

管芯共晶焊接技术研究及其在电子封装中的应用

李显川

成都西科微波通讯有限公司 四川 成都 610074

摘要:管芯共晶焊接技术作为电子封装中的关键工艺,对于确保电子器件的性能与可靠性至关重要。文章深入探讨了管芯共晶焊接技术的最新研究进展,包括焊料成分的优化、焊接工艺的创新以及焊接设备的改进。通过详细分析这些优化与创新在集成电路、光电器件及功率器件封装中的应用案例,本文揭示了管芯共晶焊接技术在提升封装效率、增强器件性能和促进环保封装方面的重要作用。研究成果为电子封装领域提供了有益的参考和指导。

关键词:管芯共晶焊接;手工共晶焊;真空共晶炉;电子封装;应用

1 管芯共晶焊接技术基础

1.1 共晶焊接基本原理

共晶焊接,也被称为低熔点合金焊接,是一种特定的焊接技术,广泛应用于电子封装领域,特别是在芯片与基板、基板与管壳的粘接中发挥着至关重要的作用。共晶焊接的基本原理基于共晶合金的特性,即在相对较低的温度下,共晶焊料发生共晶物熔合的现象。共晶合金是由两种或两种以上金属组成的合金,其熔点远低于合金中任一种金属的熔点。当这些金属以特定的比例混合时,它们能够在同一温度下从固态直接转变为液态,而不经塑性阶段。如图1所示,共晶焊接的过程通常涉及在特定温度和压力条件下,通过轻柔摩擦芯片与镀金底座,去除界面上的不稳定氧化层。这一步骤至关重要,因为它有助于焊料与基材之间的良好接触,进而促使接触表面熔化并形成液相。随着温度的降低,这些液相形成的晶粒会相互结合,形成机械混合物,从而实现焊接。



图1: 共晶焊接过程示意图

共晶焊接设备,如真空可控气氛共晶炉、镊子共晶机、红外再流焊炉等,在实现这一过程中起着关键作用。这些设备能够提供精确的温度和时间控制,以及必要的气氛环境(如氮气、氮气和甲酸的混合气体等),以确保焊接过程的稳定性和可靠性。特别是在氮气保护

氛围下,通过脉冲电源精准控制加热温度和加热时间,可以实现对热沉垫块与焊料在管座上的同步共晶焊接。

1.2 管芯共晶焊接的优势

管芯共晶焊接技术相较于传统的环氧导电胶粘接等方法,具有显著的优势。首先,共晶焊接具有高热导率和低电阻,这意味着它能够实现更快速、更有效的热量传递,这对于高频、大功率器件来说至关重要。其次,共晶焊接的可靠性强,粘接后的剪切力大,能够确保芯片与基板之间的稳固连接,从而提高整个器件的稳定性和使用寿命^[1]。另外,共晶焊接还具有良好的散热性,这对于散热要求较高的电子元器件来说尤为重要。通过共晶焊接,可以有效地将芯片产生的热量传导到基板或散热片上,从而降低芯片的工作温度,提高其工作效率和可靠性。共晶焊接还能够减少焊接过程中的热应力,降低器件因热膨胀系数不匹配而产生的失效风险。共晶焊接的另一个显著优势是其工艺的可控性和重复性。通过精确控制焊接过程中的温度、时间、气氛等参数,可以确保每次焊接的质量一致,从而提高生产效率和产品的一致性。这对于大规模、批量化的电子元器件生产来说尤为重要。

1.3 共晶焊接材料

共晶焊料通常由两种或两种以上金属组成,其成分比例决定了共晶温度和焊接特性。常见的共晶焊料包括锡-铅(Sn-Pb)系、金-锡(Au-Sn)系、锡-铜(Sn-In)系等。锡-铅系共晶焊料在过去是电子设备、电子元器件组装中最广泛应用的焊料之一。其共晶点为183℃,具有良好的焊接性能和成本效益,由于铅的毒性问题,近年来无铅焊料逐渐取代了锡-铅焊料在电子封装领域的应用。金-锡系共晶焊料具有高耐腐蚀性、高抗蠕变性及良好的导热和导电性,适用于一些特殊场合,如要求机械及导热性能好的高可靠性器件,金-锡焊料的价格较贵,

且性能较脆,不易加工。锡-铜系共晶焊料具有较低的熔点,适用于真空环境或甲酸气体保护环境下的焊接。其耐热疲劳性、延展性等方面存在缺陷,因此只适用于特殊工艺焊接。

2 手工共晶焊与真空共晶炉的比较

2.1 手工共晶焊技术

手工共晶焊技术是一种依赖人工操作的焊接方法,广泛应用于小批量、高价值或特殊要求的电子元器件封装中。在手工共晶焊过程中,操作者需要使用特定的工具,如镊子或吸嘴,将芯片精确地放置在预涂有焊料的共晶区域,如图2所示。通过手动加热,使焊料熔化并浸润芯片与基板的接触面。这一过程要求操作者具备高度的技巧和经验,以确保焊接质量的一致性和可靠性。



图2: 手工共晶焊操作示意图

手工共晶焊的优势在于其能够处理各种形状和尺寸的芯片,以及适应不同的焊接环境和要求,由于操作过程中的灵活性,手工共晶焊可以应用于一些自动化焊接设备难以处理的特殊结构或复杂布局。手工共晶焊也存在一些局限性。首先,由于依赖人工操作,焊接质量可能受到操作者技能水平、疲劳程度或注意力分散等因素的影响;其次,手工共晶焊的生产效率相对较低,难以满足大规模、批量化的生产需求;最后,手工共晶焊过程中可能产生的氧化、污染或空洞等问题,也可能对焊接质量和器件的可靠性产生负面影响。

2.2 真空共晶炉技术

真空共晶炉通过精确控制加热温度、时间和气氛等参数,实现了对焊接过程的精确控制。在真空环境下,焊料能够更充分地熔化并浸润芯片与基板的接触面,从而减少氧化、污染和空洞等问题的发生。真空共晶炉还具备快速加热和冷却的能力,能够在短时间内完成焊接过程,提高了生产效率^[2]。与手工共晶焊相比,真空共晶炉技术具有显著的优势,自动化程度高,能够减少人为因素对焊接质量的影响,提高生产效率和一致性。真空环境能够减少氧化和污染问题,提高焊接质量和器件的可靠性。真空共晶炉适用于大规模、批量化的生产环境,能够满足市场对高

产量、高质量电子元器件的需求。

3 管芯共晶焊接技术在电子封装中的应用

3.1 在集成电路封装中的应用

集成电路,作为现代电子设备的基础元件,其封装质量直接关系到设备的性能和可靠性。管芯共晶焊接技术以其高热导率、低电阻和优良的机械性能,成为集成电路封装中不可或缺的一环。在集成电路封装过程中,管芯共晶焊接技术主要用于芯片与封装基板之间的连接。通过精确控制焊接温度、时间和气氛等参数,可以确保焊料充分熔化并浸润芯片与基板的接触面,形成牢固的焊接接头。这种焊接接头不仅具有良好的导电和导热性能,还能有效抵抗外部应力和环境变化,从而确保集成电路的稳定性和可靠性。管芯共晶焊接技术还具备高度自动化的特点,适用于大规模、批量化的生产环境。通过引入先进的自动化设备和控制系统,可以实现对焊接过程的精确控制和实时监测,从而提高生产效率和质量一致性。这对于满足现代电子市场对高产量、高质量集成电路的需求具有重要意义。

3.2 在光电器件封装中的应用

光电器件,如发光二极管(LED)、光探测器等,是现代光电技术和信息技术的重要组成部分。管芯共晶焊接技术在光电器件封装中同样发挥着重要作用。光电器件的封装需要满足高透光性、高可靠性和长寿命等要求。管芯共晶焊接技术通过精确控制焊接参数,可以确保焊料充分熔化并浸润芯片与封装材料之间的接触面,形成紧密且稳定的焊接接头。这种焊接接头不仅具有良好的导电和导热性能,还能有效防止外部水分、氧气等有害物质的侵入,从而保护光电器件免受损害。管芯共晶焊接技术还适用于各种形状和尺寸的光电器件封装。通过调整焊接工艺和材料选择,可以实现对不同结构和性能要求的光电器件进行高效、可靠的封装。在光电器件封装中,管芯共晶焊接技术还面临一些技术难题。为了解决这些问题,研究人员正在不断探索新的焊接方法和材料,如采用低应力焊料、优化焊接工艺参数等,以进一步提高管芯共晶焊接技术在光电器件封装中的应用效果。

3.3 在功率器件封装中的应用

功率器件,如功率二极管、功率晶体管等,是电力电子系统和电力传动系统中的重要元件。功率器件的封装需要满足高散热性、高可靠性和长寿命等要求。管芯共晶焊接技术通过采用高热导率的焊料和精确的焊接工艺,可以确保芯片与散热片或基板之间形成良好的热连接。这种热连接不仅能够有效地将芯片产生的热量传导

出去,降低芯片的工作温度,还能提高功率器件的散热效率和可靠性。管芯共晶焊接技术还适用于各种结构和尺寸的功率器件封装,通过调整焊接工艺和材料选择,可以实现对不同功率等级和工作环境下的功率器件进行高效、可靠的封装^[3]。

4 管芯共晶焊接技术的优化与创新

4.1 焊料优化

管芯共晶焊接技术的核心在于焊料的选择与优化。传统的焊料如锡-铅合金虽已广泛应用,但其铅含量带来的环境污染问题促使人们寻找更加环保的替代方案。近年来,无铅焊料的研究与开发取得了显著进展,如锡-银-铜(SAC)系列焊料,它们不仅符合环保要求,还展现出了良好的焊接性能和可靠性。SAC焊料在某些特殊应用场景下仍可能存在热膨胀系数不匹配、抗蠕变性不足等问题。进一步优化焊料成分,如添加微量合金元素,调整合金比例,成为提升焊接质量和性能的关键。除了环保与性能考虑,焊料的熔点、流动性、浸润性等物理特性也是优化的重点。通过调整焊料的化学组成,可以实现对这些特性的精细调控,以满足不同封装材料和工艺的需求。焊料的微观结构控制也是优化的重要方向。通过调整热处理工艺,如快速冷却、退火等,可以优化焊料的晶粒尺寸和分布,从而减少焊接缺陷,提高焊接接头的可靠性。

4.2 工艺创新

工艺创新是提升管芯共晶焊接技术效率和质量的另一重要途径。传统的共晶焊接工艺往往依赖于精确的温度控制和手工操作,这不仅限制了生产效率,还可能引入人为误差。随着自动化和智能化技术的发展,共晶焊接工艺正朝着更加高效、精确的方向发展。例如,激光共晶焊接技术利用激光束作为热源,通过精确控制激光功率和扫描路径,实现对焊接过程的精细控制。这种技术不仅提高焊接速度和精度,还显著降低热应力和焊接缺陷,适用于高密度、高集成度的电子封装。超声波辅助共晶焊接技术也是一项创新工艺,超声波振动可以促进焊料的快速浸润和扩散,减少焊接时间和温度,同时有助于消除焊接界面上的气孔和夹杂物,提高焊接接头

的质量。在工艺创新方面,还需关注焊接前的表面处理和焊接后的检测与评估。通过采用先进的清洗、镀膜和检测技术,可以确保焊接界面的清洁度和完整性,进一步提高焊接质量和可靠性。

4.3 设备改进

设备是实现管芯共晶焊接技术优化的基础。随着技术的进步,共晶焊接设备正朝着更加智能化、自动化和集成化的方向发展。现代化的共晶焊接设备通常配备有先进的温度控制系统和气氛保护装置,以确保焊接过程中的温度均匀性和气氛稳定性^[4]。设备还具备实时监测和反馈功能,能够实时调整焊接参数,以适应不同材料和工艺的需求。在设备改进方面,还需关注设备的可靠性和稳定性,通过采用高质量的材料和精密的制造工艺,可以提高设备的耐用性和精度,减少设备故障和维修成本。设备的易用性和可操作性也是改进的重点。通过优化设备设计和用户界面,可以降低操作难度,提高生产效率。

结束语

综上所述,管芯共晶焊接技术作为电子封装领域的核心技术之一,其研究与应用对于推动电子产业的发展具有重要意义。随着环保要求的提高和电子器件的小型化、集成化趋势,管芯共晶焊接技术将面临更多挑战与机遇。未来,期待在焊料材料、焊接工艺和设备技术等方面取得更多突破,以进一步提升电子封装的效率、质量与环保性,为电子产业的持续创新与发展贡献力量。

参考文献

- [1]马力,项敏,石磊等.高端性能封装技术的某些特点与挑战[J].电子与封装,2023,23(03):94-102.
- [2]赵科,李茂松.高可靠先进微系统封装技术综述[J].微电子学,2023,53(01):115-120.
- [3]黄玺,张亮,王曦,等.电子封装用纳米级无铅钎料的研究进展[J].材料导报,2024,38(23):132-144. DOI:10.11896/cldb.23080181.
- [4]黄天,甘贵生,刘聪,等.电子封装低温互连技术研究进展[J].中国有色金属学报,2023,33(4):1144-1178. DOI:10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-42856.