

# 基于先进材料的大功率管芯共晶焊接技术研究

熊高洪

中国电子科技集团公司第二十九研究所 四川 成都 610036

**摘要:** 基于先进材料的大功率管芯共晶焊接技术研究, 采用Au80Sn20焊料, 通过优化预置焊料、温度曲线、氮气保护气氛及摩擦次数等参数, 实现了高焊透率、高可靠性的共晶焊接模块。研究结果显示, 焊接位置精度控制在 $(25\pm 5)$   $\mu\text{m}$ 范围内, 焊点剪切力满足军用标准GJB 548B—2005要求。该技术在大功率微波芯片领域具有广泛应用前景, 为提高组件整体可靠性与电学性能提供了有力支持。

**关键词:** 先进材料; 大功率管芯; 共晶焊接; 焊接质量

引言: 大功率管芯与基板的焊接质量直接影响组件整体的可靠性与电学性能。共晶焊接因具有焊接强度高、剪切力强、连接电阻小、传热效率高等优点, 被广泛应用于高频、大功率器件的焊接中。本研究基于先进材料, 针对大功率管芯共晶焊接技术展开深入研究, 旨在优化焊接参数, 提高焊接质量, 以满足现代电子器件对高性能、高可靠性的需求。

## 1 大功率管芯共晶焊接技术概述

大功率管芯共晶焊接技术是一种先进的连接技术, 它在微电子和高功率电子设备制造中发挥着关键作用。这种技术基于共晶合金的特性, 即两种不同的金属可在远低于各自熔点的温度下, 按一定重量比例形成合金。在大功率管芯的焊接中, 常用的共晶合金包括AuGe、AuSn、AuSi等, 这些合金具有热导率高、电阻小、传热快、可靠性强等优点。共晶焊接过程中, 金属基板和封装材料被加热到高温, 并在真空或特定气氛中共熔反应, 形成无裂缝的结合。这一技术可以显著提高焊接点的可靠性和结合强度, 同时降低热阻, 提高设备的性能和寿命。在大功率管芯的共晶焊接中, 还需要严格控制焊接温度曲线、氮气保护气氛、摩擦次数等参数, 以确保获得良好的焊透率和焊接质量。通过优化这些参数, 可以实现大功率管芯与基板之间的可靠连接, 满足高功率电子设备对散热和性能的要求。大功率管芯共晶焊接技术还具有工艺简单、成本低、适应性强等优点, 可以被广泛应用于雷达、微波通信系统、航空航天和医疗等领域。随着技术的不断进步和应用的拓展, 大功率管芯共晶焊接技术将在未来发挥更加重要的作用, 为电子行业的发展和创新提供有力支持。

## 2 先进材料在大功率管芯共晶焊接中的应用基础

### 2.1 先进材料的分类及特性

在大功率管芯共晶焊接的广阔领域中, 先进材料的

应用基础首先植根于其精细的分类与多样化的特性之中。这些先进材料, 按照其组成与性质, 大致可以划分为金属基材料、陶瓷基材料、高分子基复合材料以及一系列新型合金材料等几大类。金属基材料, 诸如高纯度铜、银、金及其合金, 因其卓越的导电导热性能、出色的机械强度以及良好的可塑性, 成为大功率管芯共晶焊接中的首选材料。它们不仅能够迅速传递热量, 降低焊接过程中的热应力, 还能确保焊接点的电气连接稳定可靠<sup>[1]</sup>。陶瓷基材料, 以其卓越的耐高温、耐磨损、耐腐蚀性能, 以及独特的电学、磁学特性, 在需要承受高温、高压或强腐蚀性环境的特定场合下, 展现出不可替代的优势。高分子基复合材料, 则通过巧妙的结构设计, 实现了轻质高强、良好的绝缘性能以及一定的可加工性, 为现代电子器件的轻量化、小型化提供有力支持。而新型合金材料, 如镓氮化物、钛酸盐等, 更是凭借其在极端条件下的高稳定性、低损耗特性, 为大功率管芯的焊接提供了更为广阔的选择空间, 推动了共晶焊接技术的不断创新与发展。

### 2.2 先进材料与大功率管芯的兼容性

先进材料与大功率管芯之间的兼容性, 是决定焊接成功与器件性能稳定的关键因素之一。在选择适用于大功率管芯共晶焊接的先进材料时, 需全面考虑其与大功率管芯在多个方面的匹配性。首先, 热膨胀系数的匹配性至关重要。由于大功率管芯在工作过程中会产生大量的热量, 导致材料发生热胀冷缩。若所选材料与管芯的热膨胀系数差异过大, 将在焊接点处产生较大的应力, 进而引发剥离或裂纹, 严重影响焊接质量和器件的可靠性。因此选择热膨胀系数相近的材料, 是确保焊接点稳定的关键。其次, 化学稳定性也是不可忽视的因素。在高温焊接过程中, 若材料与管芯或基板发生化学反应, 将产生有害的化合物, 影响焊接质量, 甚至破坏器件的

结构。需确保所选材料在高温下具有良好的化学稳定性,避免与管芯或基板发生不良反应。电学性能也是选择材料时需要考虑的重要方面。根据器件的具体需求,材料应具备良好的导电性或绝缘性,以满足电子器件的电气性能要求。最后,还需综合考虑材料的加工性能和成本效益。所选材料应易于加工成型,便于在实际生产中高效、经济地应用,同时确保成本控制在可接受范围内。

### 3 基于先进材料的大功率管芯共晶焊接工艺研究

#### 3.1 焊接设备及工具

基于先进材料的大功率管芯共晶焊接工艺研究,首先离不开先进的焊接设备及工具的支持。在现代电子制造业中,共晶焊接设备已经发展到了高度自动化、智能化的阶段,为精确控制焊接过程、提高焊接质量提供了有力保障。焊接设备主要包括共晶焊接炉、可编程脉冲加热台、氮气保护系统等关键组件。共晶焊接炉通常采用真空或惰性气体保护,以确保焊接过程中不受外界氧气的干扰,防止材料氧化,提高焊接质量。可编程脉冲加热台则通过精确控制升温速率、最高温度和持续时间等参数,实现对焊接温度曲线的精确调控。这一功能对于大功率管芯的焊接尤为重要,因为过高的温度或过长的焊接时间都可能对管芯的性能造成损害。氮气保护系统是大功率管芯共晶焊接中不可或缺的一部分。通过向焊接区域充入氮气,可以有效降低环境氧气含量,防止金锡焊料等敏感材料在焊接过程中形成氧化物残渣,影响焊接质量。实验数据表明,当氮气流量达到5L/min以上时,可以确保焊接在无氧气氛下完成,此时得到的金锡焊点明亮而有光泽,无氧化现象。焊接过程中还需要使用一系列精密的工具,如微调夹具、压力控制模块、吸头等。微调夹具用于精确对准大功率管芯与基板,确保焊接位置的准确性。压力控制模块则用于在焊接过程中施加适当的压力,促进焊料的铺展和浸润,提高焊接质量。吸头则用于保护表面敏感区域不受损坏,同时可根据实际需求选择不同类型的吸头,如普通型、自平衡型等<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 工艺参数优化

在大功率管芯共晶焊接工艺中,工艺参数的优化是确保焊接质量的关键。焊接温度是影响焊接质量的最重要因素之一。实验数据表明,Au80Sn20焊料的共晶点为280°C,但为了确保焊料具有良好的可焊性,焊接时温度范围通常设定为300°C~310°C。由于大功率管芯对温度敏感,焊接时间必须严格控制在30秒以内,以防止管芯性能下降。氮气流量也是影响焊接质量的关键因素之一,如前所述,当氮气流量达到5L/min以上时,可以确保焊

接在无氧气氛下完成。然而过高的氮气流量会导致从加热台带走的热量过多,焊接温度出现不稳定现象。在实际操作中,需要综合考虑氮气流量对焊接质量和焊接效率的影响,选择最佳的氮气流量参数。摩擦次数是影响焊接透率的另一个重要因素,在大功率管芯共晶焊接过程中,适当的摩擦过程有利于焊料表面的氧化物破除、焊料在芯片和热沉之间的铺展以及共晶焊接面气体的排除。实验数据表明,当摩擦次数达6-10次时,焊透率可以保证在95%以上,满足功放芯片的散热要求。还需要对焊接过程中的其他参数进行优化,如加热速率、共晶时间、共晶压力等。通过反复试验和数据分析,可以找到最佳的工艺参数组合,确保焊接质量稳定可靠。

#### 3.3 焊接过程控制

在大功率管芯共晶焊接过程中,精确的过程控制是确保焊接质量的关键。焊接前的准备阶段,需要对焊接设备和工具进行仔细检查和维护,确保其处于良好的工作状态。还需要对大功率管芯和基板进行清洗和预处理,去除表面的油污和氧化物等杂质,提高焊接质量。焊接过程中,需要实时监控焊接温度、氮气流量、摩擦次数等关键参数的变化情况。通过先进的传感器和控制系统,可以实现对这些参数的精确控制和调节。同时要对焊接过程中的异常情况进行及时处理和报警,确保焊接过程的安全和稳定。焊接完成后,需要对焊接质量进行全面的检测,这包括焊接点的外观检查、剪切力测试、热循环试验等多个方面。外观检查可以直观地判断焊接点是否存在裂纹、气泡等缺陷;剪切力测试则可以评估焊接点的强度和可靠性;热循环试验则可以模拟实际工作环境下焊接点的温度变化情况,进一步验证焊接质量。实验数据表明,经过优化的工艺参数和精确的过程控制,大功率管芯共晶焊接的焊透率可以达到90%以上,焊接点的剪切力满足GJB 548B-2005等相关标准的要求。焊接后的器件在-55°C~+125°C的热循环试验中表现出良好的稳定性和可靠性。

### 4 基于先进材料的大功率管芯共晶焊接接头质量评估

#### 4.1 力学性能评估

在大功率管芯共晶焊接过程中,由于焊接接头需要承受来自管芯和基板的热应力、机械应力等多种复杂应力的共同作用,因此对其力学性能的要求极高。力学性能评估主要包括剪切强度测试、拉伸强度测试以及疲劳寿命测试等几个方面。剪切强度测试通过施加垂直于焊接接头的剪切力,评估接头抵抗剪切破坏的能力。这一测试能够直观反映焊接接头的连接强度,是评估焊接质量的重要指标之一<sup>[3]</sup>。实验数据表明,采用先进材料的

大功率管芯共晶焊接接头,其剪切强度通常能够达到数百兆帕(MPa)以上,满足高可靠性应用的需求。拉伸强度测试则是通过施加平行于焊接接头的拉伸力,评估接头抵抗拉伸破坏的能力。这一测试能够反映焊接接头在受到外力作用时的整体强度,对于评估焊接接头的可靠性和稳定性具有重要意义。在实际应用中,大功率管芯共晶焊接接头的拉伸强度通常要求不低于材料本身的屈服强度,以确保在恶劣工况下仍能保持稳定的连接。疲劳寿命测试则是通过模拟实际工作环境中焊接接头所承受的循环应力,评估其抗疲劳破坏的能力。这一测试能够揭示焊接接头在长期应力作用下的性能变化,对于预测焊接接头的使用寿命和可靠性至关重要。实验数据表明,基于先进材料的大功率管芯共晶焊接接头,在合理的工艺参数下,其疲劳寿命通常能够达到数千至数万次循环以上,满足高可靠性应用的要求。除了上述测试外,还可以采用显微硬度测试、断口分析等手段,进一步揭示焊接接头的力学性能和失效机制。显微硬度测试能够反映焊接接头不同区域的硬度变化,为评估焊接接头的均匀性和可靠性提供依据。

#### 4.2 电学性能评估

电学性能直接关系到焊接接头在电路中的传输效率和稳定性。由于大功率管芯在高频、高功率条件下工作,焊接接头需要具备良好的导电性能和电磁兼容性,以确保电路的正常运行和信号传输的完整性。电学性能评估主要包括电阻测试、电容测试以及电感测试等几个方面。电阻测试通过测量焊接接头的电阻值,评估其导电性能的好坏。实验数据表明,基于先进材料的大功率管芯共晶焊接接头,其电阻值通常能够控制在极低的水平,确保电路中的能量损耗最小化。电容测试则是通过测量焊接接头与周围结构之间的电容值,评估其电磁兼容性能。这一测试能够揭示焊接接头在高频电路中的行为特性,为优化电路设计和提高信号传输质量提供依据。电感测试则是通过测量焊接接头及其周围结构的电感值,评估其对电路性能的影响。这一测试能够反映焊接接头在电路中的阻抗特性,为优化电路布局和提高电路稳定性提供指导。

#### 4.3 热学性能评估

在大功率管芯共晶焊接接头质量评估中,热学性能评估同样不可或缺。热学性能评估主要包括热导率测试、热膨胀系数测试以及热循环测试等几个方面,热导率测试通过测量焊接接头的热导率值,评估其散热性能的好坏。实验数据表明,基于先进材料的大功率管芯共晶焊接接头,其热导率通常能够达到较高的水平,确保热量能够及时散发并维持电路的稳定运行<sup>[4]</sup>。热膨胀系数测试则是通过测量焊接接头在不同温度下的膨胀量,评估其热应力分布和变形情况。这一测试能够揭示焊接接头在高温环境下的行为特性,为优化结构设计和提高热稳定性提供依据。热循环测试则是通过模拟实际工作环境中焊接接头所承受的温度循环变化,评估其抗热疲劳破坏的能力。这一测试能够反映焊接接头在长期热应力作用下的性能变化,对于预测焊接接头的使用寿命和可靠性至关重要。除了上述测试外,还可以采用红外热成像仪等高级测试设备,对焊接接头在高温环境下的温度分布和散热情况进行实时监测和分析。

#### 结束语

本研究通过深入探索基于先进材料的大功率管芯共晶焊接技术,不仅成功优化了焊接工艺参数,实现了高质量的焊接接头,还进一步提升了大功率管芯组件的整体性能与可靠性。未来,随着材料科学与焊接技术的不断进步,有理由相信,大功率管芯共晶焊接技术将在更广泛的领域得到应用,为推动电子产业的持续发展与技术创新贡献重要力量。

#### 参考文献

- [1]马立朋,范军旗,徐向军.自动化焊接技术和装备提升钢桥制造水平[J].焊接技术,2022,51(12):43-47.
- [2]潘彦江.现代焊接技术的种类及应用特征[J].农机使用与维修,2022(10):70-72.
- [3]秦建,吕贤明,司浩等.基于智能制造的焊接材料新特征[J].材料导报,2023,37(11):128-134.
- [4]张想,谭伟超,石绍伟.塑料超声波焊接技术的研究分析[J].橡塑技术与装备,2023,49(02):46-48.