

军事和航天应用的锡铅 BGA 封装 μ Module 产品

作者：Steve Munns，产品市场经理，凌力尔特公司

引言

每年，军用和航天领域都会要求成本更低、准确度更高和速度更快的系统。日益严格的尺寸、重量和功耗限制条件，再加上大型 FPGA 严苛的电源要求，导致业界果断地转向 POL (负载点) 电源架构。

旨在满足上述需求的一种解决方案，凌力尔特的 μ Module[®] (微型模块) 技术已经得到了市场的广泛认可，其可提供完整的系统级封装解决方案，不仅简化了设计，同时也最大限度地减小了外部组件。

μ Module 开关稳压器最初选用的封装技术是 LGA (平面网格阵列)，这种封装很好地适应广泛的市场。然而，有些需要面对非常严酷之环境的应用则倾向于使用 BGA (球栅阵列) 互连，凌力尔特为满足此类要求开发了相应的封装。

在本文中，我们将更加细致地研究 LGA 和 BGA 封装的比较性能，并讨论金或锡铅 (SnPb) 合金以及无铅组件涂层的优点。

组件端子涂层

在考虑组件涂层时，欧洲的军用和航天市场需求呈现出“各自为政”的态势，有些公司全部采用无铅涂层，而其他一些公司却采取完全避免使用无铅涂层的策略，更常见的情况则是根据个别项目的特定需要采取兼

用的方式。

造成这种状况的一个重要因素是军用和航天设备继续被排除在必须执行 RoHS II (有害物质限制) 指令的范围之外，允许其使用 SnPb 组件涂层。人们最关心的是采用纯锡电镀所形成的锡须对可靠性产生的不利影响，其将导致由于细间距相邻导体的短路而引发潜在的设备故障。在镀锡时加入铅 (Pb) 仍然是业界用于抑制晶须形成的标准方法。

对于 SnPb 涂层的使用而言，需要权衡考虑的因素是组件供货的可行性、分销库存的短缺和交付时间的延长。通过强制采用 SnPb 涂层，相关公司有时还会放弃使用更多仅限无铅涂层的新组件。虽然这可以由那些提供剥离和重新电镀或植球工艺的第三方公司来克服，但是额外的热循环和重新测试过程中面临的困难，加之由此带来的关联成本等则使其成为不太理想的方法。

在采用无铅组件的同时，另一种经常被业界所使用的锡须抑制形式是运用诸如 Parylene (聚对二甲苯) 或 Arathane[®] (敌螨普) 等聚合物保形涂层，多年来，它们已经表现出了阻止锡须侵入的作用。

互连的考虑

面对前一节所讨论的多样化需求，凌力尔特采用

LGA 封装的 μ Module 产品提供了一种通用的解决方案，这是因为镀金焊盘在军用和航天系统中得到了长期使用，而且它们同时还拥有符合 RoHS 标准的优势。

然而，采用镀金组件时需要关注的一个问题是金的脆性，而且这一点对于那些承受严酷环境条件的大型 BTC (底部端子组件) 来说尤为突出。在回流焊过程中，金溶化到焊点中，并在结晶结构中产生弱界面，金锡

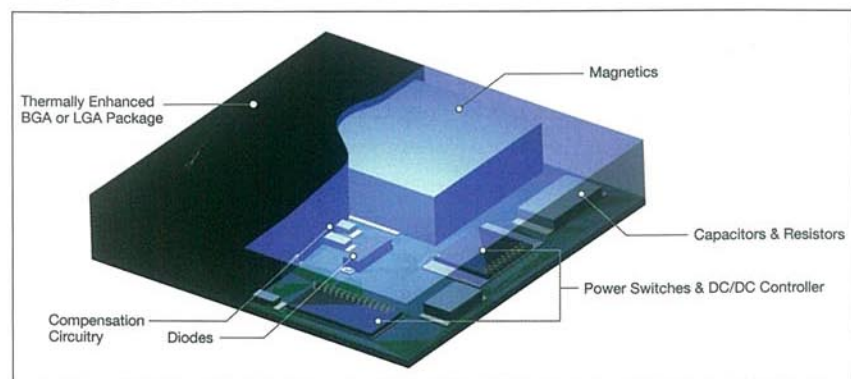


图 1: μ Module 产品构造

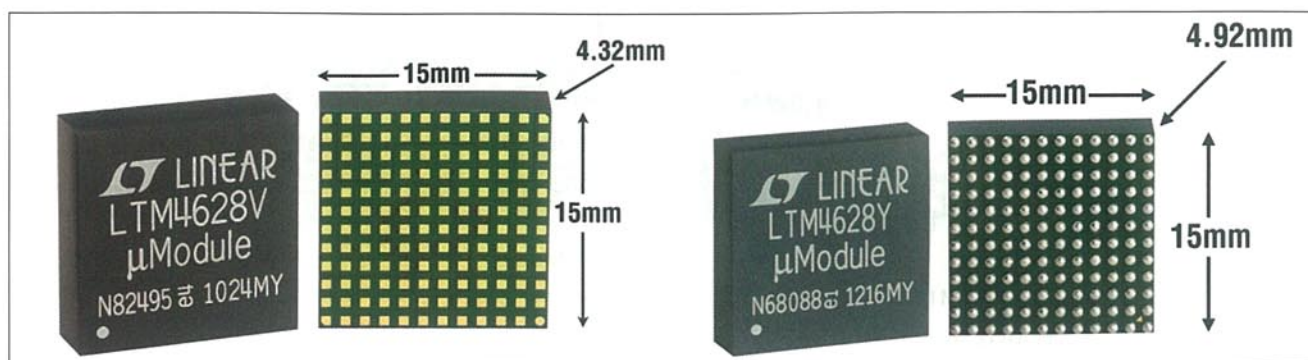


图 2: LGA 和 BGA 封装互连

表 1: LTM4601A 菊链测试结果 (LGA 和 BGA 封装)

测试条件	产品和封装	样本量	循环次数	器件周期	连续不合格
温度循环(0℃至100℃), 采用SnPb焊膏	LTM4601A 15x15mm LGA-133	40	6,000	240,000	5 注(1)
温度循环(0℃至100℃), 采用SnAgCu焊膏	LTM4601A 15x15mm LGA-133	40	3,500	140,000	0 注(2)
温度循环(0℃至100℃), 采用SnPb焊膏	LTM4601A 15x15mm BGA-133 注(3)	39	6,000	234,000	0
温度循环(0℃至100℃), 采用SAC305焊膏, 具有圆形焊盘的PCB	LTM4601A 15x15mm BGA-133 注(3)	40	6,000	240,000	0
温度循环(0℃至100℃), 采用SAC305焊膏, 具有方形焊盘的PCB	LTM4601A 15x15mm BGA-133 注(3)	40	6,000	240,000	0

表 2: BGA-133 封装的随机振动测试

测试条件	产品和封装	配置	焊膏	故障数量
测试规格“Letter F”, 20.71g RMS	LTM4601A BGA-133 SAC305焊球	1块测试板, 20片器件 3轴, 每个轴30分钟	SnPb	0
测试规格“Letter F”, 20.71g RMS	LTM4601A BGA-133 SAC305焊球	2块测试板, 20片器件 3轴, 每个轴30分钟	SAC305	0

IMC (金属间化合物) 薄片与周围焊料之间的 CTE (热膨胀系数) 差异会导致焊点的龟裂, 并在组件反复进行温度循环时最终出现开路。作为业界的一条长期的经验法则, 建议焊点中金的重量百分比不要超过约 3% 的门限值, 而凌力尔特的 LGA μ Module 产品则满足了这项要求 (对于 SnPb 和 SAC305 焊膏均是如此)。为此, 有些公司在具代表性的 PCB 和环境条件下使用特殊的菊链式互连样本自行开展了针对 BTC 的试验。

增加至 PCB 的一个接合点和间隔柱中的焊膏量可通过使接合点更加柔顺而改善互连的可靠性。军工和航天业所做的测试得出了这样的结论: 在很可能遇到严酷环境条件的场合 (特别是机载系统) 中, BGA 封装通常比 LGA 封装更受青睐。BGA 封装还有一个额外的优势是清洗工作变得更加容易, 从而减少了对于污染的担心。

由于这些原因, 目前 μ Module 稳压器除了提供 LGA 封装之外也可提供 BGA 封装。BGA 封装的缺点是热效率略有下降 (约 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$) 且组件高度总体增加了 0.6mm 。凌力尔特的 BGA μ Module 稳压器的标准级产品采用 SAC305 无铅配置, 特定的产品则可根据需要提供锡铅 Sn63Pb37 焊球。

可靠性测试和特性

恰当地处理这些关注点是很重要的, 凌力尔特对采用 LGA 和 BGA 配置的 μ Module 产品之互连可靠性均进行了大量的试验。

按照背景, 我们应该把组件测试和互连测试区别开来, 前者在初始鉴定及后续的可靠性监视中使用, 而后者则是针对选定 PCB 配置、装配工艺和温度循环参数所做的实际性能特性分析。

大量的组件级 μ Module 产品测试显示可靠性水平达到了异常高的 0.72 FIT ($1\text{ FIT} = 10$ 亿个器件操作小时中发生一个故障), 然而由于篇幅的限制, 本文将着重介绍互连级测试。

完成了以下三类互连测试:

1) 菊链测试: 该测试中, μ Module 稳压器中的每个焊盘连接至下一个焊盘以形成完整的电路, 并在温度循环过程中依据 IPC-9701 和 JESD22-A104 标准进行实时监测。这种方法可确保每个焊盘都经过测试, 而且由于许多焊盘在应用中是并联连接的, 因此相比于功能测试, 人们通常优先选择菊链测试。

注 (1): 当采用韦伯 (Weibull) 分布曲线图对表 1 中的 5 个不合格产品进行分析时, 其预计一个 1% 的故障点 (在 1780 个周期)。

注 (2): 采用 SAC305 (无铅) 焊膏进行的更多后续 LGA 产品测试 (至 6000 个周期) 显示: 在总共 240 个其他不同的 μ Module 产品样本中故障率为零。

注 (3)：所有的 BGA 封装均采用 SAC305 焊球。

2) 功能测试：该测试中， μ Module 稳压器在一块评估板上进行温度循环和测试以验证其运作的正确性。很多测试是针对 LGA 封装 μ Module 稳压器进行的，并比较了采用 SnAgCu 无铅焊膏与 SnPb 焊膏时的情况。不过，测试将最大周期数限制在 2000 次，因此使用任一焊膏都未产生任何故障。

3) 随机振动测试：按照 MIL-STD-202G 规范的 214A 方法在 50Hz 至 2000Hz 的频率范围内进行，这是一项非常严苛的测试。采用 LGA-133 封装的 LTM4610A 的测试通过了测试规格“Letter C” (在 9.26g RMS)，但对于测试规格“Letter F” (在 20.71g RMS) 则未通过 Z 轴测试。对采用 BGA 封装的 LTM4601A 进行了试验，试验结果罗列在下面的表 2 中。在使用 SnPb 和 SAC305 (无铅) 焊膏时均获得了优良的结果，在 20.71g RMS 条件下通过了测试。

结论

在可以预见的未来，军事和航天应用很可能将继续要求使用各种组件涂层，而致力于服务此类市场的制造商则必须保持对于 SnPb 组件涂层的支持。

诸如凌力尔特 μ Module 产品等采用镀金 LGA 封装的 BTC 拥有经过验证的可靠性和广泛的业界认可度。现在， μ Module 产品可提供作为 LGA 封装替代方案的 BGA 封装版本，以适合那些环境特别严酷的应用。

已经证明：具有符合 RoHS 标准的 SAC305 (无铅) 焊球并采用 SAC305 和 SnPb 焊膏的 BGA 封装非常可靠，并能经历 6000 次以上的温度循环而不发生故障。对于那些强制要求采用 SnPb 涂层的应用，凌力尔特如今可提供一种 SnPb BGA 的出厂封装选项。

在本文有限的篇幅里，我们只给出了一小部分可靠性数据，如需了解更多详情，请访问凌力尔特的网站。

www.linear.com.cn