

高密度插装集成电路波峰焊工艺难点及解决方案

任永恒

重庆川仪微电路有限责任公司 重庆市 400700

摘要：高密度插装集成电路凭借集成度高、体积小的优势，广泛应用于各类精密电子设备，但其引脚密集、结构精密的特点，导致传统波峰焊工艺存在诸多生产难题。本文重点分析该类器件波峰焊生产中的三大核心难点，包括 PCB 布局受限引发的焊接缺陷、元器件热容量差异导致的控温难题以及精密结构带来的工艺稳定性差等问题。针对上述痛点，本文从 PCB 布局优化、工艺参数精准管控、全流程质量监控三个维度提出系统性解决方案。通过源头设计优化、精细化参数调控与全过程检测追溯，有效改善连锡、虚焊、器件热损伤等问题。

关键词：高密度插装；集成电路；波峰焊工艺

随着电子设备向小型化、集成化、高性能方向快速发展，高密度插装集成电路被广泛应用于精密电子、工业控制、航空航天等高端领域^[1]。波峰焊作为插装元器件批量焊接的核心工艺，具备生产效率高、适配性强、成本可控的优势，是集成电路批量生产的关键工序。高密度插装集成电路引脚间距小、排布密集、封装结构精密，传统波峰焊工艺极易出现连锡、虚焊、漏焊、引脚氧化及器件热损伤等质量缺陷，大幅降低产品良率与使用可靠性。为解决上述生产问题，提升高密度插装器件的焊接质量与生产稳定性，本文提出了可行的解决方案。

1 高密度插装集成电路波峰焊工艺难点

1.1 元器件布局密集，焊接空间受限

高密度插装集成电路的核心特征为引脚间距极小、元器件排布高度紧凑，电路板单位面积内元器件数量多、排布规整且间隙微小，大幅压缩了波峰焊的有效焊接操作空间。在波峰焊作业过程中，熔融焊锡流动性受到相邻元器件、密集引脚的多重阻挡，无法均匀覆盖焊接点位，容易出现焊锡堆积、流通不畅的情况^[2]。同时，狭小的空间会导致助焊剂挥发气体难以快速排出，气体滞留焊点位置，最终引发空洞、漏焊等缺陷。

1.2 热容量差异显著，温度控制困难

高密度插装电路板集成多种不同类型、不同规格的元器件，各类元器件基材、

体积与结构存在明显差异，致使电路板整体热容量分布不均匀。大型集成电路器件、接插件热容量偏大，升温速度缓慢，难以在常规焊接温度区间达到有效焊接温度；而小型引脚、微型元器件热容量较小，升温速度快，极易因高温出现过热损伤。波峰焊为批量连续式焊接工艺，整体温度参数统一设定，无法针对不同点位精准控温。焊接温度过低会造成焊点润湿性不足、虚焊和冷焊问题，温度过高则会导致精密器件烧毁、引脚氧化、板材分层变形，温度区间容错率极低，精准控温难度极大。

1.3 焊接缺陷易发，工艺稳定性要求高

高密度插装集成电路的精密封装结构，使其对波峰焊工艺参数、生产环境的敏感度大幅提升，各类焊接缺陷极易集中出现。除连锡、虚焊、漏焊等常见问题外，还易产生引脚锡尖、焊点空洞、锡量不足等精细化焊接不良问题^[3]。此外，密集引脚易残留助焊剂残渣与焊锡微粒，若清理不及时，会引发器件受潮、短路、腐蚀等后续隐患。相较于普通插装器件，其对工艺参数稳定性、生产环境洁净度的要求更为严苛，工艺管控难度显著提升。

2 高密度插装集成电路波峰焊工艺难点解决方案

2.1 优化 PCB 设计布局，提升焊接可制造性

针对高密度插装集成电路 PCB 布局密集、焊接空间不足引发的连锡、空洞、漏焊等问题，需从源头优化 PCB 设计布局，全面提升器件焊接可制造性。设计阶段需严格规范插装引脚间距与器件排布标准，在满足产品性能与小型化需求的前提下，适当预留合理的焊接安全间距，避免引脚过度密集、器件堆叠排布，为熔融焊锡流动、助焊剂气体挥发提供充足空间。同时统一器件排布方向，将同类型集成电路、插接件规整排列，减少焊接阴影区域，改善波峰焊过炉时焊锡的流通路径。针对易出现连锡的密集引脚区域，可合理增设阻焊坝、阻焊条结构，通过阻焊层隔离相邻焊点，从物理层面杜绝焊锡搭桥短路问题。此外，需优化 PCB 过炉工艺边设计，保留标准传输夹持区域，避免器件靠近板边造成受热不均和焊接盲区。同时结合波峰焊生产工艺要求开展 DFM 可制造性评审，提前规避布局不合理、结构不适配的设计问题，从根本上降低密集布局带来的焊接缺陷。

2.2 精准控制工艺参数，提高焊接质量

为解决电路板热容量不均、温度容错率低导致的虚焊、器件热损伤等问题，

需构建精细化、分层化的波峰焊工艺参数管控体系，实现精准温控与参数匹配。首先优化预热工艺参数，根据 PCB 板材、器件类型分区设定预热温度与预热时长，采用阶梯式预热方式，避免单次升温过快造成板材应力变形或器件骤热损伤，同时保证助焊剂充分活化、均匀覆盖焊点，提升焊锡润湿性。其次精准设定焊接温度、波峰高度与传输速度，结合高密度器件热容量差异，选取适配的焊接温度区间，既保证大热容量器件充分受热、焊点牢固浸润，又避免微型引脚、精密器件因高温过热烧毁。合理调控设备传输速度，确保电路板平稳过炉，保障焊点与焊锡充分接触融合，杜绝冷焊、虚焊问题。同时规范助焊剂喷涂参数，精准控制喷涂量、喷涂范围与均匀度，避免喷涂过多造成残渣残留、喷涂不足导致焊接氧化。定期校准波峰焊设备温控模块、传动模块，保证参数输出精准稳定，杜绝批次性工艺偏差，全面提升高密度器件的焊接质量与一致性。

2.3 强化过程监控检测，保障产品可靠性

针对高密度插装器件焊接缺陷易发、工艺稳定性要求高的特点，需搭建全流程过程监控与精准检测体系，有效规避焊接隐患、保障产品长期可靠性。生产前期需做好设备点检与工况核查，检查波峰焊锡面平整度、温控精度、助焊剂喷涂系统运行状态，及时清理锡炉氧化渣，避免杂质影响焊接效果。生产过程中实施实时动态监控，全程记录预热温度、焊接温度、传输速度、波峰高度等核心参数，一旦出现参数波动及时停机微调，杜绝批量不良产品产生。同时搭配多维度检测方式，结合人工目视抽检、AOI 光学检测设备对密集引脚焊点进行全覆盖检测，精准识别连锡、虚焊、锡尖、空洞等细微缺陷，弥补人工检测盲区。焊接完成后增设板面清洁工序，通过无尘清洗工艺清除密集引脚缝隙中残留的助焊剂残渣与焊锡微粒，防止后期器件腐蚀、短路故障。此外建立批次质量追溯机制，记录每批次生产工艺参数与检测数据，针对不良问题复盘优化工艺，持续完善管控体系。

3 结语

通过实施 PCB 可制造性优化、分层式工艺参数调控、全流程监控检测等改进措施，能够有效解决高密度器件波峰焊生产中的各类质量问题，改善焊点成型效果，规避批次性生产缺陷。整体工艺优化方案贴合实际生产工况，具备较强的可行性与实用性。未来可结合智能化温控设备与自动化检测技术，进一步升级波峰焊生产工艺，持续提升精密集成电路焊接的精度与稳定性，适配高端电子器件的

高质量生产需求。

参考文献

- [1]刘建召,周飘,张伟丽,等. 基于波峰焊设备校准方法的研究及应用 [J]. 计量与测试技术, 2025, 51 (10): 83-85.
- [2]何杭轩. 基于 ANSYS 的波峰焊仿真研究 [J]. 机电元件, 2025, 45 (3): 22-25.
- [3]邱志述,胡敏. 塑封集成电路焊锡污染影响与分析 [J]. 电子与封装, 2025, 25 (5): 126-129.

作者简介: 任永恒 (1998.10-), 男, 陕西宝鸡人, 汉族, DIP 技术员, 助理工程师, 本科, 研究方向: 波峰焊工艺。