行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微冷卻器之整合研究(3/3)-子計劃三: 微冷卻器之封裝測試研究

計畫編號：NSC 90-2218-E-032-016
執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日
主持人：康尚文　淡江大學機械工程學系

一、前言

均熱片(heat spreader)的作用即在有效消除熱點。將晶片熱源均勻擴散於封裝表面上，再傳給與其接觸的散熱鰭片。目前最先進的均熱片為微熱管均熱片，利用管內工作流體相變化時的潛熱，可以傳遞極高的熱量，進一步達到均溫的效果。

美國 Sandia 國家實驗室[1]利用 Kovar(鐵、鈷、鎳)合金為基材，應用放電加工與微電鑄技術製作輻射狀流道微熱管均熱片，其凸出部分寬度為 5μm ~ 50μm，接合後厚度為 1.27mm，並於內部充填甲醇作為工作流體。

Novel Concepts, Inc. 開發設計之熱管均熱片產品[2]，使用金屬為材料。2001 年，淡江大學陳泓志利用微機電技術在矽基材上製作一 5cm×5cm 平板式、且具有液汽分離設計的輻射狀微熱管均熱片[3]。結構中以第三層的中間隔板，達成液汽分離的目的。後續並探討不同充填量下，對均熱片性能的影響。

本文的研究目的則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，針對更小的均熱片面積，進一步以高熱傳導係數的金屬銅作為結構材料，製作出具有三層結構的金屬微熱管均熱片。並在溝槽和銅網兩種不同的毛細結構下，探討充填量對均熱片性能的影響。

二、均熱片設計與製造

本文金屬微熱管均熱片的作動原理與傳統熱管一樣，都是靠著工作流體受熱產生相變化，以潛熱形式進行熱量交換。均熱片底部中心的蒸發端受熱後，蒸汽向上通過中間隔板的通道，進入汽相空間並擴散開來，潛熱接觸到大面積的容器壁再傳至冷卻系統，冷凝後的工作流體由隔板的外圍通道，回流至液相的毛細構造，完成熱量的傳輸(圖 1)。

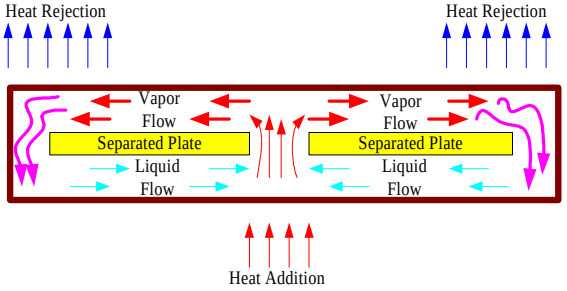

圖 1 微熱管均熱片理想作動示意圖

本文配合 CPU 外型尺寸及空間要求，均熱片外型尺寸一律設計為 31mm×31mm ×2.7mm，分別設計具有三層結構的溝槽式與銅網式微熱管均熱片。根據熱管設計與製造考量的原則[4]，一般熱管常見的毛細結構有金屬網目、軸向溝槽及燒結等。金屬網目式，易出現沸騰限制；軸向溝槽式，具有不適合各種工作角度的缺點；燒結式擁有優良性能，卻不易加工。因此選擇厚度 1.2mm、熱傳導性佳的紅銅板(熱傳導係數約 380~400W/mK)作為液、汽相層材料，可幫助熱量快速傳導至工作流體，以及將蒸汽所含的潛熱迅速地讓冷卻器帶走。中間隔板則選用厚度 0.3mm 黃銅(brass)片(熱傳導係數約 110W/mK)。毛細構造成型的製程上採用化學蝕刻之感光性腐蝕的加工

方式[5]，在三片銅板上分別蝕刻出液、汽相構造及中間隔板。蝕刻過後的銅材會因酸液的殘留，或長時間在空氣中生成氧化層的關係，在接合前需先給予徹底的清潔，清潔過後的溝槽式和銅網式的液、汽相構造層及中間隔板之實體圖如圖 2、圖 3 所示。

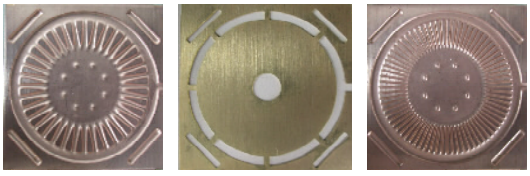

圖 2 溝槽式微熱管均熱片之各層實體圖 (左)汽相；(中)隔板；(右)液相

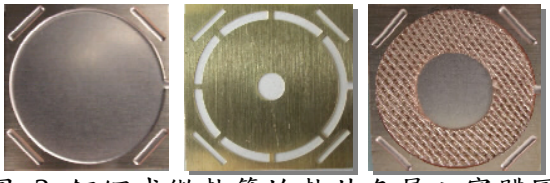

圖 3 銅網式微熱管均熱片各層之實體圖 (左)汽相；(中)隔板；(右)液相

三層結構由下而上依液相、隔板、汽相的順序對準疊合，並插上充填銅管後，便將均熱片放入真空擴散爐的腔體內，當腔體達到 5×10^{-5}torr 的高真空狀態後，便以擴散接合技術[6]完成三層結構層的接合，圖 4 為預計製作完成後，溝槽式微熱管均熱片的立體示意圖。

吾人以注水秤重的實驗方式，由微量天平秤得均熱片注水前與完全注滿水後的重量差，再由水的比重 1，換算獲得實際的均熱片容量。結果得到溝槽式的為 0.45 c.c.，銅網式均熱片的內部容積為 0.63 c.c.，與計算方式的結果相去不遠。由於熱管內若有非凝結性氣體的存在，除了形成阻力，提高操作溫度外，非凝結性氣體的壓力在熱管作動時，也會造成容器的變形損壞，所以要讓熱管順利的作動，必須確實的除去容器內的非凝結性氣體，本文採用的脫氣充填過程為加熱排氣法[7] [8]

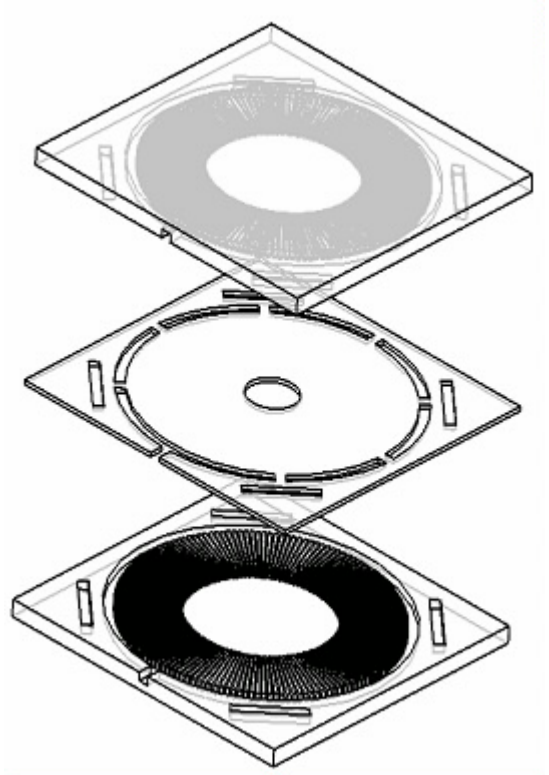

圖 4 具有三層結構的溝槽式微熱管均熱片立體示意圖

，圖 5 為微熱管均熱片接合、充填完成後的成品實體圖。

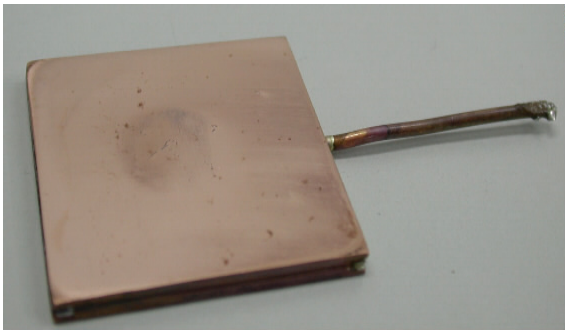

圖 5 微熱管均熱片成品實體圖

三、均熱片性能測試結果

熱管的性能通常以能夠輸送的最大熱傳率 Q_{max}，和熱阻 R 值的大小作為評價依據。微熱管均熱片的性能更進一步地被要求迅速降低加熱源溫度，也就是處於飽和狀態的工作流體受熱後，利用潛熱快速地帶走熱源的熱量，然後蒸汽在汽相空間裡擴散開來，並與較大面積的冷凝面接觸，達到均熱效果，最後熱量藉由傳導至冷卻器上，完成散熱。

本文微熱管均熱片的熱性能，是以量測 CPU 冷卻器熱阻的設備作實驗性地評價。冷卻器的基本組成包含風扇及散熱鰭片，在加上均熱片的情況下，觀察發熱面的升溫情形和計算整個冷卻器的熱阻值。發熱面溫度和冷卻器熱阻值愈低，表示冷卻器的散熱效果愈佳。實驗將針對均熱片不同的毛細結構和甲醇充填率作探討，並將結果與未加上均熱片的冷卻器作比較。本文的測試方式，在測試前先將均熱片上下兩面皆磨拋過，然後在與熱點及散熱鰭片接觸面的部份塗上 Omega Omegatherm 201 高熱傳導係數的導熱膏，此時才將均熱片中央的蒸發端位置正對熱點表面放下，風扇、散熱鰭片、微熱管均熱片及熱點四者間的相對位置如圖 6 所示。

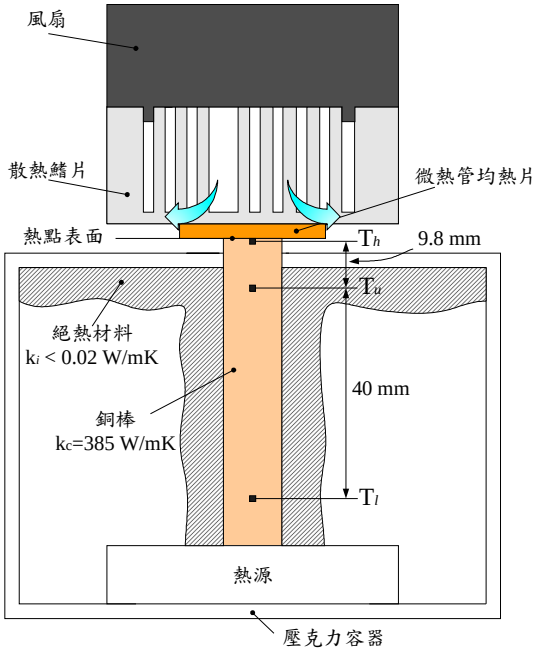

圖 6 加熱裝置之構造圖及風扇、散熱鰭片、微熱管均熱片、熱點表面的相對位置

並於風扇四角落的孔位均勻施壓至 13.0 kgf，固定風扇功率 2.04 watt，風向由上往下方的鰭片吹去，並將環境溫度控制在 20±1℃，環境溫度 *Ta* 的量測位置則在距離風扇入口 3 cm 處。接著透過電腦軟體系統設定自動控制加熱功率和擷取資料，每一個加熱功率都需要 30~40 分鐘後達到穩態，穩態後每隔 2 分鐘擷取量測值 *Tl*、*Tu*、*Ta* 一次，共取樣十組，取樣完畢便變更至另一個加熱功率，重複相同的取樣過程。將每個加熱功率下量得的十組 *Tl*、*Tu*、*Ta* 值，換算成十組 *Q*、*Th* 與 *R* 值，然後選擇 5 組合理的值作平均值的計算，最後獲得 Q_{ave}、Th_{ave} 與 R_{ave} 值，作出測試結果討論，如圖 7~圖 10 所示。至於壓力受熱而增加的情況，則不在討論的範圍。

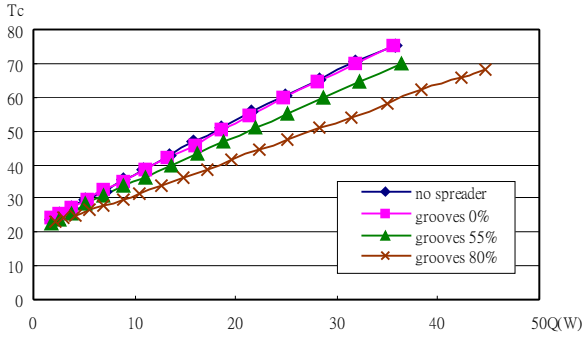

圖 7 不同充填率之溝槽式微熱管均熱片冷卻器熱點表面溫度與實際加熱功率的關係

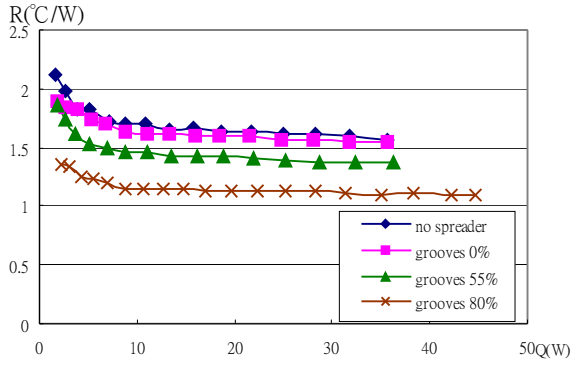

圖 8 不同充填率之溝槽式微熱管均熱片冷卻器熱阻與實際加熱功率之關係

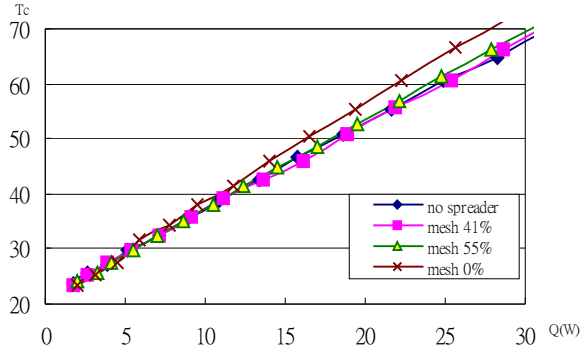

圖 9 不同充填率之溝槽式微熱管均熱片冷卻

器熱點表面溫度與實際加熱功率之關係圖

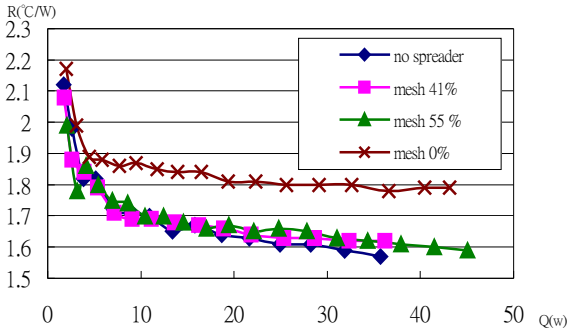

圖 10 不同充填率之溝槽式微熱管均熱片冷卻器熱阻與實際加熱功率之關係圖

四、結論

本文以分離熱管內液體與蒸汽流通路，避免兩者互相干涉的設計概念，利用化學蝕刻、擴散接合等製程，在金屬銅材上製作出具有三層結構的微熱管均熱片。微熱管均熱片的整體大小為 31mm×31mm×2.7mm，內部的毛細構造有 200μm 寬的放射狀溝槽陣列和三層 100 網目的紅銅網兩種，並以甲醇為工作流體。採用的擴散接合參數分別為接合壓力 78.5kg/cm^2、接合溫度 600℃及接合時間 90 分鐘。

微熱管均熱片的熱性能，是藉由 CPU 風扇-散熱鰭片熱阻量測設備作實驗性地評價。探討加上不同毛細構造、甲醇充填率的均熱片後，對發熱面溫度和整體冷卻器熱阻的影響。測試時，加熱裝置的加熱面積 13.97mm ×13.97mm、冷卻器的風扇功率 2.04watt、散熱鰭片和均熱片間的壓力 13kgf。獲得以下的測試結果：

1. 溝槽式微熱管均熱片的性能皆優於未加上均熱片的冷卻器。而且充填量愈高，散熱效果愈佳。
2. 銅網式微熱管均熱片的性能遜於未加上均熱片的冷卻器。但發現設計為液汽分離的均熱片性能略優於充填量較多的均熱片。另外，推測銅網式均熱片散熱效果差的可能原因為：(1) 液相層中，銅網和銅網間及銅網和容器內壁間並未一體化，造成接觸熱阻的產生。(2)蒸發-冷凝的機制並未順利的產生循環。
3. 綜合而言，82%甲醇充填率之溝槽式微熱管均熱片的性能優於其他均熱片，在實際加熱功率 35watt 時，發熱面溫度 57.78℃，冷卻器熱阻 1.10℃/watt，與未加均熱片的冷卻器作比較，發熱面溫度 Q 氏 17℃，冷卻器熱阻約降低 30%。顯示溝槽的流路阻力小，並且與容器一體化，不會有銅網發生接觸熱阻的問題。

五、參考文獻

1. David A. Benson, Charles V. Robino, “Design and Testing of Metal and Silicon Heat Spreaders with Embedded Micro-machined Heat Pipes”, Advances in Electronic Packaging, 1999, Vol. 26-2, pp. 1957-1964.
2. Novel Concepts, Inc. 2240 Union Street, Suite 302 San Francisco, CA 94123 .
3. 陳泓志，”輻射狀微流道熱管之研製”， 淡江大學機械工程學系碩士論文，民國 89 年 7 月
4. A. Faghri, “Heat Pipe Science and Tech-nology”, 1995, ISBN 1-56032-383-3, Taylor & Franics.
5. 佐藤敏一編、賴耿陽譯著，”金屬腐蝕加工技術”， 復漢出版社印行，1980
6. R.Lison and J.F.Stelzer, Weld. Res. Suppl., 1979, p.306
7. 日本熱管技術協會編、依日光譯著，”熱管技術理論實務”，復漢出版社印行，1986，pp.49~50
8. Y. Cao, M. Gao, and E. Pinilla, “Fabrication and Test of a Filling Station for Micro/ Miniature Devices”, Energy Conversion Engineering Conference, 1977, Vol.2, pp.1509-1513