

# 混合集成电路微组装工艺方向

钱亮 吴海峰

天水七四九电子有限公司 甘肃 天水 741000

**摘要:** 混合集成电路微组装工艺致力于将高密度的多层基板技术与微焊接技术紧密结合, 以实现集成电路芯片、片式元器件等微型元器件的高精度组装。该工艺通过采用先进的环氧贴装、回流焊、共晶焊等微焊接技术, 将分立元件与半导体芯片在多层基板上实现三维立体结构的高密度互连。这一工艺方向不仅提升了电路的功能复杂度和可靠性, 还极大地减小了电路模块的体积与质量, 是实现电子设备小型化、高性能和高可靠性的关键技术路径。

**关键词:** 混合集成电路; 微组装工艺; 质量控制与性能评估

引言: 随着电子技术的迅猛发展, 混合集成电路微组装工艺已成为推动电子设备向更高集成度、更小体积及更强可靠性迈进的关键技术。此工艺融合了精密机械、材料科学及电子技术等多学科智慧, 通过高精度贴片、回流焊接、精细清洗等工序, 将多元化元器件巧妙集成于狭小空间, 实现了电路性能与尺寸的最佳平衡。本文旨在深入探讨混合集成电路微组装工艺的最新进展, 分析其面临的挑战与机遇, 为推动相关技术的发展与应用提供理论支撑与实践指导。

## 1 混合集成电路基础与厚膜技术

### 1.1 混合集成电路概述

混合集成电路(HIC)是一种结合了半导体器件、无源元件(如电阻、电容、电感)以及互连线, 通过特定的工艺集成在同一基片上的电路形式。这种电路结构既利用了半导体器件的高性能, 又通过无源元件的灵活布局实现了电路功能的多样化。混合集成电路根据所使用的材料和技术不同, 可以分为多种类型, 其中最为常见的是厚膜混合集成电路和薄膜混合集成电路。厚膜混合集成电路以其高可靠性、高功率密度、良好的散热性能以及设计灵活性等特点, 在军事、航空航天、汽车电子、通信设备等对性能要求严苛的领域得到了广泛应用。相比之下, 薄膜混合集成电路则以其更高的集成度和更精细的线路布局, 在微电子领域占据了一席之地。然而, 两者各有千秋, 选择哪种类型取决于具体的应用场景和需求。

### 1.2 厚膜混合集成电路技术原理

厚膜混合集成电路的核心在于其厚膜材料的运用。厚膜材料通常指的是通过丝网印刷、喷涂或电镀等工艺, 在陶瓷、金属或玻璃等非导电基片上形成的一层或多层具有一定厚度(通常为几微米到几百微米)的导电、电阻或介质材料。这些材料具有良好的附着性、耐

腐蚀性、耐高温性以及稳定的电性能, 是构成厚膜电路的基础。厚膜混合集成电路的制备过程大致可以分为以下几个步骤: 首先, 根据电路设计需求, 在基片上绘制出电路图形; 然后, 通过丝网印刷技术将导电浆料、电阻浆料或介质浆料精确地印刷在基片上的指定位置; 接着, 经过烘干、烧结等工艺处理, 使浆料固化并与基片紧密结合, 形成稳定的电路结构; 最后, 进行元器件的焊接、封装和测试, 完成整个电路的制造。

### 1.3 技术比较分析

在混合集成电路领域, 厚膜与薄膜技术各有其独特的优势和局限性。厚膜技术以其高可靠性、高功率处理能力以及相对简单的制造工艺, 在需要承受高温、高压、大电流等恶劣工作环境的场合表现出色。此外, 厚膜电路的设计灵活性较高, 可以方便地实现复杂电路的布局和互连。然而, 厚膜电路的集成度相对较低, 线路宽度和间距较大, 限制了其在高密度集成领域的应用。相比之下, 薄膜技术则以其高集成度、精细的线路布局以及良好的高频特性, 在微电子领域占据了重要地位。薄膜电路可以通过光刻、蒸发、溅射等先进工艺, 在基片上形成微米级甚至纳米级的电路结构, 从而实现更高的集成度和更优越的性能。然而, 薄膜电路的制造工艺相对复杂, 成本较高, 且对基片材料的选择和预处理要求也较为严格。除了厚膜和薄膜技术外, 还有其他类型的混合集成电路技术, 如薄膜厚膜混合技术、多层共烧陶瓷技术等。这些技术各有特色, 但无论采用哪种技术, 混合集成电路的最终目标都是实现电路的小型化、高性能化和高可靠性。在实际应用中, 应根据具体需求选择合适的技术方案, 以达到最佳的性能和成本效益。

## 2 混合集成电路微组装工艺研究

### 2.1 锡膏印刷工艺

(1) 原理介绍: 锡膏印刷是混合集成电路微组装的

第一步,其关键在于将适量且均匀的锡膏准确地印刷到电路板(PCB)或陶瓷基片的指定位置。锡膏是由金属粉末(主要是锡和铅的合金,或现代无铅合金如锡-银-铜)、助焊剂和载体溶剂混合而成的膏状物。印刷机通过精确控制的刮刀或针头,将锡膏从模板的开孔中挤出并转移到基片上,形成所需的电路图案。印刷机的工作原理基于精密的机械传动和控制系统,能够实现对刮刀压力、速度、角度以及模板与基片间距等参数的精确调整。这些参数的设置直接影响到锡膏的印刷效果。(2) 操作流程:1) 模板设计。根据电路设计需求,设计并制作符合精度要求的钢制或树脂模板。模板上的开孔需与电路图案一一对应,尺寸精确,边缘清晰。2) 锡膏选择。根据焊接要求选择合适的锡膏类型,考虑其熔点、粘度、成分比例等因素。3) 印刷准备。清理基片和模板表面,确保无尘埃、油污等杂质。调整印刷机参数至最佳状态。4) 印刷过程控制。启动印刷机,监控刮刀或针头的移动轨迹,确保锡膏均匀、完整地填充到模板开孔中,并顺利转移到基片上。5) 印刷后检查。使用显微镜或光学检测设备检查印刷质量,及时发现并处理印刷不均、漏印、桥连等缺陷<sup>[1]</sup>。(3) 质量控制:针对印刷不均、桥连等常见缺陷,可通过优化模板设计(如增加开孔间距、调整开孔形状)、调整印刷机参数(如降低刮刀压力、调整刮刀角度)、选用更适合的锡膏种类或改进基片表面处理等方法进行解决。

## 2.2 元器件贴片工艺

(1) 原理与技术:元器件贴片是利用自动贴片机将电子元器件(如电阻、电容、二极管、IC等)按照电路设计要求精确地粘贴到基片上的过程。自动贴片机通过机器视觉系统识别元器件和基片上的标记点,实现精确定位;同时,通过精密的机械臂和吸嘴系统将元器件从供料器中取出并放置在指定位置。贴片精度通常要求达到微米级甚至更高<sup>[2]</sup>。(2) 操作流程:1) 元器件预处理。检查元器件的规格、型号、质量等是否符合要求;进行必要的清洗和编带处理以便供料器供料。2) 编程设定。根据电路设计文件编写贴片程序,设置贴装路径、速度、压力等参数。3) 贴片执行。启动自动贴片机进行贴片作业;实时监控贴片过程确保无误。4) 过程监控。使用机器视觉系统或人工方式对贴片质量进行检查,记录并处理贴片偏移、漏贴等异常情况。(3) 质量控制:提高贴片准确率的关键在于优化机器视觉系统的识别算法和校准方法、改进机械臂和吸嘴系统的设计以提高稳定性和灵活性、以及加强元器件供料器的管理和维护等。此外,定期对自动贴片机进行精度校准和预防性维

护也是必不可少的措施。

## 2.3 回流焊工艺

(1) 回流焊概述:回流焊是将已经贴装好元器件的基片置于加热环境中,通过加热使锡膏熔化并润湿元器件引脚与基片焊盘形成牢固连接的过程。回流焊在微组装中起着至关重要的作用它直接关系到电路的焊接质量和可靠性。(2) 工艺流程:回流焊工艺流程通常包括预热、恒温、回流和冷却四个阶段。预热阶段使基片和元器件温度逐渐升高以减少热应力;恒温阶段保持一定温度使锡膏中的溶剂充分挥发;回流阶段温度迅速升高使锡膏熔化并流动形成焊接点;冷却阶段则使焊接点迅速冷却固化以提高焊接强度。(3) 参数优化:温度曲线和气流分布是影响回流焊质量的重要因素。优化温度曲线可以避免元器件过热损坏或焊接不良;而合理的气流分布则可以确保加热均匀性减少焊接缺陷。此外还可以通过调整传送带速度、加热区长度等参数来进一步优化回流焊工艺<sup>[3]</sup>。

## 2.4 清洗工艺

(1) 清洗目的与重要性:清洗工艺的目的在于去除焊接过程中产生的残留物(如助焊剂残留物)以及其他可能污染电路的杂质(如尘埃、油污等)以保障产品质量和提高电路的长期稳定性。(2) 清洗方法与材料:在混合集成电路的清洗环节,清洗方法与材料的选择尤为关键。水基清洗虽环保经济,但对顽固污渍效果有限;半水基清洗则兼具环保与溶解力,成为平衡之选;而溶剂基清洗以其高效著称,但需严控安全,采取周密防护措施,确保操作环境无害于人员健康与环境安全。每种方法各有千秋,需根据具体情况灵活应用,以达到最佳清洗效果<sup>[4]</sup>。(3) 环保与效率考量:在混合集成电路清洗中,环保与效率并重。选用环保型清洗剂,减少毒性与排放;优化工艺参数与设备,提升清洗效率与质量。同时,推动循环经济,回收利用清洗废液与残渣,降低环境负担。强化人员培训,确保操作规范,提升环保意识与技能。通过综合施策,实现清洗过程的绿色高效,为可持续发展贡献力量。

## 3 混合集成电路微组装质量控制与性能评估

### 3.1 质量控制体系

构建一套科学、系统的质量控制体系,对于混合集成电路微组装生产至关重要。该体系应贯穿于整个生产过程,包括原材料采购、各工艺环节的操作与控制、产品检测与试验等多个方面。(1) 原材料控制。首先,从源头上确保原材料的质量。对供应商进行严格筛选和定期评估,确保所提供的锡膏、元器件、基板等原材料

符合质量标准和设计要求。建立原材料入库检验制度,对每批次的原材料进行抽样检测,确保其性能指标满足生产需求。(2) 工艺过程控制。在锡膏印刷、元器件贴片、回流焊和清洗等关键工艺环节,实施严格的过程控制。通过制定详细的操作规程和作业指导书,明确各工艺步骤的操作要求、注意事项和检验标准。采用先进的在线监测和检测技术,对工艺参数进行实时监控和调整,确保工艺过程的稳定性和可靠性。(3) 产品检测与试验。在产品生产的各个阶段,进行必要的产品检测和试验。在微组装完成后,进行全面的外观检查,确保无漏焊、虚焊、短路等明显缺陷。随后进行电性能测试,包括电阻、电容、电感等参数的测量,以及功能验证,确保产品性能符合设计要求。此外,还需进行可靠性测试,如高温老化、温度循环、振动试验等,以评估产品的长期稳定性和可靠性。

### 3.2 性能评估方法

性能评估是判断混合集成电路产品是否满足使用要求的重要手段。常用的性能评估方法包括电性能测试和可靠性测试两大类。(1) 电性能测试。电性能测试主要关注产品的电气参数和功能表现。通过专业的测试设备和方法,对产品的直流参数(如电阻、电压、电流等)、交流参数(如频率响应、相位差等)以及特殊功能(如信号放大、滤波等)进行测试。测试结果应与设计指标进行对比分析,评估产品的电气性能是否符合要求。(2) 可靠性测试。可靠性测试旨在评估产品在使用寿命内的稳定性和可靠性。通过模拟产品在各种恶劣环境下的工作情况(如高温、低温、湿度、振动等),观察产品的失效模式和失效机理。常见的可靠性测试方法包括高温老化试验、温度循环试验、振动试验、冲击试验等。通过可靠性测试,可以预测产品的使用寿命和可靠性水平,为产品设计和生产提供重要依据<sup>[5]</sup>。

### 3.3 缺陷分析与对策

在质量控制和性能评估过程中,难免会发现一些缺陷和问题。针对这些问题进行根因分析,并提出预防与改进措施,是不断提升产品质量的重要途径。(1) 缺

陷分析。对于发现的缺陷和问题,首先要进行详细的记录和分类。通过统计分析和对比研究,找出缺陷的共性和规律。然后结合生产工艺流程和设备状况,对缺陷产生的根本原因进行深入剖析。可能的原因包括原材料问题、工艺参数不当、设备故障、操作失误等多个方面。

(2) 预防与改进措施。针对缺陷产生的根本原因,制定具体的预防和改进措施。在原材料方面,加强对供应商的监管和评估,提高原材料的质量标准;在工艺过程方面,优化工艺参数和操作流程,引入先进的在线监测和检测技术;在设备方面,加强设备的维护和保养,确保设备的稳定性和可靠性;在人员培训方面,加强对操作人员的专业培训和考核,提高其技能水平和质量意识。通过实施这些措施,可以从根本上消除缺陷产生的根源,提高产品的质量和可靠性。

### 结束语

混合集成电路微组装工艺作为现代电子制造业的核心技术之一,其重要性不言而喻。通过本文的探讨,我们深刻认识到该工艺在提升电子产品性能、减小体积、增强可靠性方面的巨大潜力。未来,随着材料科学、精密机械、自动化技术等领域的不断进步,混合集成电路微组装工艺将迎来更多创新与发展。我们期待这一工艺能持续突破技术瓶颈,为电子产业的繁荣与进步贡献更强大的动力,同时,也为人类社会的智能化、信息化发展奠定坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 刘晓磊, 闵其勤, 何鑫. 混合集成电路微组装关键技术研究进展[J]. 电视技术, 2020, 44(1): 167-168.
- [2] 张杰, 姚文涛. 混合集成电路的微组装工艺研究[J]. 微电子学与计算机, 2019, 35(4): 107-108.
- [3] 贺宇辰. 基于追踪技术的混合集成电路微组装工艺优化研究[J]. 电子制造业, 2019, 12(7): 63-64.
- [4] 肖浩. 混合集成电路微组装工艺参数优化研究[J]. 计算机与数字工程, 2020, 45(9): 228-229.
- [5] 郭军. 混合集成电路微组装工艺的研究综述[J]. 电子产品世界, 2019, 8(11): 185-186.