

# 新型均熱片之研製

陳育堂

德霖技術學院機械系

## 摘要

本研究利用銅空心管為主要腔體製作一新型均熱片，以銅網為毛細結構，中央由線切割加工之交叉結構支撐，尺寸為 73mm×48.5mm×2.7mm。加熱源為 30mm×30mm 陶瓷加熱片，輸入功率由 10W 遞增至 130W，冷卻的裝置為風扇與散熱鰭片，結果顯示，此交叉結構均熱片的性能優於相同尺寸之紅銅片，當加熱功率為 130W 時，均熱片的熱源溫度為 68.8°C，系統熱阻值為 0.363°C/W，與紅銅片比較，熱源溫度降低 4.3°C，系統熱阻降低 5.7%；加熱功率為 60W 時，均熱片系統熱阻為 0.311°C/W，與紅銅片比較，熱源溫度降低 3.9°C，系統熱阻降低 22%。

**關鍵詞：**均熱片、散熱鰭片、系統熱阻

## Fabrication of Novel Heat Spreader

Yu-Tang Chen

Department of Mechanical Engineering, De Lin Institute of Technology

## Abstract

A novel heat spreader was developed with its main cavity of copper tube, where copper mesh and support structure was served as the capillary constructions. The size of the support structure was 73 mm×48.5 mm×2.7 mm. Ceramic heater, 30 mm×30 mm, was used as the heating source with the output power within from 10 Watts to 130 Watts, and utilize the heat sink integrated with fan as the cooler. De-ion water was employed as the working fluid with the same filling charge. When heating power was 130 Watts, the temperature of heat source in heat spreader was lower than in copper plate about 4.3 °C and the system thermal resistance was lowered for 5.7%. When heating power was 60 W, the system thermal resistance of heat spreader was 0.311°C/W. Compared to a copper spreader, the heat source temperature was lowered by 3.9°C and the system thermal resistance was lowered for 22%.

**Keyword:** Heat spreader, Heat sink, System thermal resistance

## 壹、前言

隨著資訊、通信與光電產業的快速發展，電子產品逐漸走向高性能、高頻率、高速度與輕薄化的方向演進，且電子產品邁向次微米技術的過程中，晶片的空間被壓縮得更小更窄，相對的單位體積散發出來的熱量也以等比級數提高，造成電子元件的發熱密度越來越高，因此，電子產品之散熱可說是當前電子相關業者決定其產品穩定性的重要要素。以 Intel PC CPU 為例[1]，熱能在10年間提高5倍。不幸的是近兩年PC的傳統散熱組件，一直追趕不上CPU 體積變小，功率加大的熱能。尤其CPU及VGA功率達75W以上時，散熱組件供應廠除了在加大風扇尺寸、加快轉速外，也祇能在鰭片設計上加大面積與增加鰭片數量，但熱流非常現實，會往阻力最小處竄流，常有CPU上方散熱模組可將熱趨散，但CPU底部PCB(Printed Circuit Board)卻因熱而變形的困境發生。

Thermacore, Inc. [2]研究團隊在熱管的研發上結合蒸汽腔體於散熱片，應用在電子冷卻上，結合了蒸汽腔體與散熱片，進行溫度分佈與均溫效果的模擬。另其也研發平板式之蒸汽腔體，厚度為2.9mm之薄型板構造。

1990年，Adami et al. [3]以一外觀尺寸為 $152.4 \times 304.8 \times 19.05$  mm 的銅製容器及100網目(Mesh)的銅網毛細構造，製造出以水為工作流體的平板式熱管，並測試其較佳填充率、真空度以及其傳熱性能受重力的影響。1999年，Hopkins et al. [4]製造了三個不同幾何形狀的平板式熱管測試模組，其幾何尺寸分別為： $7.01 \times 2.01 \times 120$  mm、 $11.7 \times 2.4 \times 100$  mm 以及 $13.41 \times 8.92 \times 120$  mm，此三個熱管皆採用軸向溝槽作為毛細構造，並以水為工作流體，其最大熱傳量可達100 W 上下，該研究並探討重力效應對於該裝置傳熱界限之影響。

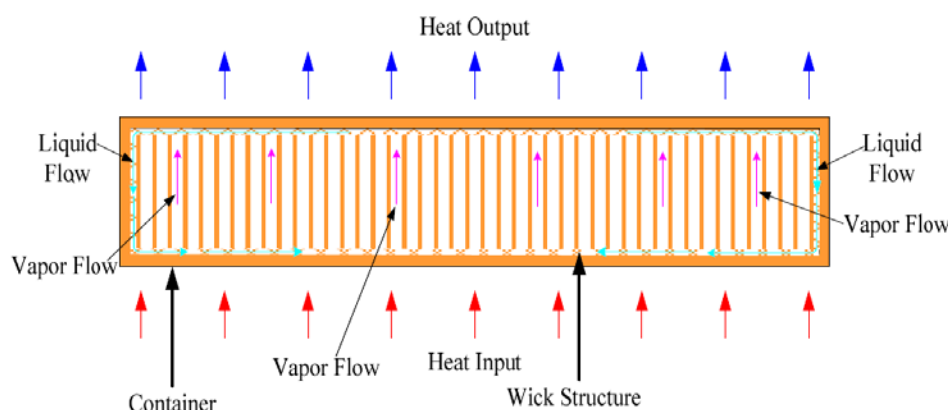
2008年，黃啟堯[5]對兩種不同毛細結構蒸汽腔體均熱片，進行充填率及均溫性的測試與分析。分別使用柱狀銅粉燒結作為毛細結構及向中心傾斜的輻射狀溝槽作為毛細結構，溝槽寬度為0.4mm。兩款均熱片的熱性能，以銅粉燒結毛細結構均熱片，充填35%去離子水(D.I water)時效果最好，在實際加熱功率為122 瓦特情況下，系統熱阻值為 $0.368$  °C/W，比同體積的銅塊熱阻降低14.62%，均熱片上蓋各量測點最高與最低溫差為 $1.69$  °C，顯示溫度分佈均勻。輻射狀溝槽均熱片充填20%去離子水時效果優於其他充填率，在加熱功率73瓦特的情況下，系統熱阻值為 $0.778$  °C/W；由於較同體積銅塊高出 $0.446$  °C/W，經由實驗結果推測可能是溝槽寬度過大，以致毛細力不足。

2013年Tsai et al.[6]蒸汽腔體均溫板(VCHS)的性能測試與多角度的影響，並詳細定義VCHS的性質與特性。使用之VCHS尺寸為 $93\text{mm} \times 117\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。VCHS在熱源與熱沉(Heat Sink)之間，形成一個三明治的結構，其實驗之熱沉利用水冷模組，加熱尺寸為 $12.7\text{mm} \times 8.89\text{mm}$ 。實驗施加16牛頓的力平均於四個螺絲，減少VCHS和熱沉間的接觸熱阻(Thermal Contact Resistance)。加熱功率從20瓦測試到50瓦，冷卻水的流量與溫度控制在15L/min和40°C。實驗結果顯示擴散熱阻(Spreading Resistance)是一個重要的因子，可以表示一個VCHS的優劣；Chen et al. [7]分別對溝槽與燒結毛細結構之鋁質蒸汽腔體均溫板進行熱阻比較，其結果顯示燒結式鋁質蒸汽腔體均溫板熱阻較溝槽式穩定。

綜觀蒸汽腔體均熱片之物理原理，精密製程和微小化尺寸，把熱能管理(Thermal Management)由傳統散熱組件行業往上提昇了一個世代。事實上，蒸汽腔體均熱片不僅是一個新產品，以如此的廣泛應用範圍，將提供 21 世紀電子元件熱能管理產品中一個最關鍵的平台。蒸汽腔體均熱片將會完全取代傳統散熱組件，在往後的 20 年成為散熱元件的主流。同時解決往後高溫之電子裝置。因此本研究製造一個高效能之新型均熱片，係利用銅空心管為主要腔體，以銅網為毛細結構，並完成熱性能測試。

## 貳、設計與製程

本研究主要是延續應用熱管的作動原理和優點，以及液汽分離的設計構想[8][9]，以中央交叉支撐結構為液汽分離的隔板與腔體支撐的結構，其作動方式如圖一所示，預期將可有效的改善蒸汽流與液流界面因剪應力所造成的飛散界限，增加熱管最大熱輸送量。進一步以高熱傳導係數的金屬銅作為結構材料，製作出一新型均熱片。在製程上使用治具將銅空心圓管壓扁作為主要腔體，再利用線切割加工做出中央支撐的交叉結構，完成後使用治具將腔體、銅網與交叉支撐結構壓緊使其貼合，再用高溫錫焊封住兩端開口完成接合，最後進行工作流體充填、脫氣與封裝的動作以利後來的測試。



圖一 新型均熱片作動示意圖

### 2.1 腔體設計與加工

蒸汽腔體選用無氧銅材質的銅管，使用切管機將外徑 31.75 mm、壁厚 0.6 mm 的圓管切斷成 143mm 的長度。然後將毛邊去除，將長 103 mm、寬 103 mm、厚 0.1mm 的 200 網目的紅銅網放入銅管中央使其與銅管內壁貼合，如圖二所示。利用不銹鋼平板將圓管預壓至厚度為 20.56 mm，如圖三所示，再將壓扁完成的銅管放入化學清洗槽中酸洗，將銅管與銅網上之油漬與氧化物清洗乾淨，再使用純水將化學藥劑沖掉。接著在溫度 900°C 下過爐調質，爐中充入純氬氣防止銅氧化，40 分鐘後取出，燒光均熱片上的氧化物，並且改組均熱片腔體的銅分子。再將中央壓板放入壓扁的銅管內，作第二次壓扁的動作，使壓扁的銅管與銅網能緊密的貼合。

### 2.2 交叉結構設計與製作

交叉支撐結構的設計在長 57mm、寬 43mm 與厚 0.8mm 的兩塊矩形純銅塊上，利用線切割加工製作出直式與橫式寬度為 2mm 等距排列的溝槽，然後將兩塊矩形銅塊重疊在一起，如圖四所示，局部放大圖如圖五所示。藉由正反兩面交叉造成孔洞；作為工作流體受熱蒸發後，蒸汽通往冷凝區的通道。線切割完後的交叉支撐結構疊在一起放入壓扁的銅管內，作為腔體中間支撐結構，接著在溫度 900°C 下過爐調質，爐中充入純氬氣防止銅氧化，40 分鐘後取出，燒光均熱片上的氧化物，並且改組均熱片腔體的銅分子，再作第三次壓管的製程，壓到腔體、銅網與交叉支撐結構密合。

### 2.3 工作流體的充填、脫氣與封裝

本均熱片採用熱管製程的方式，先充填再脫氣，最後封裝。工作流體採用純水(D.I. Water)，充填量取決於均熱片腔體內毛細管構造容量的大小與蒸汽流道蒸汽的容積，經

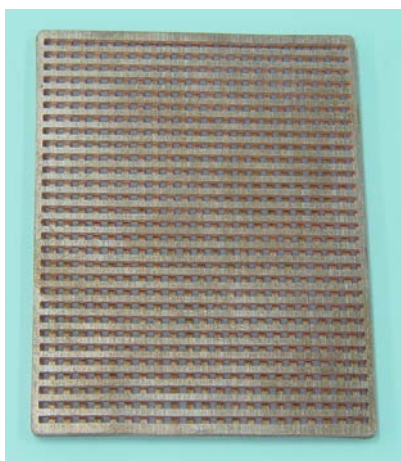
計算之後均熱片之充填量為 0.51c.c.。實驗中將已注入工作流體之均熱片夾持在機台上，開始抽真空至  $1 \times 10^{-3}$  torr；完成抽真空後，夾持模具以夾持力為 50 公斤將均熱片充填管夾扁，之後將上方剪斷並做焊接完成均熱片作業程序，如圖六所示。最後再將有充填管部分用腔體輾斷治具輾斷再錫焊，再作最後一次將腔體壓平的動作，完成圖如圖七所示。



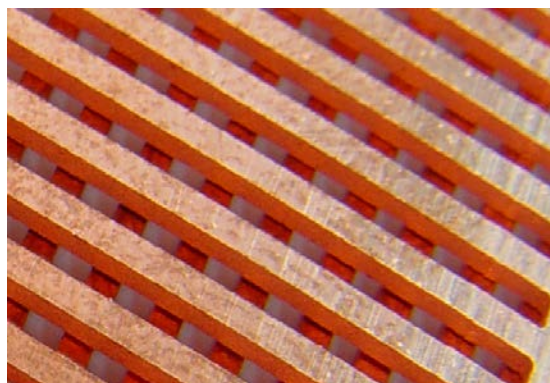
圖二 200網目的紅銅網置入銅管



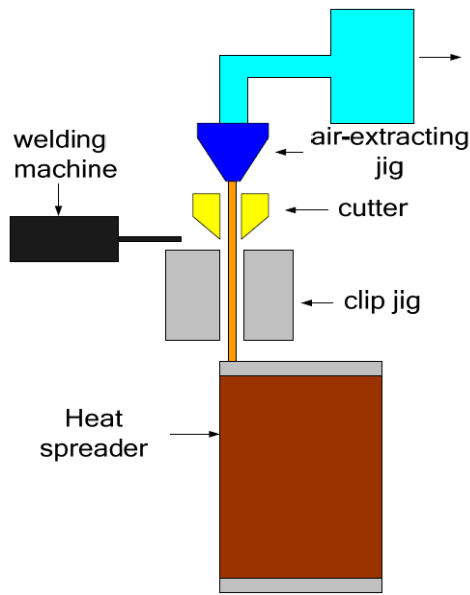
圖三 壓管製程後的腔體



圖四 交叉支撐結構完成圖



圖五 交叉支撐結構局部放大圖



圖六 工作流體脫氣封裝示意圖



圖七 均熱片完成實品圖

### 參、實驗架設

測試前先將均熱片上下表面加工拋光，然後在發熱銅塊表面及散熱鰭片接觸面的部分塗上Shin Etsu x-23-7762高熱傳導係數的導熱膏，接著才將均熱片中央的蒸發端位置正對發熱源貼上，均熱片冷凝端貼上散熱鰭片與風扇，整體測試系統如圖八所示。接下來利用扣具將散熱鰭片與風扇固定在新型均熱片上，並將環境溫度控制在 $23\pm 1^\circ\text{C}$ ，環境溫度( $T_a$ )的量測位置則在距離風扇入口上方3 cm處。接著每隔10W透過數據擷取機(OMEGA TempScan-1100)擷取一次資料，從 10W測到130W為止。每一個加熱功率都需要15分鐘後達到穩態，穩態後擷取均熱片四邊表面的溫度量測值 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  (T-type熱電偶線，圖九)與熱源溫度 $T_{heater}$ ，每一加熱功率測量完便變更至另一個加熱功率，重複相同測量的過程。並算出每個加熱功率下之 $R_{system}$ 與 $R_{hs}$ 值(如1, 2式)。

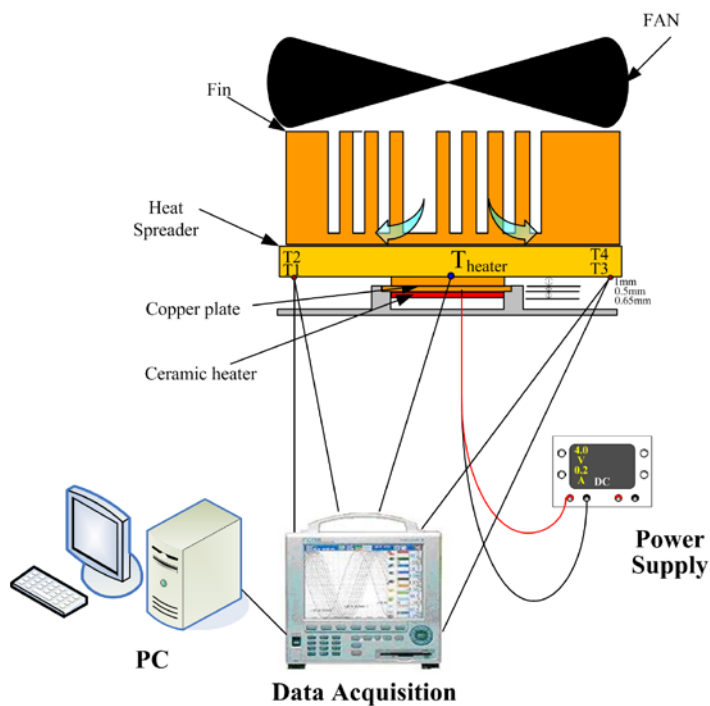
$$R_{system} = \frac{(T_{heater} - T_a)}{Q} \quad (1)$$

$$R_{hs} = \frac{(T_{heater} - T_{average})}{Q} = \frac{DT}{Q} \quad (2)$$

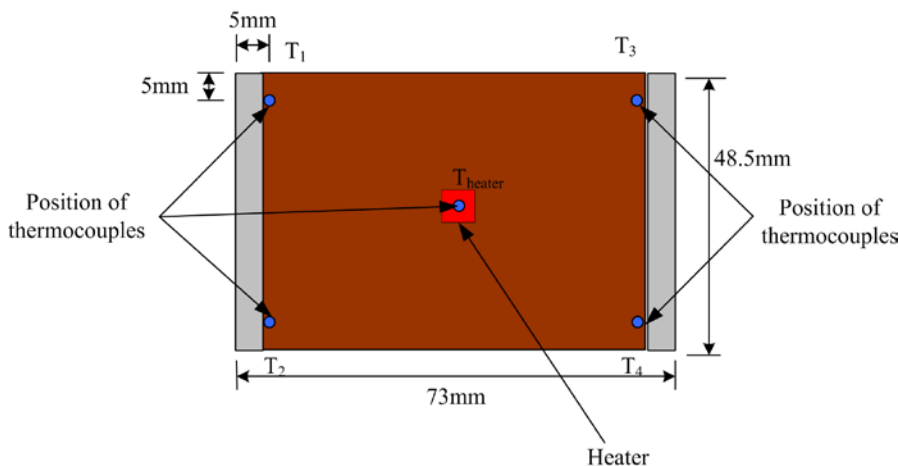
$$T_{average} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4}$$

其中， $R_{system}$ ：系統熱阻， $R_{hs}$ ：均熱片熱阻， $T_{heater}$ ：發熱源溫度

$T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ ：四邊表面的溫度



圖八 新型均熱片測試平台示意圖



圖九 均熱片四邊表面溫度量測點示意圖

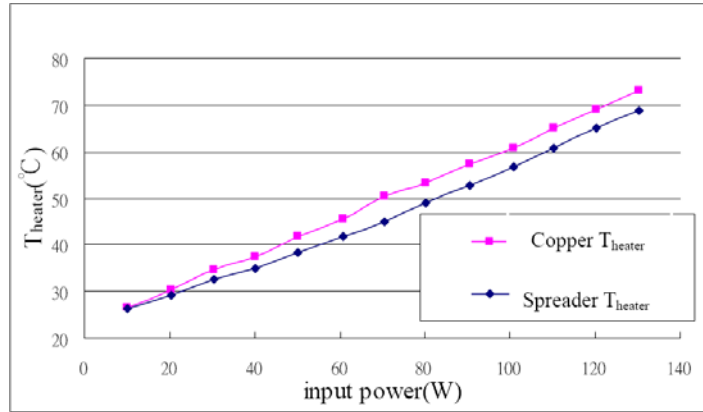
## 肆、測試結果與討論

由圖十中顯示無結構之銅片與新型均熱片在128W時發熱源溫度分別為73.1°C與68.8°C，此時無結構之銅片的溫度超過 Intel (Intel® Pentium® D Processor 840,830 and 820Δ) 69.4°C的晶片表面溫度，而新型均熱片在標準之內。從圖十一可明顯看出新型均熱片發熱源與四邊溫度平均值溫差均低於無結構之銅片，此表示新型均熱片能快速的將熱散開而達到均溫，其均溫性比純銅片佳。另一方面，也可從圖十二看出其表面平均溫度高於純銅片，這也表示了新型均熱片能將熱由發熱源迅速帶到表面經由散熱模組帶走達到散熱的效果。能有效地降低發熱源的表面溫度，表示新型均熱片其散熱量越大。

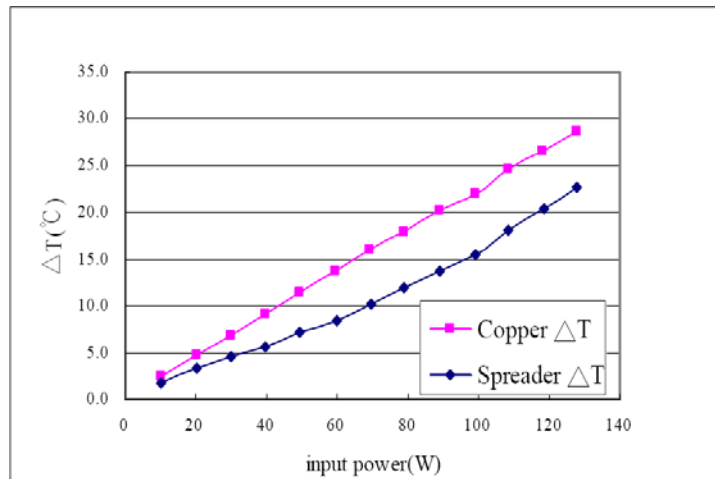
圖十三~十四分別為新型均熱片與無結構之銅片系統熱阻( $R_{system}$ )、均熱片本身熱阻( $R_h$ )與實際加熱功率( $Q$ )的關係圖。從圖十三看出均熱片的系統熱阻值在60W時其系統熱阻值最低(0.311°C/W)，且兩者的發熱源溫度相差3.9°C左右，系統熱阻值約降低22%。

而無結構之銅片系統熱阻在100W時其系統熱阻值最低(0.377°C/W)，且發熱源溫度比新型均熱片溫度高出4.2°C，均熱片系統熱阻值則降低10%。

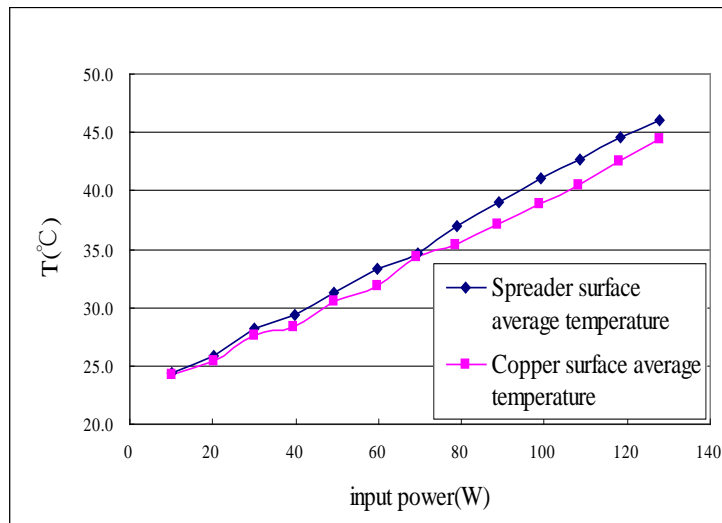
從圖十四看出均熱片在60W時其本身熱阻值最低為0.141°C/W，銅片為0.23°C/W，新型均熱片其熱阻值降低39%，而無結構之銅片本身熱阻在100W時其熱阻值最低為0.223°C/W，新型均熱片為0.157°C/W，新型均熱片其熱阻值降低30%。



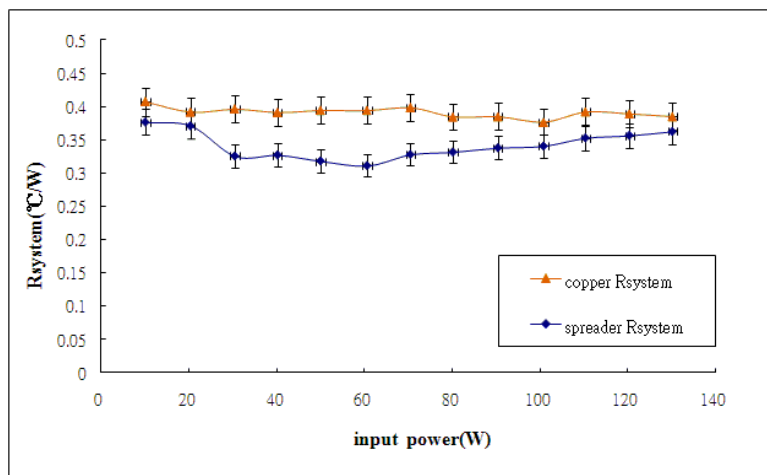
圖十 發熱源溫度與實際加熱功率關係圖



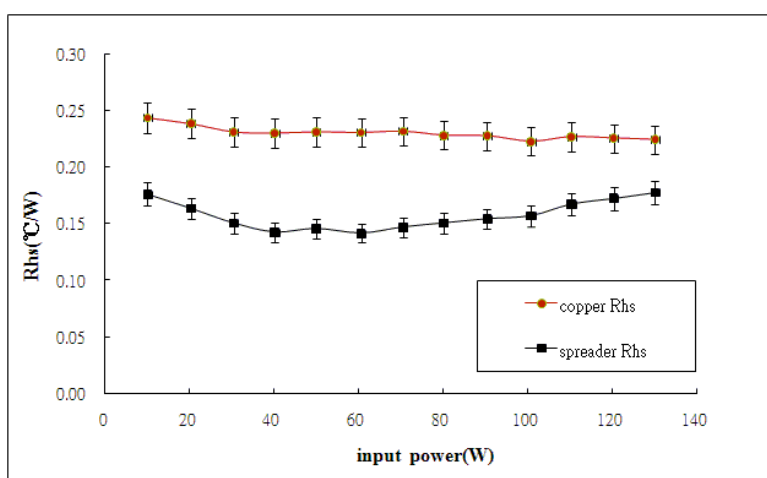
圖十一 發熱源與均熱片四邊平均溫度之溫差與實際加熱功率關係圖



圖十二 表面平均溫度與與實際加熱功率關係圖



圖十三 系統熱阻與實際加熱功率關係圖



圖十四 均熱片熱阻與實際加熱功率關係圖

## 伍、結論

本文是以仿熱管之汽-液分離方式，避免兩者互相干涉的設計概念，利用線切割、錫焊接合等製程，在壓扁的無氧銅管上製作出一新型的均熱片。此交叉結構均熱片內部的毛細構造為 200 網目的紅銅網，並以純水為工作流體。經實際測試結果顯示新型均熱片之熱性能優於同尺寸的純銅均熱片；具交叉結構均熱片於最大加熱功率 128W 時，發熱面溫度 68.8°C，系統熱阻 0.363°C/W，均熱片本身熱阻 0.177°C/W，與無結構銅片之均熱片作比較，發熱源溫度降低 4.3°C，系統熱阻降低 10%，均熱片本身熱阻降低 21%。由以上發熱源溫度(Theater)、系統熱阻(Rsystem)、均熱片本身熱阻(Rh)等所呈現出之熱性能數據，此新型交叉結構均熱片的散熱效果均優於同尺寸無結構的銅片。



## 參考文獻

- [1] <http://www.augux.com.tw/>
- [2] D. Mehl, P. Dussinger, and K. Grubb, “Therma-Base™ Heat sinks for Microprocessor Cooling” Thermacore Inc.
- [3] M. Adami, B. Yimer, “Development And Evaluation of A Planar Heat Pipe For Cooling Electronic Systems”, Chem. Eng. Comm, Vol. 90, pp. 57-74, 1990.
- [4] R. Hopkins, A. Faghri, D. Khrustalev, “Flat Miniature Heat Pipes With Micro Capillary Grooves”, Journal of Heat Transfer, Vol. 121, pp.102-109, 1999.
- [5] 黃啟堯，「蒸汽腔體均溫片之熱性能分析」，淡江大學機械與機電工程學系碩士學位論文，2008。
- [6] C. Tsai, S. W. Kang, K. V. Paiva, “Experimental Studies of Thermal Resistance in a Vapor Chamber Heat Spreader”, Applied Thermal Engineering, Vol 56, pp. 38-44, 2013.
- [7] Y. T. Chen, S. W. Kang, Y. H. Hung, C. H. Huang, K. C. Chien, “Feasibility study of an aluminum vapor chamber with radial grooved and sintered powders wick structures”, Applied Thermal Engineering, Vol. 51, pp. 864-870, 2012.
- [8] S. W. Kang, S. H. Tsai, H. C. Chen, “Fabrication and test of radial grooved micro heat pipes”, Applied Thermal Engineering Vol.22, pp.1559–1568, 2002
- [9] S. W. Kang, S. H. Tsai, M. H. Ko, “Metallic Micro Heat Pipe Heat Spreader Fabrication”, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp.299–309, 2004

