

半导体制冷式冷水机在半导体装备中的散热效率提升策略

金重玄

杭州大和热磁电子有限公司 浙江杭州 310053

摘要: 本文着重探讨半导体制冷式冷水机在半导体装备中散热效率的提升策略。半导体制冷式冷水机对于保障半导体装备的稳定运行至关重要,然而其散热效率受多种因素制约。通过深度剖析相关技术资料,从优化热交换系统、改进制冷模块、升级控制系统等方面提出针对性策略。优化热交换系统涵盖选用高效热交换器、改善冷却液特性、优化水路设计;改进制冷模块涉及优化半导体制冷片性能、改良散热结构、合理配置电源;升级控制系统包括引入智能控制算法、利用传感器监测、实现远程监控与故障诊断。这些策略旨在显著提升半导体制冷式冷水机的散热效率,确保半导体装备高效稳定运行。

关键词: 半导体制冷式冷水机; 半导体装备; 散热效率; 热交换系统

引言

在半导体装备制造领域,随着芯片制程技术不断向高精度迈进,如7纳米、5纳米甚至更先进制程的出现,设备运行时产生的热量急剧增加。以半导体刻蚀设备为例,在刻蚀过程中,为实现原子级别的精度控制,设备内部的电子元件需要在极高的功率下工作,从而产生大量热量。半导体制冷式冷水机作为半导体装备散热的关键设备,其散热效率直接关系到半导体装备的性能、稳定性及使用寿命。若散热效率不足,半导体装备内部温度过高,会导致电子元件性能下降、缩短设备寿命,甚至引发设备故障。目前,半导体制冷式冷水机在散热效率方面仍面临诸多挑战,如热交换不充分、制冷模块性能局限以及控制精度不够等问题。因此,深入研究其散热效率提升策略,对推动半导体产业发展具有重要的现实意义。

一、半导体制冷式冷水机散热原理及现状分析

(一) 散热原理剖析

半导体制冷式冷水机基于帕尔帖效应工作。当直流电通过由N型和P型半导体材料组成的模块时,在模块的两端会产生温度差,一端吸热,另一端放热。在冷水

机中,吸热端与冷却液接触,吸收冷却液的热量,使冷却液温度降低;放热端则通过散热装置将热量散发出去。冷却液在水泵的作用下循环流动,将半导体装备产生的热量带到半导体制冷模块的吸热端,实现对半导体装备的冷却。与传统压缩机式冷水机不同,半导体制冷式冷水机没有复杂的机械运动部件,结构相对简单,运行更安静,且响应速度快,能够快速调节制冷量。

(二) 在半导体装备中的应用现状

半导体制冷式冷水机在半导体刻蚀、光刻、清洗等多种装备中有着广泛应用。在半导体刻蚀装备中,刻蚀过程需要精确控制温度,以确保刻蚀精度和均匀性,半导体制冷式冷水机能够提供稳定的低温冷却液,满足刻蚀工艺对温度的严格要求。在光刻装备中,为保证曝光精度,光学系统需要保持恒定的温度,冷水机通过循环冷却液对光学部件进行冷却,维持其温度稳定。在清洗装备中,冷水机则用于冷却清洗液,防止清洗过程中因热量积累影响清洗效果。然而,不同半导体工艺环节对散热要求存在差异,如刻蚀工艺对温度波动极为敏感,要求冷水机具备更高的控温精度;而清洗工艺则更注重冷却液的流量和散热能力。

(三) 现有散热效率的问题及成因

当前半导体制冷式冷水机存在散热效率不高的问题。从热交换效率方面来看,部分热交换器的传热系数较低,换热面积不足,导致热量传递不充分。一些热交换器的材质和结构设计不合理,使得冷却液与半导体制冷模块之间的热交换存在较大温差,影响散热效果。在制冷模

作者简介: 金重玄(1971-12-24),男,朝鲜族,黑龙江省穆棱市人,本科,工程师,研究方向:半导体热电制冷片在温控产品上的应用、半导体制冷式冷水机产品研发。

块性能方面,半导体制冷片的制冷效率有限,其制冷量受电流、温度等因素影响较大。部分散热结构设计不合理,不能及时将半导体制冷片产生的热量散发出去,导致制冷性能下降。控制系统精度方面,传统的控制系统难以根据半导体装备的实时发热情况进行精准调节,导致冷水机的运行参数与实际需求不匹配,影响散热效率。温度传感器的精度不够,反馈的数据存在误差,使得控制系统无法及时准确地调整制冷量和冷却液流量。

二、优化热交换系统提升散热效率

(一) 高效热交换器的选用与设计

选择具有高传热系数、大换热面积的热交换器类型对提升散热效率至关重要。钎焊板式热交换器因其紧凑的结构和高效的传热性能,成为理想选择之一。它采用薄型不锈钢板或钛板制造,板片之间通过钎焊连接,形成多个细小的流道。这种结构增加了冷却液与半导体制冷模块的接触面积,同时减小了传热热阻,能够实现高效的热量传递。在设计热交换器时,需要根据半导体装备的发热特点和空间布局进行优化。对于发热集中的区域,可以增加热交换器的换热面积或采用特殊的流道设计,确保热量能够快速传递。如果半导体装备内部空间有限,则需要选择结构紧凑、体积小的热交换器,并合理安排其位置,以保证冷却液的流畅循环。

(二) 冷却液特性的改善

冷却液的比热容、导热系数、黏度等特性对散热效率有着显著影响。比热容较大的冷却液能够吸收更多的热量,导热系数高则有利于热量的快速传递,而黏度适中可以保证冷却液在系统中的良好流动性。通过添加特殊添加剂或选用新型冷却液,可以提升冷却液的散热性能。添加纳米颗粒可以提高冷却液的导热系数,使其能够更高效地传递热量。在选择冷却液时,还需要考虑其腐蚀性和兼容性。一些冷却液可能会对冷水机的管道和热交换器造成腐蚀,影响设备的使用寿命。因此,要选择对设备材质腐蚀性小、兼容性好的冷却液,确保冷水机的长期稳定运行。

(三) 水路设计的优化

优化半导体制冷式冷水机的水路布局可以有效提升散热效率。减少水流阻力是关键之一,通过采用大直径管道、减少弯头和阀门的使用数量,可以降低水流在管道中的摩擦阻力,使冷却液能够更顺畅地循环。确保冷却液均匀分配也非常重要,采用并联水路设计可以使冷却液均匀地进入各个发热部件,避免出现局部过热的情

况。优化管道直径和形状也能提高冷却液与发热部件的热交换效果。对于发热量大的区域,可以适当增大管道直径,增加冷却液的流量;采用螺旋形或波纹管等特殊形状的管道,可以增加冷却液在管道内的湍流程度,提高传热系数,从而提升散热效率。

三、改进制冷模块提高散热能力

(一) 半导体制冷片性能的优化

半导体制冷片是半导体制冷式冷水机的核心部件,其性能直接影响制冷效果和散热能力。提高半导体制冷片的制冷效率是关键。可以通过优化半导体材料的成分和结构,提高其热电转换效率。采用新型半导体材料,如碲化铋基合金的改良材料,能够在相同的工作条件下提高制冷量。合理控制半导体制冷片的工作电流和温度,避免因电流过大或温度过高导致制冷效率下降。通过精确的电源控制,使半导体制冷片始终工作在最佳状态,提高其制冷性能。

(二) 散热结构的改良

良好的散热结构能够及时将半导体制冷片产生的热量散发出去,保证制冷模块的稳定运行。采用高效的散热鳍片和散热风扇,增大散热面积,提高散热效率。散热鳍片的形状和排列方式对散热效果有重要影响,采用叉指式或针状散热鳍片,能够增加空气与鳍片的接触面积,提高散热性能。优化散热风扇的转速和风量,根据半导体制冷片的发热情况自动调节风扇转速,实现高效散热的同时降低能耗。在散热结构设计中,还需要考虑空气流动的顺畅性,避免出现气流死角,影响散热效果。

(三) 电源配置的合理性

半导体制冷式冷水机的电源对制冷模块的性能有着重要影响。选择合适的电源类型和参数,确保电源能够稳定地为半导体制冷片提供所需的电流和电压。采用高精度的恒流源或恒压源,能够精确控制半导体制冷片的工作状态,提高制冷效率。合理配置电源的功率,避免因电源功率不足导致半导体制冷片无法正常工作,或因功率过大造成能源浪费。同时,要考虑电源的稳定性和抗干扰能力,确保在复杂的电磁环境下,电源能够稳定地为冷水机提供电力支持。

四、控制系统升级助力散热效率提升

(一) 智能控制算法的引入

将模糊控制、神经网络控制等智能控制算法应用于半导体制冷式冷水机的控制系统,能够根据半导体装备

的实时发热情况自动调整冷水机的运行参数，实现精准控温，提高散热效率。模糊控制算法可以根据输入的温度偏差和偏差变化率等模糊信息，通过模糊推理和决策，输出相应的控制量，如半导体制冷片的工作电流、冷却液泵的流量等。这种控制方式不需要建立精确的数学模型，能够适应冷水机系统的非线性和不确定性。神经网络控制算法则具有强大的学习和自适应能力，通过对大量运行数据的学习，能够准确地预测冷水机的运行状态，并根据预测结果调整控制策略，实现对冷水机的优化控制，提高散热效率和能源利用率。

（二）传感器监测技术的利用

温度传感器、压力传感器、流量传感器等在半导体制冷式冷水机中起着关键的监测作用。温度传感器能够实时监测冷却液的温度、半导体制冷片的温度以及半导体装备的关键部位温度，为控制系统提供温度数据。压力传感器则用于监测水路系统中的压力，确保系统在正常压力范围内运行。流量传感器可以测量冷却液的流量，以便控制系统根据实际流量调整运行参数。通过这些传感器实时监测冷水机的运行状态，控制系统能够及时获取准确的数据，从而根据实际情况调整制冷量、冷却液流量等参数，保障散热效率。如果温度传感器检测到冷却液温度过高，控制系统可以增加半导体制冷片的工作电流，提高制冷量，同时加大冷却液泵的流量，加快热量的传递。

（三）远程监控与故障诊断系统的实现

建立远程监控平台，实现对半导体制冷式冷水机的远程操作和监控，具有重要意义。通过远程监控，操作人员可以随时随地了解冷水机的运行状态，及时发现并诊断设备故障。利用数据分析技术，还能够预测潜在故障，提前采取维护措施，减少设备停机时间。通过对历史运行数据的分析，发现半导体制冷片的性能出现异常

变化，就可以提前安排检查和维护，避免故障发生。远程监控与故障诊断系统能够提高设备的可靠性和稳定性，确保半导体装备的散热需求得到持续满足，为半导体生产的连续性提供有力保障。

结论

半导体制冷式冷水机在半导体装备散热中占据关键地位，其散热效率对半导体产业发展影响深远。通过深入分析散热原理及现状，从优化热交换系统、改进制冷模块、升级控制系统三方面采取提升策略，能够有效解决当前半导体制冷式冷水机散热效率不高的问题。选用高效热交换器、改善冷却液特性、优化半导体制冷片性能和散热结构、引入智能控制算法等措施，可显著提高散热效率，保障半导体装备稳定高效运行。未来，随着半导体技术持续发展，芯片制程将不断向更高精度迈进，半导体装备的散热需求也会愈发严苛。在此背景下，持续关注新型散热技术和材料显得尤为重要，不断优化冷水机设计与控制策略是必然趋势。只有这样，才能进一步提升散热效率，满足半导体装备日益增长的散热需求，推动半导体产业不断向前发展，助力我国在全球半导体领域赢得更大的竞争优势。

参考文献

- [1] 陈国美, 杜春宽, 周小红. 无锡半导体装备产业发展的路径研究[J]. 时代汽车, 2024, (16): 10-12.
- [2] 蒋韫. 半导体制造装备用铝合金的阳极氧化处理技术研究[D]. 重庆理工大学, 2024.
- [3] 陈林, 茅岭峰. 半导体制造装备用阀门技术发展现状[J]. 流体机械, 2023, 51(10): 43-48.
- [4] 纪海莉. 邳州半导体产业发展“三力问题”研究[D]. 中国矿业大学, 2023.