

高效微射流阵列冷却热沉传热特性

张忠江 夏国栋 马晓雁 齐景智

(传热强化与过程节能教育部重点实验室及传热与能源利用北京市重点实验室, 北京工业大学, 北京 100022)

摘要 微射流阵列冷却热沉是利用射流冲击在驻点区能产生很薄的边界层来提高换热效率, 本次研究设计的热沉是 5 层结构的模块式铜微射流阵列冷却热沉, 以去离子水为工质对传热特性进行了实验研究。结果表明, 采用微射流阵列冷却不仅能通过增加驻点数目来强化换热, 而且能有效地降低换热表面的温差。热沉的热阻会随着泵功的增加而降低; 随着泵功的不断提高, 热阻变化趋于平缓。

关键词 热沉; 阵列射流; 强化传热

中图分类号: TK124 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-231X(2007)03-0448-03

A INVESTIGATION ON HEAT TRANSFER IN A MICRO-JET IMPINGEMENT COOLING HEAT SINK

ZHANG Zhong-Jiang XIA Guo-Dong MA Xiao-Yan QI Jing-Zhi

(College of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Technology, The Key Laboratory of Ministry of Education, Beijing 100022, China)

Abstract Micro-jet impingement cooling heat sink is used to enhance heat transfer owing to the very thin hydrodynamic and thermal boundary layers in the impingement region when a jet impinges on a surface. A copper micro-jet impingement cooling heat sink consisting of five copper sheets is designed in this paper and the jet diameter is 0.150 mm. Experiments are conducted to investigate the character of heat transfer in the heat sink with de-ionized water. The experiment results indicated that adopt micro-jet arraying cooling is not only strengthen heat transfer by increasing the number of stay point, but also decrease heat-exchange surface difference in temperature efficiently. The heat resistance of heat sink will decline with the increase of pump power, then with the continuous increasing of pump power the heat resistance change slowly.

Key words heat sink; jet array impingement; heat transfer enhance

1 引言

强化传热的研究应用一直是学术界和工程界极为重视的领域。射流冲击传热作为一种有效的强化传热方式, 具有极高的传热效率, 日益受到人们的重视, 对其研究也正不断深入。

大功率半导体激光器阵列 (LDA: Laser Diode Array) 是由多根二极管激光条在有限的空间叠加而成的, 在激光器使用中激光条表面温差较大将导致激光二极管因热应力而损坏, 因此半导体激光条表面的温度变化必须得到控制^[1]。以 10 mm×1 mm 大功率半导体激光条为例, 稳定工作时功率在 40~60 W, 转化效率可提高在 40%~60%。

微射流冲击冷却热沉的工作原理是: 流体通过

一定形状的喷嘴 (圆形或狭缝形) 直接喷射到被冷却表面, 由于流程短, 流速高, 在靶面上形成很大的压力, 使射流冲击驻点区附近的边界层变得很薄, 因而具有极高的传热效率^[2]。采用合理的微射流阵列布置方式, 可以极大地提高被冷却表面温度分布的均匀性。因此, 微射流阵列冷却热沉是减小电子器件换热表面最高温度、降低温度变化的有效方法。

2 实验设备和研究方法

2.1 实验设备

本次实验采用去离子水进行实验, 实验系统如图 1 所示。去离子水由智能泵从水箱抽出, 通过过滤器、截止阀和稳压罐进入试验件进行实验; 工质

收稿日期: 2006-12-13; 修订日期: 2007-03-20

基金项目: 国家自然科学基金 (No.50476035); 北京市自然科学基金 (No.3052004); 北京市教委科技发展项目 (No.KM200410005008)

作者简介: 张忠江 (1980-), 男, 新疆克拉玛依人, 硕士研究生, 从事强化传热及其在高新技术中的应用研究。

流出试验件后由收集容器收集, 经精密电子天平称重后计算流量。试验件进口装有热电偶, 以测量和计算流体射流温度, 温度分布采集系统来采集测试平台的温度信息; 通过调节稳压电源的电流和电压, 为加热元件提供一定的功率作为热源; 管路采用尼龙管和不锈钢管, 外面包有保温材料; 阀门采用球形阀门。

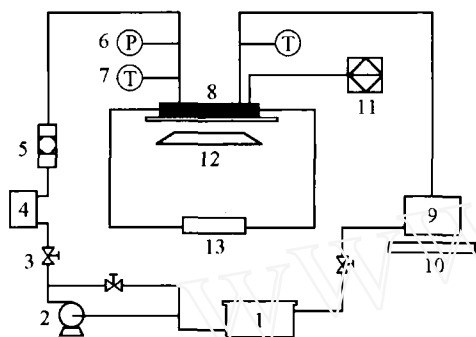


图 1 系统流程图

1. 恒温水槽 2. 智能泵 3. 稳压罐 4. 球形阀 5. 过滤器
6. 热电偶 7. 压力传感器 8. 实验件 9. 收集容器
10. 精密电子天平 11. 数据采集系统
12. 热像仪 13. 稳压电源

2.2 热沉的制作

本次研究制作的热沉为 5 层结构^[3], 由上下盖片、微射流散热片、进水片和回水片组成。下盖片(冲击面)采用 0.40 mm 厚的 P<100> 型双面抛光硅晶体, 微射流片采用 1 mm 的黄铜, 上布有两列 $\Phi 0.15$ mm 射流孔组成, 其他层均为 0.3 mm 的无氧铜。

阵列射流孔阵列采用两列 31 个直径为 0.15 mm 的微射流孔交错排列。实验的热源部分采用对康铜膜通电获取稳定的热源, 膜长 10 mm, 宽 1 mm。

3 实验结果及分析

3.1 微射流热沉阻力理论计算

为了简化计算, 把实验件表面传热问题处理为垂直于实验件表面方向的一维导热问题^[4]。本实验采用极薄的康铜膜, 用镀膜机控制膜厚 $\delta=0.15 \mu\text{m}$, 面积 $9.94 \times 1.13 \text{ mm}^2$ 。

因为康铜膜厚度 δ 极小, 因此可以忽略加热膜表面温度 T_{wb} 与热沉底板表面温度 T_w 的差别, 加热膜表面温度可以作为热沉底板温度的真实值, 即 $T_w \approx T_{wb}$ 。

实验件加热膜表面热通量 q 由下式计算得到:

$$q = \frac{UI}{WL} \quad (1)$$

式中, L 为加热膜长度, W 为宽度, 在 $200 \times$ 显微镜下测定。

本实验使用去离子水为工质, 在射流速度不高时工质的压缩性影响可以忽略不计; 水的粘度不高 ($Pr=7.02$), 在低速流动条件下, 其粘性耗散的影响可以忽略。局部最低对流换热系数可以直接由下式决定:

$$h = \frac{q}{(T_{wj} - T_{f,in})} \quad (2)$$

T_{wj} 是射流冲击表面的温度, $T_{wj} = T_w - \frac{q\delta}{\lambda}$, δ 为热沉下盖片厚度, λ 为下盖片材料的导热系数。由于下盖片有较大的厚度, 在高热流密度情况下, 下盖片导热热阻不能忽略, 在热流密度为 $1 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 时, 下盖片材料为硅片时的两侧温约差为 4.459°C 。

热阻 R_t 是一个常用的测量热沉性能的量, 通常, 热沉设计的目标有两点: 给定热阻, 使泵功最小; 或者给定泵功, 使热阻最小。

$$R_t = \frac{\Delta T_{\max}}{Q} = \frac{T_{w,\max} - T_{f,in}}{Q} \quad (3)$$

其中, $T_{w,\max}$ 和 $T_{f,in}$ 分别是热沉底板最高温度 ($^\circ\text{C}$) 和进口液体温度 ($^\circ\text{C}$), Q 为总的热流量 (W)。

泵功 P 是维持冷却液循环所消耗的电功 (W),

$$P = \Delta p \times Q \quad (4)$$

其中 Δp 为流体流经热沉产生的压降 (Pa), Q_v 为冷却液总的体积流率 (m^3/s)。在本次实验中, 流体的定性温度以射流温度与射流壁面最高温度的平均值为准。

3.2 实验结果

实验利用 NEC TH5104 红外热像仪采集加热膜表面温度分布。图 2 是在不同射流雷诺数时热沉的横向表面温度分布情况。从图中比较可以看出沿热沉横向表面温度变化平缓, 在小射流雷诺数 ($Re < 800$) 的情况时, 热沉表面温度受射流雷诺数影响比较大; 在雷诺数达到一定程度上时, 再增加流量, 表面温度和温差降低的趋势基本不变。在图中我们还能看出表面温度曲线在两端略有所下降, 这是由于两侧的铜热沉部分的导热, 可以带走一些热量; 在靠近热沉径向距离 0.2 mm~0.3 mm 处温度有明显的下降, 这是由于流体在进入射流孔时流量分布不均所引起的。由于整个射流类似一个封闭式射流冲击, 在增加射流孔同时还增强了射流孔之间的泉涌扰动, 这种扰动势必会减弱射流强度并降低射流阵列的传热效率; 如果这种干扰很强, 在两个相邻的射流体

之间将形成泉涌, 流体在此循环并重复进入射流核心区, 可以降低驻点处的传热效率; 从而使冲击面上的换热均匀, 减小冲击面上的温差, 提高被冷却表面上温差的均匀性。

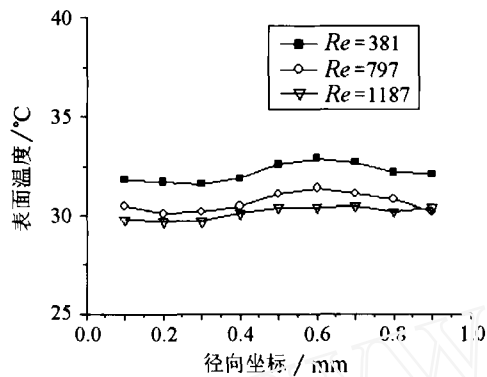


图2 表面温度分布

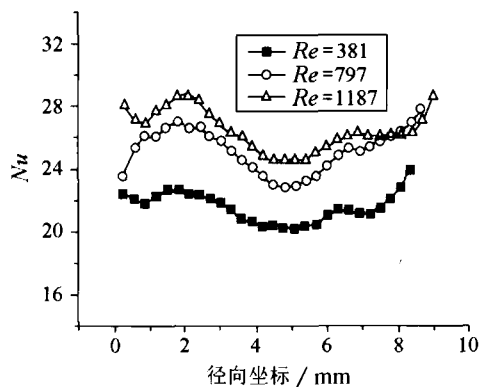


图3 表面努谢尔数分布

图4是表面温差的实验值和Fluent计算值^[5]的比较。可以看出, 两者吻合得比较好。图中温差计算值中实线为 1.2°C , 虚线为 1.1°C 。

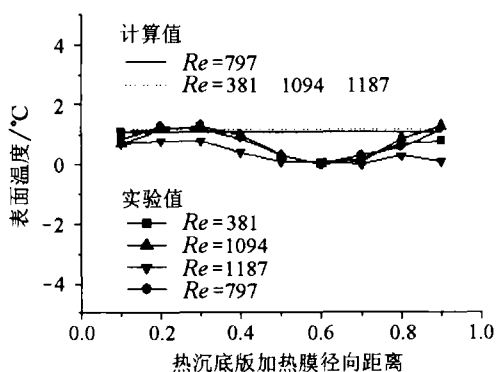


图4 表面温差分布图

图5是在加热条件为 $q = 2.0 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 时测得泵功和热阻的关系曲线, 通过对实验结果的分析 and 拟合发现, 随着泵功的增加, 热阻不断降低; 当泵功增加到一定值时, 热阻变化趋势趋于平缓。

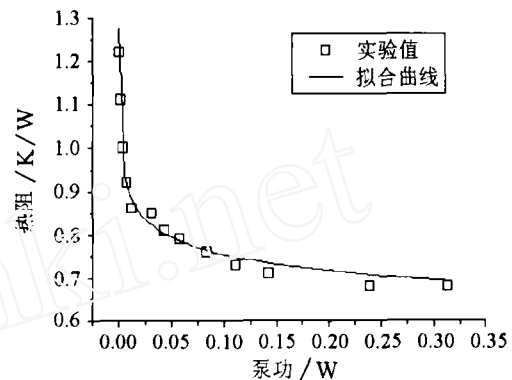


图5 泵功热阻变化图

(采用多项式拟合消除 $p > 0.2$ 后热阻的上升趋势)

4 结论

(1) 采用射流阵列冷却热沉, 不仅增加了驻点数目来提高表面整体换热, 而且能够平均表面换热系数, 使换热面温差降低。

(2) 在不同射流雷诺数时, 测量微射流热沉的传热表面的温度分布, 发现温度分布比较均匀, 部分地方有规律的变化, 这是由于热沉的结构导致射流流体分布不均引起换热不均导致的。

(3) 微射流阵列冷却热沉热阻随泵功的增加而减小, 但是当泵功增加到一定程度时, 热阻变化趋于平缓; 热沉底板表面温度和表面温差随热流密度增加而升高, 但是温差保持在一定范围之内。

参 考 文 献

- [1] G M Harpole, J E Eninger. Micro-Channel Heat Exchanger Optimization. IEEE and NIST. Proc. 7th IEEE Semi-Therm. Symp., Phoenix, New York, IEEE, 1991. 59-63
- [2] 周定伟, 马重芳, 苑中显. 圆形浸没冲击射流速度与压力梯度的数值计算. 北京工业大学学报, 2002, 26(1): 63-67
- [3] 夏国栋. 微射流阵列冷却热沉. 中国发明专利, ZL03146648.6, 2005
- [4] 杨世铭, 陶文铨, 编著. 传热学. 高等教育出版社, 1998. 20-21
- [5] 刘青, 夏国栋, 刘启明, 等. 高效微射流阵列冷却热沉的数值模拟. 自然科学进展. 2005, 15(8): 987-992