

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微冷卻器之封裝與測試技術研究

計畫編號：NSC 88-2218-E-032-003

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：康尚文 淡江大學機械工程學系

一、中文摘要

為了因應由於半導體積集化所引起的熱散問題，T. P. Cotter [1]於1984年第五屆國際熱管會議中提出了微熱管(Micro Heat Pipe, MHP)的概念。微熱管是一微小的熱輸送裝置，藉由相變化(Phase Change)極高的效能而將熱帶走。目前已有之相關研究多以數值方法，推導其熱輸送能力，在實驗與性能測試方面較為薄弱。因此，吾提出矽質微熱管之研製與測試，利用微細加工與靜電接合(Anodic Bonding)技術，與矽晶片封合而完成微熱管結構。

而性能測試方面，在微熱管之蒸發區黏貼加熱器，凝結區以方形銅管通冷水，在微熱管長度方向黏貼一與數據攫取系統連接之 K-type Thermocouple，使用 Fourier's Law 計算實際熱傳導係數作為其性能評價。此外，並對微熱管工作角度與熱傳導係數做實驗與深入之探討。可知，微熱管工作溫度範圍為 20°C 至 80°C，最大熱輸送能力為 6W，其實際熱傳導係數達 208W/mk，而在工作角度實驗上，微熱管並不會因角度而發生燒乾(Dry out)現象。
關鍵詞：微熱管、相變化、微細加工、靜電接合

Abstract

With the development of miniaturized and high power electronic devices in recent years, electronic heat dissipating apparatus have become important, and accordingly various models have been developed. Micro Heat Pipe, advanced initially by T. P. Cotter in 1984, is a micro heat transfer device designed to transfer heat by high-efficient phase change. Subsequently, most related research gauges numerical

analysis to deduce its heat dissipating capacity. However, it has been weak in experimental and capacity tests. In view of that, we posit fabrication and test of silicon micro heat pipe. Applying micro-fabrication and anodic bonding technique to complete the structure of a micro heat pipe.

In the capacity test, we glue heater on the evaporator section of the heat pipe, infuse cold water through a copper pipe in the condenser section, and paste a K-type thermocouple on the micro heat pipe in the direction of the length. Then we join the thermocouple to a data acquisition system and adopt Fourier's Law to calculate effective heat conductivity as capacity evaluation. In addition, we also deeply discuss and experiment on the working angle vs. effective heat conductivity of the micro heat pipe.

From experiments, we obtain that the working temperature of micro heat pipe ranges from 20°C to 80°C, the greatest dissipating capacity is 6 Watt, and the effective conductivity attains 208W/mk. There is no dry-out phenomenon of the micro heat pipe in any working angles.

Keywords: Micro Heat Pipe、Phase Change、Micro-Fabrication、Anodic Bonding

二、緣由與目的

由於半導體製程技術的進展，晶片的導線數一直在增加。為了要容納這些導線，封裝後之面積常是晶片面積的數倍。因此封裝表面的熱通量並非均勻的分佈，容易形成熱點(hot spot)，繼而因熱應力不均而導致晶片損壞。因此從封裝內部的熱傳導特性著手，來改善微處理器熱通量不均勻之缺點。其中均熱片的作用即在消除熱點，將晶片熱源均勻擴散於封裝表面上，再傳給與其接觸的熱散(heat sink)。目前最先進的均熱片為微熱管均熱片，由於熱管內的工作流體藉由相變化傳輸熱量，其熱傳效益是強制空冷的 50 倍，因此可得到

極高的熱傳導係數，進而達成均溫的效果。微熱管均熱片可取代封裝內之基板(substrate)，晶片直接接合在其下側。微熱管均熱片以較高的成本換取最高的熱傳導性能及最匹配的熱膨脹係數，其所增加的效益是較低操作溫度及損壞率，及相對地較高的微處理性能和結構可靠度。這些特點將隨著未來晶片熱通量的增加而益趨重要。

我國為筆記型電腦 (notebook) 的生產大國，各大電腦廠商皆面臨中央處理器過熱導致系統不穩之問題，目前解決方式是小型熱管配合強制空冷。藉著熱管是熱的超導體，在筆記型電腦有限的空間內，將熱導至機殼外緣，再與外界空氣進行熱交換。然而正當筆記型電腦掀起熱管散熱，國內熱管技術仍處於起步階段。有鑑於此，藉由微熱管之研究，一方面可切入熱管世界，另一方面能藉由此載具，探索微機電(Micro Electro Mechanical System, MEMS)領域之微妙。

三、實驗設計

(一) 製程與封裝

使用 100 單面拋光，直徑 100mm，阻值 100~150 ohm-cm、厚度 500~550 μ m、n-type 之矽晶片。利用非等向性蝕刻術 (An-isotropic etching)[2]，以 KOH 為蝕刻液，根據(100)矽晶片非等向性蝕刻特性，蝕刻會停止在 111 面上，而 100 與 111 面夾角為 54.7°。最後再以靜電接合技術將 7740 玻璃與矽晶片封合，而得一 54.7° 之等腰三角型微熱管剖面結構，完成結構如圖 1。圖 2. 為微熱管實體圖。

封裝設計上，注入工作液體之最佳裝置，是直接接至微熱管之儲存槽，由此注入而無任何其他真空管路空間。但實際上很難達成，於是注入裝置至微熱管之間的真空管路體積最小化，是微熱管充填工作液體最重要的一環。因此，真空管路設計上，接近真空幫浦管路使用 DN25KF 真空管路，因為較大的管路(直徑 25mm)，具有較高的抽真空效率，其他管路則使用較小的

DN16KF 管路。管路最後靠近微熱管僅有直徑 1mm，以 4mm 厚之矽質墊片(Silicon packaging)與微熱管緊貼，矽質墊片有一通路通往直徑 1mm 真空管路，如圖 3 所示。當真空度達 4.0×10^{-3} torr 以下，移動矽質墊片，切斷微熱管與真空管間通路，直接將注入器注入工作液體。注入工作液體時，注入之量可用肉眼觀察配合游標卡尺量測。

(二) 性能測試

一般熱管的性能評價，是以熱阻值大小 R_{th} (K/W) 來評斷，也就是蒸發區與凝結區的表面溫度差為 ΔT (K) 時，可以得到多少熱輸送量 Q (W)，如下式表成熱阻

$$R = \frac{\Delta T}{Q} \quad (\text{K/W})$$

此熱阻值愈小時，表示輸送熱量愈多。以筆記型電腦散熱來說，業界希望以較小的溫差，便可帶走大量的熱，而希望熱管其熱阻值在 0.1(K/W) 以下。

另一評判性能是以熱傳導係數之大小來評量，此熱傳導係數包括熱管本身容器、工作液體及毛細結構之熱阻。此方法使用 Fourier Law，如下式表示；

$$Q_{in} = K_{eff} A_{eff} \frac{\Delta T_{measured}}{L_{eff}}$$

根據上述兩種性能評價方法，並參考日本橫濱熱流實驗室(Thermal System Sec., Yokohama R&D Labs)[3]與熱管技術理論實務[4]。我們自行設計一微熱管量測系統，主要使用設備如下：

1. Omega OMB-1100 High Speed Scan Data Acquisition。
2. 個人電腦，Intel P-200MMX。
3. Omega Thermocouple K-type AWG-30。
4. IEEE488 傳輸與控制介面。
5. Alcatel 真空幫浦及數位真空計。
6. TempView 4.12 溫度量測與監視軟體。

此量測系統主要功用在於量測溫度梯度，用以計算實際熱傳導係數。為防止熱因空氣熱對流散失而增加實驗誤差，故將微熱管放置在一真空透明鐘罩(bell jar)內，進行各項性能測試。同時使用較小線徑之 Thermocouple，降低熱經由兩金屬線熱傳導而增加實驗誤差。蒸發區下方放置

加熱器，以 DC 電源供應器以控制加熱量。凝結端也於下放置方形銅管，銅管及加熱器皆塗上一層散熱膏，利用小型沉水馬達將恆溫槽的冷水打入方形銅管內，通過銅管的水再回到恆溫槽以保持固定溫度。

我們在微熱管之長度方向黏貼 8 個 Thermocouple，在蒸發區與凝結區底部各黏貼 2 個 Thermocouple，此 Thermocouple 用 Silicone Grease 黏至矽晶片上，由於 Silicone Grease 擁有較高之熱傳導係數且電阻值非常高，可以充分反應量測真實溫度。Thermocouple 接至一數據擷取機，經由 IEEE488 介面傳輸至個人電腦，監控各 Thermocouple 溫度變化與溫度場。如圖 4 為整體測試設備裝置示意圖。

我們充填 12%、24%、36% 及 70% 四種不同工作液體體積，以水平角度來進行測試比較。此外也把微熱管內抽真空，降低空氣在熱管內熱對流，且不充填任何工作液體，再將結果與各種充填體積對照。

實驗結果如圖 5、6、7、8，輸入 6.237W 以上時，充填 70% 甲醇燒乾時的現象，接近燒乾區有段較白區域，此現象我們判定是甲醇沸騰時，不斷地產生小氣泡所顯現的顏色，此區域表面溫度約在 80°C 至 90°C。藉由燒乾區的產生，可以判定，本文所設計之微熱管，其毛細限制約為 6W，工作溫度範圍 20°C 至 80°C。

四、總結與未來改進方向

在輸入較高熱(15W)，燒乾區欲已佔微熱管長度 50%，此結構並無任何洩漏狀況。因此，在設計光罩時，各熱管間距應再縮小以增加微熱管數量。

測試上，於真空室進行實驗確實有其必要性。從數據上顯示，在大氣環境下，蒸發區平均溫度較真空環境約低 2°C。充填 12%、24%、36% 及 70% 體積之甲醇，結果顯示出，充填量越高將擁有越高的熱傳導係數。在工作角度實驗得知，三角形尖角擁有良好毛細力，既使在最大正傾角，輸入接近毛細極限的熱量，亦無燒乾現象。

我們規劃未來改進方向如下：各微熱管

相互間距應再縮小至 50 μm 以下，以增加微熱管數量來提昇性能。微熱管管壁與微熱管內容器截面積顯然不成比例，應在薄膜成長前，先將晶片厚度磨薄至 200 μm 以下來進行測試。

本文之微熱管毛細限制約 6W，此時溫度約 80°C，而小型熱管作動溫度範圍為 20°C-160°C，顯然三個尖角所能運送的液體仍不足，應發展更多尖角型式之微熱管(微小軸向溝槽熱管，Micro Axial Groove Heat Pipe)。

微熱管之毛細結構，其沾濡性影響性能頗鉅，就以本文實驗來說，毛細結構表面僅有在室溫下所生成約 5Å 氧化成，僅能提供甲醇產生毛細力。針對此點，毛細結構表面材質上，吾人認為，有再需深入研究之必要。

五、參考文獻

- [1] T. P. Cotter, Principles and Prospects for Micro Heat Pipe, Proc. 5th Int. Heat Pipe Conf., Tsukuba, Japan, pp. 328-335, 1984
- [2] 矽晶材料之微型通道結構製造與測試 "The Manufacture and Test of Silicon Base Microchannel Structures", 洪宗裕, 淡江大學碩士論文, 1997
- [3] Kuniyoshi Sato, Yumiko Kasagi, Suemi Tanaka, Yuichi Kimura, and Junili Sotani, Micro Heat Pipe, Thermal System Sec., Yokohama R&D Labs
- [4] 熱管技術理論實務 (HEAT PIPE TECHNOLOGY), 日本熱管技術學會編著, 依日光譯

六、圖表

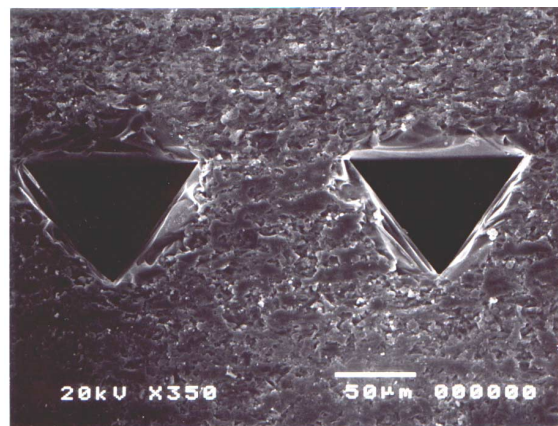


圖 1. 靜電接合後之微熱管斷面

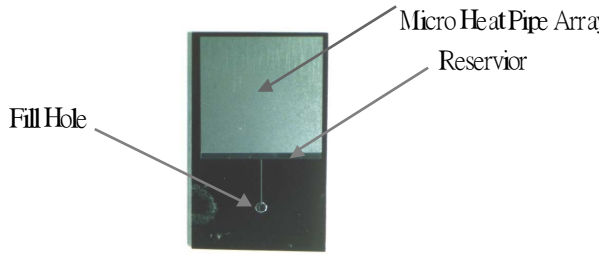


圖 2. 微熱管成品圖

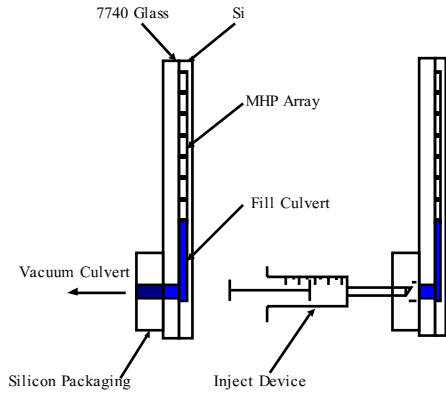


圖 3. 充填工作液體之示意圖

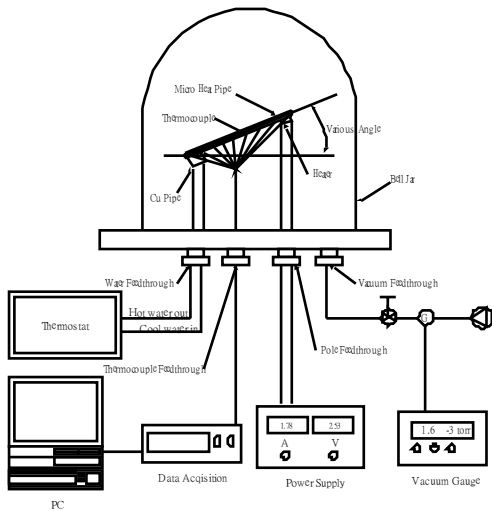


圖 4. 整體測試設備裝置示意圖

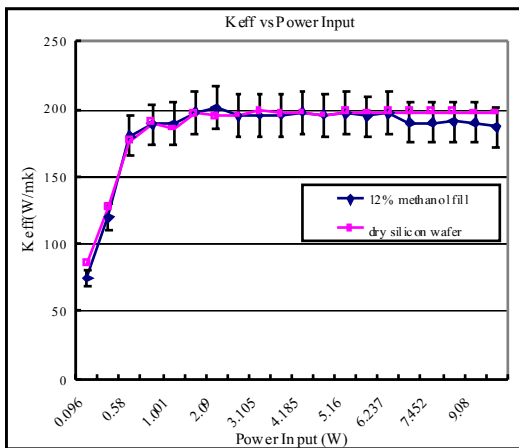


圖 5. K_{eff} vs. Power Input for Methanol 12% Fill MHP

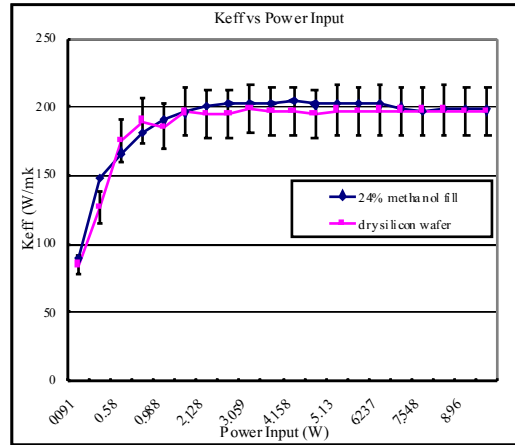


圖 6. K_{eff} vs. Power Input for Methanol 24% Fill MHP

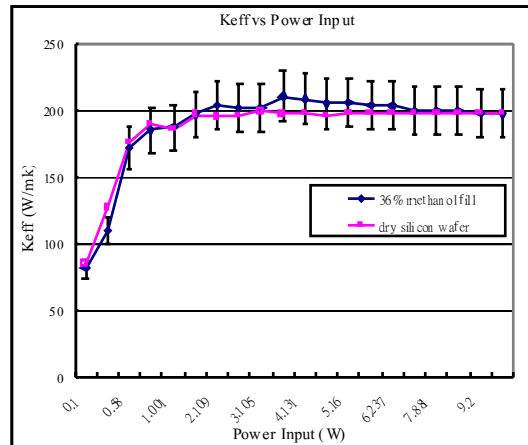


圖 7. K_{eff} vs. Power Input for Methanol 36% Fill MHP

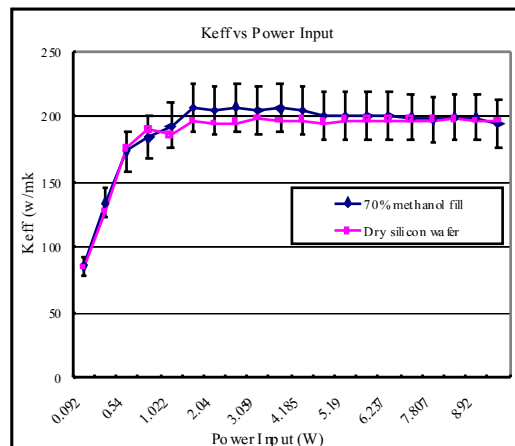


圖 8. K_{eff} vs. Power Input for Methanol 70% Fill MHP