

微热管散热技术研究现状与发展趋势探析

赵小林^{1,2}, 易定秋²

(1.华南理工大学 机械工程学院, 广东 广州 510641; 2.邵阳学院 机械与能源工程系, 湖南 邵阳 422004)

摘要: 针对目前严峻的芯片热控制问题, 分析了芯片散热技术的研究现状, 并对未来热管技术的发展趋势进行了预测。

关键词: 热管; 芯片; 散热

中图分类号: TK323

文献标识码: A

文章编号: 1008-2611(2007)01-0071-03

Discussion and Analysis of the Research on Present Condition and Development Trend for Heat Spreading of Micro Heat Pipes

Zhao Xiaolin^{1,2}, Yi Dingqiu²

(1.College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

2.Department of Mechanical and Energy Engineering, Shaoyang College, Shaoyang Hunan 422004, China)

Abstract: The present condition research of the technical on heat spreading in chips is analyzed aiming at the current rigorous chip heat control problem, then an estimate at the future development trend for the technical of heat pipes is carried on.

Key words: heat pipe; chips; heat spreading

随着电子科技的进步, 电子产品不断地往高性能化、高功率化及超薄、微型化发展, 使得电子元件单位面积所产生的热量越来越高, 同时电子产品的高集成度使其有效散热空间日趋减小, 且许多场合的散热空间是封闭或半封闭的, 从而导致有效散热空间非常狭小而热流密度又非常高, 这一矛盾导致微电子产品中的热控制成本急剧上升。具有高热流密度电子产品的冷却问题, 成为当前或未来电子产品所要克服的关键问题。根据美国 ITRS 对未来半导体发展历程之预估, 未来数年, PC 所用的 CPU 工作频率与热量仍将持续升高, 未来电子散热问题仍没有缓和的趋势, 因此电子冷却技术的增进与突破便显得更加迫切与重要。

1 芯片热控制问题

全球第一大品牌 PC 厂戴尔(Dell)为节省成本, 在 2004 年第三季所推出的数款台式机电脑中, 将 CPU 散热模块内建导热管的数量从 3 支缩减为 2 支, 却造成这几款台式机因散热效果欠佳, 而陆续出现风扇声

音过大及容易死机等现象。全球第二大显卡制造厂商, 加拿大 ATI 公司, 对第四代顶极显卡散热解决方案进行招标, 其中整块显卡电路板(包括 ASIC 芯片和显存)总功耗达 130 W, 整个散热模块总重量不超过 250 g, 并且有严格的体积和噪声限制, 应标方案采用 2 支微热管才基本满足要求^[2]。Intel 公司迫于目前奔腾处理器的发热量过大问题, 已不能通过增加工作频率来提高处理器的计算速度, 转而走双核路线, 但双核心的 P4 功率居然也达到 200 W 左右。Intel 公司负责芯片设计的首席执行官帕特-盖尔欣格曾指出, 如果芯片耗能和散热的问题得不到解决, 当芯片上集成了 2 亿个晶体管时, 就会热得象“核反应堆”, 2010 年时会达到火箭发射时高温气体喷射的水平, 而到 2015 年就会与太阳的表面一样热。目前芯片发热区域(1.5 cm × 1.5 cm)上的功耗已超过 105 W, 且未来有快速增加的趋势^[2], Intel 公司已经向全球散热器供应商征集 2005 年 125~145 W 功耗 CPU 空气强制对流散热方案。高集成度芯片功耗急剧增大导致极高的热

收稿日期: 2006-12-27

作者简介: 赵小林(1965-), 男, 湖南新宁人, 邵阳学院副教授, 华南理工大学博士生, 主要研究方向为先进制造技术。

流密度 (接近 10^6 W/m^2)，已接近常规强制对流换热能力的极限。如此严峻的热控制问题，导致传统的热控制方式很难满足散热需求，新的热控制方式急需出台。

2 芯片散热技术的研究现状

目前，针对微电子产品的极高热流密度条件下的热控制问题的研究，是一项多学科，跨领域的交叉性前沿课题^[3]。美国政府在 1999 至 2002 年期间，通过国防先进研究项目署(Defense Advanced Research Projects Agency, 简称 DARPA)组织了迄今为止最大规模的针对性研究，动员国家实验室和著名大学等科研机构与工业界组成跨领域的研究团队，以发展用于下一代高集成度芯片的新概念热控制方法^[4]。具体的研究工作主要分布在流体和固体两大研究领域。

2.1 固体研究领域

1) 用于激光器的单片式集成电路的热电冷却器研究，由喷气推进实验室 (Jet Propulsion Laboratory, 简称 JPL) 牵头进行。

2) 高集成度的微电子和光子主动冷却技术 (Integrated Microelectronics and Photonics Active Cooling Technology, 简称 IMPACT)，由加州大学 (Santa Cruz) 牵头进行。

3) 利用逆 Nottingham 效应的散热技术，由北卡大学 (University of North Carolina) 牵头。

2.2 流体研究领域

1) 用于电子产品集中冷却的埋入式液滴喷射技术 (Embedded Droplet Impingement for Integrated Cooling of Electronics, 简称 EDIFICE)，由卡内基—梅隆大学牵头。

2) 采用层压陶瓷的 MEMS 集成式热管理技术，由佛罗里达国际大学 (Florida International University) 牵头。

3) 用于集成式热管理的微流体技术，由佐治亚理工学院牵头。

4) 采用热声制冷原理的芯片级热管理技术，由 Rockwell 科学中心牵头。

5) 电动力学微冷却器研究，由斯坦福大学牵头。

6) 用于改进微电子冷却的微加工集成技术 (Microfabrication Alliance for Innovative Cooling of Microelectronics, 简称 MAICOM)，由佐治亚理工学院和马里兰大学联合牵头。

7) 用于高热流密度散热的集成式微冷却器研究，由加州大学 (Berkeley) 牵头。

8) 模块化的微加工硅 (Si) 散热技术 (MOMS-Heat Removal)，由加州大学 (Los Angeles) 牵头。

针对上述计划中共性的复杂表面热功能结构问题进行研究，并开发出当前迫切需要解决的微电子芯片超高性能散热产品，是各研究单位的研究热点。传统的光滑表面或简单结构表面已不能适应目前的高热流密度散热需求，未来表面热功能结构更趋向于多维、多

尺度特征方向发展。早在 80 年代，佐治亚理工学院就已注意到表面宏观结构和亚结构 (叠加在宏观结构表面) 在散热中的作用，并在此方面做了许多有益的工作 (见图 1)。SONY 公司 CPU 宏观散热结构发展变化过程也说明了这一点，如图 2 所示。华南理工大学在宏观结构表面的亚结构和微结构生成机理与关键技术方面也作了许多有益的工作^[5,6]，并研制出柱状散热器 (见图 3)，使用效果很理想。应用于柱状宏观结构表面亚结构和微结构叠加关系如图 4 所示。目前由美日少数大企业研制出来的微热管，特别是美国 Thermacore 公司研制并大规模生产的芯片高传热量烧结式微热管，其内壁也具有多维、多尺度复杂表面结构 (见图 5)。

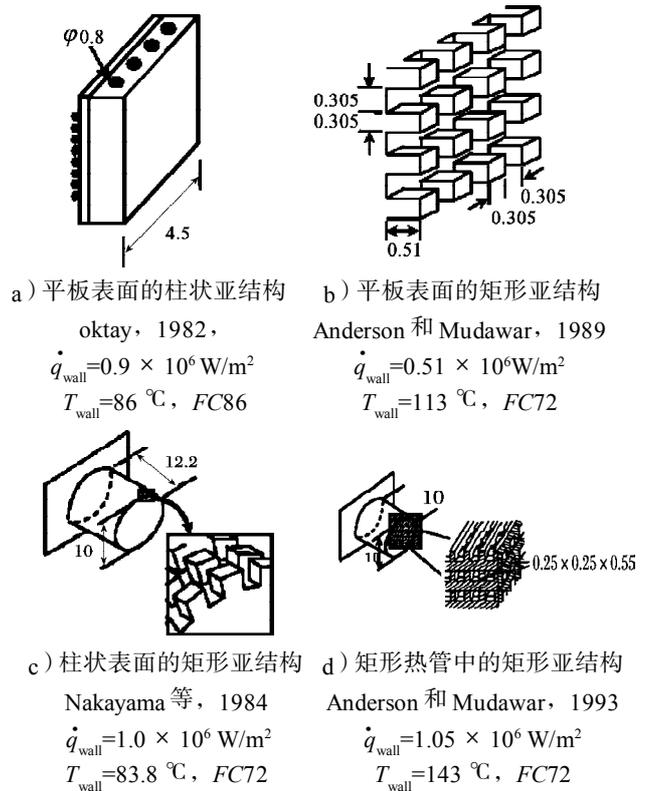


图 1 叠加在宏观结构上的不同尺度和形状的亚结构
Fig. 1 The second structures with different dimension and shape fold to the Macroscopic structures

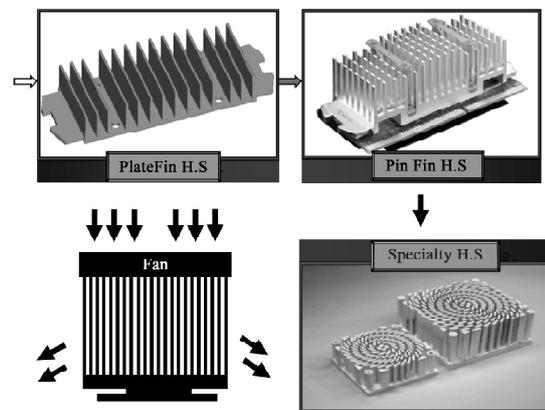


图 2 宏观散热结构发展变化过程
Fig. 2 The development and variety process of the macro structure spreading heat

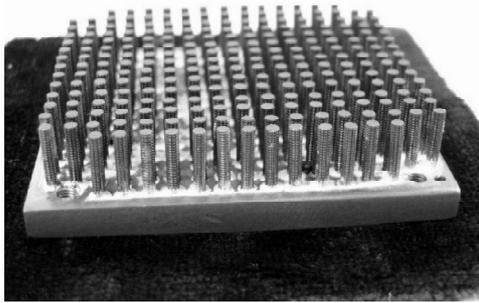


图3 华南理工大学研制的三维微功能结构柱状(CPU)散热器

Fig. 3 The spreading heat machine in CPU with 3D tiny function pillar structure made in South China University of Technology

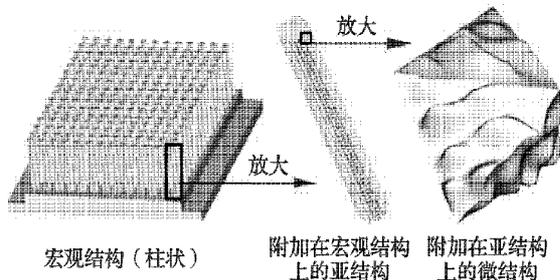


图4 柱状宏观结构、亚结构和微结构叠加关系

Fig. 4 The relation fold to add of the pillar macroscopic structure, second structure and microstructure

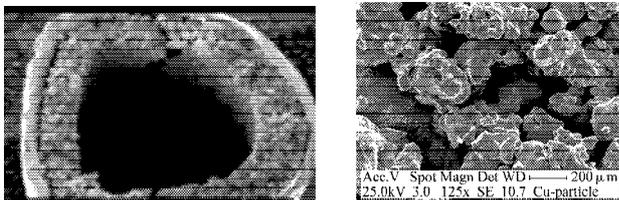


图5 烧结式微热管

Fig. 5 Sintered micro heat pipe

由于微热管具有高热率、良好的等温性、优良的热相应、结构简单、重量轻、无需额外电力驱动等优点, 并且其导热率是最优良导热纯金属的几百倍, 甚至上千倍, 内壁具有复杂表面结构的超高性能微热管将成为目前高能耗和高热流密度芯片导热的理想元件, 是解决当前微电子行业热危机的关键。目前, 国外微热管产品的核心技术(产品的设计和开发)只被美日少数企业所掌握。国内企业在微热管产品的关键技术上本身并不具备自行设计、研发及生产能力, 只有少数几个台资企业为美日大企业进行代加工。近年由于美、日企业从生产成本及目标市场的策略考虑, 台资企业才获得美日大企业的技术转移, 通过消化这些技术并开始自主研发, 逐步拥有了微热管生产的一些关键技术。但国内其它企业对于高性能微热管技术的研究还处于起步阶段, 没有自己的关键核心技术, 离大规模化生产具有一定的差距。

3 微热管技术的发展趋势

目前, 国内外各大厂商生产的各种芯片散热模组微热管主流产品中, 直径一般在3~6 mm之间, 长度小于300 mm, 其毛细结构主要有烧结式、沟槽式、铜纤维式和金属丝网式。烧结式毛细结构虽然具有很强的毛细力, 但烧结工艺比较复杂, 毛细结构在生产过程中容易损坏, 最致命的弱点是增加了微热管的重量, 与目前要求芯片散热装置重量减轻的发展趋势不一致, 铜纤维式和金属丝网式同样存在着这一缺点。从目前电子散热发展趋势来看, 不仅要求散热模块有高传输热量能力、非常严格的体积和重量, 还要求有灵活的形状和快速的热响应。沟槽式微热管是在其内壁表面加工出复杂的微沟槽结构, 不但能够减轻微热管重量, 而且可以加工出超薄微热管, 使其内部空间更大, 具有快速的热响应, 并且随散热要求可灵活改变形状而使其对热量传输能力的影响减少到最小。

随着电子散热要求越来越高和电子制造加工技术的进一步发展, 体积更小、重量更轻和结构灵活的沟槽式超薄壁高性能微型热管将是国际上未来数年发展的趋势, 更能适应未来日益严峻的电子散热需求。因此针对电子芯片超高性能薄壁微热管技术及生产装备的研究开发, 不仅成为当前电子领域中芯片散热迫切解决的重要课题, 而且对于促进信息化产业的发展和结构升级, 提高电子产品的竞争力和高附加值, 具有重要的战略意义。

参考文献:

- [1] Tang Y, Liu W, Wu Z Q, et al. Formation and Flanging Burrs Control of Three-dimensional Substructure on Copper Surface[J]. Materials Science Forum, 2004, 471-472: 248-254.
- [2] Wan Z P, Tang Y, Deng W J, et al. Study on Process of Planing Forming of Plate Fin Heat Sinks[J]. Materials Science Forum, 2006, 532-533: 237-240.
- [3] Chen P, Liu X K, Tang Y, et al. Research on ploughing-extrusion process mechanism of multi/micro dimensional grooves inside cylindrical micro heat pipe[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 12(Sup): 1-4.
- [4] Guo Z Y, Li D Y, Wang B X. A Novel Concept for Convective Heat Transfer Enhancement[J]. Int. J. Heat Mass Transfer, 1998, 140: 2221-2225.
- [5] Tang Yong, Xia Wei, Liu Shudao, et al. Fin formation model during pre-roll ploughing of copper 3D outside fin tube[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2001 (5): 712-716.
- [6] Tang Yong, Liu Shudao, Xia Wei, et al. The establishment and analysis of fin formation model during ploughing process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 138: 390-393.