

ORIC 项目申请表

项目名称	微纳芯片的热输运及其优化研究			
团队信息				
指导老师	姓名	曹炳阳	研究领域	微纳尺度流动与传热
	学校	清华大学	院系	航天航空学院
	职称	教授	手机	15801051668
	Email	caoby@tsinghua.edu.cn		
	办公地址	清华大学蒙民伟科技楼北楼 N807		
团队成员				
姓名	年级	专业	电话	Email
肖飞宇	2014 级	钱学森力学班	17888830399	xiao-14@mails.tsinghua.edu.cn
项目信息				
<p>1、项目简介</p> <p>随着现代电子芯片发展到微米乃至纳米层级，如何应对日益增长的能量密度和日益缩小的单位芯片面积这一矛盾造成的巨大挑战，已经成为一个制约着整个微电子产业发展的关键瓶颈。(Cahill, Braun et al. 2014) 特别是对于从极小尺度的纳米线到纳米线网络再到最终微米级别的芯片，其中在诸如纳米线、纳米线网络到芯片在各个不同的层面上的热量输运特性依旧不甚明晰。如何能理解这样一个从微纳米尺度到宏观尺度的一个多结构、跨尺度的问题的物理机理以及如何提出合理而有效的热量管理的技术方案，已是亟待解决的重大问题。特别是由于在纳米尺度宏观经典导热规律以及基于其的一系列优化方法均不适用，加之微纳米尺度下的众多问题的物理机理的不明晰，给这一问题的研究提出了新的挑战。</p> <p>微纳芯片的热输运及其优化研究,即研究电子芯片在微纳米尺度下的和宏观导热现象不同的非傅立叶导热现象的规律，通过对声子扩散以及其与界面相互作用等机制的探讨，从单根纳米线到多根纳米线所构成的复杂网络多个层面进行分析研究，希望得到芯片中热量传导的规律，进而探究如何合理设计其微观结构和强化散热方法，最有效的将芯片产热迅速传导出芯片，从而有效防止芯片温度过分升高造成的性能下降甚至失效。</p>				

2、背景

纳米薄膜等材料在微电子器件的广泛应用使得信息处理的效率越来越高，但是随着越来越多的器件被布置到很小的面积，热能密度迅速增加，热失效已经成为制约微电子工业的一个巨大挑战(Chen 2005)。但是由于纳米尺度能量输运现象和宏观的现象有着极大的区别，所以为了进一步开发有效的冷却技术，需要对于器件水平的热量传导机制有着深刻的认识和理解。而且芯片制造的未来工艺将朝着更小尺度和从二维到三维的方向发展，这必然导致更高的能量密度和更加复杂的热量输运现象，可以预见的是，热量的输运问题将会继续成为芯片发展的最重要的瓶颈。

由于实验手段的匮乏和实际测量的不可行性，现有研究对于有内热源的非傅立叶导热主要采用了基于声子玻尔兹曼方程的 MC 方法以及分子动力学的 MD 模拟方法，得到了在微纳米尺度下，界面对于声子的散射对于热传导有相比经典傅立叶导热定律而言的明显的削弱，造成与经典理论预测更高的温差等现象。这类研究最终大多回归于基于“等效热导率”的热扩散模型，但是这一模型在一些情况比如瞬态热传导的情况下是否需要修正还有待进一步探讨(Hua and Cao 2016)。

总之，该问题的研究面临着诸多挑战，主要有以下三点：

1. 对于纳米尺度热量输运的非傅立叶导热现象的研究和深入理解
2. 对由单根纳米线为基元所构成的复杂纳米线网络的热量输运特性的研究和理解
3. 在传统优化理论不适用而微纳米尺度没有可用的优化理论的情况下对于芯片热量输运进行优化研究。

3、研究目的（200 字左右）：

对于芯片从微纳尺度（10nm）到宏观尺度（10um）的不同热量输运特性得到清晰的数值结果和物理图像以及深刻的物理机理认识，对于实际器件级别的热量输运问题进行优化研究，以期能对芯片热管理问题有新的认识和提出有效的处理方法。

4、原创性和重要性

与之前多数针对微纳尺度导热现象进行的纯机理性研究不同，本工作预计将基于实际器件尺度对于导热现象进行研究和分析：

1. 纳米尺度下的非傅立叶导热现象：现有对于纳米线的热输运特性依旧没有清晰的理解
2. 多尺度热量输运问题的联合研究：从最小的纳米线构成网络再到最后器件级别的研究，其中有着相当大的复杂度和耦合性，但这一过程对于实际器件的热输运的理解有着重要意义。
3. 微纳米尺度下热输运的优化研究：之前的研究几乎都是在宏观尺度进行的研究和分析(Chen, Wei et al. 2008)，在微纳米尺度的分析，几乎是全新但也是非常重要的问题，对于实际器件的热管理有着重要的意义。

5、研究计划

1. 第一阶段：对纳米结构导热的机理和物理图像进行研究
2. 第二阶段：对纳米结构网络的机理和物理图像进行研究
3. 第三阶段：对器件级别的芯片散热问题进行研究
4. 第四阶段：对芯片的散热进行多尺度、多层级的优化研究

6、参考文献：

Cahill, D. G., et al. (2014). "Nanoscale thermal transport. II. 2003–2012." Applied Physics Reviews **1**(1): 011305.

Chen, G. (2005). Nanoscale energy transport and conversion: a parallel treatment of electrons, molecules, phonons, and photons, Oxford University Press.

Hua, Y.-C. and B.-Y. Cao (2016). "Transient in-plane thermal transport in nanofilms with internal heating." Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science **472**(2186).

Chen, L., et al. (2008). "Constructal entransy dissipation minimization for ‘volume-point’ heat conduction." Journal of Physics D: Applied Physics **41**(19): 195506.

7、预期成果：☐论文 ☐技术报告 ☐专利
☐其它（ ）

8、经费预算：

9、指导老师意见：

指导老师：

10、猫头鹰实验室意见：

猫头鹰实验室负责人：

项目申请人：

日期：