

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)—總計畫

Integral Research of Micro Cooler

計畫編號：NSC-90-2218-E-032-013

(第三年)執行期間：90年08月01日至91年07月31日

主持人：康尚文 協同主持人：杜文謙、楊龍杰

執行機構：淡江大學機械與機電工程學系

E-mail: david1@mail.tku.edu.tw

一、摘要

本整合計畫的第三年工作，在於進行第二年末提議：(1)利用既有的 MEMS 製程技術，研製微型迴路式熱管(Micro Loop Heat Pipe - MLHP)，測試其性能以及觀察相關現象的產生，並嘗試修改迴路架構，使整體系統更適用於微小化的結構，以及符合現有散熱需求的考量。(2)開發新型實驗室微晶片載台製作技術，由原先純粹的體型微細加工與晶片鍵合技術，改成在具有微感測器陣列的晶片上，加上以低溫面型加工技術製作微流道。(3)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。詳細的工作內涵包括：MLHP 之作動分析、新型實驗室微晶片、明膠與聚對二甲苯微流道低溫製程與壓力計陣列晶片、金屬微冷卻器之封裝測試等。本計畫成果將承接到下一期的智慧型微型冷卻器製程技術的開發。

二、微型迴路式熱管製程與作動分析

採用{100}的矽晶片，利用微機電製程技術製作 V 型溝槽的毛細微流道 MLHP，作出蒸發區、汽相流道、液相流道、冷凝區、補償室等元件於同一片晶圓上。再利用陽極鍵合將矽晶片與 7740 玻璃接合。如此便可觀察整體系統的運作機制，有利於理論的分析以

及最佳化的設計，如圖 1 所示，結合封裝後如圖 2 所示。

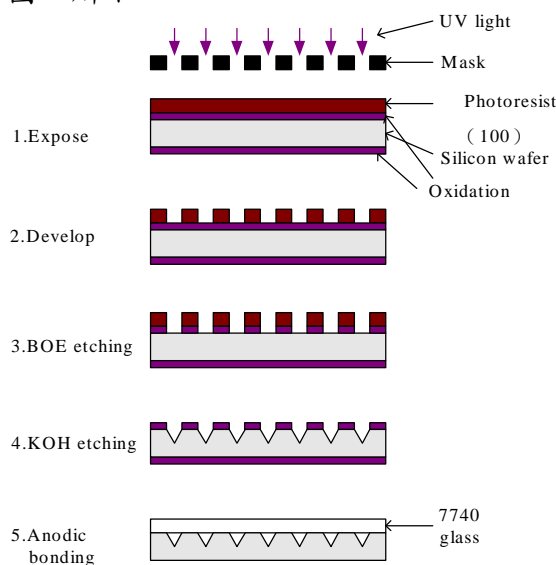


圖 1 MLHP 製作流程示意圖



圖 2 接合完成之 MLHP
(60mm× 33mm× 0.8mm)

本研究主要在探討迴路式熱管微小化並製作於同一平面上的可行性，由於國內外並沒有多少相關研究，因此本研究一開始最大的挑戰就是如何設計 MLHP 的結構外型。最後經試驗，發現製作 MLHP 於同一平面仍是可行的，但由於整片晶片會快速導熱，因此

必須將 MLHP 部分地方利用雙面蝕刻蝕穿，並作絕熱處理，同時因為所製作的 MLHP 其毛細結構採用微流道方式設計，而微流道本身材質是矽質結構，所以熱傳導率很好，因此會產生過多的熱洩漏於補償室裡，因此更改傳統設計理念，將冷卻器直接置於補償室下作冷卻，並將汽相流道與液相流道直接連接，補償室內的液體就能保持一定的過冷度，使整個系統能夠作動。

三、微實驗室晶片系統架構

以明膠(gelatin)當微結構犧牲層(sacrificial layer)，聚對二甲苯(parylene)為結構層的製作概念(如圖 3 所示)。使用添加感光性物質(如重鉻酸鉀)的明膠，成為類似負光阻(negative resist)的可塗佈膏材，透過曝光顯影的方式定義出微結構模型；或以定義過外形的光阻做遮罩層，讓未受光阻遮掩部份的明膠與產生交聯(cross-linking)，再分別以熱水及丙酮溶除未交聯的明膠與光阻，留下明膠的微結構，最後再將苯二甲基或環氧樹脂(epoxy)等結構層材料，直接覆蓋於明膠微結構上，並預留洞口，作為蛋白酵素(protease enzyme)溶除明膠犧牲層的進出口，待蛋白酶將明膠完全溶除後，即可取得以聚對二甲苯或環氧樹脂為結構製成的元件。由於此法製作完全可在室溫下進行，無須考慮體型加工晶片鍵合而帶來的許多問題，也可避免傳統面型加工耗時及複雜的製程，或動輒必須使用昂貴的機器(如 LPCVD)，因此非常適合應用於感測器微細加工後段的製程上。

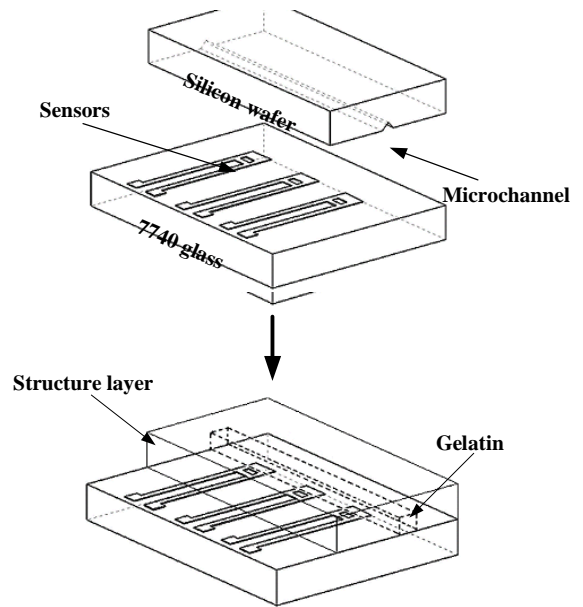


圖 3 以明膠犧牲層配合高分子結構材料直接製作微流道的方式，取代需要晶片鍵合(wafer bonding)之矽質體型加工法。體型微細加工法仍可以用於微實驗室晶片之感測器陣列的製作。

四、明膠材質的基本特性與實驗

明膠吸放熱時所產生的熱流變化與時間及溫度的函數關係，進而取得明膠的熔點，如圖 4 所示。

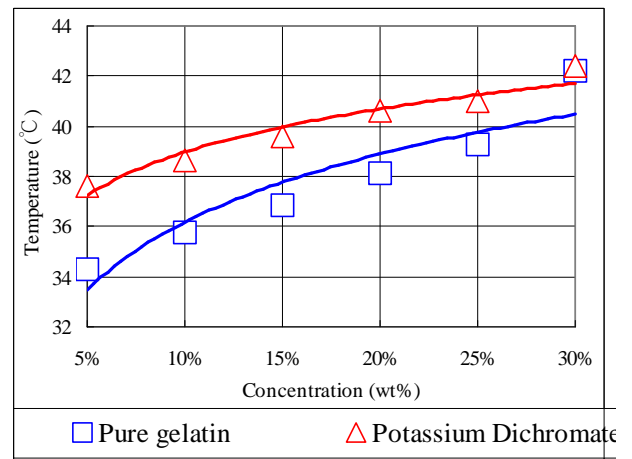


圖 4 純明膠與重鉻酸鉀明膠熔點分佈圖。

圖 5 為明膠薄膜厚度與濃度、塗佈轉速之關係，顯示明膠薄膜的厚度，以指數函數(exponential)的形式，隨濃度增加或隨塗佈轉

速而減少。圖 6 對於不同線寬的明膠微結構，長期監測其吸收大氣環境中水氣的厚度腫脹改變。

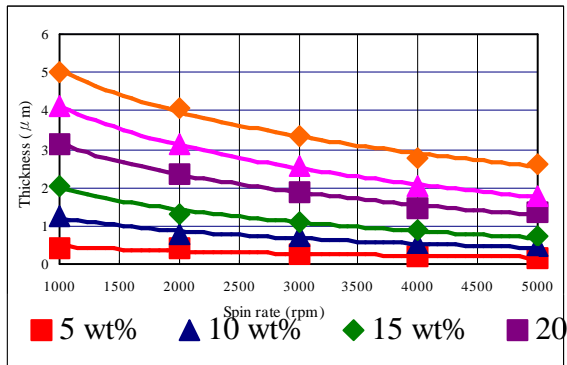


圖 5 明膠薄膜厚度與濃度、塗佈轉速之關係。

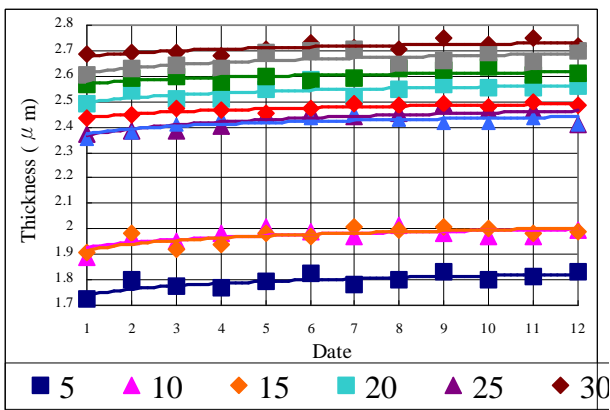


圖 6 濃度 20 wt% 的明膠微結構隨日期之厚度變化(5~50 μm 代表不同之圖形線寬。)

五、明膠結構層與光阻犧牲層的微流道製作

圖 7 是丙酮掏空明膠微結構內光阻犧牲層的照片，顯示在 90 分鐘時，已幾乎將 25 微米寬、1 公分長的犧牲層光阻完全溶除。

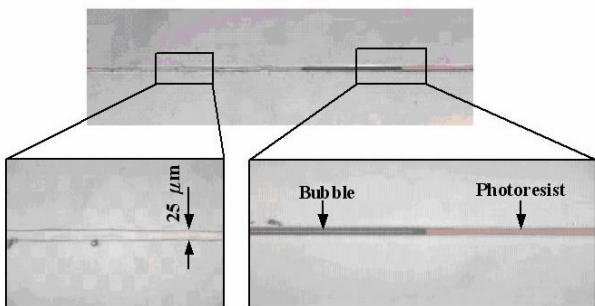


圖 7 丙酮溶除明膠結構層內光阻犧牲層的情形

六、Parylene 結構層與明膠犧牲層的微流道製作

圖 8 係以苯二甲基為結構層，明膠當犧牲層而製作的微流道，流道長度為 2 cm，兩端進出口為 1 mm² 的方形洞口，並已事先利用離子蝕刻機，將其上結構層去除，以做為蛋白酶溶除明膠犧牲層的進出口。微流道寬度為 15 微米，長 1 cm。

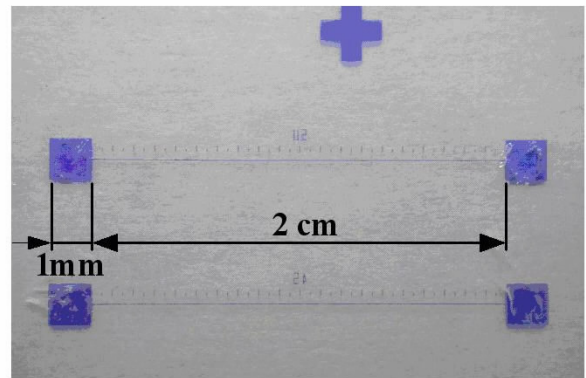


圖 8 由聚對二甲苯結構層與明膠犧牲層製作之微流道。

七、壓阻式壓力感測陣列晶片的製作

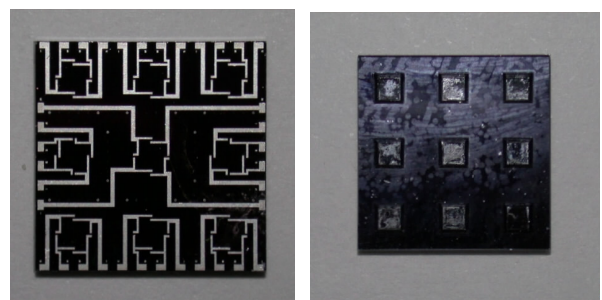


圖 9 壓阻式 3×3 壓力感測陣列晶片的實品：左圖是正面，右圖是背面，全尺寸為 1.2cm 見方，每一個壓力量測用薄膜結構面積為 1.6mm 見方。

八、白金溫度感測電極在液體中失效的問題

圖 10 為進行微流道灌入液體量測溫度，或進行電驅動時所使用之儀器項目一覽，包括 PMMA 工作平台、針筒泵 (syringe)

pump)，含 50CC 針筒、IMC 數據擷取系統，具 16 組量測點之資料擷取功能、PC 個人電腦、直流電源供應器 (DC Power supply)、HP 多功能電表等。

白金薄膜溫度感測器陣列之阻值起初是利用擷取器 (擷取器 IMC. SPARTAN-L；具 16 組數位輸出，以 12 組作溫度感測輸出，另以外加 thermocouples 作為標準參考溫度)，但擷取器原理採用定電流源 (0.625 mA) 輸入，串聯每 4 顆電阻為一單位，再讀取每節點陣列感測器之兩端電壓值，作為感測器的訊號輸出。當將 4 顆感測器串聯時，其總電阻高達原先單一電阻之四倍 (就單一電阻 2.5K Ω 而言，四顆串聯總值為 10K Ω)，而擷取器為提供穩定之定電流輸入，必須提高端電壓的輸入。而過大電壓則往往造成第一顆 Pt 感測器的燒毀 (每顆感測器端電壓約高達 2.2V)，如圖 11 白金溫度感測薄膜扭曲情況。原因在於薄膜電極遇水會有電極水電解破壞、局部 pH 值造成 (黏著層) 鉻電極遭腐蝕脫層等問題發生。

為避免上述過大電壓對感測器造成損壞，計畫中除了一方面改採 HP 多功用電表，對感測器只施加端電壓 0.2V，而直接量取阻值之外，並採用量到即放開 (off) 之方式，以避免感測器因長時間通電狀況下而產生自我加熱 (self-heating) 的雜訊，並且減少電解水的可能的作用時間。



圖 10 使用儀器一覽

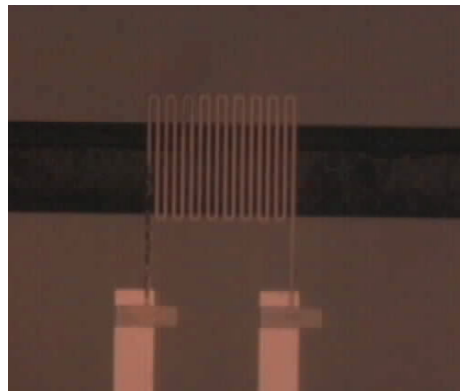


圖 11 白金溫度感測薄膜損毀情況，微流道晶片係將矽質流道與玻璃以 AB 膠黏合後進行實測。雖然有上述預防電極變質的措施，許多 Pt 溫度感測子仍在長時間溫度校正之後，紛紛告失效，顯然將感測 Pt 電極暴露於液體中，有極嚴重的環境破壞因素，在本計畫中暫無法解決。若能夠塗佈一層微米以內的電性隔絕材質，例如 parylene 或 gelatin，則有機會在不嚴重影響溫度訊息量測的同時，仍穩當保護住感測電極材料。

九、微熱管均熱片設計與製造

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 \times 31mm \times 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，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，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 12、圖 13 所示。

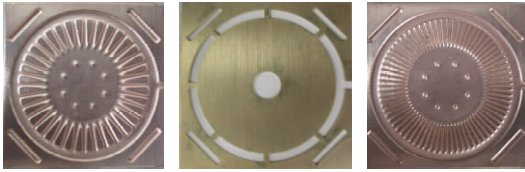


圖 12 溝槽式微熱管均熱片之各層實體圖
(左)汽相；(中)隔板；(右)液相



圖 13 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，便以擴散接合技術完成三層結構層的接合，圖 14 為微熱管均熱片接合、充填完成後的成品實體圖。

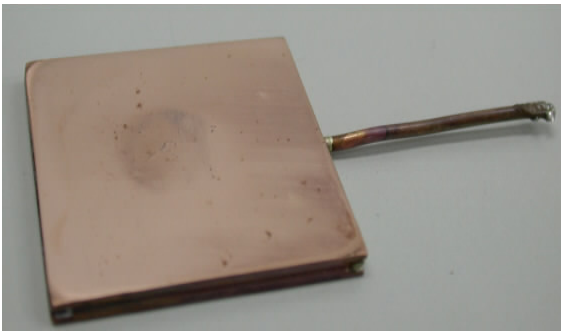


圖 14 微熱管均熱片成品實體圖

十、未來研究展望

：
在壓力感測陣列晶片上直接製作現地溫度感測器以及與低溫面型加工微流道製程之整合，應用於微型迴路式熱管與微熱管均熱片等微冷卻器上。

論文發表成果：

1. Shung-Wen Kang and Derlin Huang, 2002, Fabrication of Star Grooves and Rhombus Grooves Micro Heat Pipe(星形與菱形流道微熱管之研製), Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, No. 5, pp 525-531.
2. Shung-Wen Kang, Sheng-Hong Tsai, and Hong-Chih Chen, 2002, Fabrication and Test of Radial Grooved Micro Heat Pipes(輻射狀流道微熱管之製造與測試), Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1559-1568.
3. Shung-Wen Kang, Yu-Tang Chen and Guang-Shang Chang, 2002, The Manufacture and test of (110) Orientated Silicon Based Micro Heat Exchanger((110)矽晶材料微型熱交換器製造與測試), Tamkang Journal of Science and Engineering.
4. Shung-Wen Kang, and W. C. Duh, 2002, Fabrication of Micro loop heat pipes(微型迴路式熱管之研製), Taiwan Nano & MEMS Conference.
5. Hsiarng Yang, Shung-Wen Kang(corresponding author), 2000, Improvement of Thickness Uniformity in Nickel Electroforming for the LIGA Process(x光深蝕刻鍍鍍性之改良), International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40, pp. 1065-1072.
6. Lung-Jieh Yang and Shung-Wen Kang, 2002, The SOI-like method to reduce the die size of bulk-micromachined sensors (縮小體型加工微型感測器尺寸之仿矽晶-絕緣體法), Sensors and Materials, Vol. 14, No. 1, pp. 23-34.
7. Ching-Shung Chen, Shung-Wen Kang, Wei-Jen Kuo, The Friction Characteristics of Gaseous Slip Flow in Microtubes (微圓管氣體滑動流之磨擦特性), 2001, Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 24, No. 5, pp.641-647.
8. 楊龍杰、康尚文、杜文謙，民國八十九年十月，微型流道熱沉與熱管之製作與實驗，台大工程學刊，第八十期，第 59-77 頁。