

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

微冷卻器之整合研究(1/3)—總計畫

Integral Research of Micro Cooler

計畫編號：NSC-89-2218-E-032-004

(第一年)執行期間：88年08月01日至89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：淡江大學機械工程學系

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

一、中文摘要

本計畫研發的微冷卻器包括 (i) 微流道熱沉 (Micro Channel Heat Sink; MCHS) 與 (ii) 微熱管均熱片 (Micro Heat Pipe Heat Spreader; MHP) 兩大部份，由於微冷卻器的研發包含了規格、功能、熱傳與流體溫度、壓力等基礎熱流分析及測試、金屬或半導體製程之蝕刻、矽-矽、矽-玻璃及矽-金屬接合等微細加工技術與真空充填封裝等技術，故需加以整合研究。

目前之初步成果中，在微流道熱散與微熱管均熱片的製作測試上，均已完成並且證明出兩者之優異效能；另外在溫度感測器與壓力感測器方面，製程條件、設計與相關製作技術均已有明確之方向。

關鍵詞：微冷卻器、微流道熱沉、微熱管均熱片、微細加工技術、溫度感測器、壓力感測器

Abstract:

The research includes three sub-projects to integrate the technologies of thermal fluid analysis, micro fabrication, packaging and testing for the development of micro coolers. The micro cooler includes micro channel heat sink and micro heat pipe heat spreader.

The work will be performed in this proposal includes: Analysis the influence of each major components on the performance of the system by using analytical and experimental methods. Manufacture micro structures by bulk micromachining, metal evaporation, and anodic etching techniques. Integrate temperature and pressure sensors into micro channel and micro heat pipe. Develop packaging technologies, include, diffusion bonding, anodic bonding. Establish

the performance testing system for the micro coolers.

Keywords:

micro cooler, micro channel heat sink, micro heat pipe, bulk micro machining, temperature sensor, pressure sensor

二、緣由與目的

由於最近在電子、機械與其他相關工業所發展出來的微細精密製造技術，使得我們可以製造出微米，甚至次微米的零件和結構。微細精密製造方法，使機械加工範圍縮到微觀的微米大小，利用光微影、蝕刻、微放電加工、鑽石刀加工和離子束加工等方法可以製造出任憑人類想像的微型結構如微型感應器、微型馬達、微型冷卻器、微型機械人等，可應用於汽車工業、航太工業、民生工業、生物醫學與國防工業等，據估計，與微細精密製造有關工業的產值，將可媲美現今的半導體工業 [1][2]。

微型冷卻器之發展緣由於解決高速積體電路之散熱問題，現已發展可實際應用於必須在小體積裡有極高熱通量的領域上，例如：電子零件冷卻與航太工業等。CPU 的消耗功率將由 1998 年的 70W 上升至 2000 年的 100W，而以現有個人電腦 Pentium 同等級之一組熱沉及小型風扇之強制空氣冷卻的方式最多約可處理 60W 之微處理器功率消耗，所以現有以強制空氣冷卻為主之微處理器散熱技術已達瓶頸，需仰賴新一代以微細加工技術開發之微冷卻器來解決之。

個人電腦市場在電子產業中佔有相

當大的比例，根據估計，至公元 2000 年個人電腦市場的規模可超過 1 億 1 仟萬台，僅就個人電腦之微處理器而言，其全球市場總值將超過 20 億美金，因此研發體小質輕且高效率之電子冷卻技術已成為電子產業升級發展中重要課題[3]。

承上所述，結合微熱管高熱輸送能力與微流道熱沉優異之熱通量性質，我們將微流道熱沉作為微熱管凝結區之吸熱源，不僅兩者性能極佳，並且兩者皆為微米尺寸，正符合微冷卻器（Micro Cooler）系統所需求。

三、研究方法與成果

本計畫整合了半導體光微影蝕刻製程、接合製程、感應器電路設計製程，以矽晶片製作微冷卻器，研究方法之詳細內容，請參閱各子計畫所述。

在目前獲得之成果方面，利用非等向性蝕刻與靜電接合製作之三角形流道微熱管，已依進度完成製作、接合與充填封裝等製程；而在性能測試方面，利用溫度擷取裝置與真空系統成功組裝成一微熱管量測系統，其主要功用在於量測溫度梯度，用以計算實際熱傳導係數。

除了三角形微熱管，第二年計畫之改良型平板式微熱管亦已進入製作程序，如圖 1 所示，待接合技術之相關參數取得後，即可進行後續相關製程與測試，此外，為增加毛細作用力所設計之新流道構型微熱管（星形流道），如圖 2，亦已完成光罩製作與部份之蝕刻製程。

在微流道熱沉的製作上，利用矽晶片作為基材，經半導體製程中的濕蝕刻加工，再利用靜電接合封裝而成，如圖 3。在微流道中，流道幾何形狀、水力直徑、工作流體性質、流量等因素顯著的影響流路特性與熱傳，使得雷諾數的變化不同於一般管路。同時，通過微流道的層流熱傳係數高於流過大型管路的紊流熱傳係數，而相變化時更有急遽陡昇的現象。

在溫度感測器的製作方面，微流道熱沉內溫度之變化係以白金為感測核心，運用白金之正阻值溫度係數（Positive

Temperature Coefficient of Resistance, PTCR）特性進行溫度量測，當白金感測核心之阻值-溫度關係曲線完成趨勢分析後，配合量測系統所測得的白金感測核心電阻值，運用完成分析且近乎線性之阻值-溫度關係式，即可得知微流道內溫度分佈特性。首先，必須將白金薄膜溫度感測器以陣列方式製作於玻璃基材上，白金薄膜溫度感測器之製作可採用兩種方式：（1）金屬薄膜鍍著製程與濕蝕刻術，（2）金屬剝離法（Lift-off）。以靜電接合技術將具白金薄膜溫度感測器之玻璃基材與矽質微流道熱沉接合，最後與量測系統整合完成微流道內溫度分佈之研究，圖 4 為已完成之白金感測核心照片。

壓力感測器研發上，目前已成功將壓力計尺寸縮小為 1.0 mm×0.8mm×0.6mm，此外，為配合計畫中整合之壓力量測，如圖 5，更於此壓力感測器製程上做局部修改，如圖 6，除光罩設計、製程條件、薄膜厚度控制外，整體壓力計與流道相對位置的確定，更是微流道壓力即時監控考量的重點，此部分雖為第二年計畫，但是其預備進度仍是第一年中研究之重點項目。目前已完成壓力計光罩改良設計、製程條件的確立、相關資料彙整，而重要的薄膜厚度控制實驗持續進行中，藉以確定低摻雜 n 停止蝕刻的方法[4]，能準確地控制壓力計上壓力感測薄膜厚度。此外，製程中深度尺[5][6][7]的設計，除了提供壓力計薄膜厚度監控的功能外(6~20 μ m)，更可用以量測非等向性蝕刻液 KOH 的蝕刻速率，以作為計畫中其他需利用等向性蝕刻液的製程上，時間控制有所依據。

四、結果討論

微熱管的性能表現方面，在以甲醇為工作流體，充填 70% 工作液體的條件下，當輸入熱量在 0.1W 至 1.5W 之間時誤差極大，我們不予討論。而 2.5W 至 6W 是熱管之作動區間，此時蒸發區溫度分佈在 35-80 $^{\circ}$ C，相較微熱管發生燒乾時，其熱傳導係數大約提昇 4%。輸入 6.237W 時，肉眼觀察蒸發區發生燒乾現象，此時蒸發區

溫度 84.1 度，隨著輸入熱量繼續增加，燒乾區域也愈來愈長，熱傳導係數也隨之降低，如圖 7。在圖 7 中，放入無微熱管結構之矽晶片比較其差異，而由實驗結果可得，此微熱管結構可將矽晶片之熱傳導係數，由原本的 153W/mK 提高至 208W/mK，確切地證明了微熱管結構的熱傳效益及其未來之發展性。

微流道熱沉的研究結果與文獻中 Peng & Wang[8]的結論相當一致。初步的實驗結果得到下列結論：圖 8 為熱通量與流體出口溫度的關係，可以發現在八種不同組合的測試結果中，流量為影響熱通量的最大因素。No.1-4 與 No.5-8 為兩組不同的流量，流量大時可以得到較高的熱通量。當流體出口溫度到達相變化所需溫度時，八組測試結果其熱通量皆有急速上升的情形，顯示出此時微流道熱沉可藉由潛熱 (Latent Heat) 帶走極大的熱量。圖 9 為熱對流係數與流體出口溫度的關係，可看出在單相流區熱對流係數與出口溫度無關，而相變化區伴隨著出口溫度些微的變動，且熱對流係數則有急速增加的傾向，乃因相變化時流體增加擾動的緣故。圖 10 所示為進出口壓力降與流體出口溫度的關係，在單相流區域方面，由於工作流體溫度的增加，使得其黏度下降導致壓力降有些微下降的趨勢。而當溫度到達相變化區時，由視流觀察中可看出流道入口處有沸騰現象產生，阻礙了流體流動而導致壓力降急遽上升；另一個原因是由於溫度升高導致流體體積膨脹而使流速變快，如此將導致流體所承受的剪力增加而使壓力降升高。另外，在視流觀察中發現，結果顯示出微流道中是否能夠生成汽泡除了流道水力直徑大小及加熱通量的原因外，更與流道內流體的流速及壓力有很大的關係，有足夠的空間卻可能因為流體流速與壓力的關係而無法生成汽泡。此點與文獻[9]中 Peng & Wang 所提出的論點“蒸發空間”有所差別，而相關論點及臨界成核水力直徑等問題需進一步的實驗觀察來加以定論。

目前，溫度感測器的製作已完成白金

薄膜感測核心及鋁導線之濕蝕刻參數、靜電接合參數、矽質微流道熱沉尺寸估算、凸角補償估算等，一旦薄膜代工製程獲得突破，即可立刻進行感測器之實體製作。

五、計畫成果自評

本計畫及相關子計畫目前除溫度感測器之製作方面，因受限於金屬薄膜代工之電子槍蒸鍍製程，而出現延遲情況外，幾乎均依原訂進度完成，甚至是以超越進度的情況進行中。本計畫的各個計畫間彼此相輔相成，不論在設計概念、製程技術，或是研究團隊彼此間的合作默契以及至今的研究經驗、成果，對於往後的後續研究，是極為珍貴重要的無形資源，此外，更可作為在微機電領域中從事研究的利器。

六、參考文獻

- [1] Technical document from microsystems laboratory, ITRI.
- [2] Technical document from Intel Corporation.
- [3] Technical document from Kryotech Inc.
- [4] W. Goepel, et al. (Ed.), Sensors - A Comprehensive Survey, Vol.1, Fundamentals and General Aspect (T. Grandke et al. Ed.), Chapters 5 and 14, VCH Publisher Inc., New York (1989).
- [5] L.J. Yang (楊龍杰), P.Z. Chang (張培仁), and C.C. Chiang (江振家), "The Application of V-Groove Slot-Array Method to the Piezoresistive Pressure Sensor", J. of the Chinese Institute of Engineers, v.20, n.3, pp.335-341 (1997).
- [6] 楊龍杰, "半導體微型加速度計及其相關技術之研究", 國立台灣大學應用力學研究所博士論文, 指導教授張培仁博士, 民國八十五年十二月
- [7] P.Z. Chang and L.J. Yang, "A Method Using V-Grooves to Monitor the Thickness of Silicon Membrane with μm Resolution", J. Micromech. Microeng., v.8, n.3, pp.182-187 (1998).
- [8] X. F. Peng, B. X. Wang, G. P. Peterson and H. B. Ma, "Experimental Investigation of Heat Transfer in Flat Plates with Rectangular Microchannels", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 38, No. 1, pp. 127-137, 1995
- [9] X. F. Peng, B. X. Wang, "Boiling Characteristics in Microchannels /Microstructures", The 11th Int. Symposium on Transport Phenomena, ISTP-11, No. 78, pp. 485-491, 1998

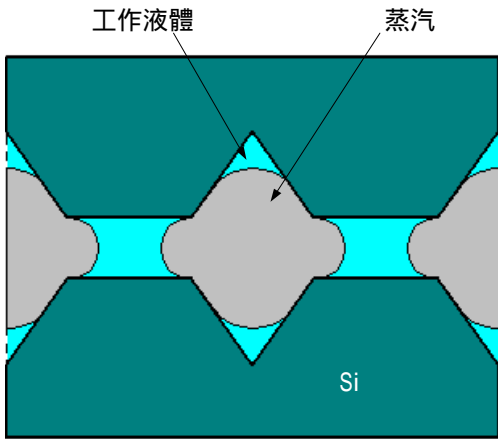


圖 1. 平板式微熱管作動示意圖

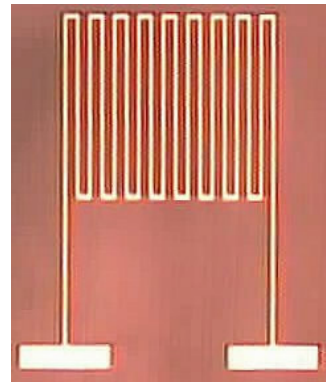


圖 4. 白金薄膜溫度感測器感測核心照片

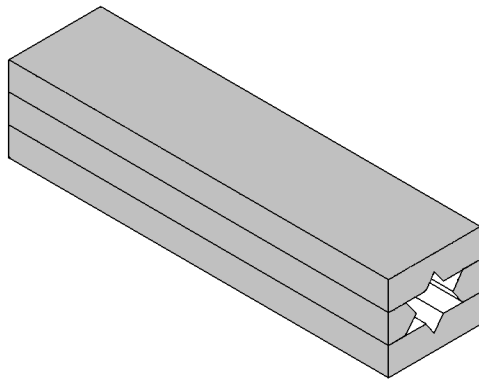


圖 2. 星狀流道微熱管示意圖

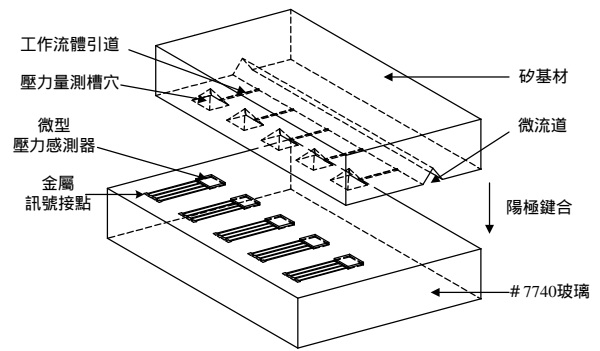


圖 5. 壓力感測器整合示意圖

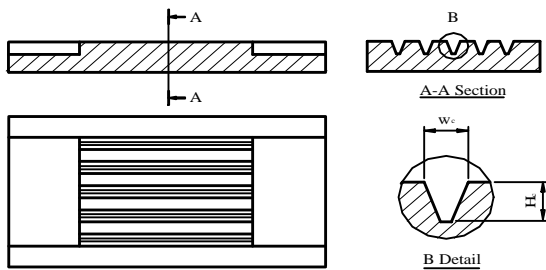


圖 3 微流道熱沉示意圖

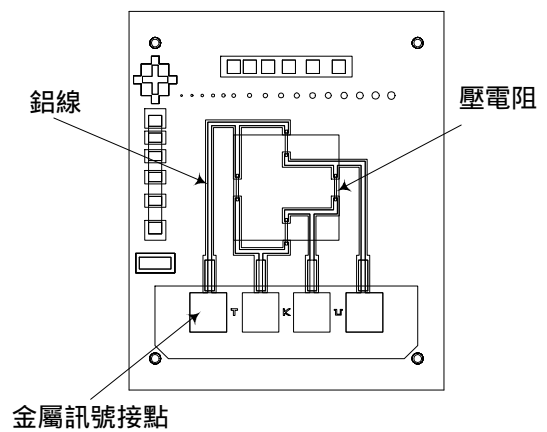


圖 6. 壓力感測器修改後之光罩組合圖

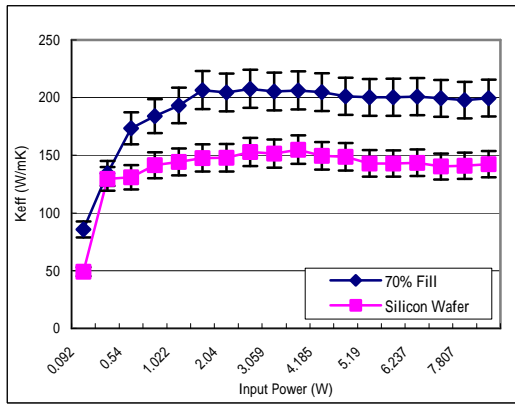


圖 7. K_{eff} vs. Power Input for Methanol 70% Fill MHP

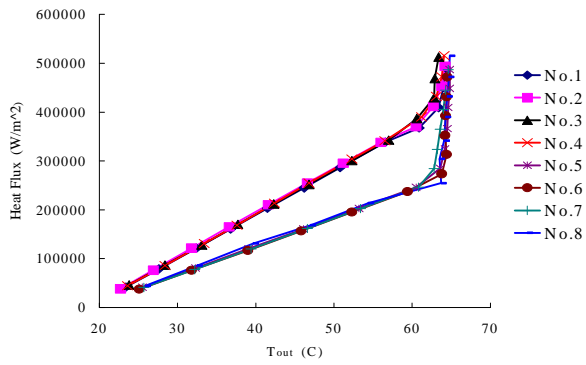


圖 8 熱通量與出口溫度關係圖

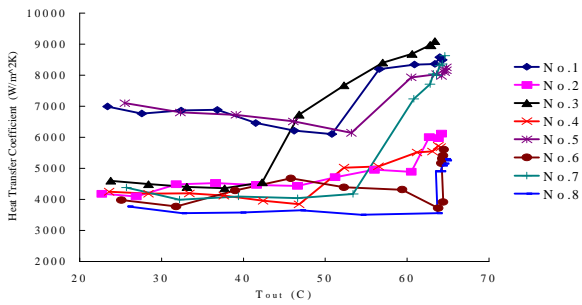


圖 9 熱對流係數與出口溫度關係圖

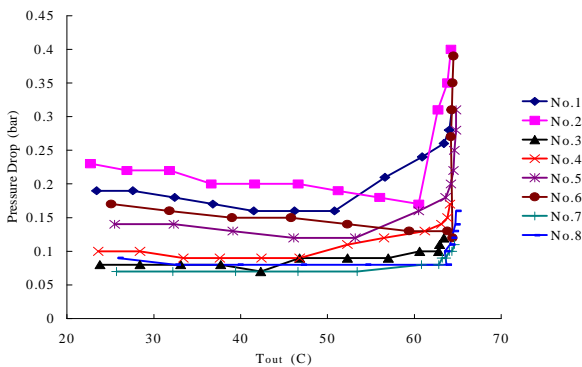


圖 10 壓力降與出口溫度關係圖