



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流道散热技术及传热特性研究

(英文) Research on microfluidic heat dissipation technology and

heat transfer characteristics based on embedded heat

dissipation module

研 究 生 学 号: 2020XXXXX

研 究 生 姓 名: 焱铭

指导老师姓名、职称: Spring Water 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 4 月 14 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：

[illegible]

I





非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题

IV

## 插图索引

图 1-1 半导体芯片上的晶体管数量 .....	1
--------------------------	---

## 插表索引

表 4-1 计算 $2m \times 2m$ 理想导体平板时域感应电流采用的三种存储方式的存储 量比较。 .....	5
--	---



符号说明

$T_f$       流体温度 (K)  
 $T_s$       固体温度 (K)

希腊字符

$\mu_f$       流体动力粘度 ( $kg/(m \cdot s)$ )  
 $\rho_f$       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 .....	II
插图索引 .....	V
插表索引 .....	VI
符号说明 .....	VII
第一章 绪 论 .....	1
§1.1 研究工作的背景与意义 .....	1
第二章 多级嵌入式散热装置结构设计 .....	3
§2.1 多级嵌入式散热装置结构设计要求与思路 .....	3
§2.1.1 多级嵌入式散热装置研究对象 .....	3
§2.2 本章小节 .....	3
第三章 多级嵌入式散热装置单元级性能分析及优化 .....	4
§3.1 多级嵌入式散热装置单元级结构设计 .....	4
§3.2 本章小节 .....	4
第四章 多级嵌入式散热装置系统级性能分析及优化 .....	5
第五章 多级嵌入式散热装置实验研究 .....	6
第六章 全文总结与展望 .....	7
§6.1 全文总结 .....	7
§6.2 后续工作展望 .....	7
参考文献 .....	8
致 谢 .....	9
攻读博士学位期间取得的成果 .....	10

# 第一章 绪 论

## §1.1 研究工作的背景与意义

### 微电子器件整体发展趋势

随着人工智能和第五代移动通信技术等系统技术的发展，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<sup>[1]</sup>网和大数据等应用领域的发展<sup>[1]</sup>，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<sup>[2]</sup>。在过去的几十年里处理器上的晶体管数量依照这摩尔定律<sup>[3]</sup>的预测呈现出指数级的增长趋势，如图 1-1所示。摩尔定律与登纳德定律<sup>[4]</sup>引领着半导体行业飞速发展，半导体芯片上电子元件的数量与日俱增，大大提高了芯片的综合性能。随着半导体芯片性能的提高，以及尺寸的限制，导致芯片工作时温度的急剧上升，这将对其正常的运行工作产生严重的影响。半导体芯片散热器技术的发展已成为制约半导体芯片进一步发展的一大重要原因。

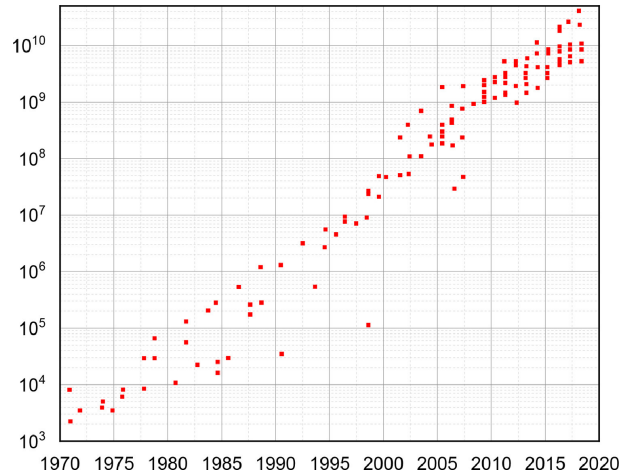


图 1-1 半导体芯片上的晶体管数量

$$MTF = \frac{1}{A\rho^2} \exp - \frac{\varphi}{K_B T} \quad (1-1)$$

本论文以时域积分方程时间步进算法的数值实现技术、后时稳定性问题以及两层平面波加速算法为重点研究内容，主要创新点与贡献如下：

**算法 1-1** How to write an algorithm.

**Data:** this text

**Result:** how to write algorithm with L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2<sub>ε</sub>

```
1 initialization;
2 while not at end of this document do
3   read current;
4   if understand 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
```

## 第二章 多级嵌入式散热装置结构设计

### §2.1 多级嵌入式散热装置结构设计要求与思路

#### §2.1.1 多级嵌入式散热装置研究对象

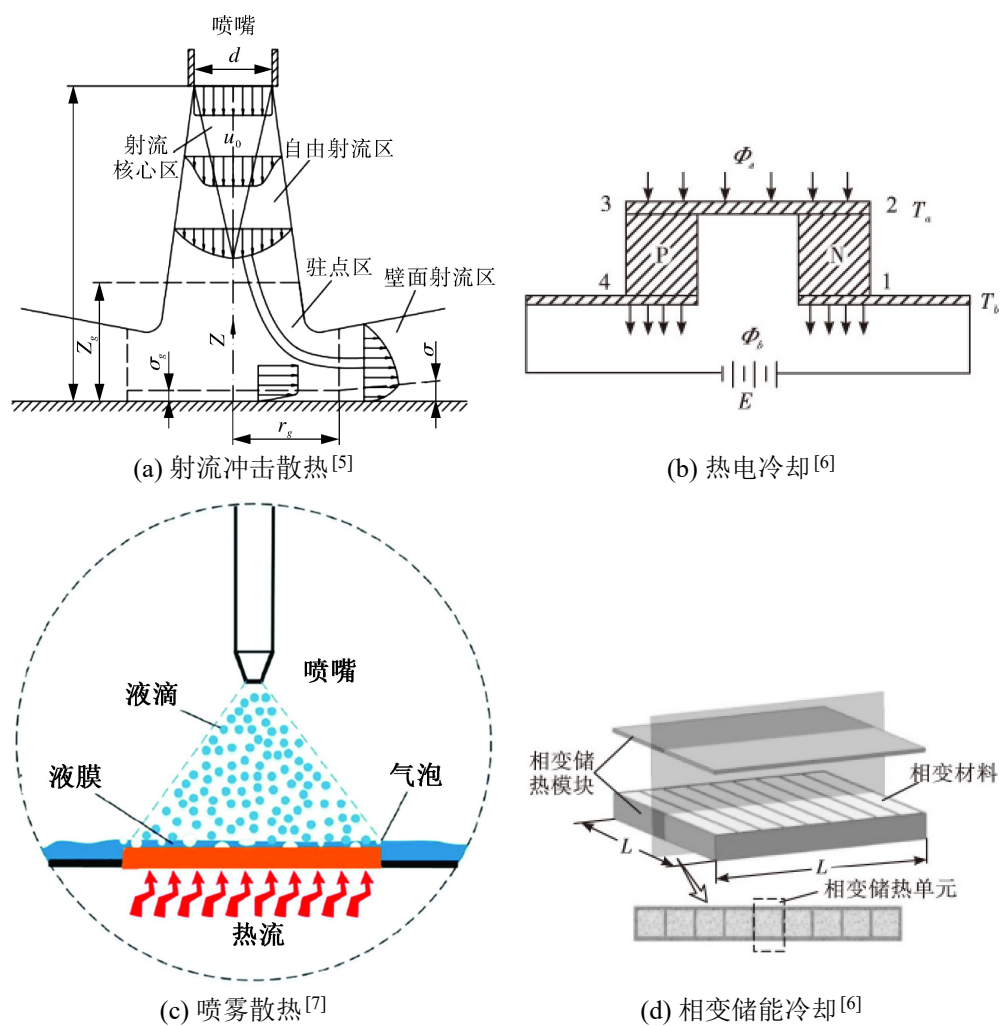
##### 1. 速度分布特征

接下来是内容

### §2.2 本章小节

## 第三章 多级嵌入式散热装置单元级性能分析及优化

### §3.1 多级嵌入式散热装置单元级结构设计



### §3.2 本章小节

## 第四章 多级嵌入式散热装置系统级性能分析及优化

表 4-1 计算  $2m \times 2m$  理想导体平板时域感应电流采用的三种存储方式的存储量比较。

时间步长	存储方式		
	非压缩存储方式	完全压缩存储方式	基权函数压缩存储方式
0.4ns	5.59 MB	6.78 MB	6.78 MB
0.5ns	10.17 MB	5.58 MB	5.58 MB
0.6ns	8.38MB	4.98 MB	4.98 MB

**定理 4.1** 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 4.2** 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 4.3** 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。

## 第五章 多级嵌入式散热装置实验研究



## 第六章 全文总结与展望

### §6.1 全文总结

### §6.2 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, Samsher. Heat transfer augmentation in microchannel heat sink using secondary flows: A review[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, 194: 123063.
- [3] Moore G E. Cramming more components onto integrated circuits[J]. Proc IEEE, 1965, 38(8): 6.
- [4] Dennard R, Gaensslen F, Yu H N, et al. Design of ion-implanted MOSFET's with very small physical dimensions[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1974, 9(5): 256-268.
- [5] 吕静, 黄伶俐, 刘洪芝, 等. 冲击射流冷却高功率电子元件的试验研究[J]. 流体机械, 2021, 49(6): 1-8.
- [6] 段斐帆, 涂淑平. 电子设备散热的新技术[J]. 工业加热, 2021, 50(11): 63-68.
- [7] 齐文亮, 赵亮, 王婉人, 等. 高热流密度电子设备液冷技术研究进展[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(11): 4261-4270.

## 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] XXXXX 散热装置制造技术，国家装备发展部领域基金重点项目，2022-2025，在研，负责热设计分析及实验验证
- [2] XXXPBGA 器件焊接理论技术研究，装发快速扶持项目，2020-2021，已结题，负责仿真实验设计，仿真模型实验验证。
- [3] XX 流体微流道的传热机理及散热技术研究，中电十所委托横向项目，2019-2020，已结题，负责仿真实验设计，仿真模型验证。

### 三、发表论文：

- [1] 李春泉, 李雪斌, 林奈等. 磁性纳米流体微通道散热分析 [J]. 内燃机与配件, 2021, 45-47.
- [2] Chunquan Li, Zhengwei Liu, Hongyan Huang, et al. Experimental study of convective heat transfer in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluids in a grid-shaped microchannel under magnetic field[J]. Thermal Science, 2022 OnLine-First, 161-161.

### 二、专利及知识产权：

- [1] 李春泉, 李雪斌, 吴军等. 一种基于有限元仿真的再流焊工艺曲线优化方法: 中国, CN113139323A[P]. 2021.
- [2] 李春泉, 李雪斌, 阎德劲等. 一种基于 Fluent 的批量自动化仿真方法: 中国, CN114968537A[P]. 2022.
- [3] 李春泉, 李雪斌, 林奈等. 基于有限元仿真的磁性纳米流体微流道散热器多目标优化方法: 中国, CN115048903A[P]. 2022.
- [4] 李春泉, 李雪斌, 阎德劲等. 一种异质嵌入式针鳍微流道散热器: 中国, CN115346939A[P]. 2022.
- [5] 李雪斌. PDF 文件制作软件 [CP]. 中国广西桂林: 桂林电子科技大学, 2022.
- [6] 李春泉, 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.

### 四、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）