

密 级 _____



桂林电子科技大学
GUILIN UNIVERSITY OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

博 士 学 位 论 文

题目 基于嵌入式散热模块的微通道散热技术研究

(英文) Research on microchannel heat dissipation technology
based on embedded heat dissipation module

研 究 生 学 号: 2020XXXXX

研 究 生 姓 名: 李雪斌

指导教师姓名、职称: 李 XX 教授

申 请 学 位 门 类: 工学硕士

学 科、专 业: 机械工程

论 文 答 辩 日 期: 2023 年 6 月 1 日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得桂林电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：

日期：

关于论文使用授权的说明

本人完全了解桂林电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属桂林电子科技大学。本人保证毕业离校后，结合学位论文研究成果完成的论文、发明专利等成果，署名单位仍然为桂林电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。（保密的论文在解密后遵守此规定）

作者签名：

日期：

导师签名：

日期：

摘 要

随着人工智能和第五代移动通信技术的发展，推动着电子芯片向着小型化和高集成化的方向快速发展的同时也导致电子芯片的发热问题日益严重。电子器件 55% 的故障是由温度引起，而在温度引起的故障问题中有很大部分是由温度分布不均而引起的。因此，在为芯片散热的过程中，不仅要考虑热源的最高温度，还要考虑整个热源温度分布的均匀性。……

关键词：微通道；嵌入式散热模块；多目标优化；NSGA-II；多热源散热

ABSTRACT

With the development of artificial intelligence and fifth-generation mobile communication technology, electronic chips are developing rapidly towards miniaturization and high integration, but the heating problem of electronic chips is becoming more and more serious. 55 percent of the faults in electronic devices are caused by temperature, and a large part of the fault problems caused by temperature are caused by uneven temperature distribution.

Keywords: Microchannel; embedded heat dissipation module; Multi-objective optimization; NSGA-II; Multi-heat source heat dissipation

ABSTRACT

插图索引

图 1-1 处理器发展	1
图 1-2 三种强化传热途径示意图	2

插表索引

表 2-1 微通道的划分	3
表 2-2 RSM 仿真实验规划表	3

符号说明

T_f 流体温度 (K)
 T_s 固体温度 (K)

希腊字符

μ_f 流体动力粘度 ($kg/(m \cdot s)$)
 ρ_f 流体密度 (kg/m^3)

下标

f 流体
 s 固体

缩略语

PCB Printed Circuit Board
LTCC Low temperature cofired ceramic
MATD mean absolute temperature deviation

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
插图索引	V
插表索引	VI
符号说明	VII
第一章 绪论	1
§1.1 节标题	1
§1.1.1 小节标题	1
§1.2 图片排版示例	1
§1.2.1 单图排版示例	1
§1.2.2 多图排版示例	1
§1.3 本论文的结构安排	2
第二章 相关理论基础及散热结构设计方案	3
§2.1 表格示例	3
§2.1.1 普通三线表示例	3
§2.1.2 跨页表格示例	3
§2.2 本章小节	4
第三章 基于嵌入式散热模块的微通道流动与传热性能研究	5
§3.1 公式示例	5
§3.1.1 普通带序号公式	5
§3.1.2 需要对齐的多个带序号的公式	5
§3.1.3 需要换行对齐的长公式	5
§3.1.4 其他公式示例	6
第四章 基于嵌入式散热模块的微通道多目标结构优化	7
§4.1 概述	7
§4.2 列表示例	7
§4.2.1 普通列表示例	7
§4.2.2 标号为阿拉伯数字的列表	7
§4.2.3 自定义列表标号	7
§4.3 本章小节	8
第五章 基于 MC-RPF 的多热源散热结构设计分析及压降优化	9
§5.1 算法示例	9

§5.2 定理定义的使用示例	9
第六章 全文总结与展望	10
§6.1 全文总结	10
§6.2 空白符号	10
§6.3 L ^A T _E X 控制符	10
§6.4 后续工作展望	10
参考文献	11
致 谢	12
攻读博士学位期间取得的成果	13

第一章 绪论

§1.1 节标题

该部分可用于提醒自己，该段的内容中心。（可以删掉！）

随着人工智能和第五代移动通信技术等系统技术的发展^[1]，推动着半导体行业在移动便携设备、高性能计算机、自动驾驶、物联网和大数据等应用领域的发展^[1]，同时也推动着电子芯片向着小型化和高集成化方向发展快速发展^[2]。在过去的几十年里处理器上的晶体管数量依照摩尔定律^[3]的预测呈现出指数级的增长趋势，如这张 50 年间的微处理器的发展趋势图 (图 1-1) 所示。……

§1.1.1 小节标题

1. 小小节标题

§1.2 图片排版示例

§1.2.1 单图排版示例

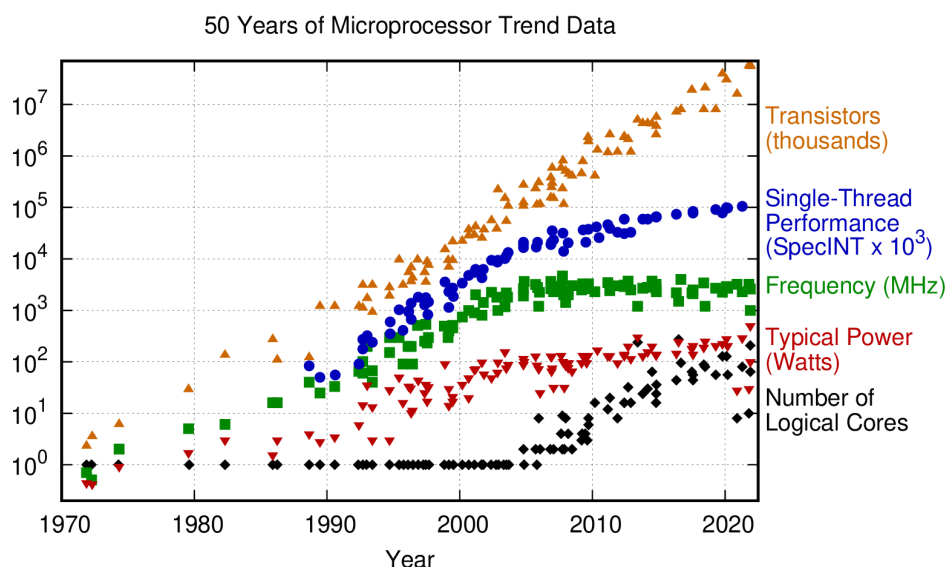


图 1-1 近 50 年微处理器发展趋势

§1.2.2 多图排版示例

同一行中的子图之间要留有空间，不要占满！否则会换行！
子图之间空一行表示换行。

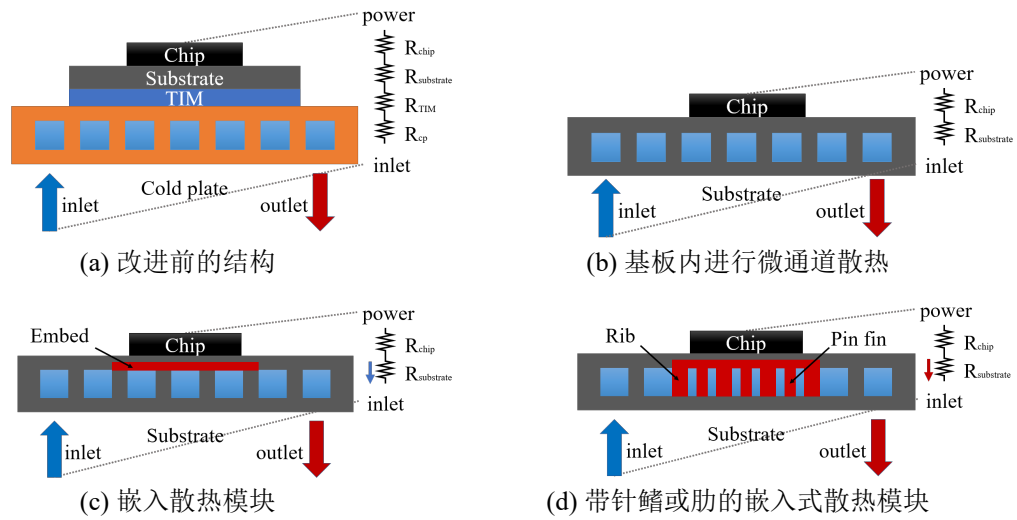


图 1-2 三种强化传热途径示意图

§1.3 本论文的结构安排

第一章：绪论。本章主要分为……。

第二章：相关理论基础及结构设计要求与思路。本章主要分为……。

第三章：基于嵌入式散热模块的微通道流动与传热性能研究。本章研究了几种……。

第四章：基于嵌入式散热模块的微通道多目标优化分析。本章在第三章完成基于……。

第五章：基于 MC-RPF 的多热源散热结构设计分析及压降优化。本章在第四章完成 MC-RPF 多目标优化……。

第六章：全文总结与展望。本次研究工作进行总结，并根据全文研究过程中……。

第二章 相关理论基础及散热结构设计方案

§2.1 表格示例

可使用 excel 绘制表格，然后粘贴到以下网站中生成 latex 表格代码。

推荐网站如下：

<https://www.tablesgenerator.com/>

<https://www.latex-tables.com/>

§2.1.1 普通三线表示例

普遍学者认为，微通道指的是水力直径在 $10\ \mu\text{m}$ 到 $1000\ \mu\text{m}$ 范围内的通道（也有观点认为是 $1\ \mu\text{m}$ 到 $100\ \mu\text{m}$ ）所构成的换热器。以下是较为常见的微通道尺寸分类，可以参见表 2-1。

表 2-1 微通道的划分^[4]

通道种类	水力直径 μm
分子纳米通道	≤ 0.1
过渡性纳米通道	$0.1 \sim 1$
过渡性微通道	$1 \sim 10$
微通道	$10 \sim 1000$
常规通道	> 1000

§2.1.2 跨页表格示例

表 2-2 RSM 仿真实验规划表

标准序	运行序	H_{rib} (mm)	H_{pf} (mm)	N_{pf}	N_{ac}
11	1	0.16	0.8	6	16
13	2	0.16	0.16	22	16
15	3	0.16	0.8	22	16
12	4	0.8	0.8	6	16
10	5	0.8	0.16	6	16
2	6	0.8	0.16	6	0
19	7	0.48	0.48	14	8

表 2-2 RSM 仿真实验规划表 (续)

标准序	运行序	H_{rib} (mm)	H_{pf} (mm)	N_{pf}	N_{ac}
1	8	0.16	0.16	6	0
20	9	0.48	0.48	14	8
18	10	0.48	0.48	14	8
8	11	0.8	0.8	22	0
14	12	0.8	0.16	22	16
6	13	0.8	0.16	22	0
17	14	0.48	0.48	14	8
7	15	0.16	0.8	22	0
16	16	0.8	0.8	22	16
4	17	0.8	0.8	6	0
9	18	0.16	0.16	6	16
5	19	0.16	0.16	22	0
3	20	0.16	0.8	6	0
25	21	0.48	0.48	6	8
22	22	0.8	0.48	14	8
23	23	0.48	0.16	14	8
29	24	0.48	0.48	14	8
28	25	0.48	0.48	14	16
30	26	0.48	0.48	14	8
26	27	0.48	0.48	22	8
27	28	0.48	0.48	14	0
21	29	0.16	0.48	14	8
24	30	0.48	0.8	14	8

§2.2 本章小节

本章介绍了基于嵌入式散热模块的微通道散热技术所涉及的基……

第三章 基于嵌入式散热模块的微通道流动与传热性能研究

§3.1 公式示例

在本次研究中应用到计算流体动力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）对研究对象进……。

§3.1.1 普通带序号公式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-1)$$

u, v, w 分别是 x, y, z 方向的速度分量。

§3.1.2 需要对齐的多个带序号的公式

& 号为对其对齐标记最好放置在计算符号之前，如 =、+、- 之前；

\\ 表示换行。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3-2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3-3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu_f}{\rho_f} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3-4)$$

ρ_f 和 μ_f 分别是冷却剂的密度和动态粘度，p 是冷却剂压力。

§3.1.3 需要换行对齐的长公式

$$\begin{aligned} f_3 = & 6.272 + 3.02H_{rib} + 6.08H_{pf} + 0.0368N_{pf} - 0.8848N_{ac} + 0.04381N_{ac}^2 \\ & + 6.35H_{rib} \times H_{pf} - 0.3602H_{rib} \times N_{ac} - 0.5497H_{pf} \times N_{ac} \end{aligned} \quad (3-5)$$

§3.1.4 其他公式示例

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{find } H_{rib}, H_{rib}, N_{pf}, N_{ac} \\ \text{min } F(H_{rib}, H_{rib}, N_{pf}, N_{ac}) = \min\{f_1, f_2, f_3\} \\ \text{s.t. } 0.2 \leq H_{rib} \leq 0.8 \\ \quad 0.2 \leq H_{pf} \leq 0.8 \\ \quad 6 \leq N_{pf} \leq 22, N_{pf} \in \mathbb{O} \\ \quad 0 \leq N_{ac} \leq 16, N_{ac} \in \mathbb{E} \end{array} \right. \quad (3-6)$$

第四章 基于嵌入式散热模块的微通道多目标结构优化

§4.1 概述

本章在第三章完成基……。

§4.2 列表示例

§4.2.1 普通列表示例

1. 在基板内部进行微通道散热以缩短传热路径，见图 1-2(b)；
2. 在基板内嵌入散热模块减少整体热阻，提高热传导效率，见图 1-2(c)；
3. 在嵌入式散热模块上制作针鳍或肋增强对流传热，以进一步减小热阻，见图 1-2(d)。

§4.2.2 标号为阿拉伯数字的列表

- (1) 基于嵌入式散热模块的微通道流动与传热性能研究。将三种带有嵌入式散热模块的微通道：带有针鳍……最终选用 MC-RPF 作为核心散热结构；
- (2) 分析几何参数对带有针鳍-肋嵌入式散热模块微通道流动与传热的影响。主要研究……；
- (3) 对采用针鳍-肋嵌入式散热模块的微通道进行多目标优化。采用响应面分析法（Response Surface Methodology, RSM）与……；
- (4) 基于 MC-RPF 的多热源散热结构设计分析。为解决在多热源应……；
- (5) 基于 MC-RPF 的多热源散热结构压降优化。以压降损失相关理论为指导依据，……。

§4.2.3 自定义列表标号

NSGA-II 具体操作步骤如下：

- 步骤一、随机生成初始化种群，设置代数 $Gen = 0$ ；
- 步骤二、判断是否生成第一代种群，如已生成则令其代数 $Gen = 2$ ，否则进行快速非支配排序、选择、SBX、PM 生成第一代子群，并设置代数 $Gen = 2$ ；
- 步骤三、将父代与子代的种群进行合并形成新的父代种群；
- 步骤四、判断是否生成新的父代种群，如果未生成则进行快速非支配排序、拥挤度计算、精英策略选择操作以生成新的父代；
- 步骤五、对新生成的父代进行选择、SBX、PM 操作生成新子群；
- 步骤六、判断当前代数是否小于设置的最大代数，若小于设置的最大代数则返回步骤三进行循环，否则，NSGA-II 结束运行。

§4.3 本章小节

第五章 基于 MC-RPF 的多热源散热结构设计分析及压降优化

§5.1 算法示例

算法示例如下：

算法 5-1 How to wirte an algorithm.	
Data: this text	
Result: how to write algorithm with L ^A T _E X2 _ε	
1	initialization;
2	while <i>not at end of this document</i> do
3	read current;
4	if <i>understand</i> then
5	go to next section;
6	current section becomes this one;
7	else
8	go back to the beginning of current section;
9	end
10	end

§5.2 定理定义的使用示例

定理 5.1 如果时域混合场积分方程是时域电场积分方程与时域磁场积分方程的线性组合。

证明: 由于时域混合场积分方程是时域电场积分方程与时域磁场积分方程的线性组合，因此时域混合场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征与时域电场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征相同。□

推论 5.2 时域积分方程方法的研究近几年发展迅速，在本文研究工作的基础上，仍有以下方向值得进一步研究。

引理 5.3 因此时域混合场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征与时域电场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征相同。

第六章 全文总结与展望

§6.1 全文总结

§6.2 空白符号

1em: a b

2em: a b

1/6 个 em: a b 或 a b

0.5 个 em: a b

空格: a b

硬空格: a b

指定宽度 1pc: a b

指定宽度-1emba

指定宽度 1em: a b

指定宽度 35pt: a b

占位宽度为 xyz: a b

弹性长度: a

b

§6.3 L^AT_EX 控制符

\$ { } ~ _ ^ \ &

§6.4 后续工作展望

参考文献

- [1] Lau J H. Recent Advances and Trends in Advanced Packaging[J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2022, 12(2): 228-252.
- [2] Sadique H, Murtaza Q, Samsheer. Heat transfer augmentation in microchannel heat sink using secondary flows: A review[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, 194: 123063.
- [3] Tan H, Du P, Zong K, et al. Investigation on the temperature distribution in the two-phase spider netted microchannel network heat sink with non-uniform heat flux[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2021, 169: 107079.
- [4] 吕嗣鸿. 均温散热微小通道的结构研究[D]. 电子科技大学, 2021.

致 谢

在攻读硕士学位期间，首先衷心感谢我的导师 XXX 教授

攻读博士学位期间取得的成果

一、参与的项目：

- [1] XXX 散热装置制造技术, XXX 部预研项目, 2022-2025, 在研。
- [2] XXX 焊接理论技术研究, XXX 部预研项目, 2020-2021, 已结题。
- [3] XXX 传热机理及散热技术研究, XXX 部预研项目, 2019-2020, 已结题。

二、发表论文：

- [1] XXX, **李雪斌**, et al. Hydrothermal performance analysis of microchannel heat sink with embedded module with ribs and pin-fins[J]. Applied Thermal Engineering, 2023, 225: 120167. (TOP 期刊, 中科院一区, IF: 6.465, 共同一作)

三、发明专利：

- [1] XXX, **李雪斌**, XXX 等. 一种基于 Fluent 的批量自动化仿真方法: 中国, CN114968537A [P]. 2022.

四、软件著作权：

- [1] XXX, **李雪斌**. 基于 Fluent 的磁性纳米流体微通道散热仿真自动化软件 [CP]. 中国广西桂林: 桂林电子科技大学, 2022.

五、科研竞赛获奖：

- [1] 第十五届全国数字工业设计大赛广西赛区二等奖（排名第二）