

Technical White Paper

QFN 封装中引线悬伸对 SMT 的影响



Maydha Kohli

摘要

引线键合式引线载片 QFN 封装要求在引线框架上提供极少的芯片支持，以保障引线键合工序的稳定加工。但是，随着芯片尺寸的缩小和器件能力的提高，在现有封装尺寸中支持更小的芯片尺寸变得更具挑战性。一个支持选项是延伸引线框架上引线的外露金属。但是，尚未针对与现有 PCB 的兼容性评估这种类型封装变化的影响。因此，本研究评估了在 SMT 工艺中引线悬伸出 PCB 上的焊盘时对焊点质量和可靠性的潜在影响。

在这项研究中，我们选择了一个测试对象来设计模拟不同引线悬伸量的 PCB，并在每个电路板上焊接了一个具有代表性的器件样品。在对器件进行温度循环板级可靠性测试之前，进行了焊点厚度测量。结果表明，通过充分形成焊点可支持高达 200µm 的引线悬伸量，而不会影响板级性能。此调整还允许在引线载片 QFN 封装中保持相同的封装标识符，这对于客户连续性非常重要。

内容

1 简介.....2

2 背景.....2

3 过程.....3

4 评估方法和结果.....5

 4.1 初始数据收集.....5

 4.2 有原位监测的 BLR.....8

 4.3 无原位监测的 BLR.....8

5 测试结果汇总.....11

6 结语.....11

7 鸣谢.....11

8 参考资料.....11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

本研究探讨了在 SMT 工艺中，当引线的外露金属在 QFN 封装上延伸而未改变 PCB 时，悬伸出 PCB 焊盘的引线对焊点质量和焊点可靠性的潜在影响。选择了一个引线载片测试对象，并使用设计为模拟不同悬伸量水平的 PCB。对于每个悬伸量，使用具有代表性的样片尺寸进行了温度循环板级可靠性测试，以评估焊点可靠性。获取有关焊点厚度和焊点横截面图像的数据，用于对焊点形成以及在承受延伸应力时的性能进行定量和定性评估。

之前尚未对无引线封装进行过此类评估。在这项研究中，需要延伸引线的外露金属，以便在引线载片 QFN 封装中更好地支持芯片，从而改变封装尺寸，同时仍保持给定的封装标识符以确保客户连续性。

2 背景

与标准引线键合 QFN 封装相比，引线键合式引线载片 (COL) QFN 封装可在更小的封装体尺寸内实现更多引脚数的兼容支持。非导电芯片连接用于隔离直接位于封装引线上的芯片，如图 2-1 所示。

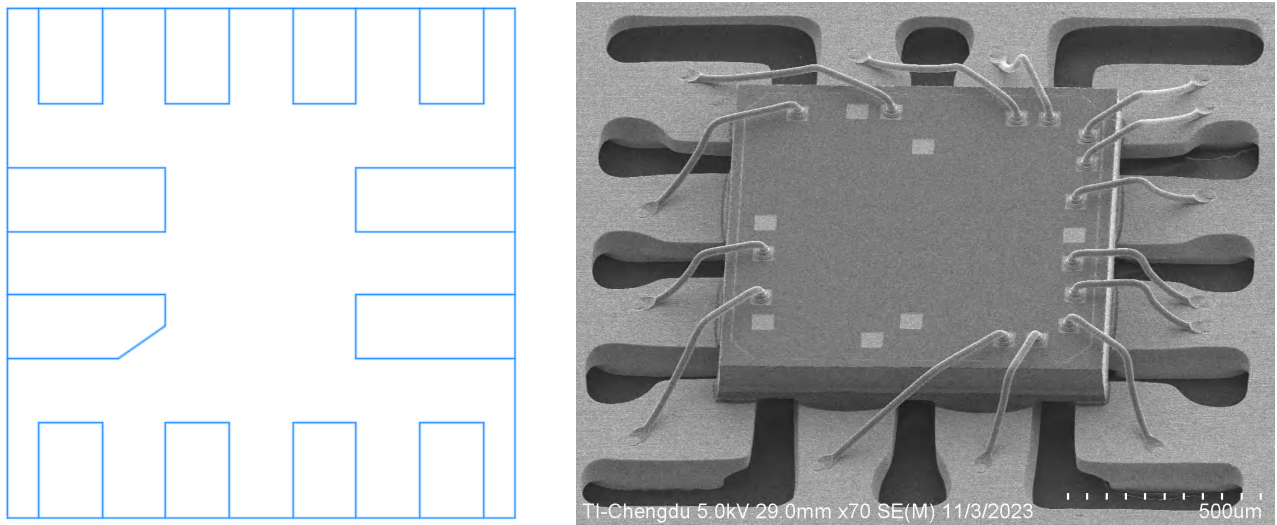


图 2-1. COL QFN 封装示例 (左) 和塑封前 COL 器件的 SEM 图像 (右)

芯片在引线上必须有足够的支撑，以防止引线键合过程中发生故障。这些故障可能包括：

- 焊盘粘丝失效 (NSOP)，指引线键合设备检测到金属丝未与焊盘形成有效接触时，自动停机的异常工况。
- 焊球成型不良，指引线键合的球焊部位未形成合格形态。
- 平均辅助间隔时间偏低 (MTBA)，指引线键合设备需频繁重启的状态。

因此，根据给定 COL QFN 的特定外露引线尺寸和布局，需要使用最小的芯片尺寸来进行引线键合。但是，当器件能力提高而芯片尺寸缩小时，保持相同封装标识符（为确保客户连续性所必需）的挑战增加。

为了支持 COL QFN 封装中的更小芯片，一种方案是修改引线框架并延长封装外部可见的引线外露金属。这种调整减小了引线之间的距离，意味着在引线之间可以支持更小的芯片。但是，之前尚未评估（当客户将封装焊接到其 PCB 时）此类更改对 SMT 封装尺寸的影响。

除非设计了新电路板，否则延长的引线会在一定程度上悬伸出现有 PCB 焊盘，如图 2-2 中所示。但是，新 PCB 设计既费时又昂贵，因此对客户来说最好重复使用现有的 PCB 和模板，而无需考虑对 SMT 的影响（例如，焊点异常或焊料厚度）。本设计选择温度循环板级可靠性 (BLR) 测试作为评估方法，以评估在不更换 PCB 的情况下延伸和焊接引线时对焊点可靠性和疲劳度的影响。



图 2-2. 引线悬伸的概念

就允许的悬伸量而言，为了保证稳健性，建议最多采用 25% 的侧悬伸量（沿引线宽度），但对沿引线长度的悬伸量没有意见；唯一的指导来自 IPC-A-610 [1]。

3 过程

选择了 16 引脚 WQFN 封装作为测试对象。16 引脚 WQFN 封装包括预镀 NiPdAu 引线，其标称尺寸为 0.2mm 宽、0.6mm 长，间距为 0.4mm（请参阅图 3-1 中的封装尺寸图）。首先，组装采用菊花链结构的器件，使其芯片的面积与封装面积的比值为 42%，以此开展原位事件监测。

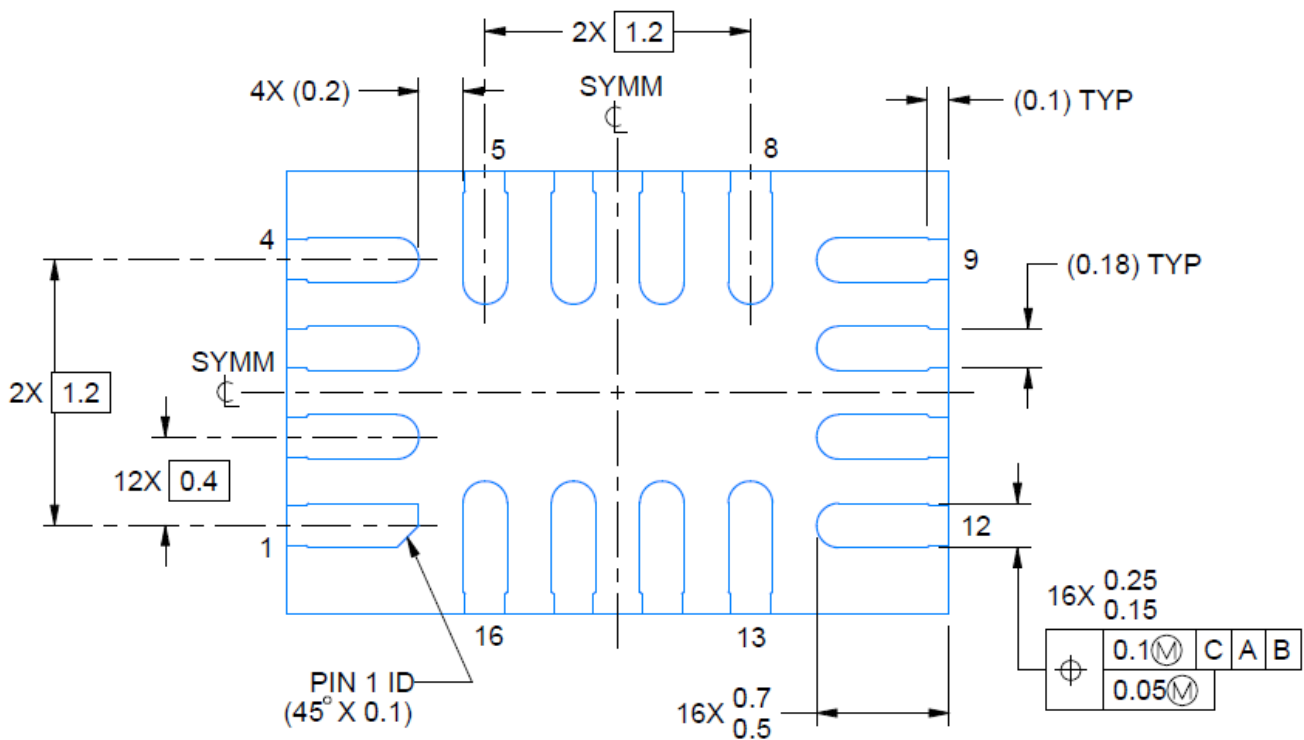


图 3-1. 测试对象封装图案

接下来，为测试对象设计了两组 PCB。第一组 PCB 设计为 1.6mm 厚，具有八个金属层，其引线从 PCB 焊盘悬伸出 100 μm 。第二组 PCB 设计为 1.6mm 厚，具有八个金属层，其引线从 PCB 焊盘悬伸出 200 μm （图 3-2 显示的是俯视图）。然后，使用 SAC305 以两种配置将组装的器件焊接到 PCB 上：

- 配置 1：仅焊接两侧（西侧和东侧）以模拟 SON 配置
- 配置 2：所有四侧均焊接，这是 QFN 配置的典型情况

在开始任何测试之前，获取仅焊接了两侧的器件样片的光学外部图像，以及所焊接引线的横截面图像和焊点厚度的测量值。

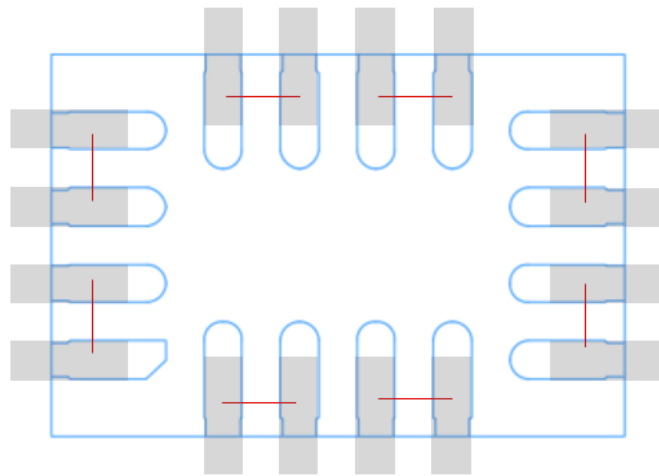


图 3-2. 显示了引线悬伸焊盘 (灰色) 和菊花链连接 (红色) 以及测试对象封装 (蓝色)

然后, 根据 JEDEC 标准 JESD22-A104D, 对每组 PCB 上焊接了四侧的三十二个器件 (100 μm 悬伸量和 200 μm 悬伸量) 进行了温度循环测试。所选的温度曲线使器件在 60 分钟的内经历 -40 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的温度, 这在汽车应用中很常见 [2, 3]。

每组 PCB 组上还有二十四个仅焊接了两侧的器件, 也经历了相同的温度循环曲线, 但未监测连续性。1000 次循环后, 拆下了八个器件。获取了焊接引线的横截面图像以及这些器件的焊点厚度测量值, 以便与这些器件在开始 BLR 测试之前的值进行比较。对另外八个经 2000 次循环后拆下的器件以及另外八个经 3000 次循环后拆下的器件重复了上述检测。

表 3-1 和表 3-2 中提供了评估分组的汇总。

表 3-1. 在四侧全部焊接的器件上完成的评估摘要

悬伸量	测试
100 μm	BLR, 原位监测 - 32 个器件
200 μm	BLR, 原位监测 - 32 个器件

表 3-2. 在焊接了两侧的器件上完成的评估摘要

悬伸量	测试	拉出循环次数
100 μm	无	8 个器件 - 0 次循环
	BLR, 无原位监测 - 24 个器件	8 个器件 - 1000 次循环
		8 个器件 - 2000 次循环
		8 个器件 - 3000 次循环
200 μm	无	8 个器件 - 0 次循环
	BLR, 无原位监测 - 24 个器件	8 个器件 - 1000 次循环
		8 个器件 - 2000 次循环
		8 个器件 - 3000 次循环

作为参考，此前使用相同的测试对象进行了无悬伸的 BLR 温度循环测试。此前的测试即使在 9740 次循环之后也未出现电气故障。图 3-3 绘制了完成此前的测试后角落引线的横截面图。焊点中出现开裂的原因在于测试程度，但证明了在无悬伸时这种基本情况中的焊点的完整性。

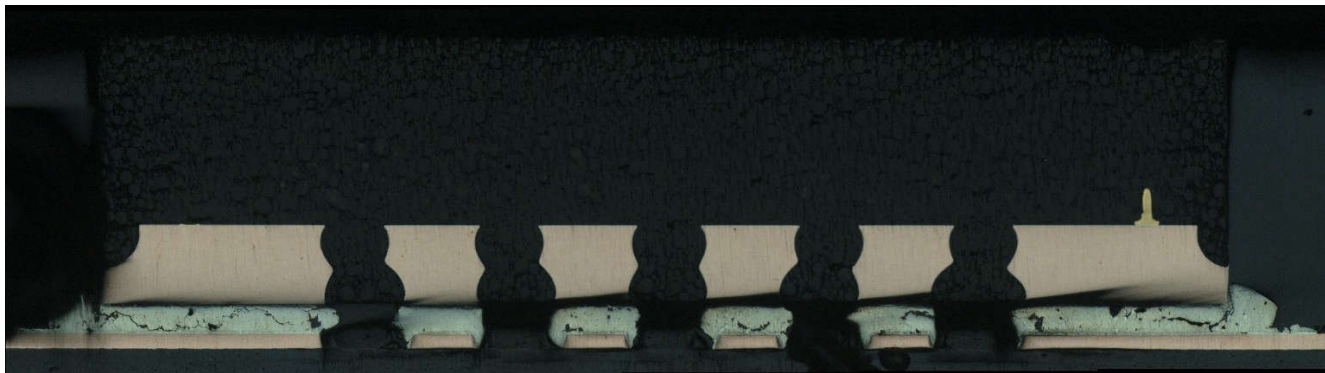


图 3-3. 经过近 10000 次 BLR 循环后的无悬伸焊接引线横截面

4 评估方法和结果

4.1 初始数据收集

采用 SON 型配置的器件焊接到 PCB 后，选取其中三个进行截面制样来测量焊点厚度，并通过 SEM 图像来检查焊锡圆角的形成。图 4-1 中汇总了焊点测量值。给定器件的所有焊点厚度的平均值为 $50\ \mu\text{m}$ 或更大，这符合 IPC-7351 中关于更优且可靠的焊点厚度的指导 [4]。

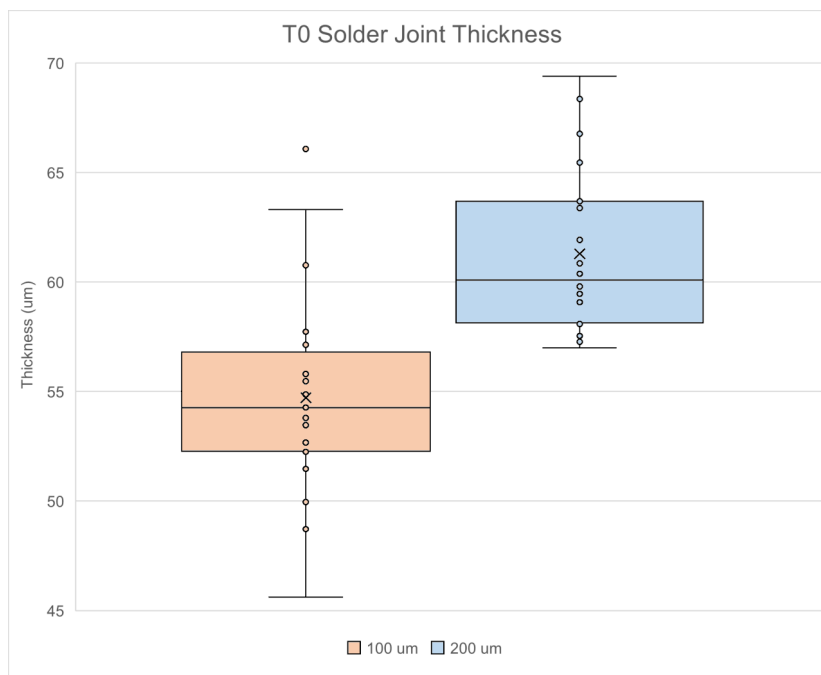


图 4-1. 未进行任何应力测试的 SON 型配置器件的 T0 焊点测量

图 4-2 和图 4-3 中的焊点未显示异常，是 100 μ m 和 200 μ m 悬伸量的代表性横截面图像。

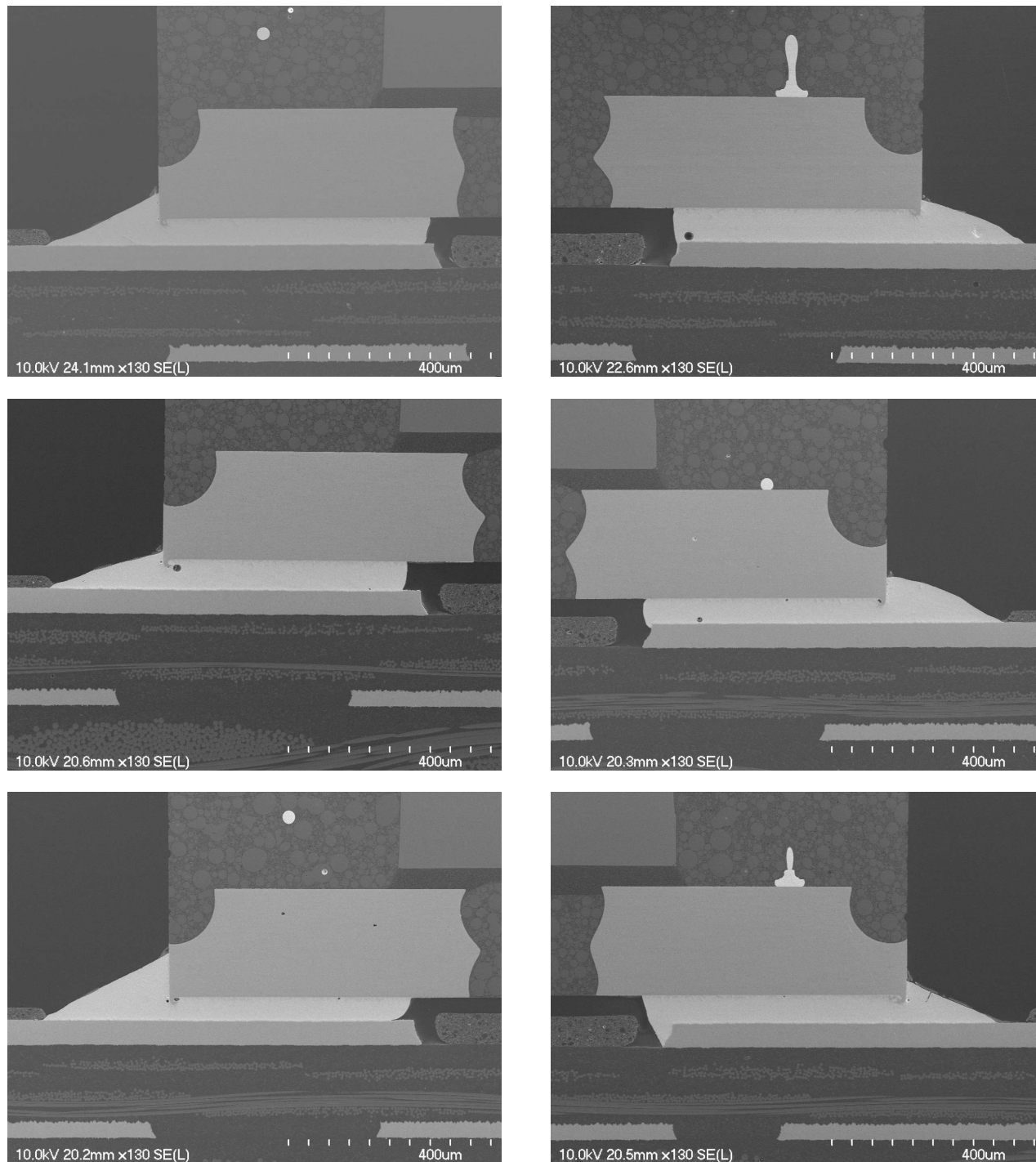


图 4-2. 使用 100 μ m 悬伸量焊接的引线的横截面，未进行任何应力测试

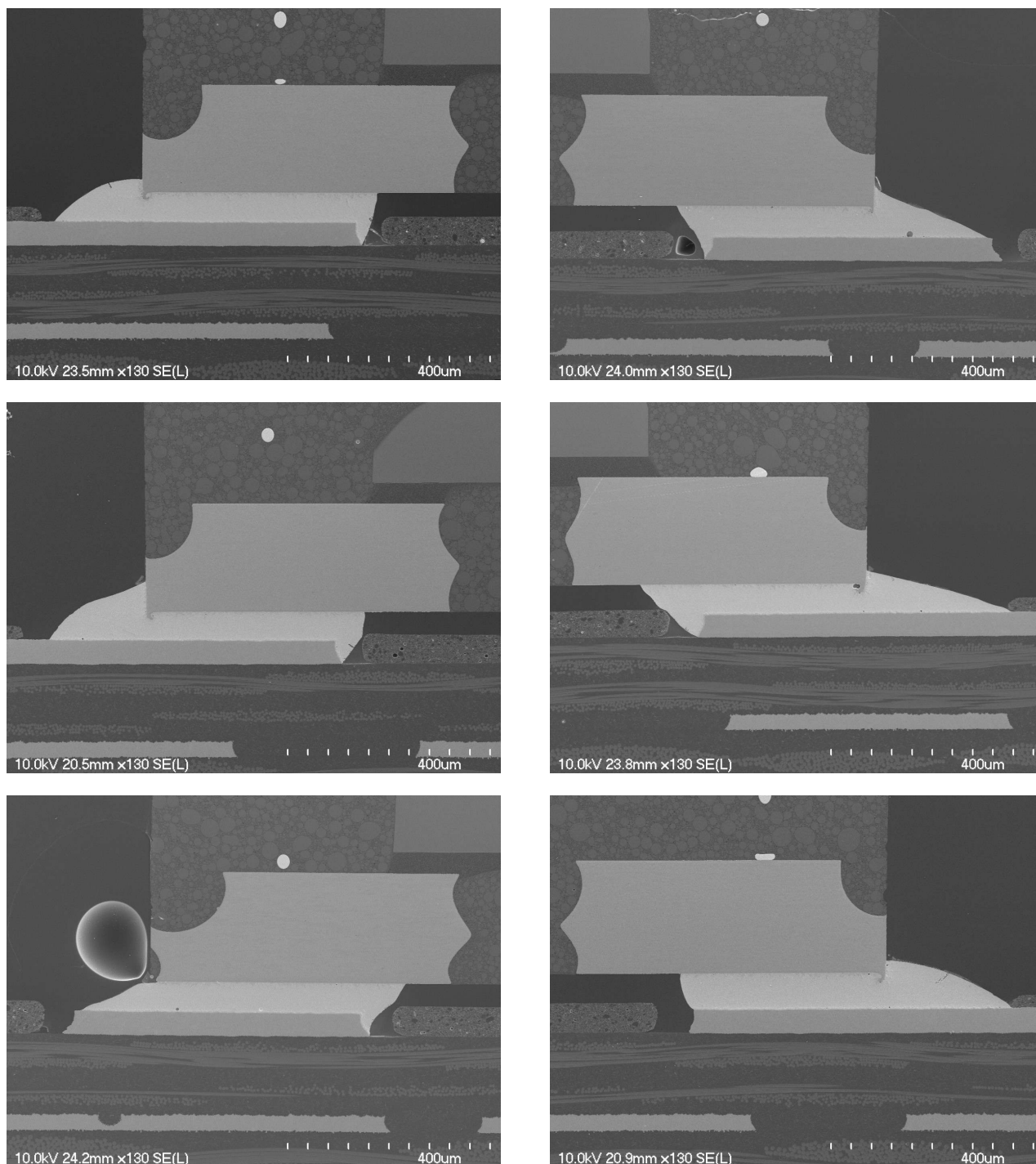


图 4-3. 使用 200 μm 悬伸量焊接的引线的横截面，未进行任何应力测试

在焊点中，经常存在圆角不完整以及侧润湿角很小甚至无侧润湿角。然而，这些外观并不一定表示性能不佳。在评估板级可靠性的下一节中，将会讨论有关此概念的更多信息。

4.2 有原位监测的 BLR

四个侧面全部焊接的器件经过了温度循环测试并监测了事件检测情况。通常，板级可靠性测试是一种加速测试，可用于根据由器件应用决定的加速因子将焊点的实际现场寿命与测试性能关联。根据 IPC-9701A (提供温度循环测试指导) 的要求，至少必须通过 1000 次循环且无电气故障，才能接受 [3]。本研究中的器件表明，即使经过 6870 次循环后，100 μm 和 200 μm 悬伸的器件也未出现故障，暗示板级可靠性良好。

4.3 无原位监测的 BLR

仅在两侧焊接的其他器件接受了温度循环测试，但未监测其事件检测情况。而是在 1000 次循环后，拆下了八个器件。获取了焊接引线的横截面图像以及这些器件的焊点厚度测量值，以便与这些器件在开始 BLR 测试之前的值进行比较。对另外八个经 2000 次循环后拆下的器件以及另外八个经 3000 次循环后拆下的器件重复了上述检测。同样，给定器件的所有焊点厚度的平均值为 50 μm 或更大。未观察到单个焊点出现严重异常或应力。3000 次 BLR 循环后，器件中更有可能出现空隙和破裂，这是预计情况。因为器件承受了更大的应力，但这种损坏预计不会导致电气或机械故障。

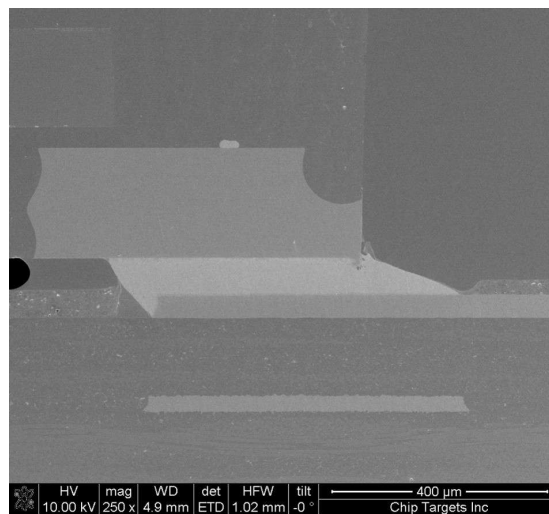
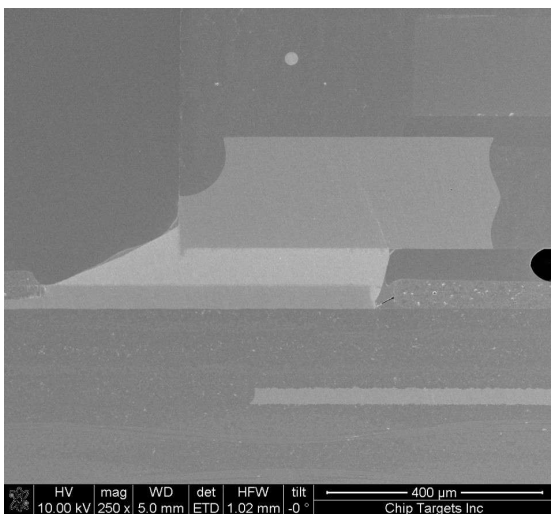
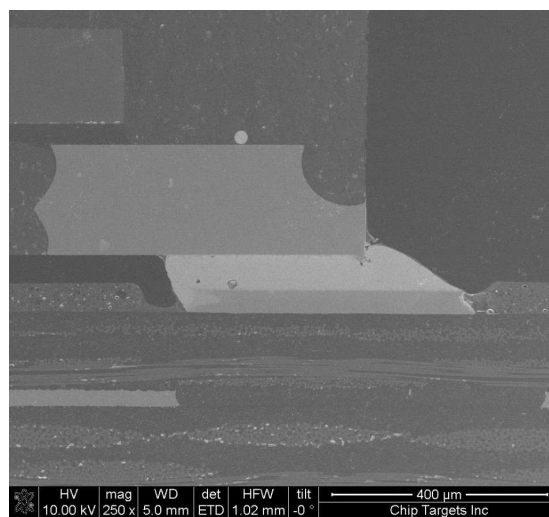
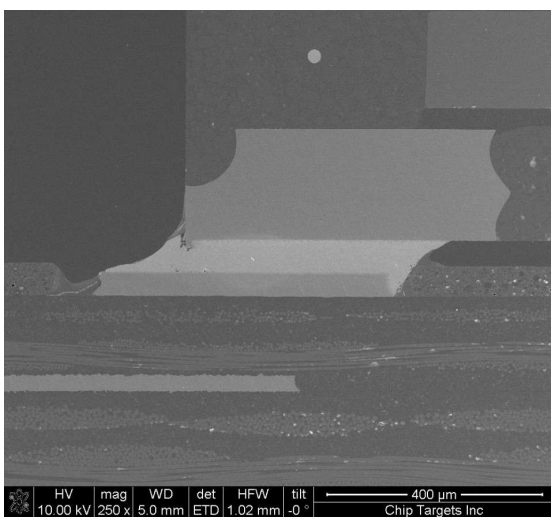
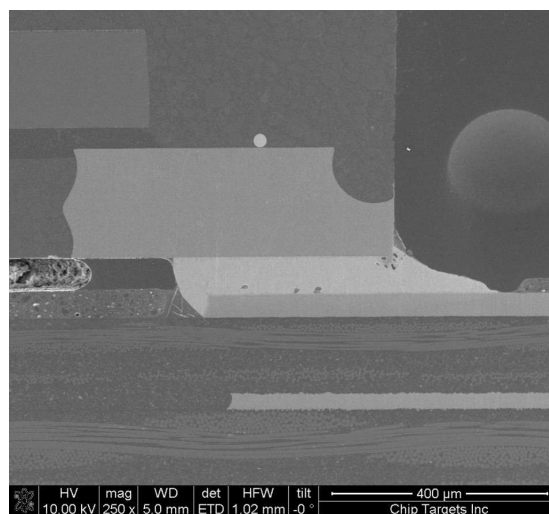
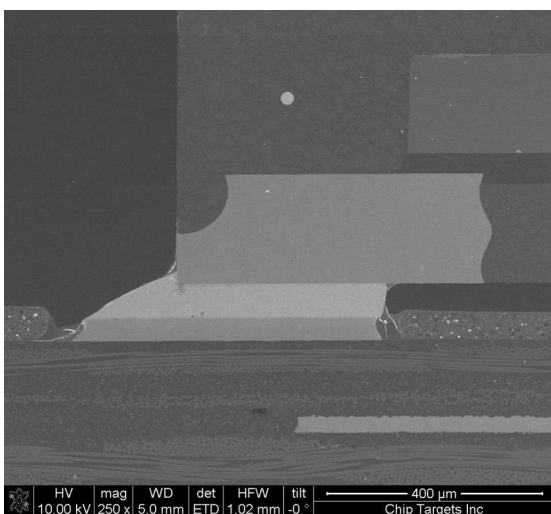


图 4-4. 经过 1000 次 BLR 循环后悬伸量为 200 μ m 的焊接引线横截面

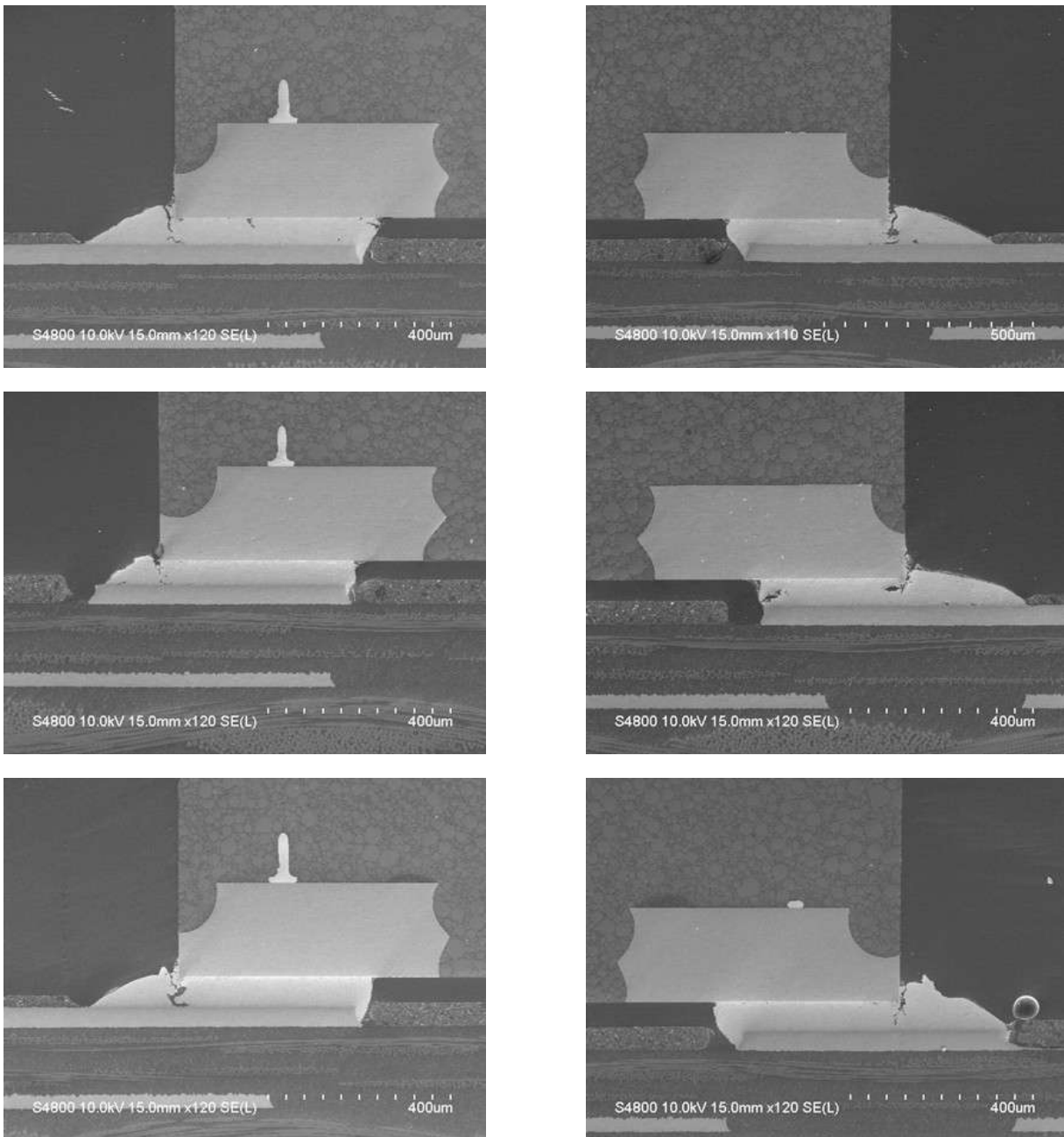


图 4-5. 经过 3000 次 BLR 循环后悬伸量为 200 μm 的焊接引线横截面

5 测试结果汇总

- 对于 100 μm 和 200 μm 悬伸器件，在 T0 时刻测得的焊点厚度均可接受。
- PCB 上的器件截面图像显示，100 μm 和 200 μm 悬伸量的圆角不完整，侧润湿角很小甚至无侧润湿角。
- 100 μm 和 200 μm 悬伸量的所有器件均通过了温度循环 BLR 测试，远超过 1000 次循环且无故障。
- 即使在温度循环 BLR 测试中经过 3000 次循环后，对于 200 μm 悬伸量，焊点圆角也未出现严重异常。空隙和开裂预计不会导致电气或机械故障。

6 结语

本研究中的 T0 焊点测量值和截面图表明，引线悬伸出 PCB 焊盘图案的设计不会对引线的 SMT 工艺中的焊点可靠性和焊点质量产生影响。板级可靠性测试的结果进一步证实了此结论；在远超过 1000 次循环的测试中未记录任何故障，并且接受应力测试的器件横截面未显示异常。根据这些结果，客户可以考虑将封装焊盘的引线长度更改为高达 200 μm ，而不影响与现有 PCB 的兼容性。

7 鸣谢

作者在此向以下各位致以谢意，感谢其提供的协助：

- 德州仪器 (TI) 达拉斯封装技术解决方案部门的 Bailey Cordell、Rey Javier、Steve Kummerl 和 Frank Mortan，提供了技术意见和结果分析。
- 德州仪器 (TI) 达拉斯可靠性测试实验室的 Andy Zhang、William Gifford 和 Paul Hull，协助 PCB 设计和板级可靠性测试执行。
- 德州仪器 (TI) 达拉斯设计分析运营部的 Robert Milotta、Alison Stutzmann 和 Paul Talbot，协助封装成像和焊点测量。
- 达拉斯 Chip Targets Inc 的 Peter Nguyen，协助封装成像和焊点测量。

8 参考资料

1. IPC-A-610E-2010，电子组件的可接受性，2010 年 4 月。
2. JESD22-A104D，温度循环，2009 年 3 月。
3. IPC-9701A，表面贴装焊接附件的性能测试方法和认证要求，2006 年 2 月。
4. IPC-7351，表面贴装设计和焊盘图案标准的一般要求，2005 年 2 月。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月