

对我国“细微尺度传热学”发展战略的建议

李淑芬

(国家自然科学基金委员会, 北京 100083)

王补宣* 叶大均

(清华大学, 北京 100084)

[摘要] 高新技术的飞速发展, 对传统的传热学提出了新的挑战。本文分析了细微尺度传热学的发展背景和研究现状, 立足于传热学的发展和我国高新技术的需要, 对我国细微尺度传热学研究内容及措施提出了建议, 以供有关领导部门和科研人员参考。

[关键词] 传热, 微尺度, 发展战略, 建议

1 前言

在中国科学基金资助下, 我国“细微尺度传热学”研究已初具规模并已形成工程热物理与能源利用学科的一个新兴分支领域。笔者根据我国有关专家所提出的多份项目建议材料, 对这个新兴前沿领域的发展战略提出建议, 供有关领导部门和科研人员参考。

2 细微尺度传热学的发展背景

近年来, 随着信息工业、生命科学与技术、航天技术、能源工程、材料工业及现代毫微米制造技术的飞速发展, 对传热学提出了新的挑战。诸如新材料的合成与制备, 超大规模集成电路的热设计, 航天器内生命保障系统的传热过程, 生命过程中的热现象, 新型制造工艺如高频强脉冲激光加工、激光对材料的表面处理、超导材料和膜材料中的传递过程、相变过程中界面间的分子输运等等, 这些问题已经不能用传统的传热传质理论及传统的实验方法加以有效地解决。传热学正面临着从宏观向细观、微观理论和方法的过渡, 许多理论及研究方法应该从更高层次的深度来观察与解决。

微传热学的倡导者之一著名的美国传热学专家田长霖教授在学术报告中谈到: 兴起中的微传热学正在向尺度微型化极限情况下的传热学规律开展研究: 一个是空间尺度极限, 微传热学研究的几何尺度可以到微米或毫微米级; 再一个是时间尺度极限, 即在微秒以至毫微秒内瞬时传热规律的研究。实验表明, 极限条件下的传输理论和概念均要在原基础上更新甚或建立新的理论框架, 从而对高新技术的发展起着牵引拖动作用, 启发高新技术开发的新的思维依据。

微传热学的研究内容涉及到了许多高新技术和新科学的发展, 如:

(1) $0.1\mu\text{m}$ 以下不同尺度的微结构通道, 使流体与壁面密切接触的表面-容积比高达、

中国科学院院士。

本文于1995年6月5日收到。

甚至超过 $10^5 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 可提供极高的传热率、化学和生物反应速率, 这也成为开发高效冷却新技术的关键基础。现代超大规模集成电路的发热量的热流密度已超过 $5 \times 10^5 \text{ W}/\text{m}^2$ 。新的电路设计需要考虑散热能力达到 $10^6 \text{ W}/\text{m}^2$ 量级, 而表面温度却要求低于 120°C , 这就必须用微传热理论进行热设计。

(2) 微型电动机、微型精密器械、微型机械制造的传热与冷却规律及技术理所当然地成为微传热学研究与发展的重要内容。

(3) 实验发现, 在介电材料薄膜、金属薄膜、超导薄膜等的物性与一般条件下有很大变化。如 SiO_2 的导热率可降低 1—2 个数量级, 因为这时物性除与材料本身有关以外, 还将受到声子自薄膜边界的散射影响。因此, 对微薄材料的热物性进行研究具有重要意义。

(4) 微传热学的研究与应用将为生命科学研究提供新的手段与工具。已有报道, 流动通道小到只有 0.1 至 $100\mu\text{m}$ 的微型换热器已被用来进行生物细胞的分离与重整。国外还成功地研制了测量单个细胞温度的微型装置。

(5) 航空航天技术中存在着大量的微尺度传热问题, 如飞行器穿过大气层时的散热问题, 仪器舱的温控等问题。发展微传热学将为许多传热设备的微型化和减轻航天器重量提供重要的科学依据。

总之, 微传热学的发展, 将为高新技术的发展铺路, 使其在更高的水平上开发新的产品。我国这方面的研究与开发才刚刚起步, “九五”期间应尽快布署, 以期赶上国际潮流。

3 微传热学研究的现状

美国从 80 年代开始进行这一领域的探索性研究, 很快得到了学术界和企业界的广泛重视和支持。进入 90 年代后, 有关微传热研究论文的发表数量明显上升。1993 年 11 月在 Hawaii 召开的 The 3rd World Conf. on Experimental Heat Transfer 会议上, 曾专门以“未来实验传热学中最重要研究课题是什么?”为题举行了专题研讨会, 发言的重点是阐述和展望微传热学研究领域的各个方面。1993 年 7 月在日本召开的“分子与微尺度传输现象”日美联合研讨会上, 众多学者都认为 20 世纪最后十年可能会是微米和毫微米尺度热传输现象取得突破性进展的关键时刻, 而这一突破将对 21 世纪初高新技术的发展起极大的推动作用。这个论点, 早在 1992 年于清华大学召开的第三届国际传热会议组织的主要报告中就已提出。日本的微传热研究重点是应用, 微型热管的生产已形成规模。1992 年在我国召开的国际热管会议上, 已有产品参加展出, 热管的直径等于或小于 1mm 。有关理论方面的工作也在迅速开展。但是, 迄今为止, 国际上(主要是美国、日本)微传输现象的研究仍只是起步阶段, 有一定数量的实验、分析, 以揭示微传热规律与所熟知的经典传热学的理论有着质的不同。微传输理论的学术研究和工程应用即将在世界范围内形成新的热潮。

在基金资助下, 我国这方面的研究工作也已开始, 1992 年以来, 国家自然科学基金先后资助了多孔介质重点项目、微槽道内的传热、微型热管、微型毛细泵环等多项研究, 1995 年的面上申请项目有近 20 项属于这方面的内容, 预计在今后五年内将形成规模, 并将在应用方面形成一定的产业。在对外协作方面, 也有了良好的起步。1990—1994 年我国学者曾在美国 Texas A&M 大学与美国 ASME 传热分会副主席 G. P. Peterson 教授合作从事微型热管、微型槽内单相与相变传热研究, 并取得了突破性进展, 现仍保持着合作关系。1994 年清华大学热能系又与拥有世界

最先进微加工技术与设备的 Louisian 技术大学微加工研究所签订了长期合作协议,由中方负责有关热科学方面的基础理论研究,对方主要承担加工与应用方面的研究;还和美国德克萨斯州 A&M 大学、南卡罗来纳州的克莱姆松大学达成共识,将开展微重力条件下热科学与传热传质学的合作研究,现正商谈合作的具体内容和方式。与英国、法国和德国等国家的不少大学和研究机构也有了一定的联系,可望进一步拓宽国际合作的范围,增加深度。

4 对我国“九五”细微传热学的研究内容及措施建议

4.1 研究内容

(1) 对流换热:微细结构表面及微槽管和微孔隙多孔材料中的流动和有/无相变时的传热传质;薄液膜流动单相与蒸发传热传质及稳定性的研究;相变过程界面传输特性与两相流相际分布特性的微细观深层次研究;微尺度换热与微加热器、微型热管、超高紧凑换热器等的应用基础研究与技术开发。

(2) 热传导:介电材料薄膜内的热传导;金属薄膜内的导热与膜厚度的关系,边界电子散射的影响;超导材料薄膜导热率与材料种类、膜厚、温度的关系;特殊介质,包括生物体与细胞组织结构的导热研究;时间微尺度瞬态热过程中能量的传递规律,热波传播理论与应用的研究,小至 μm^2 点接触时热电传输的微尺寸效应。

(3) 热辐射:辐射性质与微尺度关系,科学划分的分区如几何光学区、电磁微尺度区、电子传输微尺度区、量子尺寸区的辐射特性,微尺度辐射与传统几何光学区辐射的偏离;薄膜、微槽表面的热辐射特性及其制造过程中的热控制;微多孔材料内的辐射热传输。

(4) 相变传热:壁面上蒸发液滴内部的微对流现象;液体表面蒸发与凝结分子动力学;生物材料的微冷冻过程。

(5) 微重力传热传质:微、零重力环境下的流动与对流换热;微、零重力环境下相变(沸腾、凝结和熔化、凝固)换热机理;微、零重力环境下传热传质的地面模拟实验方法与实验技术。

4.2 措施建议

(1) “九五”期间应迅速部署对微传热学的研究,给予一定规模的投资,组织重大项目的研究;

(2) 配合基础研究的开展,国家应投资建立高新技术微传热国家重点实验室,配备一定规模的仪器设备,成为该领域研究的重要基地。

(3) 重视基础性研究,扎扎实实地集中攻克微传热学中的一些带有普遍的规律性问题。这部分工作既是高新技术产品开发的后盾,又是知识的储备,要着眼未来,不能急功近利、急于求成。

(4) 有些微传热学的应用基础课题,如微型毛细泵环、微型热管、微重力或零重力条件下的传热等,可以和航空航天技术和“863”中的关键技术相结合,联合投资,共同部署、看准成熟技术在产品开发上下功夫,争取尽快形成产业。

(5) 微传热学的基础研究要进一步加强国际合作和学术交流,获取国际最新信息,在国际前沿起点上深入地开展研究。

致谢: 本文同时参考了重庆大学辛明道教授、中科院工程热物理所顾维藻研究员提出的微传热学重点项目建议的部分材料,并对此表示感谢。

ON THE STRATEGY FOR CONDUCTING MICRO HEAT TRANSFER RESEARCHES IN CHINA

Li Shufen

(National Natural Science Foundation of China, Beijing 100083)

Wang Buxuan Ye Dajun

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The investigation on microscale heat transfer will play an important role in the development of high technologies and challenge traditional heat transfer research. A survey of microscale heat transfer research development background and its present research works is made. According to the future development of heat transfer and the requirement of high technologies in China, several suggestions are proposed in regard to the research contents and corresponding steps for reference by related authorities and heat transfer researchers.

Key words heat transfer, microscale, development strategy, suggestion

· 文 告 ·

关于《国家杰出青年科学基金申请书》

编写要求的补充说明

(1995年11月13日)

“国家杰出青年科学基金”实施已两年，在广大青年科学工作者中引起了很大的反响。1994年度575人申请，49人获准资助；1995年度385人申请，81人获准资助，从这两年的申报材料看，大部分申请人能严格按照《国家杰出青年科学基金申请书》的编写要求，认真撰写申请书。但也有一些申请材料存在不规范的情况，个别的还出现有悖于严谨的科学态度的现象。为了维护“国家杰出青年科学基金”申报和评审工作的科学性、公正性和严肃性，促进严谨科学态度的形成，现除重申申报材料应严格按照“国家杰出青年科学基金”编写要求撰写外，将其中一些突出的问题补充说明如下：

(1) 申报材料中主要学术成绩、创新点及其科学意义栏应着重反映申请人近几年“在自然科学基础性研究中，学术上已取得国内外同行公认突出的创新性成绩”；提交的主要论文目录应是那些“有重要学术创见”、作为主要作者发表在国内外核心刊物上的论文。会议论文（除信函证明的国际学术会议大会特邀报告外）、非学术性刊物、非正式出版物上的论文不应列入。以非现所在单位（尤其是国外大学或研究所）名义发表的论文应注明单位名称。

(2) 论文被引用情况，不能只提供一个笼统的数据，应提供正式检索机构提供的完整检索材料。被引文及引文均应列出作者名、年份、期刊名称、卷(期)。自我引用不列入。

(3) 申报材料不应包括非学术性的“证明”，如索取论文抽印本的明信片、入载“名人录”的有关材料、私人信件、各种报刊剪报、非学术性的奖励证书等。