

半导体制冷技术在家具中的创新应用与发展趋势

杨立宇,宋青山*,杜皓伟,刘芮滔,甘震,杨凯
(上海工程技术大学,航空运输学院,上海市,201620)

摘要 半导体制冷技术基于珀尔帖效应,具有静音运行、体积小、控温精准、无制冷剂污染等独特优势,为家具功能创新提供了全新技术路径。本文系统梳理半导体制冷的核心原理、性能参数及技术特性,结合家具产品的使用场景与功能需求,深入分析半导体制冷机制在储物类家具中的应用方案,并提出半导体制冷技术在未来家具行业中的优势。

关键词 半导体制冷;珀尔帖效应;智能家具;温控系统;散热优化

中图分类号:TS664 文献标识码:B
文章编号:1008-0899(2025)12-0024-02

随着生活品质提升,人们对家居环境的舒适度与功能性要求日益增高。传统家具功能单一,难以满足多元化需求,如普通衣柜无法有效防潮除霉,普通餐桌不能兼顾冷热食物存放。同时,环保与节能理念深入人心,传统压缩机制冷存在制冷剂泄漏风险且能耗较高。而半导体制冷技术凭借无机械运动部件、环保节能、精准控温、体积小等优势,为家具功能升级提供了新可能。目前,该技术在小家电领域已有应用,但在家具中的集成研究尚处于起步阶段,存在较大探索空间。

1 研究方法和目的

从文献研究、工作原理、家具案例、未来趋势等方法。探索半导体制冷机制在家具中的创新应用方式,开发出兼具实用性与智能性的新型家具产品。通过提升家具的环境调节能力,满足用户在不同场景下对温度控制的个性化需求,同时推动家具行业向智能化、环保化方向发展,为消费者创造更舒适、便捷、健康的家居生活体验。

2 半导体制冷技术的理论基础

2.1 半导体制冷的核心原理—珀尔帖效应

当直流电通过两种不同导电材料构成的回路

作者简介:杨立宇(2005~),男,上海人,本科在读,研究方向:飞行技术。

通讯作者:宋青山(1985~),男,黑龙江人,本科,实验员,研究方向:艺术设计。

时,结点上将产生吸热或放热现象,这种现象称为帕尔帖效应。帕尔帖效应就是塞贝克效应的逆效应。当直流电通过回路时,回路一端吸收热量,另一端放出热量。其中,冷端吸收的帕尔帖热 Q_P 与通过的电流 I 成正比,其函数关系为

$$Q_P = \pi_m I$$

式中 π_m 为帕尔帖系数,大小同样由材料 p 和 n 共同决定, W/A ; I 为直流电流, A_0 帕尔帖系数 π_m 的取值主要受到材料特性和接点温度两部分影响^[1]。

2.2 半导体制冷元件的结构与组成

半导体制冷元件由多种关键部件组成。核心是P型与N型半导体,它们特性不同,P型半导体富含空穴,N型半导体电子众多,二者交替排列组成电偶对。金属连接片穿插其中,将P型和N型半导体串联成电路,确保电流顺畅通过。上下两层陶瓷片作用重大,它们绝缘性能良好,可防止电路短路,保障使用安全;同时导热性出色,能快速把冷端吸收的热量传递到热端,并把热端热量散发出去。当直流电接入,基于珀尔帖效应,电偶对一端吸热实现制冷,另一端放热。

2.3 半导体制冷技术的特点

新型环保电子设备制冷的关键部件由 $P_{-}Bi_2Te_3$ 、 Sb_2Te_3 、 $N_{-}Bi_2Te_3$ 、 Bi_2Se_3 准三元合金具有性能良好的品质因数。这种半导体制冷技术具有以下特点:①使用特殊的半导体器件形成PN结,以进行冷却(或加热),体积较小,重量较轻,且寿命长无噪音影响;②没有分子的热运动,快速冷却,便于形成各种结构和形状的制冷器;③空调的制冷量可以达到 mw 级。千瓦级转换,冷却温差达到 $20 \sim$

150 °C^[2];④由于无须依赖蒸汽参数,该制冷器从根源上避免了环境污染问题,堪称真正的绿色节能设备。其核心部件采用新型环保技术,完全摒弃了传统制冷压缩机和氟利昂的使用,深度契合可持续发展理念。经实际测试,该产品长期保持5.6的优异性能指数,显著高于行业同类产品水准。

3 家具产品的制冷需求分析

3.1 智能储物家具的精准控温需求

传统家具在储物功能上存在明显短板,如衣柜内衣物易因潮湿环境滋生霉菌,酒柜因温度波动影响酒品品质。半导体制冷技术通过直流电驱动实现无机械振动制冷,可集成于衣柜、酒柜等家具内部,形成独立温控空间。

3.2 舒适型家具的体感优化需求

座椅、床垫等直接接触人体的家具,存在夏季闷热、冬季冰冷的痛点。半导体制冷技术通过双向温控特性(制冷/制热模式切换),可开发出四季适用的温控座椅。实验数据显示,采用24对热电偶的制冷模块在15 °C环境温度下,可使座椅表面温度稳定在25 °C±1 °C,体感舒适度显著提升。

3.3 小型化家具的集成设计需求

现代家居空间趋紧,对家具的微型化、多功能化提出更高要求。半导体制冷片厚度可控制在3 mm以内,且无需外部散热器,非常适合嵌入桌面、展示柜等小型家具。例如,冰桌产品通过内置半导体制冷模块,可在桌面形成持续降温区域,满足饮品即时冷却需求。

3.4 特殊场景的适应性需求

在实验室中,半导体制冷为高精度实验仪器提供稳定的温度环境,确保实验结果的准确性。其高精度、快速响应的特点,能满足各种实验对温度控制的严格要求。同时,它绿色环保、无噪音、高可靠性的优势,也使其成为实验室温控的理想选择。

4 半导体制冷存在的问题

材料的优值系数决定了半导体制冷系统的制冷效率。科学家目前对半导体制冷材料的研究未有突破性进展。材料的优值系数不高导致热电制冷温差较小及制冷系数低下,这些是阻碍半导体制冷发展的最主要因素,因此半导体材料的优值系数有待于进一步提高^[3]。

5 未来半导体智能家具的趋势

5.1 柔性制冷技术突破

随着柔性电子技术的快速发展,柔性半导体制冷片将成为未来智能家具领域的一大亮点。这种新型制冷片采用聚酰亚胺基板与纳米线结构半导体材料,具有优异的柔韧性和可弯曲性,能够完美贴合曲面家具和可穿戴家具的表面,实现无缝集成。例如,在曲面沙发、可弯曲书桌等新型家具中嵌入柔性制冷模块,不仅能够提供均匀的制冷效果,还能保持家具的整体美观性和舒适性。

5.2 微型化与集成化设计

随着半导体制造工艺的不断进步,制冷模块的体积将进一步缩小,而性能却不断提升。未来,微型化、集成化的半导体智能家具将成为市场主流。通过高度集成的设计方案,家具制造商能够在有限的空间内实现多种功能的集成,同时保持家具的整体美观性和实用性。例如,在智能书桌中嵌入微型制冷、加热和干燥模块,使其既能作为普通书桌使用,又能作为文件资料、电子设备的保温和干燥存储空间。

5.3 绿色材料应用

随着全球对环境保护意识的增强,绿色材料在半导体智能家具中的应用将越来越广泛。生物基半导体材料、可降解保温材料等环保材料的研发与应用,将显著降低家具生产过程中的碳排放和环境污染。

6 结语

未来半导体智能家具将在物联网融合、柔性制冷技术、多功能能源集成、绿色材料应用、AI自适应控制、微型化与集成化设计以及健康与舒适性提升等方面取得显著进展。这些趋势不仅将推动家具行业的技术升级和产品创新,还将为用户带来更加智能、便捷、环保和舒适的生活体验。

参考文献

- [1] 张鸿翔.基于半导体制冷技术的48V电池包产热特性及散热性能研究[D].重庆大学,2021.DOI:10.27670/d.cnki.gcqdu.2021.003782.
- [2] 刘兴龙,马雪峰.半导体制冷技术及应用路径研究[J].信息记录材料,2021,22(04):131-132.DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2021.04.076.
- [3] 吕艳,黄骏.半导体制冷技术研究趋势分析[J].产业创新研究,2019,(11):234-235.