

半导体测试设备的散热结构分析与优化

王海峰 尹学群 王健琪
北京时代民芯科技有限公司
DOI:10.12238/acair.v2i4.10285

[摘要] 随着5G通信、人工智能等技术的飞速发展,半导体行业迎来了前所未有的发展机遇。半导体测试设备作为保障半导体产品质量的关键环节,其性能稳定性和可靠性至关重要。然而,在高密度、高速率、高散热的趋势下,散热问题成为制约半导体测试设备性能进一步提升的瓶颈。因此,本文将从多个方面探讨半导体测试设备的散热优化方案,以期对半导体产业的持续健康发展提供有力支持。

[关键词] 半导体制冷; 散热; 红外热像仪
中图分类号: TU832.2+3 **文献标识码:** A

Thermal structure analysis and optimization of semiconductor test equipment

Haifeng Wang Xuequn Yin Jianqi Wang
Beijing times Minxin Technology Co., LTD.

[Abstract] With the rapid development of 5G communication, artificial intelligence and other technologies, the semiconductor industry has ushered in unprecedented development opportunities. As a key link to ensure the quality of semiconductor products, the performance stability and reliability of semiconductor test equipment are very important. However, under the trend of high density, high speed and high heat dissipation, the heat dissipation problem has become a bottleneck restricting the further improvement of the performance of semiconductor test equipment. Therefore, this paper will discuss the heat dissipation optimization scheme of semiconductor test equipment from many aspects, in order to provide strong support for the sustainable and healthy development of semiconductor industry.

[Key words] semiconductor refrigeration; heat dissipation; infrared thermal imager

引言

目前,半导体测试设备在运行过程中会产生大量的热量,如果不能及时有效地散发,将会导致设备温度升高,进而影响设备的稳定性和可靠性,如图1所示。此外,随着芯片封装密度的不断提高,散热问题变得更加突出。传统的散热方式已经无法满足现代半导体测试设备的需求,因此需要寻求更加高效的散热优化方案。

1 半导体测试设备散热理论基础

1.1 散热设计的基本原理

1.1.1 热传导

热传导是热量通过物体内部或接触的两个物体之间的微观粒子(如原子或分子)的相互作用进行的传递过程。它是固体中最主要的热传递方式。

在固体中,热传导主要通过晶格振动(即声子)来实现。热量从高温区域通过晶格振动传递到低温区域。在液体中,热传导主要通过分子的随机运动和碰撞来实现。在气体中,热传导则是通过气体分子的热运动和碰撞,以及分子与器壁之间的碰撞来实现。



图1 半导体测试设备

1.1.2 热辐射

热辐射是物体因热而发射电磁辐射的过程。这是一种不需要物质接触的热量传递方式,因此可以在真空中进行。

任何温度高于绝对零度的物体都会发出热辐射。物体的温

度越高,其发射的辐射强度和短波长的成分就越大。太阳是一个热辐射的极好例子,它不断发出大量的光和热。

热辐射的定量描述由普朗克辐射定律、斯特藩-玻尔兹曼定律和维恩位移定律等物理定律给出。

1.1.3 热对流

热对流是由于温度差异引起的流体(液体或气体)宏观运动,从而导导致的热量传递过程。这是液体和气体中最主要的热传递方式。

热对流通常分为自然对流和强制对流。自然对流是由于温度差异引起的流体密度变化而产生的。在强制对流中,流体的运动是由于外部力量(如风扇或泵)的作用。

热对流的过程涉及到流体动力学、热力学等多个领域的知识。理解热对流对于研究气候变化、工程设计和许多其他领域都至关重要。

1.2 散热设计的方法

1.2.1 材料选择

在散热设计中,材料的选择至关重要。金属如铜、铝等具有良好的热导率,可以有效传递热量。而石墨等新型材料则具有优异的热稳定性和导热性能,适用于高功耗的电子设备。

1.2.2 散热结构设计

合理的散热结构设计是确保热量有效散发的关键。通过增加散热片、风扇等装置,可以增大散热面积,提高散热效率。同时,优化散热结构的设计,如增加散热通道的数量、改善风流道等,也可以进一步提升散热性能。

1.2.3 热管理策略

热管理策略是指通过软件控制或硬件调整来优化散热性能的方法。例如,通过调整处理器的运行频率、优化系统功耗管理等方式,可以降低设备的功耗和发热量。

2 散热优化方案的具体实施

2.1 采用先进的散热材料和结构

针对半导体测试设备的高散热需求,可以采用如石墨烯、碳纳米管等高性能散热材料。这些材料具有优异的导热性能,能够有效降低设备温度。同时,可以优化设备内部结构,如增加散热片、散热风扇等,提高散热效率。

2.2 实施主动散热策略

对比测试设备维修数据,发现测试设备电路板故障频发,其故障的主要原因之一就是“热”。传统的散热方式往往是被动散热,即依靠散热材料和结构将热量自然散发。然而,在半导体测试设备中,由于热量产生迅速且集中,被动散热往往无法满足需求。因此,可以实施主动散热策略,将热量快速带走。因此制定详细的3项措施,包括更换老化风扇和风阻过大的过滤棉网、加装实时监控智能报警器、附属冷水机组全要素保养等。该3项措施有效改善设备内部对流,可使设备内部大量热量有效散出。

(1) 设备布局和散热路径的合理设计对于散热效果至关重要。可以通过优化设备内部布局,如合理布置芯片、电路等元件,

减少热量在设备内部的积聚。同时,可以优化散热路径,如优化散热片和风扇的布局,使热量能够快速、均匀地散发出去。

(2) 引入智能温控系统,实时监测设备温度并根据温度变化调整散热策略。例如,当设备温度升高时,可以自动增加风扇转速或启动液冷系统以提高散热效率;当设备温度降低时,可以适当降低风扇转速或减小液冷系统的功率以节约能源。

(3) 定期对半导体测试仪附属冷水机进行维护和保养是保障测试仪散热性能稳定的关键。可以定期对冷水机组进行专业保养以及清理冷却循环管路内部的污垢以保持冷却循环通道的畅通。

3 半导体测试设备散热技术创新展望

3.1 对未来散热技术发展的展望

本章就将提出一个创新性的办法——借助半导体制冷技术解决大型测试设备的散热难题。这类办法在调节温度方面非常便捷,无需使用制冷剂,同时没有传统的机械转动部件,几乎完全杜绝了噪音与有害物质的产生,为人们提供了一个更加清洁、舒适的生活与工作环境。

3.2 半导体制冷技术的基本原理

所谓的半导体制冷技术,又可称为温差制冷技术或热电制冷技术,这种技术的基本原理就是利用温差电动现象来实现制冷的目的,这是通过基于帕尔帖效应的工作原理达成有效制冷的目的。具体来说,当在两种不同类型的金属构成的闭环电路里导入直流电流时,在一端会导致产生热量,另一端则会对热量进行吸收。而半导体制冷技术的核心部件便是其中的半导体制冷芯片,这些芯片由众多的N型半导体与P型半导体相互有序地排列组合而成,并且在N型与P型结点之间设置了金属片对其进行连接,这样就形成了一个完整的电路。此外,为了确保其稳定性和高效率,通常会使用上下两个陶瓷片对其进行夹持固定,如图2所示。

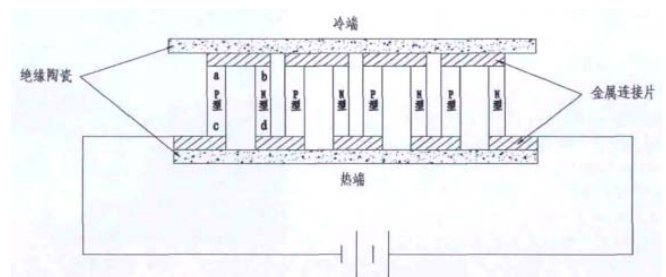


图2 半导体制冷片结构示意图

在半导体制冷片接入直流电源之后,P型及N型半导体内部的载流子在外加直流电场的驱动下开始发生移动。鉴于载流子在金属片与半导体本体中的储能位置并不相同时,它们在运动过程中所导致的能量转换与传递便发生在半导体与金属片的交界区域。具体而言,处于P型半导体内部的空穴,相较于金属片内的势能要高得多。受到外部直流电场的驱使,空穴在经过结点a之时,必须从金属片中吸收并转化为自身的能量以提升其储能位置,从而成功跨过金属片基底并进入P型半导体内部。如此一

来, 结点a处的温度便会出现下降趋势, 进而生成所谓的“冷结点”。而在类似情况下, 电子经过结点c时, 也需留下与空穴等量的能量在该处, 然后其才有可能向下进入金属片, 相应地, c结点处的温度就会有所上升, 从而形成了“热结点”。同样, 外部直流电场所引发的电子效应将致使b结点降温形成冷结点, d结点升温形成热结点。换言之, 向N型与P型半导体两端输入直流电源后, 必将导致能量的流动与转移, 从而使得半导体制冷片产生了发热端与制冷端的物理特性。半导体制冷片在此过程中的吸热与放热程度, 则与构成半导体材质的P、N结元件数目及其接收到的电流强度密切相关。倘若改变电流方向, 那么各个结点处的热量流动方向便会与图示中的流动方向呈现逆向状态。据此原理, 通过调整直流电流的极性便可实现半导体制冷片制冷或加热功能的自由转换。

3.3 半导体制冷技术用于测试设备

既然使用了半导体测试设备, 那么所有的电气元件、电路板都会被密封包裹在由设备外壳所构成的密闭环境之中, 在电气元件运作时所产生的热量便难以通过外壳传递到外部空间去。这种“热阻”效应将会对电气元件自身的性能和使用寿命造成不良影响, 并且使得测试设备外壳的表面温度逐渐攀升。值得强调的是, 高温正是导致可燃性气体混合物发生燃烧乃至爆炸的重要因素之一, 因此务必要设法将设备外壳内所聚集的热量及时散失掉。考虑到该项技术所具有的众多优势, 我们有理由设想将其引入半导体测试电气设备的冷却系统之中, 用以有效地解决其内部的散热问题。

3.4 半导体制冷技术的优点

半导体冷却技术作为一项日新月异的制冷技术, 由于具备众多卓越特质, 如今已被各个领域深度应用。相较于传统制冷系统, 该技术的优势主要体现在如下多个方面:

- (1) 与传统制冷方式相比, 它不依赖于制冷剂, 有效避免了环境污染问题。
- (2) 由于没有复杂的机械传动构造, 使整体结构得以简化, 更提高了设备使用寿命, 同时也消除了噪音污染。
- (3) 使用者可以通过控制工作电流来调整制冷效能, 实现个性化需求。

(4) 具备可逆性, 易于进行冷热状态切换, 适用于高低温和恒温控制设备。

(5) 半导体制冷片单体制冷效力虽低, 但可通过串联或并联组成制冷体系, 增大制冷功率, 从而覆盖较大制冷功率区

4 结论

散热问题是制约半导体测试设备性能进一步提升的关键因素之一。通过采用先进的散热材料和结构、实施主动散热策略、优化设备布局和散热路径、实施智能温控策略以及加强设备维护与保养等多种措施相结合的方式, 可以有效地解决半导体测试设备的散热问题, 提高其稳定性和可靠性, 为半导体产业的持续健康发展提供有力支持。在未来的发展中, 随着新材料、新工艺和新技术的不断涌现和应用, 半导体测试设备的散热优化方案将会更加丰富和完善。

[参考文献]

- [1] 华能(福建)能源开发有限公司福州分公司. 一种电气设备散热柜:CN202223358571.1[P].2023-05-23.
- [2] 西安建筑科技大学. 一种电气设备散热装置:CN202222820986.X[P].2023-03-24.
- [3] 辽宁工程技术大学. 一种快装式电气设备散热机构:CN202222957161.2[P].2023-05-05.
- [4] 宋其相. 一种电气设备散热装置:CN202221115644.1[P].2022-11-08.
- [5] 江苏海鼎电气科技有限公司. 一种导流排液式电气设备散热器:CN202310630046.0[P].2023-08-04.
- [6] 昆山艾尼克工业技术有限公司. 电气设备散热减震装置:CN202011162389.1[P].2021-02-23.

作者简介:

王海峰(1982--), 男, 汉族, 北京市人, 本科, 技师, 北京时代民芯科技有限公司, 研究方向: 设备管理。

尹学群(1976--), 男, 汉族, 湖南省人, 硕士, 高级工程师, 北京时代民芯科技有限公司, 研究方向: 设备管理。

王健琪(1997--), 男, 汉族, 陕西省人, 本科, 高级工, 北京时代民芯科技有限公司, 研究方向: 设备管理。