

Applied Vapor Chambers on Non-Uniform Thermo Physical Conditions

Jung-Chang Wang

Department of Marine Engineering, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan

Email: jcwang@mail.ntou.edu.tw

Received: Mar. 14th, 2011; revised: Mar. 20th, 2011; accepted: Mar. 21th, 2011.

Abstract: A vapor chamber is a two-phase heat transfer components with a function of spreading and transferring uniformly heat capacity so that it is ideal for use in non-uniform heating conditions. This article mainly researches in vapor chamber application on non-uniform heating electronic components, such as CPU, GPU, and LED, with its ability to spread and heat transfer. Firstly, the calculation program developed in this paper named as VCEK_ML V1 and BaseResistance_ML employ to estimating the ability for spreading and transferring heat amount of vapor chamber. Then the Windows software VCTM V1.0 with the thermal-performance experiment analyzes the thermal phenomena of the Vapor Chamber module in the thermo physical conditions of non-uniform heat source, and finally, a thermal imager can be employed and proved the heat spreading capability of vapor chamber through the temperature distributions. The results showed that, a vapor chamber module can effectively improve the thermo physical conditions of non-uniform heat distribution phenomenon, which is better than pure copper and pure aluminum plates.

Keywords: Vapor Chamber; Non-Uniform Heater; VCTM V1.0; Heat Distribution; Thermal Imager

应用均温板于非均匀热物理条件

王荣昌

国立台湾海洋大学, 轮机工程学系, 台湾

Email: jcwang@mail.ntou.edu.tw

收稿日期: 2011年3月14日; 修回日期: 2011年3月20日; 录用日期: 2011年3月21日

摘要: 均温板(Vapor Chamber)为一两相流热传组件, 具有将热量均匀扩散传递的功能, 非常适合应用在不均匀发热的热源条件上。本文主要即是探讨均温板应用于非均匀发热的电子组件, 如 CPU、GPU 及 LED 等, 其扩散传递热量的能力。首先利用本文所开发的计算程序 VCEK_ML V1 及 BaseResistance_ML, 先行估算均温板的扩散传递热量的能力, 再使用窗口软件 VCTM V1.0 配合热性能实验, 分析整个均温板模块在非均匀热源物理条件的热流现象, 最后可藉由热显像仪的温度分布结果验证均温板扩散热量的传递能力。结果显示, 均温板模块可有效改善非均匀热物理条件的热分布现象, 比纯铜及纯铝板佳。

关键词: 均温板; 非均匀热源; VCTM1.0; 热分布; 热显像仪

1. 前言

均温板(Vapor Chamber)为一两相流(Two-Phase Heat Flow)热传组件, 具有高热传递效率, 目前已经广泛应用在高热通量(Heat Flux)的电子发热源上, 尤其是非均匀温度分布的热物理条件。本文所使用的均温板是一平板结构, 可将多个点热源之热流于短距离内

将其均匀分布于较大散热面积之功能, 且随着热源之热通量不同, 均温板之等效热传导系数亦随之不同。均温板的原型设计可追溯于 1998 年, 由 Zuo and Dussinger^[1] 所提出的 HPVCCP(Heat Pipe Vapor Chamber Cold Plates)之散热模块概念, 可有效解决非均匀的热点(Hot Spot)问题。如图 1 所示, 均温板是

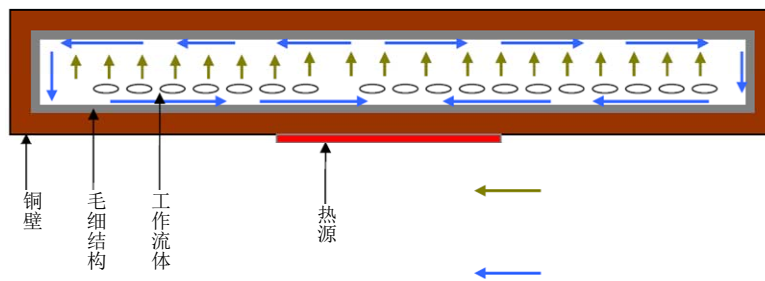


Figure 1. Operating Principle of vapor chamber
图 1. Vapor chamber 的工作原理示意图

一个内壁面具有微结构的封闭真空腔体，当热流由热源传导至蒸发区时，腔体里面的工作流体会因真空条件下，于特定温度开始产生液相汽化的现象，此时工作流体吸收热能并且迅速蒸发，且汽相的蒸气将充满整个腔体，当蒸气接触到一个比较冷的区域时便会产生凝结的现象，藉由凝结的现象释放出在蒸发时累积的热流，凝结后的液相工作流体会藉由微结构的毛细现象再回到蒸发热源处，此运作将在腔体内周而复始进行，这就是均温板的运作方式。且由于工作流体在蒸发时藉由微结构产生毛细力，所以均温板的运作受重力的影响很小。Lin, et al^[2]在 2004 年，针对均温板之毛细结构以化学蚀刻、机械加工、粉末烧结三种材料进行实验，探讨三种毛细微结构与重力影响间的关系，实验结果得知粉末烧结可产生最大的毛细压力。均温板具有安静且稳定可长时间操作等特性，另外体积小、重量轻、可用性高及成本低等优势使得两相流热传组件成为目前 3C 电子产品上广泛使用的热传递方式之一。Sauciuc, et al^[3]针对均温板进行传热性能研究，结果显示，当腔体的绝热段与冷凝段之间的距离超过一定数值时，均温板的扩散热阻将小于同等厚度之金属板，且均温板热阻主要来自于毛细结构。Hsieh, et al^[4]应用热通量为 220 W/cm^2 的热源于均温板散热模块的实验，发现均温板整体热阻值只有 0.2°C/W 。Xuan, et al^[5]针对铜板与均温板进行实验，量测其中心点的温度与边缘温度，结果发现均温板之中心温度与边缘温度相差 1°C ，而铜板则差 6°C ，显示均温板之均温性较铜板优。Wang^[6]比较各式热管及均温板散热模块于高阶显示卡之热性能实验，结果显示均温板散热模块具有最佳的热传性能，最大散热功率可达 90 W/cm^2 以上。Chiang^[7]针对均温板之工作流体填充率做实验，结果发现在 140 W 加热功率下，填充率 30% 的性能最为优越，其热阻值仅 0.1°C/W 。

近年来，高功率亮度的固态半导体组件的发光二

极管(LED)，已开始应用于内部和室外照明灯上。然而，多颗的高热流密度的 LED 即是一非常不均匀的热物理条件的热源，若将其安装在普通印刷电路板材料(FR-4)上，所呈献的热点现象的问题就变得非常严重，这是一个使 LED 照明灯具出现故障或缩短寿命的重要原因之一^[8]。目前已经有数种取代 FR-4 的 LED 散热基板，具有良好的热特性^[9]。散热基板的材料性质影响者可否将 LED 快速且均匀的传递到外部的散热模块上，热导率可作为判断的依据。以常用的纯铜及纯铝金属的热传导系数而言，在工作温度 27°C 时分别为 401 W/mk 及 237 W/mk ，当操作温度为 127°C ，变化为 393 W/mk 及 240 W/mk ^[10]。所以当操作温度变化不大时，纯铜及纯铝金属的热传导系数可视为恒定值。Wang, et al^[11]已成功将均温板应用于 30 Watt 高功率多颗的 LED 照明上，可有效减少多颗 LED 热点的现象，均温板的等效热传导系数达 870 W/mk 以上，为纯铜的两倍以上。本文内容描述利用均温板于各种不同的非均匀热物理条件的发热源，如 CPU、GPU 及 LEDs，并利用热显像仪及窗口软件 VCTM 1.0^[11]估计均温板的等效导热系数，最后并与热性能实验比较以分析整体模块的热性能。

2. 内容

2.1 均温板的等效热传递系数

均温板主要可分为蒸发区、绝热区及冷凝区，为一真空封闭的被动组件。微均温板的上下盖板(Base)是以两片热传导系数高的无氧铜(C1100)为上、下面做成一个封闭腔体(Chamber)，腔体内部为线径 $50\mu\text{m}$ 铜线所制成的毛细结构(Wick)及充填水的工作流体(Working Fluid)。一般金属材质的热传导系数皆无方向性，即热传导系数并不会随着方向而改变，而热传导系数将与温度差成反比，且与热阻值亦成反比；但

对于均温板而言，其构造及工作原理是内部工作流体藉由液态时于毛细结构的流动与蒸发时的潜热来带走热量，因此具有较佳的横向热传导性，因此均温板具有非等向性的热传导系数。本研究对于均温板等效热传导系数的估算，可利用相同尺寸以及工作条件下的金属纯铜材料做推算，如下式(1)：

$$\frac{K_{eff}}{K_{Cu}} = \frac{R_{Cu}}{R_{VC}} = \frac{\Delta T_{Cu}}{\Delta T_{VC}} \quad (1)$$

其中 K_{eff} 为均温板之等效热传导系数、 K_{Cu} 为纯铜板之热传导系数、 R_{VC} 为均温板之热阻值、 R_{Cu} 为铜板之热阻值、 ΔT_{VC} 为均温板之温度差、 ΔT_{Cu} 为铜板之温度差。式(1)中由相同尺寸下的金属纯铜板与均温板，其最高与最低温度点的温度差推算均温板的等效热传导系数。对于现今电子热传的分析软件运用上，仅需将均温板视为一个均质的固体平板，利用等效热传导系数的概念即可方便使用者来计算与模拟分析，进而减少运算的成本与效率的增加。

目前很多涉及流体力学之实际工程问题，可用带入公式求解或理论分析法求解；但仍有许多问题需要以实验方法获得解答，本研究利用 Buckingham Pi (π) Theorem 中的因次分析方法，透过[M,L,T]或[F,L,T]系统等基本因次推导出均温板之等效热传导系数经验式^[11]。本定理为对于某种物理现象或方程式，如果存在有 m 个互为函数的变量，其变量中有 r 个独立物理量，可从所有相关 m 个变量中选择所谓的 r 个重复变量，利用因次分析方法将 m 个变量组合成 $(m-r)=i$ 个无因次 π 参数，跟 r 用不同的次方相乘以结合成共 i 个 π 参数，最后决定各相关变量的次方，使每一个 π 项皆成为无因次的参数群，函数关系的复杂性亦随着 π 项数目的增加而增加，而选择不同之重复变量组合则可达不同之结果，但经实验所得之结果必相同，因此无单一 π 项之组合，且 π 项数目必相同。

本研究之因次分析步骤参考文献[11]，首先决定的相关变量有均温板的等效热传导系数 K_{eff} 、均温板壁面材质的热传导系数 K_b 、热源输入之热通量 q_{in}'' 、工作流体之潜热 h_{fg} 、均温板之厚度 t_{vc} 、均温板之面积 A_{vc} 、工作流体之热传导系数 K_f 、工作流体之黏度 μ_f 及工作流体之密度 ρ_f 等九个变量，其中有四个独立物理量为质量(M)、长度(L)、时间(T)与温度(θ)，可写成公式(2)：

$$K_{eff} = \text{Function}(k_b, q_{in}'', h_{fg}, t_{vc}, A_{vc}, k_f, \mu_f, \rho_f) \quad (2)$$

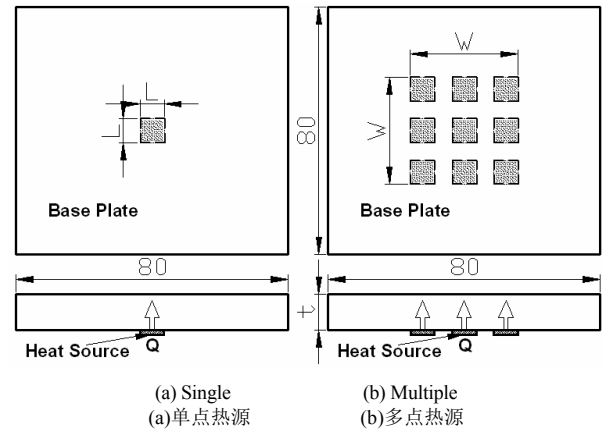


Figure 2. Diagram of non-uniform heat source
图 2. 非均匀热源示意图

以 $[M, L, T, \theta]$ 系统将每个变量以基本因次表示，结果为 $K_{eff} = (MLT^{-3}\theta)$ 、 $K_b = (MLT^{-3}\theta)$ 、 $q_{in}'' = (MT^{-3})$ 、 $h_{fg} = (L^2T^2)$ 、 $t_{vc} = (L)$ 、 $A_{vc} = (L^2)$ 、 $K_f = (MLT^{-3}\theta)$ 、 $\mu_f = (MT^{-1}L^{-1})$ 及 $\rho_f = (ML^{-3})$ 。决定 5 个无因次 π 数，并选择 4 个重复变量，本研究选择 K_b 、 q_{in}'' 、 h_{fg} 及 t_{vc} 等四个最具代表性因次之变数，将此 4 个重复变量以指数形式与其它非重复变量相乘得组成无因次 π 项。结果为 $\pi_1 = (MLT^{-3}\theta) \cdot (MLT^{-3}\theta)^a \cdot (MT^{-3})^b \cdot (L^2T^2)^c \cdot (L)^d$ ，当 M, L, T, θ 皆为 0 时，解联立方程式求得 $a = -1$ 、 $b = 0$ 、 $c = 0$ 、 $d = 0$ ，将 a, b, c, d 带回 π_1 ，可得 $\pi_1 = \frac{K_{eff}}{K_b}$ 。同理 $\pi_2 = \frac{A_{vc}}{t_{vc}^2}$ 、 $\pi_3 = \frac{K_f}{K_b}$ 、 $\pi_4 = \frac{\mu_f \cdot h_{fg}}{q_{in}'' \cdot t_{vc}}$ 及 $\pi_5 = \frac{\rho_f \cdot t_{vc}^6}{q_{in}'' \cdot h_{fg}^{1.5}}$ 。检查上述 π 项皆为无因次参数。将此 5 个 π 项表示为函数关系，如下式(3)所示：

$$\left(\frac{K_{eff}}{K_b} \right) = \alpha \left(\frac{A_{vc}}{t_{vc}^2} \right)^\beta \cdot \left(\frac{K_f}{K_b} \right)^\gamma \cdot \left(\frac{\mu_f \cdot h_{fg}}{q_{in}'' \cdot t_{vc}} \right)^\lambda \cdot \left(\frac{\rho_f \cdot t_{vc}^6}{q_{in}'' \cdot h_{fg}^{1.5}} \right)^\tau \quad (3)$$

经由热性能实验可求得 α 、 β 、 γ 、 λ 、 τ 等数，经整理后可得确实之函数关系式。

2.2. 非均匀热源

图 2 所示为本文研究之非均匀热源的热点问题示意图，分为图 2(a)的单一热源及图 2(b)的多个热源两部份作非均匀热物理条件的探讨。热源放置于散热基板的下底板表面，底板的尺寸为 8 公分正方，厚度 t 为分析参数。散热基板的材质为纯铝、纯铜及铜质均温板三种。热源尺寸为 $L \text{ mm} \times L \text{ mm}$ ， L 为分析参数。

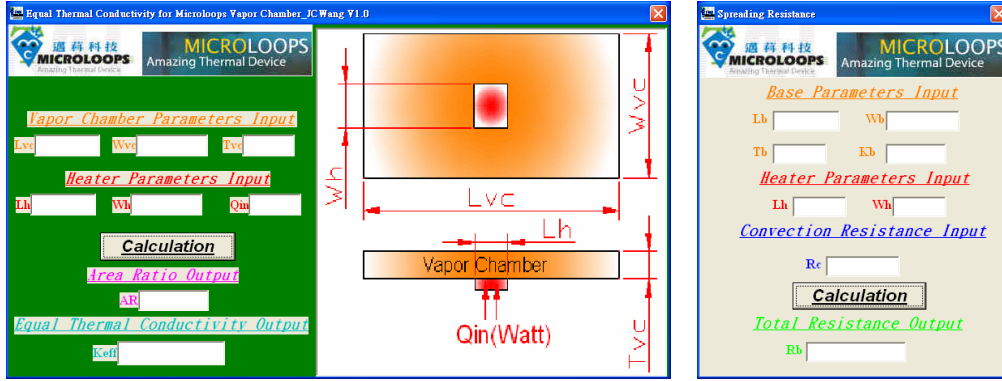


Figure 3. (a) VCEK_ML V1
图 3. (a) VCEK_ML V1

(b) BaseResistance_ML
(b) BaseResistance_ML

Table 1. Uniform-temperature performance of based plate
表 1. 散热基板的均温性

Distance From Central (mm)			-40	-20	0	+20	+40
1 Watt	Vapor Chamber(°C)	upper	6.8	6.9	7.1	6.8	6.7
		lower	6.8	6.9	7.2	6.9	6.7
	Cooper(°C)	upper	8.2	8.4	8.7	8.4	8.3
		lower	8.3	8.5	9	8.4	8.3
3 Watt	Vapor Chamber(°C)	upper	17.5	17.8	19	17.6	17.5
		lower	17.7	17.9	20	17.8	17.6
	Cooper(°C)	upper	21.2	21.4	22.3	21.4	21.0
		lower	21.2	21.4	23.8	21.6	21.2
5 Watt	Vapor Chamber(°C)	upper	26.3	26.7	27.8	26.6	26.3
		lower	26.6	27	30.8	26.9	26.5
	Cooper(°C)	upper	31.9	32.4	34.1	32.5	31.9
		lower	32.1	32.1	35.8	32.9	32.2

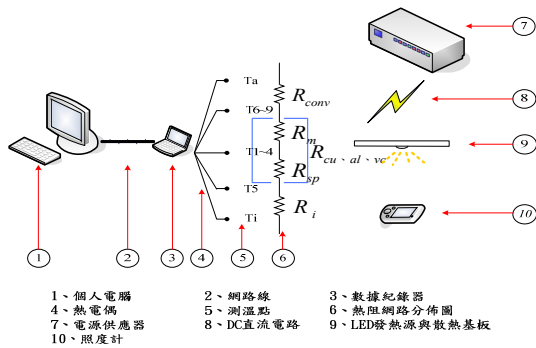


Figure 4. Experimental equipments
图 4. 实验设备仪器示意图

定义 9 个多点热源的长度无因次参数 S 为 W 除以 L , S 可为分析参数。热源的输入功率为 1 Watt。边界条件为环境温度 35°C, 自然对流及辐射传热的状况。

本文根据式(4)的热传传统御方程式及热阻相关理论, 利用 VB6.0 的程序语言软件, 撰写两个可以计算

均温板的等效热传导系数及热性能的小程式 VCEK_ML V1 及 BaseResistance_ML, 如图 3 所示。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + H_e = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

其中 xyz 为三为直角坐标、 k 为散热基板之热传导系数、 T 为温度、 t 为时间、 H_e 为散热基板接收到热源传导的热量、 ρ 为密度及 c_p 为定压比热。

2.3. 热性能实验

本实验使用之模拟热源为功率电阻, 功率电阻可将电力能量直接转换成热流, 并且可于底部挖设沟槽, 利于热电偶之黏接测温。采用由铜、镍两金属合金材料为测温导线的 T 型热电偶量测实验所需要的温度值, 其量测温度的最大范围为负 200°C 到正 350

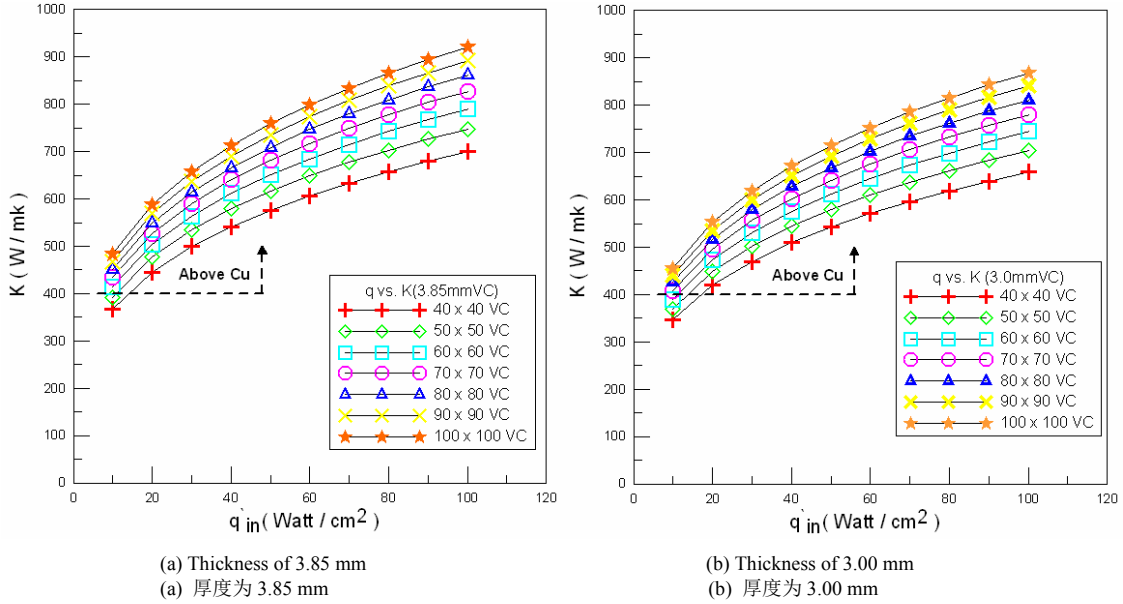


Figure 5. Effective thermal conductivity of vapor chamber

图 5. 微均温板的等效热传导系数

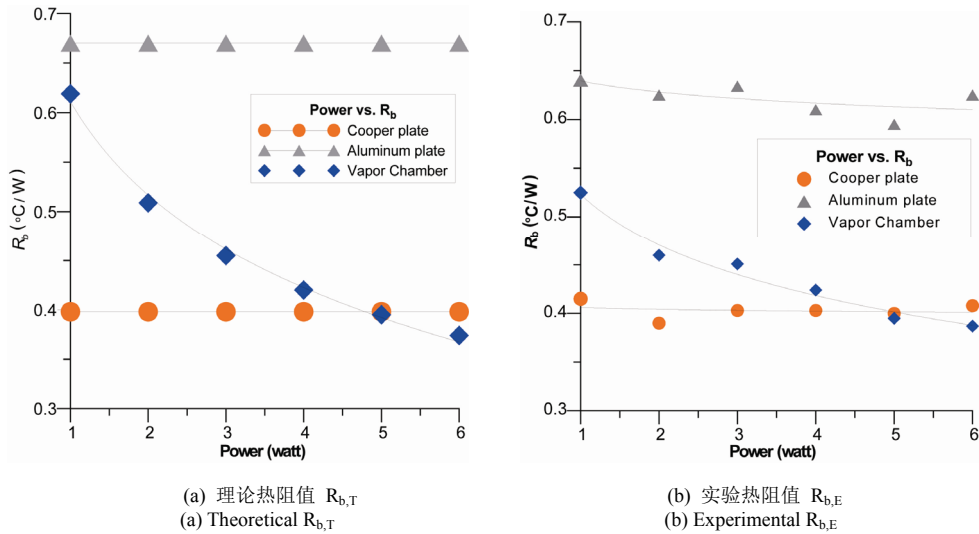


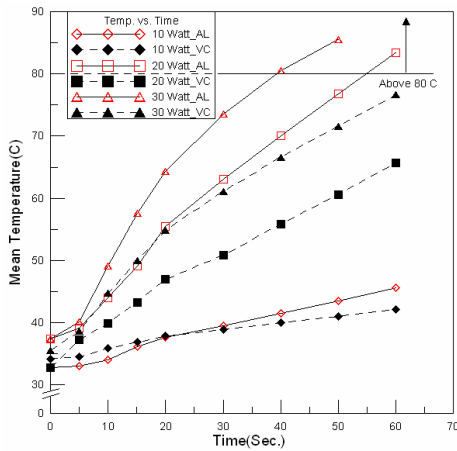
Figure 6. Thermal resistances of Copper, Aluminum and vapor chamber

图 6. 铜、铝与均温板之热阻值

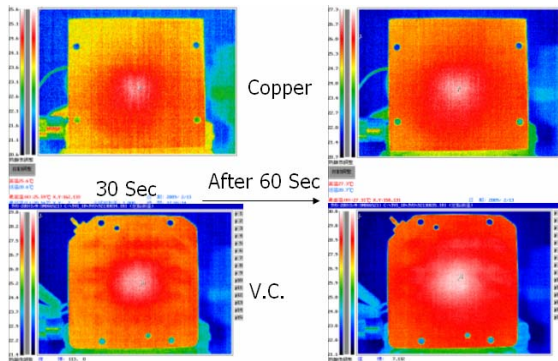
℃，误差为±0.5℃。为了测试均温板之均温性，以亚克力板为功率电阻及均温板之夹具，四周锁上螺丝固定分别于均温板正反面距离中心 0 cm、±2 cm、±4 cm 为测温点，包含环境温度共 11 点输入功率为 1 W、2 W、3 W、4 W、5 W、6 W 量测其稳态之温度分布。实验中所使用的数字式数据记录器 GL800 共有 30 组频道，量测并记录 11 点位置的温度达到稳态，将稳态后的温度值带入 LED 散热基板热阻公式^[12]以计算实验散热基板的热阻值 $R_{b,E}$ 。其中 T_s 为下表面中心温度、 $T_{M,U}$ 为上表面平均温度及 Q 为输入功率。使用数据记

录器每组实验历时约 1~2 小时，观察其中温度与照度曲线呈现水平时表示趋近稳态，可停止记录，将测量所得温度等数据，经传输至个人计算机后，再由专用分析软件(DAQEXPLORER)，转存成 Excel 的档案加以分析，如图 4 所示。

当两物体在理想状态下接触，两物紧密贴合，在热传导下可视为无阻碍，则两物体的温度相同；但实际上物体两接触平面间必有微小缝隙与不规则之凹凸面，使其空隙中填充空气。气体之热传导系数相当低，因此两物体间则会有温度突降的情况发生，此接



(a) Relationship between mean temperature and time for Aluminum and vapor chamber^[11]
 (a) 铝与均温板之平均温度与时间^[11]



(b) Copper and vapor chamber
 (b) 纯铜板与均温板之温度分布

Figure 7. Temperature distributions of Copper, Aluminum and vapor chamber using thermal imager
 图 7. 铝、铜与均温板之热成像仪下温度分布

面处之热阻称之为界面热阻。由两材料的界面能量平衡可得下式(5):

$$q = \frac{Q}{A_i} = \frac{(T_A - T_B)}{R_c} = \frac{(T_A - T_B)}{1/h_c} \quad (5)$$

上式中 T_A 与 T_B 为两材料的表面温度, R_c 为界面热阻值 (Thermal Contact Resistance), A_i 为两界面间的接触面积, h_c 称为热接口接触导率系数 (Thermal Contact Conductance)。在许多应用上这个系数相当重要, 因许多热传递状况会涉及两种材料的机械组合。影响界面热阻大小的因素主要有表面的粗糙度、材质的热力学性质、接触压力的大小、填补间隙的材料性质。

3. 结果与讨论

表 1 所示为加热功率 1 W、3 W 及 5 W 时, 均温

板及纯铜板的上、下底板在距离中心点位置 0 cm、±2 cm 及 ±4 cm 的温度扣掉环境温度后的温度差分布, 可代表散热基板温度分布的均匀性。当同一个散热基板下底板的最高与最低温度差越大, 即表示此散热基板横向平面上(x-y 平面)有温度过于集中的趋势, 此时若上底板的最高与最低温度差也越大, 其均温性是越差的。而当上、下底板在同一个位置的温度差很大时, 表示此基板纵向平面上(z 平面)的热传递性能不佳, 及热传导系数较差。本研究的界面热阻范围约为 0.5~0.7°C/W, 由表中可知受到扩散热阻之影响, 热源功率的增加导致均温板的温度差增加; 但整体而言, 均温板的均温性较纯铜板佳, 尤其在加热功率到 5 Watt 时, 均温板的横向及纵向平面的温差明显皆小于纯铜板。

利用本文的因次分析配合热阻性能实验方法可以求得式(3)中 $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \tau$ 的常数, 并将已知的实验数据代入, 最后可推导出均温板的等效热传导系数公式, 如下式(6)所示。图 5 为利用式(6)、VCEK_ML V1、BaseResistance_ML 及文献 11 的公式(7), 探讨不同尺寸的微均温板及热源热通量下的等效热传导系数的关系。图 5(a)为在均温板厚度 3.85 mm 时, 从面积 40 mm × 40 mm 到 100 mm × 100 mm 时, 等效热传导系数对应热源热通量的关系图。由图中可知, 均温板面积越大, 等效热传导系数越高, 最高值可达 910 W/mk。但在面积 40 × 40 及 50 × 50 的均温板, 当其热源热通量小于 10 W/cm² 时, 其等效热传导系数比纯铜还差。图 5(b)为在均温板厚度 3.00 mm 时, 从面积 40 mm × 40 mm 到 100 mm × 100 mm 时, 等效热传导系数对应热源热通量的关系图。由图中可知, 均温板面积越大, 等效热传导系数越高, 最高值可达 880 W/mk。但在面积 40 × 40、50 × 50 及 60 × 60 的微均温板, 当其热源热通量小于 10 W/cm² 时, 其等效热传导系数比纯铜还差。且比较图 5(a)及图 5(b)可知, 在相同的真空腔体空间下, 微均温板的整体厚度越大, 则其等效热传导系数越小, 这是因为在相同的腔体体积下, 微均温板整体厚度越大, 表示其壁厚也将越厚, 其造成的热阻也越大, 所以微均温板所表现出来的热性能当然越差。

$$K_{eff} = 238.6(\rho_f)^{2.8}(\mu_f)^{-0.17}(K_f)^{0.15}(q''_in)^{0.42} \quad (6)$$

$$k_{eff} = 46.1 \cdot (L_{vc} \cdot W_{vc})^{0.15} \cdot (t_{vc})^{0.24} \cdot (q''_in)^{0.28} \quad (7)$$

图 6 为 LED 铜、铝与均温板之理论与实验的热阻值 R_b , 其中理论散热基板热阻值 $R_{b,T}$ 可由文献[12]

中之公式计算得到。由图 6 可知, 在加热功率小或等于 4 Watt 的情况下, 基板热阻值 $R_{b,E}$ 及 $R_{b,T}$ 由低至高顺序为铜基板、均温基板、铝基板, 以 LED 铜基板的热性能最佳; 但在加热功率 5 Watt 以上, 基板热阻值 $R_{b,E}$ 及 $R_{b,T}$ 的热性能优劣顺序则是均温基板、铜基板、铝基板, 以 LED 均温基板的热阻值 R_b 最小。这是因为铜与铝基板的热传导系数受到温度变化之影响不大, 所以当加热功率由 1 Watt 逐渐上升至 6 Watt 时, 由图 6(b) 知, 其实验热阻值 $R_{b,E}$ 分别约为 $0.41^\circ\text{C}/\text{W}$ 及 $0.64^\circ\text{C}/\text{W}$, 由图 6(a) 知, 其理论热阻值 $R_{b,T}$ 分别为 $0.40^\circ\text{C}/\text{W}$ 及 $0.66^\circ\text{C}/\text{W}$, 误差在 3% 以内, 可视为一定值。而均温基板则明显受到 LED 加热功率上升之影响, 故其热传导系数明显上升, 因此基板热阻值 R_b 迅速下降。

$$R_{b,T} = \frac{t_b}{K_b A_S} + \frac{\sqrt{A_b} - \sqrt{A_S}}{K_b \sqrt{\pi A_b A_S}} \times \frac{\lambda K_b A_b R_c + \tanh(\lambda t_b)}{1 + \lambda K_b A_b R_c \tanh(\lambda t_b)} \quad (8)$$

图 7 为文献[11]中 0~60 秒铝及均温板热性能的比较图及铝及均温板的均温性, 其中平均温度是由福禄克红外线显像仪在背板的表面作量测。图 7(a) 中可知, 均温板的平均温度曲线斜率小于纯铝板。当总功率为 30 Watt 时, 均温板的平均温度在 60 秒时为 77°C ; 相反地, 在 40 秒时, 纯铝板的平均温度就已经超过 80°C 。这意思是, 若以纯铝板当作 LED 的散热基板, 30 瓦 LED 产生的光能量在是 40 秒后就衰减。此外, 在输入功率为 20 W 和 30 W 时, 均温板及纯铝板的平均温度差在 30 秒之后就约有 12°C 之多。当总功率为 20 W 时, 纯铝板的平均温度在 60 秒时为 83°C 。原因可由图 7(b) 纯铜板与均温板的热显像仪的温度分布图得知, 均温板的热点现象明显小于纯铜及纯铝板。从图 7(b) 知, 在相同的条件下, 加热 60 秒后, 均温板的热性能明显优于纯铜板。

4. 总结

本研究探讨均温板的热性能及其应用于非均匀热源的物理条件上, 并可得均温板的等效热传导系数公式。本文结论为微均温板的横向及纵向的均温性非常好, 是纯铜板及纯铝板的数倍。均温板的等效热传导系数与其尺寸及热源热通量有极大的关系, 在热通量小于 $10 \text{ W}/\text{cm}^2$, 均温板的均温性略比纯铜板差。均温板除了在高加热功率 (大于或等于 5 Watt 以上) 具有

最佳热性能之外, 其均温性为三种基板中最高。以均温板做为 LED 散热基板的热性能在中低加热功率 (含 4 Watt 以下) 时, 较 LED 纯铜基板差。只要加热功率大或等于 5 Watt 以上, LED 均温板具有最低热阻值, 意即可当为最佳的 LED 散热基板, 相关的实验、理论及模拟热阻值的误差在 $\pm 5\%$ 之内。最后, 可利用本文的结果可以在数秒内确认均温板散热模块的热性能, 且本文所提出的均温板可以有效的解决非均匀热物理条件的热源热点问题。

5. 感谢

本文部分内容已于“2008 两岸机电暨产学合作学术研讨会”及“第 17 届全国计算流体力学研讨会 2010”中报告, 作者特别感谢大会。

参考文献 (References)

- [1] Z. J. Zuo, P. M. Dussinger. Heat pipe vapor chamber cold plate modeling, fabrication and testing. ASME HEAT TRANSFER DIV PUBL HTD, 1998, 361(3): 281-286.
- [2] J. C. Lin, J. C. Wu, C. T. Yen, et al. Fabrication and performance analysis of metallic micro heat spreader for CPU. Shanghai: 13th International Heat Pipe Conference (13th IHPC), 2004.
- [3] I. Sauciu, G. Chrysler, R. Mahajan, et al. Spreading in the heat sink base: phase change systems or solid metals? IEEE Transactions on components and packaging technologies, 2002, 25(4): 621-628.
- [4] S. S. Hsieh, R. Y. Lee, J. C. Shyu, et al. Thermal performance of flat vapor chamber heat spreader. Energy Conversion and Management, 2008, 49(6): 1774-1784.
- [5] Y. Xuan, Y. Hong and Q. Li. Investigation on transient behaviors of flat plate heat pipes. Experimental Thermal and Fluid Science, 2004, 28(2-3): 249-255.
- [6] J. -C. Wang. Development of vapour chamber-based VGA thermal module. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2010, 20(4): 416-428.
- [7] H. S. Huang, Y. C. Chiang, C. K. Huang, et al. Experimental Investigation of Vapor Chamber Module Applied to High-Power Light-Emitting Diodes. Hua Experimental Heat Transfer, 2009, 22(1): 26-38.
- [8] J. -C. Wang. Investigation on Application of LED to Energy-saving Lamp. Combustion Quarterly 4, 2009, 18(1): 3-11.
- [9] M. Arik, C. Becker, S. Weaver, et al. Thermal Management of LEDs: Package to System [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/9599960f7cd184254b353595.htm>, 2011-03-06.
- [10] C. F. Beaton, G. F. Hewitt. Physical Property Data for the Design Engineer. New York: Hemisphere, 1989.
- [11] J. -C. Wang, R. -T. Wang, T. -L. Chang, et al. Development of 30 Watt High-Power LEDs Vapor Chamber-Based Plate. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 53(19/20): 3900-4001.
- [12] J. -C. Wang, C. -L. Huang. Vapor Chamber in High Power LEDs. Taipei: Microsystems Packaging Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT), 2010 5th International, 2010.