

# 华中科技大学本科生自然科学创新基金 申请书（机械学院初步申报版）

项目名称：考虑芯片热源离散分布的芯片微流  
道结构拓扑优化设计研究

申 请 人：熊元卿

申请人学号：U202210541

移动电话：15071380195

电子邮件：2211015633@qq.com

所在院系：机械科学与工程学院

填表日期：2024.5.21

华中科技大学本科生院制

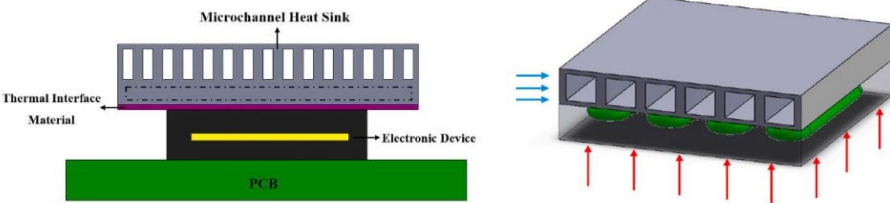
2024 年 5 月

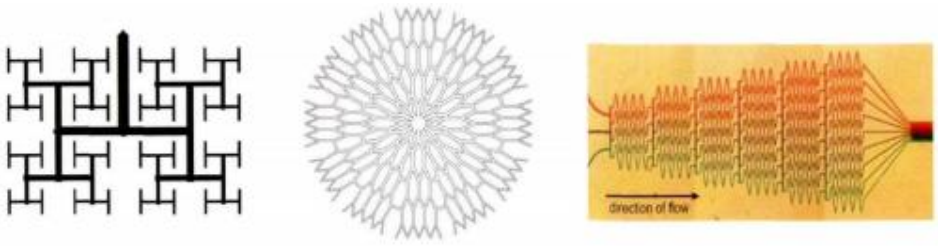
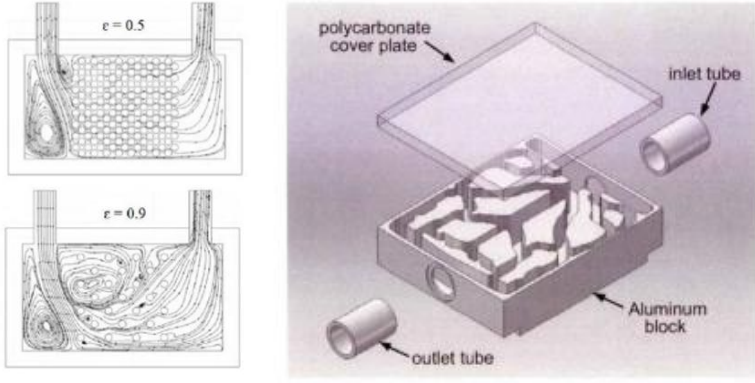
基本信息

申请人信息	姓名	熊元卿		性别	男	
	出生年月	2004.6.2		民族	汉族	
	导师姓名	高亮		导师职称	教授	
	学籍单位	机械科学与工程学院		学号	U202210541	
	电子邮箱	2211015633@qq.com				
	手机号码	15071380195		QQ	2211015633	
	研究领域	多物理场耦合拓扑优化				
	是否基础学科拔尖学生培养计划 2.0 基地				<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否	
项目基本信息	项目名称	考虑芯片热源离散分布的芯片微流道结构拓扑优化设计研究				
	英文名称	Topology optimization design of chip microchannel structure considering discrete heat source distribution				
	研究期限	2024 年 5 月 30 日---2026 年 5 月 30 日				
	研究方向	芯片微流道设计				
	申请金额	5 万元				
	中文关键词	微流道芯片、热流固耦合、拓扑优化、计算流体力学				
	英文关键词	Microfluidic Chip、Thermo-Fluid-Solid Coupling、Topology Optimization、Computational Fluid Dynamics (CFD)				
中文摘要	<p>本项目为满足当代科研和工业应用对高性能芯片的迫切需求，解决高性能芯片发热严重和热膨胀破坏等问题，拟开展考虑芯片热源离散分布的芯片微流道结构拓扑优化设计研究，针对优化方法、科学问题与工程应用展开深入探讨:1) 建立热流固耦合多物理场模型，模拟流体流动、热传导和结构变形的耦合效应，创建准确描述微流道芯片工作状态的多物理场耦合模型，为优化设计提供理论基础; 2) 改进和完善芯片微流道拓扑优化算法，引入芯片离散热源边界条件和多目标优化方法，以提高优化精度和效率，同时优化冷却效率、压力降和结构强度等多目标，实现以热源分布为特征的微流道设计; 3) 开展 CFD 仿真，通过计算流体动力学方法评估优化设计的散热流道性能，验证优化设计的实际效果，并进一步改进设计方案。本项目的研究不仅有助于突破现有微流道芯片设计中的关键技术瓶颈，还将为我国微流道芯片的发展和应用奠定坚实基础，具有重要的理论意义和实际应用价值。</p>					

报告正文

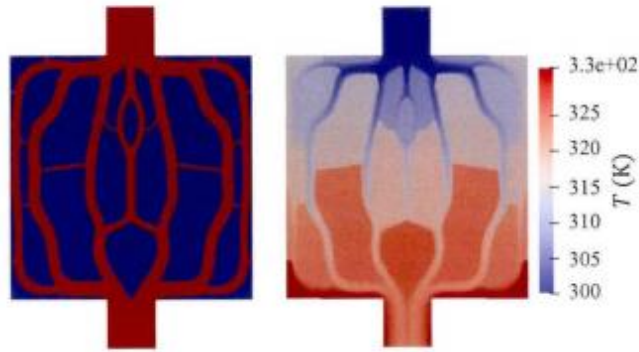
研究 初 衷	<p>随着科学技术对算力的需求越来越高，高性能芯片的功率与日俱增，随之而来的芯片积热严重问题严重阻碍了芯片的高集成度和高计算性能发展。微流道芯片能够在芯片上集成散热流道，从而在芯片散热方面提高强制热对流效率，从而提高芯片计算性能。然而，传统的微流道设计往往依赖经验和试错法，这不仅耗时费力，而且难以实现对流场、温度场和结构场的全面优化。</p> <div></div> <p>热流固耦合多物理场拓扑优化方法是一种基于数学优化和计算力学的先进设计方法，能够在设计空间内自动寻找最优的结构拓扑，使其在给定的多物理场作用下达到最佳性能。通过引入多物理场耦合的概念，特别是在微流道芯片中引入流体流动和热传导的耦合效应，可以实现对芯片性能全面提升。</p> <div></div> <p>本研究旨在利用热流固耦合多物理场拓扑优化方法，对微流道芯片中的散热流道进行优化设计，以实现更高的冷却效率和更低的能耗。通过这一研究，不仅可以为微流道芯片设计提供新的理论和方法支持，还可以推动微流道散热技术的进一步发展。在当前的技术背景下，提高微流道芯片的散热性能，对于保证芯片的稳定性和延长使用寿命具有重要意义。因此，研究如何通过优化设计提高微流道芯片的散热性能，具有重要的理论价值和实际应用前景。</p>
前 期 工 作	<p>在本项目之前，我已经在微流道芯片设计和多物理场耦合拓扑优化方面进行了大量研究，并取得了一些初步成果。</p> <p>首先，我广泛阅读微流道芯片流道设计有关文献，我对不同设计参数对微流道芯片性能的影响进行了系统研究。通过实验和数值模拟，我们发现微流道几何结构、材料选择以及流道布局对芯片的冷却效率和压力降有显著影响。我还研究了微流道结构的流体性能对芯片散热效果的影响，发现具有高流动和热交换性能的流道在提高散热效率方面具有显著优势。这些研究成果为我进一步开展研究提供了宝贵的参考。</p> <p>其次，我在多物理场耦合拓扑优化方法方面进行了系统研究。我学习并熟练掌握了一个基于有限元方法的多物理场耦合计算平台，能够模拟流体流动、热传导和结构变形的耦合效应。在此基础上，我正在设计一种拓扑优化算法，能够在考虑多物理场耦合的情况下，自动生成最优的微流道芯片设计方案。我会利用该算法对微流道结构进行了优化设计，并通过仿真验证了这些设计在流体流动和热传导方面的优越性能。通</p>

	<p>过这些研究，初步证明了多物理场耦合拓扑优化方法在微流道芯片设计中的潜力。</p> <p>在具体的算法开发过程中，我将通过引入基于组件法和密度法相结合的优化策略。通过这种方法，我们能够在优化过程中逐步去除低效材料，同时保持结构的整体性能。我还将考虑芯片工作时将产生的热源不均匀的情况，通过相关优化算法将其作为边界条件引入到拓扑优化算法中。此外，我们引入了多目标优化策略，使得优化结果能够在冷却效率、压力降和结构强度等多个目标之间取得平衡。</p> 
--	--

研究内容	<p>本项目的研究内容主要包括以下几个方面：</p> <p><b>1. 热流固耦合多物理场建模与分析</b></p> <p>在微流道芯片中，流体流动、热传导和结构变形是相互耦合的，需要建立综合考虑这三者耦合作用的多物理场模型。具体而言，我将基于有限元方法和计算流体力学，建立微流道芯片的热流固耦合多物理场模型。该模型能够模拟流体在微流道中的流动情况，预测温度场的分布，并分析芯片结构在不同温度分布下的变形和应力分布。通过多物理场耦合分析，可以全面了解微流道芯片在实际工作条件下的性能表现。</p>  <p>在建模过程中，我将首先对微流道芯片中的流体流动进行详细分析。通过计算流体力学方法，我们能够模拟流体在不同流道结构中的流动情况，预测流体的速度场和压力场分布。同时，我将分析流体流动对芯片散热的影响，确定影响散热效率的关键因素。在此基础上，我将建立热传导模型，模拟芯片中热量的传导过程，预测温度场的分布情况。最后，我将综合考虑流体流动和热传导的耦合效应，建立热流固耦合模型，分析微流道芯片在实际工作条件下的温度场、流速场和应力场的分布情况。</p> 
------	--

## 2. 基于多物理场拓扑优化算法的改进与应用

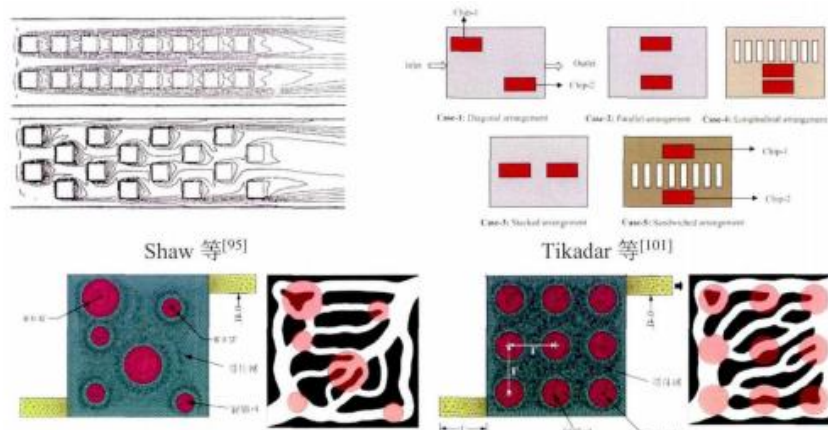
基于前期工作中提出的多物理场耦合拓扑优化算法，我将在本项目中进一步改进和完善该算法。具体来说，我将引入自适应网格细化技术，以提高计算精度和效率；同时，我将采用多目标优化方法，以同时优化流体流动、热传导和结构强度。改进后的算法将用于微流道芯片中散热流道的拓扑优化设计，自动生成具有最佳冷却性能的微流道结构。



拓扑优化算法的核心在于设计目标和约束条件的设置。为了确保优化结果具有实际意义，我将综合考虑微流道芯片的冷却效率、压力降和结构强度等因素。具体来说，我们将设定多个优化目标，如最大化冷却效率、最小化压力降和提高结构强度，并通过多目标优化算法，寻找这些目标在设计空间中的最优解。此外，我还将引入基于机器学习的优化算法，以进一步提高优化效率和精度。通过这些改进，希望能够在较短时间内生成高质量的优化设计方案。



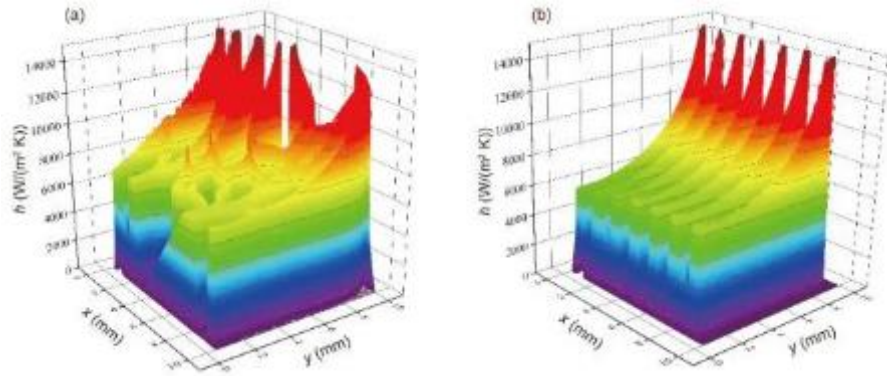
在具体拓扑优化算法程序设计中，我首先会对通用芯片散热边界条件进行微流道优化设计，在保证结果输出稳定的情况下，我将对不同的芯片发热情况进行实验，通过不同芯片发热强度分布情况对芯片微流道进行单独热源适配优化。



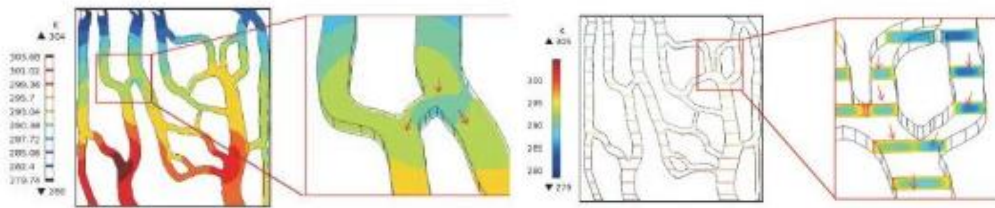


### 3. CFD 仿真验证

为了验证优化设计的散热流道性能，我将开展一系列 CFD 仿真。具体仿真内容包括流体流动性能、热传导效率和结构强度等方面。通过 CFD 仿真，可以评估不同结构散热流道的实际性能，并与数值模拟结果进行对比，以验证优化设计方法的有效性和可靠性。



在 CFD 仿真过程中，我将使用先进的仿真软件和高性能计算平台，模拟微流道芯片中流体的流动和传热过程。我将对比不同优化设计方案在相同工作条件下的性能表现，分析其冷却效率、压力降和结构应力分布。通过这些仿真结果，可以评估优化设计的实际效果，并根据仿真结果进一步改进优化算法和设计方案。最终通过 CFD 仿真，验证优化设计的可行性和优越性，为实际应用提供可靠的技术支持。



## 申请人简历

教育经历	<p>2019 年 9 月-2022 年 6 月 湖北省武昌实验中学 读高中</p> <p>2022 年 9 月-至今 华中科技大学 机械科学与工程学院 读本科</p>
项目经历	<p>(1) 高亮、高杰导师运筹与优化团队，研究课题为基于有限元拓扑优化分析的结构轻量化算法设计</p> <p>(2) 高亮、高杰导师运筹与优化团队，研究课题为芯片散热器设计热流固耦合拓扑优化算法设计</p>
成绩奖励	<p><b>学业成绩：</b></p> <p>加权成绩：93.25</p> <p>专业排名：1/28</p> <p><b>获奖情况：</b></p> <p>2023 年 第十六届“高教杯”全国大学生先进成图技术与产品信息建模创新大赛（<b>国家级</b>），指导老师为韩斌、张俐、黄金国、何建英，获机械类先进成图技术赛道<b>个人全能一等奖</b></p> <p>2023 年 第十六届“高教杯”全国大学生先进成图技术与产品信息建模创新大赛（<b>国家级</b>），指导老师为韩斌、张俐、黄金国、何建英，本人排名第四名，获机械类<b>团体一等奖</b></p> <p>2023 年 全国大学生数学竞赛（<b>国家级</b>），指导老师为廖俊俊，获<b>全国一等奖</b></p> <p>2023 年 全国大学生数学竞赛（<b>国家级</b>），指导老师为廖俊俊，获<b>省级一等奖</b></p> <p>2023 年 全国大学生数学建模竞赛（<b>国家级</b>），指导老师为邹猛，本人排序为第一名，获<b>湖北赛区一等奖</b></p> <p>2023 年 第四届“华数杯”全国大学生数学建模竞赛（<b>国家级</b>），指导老师为高杰，本人排序为第一名，获<b>本科生组二等奖</b></p> <p>2023 年 华中杯大学生数学建模挑战赛（<b>省级</b>），本人排序为第一名，获<b>二等奖</b></p>

## 项目承诺

本人承诺遵守学术伦理,承诺遵守国家和学校规定,合法合规使用项目经费;承诺按照申请书制定的目标和计划完成项目;如在项目结题之前毕业,本人承诺按本科生院要求结题。

承诺人:

年 月 日

## 导师意见

对项目创新性及应用者的思想素质、科研能力、创新潜力和拟开展的研究工作的评价,是(否)同意申报。

导师:

年 月 日