

均熱片之製作與設計

陳育堂¹ 李勝華²

¹私立德霖技術學院機械工程系副教授

²私立德霖技術學院機械工程系講師

摘要

針對目前電腦用CPU熱點的傳導介面，因CPU工作時脈不斷加快，導致熱源產生的熱量愈來愈大，且電子晶片及微處理器的發熱量不斷的在增加，故發展高性能之散熱裝置就特別重要。如何將熱源在極短暫的時間內把熱量傳導出來，且均勻分散至均熱片以避免形成熱點，因此本研究以3mm厚銅塊為材料製作完成金屬微均熱片，期能將CPU上的熱源均勻導出分佈於較大的導熱面積，然後再傳導至散熱裝置上。本文以兩種加工方式：濕蝕刻與NC加工製造完成不同深寬比之溝槽銅質均熱片。

關鍵字：散熱裝置，熱點，濕蝕刻，NC加工，深寬比，溝槽銅質均熱片

Abstract

The subject of heat dissipation in the lately computer is getting more attention than before. Due to the working pulse on CPU increases dramatically, a large amount of radiation heat, both in electronic chip and microprocessor, becomes the most important issue on the developing high speed computer. The developing of high performance of heat dissipation device is studied in present research. In order to conduct the radiation heat evenly through heat sink in an extremely transient time, a 3mm thick copper heat spreader is proposed in this research. This research is in two kinds of processing ways: wet etching and finish with NC processing than manufacturing differently aspect ratio grooved copper heat spreader.

Keyword: radiation heat; heat dissipation device; heat sink; wet etching; NC processing; copper heat spreader

一、前言

近幾年來電子產品的設計中，由於效能的提升與製程微細化，電晶體的數量在相對面積中越來越多，電路的設計就更複雜化，但所有的效能卻無法百分之百的提升，因此大部分電能的消耗，其能量則轉變成熱量散發。現今半導體製程的躍進，單位面積上的電晶體數與操作頻率大幅提高，所產生的熱量已不是傳統鰭片風扇能夠處理。因此遭受高溫破壞的程度就嚴重，熱就成為了失效的最主要原因。

在所有的電晶體中，晶片的導線數一直增加，且在封裝之後可以發現，晶片面積往往會是封裝面積的數倍，因此在封裝完成的晶片上就可以發現，熱能並非均勻的散佈在晶體表面，因此會產生所謂的熱點（hot spot），熱點的產生會因為熱應力而使得晶片燒毀與微量變形，這代表了晶片的毀損。目前最容易看出就是電腦的 CPU，在 CPU 的線寬已從以前的 0.18 微米製程到目前的 0.13 微米製程，如圖 1 所示【1】，其發熱量已從 10W 至目前的 80W 甚至更高，若是無法將熱量迅速傳導出來以減低熱量的集中，在短短的數秒之內就可以將一顆 CPU 燒毀。

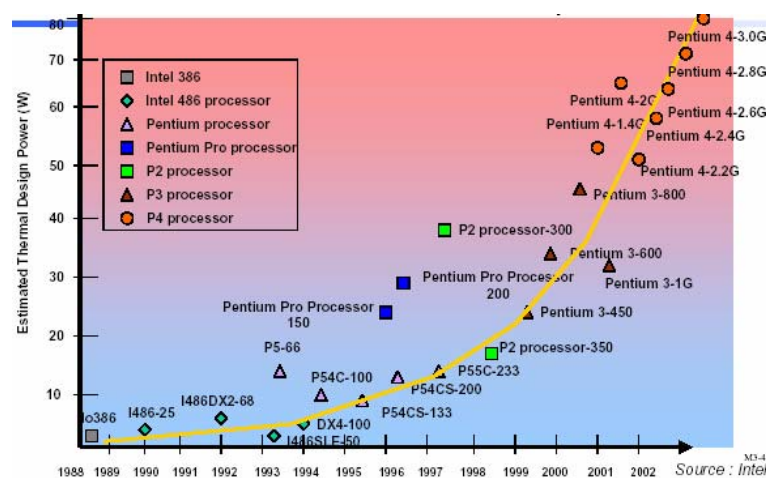


圖 1 電腦 CPU 的成長的趨勢[1]

散熱方式有許多種，在桌上型電腦中最常用的就是散熱鰭片、致冷片、高流量風扇、水冷系統、熱管等等。如圖 2[2]為目前最常用的散熱方式，儘管不斷改善鰭片的數量、增加風量或是更改散熱材質，但在未來的運用上，搭配更高效能的小型熱傳導體，才能克服空間上的困難，並達到更高的冷卻技術。

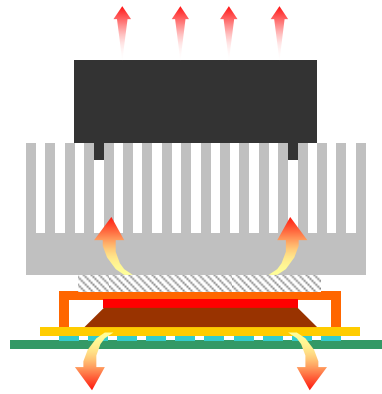


圖 2 桌上行 CPU 的散熱方式[2]

有許多的相關業者與學術界從事新的熱傳導方式改良，以解決熱傳導的問題，例如傳統的鋁擠製散熱鰭片，因熱傳導的效率不佳而採用純銅的鰭片來快速傳遞熱量；也有在鋁擠製的鰭片上增加熱管（heat pipe）以加速熱的傳遞至鰭片上；也有如砲筒型的熱管放置在鋁擠製鰭片中央；甚至將圓柱狀純銅塊直接嵌入鰭片中；或者使用水循環來做熱交換的致冷器等等。總歸就是發熱量不斷提高，如何可以達到最有效率的熱傳遞，也就是目前的當務之急。

本研究的目的是希望可以在最簡單的方式之下，製作體積小且較不佔空間的熱傳導介面，迅速將熱源以大面積均勻分散在鰭片上，如此來就不會產生熱點而將晶體燒毀，並且這種熱傳遞的最大好處就是不需要增加電能或任何能源。但回顧相關的文章中得知，不論任何的新散熱裝置，在體積上的考量往往都和目前的散熱裝置相差不多，甚至需佔用更多的空間，因此均熱片(heat spreader) (圖 3) 的製作[3]，或許可以減少散熱鰭片的體積，以達到有效的散熱方式。

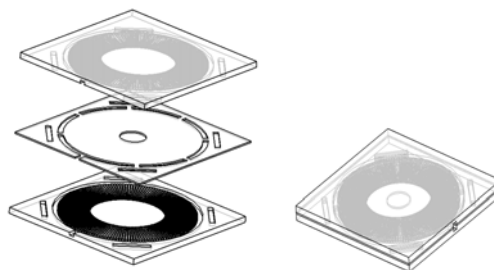


圖 3 均熱片的分解與組合[3]

均熱片(heat spreader)的功能就是將晶體中的數個熱點均勻擴散至均熱片的表面，其原理如同

熱管（圖 4）[4]，利用液體的氣液相變化，也就是所謂的潛熱。液體吸收熱源後汽化，此時也會產生壓力差，因此具有熱量的汽化分子迅速將熱導離晶體表面，在接觸冷凝端時重新凝結成液態，藉由毛細現象或其他機制重新循環，過程中再把熱傳導至接觸的散熱鰭片上，此設計就如同微小的平板型熱管一樣。

本研究也用 CNC 製作均熱片，因 CNC 能夠做到更高的深寬比與垂直的流道，如此一來就可以比較蝕刻與 CNC 加工方式的效能比較。

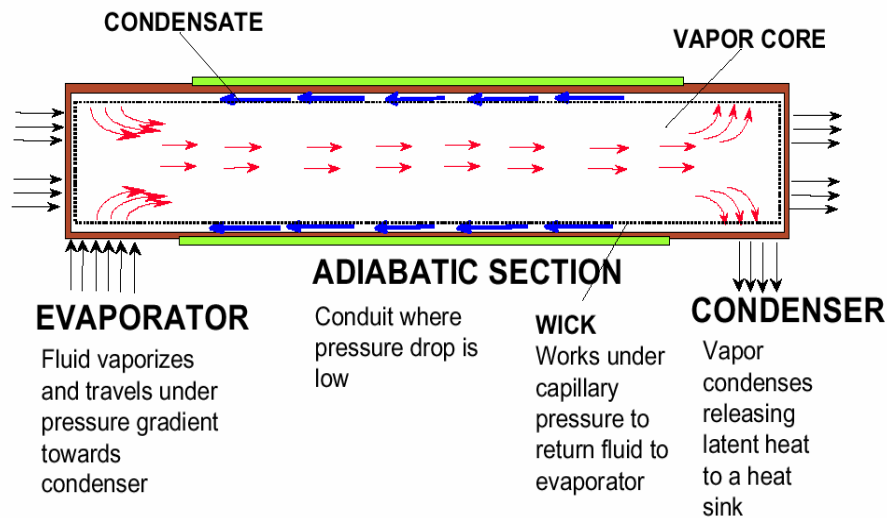


圖 4 熱管工作原理[4]

在 Shung-Wen Kang et al[2004] 文章中得知[5]，均熱片的動作原理（圖 5），也在均熱片的製作尋找相關的問題以進一步改進。本實驗最大的不同處為增加均熱片的厚度。厚度的不同也就代表溝深有較大的高深寬比，填充液的容積相對改變。在相關的熱管熱傳量與操作溫度中知道，熱管內的工作流體驅動力為蒸發端與冷凝端液面毛細壓力差，在熱傳遞的過程中會有許多的限制。其中包含音速限制（Sonic Limit）、沸騰限制（Boiling Limit）、飛濺限制（Entrainment Limit）、黏滯限制（Viscous Limit）、冷凍啟動限制（Frozen Startup Limit）、冷凝限制（Condenser Limit）、連續流限制（Continuum Flow Limit）等。

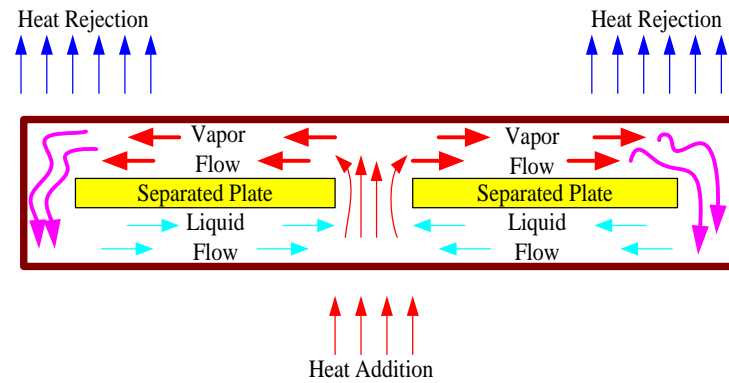


圖 5 微熱管均熱片理想示意圖[5]

因此在這麼多的限制下，蝕刻出高深寬比的銅塊就可以增加填充液的容量，使燒乾 (dry out) 的現象儘可能避免。且由於銅塊具有較大的填充空間，在銅塊內做許多的後處理以降低一些熱傳上的限制，例如沸騰限制、黏滯限制等[6]。

本研究與 Shung-Wen Kang et al [2004]的均熱片的設計不同處為其厚度不同，如圖 6 所示，因此在往後均熱片上可以有許多變化之處，例如在均熱片中添加高滲透力的陶瓷材料或者是其他的燒結等等後續加工[5]。

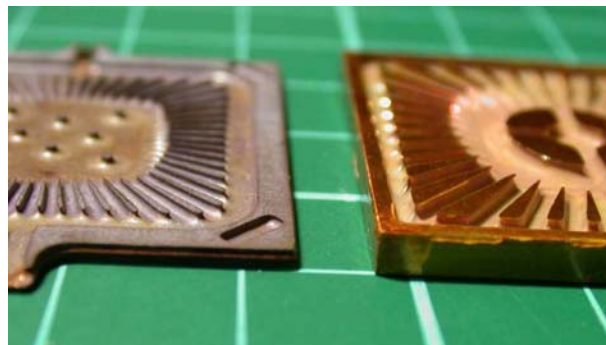


圖 6 左圖為 Shung-Wen Kang et al 的均熱片、右圖為本實驗製造均熱片

二、蝕刻製程

均熱片的製作方法，使用尺寸 31mm × 31mm × 3mm 的銅塊進行散熱用均熱片的製作。實驗方法為利用 Spin coating 有機光阻 FMR-N900 (黏度 800CP) 和 Casein (Cr + 蛋白)、

濕度 40~60% 兩種光阻，完成光阻塗佈之後，進行曝光顯影與使用 FeCl_3 化學藥劑進行濕式蝕刻，達成先前預計之均熱片樣式，其製程如圖 7 所示。

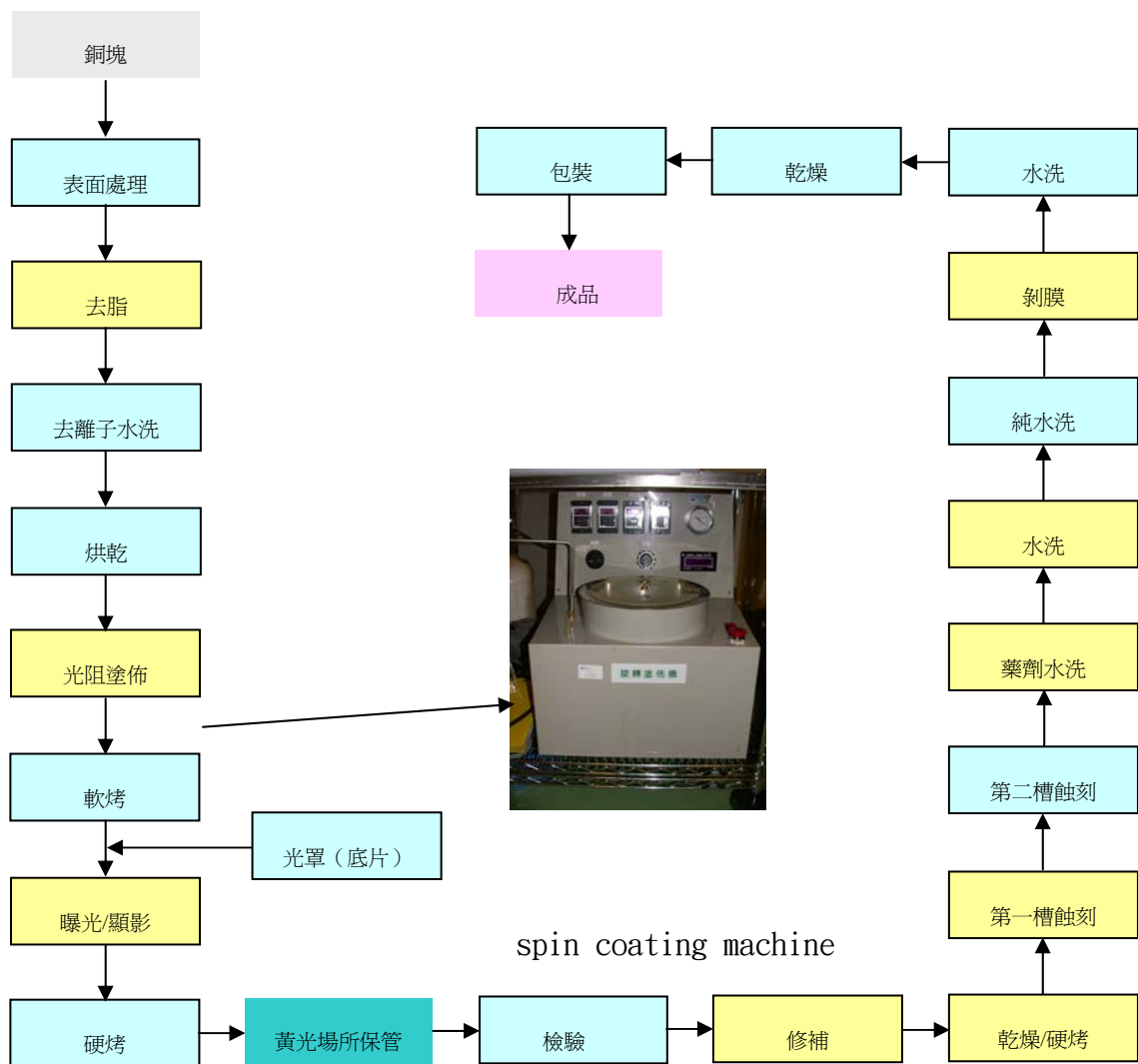


圖 7 均熱片蝕刻流程

在銅塊的選擇方面，由於未處理的銅塊會有許多刮傷與氧化層，因此銅塊在 spin coating 試作階段時發生因光阻塗佈時無法將所有細縫填補起來而在蝕刻時蝕刻液滲入腐蝕，因此在蝕刻前需作下列的處理：

- 一、表面研磨
- 二、稀硝酸氧化層處理
- 三、丙銅油膜處理
- 四、去離子水清洗

清洗完後的銅塊在作 spin coating 時，需注意轉速的控制，由於這次所使用的有機光阻為 FMR-N900，其黏度值為 800CP，較一般市面用的有機光阻黏稠性高出很多，因此需控制好膜厚，若膜厚控制不良會影響顯影時間，顯影速率太快會導致膜軟化，顯影不足會使得顯影不完全，如圖 8 所示。



圖 8 顯影不完全

其次光阻的選擇最初試著使用酪蛋白光阻感光劑Casein與有機光阻兩種[7]，Casein的強度非常高，且適合製作精密圖形，但在試作的同時發現，顯影過程需使用 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 的壓力噴灑去離子水作顯影，若是採用手動顯影則無法將光阻劑顯影乾淨，且其黏滯性較低，若是銅塊表面清潔不良或者帶有雜質，則進行蝕刻後會導致這些地方無法保護而被蝕刻掉，整塊銅塊就產生不良的蝕刻情形，如圖 9 所示。其兩種光阻使用之參數與結果如表一所示。



圖 9 casein 塗佈蝕刻不良

表 1 兩種光阻使用之參數與結果

試片號 碼	光阻劑	1spin rpm	1spin time	2spin rpm	2spin time	曝光能量 (J)	蝕刻速率	結果
1	FMR-N900	500	10	2000	25	2000	45	OK
2	FMR-N900	500	20	2000	25	2000	45	OK
3	Casein	500	20	2000	20	1500	0.1	顯影不良
4	Casein	500	20	1500	20	1500	0.5	顯影不良
附註一：Spin 時間單位為 SEC 秒								
附註二：蝕刻速率單位為 M/Min								

在銅塊表面平整拋光方面，若銅塊的平面度不足，在平行曝光的過程中，會使得 UV 光散射。紫外光的散射會使的不該曝光處因紫外光的散射，而有機光阻產生分子結構變化，使得顯影完成需剝離處無法剝離，如圖 10 所示。

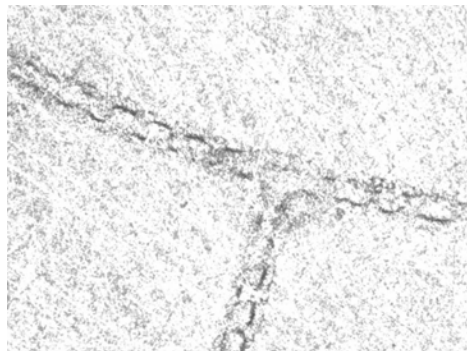


圖 10 光阻顯影未剝離

經過研磨的銅塊與未經過研磨的銅塊，在塗佈過程中就可以看出其變化，研磨良好的銅塊，表面的狀況非常理想，且不會塗佈時產生膜厚不均的現象，因此顯影時就不會因為膜厚不均導致顯影時間有長有短，在繼續下一步的蝕刻時就可看出其中的變化，如圖 11 所示。

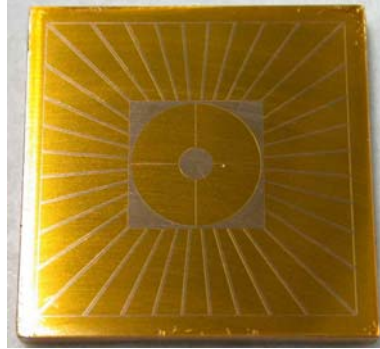
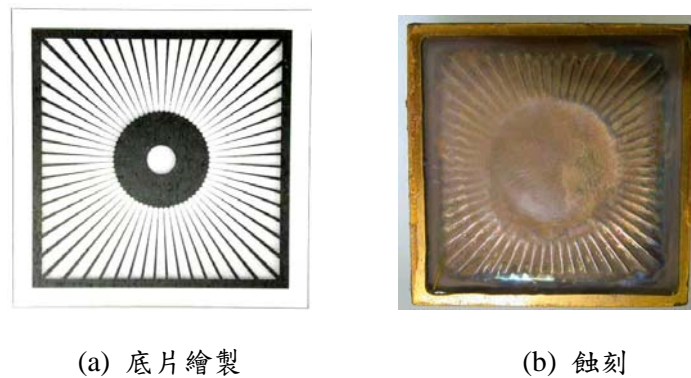


圖 11 銅塊經過研磨塗佈狀況

針對圖檔的設計，由於在先前試作時並未考量蝕刻因子，因此圖檔的設計就只是先前試作測試，在試作過程中可以發現底片繪製的重要性，若繪製的圖形過於精細，則在蝕刻後因蝕刻方向會往下與左右蝕刻。最終未達及目標時，線條就已經被蝕刻光了，且若是線條設計過細，寬度在 $100\ \mu\text{m}$ 左右，會因曝光不良與光阻黏稠性導致顯影狀況不佳，如圖 12 所示。



(a) 底片繪製

(b) 蝕刻

圖 12 底片繪製與蝕刻

在曝光顯影過程中，當年頓環(註 1)的產生並非非常完整時，就會導致曝光時的散射狀況而光阻膜無法剝離，有一層薄形光阻膜附著在銅塊上面，蝕刻過後才發現有一層光阻膜的形成，這層光阻膜由於強度很高，因此蝕刻再久都無法擊潰光阻(圖 14)，導致該蝕刻處無法蝕刻。

註 1：當兩片玻璃在吸真空的狀態下，若是吸真空良好，因干涉的關係會產生干涉現象，也就會產生所謂牛頓環。如圖 13 所示。

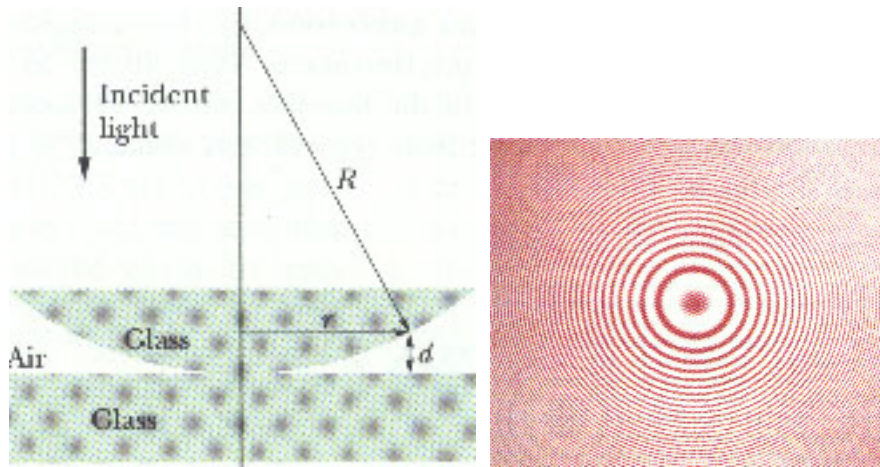


圖 13 牛頓環干涉

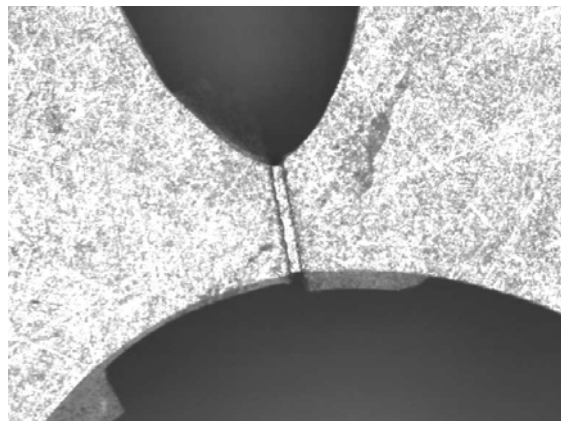


圖 14 光阻顯影不良

圖形的設計理念從一開始先瞭解銅塊的性質與蝕刻後，再來考量液體毛細現象的產生，由於毛細現象會因張力的原理，含水量較少處會往含水量高的地方聚集，因此底片設計上底片與下底片就有梯形的考量，因此 S. W. Kang 等人[5]的設計有所不同。下均熱片流道設計為靠近中心處流道較窄外面流道較寬形成梯形；而上均熱片的流道設計與下均熱片流道設計剛好相反，將蒸汽凝結成水時能迅速流向外壁，因冷凝與重力關係流往下均熱片，且此次實驗所作的均熱片目前並不會放置銅網或增加汽液分隔銅片，如圖 15 所示。

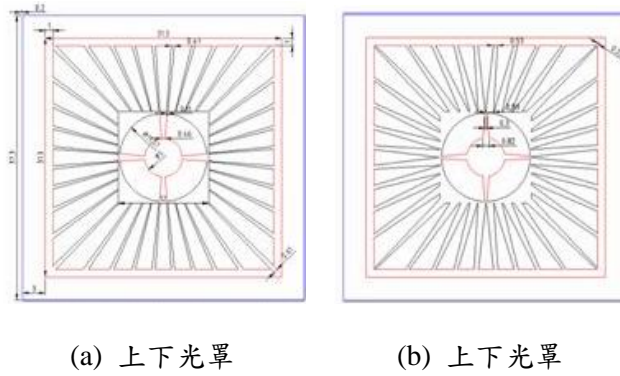


圖 15 上下光罩設計

蝕刻方面由於為了蝕刻出高深寬比的均熱片，從開始的試作使用各種不同寬度的銅塊至最後使用大面積的銅塊，一連串的製作過程。前處理的曝光顯影，若曝光方面產生不良的真空狀態，則後續的蝕刻就等於失敗了（圖 16），因此製作出良好的均熱片，在蝕刻前的製程過程中，表面處理則需有細密的加工作業。



圖 16 蝕刻完失敗成品

蝕刻進行時由於需花費長時間的蝕刻，光阻膜的保護相當重要，尤其是小面積銅塊蝕刻，當手動顯影時因光阻膜仍是在軟膜狀態，會在拿取顯影時破壞邊緣的光阻膜，因此目前保護的方法有兩種：

- 一、將需蝕刻的銅塊邊緣再以手工方式塗上一層光阻劑，經由軟烤 30 分鐘加以保護。
- 二、在銅塊需蝕刻前將邊緣與背後以膠帶黏貼，但黏貼時須小心，以免將光阻覆蓋

導致無法蝕刻，如圖 17 所示。

最後階段蝕刻已經製作出良好的製品（圖 18 所示）。

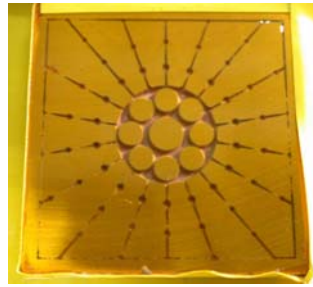


圖 17 以膠帶將背面與邊緣作保護



圖 18 大面積均熱片蝕刻

三、NC 製程

由於蝕刻會有一些先天上的限制，在蝕刻進行的同時，也同時使用 CNC 加工試作均熱片。設計的理念明顯具有更好的高深寬比，流道處有較好的垂直角，且蒸發端可以設計更大的氣體容積率與填充率。對於 CNC 的一些無法加工處，將以放電加工加以處理，使得均熱片的設計可以更理想化。CNC 設計理念為將蒸汽擴散區改為深 2 與 0.5mm 作比較，其次蒸汽區的改變也會

影響在汽液變化時的氣體產生容積量，氣體的產生是否對熱對流產生影響，因此這項改善可以作散熱變化上的研究與討論。以下為 CNC 設計製作的步驟：

一、設計六組均熱片，三種不同為流道，兩種不同蒸汽擴散區的深度，上下各一片共製作 12 片均熱片，如圖 19、20 所示。

二、製作理念將蒸汽擴散區改為深 0.5 與 2mm 作比較，由於蒸汽區的改變，可以看蒸汽區的變化是否對熱的散射是否影響極大，其次蒸汽區的改變會影響在汽液變化時的氣體產生，氣體的產生會影響熱對流，因此這項改善可以作散熱變化上的研究。

三、CNC 加工出來的銅塊，其轉角處接近 90 度，因此可以增加毛吸力。

四、CNC 加工為 1:1 的加工，因此可以再繪圖上直接得知銅塊加工後的實體形狀，並不會有縮放比例上的問題。

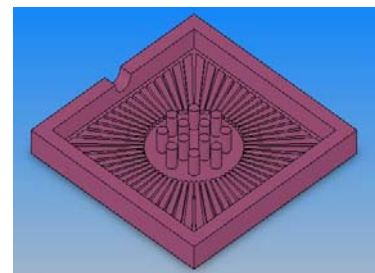
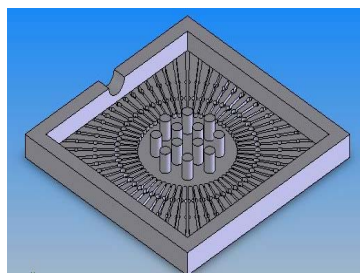
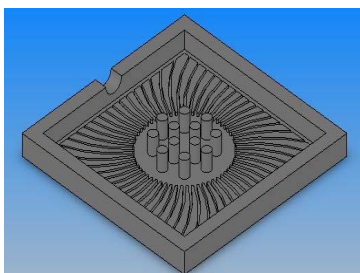
五、蒸汽擴散區 2 mm 的均熱片：

(一) 上均熱片：

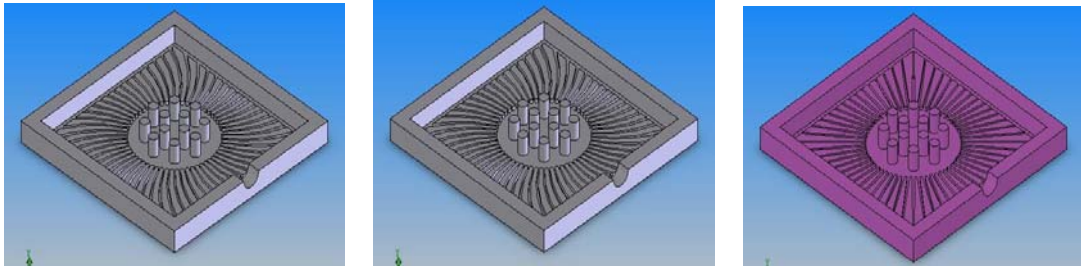
1. 溝槽數目可知增加至 60 條以上，增加毛吸力。
2. 溝槽內寬外窄的上均熱片：溝槽最長為 0.2mm。最寬為 0.4~0.6mm。深度為 0.5 mm。
3. 溝槽上方留有 2.0mm 的蒸氣擴散區。

(二) 下均熱片：

1. 溝槽數目可知增加至 60 條以上，增加毛吸力。
2. 溝槽內窄外寬的下均熱片：溝槽最長為 0.2mm。最寬為 0.4~0.6mm。深度為 0.5 mm。
3. 溝槽上方留有 2.0mm 的蒸氣擴散區。



(a) 上層的均熱片



(b) 下層的均熱片

圖 19、蒸氣擴散區 2 mm 的 (a)上層的均熱片 (b)下層的均熱片

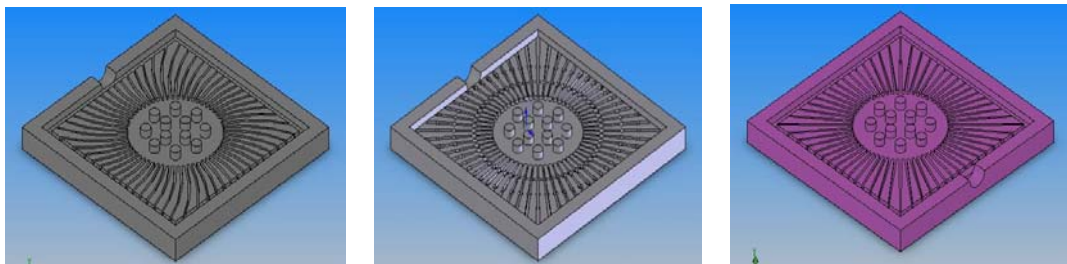
六、蒸氣擴散區 0.5 mm 的均熱片：

(二) 上均熱片：

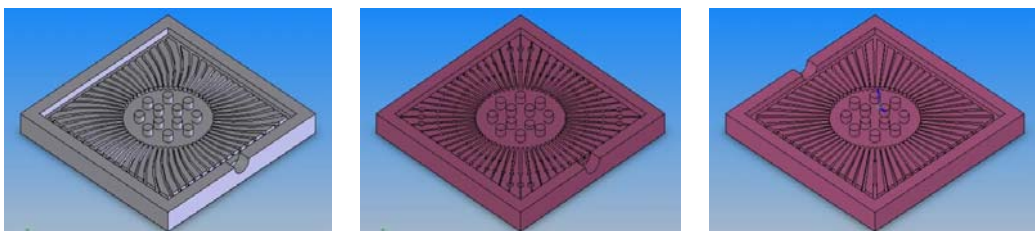
1. 溝槽數目可知增加至 60 條以上，增加毛吸力。
2. 溝槽內寬外窄的上均熱片：溝槽最長為 0.2mm。最寬為 0.4~0.6mm。深度為 0.5 mm。
3. 溝槽上方留有 0.5mm 的蒸氣擴散區。

(三) 下均熱片：

1. 溝槽數目可知增加至 60 條以上，增加毛吸力。
2. 溝槽內窄外寬的下均熱片：溝槽最長為 0.2mm。最寬為 0.4~0.6mm。深度為 0.5 mm。
3. 溝槽上方留有 0.5mm 的蒸氣擴散區。



(a) 上層的均熱片



(b) 下層的均熱片

圖 20 蒸氣擴散區 0.5mm 的 (a)上層的均熱片 (b)下層的均熱片

四、均熱片深度量測

蝕刻製作出良好的製品，且經由 3D 非接觸式量測儀器量測孔深變化（圖 21），目前蝕刻的要求銅片厚度有 2mm 與 3mm 兩種規格，因此單片蝕刻深度以 1mm 為主，已達到預定的深度，如圖 22 所示，後續再利用線切割作裁切與 bonding。



圖 21 3D 非接觸式量測儀器量

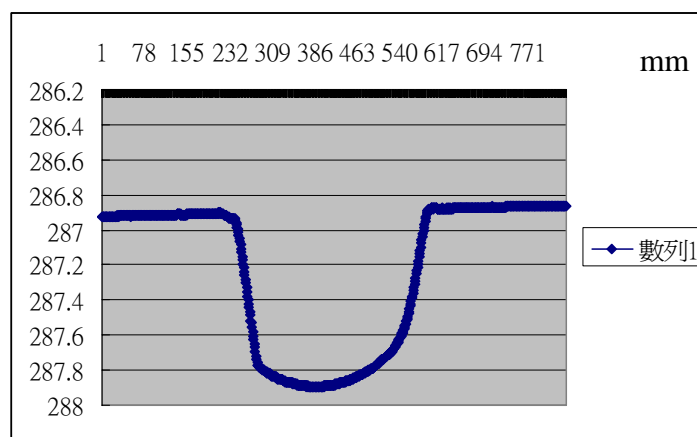


圖 22 銅塊蝕刻深度量測圖

五、結論

均熱片使用的銅塊在使用前一定要經過除鏽與磨平的動作，再經由去離子水將銅塊清洗乾淨，馬上放入烤箱以 70°C 烘烤、10 分鐘後空冷，隨後進行 spin coating 的動作。有機光阻 FMR-N900 在塗佈完成後需軟烤(90°C) 20min 左右。軟烤完成後靜置銅塊到室溫 20~22°C 後，使用平行曝光機曝光，曝光完成後使用有機顯影液將曝光完成的銅塊做顯影動作。顯影完成的銅塊需再次放進烤箱硬烤(110°C) 20 min 左右使其硬化，然後進行銅塊的濕式蝕刻。

銅塊的蝕刻時間在蝕刻長度 3.6 米的機台上，大約需一至兩小時的蝕刻時間才能達到深度 1mm，因此在長時間的蝕刻下，銅塊光阻保護非常重要，若是保護不良會導致壁的腐蝕，如此一來做 bonding 就會無法進行。

均熱片之試作，目前以圖形的設計與蝕刻為主要關鍵，設計良好且蝕刻均勻後，則可進行一連串的測試，在文章中可以得知，均熱片的製作有許多文章提到增加銅網、奈米流體、不同液體、與增加粗糙度或是增加銅表面的顆粒[8]等等來增加熱傳導速度與液體流動性[9,10]，因此在未來的均熱片 bonding 過程中有更多可以測試的發展空間，也在此研究過後，會陸續進行相關測試與研究，也希望在研究散熱這個領域中，除了學術上的研究外，更可以在業界中能夠有可以發展的空間，這是對未來的期許！

參考文獻

- [1] <http://www.intel.com/>
- [2] 伏和中，“散熱元件在電子產品應用及製造技術之發展”，機電元件之散熱系統研討會，民國 90 年 12 月，pp.148-71。
- [3] S. W. Kang, S. H. Tsai, H. C. Chen, “Fabrication and Test of Radial Grooved Micro Heat Pipes”, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, Issue 14, (2002), pp. 1559-1568.
- [4] 簡國祥，“金屬粉體在熱管（heat pipe）及平板熱管（vacuum chambers）之應用”，粉體材料在熱管理方面之原理與應用研討會，民國 93 年 5 月，1-1 - 1-46。

- [5] S. W. Kang, S. H. Tsai, M. H. Ko, “Metallic Micro Heat Pipe Heat Spreader Fabrication”, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, (2004), pp. 299–309.
- [6] A. Faghri, “Heat Pipe Science and Technology”, ISBN 1-56032-383-3, Taylor & Franics. (1995)
- [7] 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)。
- [8] 黃坤祥, ”Cu 粉之特性與燒結行為”, 粉體材料在熱管理方面之原理與應用研討會, 民國 93 年 5 月, 3-1 - 3-5。
- [9] 依日光譯著, “熱管技術理論實務”, 日本熱管技術協會編復漢出版社印行, (1990) 03~32。
- [10] 劉威聯, 鄒正德, “相變化導熱膠材配方及製程研究”, 中國材料科學學會 2003 年年會論文集 PF-010。

Design and Fabrication of Heat Spreaders

Yu-Tang Chen, Sheng-Hua Lee

Department of Mechanical Engineering, De Lin Institute of Technology