、老化温度和老化时间方面针对具体的硅制造技术、产品设计和早期故障（IM）目标进行计算，并为特定的老化条件建立模型。老化电压通常比应用使用电压高约 30%，而老化温度一般介于 95°C 到 105°C 之间。根据晶片的尺寸，由这些值所得出的老化时间（BIT）可以是数秒、数分，或者数小时。

经针测、切割的晶圆被组装到封装以后，老化测试通常是测试流程的第一步。虽然封装元件的老化测试在大多数客户器件当中十分受欢迎，但晶圆级老化对专用于移动和手持最终应用的器件产品的重要性可能在未来日益突出。

老化测试概念的优点同样也适用于几乎全部数字、模拟和射频（RF）IC 制造技术。对于车用、工业用以及商用数字逻辑、模拟和 RF 最终应用中的 IC，有些集成器件制造商（IDM）会请求进行老化测试。除了组合逻辑产品的逻辑测试，存储产品的老化测试侧重于数据保存。IC 设计师会构建测试内容（模式），以确保跳变覆盖的最大化。边界扫描、基于结构的功能测试（SBFT）和内建自我测试（BIST）测试模式所需的产品测试仪器资源有限（信号和时钟）。然而，由于高压要求，每个器件电压通道的电源和输电线路变得至关重要。

值得一提的是，有些成熟的制程技术具有已知的早期故障和故障表征，或者已通过制程优化得以解决，它们可以从生产测试流程的样本老化监控以及彻底消除老化中获益。采用不同制程技术和逻辑类型的多件晶片封装需要复杂的老化测试流程来确保达成质量目标。



图 3: 老化测试的衡量标准: V_{min} 退化。

老化压力影响采用相同器件的晶圆分选和最终测试之间的 V_{min} 退化进行衡量，见图 3 所示。

老化测试设备

老化测试设备拥有一系列关键的功能块，它们是为被测器件（DUT）分配有效老化环境的关键所在。由于传统测试内容与最终测试相比较为有限，专门设计的测试设备反而更能满足大规模并行器件测试平台的需求。典型的测试平台有一到六个区。每个区预置 12 到 18 个槽位，每个槽位可以同时容纳 8 到数百个器件接受老化测试。虽然本文档所讨论的平台都包含自动 DUT 和老化板（BIB）处理，但也有些老化平台不具备这些自动化功能。在这种情况下，需要手工装卸 DUT 和 BIB。不同区、区内槽位以及槽位本身的平行和异步处理取决于最终应用（存储或逻辑、封装限制、热约束，等等）和供应商如何针对定制应用市场定义设备。

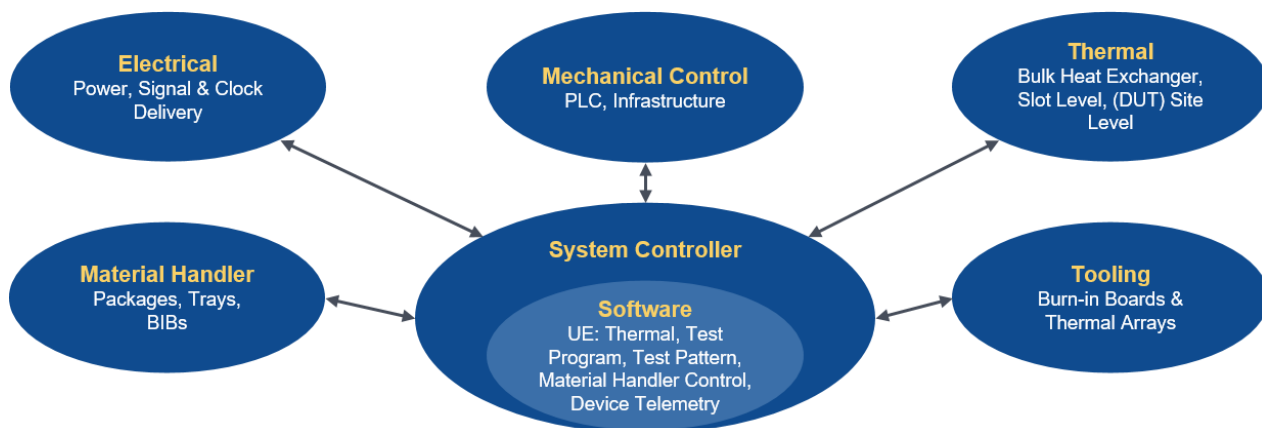


图 4: 封装老化测试平台功能块。

软件子系统：老化测试平台受系统控制器控制，其中的软件控制平台的各个子功能块。测试控制器运行专属的测试操作系统（TOS）软件，由这些软件通过测试程序或测试方法控制系统的全部功能，将 DUT 置于老化测试的压力条件之下。分选机可以命令将 JEDEC 托盘中的 DUT 装到 BIB 当中（或卸下），然后将 BIB 装到区内的特定槽位里（或取出）。测试程序包含软件指令，可要求电气硬件以特定顺序开启（或关闭）器件的电源通道，以便对 DUT 施加老化压力，加热 DUT 至老化温度，或执行老化模式，从而对元件进行测试并产生热量以达到所需的老化测试温度。

电气子系统：将交流电馈入电气子系统，该系统需要大容量电源，可为老化平台中的所有组件提供交流或直流电。每件产品都有各种固定和可变的功率要求。功率要求范围从几十到几百瓦不等。在执行的测试模式中，DUT 时钟和数据（信号）要求会因为最终产品应用存在很大差异。传输到每个区以及区内每个槽位的直流电为相互隔离的调压器供电，并由这些调压器为每件 DUT 输出最多 2 到 3 个滤波直流电通道。调压器输出可通过编程进行设置，如 DUT 电源介于 0V 到 8V 之间，加热器电源最高为 24V。典型 DUT 电压的信号摆幅为 1.2V、1.5V、2.5、3.3V 或 5.0V。老化测试对器件的电力和测量准确度的要求可能不如最终测试苛刻。但它们依然要 $<\pm 20\text{ mV}$ ，且分辨率 $<\pm 2\text{ mV}$ 。器件时钟要求 $<200\text{ MHz}$ 。测试仪器时钟的总抖动必须低，通常 $<100\text{ pS}$ ，能够有效驱动器件的板上锁相环（PLL）。所有 DUT 的时钟分布对于 BI 应用来说十分重要。

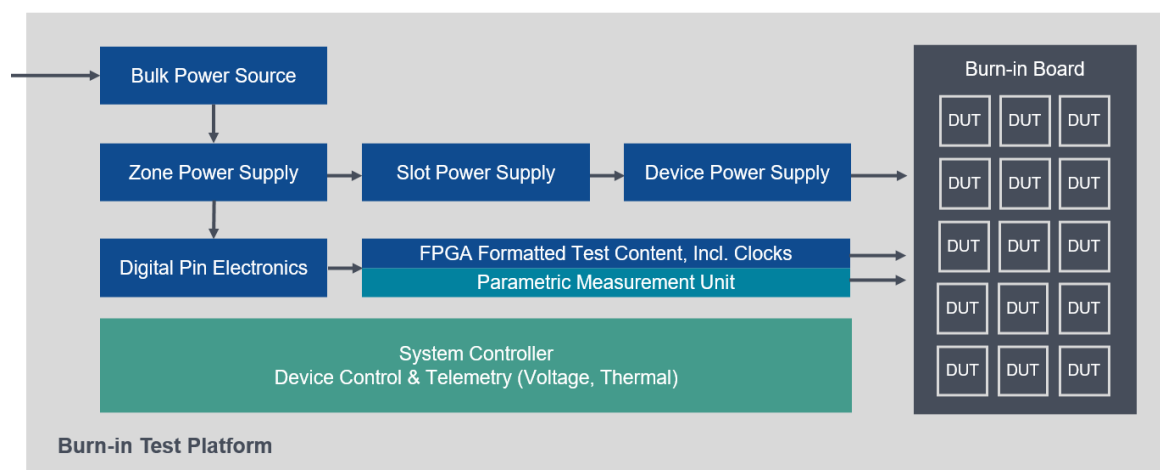


图 5：电气子系统功能块图解概要。

传统处理器都有 IEEE 1149.1 联合测试工作组（JTAG）合规测试访问端口（TAP）[4] 来发送和接收边界扫描和 BIST 内容，它们还具有一些静态控制数字引脚。TAP 是一种相对简单的 5-引脚串行接口并搭载有限状态机 [4]，可在数十年内满足所有器件的卓越设计（DFX）需要。传统的 Wide I/O 存储器需要一个存储控制器以及数量视测试模式而定的 I/O 引脚。在此例中，每件 DUT 的 I/O 引脚数量可能高达 128 到 150 个。典型的 BI 信号接口被限制低于 200 Mbps 左右。在过去十年，采用大规模并行 BI 拓扑的成本效率面对不小压力，将最终测试内容转移到老化测试步骤的呼声也越来越高。但也不得不考虑内容和测试仪器的复杂性及成本之间的利弊得失。

热控子系统：严格等温的器件环境是确保为器件提供适当而一致的老化强度的关键。集成电路在通电时温度升高。应用时钟以及运行器件逻辑和模拟/RF 功能块的各个部件会产生更多热量。根据封装的尺寸和设计，总热量足以使被测器件达到老化温度，但对于其他尺寸较小的封装来说，可能还需要额外的 BIB 或插座加热以达到所需的老化温度。通过提供具有足够分辨率和准确度的器件电压通道，老化测试设备能够创造严格等温的环境。老化测试设备经过专门设计，使测试箱的不同区域和各个 DUT 阵列及加热器能够有效而快速地对操作及封装差异的动态变化做出响应。老化测试步骤的另一项重要的特点是，它必须处理处于不同制程阶段的产品。在加速测试条件中，“高泄漏”、短路或热失控都是典

型的异常。更高功率分布部件可能需要电压通道折叠，以确保它们不会出现“热失控”的情况。老化测试设备的设计对所有可能导致灾难性后果的条件进行控制，以确保安全的工厂操作。

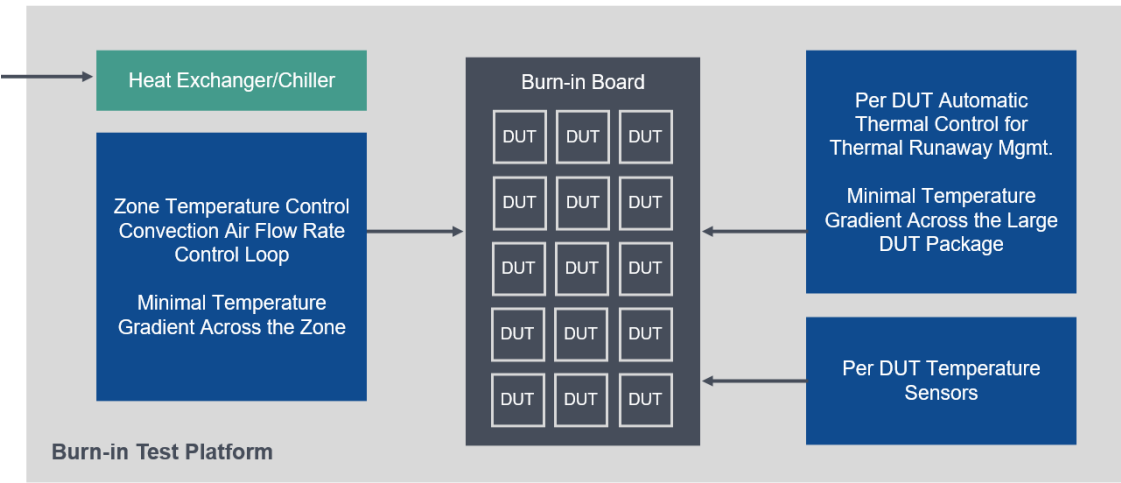


图 6: 热控子系统功能块图解概要。

机械和材料处理：老化测试平台的关键机械尺寸必须符合工厂设施的限制。平台的占地面积必须有效利用工厂空间，以便将产量最大化。设施的电源和工艺冷冻水（PCW）进出口必须经过调整以符合当地的工厂要求。定期维护零部件，并采购热流体解决方案以便将操作温度控制在规定范围内，这样做并不难，而且经济高效。有些材料分选机是全自动的，可以对托盘上的产品进行处理。

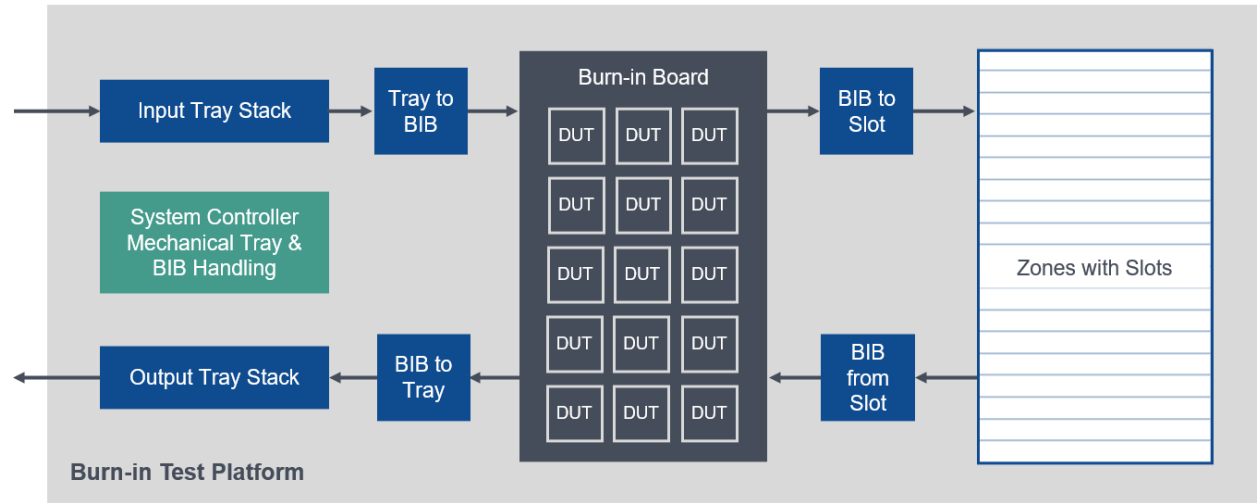


图 7: 机械和材料处理子系统功能块图解概要。

托盘上的 DUT 被安装到老化板上的槽位接受生产测试，然后收回并放到硬件分类箱的指定位置，由工厂操作人员继续进行处理。

工具：老化平台经过定制（加工），适用于具有定制老化槽位和热阵列的产品并且和产品的封装外观规格匹配。也就是说，老化平台的其他部分和器件无关，但 BIB 除外。每个 BIB 槽位中的器件数量可能十分复杂，但对其进行管理十分重要。封装的插座类型、插座针脚类型，以及每个插座的针脚数量必须经过仔细选择，以确保控制在目标成本以内。BIB 印刷电路板（PCB）类型通常选择 FR4，因为它在成本和性能方面始终可被接受。精心构建的时钟、信号、电源和接地线路可以确保符合相关的性能指标。

图 8：具有插座、PCB、框架和信号、电源及接地连接器的老化板。资料来源：KES Systems [5]。

专业的老化测试设备供应商包括，但不限于 Advantest、MCC、UniFusion，等等。所有这些供应商都有定制平台，能满足各种热控、电源、老化驱动、产品和 BIB（封装尺寸和类型）材料处理以及并行要求。

总结

老化是生产测试流程中公认的重要测试步骤。作为流程的一部分，先进的自动化工厂系统会持续监控质量和可靠性指标。最好的老化测试设备供应商所提供的设备不仅满足测试属性要求，还能在最大程度上提高产量。和这些供应商合作，测试客户能够获得具有最高性价比的一流老化测试服务。

参考资料

- [1] The Quality and Reliability Requirements - [互联网资源](#)。
- [2] Calculating Useful Lifetimes of Embedded Processors - [互联网资源](#)。
- [3] JEDEC - The Arrhenius Equation for Product Reliability - [互联网资源](#)。
- [4] IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture," in IEEE Std 1149.1-2001 , vol. , no. , pp.1-212, 23 July 2001, doi: 10.1109/IEEESTD.2001.92950 - [互联网资源](#)。
- [5] High Temperature burn-in board with sockets for semiconductor devices for a KES GenPower System. [互联网资源](#)。KES systems 是众多老化板及插座供应商中的一家。