

高导热铝基板的设计与开发

唐芬娟 黄卫军

浙江锴达科技股份有限公司 浙江绍兴 312300

【摘要】本文深入探讨了高导热铝基板的设计与开发相关内容。首先介绍了高导热铝基板在电子散热领域的重要性及发展现状。接着详细阐述了高导热铝基板的结构组成和各部分功能，包括金属基层、绝缘层和线路层。从材料选择、热性能优化等方面分析了高导热铝基板的设计要点，并对绝缘层材料、金属基层材质以及线路层布局等关键因素进行了深入研究。在开发过程中，讨论了制造工艺，如印刷电路板制造工艺的应用、特殊处理方法以提高散热性能等。同时，还涉及到高导热铝基板的性能测试与表征方法，包括热阻测试、导热系数测量等。最后，对高导热铝基板未来的发展趋势进行了展望，旨在为该领域的进一步研究和产业发展提供参考。

【关键词】高导热铝基板；设计；开发

Design and development of high thermal conductivity aluminum substrate

Tang Fenjuan Huang Weijun

Zhejiang Kaida Technology Co., LTD., Fenghui Town, Shangyu District, Shaoxing City, Zhejiang Province 312300

【Abstract】This article delves into the design and development of high thermal conductivity aluminum substrates. It begins by highlighting the significance and current status of these substrates in electronic cooling. The article then provides a detailed explanation of the structure and functions of these substrates, including the metal base layer, insulating layer, and circuit layer. Key design considerations, such as material selection and thermal performance optimization, are analyzed. The article also explores critical factors like insulating layer materials, metal base layer materials, and circuit layer layout. During the development process, manufacturing techniques, such as the application of printed circuit board manufacturing processes and special treatment methods to enhance cooling performance, are discussed. Additionally, the article covers performance testing and characterization methods for high thermal conductivity aluminum substrates, including thermal resistance tests and thermal conductivity measurements. Finally, the article looks ahead to the future trends in the development of high thermal conductivity aluminum substrates, aiming to provide a reference for further research and industrial growth in this field.

【Key words】high thermal conductivity aluminum substrate; design; development

引言

随着电子技术的飞速发展，电子设备不断向小型化、高性能化方向迈进。这使得电子元件在工作过程中产生的热量急剧增加，如果不能及时有效地散热，将会导致电子元件温度过高，从而影响其性能、可靠性和寿命。因此，高效的散热解决方案成为电子行业面临的关键问题之一。高导热铝基板作为一种优秀的散热材料，在电子设备散热领域发挥着越来越重要的作用。它具有良好的机械性能、电气绝缘性能和高导热性能，能够将电子元件产生的热量快速传导出去，保证电子设备的稳定运行。本文将围绕高导热铝基板的设计与开发展开详细论述，以期推动该领域的技术进步和产业发展。

1 高导热铝基板的设计意义

在当今科技飞速发展的时代，电子设备正以前所未有的速度向着小型化、高性能化迈进。从智能手机、平板电脑到高性能计算机，再到各类复杂的工业控制设备和先进的通信系统，电子设备的功能日益强大，而其体积却不断缩小。然而，这一发展趋势带来了一个严峻的问题——电子元件在高负荷运行过程中产生的热量急剧增加。如果这些热量不能及时有效地散发出去，将会对电子设备的性能、可靠性和使用寿命产生严重的负面影响。高导热铝基板的设计正是为了解决这一关键问题，具有极其重要的意义。高导热铝基板的设计对于提升电子设备的性能至关重要。当电子元件产生的热量在狭小的空间内积聚时，会导致元件温度升高，进而引起电子迁移现象加剧、载流子散射增加等问题，最终导致电子元件的电性能下降。例如，处理器在高温环境下，其运算速度会明显降低，数据处理的准确性也会受到影响。而高导热铝基板凭借其出色的导热性能，能够迅速将热量从发热元件

传导至散热装置,有效降低元件的工作温度,维持其良好的电性能,确保电子设备能够稳定、高效地运行。从可靠性角度来看,高导热铝基板的设计意义同样不可忽视。高温是影响电子设备可靠性的主要因素之一。长期处于高温环境中,电子元件的材料性能会发生变化,焊点可能会出现开裂、脱焊等问题,电路板的绝缘性能也会下降,这些都大大增加了设备故障的风险。高导热铝基板能够及时散热,降低电子元件所处环境的温度,减少因热应力导致的材料老化和损坏,从而显著提高电子设备的可靠性和稳定性,延长其使用寿命。在电子设备不断追求轻薄化的今天,高导热铝基板的设计为实现这一目标提供了有力支持。传统的散热方式往往需要占用较大的空间,难以满足电子设备轻薄化的需求。高导热铝基板可以在有限的空间内实现高效散热,使得设计师在进行产品设计时能够更加灵活地布局内部结构,减少散热装置的体积和重量,为电子设备的轻薄化发展创造了条件。

2 高导热铝基板的设计要点

2.1 绝缘层材料选择

绝缘层在高导热铝基板中扮演着极为关键的角色,其材料的选择直接关乎铝基板的各项性能。传统的绝缘层材料,如环氧树脂,虽具备良好的电气绝缘特性,能有效阻止电流泄漏,保障电子设备的安全稳定运行,但其导热系数相对较低,限制了热量的快速传导。为突破这一局限,科研人员积极探索新型绝缘层材料。陶瓷填充的环氧树脂复合材料便是其中的佼佼者。通过在环氧树脂基体中均匀分散高导热的陶瓷颗粒,如氧化铝、氮化铝等,能够构建起高效的导热通道。这些陶瓷颗粒就像一条条“高速公路”,让热量得以顺畅地在绝缘层中传递。同时,陶瓷颗粒的加入还能显著提升绝缘层的机械性能,增强其抗压、抗变形能力,以及耐化学腐蚀性,使其在复杂恶劣的环境中也能保持稳定。聚酰亚胺也是一种备受关注的绝缘层材料。它本身具有较高的导热系数,并且具备出色的耐高温、耐磨损性能。

2.2 金属基层材质选择

金属基层作为高导热铝基板的支撑结构和主要散热通道,其材质的选择至关重要。常用的铝合金材料种类繁多,不同合金成分赋予了材料各异的性能特点。6061 铝合金是一种应用广泛的材料,它具有良好的综合性能,包括一定的强度和较好的加工性能,能够满足大多数电子设备对铝基板机械性能的要求。然而,其导热系数相对有限,在一些对散热要求极高的场合,可能无法满足需求。1050 纯铝则以较高的导热系数脱颖而出,能够快速地将热量传导出。但纯铝的机械性能相对较弱,在承受较大外力时容易发生变形,这在一定程度上限制了其单独作为金属基层的应用范围。为了兼顾导热性能和机械性能,一些新型的铝合金材料应运而

生。例如,含有微量稀土元素的铝合金,通过精心调配合金成分和优化组织结构,在保证具备足够机械强度的同时,显著提高了导热系数。这些新型铝合金材料为高导热铝基板的金属基层提供了更为理想的选择,使得铝基板在散热性能和机械稳定性方面能够达到更好的平衡,满足不同电子设备的多样化需求。

2.3 线路层材料选择

线路层作为电子信号传输的“高速公路”,其材料的选择直接影响着电子设备的电气性能和散热效果。目前,铜箔因其卓越的导电性和良好的导热性,成为线路层的首选材料。在选择铜箔时,厚度是一个关键因素。较厚的铜箔能够降低电阻,减少电流通过时产生的热量,提高线路层的导电性能。然而,过厚的铜箔会增加铝基板的整体厚度和重量,同时也会提高成本,这在一些对空间和重量有严格要求的电子设备中是不可取的。因此,需要根据具体的应用场景和性能需求,精确控制铜箔的厚度。铜箔的纯度同样不容忽视。高纯度的铜箔具有更低的电阻和更好的导电性、导热性,能够更高效地传输电子信号和热量。杂质的存在会干扰电子的传导路径,增加电阻,导致热量积聚。此外,铜箔的表面处理也至关重要。合适的表面处理工艺,如镀镍、镀金等,不仅可以提高铜箔的抗氧化能力,延长其使用寿命,还能增强铜箔与绝缘层之间的附着力,确保线路层在铝基板中的稳定性。良好的附着力能够防止在使用过程中铜箔与绝缘层之间出现分层现象,保证热量能够顺利从线路层传递到绝缘层和金属基层,实现高效散热。

3 高导热铝基板的设计与开发策略

3.1 深入材料研究与选型

在高导热铝基板的设计与开发中,材料的选择是基石,对最终产品的性能起着决定性作用。对于绝缘层材料,传统的环氧树脂虽具备基本的电气绝缘性能,但导热性欠佳。因此,深入研究新型绝缘材料成为必然趋势。例如,陶瓷填充的环氧树脂复合材料,通过在环氧树脂基体中均匀分散氧化铝、氮化铝等陶瓷颗粒,构建起高效的导热通道,大幅提升了绝缘层的导热能力。同时,聚酰亚胺等本身具有较高导热系数的材料也备受关注,其在耐高温、耐磨损方面表现出色,适用于特定的高端应用场景。然而,这些新型材料在成本、加工难度等方面存在挑战,需要在性能与成本之间进行细致权衡。金属基层材质的选择同样关键。常见的铝合金材料各有优劣,如 6061 铝合金综合性能良好但导热系数有限,1050 纯铝导热性佳却机械性能较弱。为此,研发新型铝合金材料成为重点方向,像含有微量稀土元素的铝合金,通过优化合金成分与组织结构,实现了导热性能与机械性能的较好平衡。此外,还需关注金属基层的表面处理工艺,如阳极

氧化处理可提高耐腐蚀性与散热效率,涂覆散热涂料能进一步增强散热性能。线路层材料主要为铜箔,其厚度、纯度及表面处理对铝基板性能影响显著。较厚铜箔可降低电阻、减少发热,但会增加成本与厚度;高纯度铜箔导电性与导热性更佳。合适的表面处理,如镀镍、镀金,能增强铜箔与绝缘层的附着力,保障线路层稳定性与散热效果。

3.2 精细热性能优化设计

热性能优化是高导热铝基板设计的核心目标。在绝缘层热导率优化方面,除了选用高导热材料,还可通过创新结构设计来实现突破。多层结构绝缘层是一种有效的方式,通过不同层材料的组合与导热填料的合理分布,形成梯度导热结构,引导热量高效传递。同时,精确控制绝缘层厚度至关重要,过厚会增加热阻,过薄则无法满足绝缘要求,需依据具体应用场景,借助模拟与实验确定最佳厚度。金属基层散热结构设计是提升散热效率的关键环节。微通道结构通过在金属基层内部加工微小通道,利用冷却液循环带走热量,适用于大功率设备散热。针状散热鳍片则通过增加金属基层与空气的接触面积,强化自然对流散热,在小型设备中表现出色。此外,一些新型散热结构,如微纳结构散热表面和相变散热结构,正逐步应用于实际生产,为散热性能提升带来新的可能。线路层布局优化同样不容忽视。将发热量大的电子元件靠近金属基层,可缩短热量传导路径,降低热阻。避免线路过于密集,防止局部过热,同时合理设置散热通孔,加速热量传递。此外,线路层布局还需兼顾电磁兼容性,确保电子设备在高效散热的同时,能稳定可靠运行。通过综合考虑这些因素,实现热性能的全方位优化。

3.3 创新制造工艺与流程

先进的制造工艺是实现高导热铝基板设计目标的关键保障。在印刷电路板制造工艺基础上,需不断创新与改进。覆铜箔层压板制备过程中,要精确控制铜箔与绝缘层材料的贴合工艺,确保两者之间具有良好的结合力,避免分层现象。光刻、蚀刻等线路图形转移工艺需进一步提高精度,减少线路偏差,保证线路层的电气性能。为提高散热性能,金属基层表面处理工艺需不断升级。阳极氧化处理可形成多孔氧化铝薄膜,不仅增强耐腐蚀性,还能改善散热效果。涂覆散热涂料时,要确保涂料均匀附着,充分发挥其高导热性能。绝缘层与线路层结合处理也至关重要,采用化学处理、物理改性等方法,增强两者之间的附着力,保障铝基板整体性能。

参考文献

- [1]高导热氮化硼/芳纶沉析复合薄膜的制备及性能[J].谢璠;王亚芳;卓龙海;秦盼亮;宁逗逗;王丹妮;陆赵情.高等学校化学学报, 2020 (03)
- [2]丙烯酸酯低聚物改性环氧树脂研究[J].史利利;胡永玲.黑龙江科学, 2020 (02)
- [3]高导热环氧树脂基复合绝缘材料及其在金属基覆铜板中的应用[J].田付强;熊雯雯;夏宇;杨春.绝缘材料, 2020 (01)

此外,引入数字化制造技术可实现生产过程的精准控制与优化。通过计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)技术,对铝基板的设计与制造过程进行模拟与优化,提高生产效率与产品质量。智能制造系统的应用还能实现生产过程的自动化监控与调整,及时发现并解决生产中的问题,降低生产成本,提升产品的一致性与稳定性。

3.4 严格性能测试与质量管控

性能测试与质量管控是确保高导热铝基板满足应用需求的重要环节。热性能测试是评估铝基板散热能力的关键手段,热阻测试常用稳态热流计法和瞬态平面热源法,前者测试结果准确但耗时较长,后者测试速度快但对设备和操作要求高。导热系数测量则采用激光闪光法、热线法等,不同方法适用于不同材料与测试场景。通过多种测试方法相结合,全面准确地评估铝基板的热性能。电气绝缘性能测试包括绝缘电阻测试、介电常数测试和耐电压测试等,确保铝基板在电气方面的可靠性。机械性能测试涵盖拉伸强度测试、弯曲强度测试和硬度测试等,评估铝基板在不同受力情况下的性能表现,满足实际应用中的机械要求。建立完善的质量管控体系贯穿于高导热铝基板生产的全过程。从原材料采购环节开始,严格把控材料质量,确保其符合设计要求。在生产过程中,对每一道工序进行实时监控,及时调整工艺参数,保证产品质量的一致性。成品检验阶段,采用抽样检测与全检相结合的方式,对产品的各项性能指标进行严格检测,只有完全符合标准的产品才能进入市场。通过严格的性能测试与质量管控,为高导热铝基板的应用提供可靠保障。

结语

综上所述,高导热铝基板在电子散热领域具有重要的地位和广阔的应用前景。通过合理的设计,包括材料选择、热性能优化等方面,以及先进的开发制造工艺,能够制备出性能优异的高导热铝基板。同时,准确的性能测试与表征方法为铝基板的研发和质量控制提供了保障。随着电子技术的不断发展,高导热铝基板将朝着更高导热性能、轻薄化、小型化和多功能集成化的方向发展。未来,需要进一步加强相关领域的研究,推动高导热铝基板技术的不断创新和产业的持续发展,以满足电子行业日益增长的散热需求。