

Application Note

霍尔效应电流传感器熔合引线框架与非熔合引线框架之比较



Carolus Andrews, Holly Roper

摘要

德州仪器 (TI) 为 TMCS11xx 系列器件使用独特的 SOIC-10 封装，在该封装中，传统 SOIC-16 型封装中的八根独立引线被熔合为两根。这个熔合引线框架用于将电流传输到封装中，取代了两组 (每组四根) 的独立引线。然而，应用中通常需要多来源采购，虽然器件是 *引脚对引脚* 兼容的，但它们在构造上确实存在一些差异。本应用手册探讨了在 SOIC-16 焊盘图案上使用德州仪器 (TI) SOIC-10 封装的情况，以证明 SOIC-10 封装可安心用于印刷电路板上的标准 SOIC-16 焊盘布局。

内容

1 简介.....	2
2 SOIC-10 基板级可靠性测试暴露.....	2
2.1 通过 X 射线检测焊点.....	4
2.2 热力测试.....	6
2.3 交叉部分.....	8
3 总结.....	10
4 参考资料.....	10
5 修订历史记录.....	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

随着电气化浪潮席卷各行各业，制造业面临更大压力，需要满足各种产品快速迭代的需求。许多制造商都采用了双重采购策略，即除非有多个供应商能提供可替代的型号，否则设计人员不得选用某款集成电路，以此确保能利用多个供应链。这为产品的持续供应制定了更稳健的采购计划，使制造商在交期较长时能有备用方案。

查找单个产品的多个替代型号并非易事。不同产品的电气规格参数可能存在差异，因此即使器件采用相同的封装和引脚排列，并且具有相同的传输功能，也可能无法达到设计人员要求的性能水平。热特性可能有所不同。一款变体可能要昂贵得多，因为虽然该变体是一个可行的替代方案，但会使物料清单成本超出预算。采购工程师必须确保所有这些挑战都得到解决，之后才能宣称两款产品在功能上可以互相替代。

对于霍尔效应传感器而言，另一个潜在的关注点是引线框架结构。虽然某些型号使用标准 SOIC-16 封装，但德州仪器 (TI) 的 TMCS 产品系列在 SOIC-10 中使用熔合引线框架方法，因为这种单一的引线结构会在引线框架中引入电阻，从而优化框架输入侧的功率损耗。本应用手册旨在研究在设计中将这两种封装互作功能等效替代时的性能与可靠性。

2 SOIC-10 基板级可靠性测试暴露

在互换使用这两种封装时，面临的主要挑战是各自焊盘图案的布局。图 2-1 的左侧展示了 SOIC-10 的典型焊盘图案，右侧显示了 SOIC-16 的典型焊盘图案。

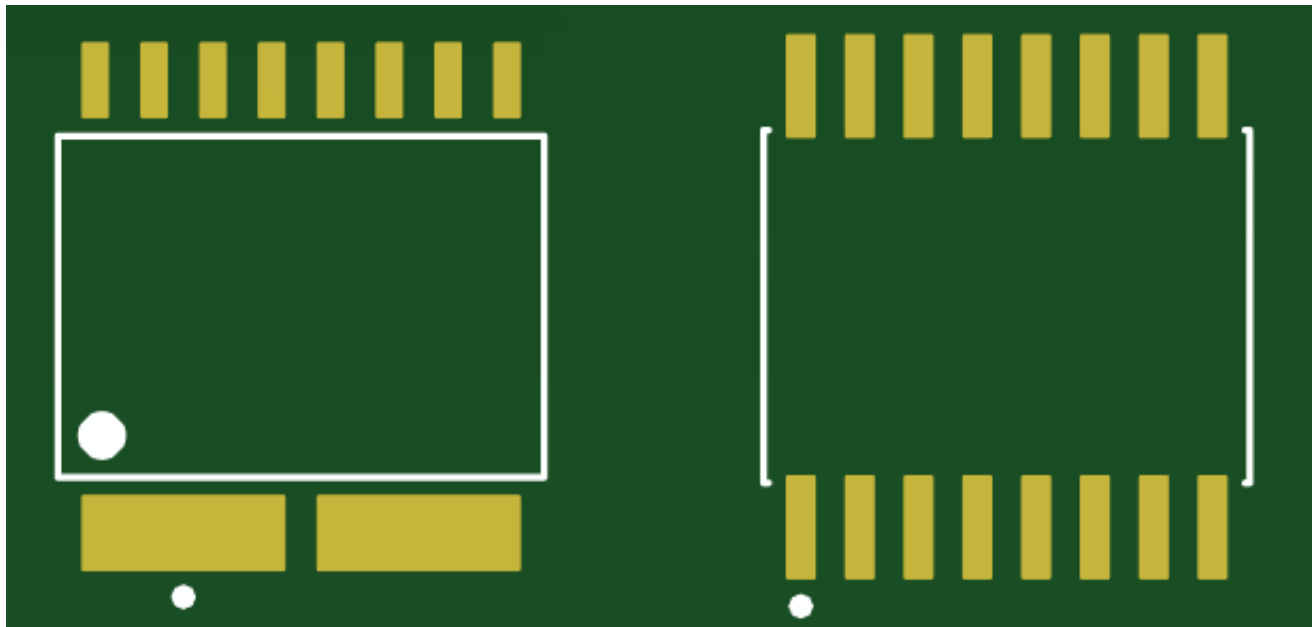


图 2-1. 焊盘图案：SOIC-10 (左) 和 SOIC-16 (右)

如焊盘图案所示，虽然主要焊点在尺寸和布局上相对相似，但每个输入端从四个单独的焊盘移动到了一个焊接了熔合引线框架的长形焊盘上。不过，在希望实现器件互换使用的应用场景中，人们很容易质疑：将熔合引线框架焊接在独立焊盘上是否会影响性能。单个引线在长形焊盘上的放置位置似乎并不重要。四个引线共用同一个输入节点并放置在长形焊盘上，不会对性能产生影响。但是，熔合引线框架放置在各个焊盘上可能会导致电流受限，从而产生额外的热量。

为了检查这些问题的影响，我们进行了基板级可靠性实验。对于本实验，我们的评估 PCB 在标准 SOIC-16 焊盘布局中填充了 SOIC-10 封装，如图 2-2 所示。



图 2-2. SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上

将其中八块 PCB 串联，使 20A 电流持续流经引线框并放入加热室。在此过程中，电路板经历了 500 次从 -40°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ 和从 $+125^{\circ}\text{C}$ 到 -40°C 的温度循环（请参阅图 2-3）。

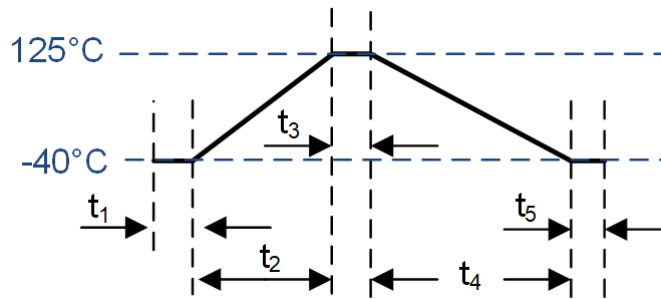


图 2-3. 温度循环时序图

其中：

- $t_1 = t_3 = t_5 = 7$ 分钟
- $t_2 = 45$ 分钟
- $t_4 = 70$ 分钟

温度的斜升和斜降速度受所用烤箱的限制，型号为 Test Equity 115A。在进入下一个循环之前，将基板保持在 -40°C 和 125°C 下浸泡 7 分钟。

在这 500 个循环的前后测试中，我们从热平衡角度检查了样品板，并通过 X 射线检测焊点，以分析循环对器件的影响。此外，还对电路板进行交叉部分分析，以寻找分层迹象。在温度循环期间没有发生器件故障。

这些器件还经历了另外 500 次温度循环，将总温度循环数增加到 1000 次。这些循环使用了与前 500 次循环相同的过程，并测试了电路板，在温度循环期间没有发生器件故障。

2.1 通过 X 射线检测焊点

在处理较大的焊点（例如 SOIC-10 封装输入端的焊点）时，正确选择焊料对于实现最佳性能来说非常重要。德州仪器 (TI) 建议使用免清洗焊膏，如 AIM M8 SAC 4 型，以获得最佳效果。水溶性焊膏通常会导致空洞增多，随着时间的推移，可能会因焊点中存在这些空洞而导致热性能降低。图 2-4 和 图 2-5 展示了免清洗焊膏的性能示例，而 图 2-6 和 图 2-7 展示了水溶性焊膏在较大焊点上的性能示例。

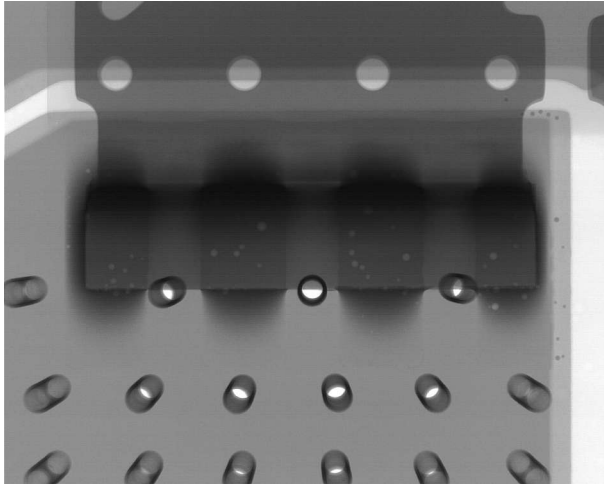


图 2-4. 免清洗焊膏 X 射线，左侧输入引线

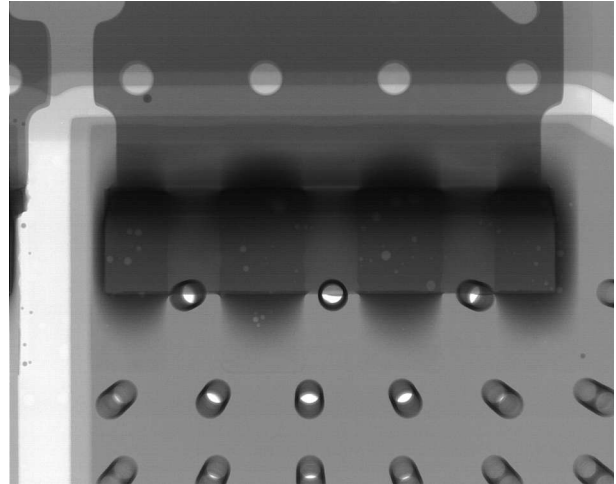


图 2-5. 免清洗焊膏 X 射线，右侧输入引线

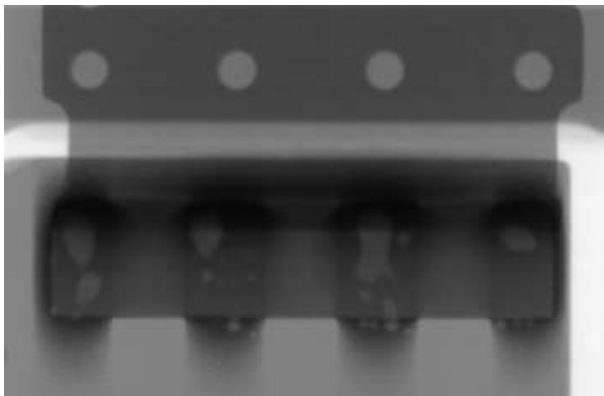


图 2-6. 初始时刻 X 射线，左侧输入引线

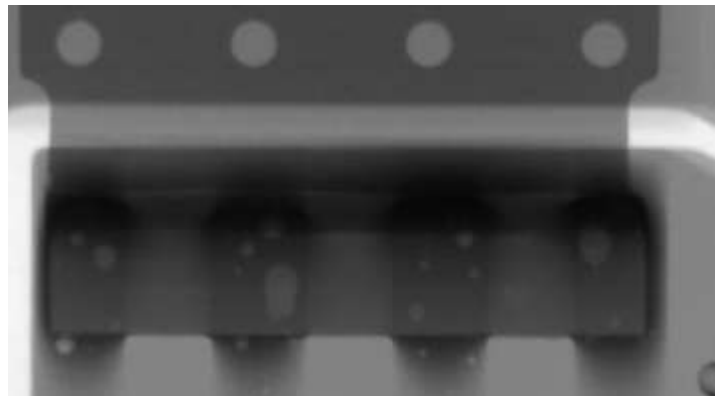


图 2-7. 初始时刻 X 射线，右侧输入引线

本实验特意选用了水溶性 SAC305 4 类焊膏，旨在将被测器件置于最严苛的焊料空洞情况，即 SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上的最不利场景。

在进行 图 2-3 中所述的 500 个温度循环后，再次检查器件的焊接完整性。请注意，图 2-8 和 图 2-9 中所示的器件是从测试卡中随机抽取的样片，其所显示的焊料空洞并非 图 2-6 和 图 2-7 中所示空洞的延续。

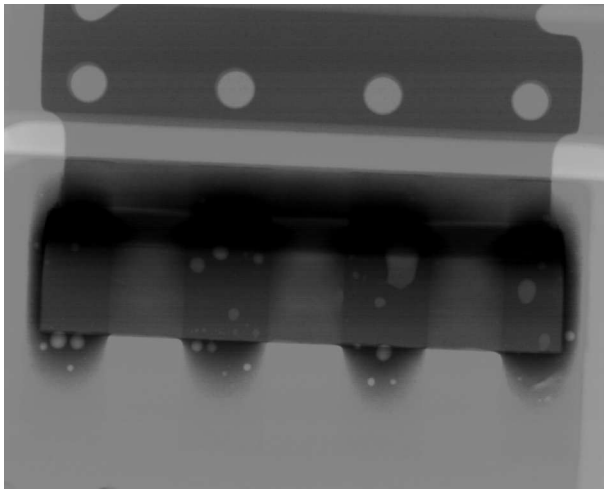


图 2-8. 500 个温度循环 X 射线，左侧引线

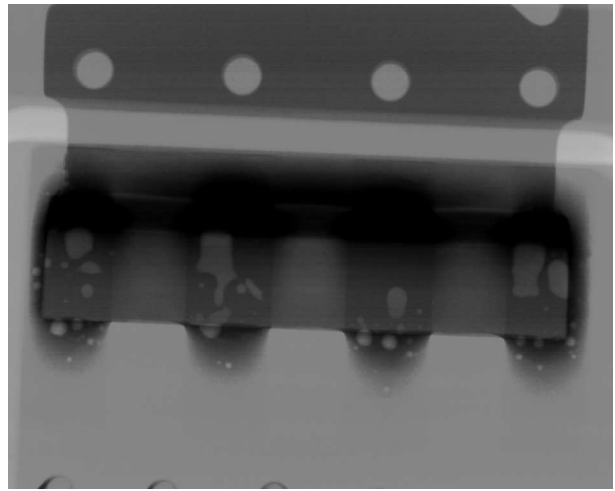


图 2-9. 500 个温度循环 X 射线，右侧引线

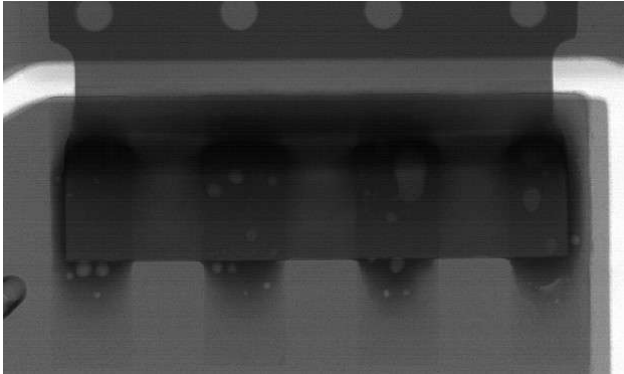


图 2-10. 1000 个温度循环 X 射线，左侧引线

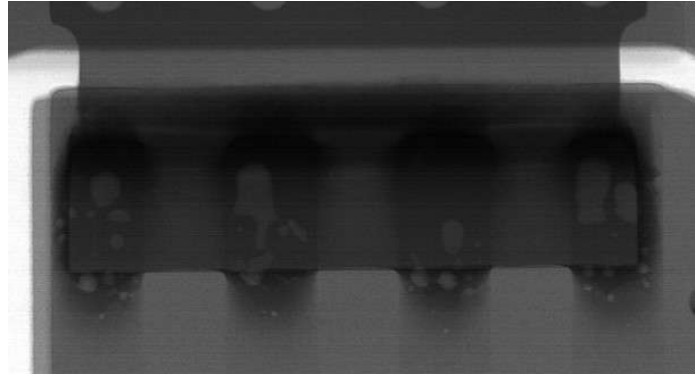


图 2-11. 1000 个温度循环 X 射线，右侧引线

X 射线结果显示，虽然熔合引线上存在焊料空洞，但数量上与初始时刻样片没有任何显著差异。焊料空洞与循环前出现的空洞相当，在恒定直流负载下，即使在 1000 个温度循环后也没有出现故障。这表明，无论初始制造时是否存在空洞，温度循环都不会导致焊料空洞增加。不过，一般而言，仍建议在生产中使用免清洗焊膏，因为这有助于缓解因为这一问题在生产中导致的所有额外故障。

2.2 热力测试

在初始状态和完成 500 次温度循环，以及完成 1000 次温度循环后，对器件进行了直流热分析，以评估引线框架在温度循环应力前后的热性能。此外，以标准焊盘图案作为基准对 TMCS 器件进行了相同测试，并在使用免清洗焊膏时对焊盘图案交叉进行了热测试。这些电路板中的每一块上都有 40A 的直流电流流经引线框架并持续 10 分钟，然后拍摄热图像。在所有情况下，这一长度都足够长，可以让器件达到热平衡。

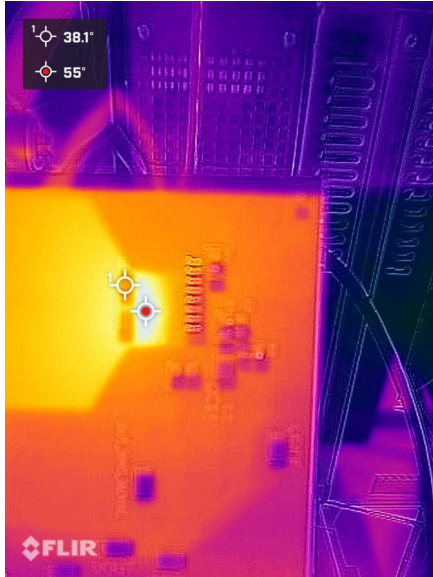


图 2-12. SOIC-10 封装在 SOIC-10 焊盘布局上，初始时刻，SAC 水溶性焊膏



图 2-13. SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上，初始时刻，SAC 水溶性焊膏

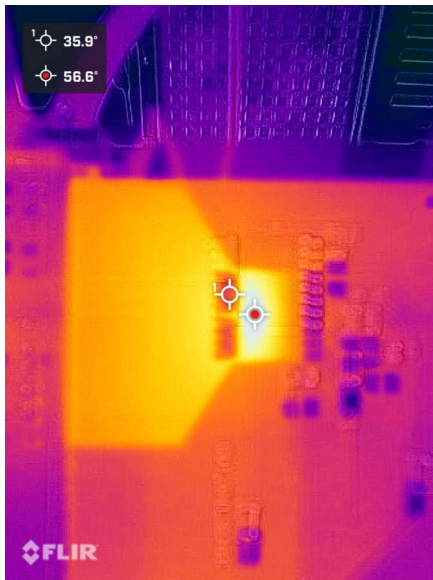


图 2-14. SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上，500 个循环后，SAC 水溶性焊膏



图 2-15. SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上，1000 次循环后，SAC 水溶性焊膏



图 2-16. SOIC-10 封装在 SOIC-16 焊盘布局上，初始时刻，SAC 免清洗焊膏

热图像表明，在所有电路板测试中引线框架的温度都是相近的。从初始测试到 500 个温度循环后的图像，最终温度变化小于 1°C (56°C 与 56.6°C 对比)。相比之下，TMCS 在标准焊盘布局上的基线板的最终温度为 55°C。使用免清洗焊膏的 SOIC-16 焊盘布局板上的 SOIC-10 也稳定在与其他测试相同的温度 (56.4°C)。总之，除了预计的随机工艺变化之外，没有观察到明显的热变化。

2.3 交叉部分

作为最终检查，在 300、500 和 1000 次温度循环后，从烤箱中取出样片基板以进行交叉部分分析。虽然分层在多层板上更为普遍，但在 2 层板上同样可能发生，并且随着器件引线 and 电路板在温度循环内膨胀和收缩，焊料问题变得更加复杂。图 2-17 展示了器件在 300 个循环后的最差情况交叉部分，图 2-18 展示了 500 个循环后的相应交叉部分。

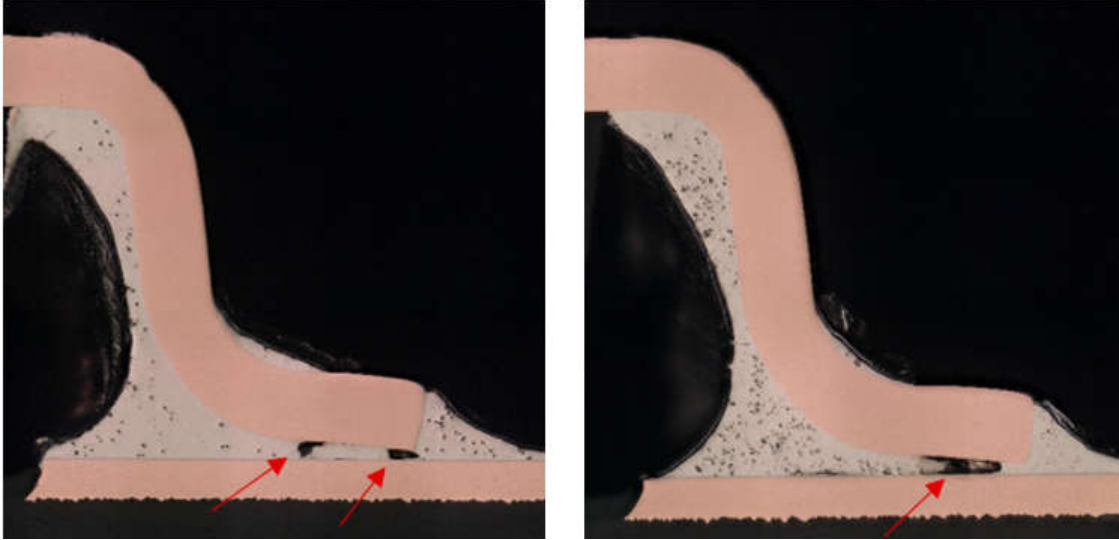


图 2-17. 交叉部分 - 300 个温度循环



图 2-18. 交叉部分 - 500 个温度循环

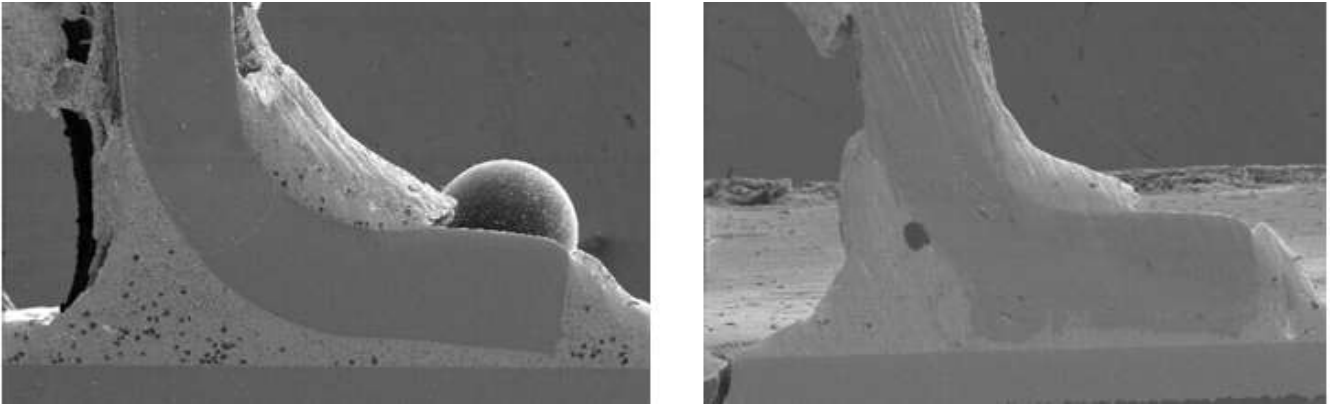


图 2-19. 交叉部分 - 1000 个温度循环

正如 X 射线检查期间观察到的那样，确实存在焊料空洞（在图中用红色箭头标出），但即使存在这些缺陷，也没有任何电路板因异常的热迹象或开路而出现故障。交叉部分显示没有分层迹象，焊料对引线框架和 PCB 的附着性依然良好，并且没有任何损坏的迹象。

3 总结

使用较大的焊盘以缓解较大焊点中的焊料空洞时，需要正确选择焊膏。通常，免清洗焊膏是优化此类焊点以获得最佳性能的首选。

一般来说，在 SOIC-16 焊盘布局上使用 SOIC-10 封装风险极低，甚至完全没有风险。在所有检查中，连续施加 1000 小时的温度应力后，观察到器件热性能、PCB 基板完整性或器件引线框架的完整性均未发生明显变化。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[TMCS1126 具有增强型隔离工作电压、过流检测和环境磁场抑制功能的精密 500kHz 霍尔效应电流传感器](#)，数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TMCS1123 霍尔效应电流传感器热分析](#)，应用手册。

5 修订历史记录

Changes from Revision * (September 2025) to Revision A (March 2026)

Page

• 在 SOIC-10 基板级可靠性测试暴露 中添加了文本.....	2
• 添加了 图 2-10 和 图 2-11	4
• 添加了 图 2-16	6
• 添加了 图 2-19	8

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