

# 國立清華大學

## 碩士論文

### 新型蒸汽腔之設計參數測試

Parameter Tests for a Novel Vapor Chamber



系別:動力機械工程學系

組別:熱流組

學號姓名: 9633517 謝國俊 (Kuo-Chun Hsieh)

指導老師: 王訓忠 博士 (Dr. Shwin-Chung Wong)

中華民國九十八年七月

## 摘要

本研究針對一新型蒸汽腔(vapor chamber)進行不同設計參數之性能測試，此新型蒸汽腔利用平行溝槽取代上板毛細結構，因此在密封時毛細結構的連續性不會因此中斷，且平行溝槽能夠強化腔體結構，不需額外加入支撐物以減少加工難度，平行溝槽亦提供額外的路徑使工作流體回到蒸發區，並降低工作流體的流阻，提升蒸汽腔的熱傳極限。鰭片熱沉的底面積為  $100\text{mm}\times 89\text{mm}$ ，蒸汽腔內部腔體尺寸為  $100\text{mm}\times 80\text{mm}$ ，蒸汽腔底部中央處採  $21\text{mm}\times 21\text{mm}$  均勻受熱面模擬 CPU 熱源，並以風扇搭配鰭片熱沉作散熱。實驗參數包括上板溝槽尺寸、毛細結構組成、擺放角度、與工作流體。上板溝槽截面近似一正三角形，針對三種不同邊長之溝槽( $2.0\text{mm}$ 、 $1.6\text{mm}$ 、 $1.0\text{ mm}$ )分別測試其性能。結果顯示，溝槽邊長小至  $1.0\text{ mm}$  時仍能得到與較大邊長溝槽時相近的散熱性能；銅網/銅粉複合式毛細結構，在中低加熱量時具較低且較穩定的熱阻值，且乾化延至較大加熱量才發生；本研究並將蒸汽腔作水平、垂直與倒置擺放，在性能上三種擺放角度無顯著差異，僅垂直擺放時，毛細力需克服重力才能將工作流體自下方拉回蒸發區，導致乾化提早發生；利用丙酮作工作流體之蒸汽腔熱阻值明顯高於以水為工作流體者，並且在較低的熱負載下即發生乾化現象。

# 目錄

摘要

目錄

圖表目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機及目的.....	2
第二章 基本理論與文獻回顧.....	6
2.1 蒸汽腔的工作原理.....	6
2.1.1 密閉容器.....	6
2.1.2 毛細結構.....	6
2.1.3 工作流體.....	7
2.1.4 蒸汽腔之操作極限.....	7
2.2 文獻回顧.....	8
2.2.1 蒸汽腔之優點.....	8
2.2.2 蒸發與沸騰特性.....	9
2.2.3 毛細結構對性能之影響.....	10
2.2.4 複合式毛細結構.....	13

2.2.5	擺放角度對效能之影響.....	14
2.2.6	工作流體.....	15
第三章	實驗方法 .....	27
3.1	簡介.....	27
3.2	實驗配置與步驟.....	27
3.2.1	蒸汽腔.....	28
3.2.2	實驗設備.....	30
3.2.3	實驗步驟.....	32
3.2.4	熱阻計算之整理.....	34
第四章	實驗結果與討論 .....	41
4.1	總熱阻與熱沉熱阻.....	41
4.2	填充量對性能之影響 .....	42
4.3	W2.0 與 W1.6 溝槽之性能比較.....	43
4.4	W1.6 與 W1.0 溝槽之性能比較.....	43
4.5	蒸發區流道溝槽不相接的狀況 .....	44
4.6	鰭片溫度分布.....	45
4.7	毛細結構對蒸汽腔性能之影響 .....	46
4.7.1	不同網目毛細結構之比較 .....	46
4.7.2	網目毛細擺放方向之影響 .....	46

4.7.3 不同複合式毛細之性能比較 .....	46
4.8 不同加熱面積下之性能比較 .....	48
4.9 蒸發熱阻( $R_e$ )與冷凝熱阻( $R_c$ ) .....	49
4.10 擺放角度對蒸汽腔性能之影響 .....	50
4.11 丙酮工作流體.....	51
第五章 結論.....	68
參考文獻.....	70



## 圖表目錄

圖 1.1 蒸汽腔結構示意圖，(a)傳統式，(b)本新型 .....	5
表 2.1 複合式毛細結構搭配樣本[13].....	17
表 2.2 純水與丙酮於不同溫度下之 figure of merit 值.....	17
圖 2.1 Wong et al. [3]與 Thermacore Inc. [2]之蒸汽腔性能比較.....	18
圖 2.2 毛細厚度分析示意圖[9].....	18
圖 2.3 半月液膜示意圖.....	19
圖 2.4 半月膜對壁面溫度分佈之影響[7].....	19
圖 2.5 實驗配置示意圖[8].....	20
圖 2.6 針對燒結在加熱面上與否比較(a)熱通量與壁過熱度關係圖(b) 熱傳係數與熱通量關係圖[8].....	20
圖 2.7 針對相同尺寸毛細但不同厚度下比較(a)熱通量與壁過熱度關 係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[8].....	21
圖 2.8 針對相同厚度毛細但不同尺寸下比較(a)熱通量與壁過熱度關 係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[9].....	21
圖 2.9 針對相同厚度毛細但不同孔積率下比較(a)熱通量與壁過熱度 關係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[9].....	22
圖 2.10 蒸汽腔截面示意圖[10].....	22
圖 2.11 不同毛細厚度下比較熱傳係數與熱通量關係圖[11].....	23

圖 2.12 蒸汽腔各部份所形成之溫差[12].....	23
圖 2.13 不同複合式毛細結構熱阻圖[13].....	24
圖 2.14 (a)在底板增加垂直溝槽，並在溝槽內燒結上粉末，(b)底板俯視圖[14].....	24
圖 2.15 蒸汽腔放置角度對溫度分布之影響[15].....	25
圖 2.16 可作任何傾斜角度的實驗裝置圖[16].....	25
圖 2.17 工作流體適合操作之溫度範圍圖[17].....	26
圖 2.18(a)加熱表面積為 $1\text{cm}\times 1\text{cm}$ (b)加熱表面積為 $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ 下之熱阻值[15].....	26
表 3.1 丙酮與純水於 $20^{\circ}\text{C}$ 下之性質表.....	36
圖 3.1 蒸汽腔實驗配置示意圖 .....	37
圖 3.2 蒸汽腔測試圖 .....	37
圖 3.3 本研究之蒸汽腔結構剖面示意圖 .....	38
圖 3.4 本研究之蒸汽腔組合示意圖 .....	38
圖 3.5 上板平行流道之立體圖 .....	39
圖 3.6 底板口字槽幾何尺寸圖 .....	39
圖 3.7 填充系統示意圖 .....	40
圖 3.8 鰭片底面上熱電偶位置圖.....	40
表 4.1 不同網目毛細結構搭配之飽和水量.....	55

圖 4.1 三種不同邊長之三角形溝槽.....	56
圖 4.2 總熱阻、蒸汽腔熱阻與熱沉熱阻.....	56
圖 4.3 蒸汽腔熱阻值比較.....	57
圖 4.4 填充量對蒸汽腔熱阻之影響 .....	57
圖 4.5 W2.0 與 W1.6 於 100+4×200 目毛細下之蒸汽腔熱阻值.....	58
圖 4.6 W1.6 與 W1.0 於 100+2×200 目毛細下之蒸汽腔熱阻值.....	58
圖 4.7 上板流道破壞對蒸汽腔性能的影響.....	59
圖 4.8 鰭片底部溫度分布，(a) 溝槽邊長 $w=1.6\text{mm}$ , (b) 溝槽邊長 $w=1.0\text{mm}$ .....	60
圖 4.9 100+2×200 目毛細與 4×200 目毛細之性能比較.....	61
圖 4.10 銅網之不同擺放角度示意圖.....	61
圖 4.11 100+2×200 目毛細正放與斜放之性能比較.....	62
圖 4.12 不同形式的銅網/銅粉複合式毛細結構示意圖 .....	62
圖 4.13 不同形式的銅網/銅粉複合式毛細之性能比較.....	63
圖 4.14 不同加熱面積下本蒸汽腔之性能比較.....	64
圖 4.15 蒸氣腔之蒸發熱阻與冷凝熱阻.....	65
圖 4.16 蒸汽腔於不同擺放角度下之熱阻值 .....	65
圖 4.17 工作流體為丙酮之蒸汽腔熱阻值.....	66
圖 4.18 純水與丙酮作工作流體熱阻值之比較.....	66



圖 4.19 丙酮搭配銅網/銅粉複合式毛細之蒸汽腔性能.....	67
----------------------------------	----



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

隨著科技的進步，現今電子設備朝向多功能、高速率、小尺寸的發展，晶片在單位面積產生的熱量大幅提升，如何改善散熱的方法是現今必須面臨的一大課題。以當下 server 中 CPU 為例，其發熱量已超過 100W，如何有效將熱由小面積的 CPU 帶至環境中，冷卻技術則必須不斷的進步以提高散熱能力。

熱管(heat Pipe)是一種普遍被利用的高導熱裝置，主要結構為一空心圓管，內部放置毛細結構與工作流體。熱管主要可分為三大部分：蒸發區、冷凝區與絕熱區，工作流體在蒸發區受熱蒸發為汽相，藉由液體蒸發所需之潛熱將熱吸收，經過絕熱區至冷凝區冷凝成液相並將熱排至環境中，工作流體則利用毛細結構拉回蒸發區，持續進行連續的作用。由於熱管利用工作流體相變化來傳遞熱量，因此在極小的溫差下便可傳輸大量的熱，亦即其熱阻極小，因此被廣泛的利用於電腦與電子相關產品中。

由於熱管形狀為圓管形，與熱源或散熱裝置接觸面積極小，部分產品會將熱管壓平以增加其表面積，但卻導致操作性能降低，因此乃有平板式的蒸汽腔(vapor chamber)出現，蒸汽腔易於貼合晶片表面，

且具極為均溫的大散熱表面。

## 1.2 研究動機及目的

傳統蒸汽腔結構如圖 1(a)所示，為一密閉容器，上下內壁均密貼毛細結構，因蒸汽腔內部處於真空狀態，為防止變形，須在內部放置許多支撐柱，除能增強結構外也具有些許回水的功能。一般蒸汽腔在組裝過程及密封焊接容器時，毛細結構的連續性與清潔往往受到考驗，若是遭受污染，工作流體的循環因此受到阻礙，大為降低蒸汽腔的效能，而支撐柱的置放也增加製程複雜度。本研究利用 Wong et al. [3]所提出之新型蒸汽腔，如圖 1(b)所示，此設計中將傳統的上板毛細結構改用具有平行溝槽之上板，具有以下優點：

- (1) 結構簡單容易製造，可降低成本；
- (2) 上板溝槽兼具支撐功能，不需額外加入支撐柱，降低加工難度；
- (3) 上板溝槽流阻小於傳統蒸氣腔中之燒結粉或燒結網毛細結構者；
- (4) 平行溝槽同時提供了蒸發與冷凝路徑，可降低蒸氣腔的厚度；
- (5) 部分冷凝液可直接經溝槽壁流回蒸發區，減少回水距離；
- (6) 平行溝槽提供了較大的冷凝面積；
- (7) 上板溝槽直接壓於下板毛細結構，因此在不嚴格要求性能的情形下，多層網毛細結構亦可不需燒結於底板壁上。

Wong et al. [3]所使用蒸汽腔內部尺寸為  $78\text{mm} \times 64\text{mm}$ ，所搭配的鰭片熱沉底面積為  $83\text{mm} \times 69\text{mm}$ ，風扇邊長為  $7\text{cm}$ 。由於熱沉底面積較小，熱沉熱阻仍大，為了降低熱沉熱阻並可採用較低噪音的  $9\text{cm}$  風扇，擬改用  $100\text{mm} \times 89\text{mm}$  底面積的鰭片熱沉，因此本實驗將蒸氣腔內部尺寸擴大到  $100\text{mm} \times 80\text{mm}$ ，即可配合大底面積的鰭片熱沉。

現今產品開始走向輕巧薄型化，因此電腦內部所能容納散熱裝置之空間相對的縮小，所以愈薄、愈輕、愈可撓的散熱裝置較具競爭性。現今所使用之圓形熱管壓扁後之性能大幅降低，且厚度無法低於  $2.5\text{-}3\text{ mm}$ ；傳統蒸汽腔因內部需放入支撐柱且上下板皆需置入毛細結構，以致厚度很難小於  $3\text{ mm}$ 。本研究新型蒸汽腔之上板溝槽同時提供了強度支撐、蒸汽通道、與冷凝水回流路徑等多重功能，不需額外放入支撐柱且上板也無需毛細結構，因此厚度可大幅減少。

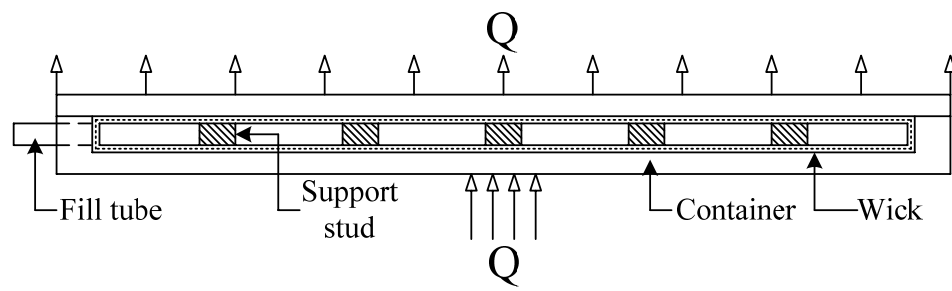
本研究的目的是為找出本新型蒸氣腔的最佳設計參數，測試工作包括：

1. 測試採用不同上板平行溝槽尺寸時的散熱性能，以作為評估最小蒸氣腔厚度的依據。
2. 比較不同燒結銅網組合與複合式毛細結構的散熱性能，作為選擇最適當毛細結構的依據。
3. 比較測試本新型蒸氣腔在水平正置、垂直放置、與水平倒置等三

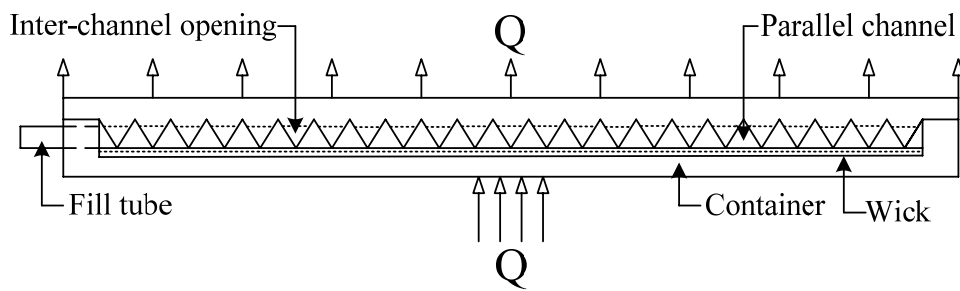
種可能實用狀況下的散熱性能。

4. 分別測試採用水與丙酮為工作流體時的散熱性能。丙酮可操作的溫度範圍比水更低，並可搭配鋁質蒸汽腔，故具有更低成本與重量更輕的潛力，雖然其流體特性如潛熱及毛細力均遠小於水，預期其性能不及於水，但實際性能仍有必要做測試。





(a)



(b)

圖 1.1 蒸汽腔結構示意圖，(a)傳統式，(b)本新型。



## 第二章 基本理論與文獻回顧

### 2.1 蒸汽腔的工作原理與結構

蒸汽腔主要包含三個構造：密閉容器(container)、毛細結構(wick structure)與工作流體(working fluid)。腔體透過抽真空的方式給予內部一低壓環境，因此通常會放置一些支撐柱提供抗壓性。運作原理為蒸發區與熱源接觸，熱藉由工作流體產生相變化所需吸收之潛熱帶走，因蒸發區蒸氣壓力較高，故蒸氣會因壓力差的關係流至冷凝區，在冷凝區透過熱沉將熱傳至環境，故蒸氣冷凝回液相並透過毛細結構與支撐柱將工作流體帶回蒸發部，如此進行連續的循環。

#### 2.1.1 密閉容器

密閉容器提供工作流體一真空的環境，並和外界進行熱交換，為了降低容器壁面的溫度梯度，因此盡可能降低壁厚，但又必須考慮到結構的強度，一般常用的密閉容器為金屬材料，除了具有較佳的強度也具有較高的熱傳導係數。本研究使用無氧紅銅作為密閉容器，因其具有極佳的熱傳導能力，而本研究使用之上板溝槽亦有強化結構的功能，因此內部不需額外加入支撐結構。

#### 2.1.2 毛細結構

毛細結構主要功能為提供工作流體之循環路徑，以及增強表面的蒸發現象。毛細結構主要種類有金屬網目、金屬粉末及溝槽等，燒結粉末具有最佳的毛細力，但其流阻最大；而溝槽的流阻較小，但毛細力卻較差，受重力影響程度較大。一般而言，毛細結構的毛細力與流阻呈相反的趨勢，理想的毛細結構是能提供較大的毛細力卻具較小的流阻。因此本實驗亦採用銅粉搭配銅網之複合式毛細結構，在蒸發區利用燒結銅粉增加蒸發表面積，其餘區域則利用較低流阻的燒結銅網將工作流體拉回蒸發區。

### 2.1.3 工作流體

工作流體的選用將考慮：(1)操作的溫度範圍，(2)密閉容器和毛細結構不產生化學反應。流體表面張力越大可提供較強的毛細力；潛熱大可提高熱傳極限；黏滯係數越小之工作流體在毛細結構中流動所受的流阻亦小。

### 2.1.4 蒸汽腔之操作極限

蒸汽腔之操作極限有毛細極限、沸騰極限、夾帶極限及音速極限，其中以毛細極限與沸騰極限較易發生：

1. 毛細極限：工作流體因毛細力不足或流阻過大，來不及回流至蒸發區，導致局部乾化或乾化的發生。



2. 沸騰極限：強烈的沸騰使氣泡急速增加，若氣泡阻塞於毛細結構中，將導致工作流體無法回流至蒸發區。

## 2.2 文獻回顧

本部份將針對蒸汽腔內部相變化特性、毛細結構種類、工作流體等類別，分別去對其相關文獻進行探討。

### 2.2.1 蒸汽腔之優點

蒸汽腔具有以下優點[1]：

- (1)熱傳極限大，
- (2)平板表面可直接與熱源密貼，
- (3)具較大且均溫的散熱面，
- (4)鰭片可直接與蒸汽腔接觸，減少接觸熱阻並提升鰭片的效能，
- (5)容許任意位置有多個加熱源但仍維持均溫，

在目前現有的文獻中以 Grubb [2]所引用 Therma-Base<sup>TM</sup>測得的效能為最佳者之一，其加熱面大小為 20mm×20mm，蒸氣腔大小約 93mm×67mm，厚度 5mm，輸入熱量 100W 時熱阻值為 0.06°C/W，當輸入熱量達 300W 時熱阻值低至 0.035°C/W。圖 2.1 為 Wong et al. [3] 與 Grubb [2] 之熱阻值的比較，新型蒸汽腔在低加熱量下的熱阻值較



Therma-Base<sup>TM</sup> 略高，但隨著加熱量增加熱阻值逐漸低於 Therma-Base<sup>TM</sup>，且加熱量高至 460W 時仍未發生乾化，相較之下，兩者熱阻值相近但新型蒸汽腔的熱傳極限高出許多。

Boukhanouf et al. [4]比較蒸汽腔和紅銅板擴散熱阻( $R_s$ )(註：擴散熱阻定義為蒸發面平均溫度和加熱面溫度的差值除上輸入熱量)之差異，採用蒸汽腔尺寸為 250mm×200mm×5mm，加熱面積 100mm×50mm，毛細結構為燒結銅粉並搭配水作為工作流體，利用紅外線攝影技術取得蒸發表面溫度，溫差皆在 3°C 以內，當熱通量達到 28W/cm<sup>2</sup> 時，蒸汽腔擴散熱阻值為 0.0007°C/W，大約是同尺寸紅銅板的 1/40，充份顯示出蒸汽腔具有較佳的熱擴散能力。

Chang et al. [5]指出蒸汽腔熱阻不受局部熱點影響，其利用銅塊與矽晶片作為加熱源，結果顯示蒸發熱阻值改變不大。文獻中修正了過去進行模擬時不考慮毛細中水位的變化，導致毛細水位不受熱通率影響，但實際情況會因輸入熱量變大而使液面降低，故其定義出有效毛細厚度( $\delta_{wick,eff}$ )進行修正，結果與實驗值相當吻合。Peterson and Li [9]利用質量守恆計算毛細厚度的變化，如圖 2.2 所示，毛細厚度會因熱通率增加而變低，加熱源附近之液膜最薄並往兩旁逐漸增高。

### 2.2.2 蒸發與沸騰特性

薄液膜蒸發與核沸騰為蒸汽腔主要熱傳機制。劉展宏[19]可視化

研究中發現，燒結之毛細結構與壁面間之過熱度不足，於其觀察下並無沸騰現象發生。因此薄液膜蒸發在本研究中為一重要之熱傳機制，薄膜蒸發熱傳主要是發生在半月膜與固體交界處，此處會形成極薄的液膜，並伴隨著強烈的蒸發熱傳。

Potash and Wayner [6]首先建構出微半月膜理論模型，如圖 2.3 所示，主要可分為五個區域：(1)平衡薄膜區，(2)蒸發薄膜區，(3)過渡區，(4)本體半月膜區，(5)主要液體區。超過 90% 熱量幾乎都藉由蒸發薄膜區、過渡區以及本體半月膜區傳遞，其中又以過渡區所傳遞的熱量最多。

Hohmann and Stephan [7]利用光學量測法去量測具液膜之加熱壁面溫度，結果如圖 2.4 所示。壁面溫度於微液膜區時突然下降，直到進入平衡薄膜區時溫度再度上升，此結果表示在微液膜區有較佳的熱傳效果。

### 2.2.3 毛細結構對性能之影響

Peterson et al. [8]提到毛細結構與壁面的接觸情形是影響性能的關鍵，因此其提出最佳的燒結過程，將毛細結構與底板一並進行燒結，通入 75% 氫氣與 25% 氮氣進行燒結，燒結溫度 1030°C 歷經兩個小時，除了能增強毛細結構彼此間的接觸情況，並能降低加熱面與毛細結構間之接觸熱阻，因此有效提升了熱傳係數與熱傳極限，實驗中

熱傳係數提升至  $245.5 \text{ kW/m}^2\text{K}$ ，熱傳極限達到  $367.9 \text{ W/cm}^2$ 。文獻中並指出毛細結構具有以下之功能：(1)透過液膜效應而降低壁面的熱通量，(2)毛細結構及壁面的接觸可以阻止蒸氣膜的成長，(3)增加成核址及蒸發面積，(4)透過毛細力增加流體回到加熱區的流量。

實驗配置如圖 2.5 所示，利用水槽來控制水位與毛細面達相同高度，並於玻璃上板加熱預防蒸氣冷凝在上方，銅塊加熱面積為  $8\text{mm} \times 8\text{mm}$ ，最上方之熱電偶 TC1 距離加熱表面僅  $0.5\text{mm}$ ，因此可將其視為加熱面溫度。針對毛細結構與壁面之關係，實驗主要分成三種毛細結構：(1)平面池沸騰、(2)燒結於加熱面上之毛細結構、(3)未燒結並直接壓於加熱面上之毛細結構。結果顯示如圖 2.6 所示，在相同熱通量下壁面過熱度  $(3) > (1) > (2)$ ，因未經燒結之毛細結構導致接觸熱阻變大，形成較高之壁面過熱度，因此壁面與毛細結構有良好的燒結情況，將大幅提升熱傳極限與熱傳係數。文中也提到毛細結構厚度對熱傳機制的影響，其利用相同目數但 4 種不同層數的銅網做比較，實驗結果如圖 2.7 所示。最薄厚度的毛細結構趨勢與其它厚度大不相同，因其厚度太薄造成水量難以控制，故不將其列入比較，結果顯示毛細結構越厚熱傳極限越高，因毛細截面積增加，提供了工作流體較多的回流路徑，使乾化現象不易發生；而熱傳係數卻不受毛細結構厚度的影響，雖然增加毛細厚度能使截面積增加，但暴露於表面的面積

不變，因此蒸發熱傳不受毛細厚度的影響。

Peterson et al. [9]主要探討網目尺寸與孔隙率對熱傳機制的影響，其利用具有相同厚度與孔隙率之三種不同網目大小的毛細結構進行實驗，結果如圖 2.8 所示，網目較小的毛細結構，具有較多蒸發表面積，故熱傳效果較好，但流阻較大較易發生乾化現象。為了了解孔隙率對熱傳性能之影響，其利用三種具有相似厚度但孔隙率不同之毛細結構，結果如圖 2.9 所示，孔隙率較低，能提高毛細結構之有效熱傳導係數，且具有較小的毛細半徑，因此熱傳極限較高。實驗結果顯示最大熱傳係數皆發生在熱傳極限前，此說明了即使發生局部乾化的現象，毛細作用仍不斷將工作流體往部分乾化外的區域輸送。

Wang and Peterson [10]指出蒸汽腔性能受到銅網目數與銅網層數影響，其建立內部含有平行支撐柱之蒸汽腔，結構如圖 2.10，上下毛細結構中利用平行支撐柱來支撐結構且具有毛細的作用，研究顯示適當尺寸下若平行支撐柱越高，即增加了蒸汽流動的面積，使流阻降低，因此提升了熱傳極限。操作之蒸汽腔尺寸為 152mm×25mm，以水作為工作流體，毛細結構分為 4 層 100 目燒結銅網與 6 層 200 目燒結銅網兩種，結果發現 6 層 200 目之毛細結構熱傳極限較高。銅網層數越多確實降低了流阻而使熱傳極限增加，但未必具有較好的熱傳效果，因其受限於表面之蒸發機制。Hanlon and Ma [11]文中指出較厚的



毛細結構具有較大的壁過熱度，蒸發熱傳係數較低，如圖 2.11 所示。

#### 2.2.4 複合式毛細結構

毛細結構可分成溝槽、金屬網目、金屬粉末三種，金屬網目的毛細力低於金屬粉末，但流阻卻較小，對於抵抗重力較溝槽來的佳；而溝槽的流阻極低，但毛細力卻不足。三種結構各有其優缺點，因此若將其進行搭配，可互補彼此的不足，但關鍵在於如何進行有效搭配。

Wang and Vafai [12]文中分析蒸汽腔內各部位所形成之溫差，包含壁面、蒸發與冷凝毛細結構及蒸汽區域，如圖 2.12 所示，結果顯示蒸發區毛細結構所形成的溫差最大，因此如何強化蒸發區之熱傳情況，將是影響蒸汽腔性能的關鍵。

Mochizuki et al. [13]利用銅粉與銅網作搭配，建立起三套毛細結構如表 2.1。樣本 1 為純燒結銅粉，樣本 2 與 3 是銅粉與銅網搭配之複合式毛細結構，其蒸發區為燒結銅粉尺寸為  $45\text{mm} \times 45\text{mm}$ ，蒸汽腔大小為  $126\text{mm} \times 79\text{mm} \times 20\text{mm}$ 。結果如圖 2.13 所示。樣本 1 毛細結構皆為燒結銅粉導致流阻太大，乾化現象較早發生。樣本 3 加熱區銅粉較細，有較低的熱阻值，但輸入瓦數到達  $125\text{W}$  時即發生乾化現象，表示較細的銅粉可形成較多蒸發表面積，但相對的卻產生極大的流阻，導致提早發生乾化現象，因此銅粉的尺寸也是影響性能的關鍵。樣本 2 有較低的熱阻值與較高的熱傳極限，適當的銅粉尺寸可提供較

多蒸發表面積，並搭配流阻較低之銅網，較易將冷凝端的工作流體帶回蒸發區，因此提升了熱傳極限。

Agata et al. [14]使用之蒸汽腔為銅質搭配水，毛細結構為燒結粉末，粉末粒徑為 100-150 $\mu\text{m}$ ，孔隙度 40-60%，厚度約 0.5mm，使用之加熱面尺寸 20mm $\times$ 20mm，測試加熱量上限為 100 瓦。實驗結果顯示在熱通量為 20W/cm<sup>2</sup> 時，蒸發熱阻約為 0.15 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；其亦提出了複合式毛細結構如圖 2.14 所示，建立垂直溝槽並於溝槽內部燒上燒結銅粉，熱阻值有效降至 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。文中提到降低銅粉大小可增加毛細力，但相對的導致流阻增加，因此如何平衡此二者之關係，將是影響蒸汽腔性能的關鍵。



### 2.2.5 擺放角度對效能之影響

在實際產品應用上，蒸汽腔有不同的擺放角度，因此本研究之蒸汽腔將作三種角度擺放，以量測其性能變化。Jeung [15]將其蒸汽腔作三種角度(平放 0 $^{\circ}$ 、垂直 90 $^{\circ}$ 、倒置 180 $^{\circ}$ )的擺放，結果如圖 2.15 所示。加熱量 80W 時，平放與倒置之總熱阻值差異不大；但垂直擺放熱阻值明顯較差，因毛細力必須克服重力才能將工作流體帶至蒸發區，因此較易發生乾化現象。

Kempers et al. [16]測試熱管在不同含水量下與傾斜角對熱傳極

限的影響，因此其建立一可作任何傾斜角度的實驗裝置如圖 2.16，熱管外徑為 9.53mm、內徑 6.22mm，總長 177.8mm，蒸發段長 50.8mm，冷凝段長 76mm 以水冷的方式進行冷卻，水溫控制在 20℃，熱管內部注水量分五種(50% 80% 100% 120% 150% 的飽和水量)。180°反轉與水平擺放，水量較多時熱傳極限較高；但垂直擺放，水量太多反而造成大量的水沉積於蒸發端，故熱傳極限較低。

## 2.2.6 工作流體

由圖 2.17 可得知，在室溫操作範圍下且可以來和銅搭配的工作流體主要有水、丙酮及甲醇。考慮熱管之工作流體散熱性能時會參考 figure of merit 因子[17]：

$$N_l = \frac{\rho_l \sigma \lambda}{\mu_l}$$

其中  $\rho_l$  為液體密度， $\sigma$  為表面張力， $\lambda$  為蒸發潛熱， $\mu_l$  為液體黏滯係數。因此有較高蒸發潛熱、較高表面張力、較高密度、及較低黏滯係數的流體較常被採用於熱管中。表 2.2 為純水與丙酮於不同溫度下之 figure of merit 因子值，純水之值高於丙酮五倍以上，因此其操作性能較佳，較常被使用作為工作流體。

Jeung [15]利用丙酮作為工作流體，金屬容器材質為鋁，尺寸為 83mm×69mm×3.5mm，毛細結構則是利用化學蝕刻製出微流道，尺寸



為  $46\text{mm} \times 46\text{mm} \times 0.11\text{mm}$ ，內部並放有支撐柱，並以鰭片底部作為蒸汽腔上板，降低了蒸汽腔與鰭片之接觸熱阻，結果如圖 2.18 所示，當加熱表面積為  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ ，熱通量達  $80\text{W}/\text{cm}^2$  時，蒸發熱阻為  $0.5\text{K}/\text{W}$ ；當加熱表面擴大至  $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ ，在加熱量  $140\text{W}$  時，蒸發熱阻則降低至  $0.25\text{K}/\text{W}$ 。Take et al.[18] 建立一滾壓式熱管(RBHP)，利用 R-134a 與 R-123 作為工作流體，結果顯示 R-134a 效能明顯較 R-123 高。



表 2.1 複合式毛細結構搭配樣本[13]

Sample NO.	Heating section	Other section
No.1 (Current)	#100 - Cu powder -1 layer (t 0.5mm)	#100 - Cu powder -1 layer (t 0.5mm)
No.2	#100 - Cu powder - 1 layer (t 0.5mm)	#200 - Mesh -2 layer (t 0.3mm)
No.3	#200 - Cu powder - 1 layer (t 0.3mm)	#200 - Mesh -2 layer (t 0.3mm)

表 2.2 純水與丙酮於不同溫度下之 figure of merit 值

figure of merit	20°C	30°C	40°C
$N_{water}$	$1.77 \times 10^5$	$2.15 \times 10^5$	$2.54 \times 10^5$
$N_{acetone}$	$3.19 \times 10^4$	$3.21 \times 10^4$	$3.24 \times 10^4$

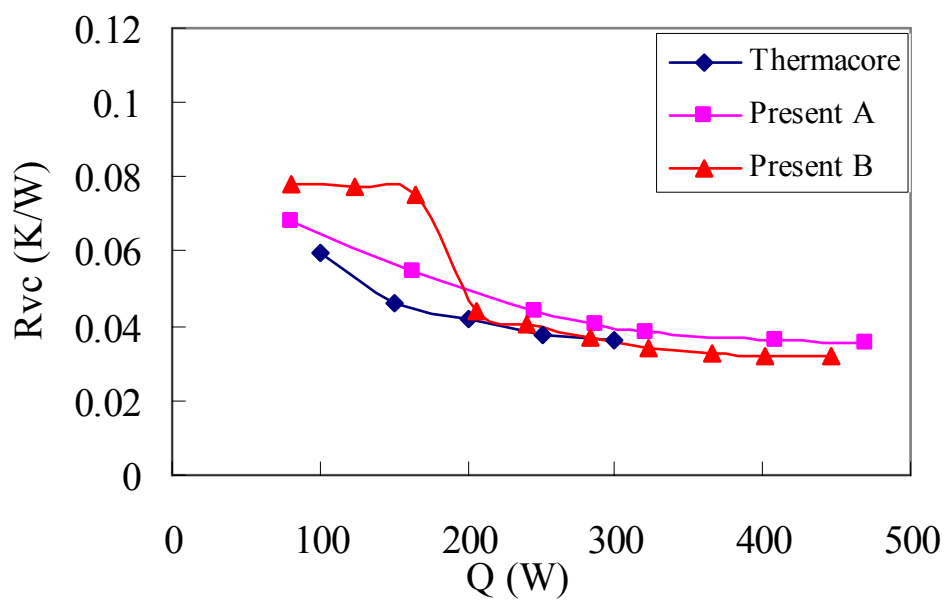


圖 2. 1 Wong et al. [3]與 Thermacore Inc. [2]之蒸汽腔性能比較

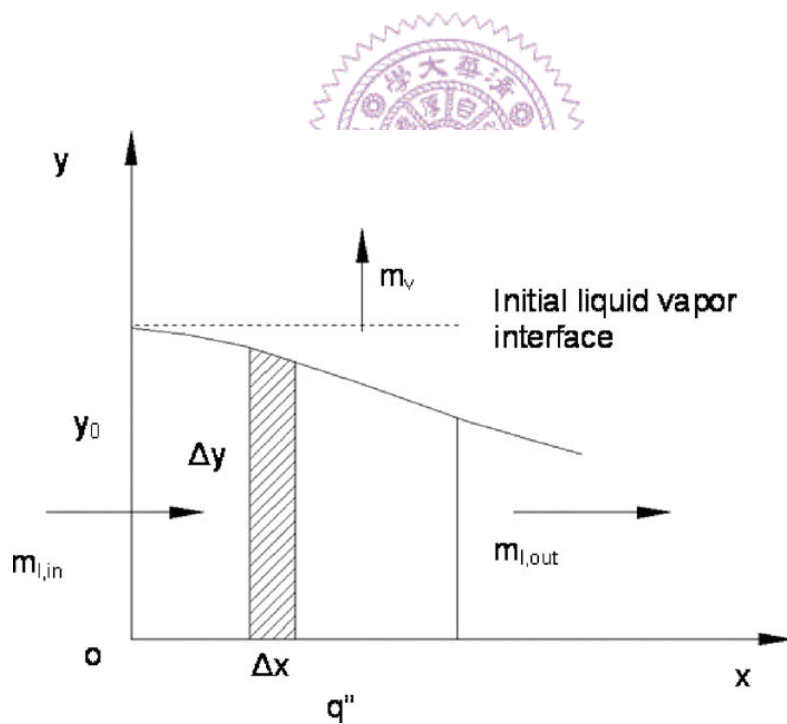


圖 2. 2 毛細厚度分析示意圖[9]

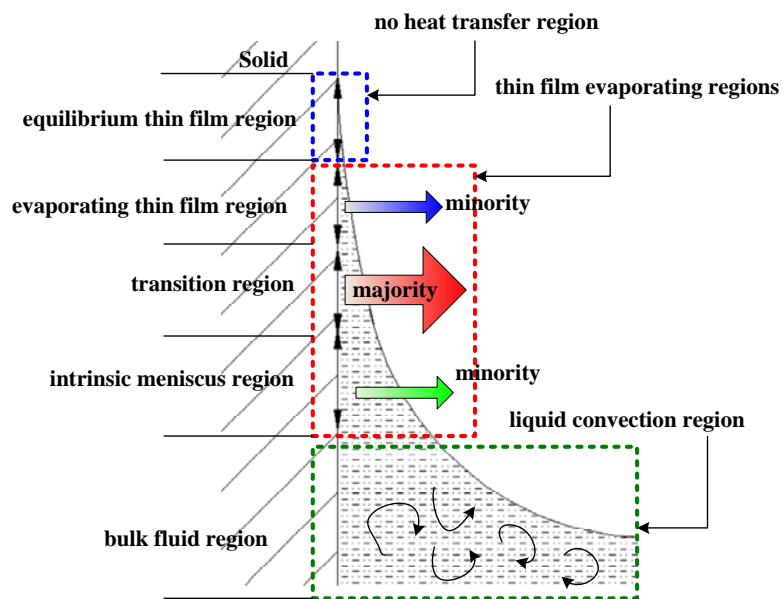


圖 2.3 半月液膜示意圖

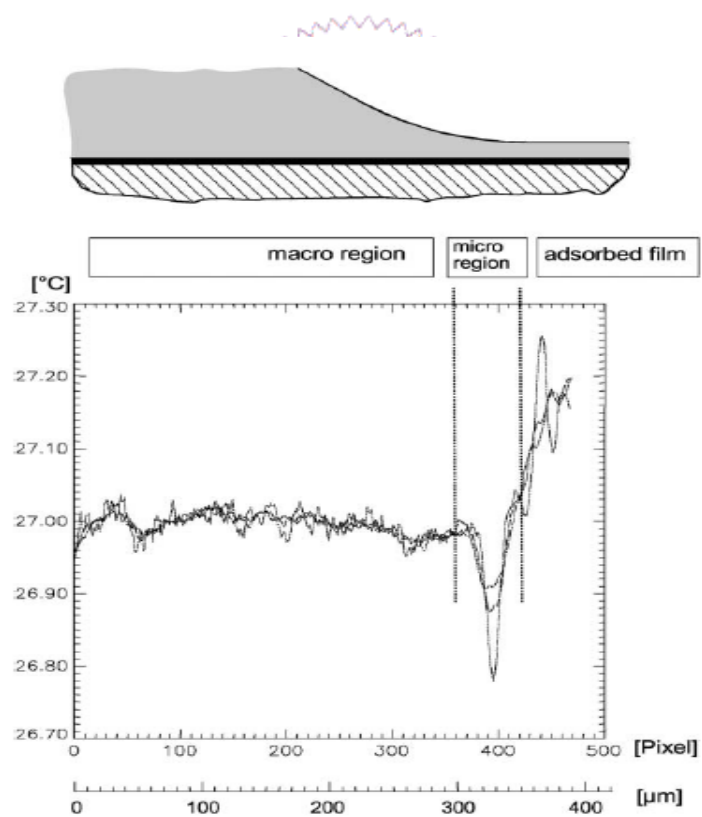


圖 2.4 半月膜對壁面溫度分佈之影響[7]

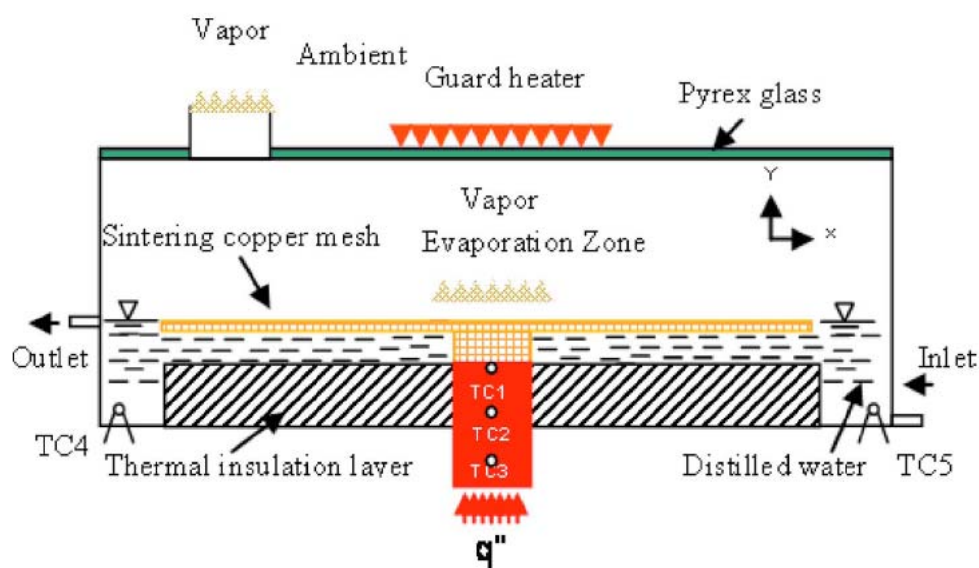


圖 2.5 實驗配置示意圖[8]

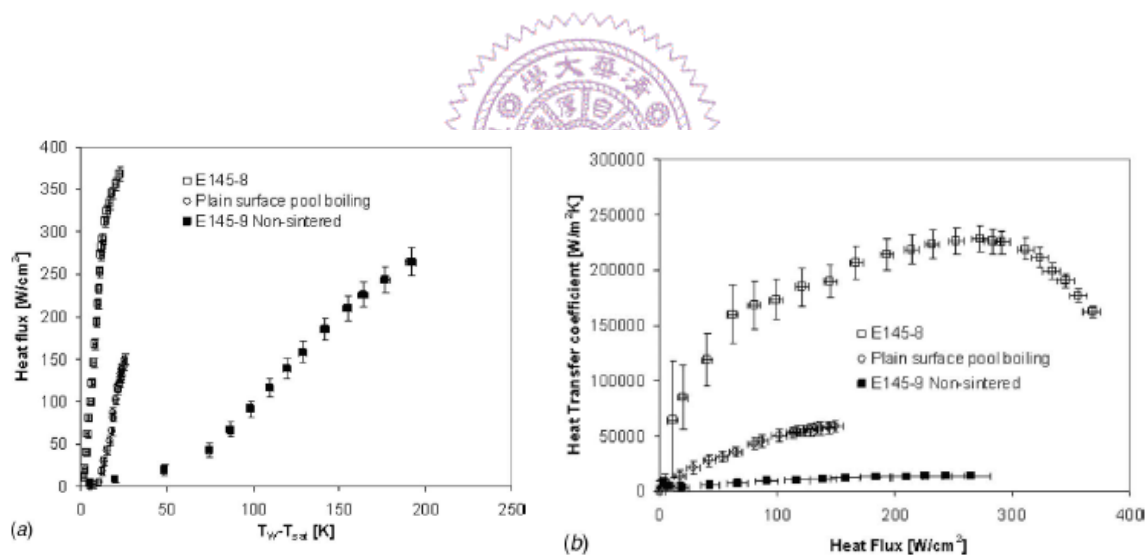


圖 2.6 針對燒結在加熱面上與否比較(a)熱通量與壁過熱度關係圖

(b)熱傳係數與熱通量關係圖[8]

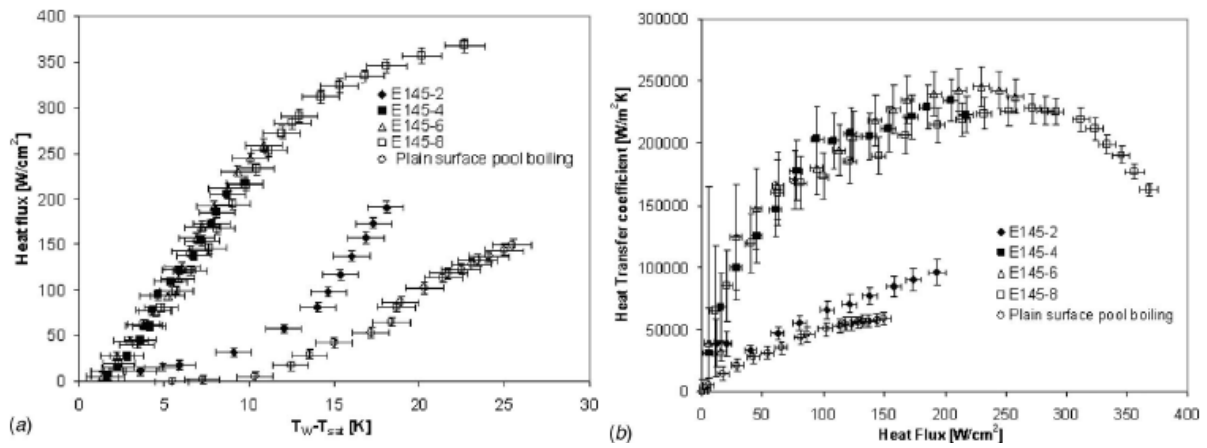


圖 2.7 針對相同尺寸毛細但不同厚度下比較(a)熱通量與壁過熱度關

係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[8]

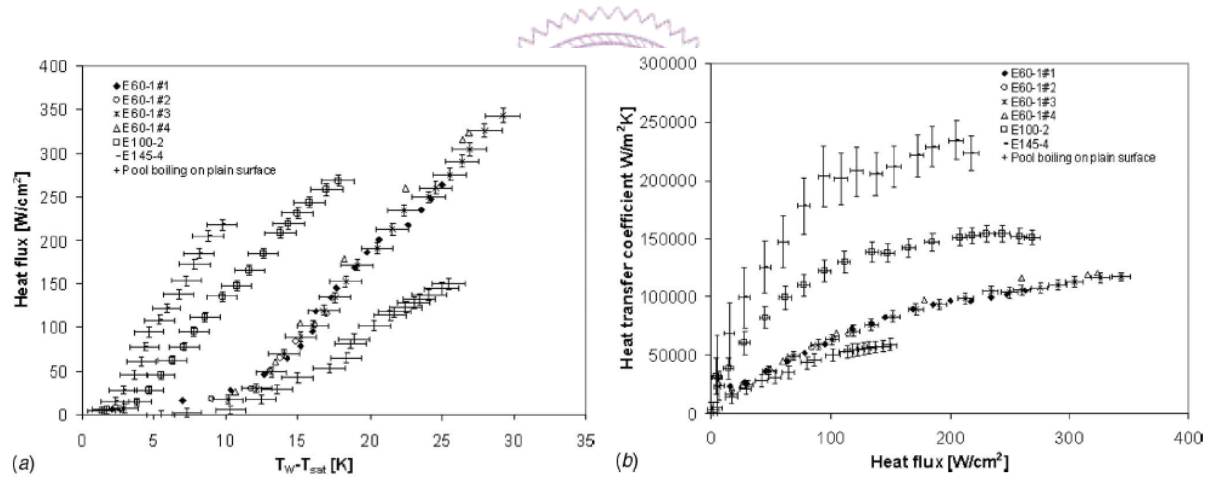


圖 2.8 針對相同厚度毛細但不同尺寸下比較(a)熱通量與壁過熱度關

係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[9]

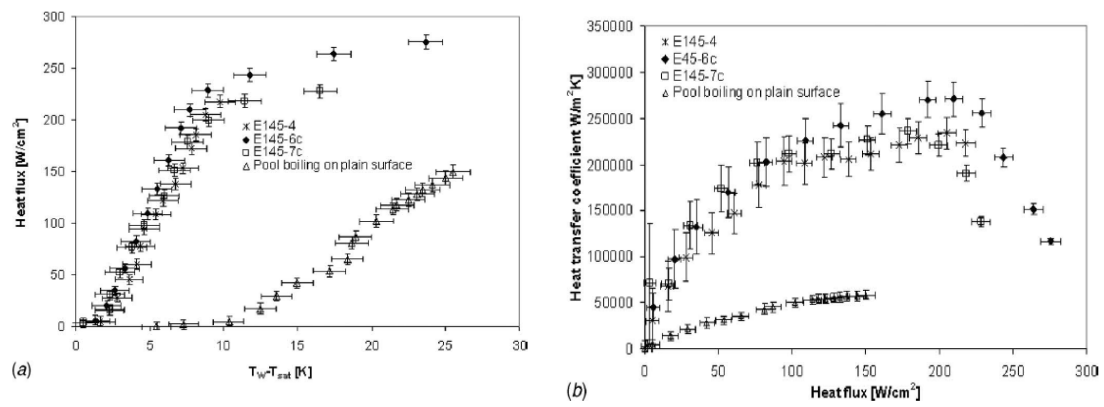


圖 2.9 針對相同厚度毛細但不同孔積率下比較(a)熱通量與壁過熱度

關係圖(b)熱傳係數與熱通量關係圖[9]

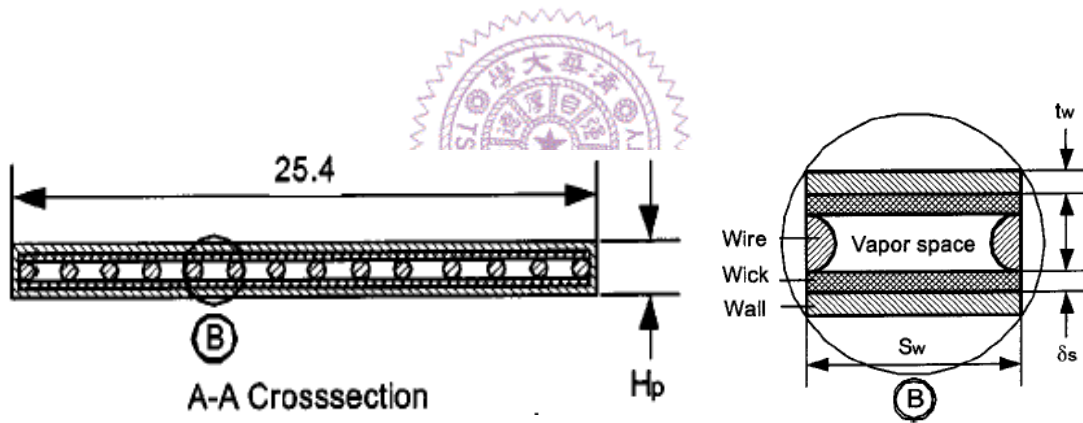


圖 2.10 蒸汽腔截面示意圖[10]

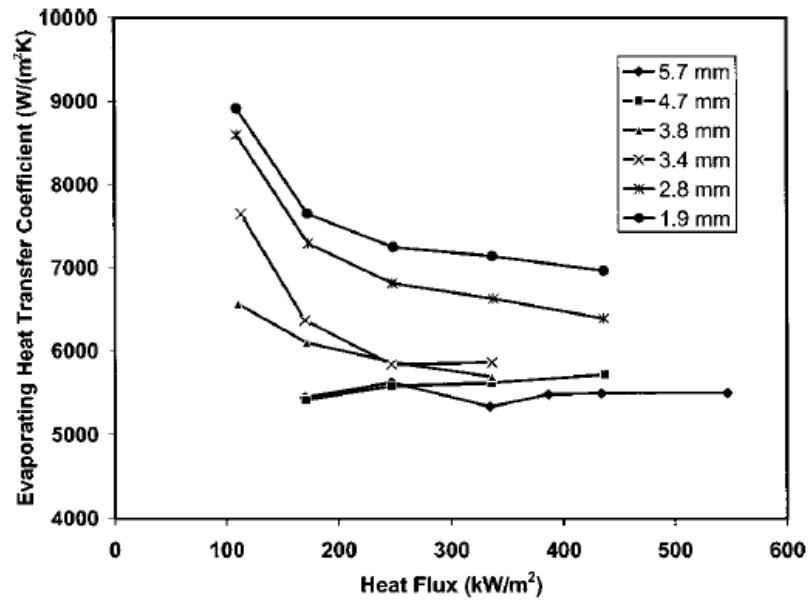


圖 2.11 不同毛細厚度下比較熱傳係數與熱通量關係圖[11]

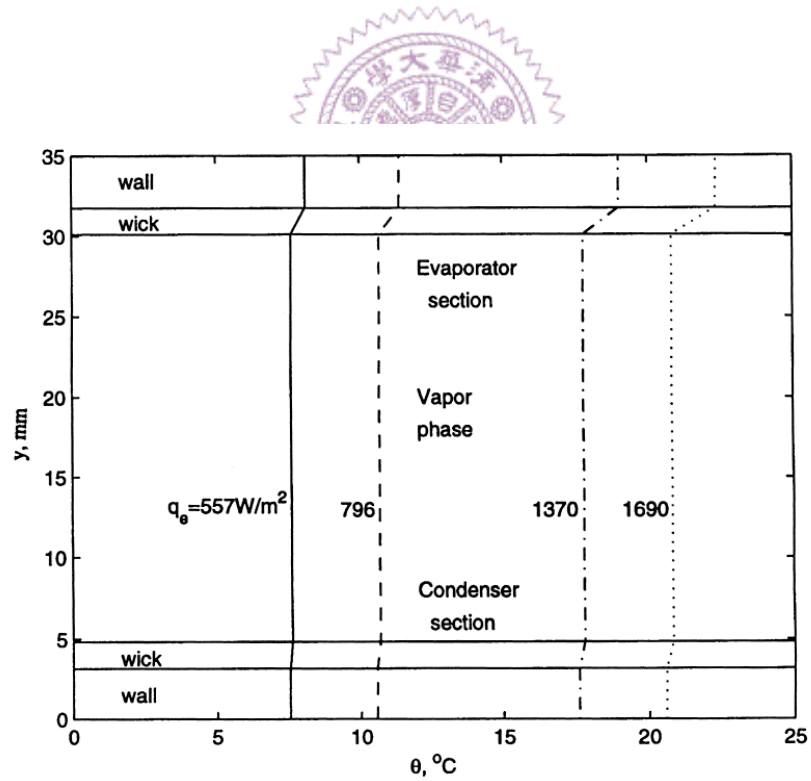


圖 2.12 蒸汽腔中各部份所形成之溫差[12]



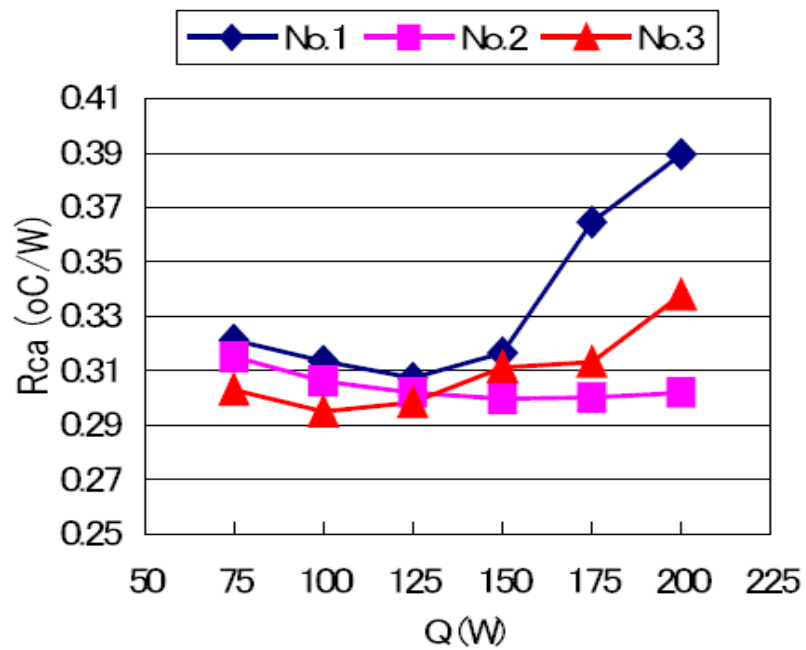


圖 2. 13 不同複合式毛細結構熱阻圖[13]

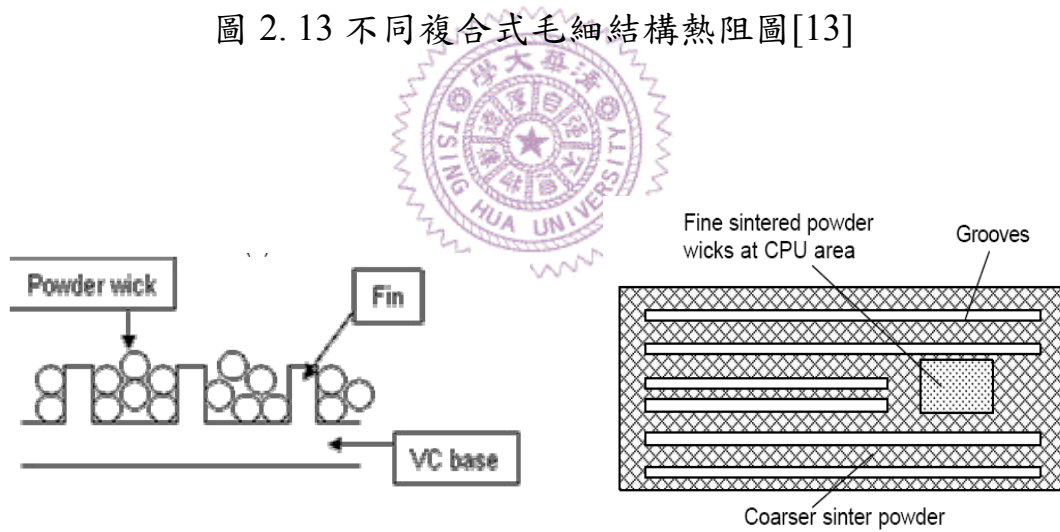


圖 2. 14(a)在底板增加垂直溝槽，並在溝槽內燒結上粉末

(b)底板之俯視圖[14]

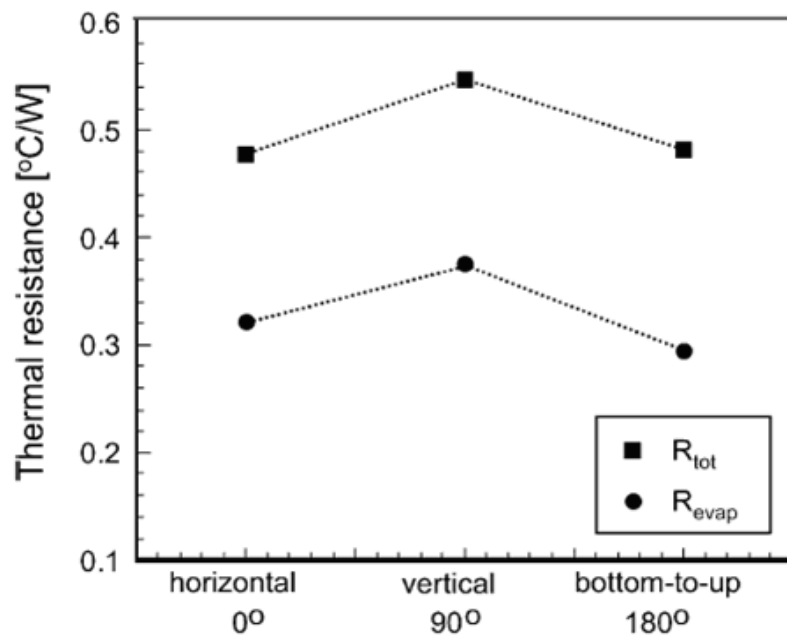


圖 2.15 蒸汽腔放置角度對溫度分布之影響[15]

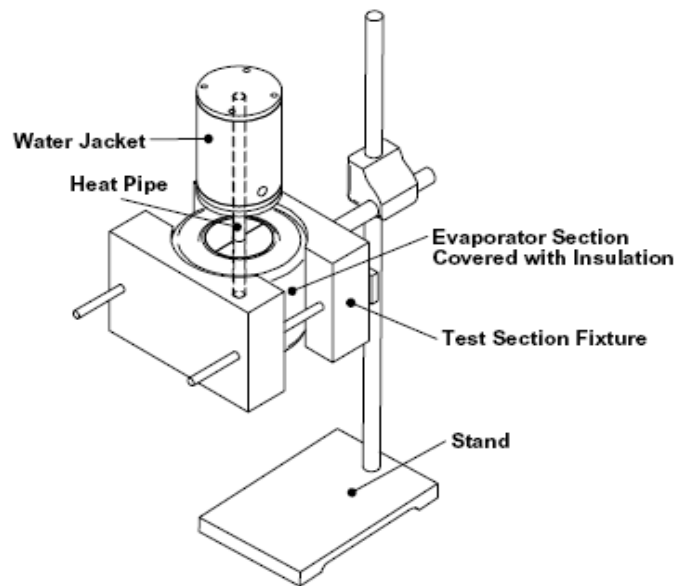


圖 2.16 可作任何傾斜角度的實驗裝置圖[16]

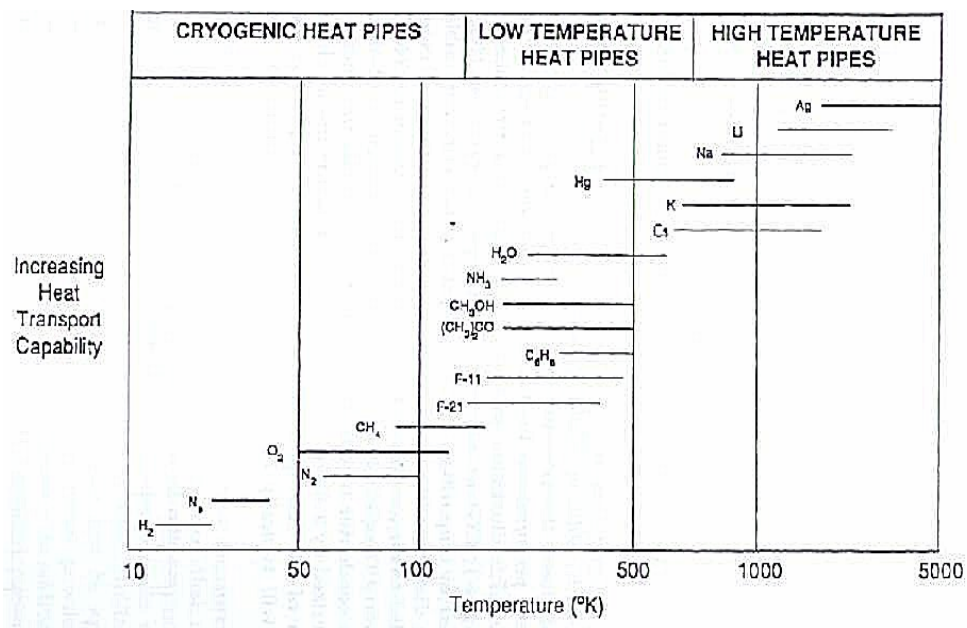
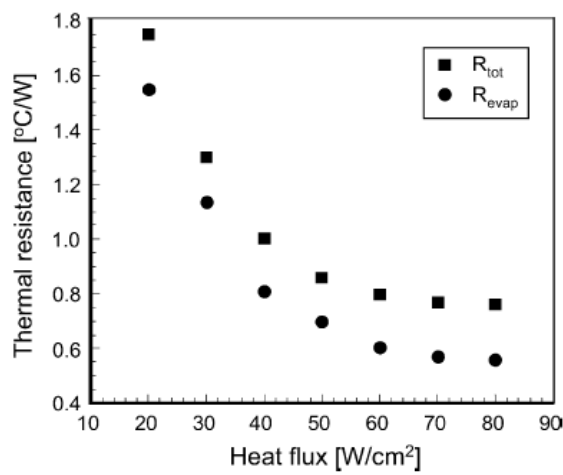
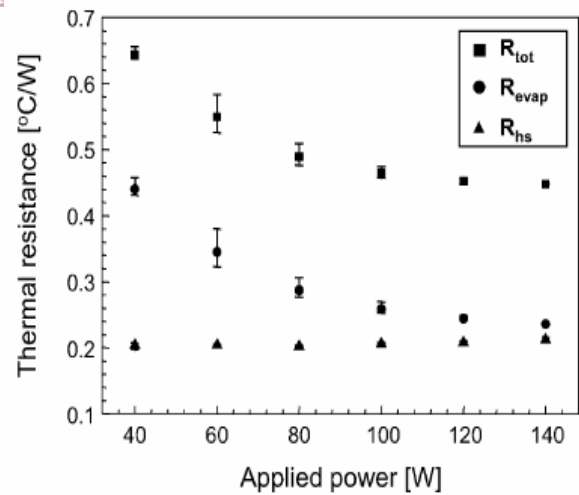


圖 2.17 工作流體適合操作之溫度範圍圖[17]



(a)



(b)

圖 2.18(a)加熱表面積為 1cm×1cm (b)加熱表面積為 2cm×2cm

下之熱阻值[15]

## 第三章 實驗方法

### 3.1 簡介

本實驗將延伸 Wong et al. [3]作更進一步的研究，採取較大的蒸汽腔，測試不同燒結銅網搭配或複合式毛細結構，並探討其性能變化。加熱方式仍採用均溫的虛擬加熱器，將蒸汽腔於加熱銅塊上方，介面間塗上適量的導熱膏以降低接觸熱阻。蒸汽腔底部毛細蒸發區中之水受熱蒸發，含高潛熱的蒸汽迅速擴散並於上壁的冷凝區凝結，釋放出的潛熱傳至上方鰭片而被風扇提供的強制對流散至環境中。(實驗配置圖可參見圖 3.1)。

本實驗熱阻可分為三部份：(1)熱源表面至蒸汽腔底部的接觸熱阻  $R_c$  (2)蒸汽腔熱阻  $R_{vc}$  (3)鰭片熱沉熱阻  $R_{hs}$ 。熱阻值是利用實驗所量測之溫度除以實際經由加熱塊所傳入的瓦數，而總熱阻值為三者總和，最後則利用蒸汽腔熱阻值去進行比較並加以探討。

### 3.2 實驗配置與步驟

本實驗建立出一加熱平台及散熱裝置，用以量測蒸汽腔之性能。圖 3.2 為實際之實驗配置，最下方為電木盒，內部含有被絕熱棉包覆之加熱銅柱，加熱銅柱底部以加熱棒(cartridge heaters)提供熱源，熱

經由銅柱傳至上方 20mm×20mm 之加熱表面，加熱面上方接連蒸氣腔底面，蒸汽腔上壁則接連鰭片搭配風扇之散熱模組，最上方則採用一加壓裝置施以固定壓力以降低接觸熱阻。以下將分別針對主要實驗裝置作更詳細的說明。

### 3.2.1 蒸汽腔

一個完整的蒸汽腔包括金屬容器、毛細結構及工作流體三個部份。本研究為了讓蒸汽腔能重覆使用，因此並不利用焊錫將蒸汽腔封牢，但為了達到真空的效果，因而採用 o-ring 進行密封，之後再將工作流體經由充填管注入已抽真空的蒸汽腔中，最後利用真空剪將充填管作密封。圖 3.3 與圖 3.4 為本研究之蒸汽腔結構示意圖，以下將就本實驗之蒸汽腔三個部份做介紹。

#### A. 金屬容器

本實驗裝置為能重複使用，採用 o-ring 作真空密封，側壁改用包含 o-ring 槽及注水管的黃銅邊框，黃銅框短邊中央處鑽一圓孔置入外徑為 4.4mm 的 o-ring 與填充管，其中 o-ring 用來防止密封填充管所使用之快乾膠由此孔滲入腔體內部，造成毛細結構的汙染，下底板材質為無氧銅，毛細結構燒結於下底板上。下底板底部的加熱面周圍開出一面積為 30mm×30mm 口字形溝槽，使溝槽上方的底板厚度僅保

留 1mm，以限制過厚的底板形成過大的側向擴散熱傳，如圖 3.6 所示。加熱面中心鑽一小孔，以安置熱電偶來測量底板溫度，下底板之外部尺寸為 116mm×96mm，內部腔體尺寸 100mm×80mm。上板尺寸為 116mm×96mm 厚 3mm，其中上板平行溝槽截面為一頂點具圓弧形的正三角形，在蒸發區附近開有側向開口讓蒸汽全面擴散。經過實驗測試，三角形邊長適當範圍介於 1.0mm~2.0mm，圖 3.5 為上板平行溝槽之立體圖。不鏽鋼夾具為一回字形構造，內尺寸為 110mm×90mm，配合 100mm×89mm 的鰭片規格，利用八個螺絲將整個蒸汽腔鎖住，螺絲扭力為(20kg-cm)。



## B. 毛細結構

在 Wong et al. [3]研究結果中顯示出，將毛細結構與下銅板一並燒結之蒸汽腔性能較佳，因此本研究將採用 100 目及 200 目的銅網作搭配並與下底板一並進行燒結。本研究亦採用銅網/銅粉之複合式毛細結構，蒸發區利用毛細力較強之銅粉增加蒸發表面積，其餘區域則利用流阻較小之銅網進行回水。

## C. 工作流體

在室溫操作範圍下且可以來和銅搭配的工作流體主要有水、丙酮及甲醇等，本研究使用純水與丙酮作為工作流體，其中丙酮可搭配銅

與鋁容器，而水僅可搭配銅容器。

純水的優點有高潛熱、高熱傳係數、無毒且不可燃，此外價格便宜取得容易等，且具有最佳散熱效能。丙酮則較少被使用作工作流體，相關文獻甚少，但由於丙酮的沸點較低其亦可搭配鋁容器，因此本實驗將量測丙酮在低輸入瓦數下的散熱性能。表 3.1 為丙酮與純水於 20°C 下之性質表。

### 3.2.2 實驗設備

#### A. 真空設備

本研究採用油式幫浦，其真空極限為  $8 \times 10^{-3}$  Torr。

#### B. 加熱器

實驗中利用加熱銅塊來模擬電子元件的發熱情形，如圖 3.1 所示，加熱面積為 2cm×2cm 或 1cm×1cm，銅塊底下開有三個直徑 10mm 長 65mm 的圓孔，分別插入三支最大發熱功率為 150 瓦的加熱棒，以直流電源供應器推動。為了算出實際經由加熱銅塊傳至加熱表面的熱通量，因此在加熱銅塊表面中心處之下 1mm 處及其下 10mm 處各鑽有一直徑為 1mm 的圓孔用以插入熱電偶量測加熱銅塊的表面溫度  $T_h$  及兩點間的溫度梯度，藉由一維熱傳導公式計算出實際傳入之熱通量。

#### C. 風扇及鰭片



蒸汽腔上方是由鰭片及軸流風扇所組成的熱沉裝置，風扇尺寸為 9cm×9cm，以正吹的方式來進行熱交換。散熱鰭片的材質為銅，其底部尺寸為長 100mm 寬 89mm 厚 2mm，鰭片的尺寸為長 100mm 高 35mm 厚 0.3mm，鰭片間距為 1.3mm，鰭片數為 56。在鰭片底部製作 7 個寬 1mm 深 0.7mm 的槽以放置熱電偶，鰭片上 7 個溫度點平均值  $T_{f,avg}$  代表蒸汽腔上板的平均溫度，圖 3.8 為鰭片上熱電偶位置分布。

#### D. 加壓裝置

為降低塗有導熱膏之介面的接觸熱阻，本實驗中採用中型夾配合壓力計以及四角固定器（顯示於圖 3.2）來施加一均勻固定壓力。不同壓力影響接觸熱阻值，但是達到一相當壓力後影響便不顯著。本實驗壓力設定在 10kgf，以加熱面積 4cm<sup>2</sup> 來說，壓力約在 2.5atm，屬於一合理範圍。

#### E. 溫度量測及數據擷取系統

溫度量測部分採用 OMEGA 公司的 K 型熱電偶，其線徑為 0.06mm。經 FLUKE 的 HYDRA SERIES II 數據擷取器量取各點之溫度，並利用軟體和電腦連接紀錄數據。

#### F. 燒結爐

燒結爐採用振華電熱公司製作的氣氛燒結爐，其程式控制器可設



計加熱曲線，最高加熱溫度可達  $950^{\circ}\text{C}$ ，而爐內空間的尺寸為直徑 10cm 且長 120cm 鋼材圓柱管，內部置有兩熱電偶來量測爐內的溫度。

燒結程序如下：

將欲燒結的銅板與銅網先經過清洗，利用不鏽鋼夾具固定，再將其置入燒結爐中。燒結過程溫度上升曲線為 90 分鐘升溫至  $900^{\circ}\text{C}$ ，持溫 90 分鐘，之後使其自然降溫。若是要進行還原過程，溫度上升曲線為 90 分鐘升溫至  $500^{\circ}\text{C}$ ，持溫 90 分鐘。

#### G. 電源供應器

本實驗直流電源供應器具有兩個單元，其一單元最高電壓為 64 伏特，最高電流為 3 安培，因此可以提供的加熱量上限約在 400 瓦。

#### H. 導熱膏

導熱膏為 Corning TC5021，比重 3.3，熱傳導值為  $3.5\text{W/m}\cdot\text{k}$ ，耐溫範圍從零下  $50^{\circ}\text{C}$  到  $170^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.2.3 實驗步驟

#### 1. 清洗上板流道：

上板流道除了具支撐功能外還兼有毛細作用，因此清潔相當重要，因此將上板流道放入酸液(硝酸+磷酸)中清洗，再利用水將酸液

清除，之後則放入丙酮中去水，最後用氮氣將流道吹乾。

## 2.組裝程序：

先進行注水管黏補的動作，在插入注水銅管的地方會放置 o-ring 防止膠從此孔滲入內部。取出燒結爐中已附著燒結毛細的下底板，先將 o-ring 用無塵紙擦拭乾淨後再放入黃銅框溝槽中，利用不鏽鋼夾具將蒸汽腔扣緊。

## 3.抽真空與注水：

將組裝好的工件安裝在填充系統上，即圖 3.7 中蒸汽腔的位置啟動真空幫浦連續抽氣 15 分鐘，使蒸汽腔真空壓力低於  $8 \times 10^{-3}$  torr，以去除蒸汽腔腔體內殘餘之非凝結氣體。之後即將工作流體注入蒸汽腔內，並利用高溫吹風機將殘餘在玻璃管中的液體吹入蒸汽腔中，最後利用真空剪剪斷填充管。

## 4.裝置熱沉模組：

鰭片底部塗上適當的導熱膏，並置於蒸汽腔上方，再將風扇置於鰭片上方以正吹的方式進行強制對流，並利用巾型夾及四角固定器提供 10kgf 的接觸壓力。

## 5. 電源供應與數據擷取：

調整電源供應器電壓設定加熱量 80W，以每 40W~80W 為一個單位去調高輸入瓦數，直至乾化現象發生為止。

### 3.2.4 熱阻計算之整理

#### 1. 蒸汽腔熱阻( $R_{vc}$ )

$$R_{vc} = \frac{T_{vc,b} - T_{f,avg}}{Q}$$

#### 2. 熱沉熱阻( $R_{hs}$ )

$$R_{hs} = \frac{T_{f,avg} - T_a}{Q}$$

#### 3. 蒸發熱阻( $R_e$ )

$$R_e = \frac{(T_{vc,b} - T_v)}{Q}$$

#### 4. 接觸熱阻( $R_c$ )

$$R_c = \frac{T_h - T_{vc,b}}{Q}$$



#### 5. 總熱阻( $R_{tot}$ )

$$R_{tot} = R_c + R_{vc} + R_{hs} = \frac{T_h - T_a}{Q}$$

單位面積下，

$$q = Q/A_e \quad [\text{W}/\text{cm}^2],$$

$$R_e^* = R_e A_e, \quad R_c^* = R_c A_c, \quad [\text{Kcm}^2/\text{W}]$$

#### 6. 蒸發對流熱傳係數( $h_e$ )

$$h_e = 1/R_e^* \quad [\text{W}/\text{Kcm}^2]$$

#### 7. 冷凝對流熱傳係數( $h_c$ )

$$h_c = 1/R_c^* \quad [\text{W}/\text{Kcm}^2]$$

其中

$Q$ ：加熱量，由加熱銅柱內的溫度梯度算得。

$T_{f,avg}$ ：鰭片底面平均溫度。

$T_a$ ：環境溫度。

$T_{vc,b}$ ：蒸汽腔下板中心處溫度。

$T_h$ ：熱源表面溫度。

$T_v$ ：蒸發區中央上方處之蒸汽溫度。

$A_e$ ：蒸發面積  $2.1 \times 2.1 \text{ cm}^2$  或  $1.1 \times 1.1 \text{ cm}^2$

$A_c$ ：冷凝面積



表 3.1 丙酮與純水於 20°C 下之性質表

	<b>Laten Heat (kJ/kg)</b>	<b>Liquid Density (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Liquid Thermal Conductivity (W/m°C)</b>	<b>Vapor Pressure (kpa)</b>	<b>Initial Boiling Point (°C)</b>	<b>Liquid Surface Tension (N/m)</b>
<b>acetone</b>	<b>552</b>	<b>791</b>	<b>0.181</b>	<b>27</b>	<b>55.6</b>	<b>0.0237</b>
<b>water</b>	<b>2453.9</b>	<b>998.2</b>	<b>0.598</b>	<b>2.32</b>	<b>100</b>	<b>0.0728</b>

**Temperature 20°C (293K)**



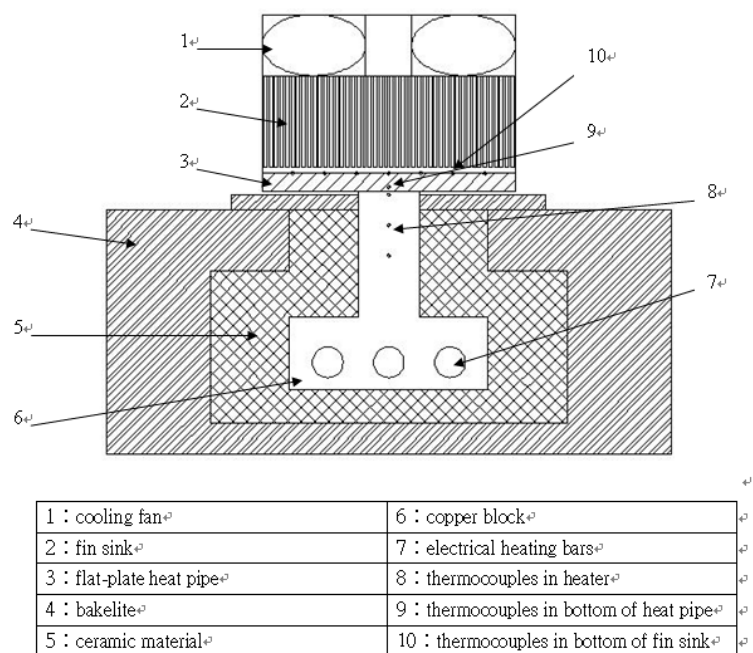


圖 3.1 蒸汽腔實驗配置示意圖

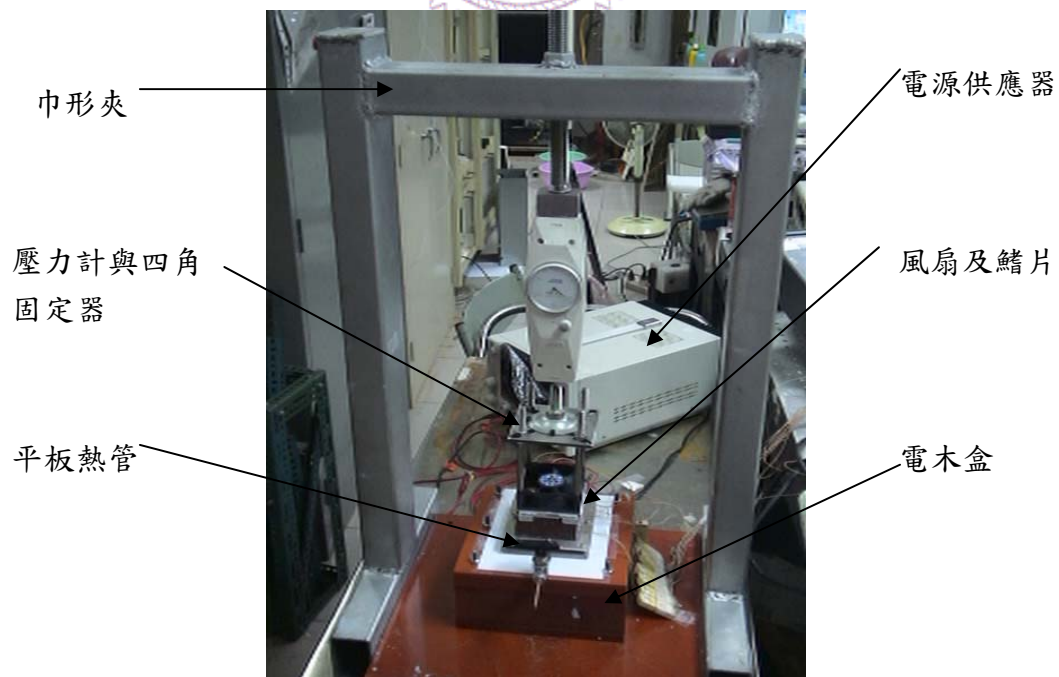


圖 3.2 蒸汽腔測試圖

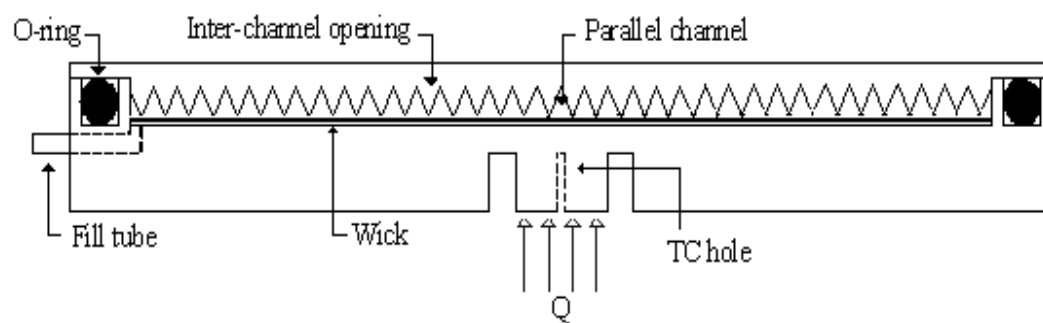


圖 3.3 本研究之蒸汽腔結構剖面示意圖

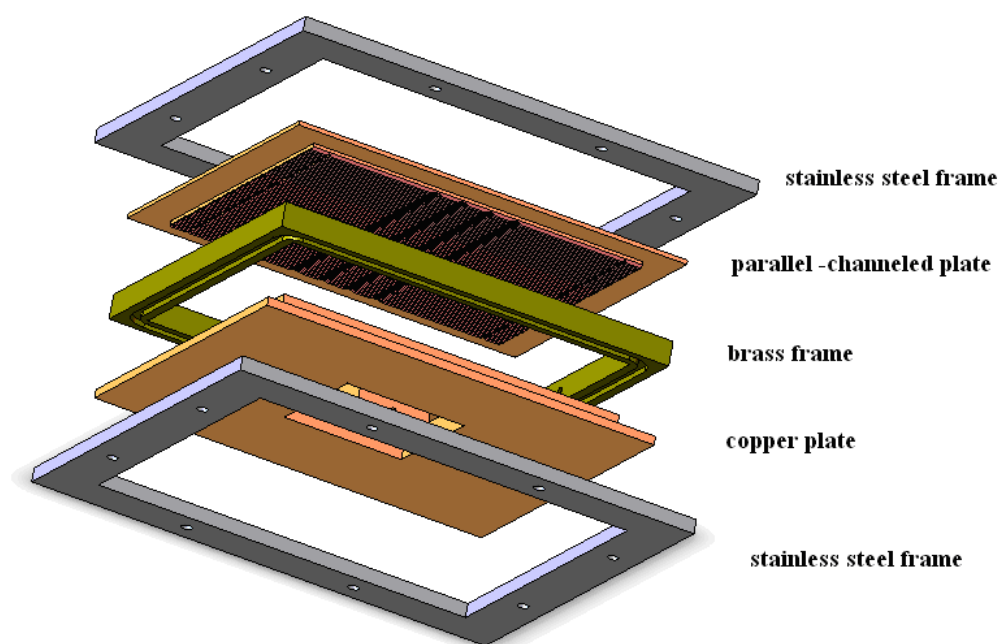


圖 3.4 本研究之蒸汽腔示意圖

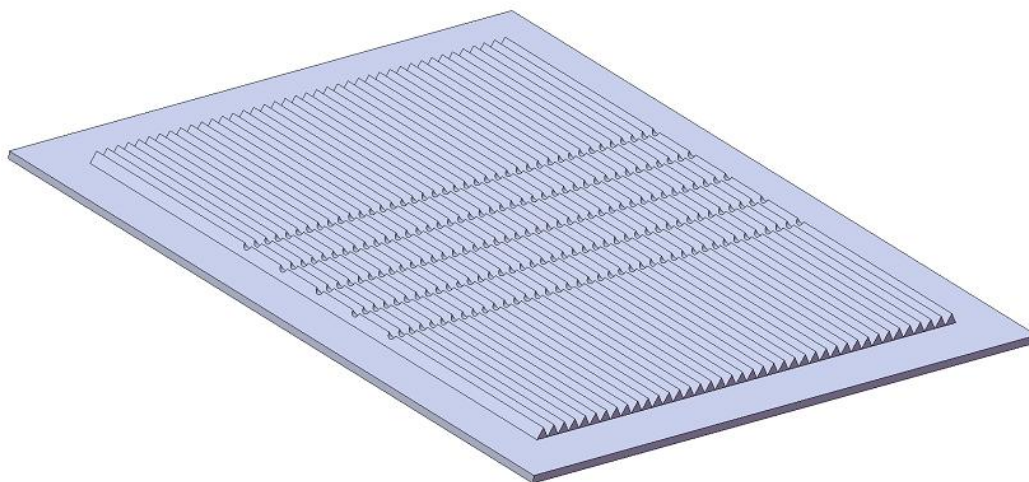


圖 3.5 上板平行流道之立體圖

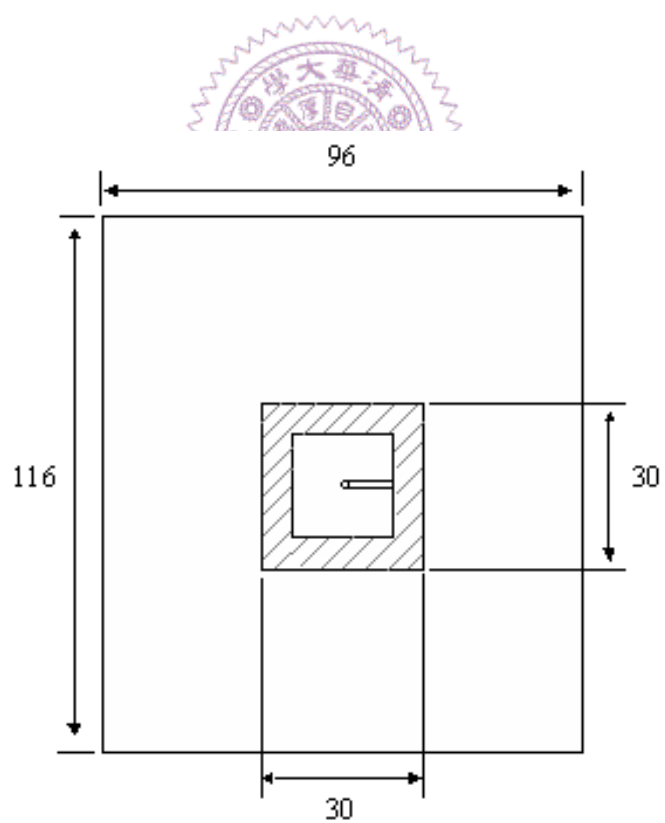


圖 3.6 底板口字槽幾何尺寸圖



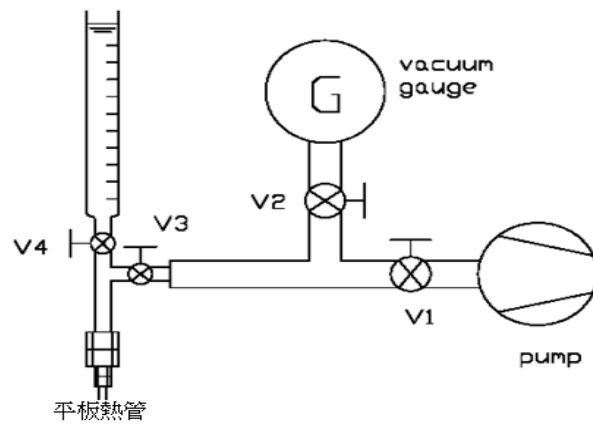


圖 3.7 填充系統示意圖

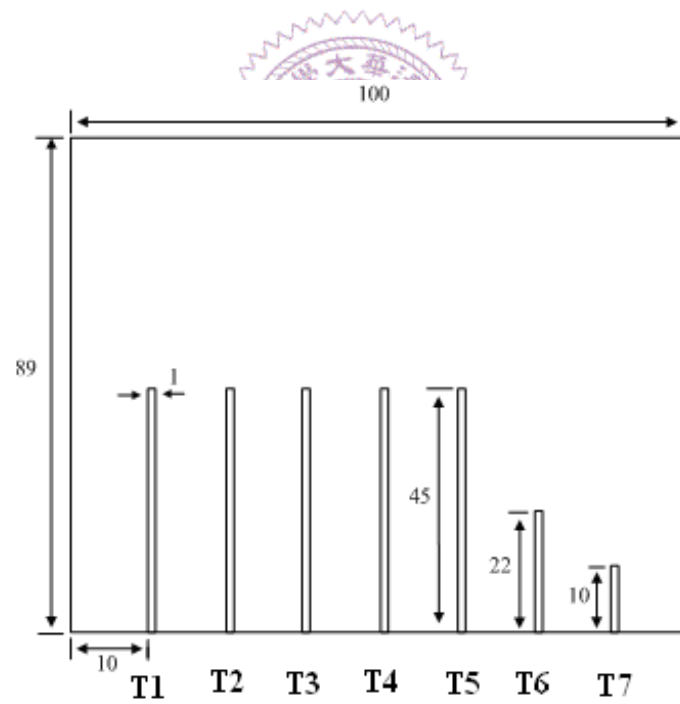


圖 3.8 鳍片上熱電偶位置分布圖

## 第四章 實驗結果與討論

欲降低本蒸汽腔的厚度，主要變因為上板平行溝槽之厚度，但因溝槽厚度的改變將影響到蒸汽流阻，對蒸汽腔性能有直接的影響。因此本研究將針對三種不同上板平行溝槽尺寸作比較，上板平行溝槽截面為一正三角形，邊長分別為  $w=2\text{mm}$  (W2.0)、 $w=1.6\text{mm}$  (W1.6)與  $w=1.0\text{mm}$  (W1.0)三種，如圖 4.1 所示。本研究乃依據此三種溝槽尺寸的測試結果來判斷蒸汽腔厚度所能調整之範圍。

### 4.1 總熱阻與熱沉熱阻

圖 4.2 顯示溝槽邊長  $w=1.6\text{mm}$  搭配 100+2×200 目燒結銅網與填充量  $m=4.3\text{g}$  的總熱阻、蒸汽腔熱阻與熱沉熱阻值。當加熱量從 80W 升至 400W 時，蒸汽腔熱阻與熱沉熱阻的總熱阻值從 0.2K/W 逐漸降至 0.15K/W，且熱傳極限可達 400W 以上，冷凝區使用之鰭片大小為 10cm×9cm，熱沉熱阻值大約維持在 0.11K/W。由結果可知總熱阻值僅伴隨蒸汽腔熱阻作改變，而蒸汽腔熱阻絕大部分是在毛細蒸發區造成的蒸發熱阻，因此如何有效強化蒸發區之蒸發能力，將是影響蒸汽腔性能的關鍵。毛細結構既為影響蒸發熱阻之因素，因此本研究亦將分別量測幾種不同網目組合的毛細結構，並比較其性能差異，且更進一步探討銅網/銅粉複合式毛細結構之特性。

圖 4.3 為本蒸汽腔與 Therma-Base<sup>TM</sup>[2]蒸汽腔熱阻值之比較，在結構上有些許相異之處，本蒸汽腔採用  $w=1.6\text{mm}$  搭配 100+2×200 目燒結銅網，而 Therma-Base<sup>TM</sup> 採用燒結銅粉，並使用側吹進行冷卻。本實驗加熱面積為  $2.1 \times 2.1 \text{ cm}^2$ ，而 Therma-Base<sup>TM</sup> 加熱面積為  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 。Therma-Base<sup>TM</sup> 最低熱阻值較本蒸汽腔稍低，但熱傳極限僅 300W；本蒸汽腔熱阻在低加熱量下較高，但加熱量達 200W 時，蒸汽腔熱阻值明顯下降，熱傳極限明顯高於 Therma-Base<sup>TM</sup>，因水膜由上層 100 mesh 銅網隨加熱量提升退至下層 200 mesh 銅網，使得蒸發表面積大量增加，因此熱阻值明顯下降。

## 4.2 填充量對性能之影響

工作流體的填充量是響蒸汽腔熱阻值與熱傳極限重要的因素，一般而言最佳注水量略大於毛細結構的飽和水量，表 4.1 為本研究操作之毛細結構飽和水量；但因本蒸汽腔上部為溝槽板，會有部分的工作流體因毛細力之關係吸附於上板溝槽頂部及壁面，此外本實驗為配合 o-ring 密封而調整設計，組件間會有微小的空隙，因此必須將此部分的卡水量納入所需之填充量，且因此本研究之標準填充量是經由多次的實驗而得。

採用  $w=1.6\text{mm}$  之上板溝槽搭配 100+4×200 目燒結銅網毛細進行

三種填充量( $m=4.6\text{g}$ 、 $4.9\text{g}$ 、 $5.2\text{g}$ )的測試，圖 4.4 顯示填充量對蒸汽腔之效能影響甚大。當填充量較低時( $m=4.6\text{g}$ )，在低加熱量下即有較低的熱阻表現，但乾化現象也較早發生；當填充量較高時( $m=5.2\text{g}$ )，熱傳極限較高，但相對的熱阻值也較高。因此填充量的控制則應視所需操作之情況下而定。

### 4.3 W2.0 與 W1.6 溝槽之性能比較

利用相同之  $100+4\times 200$  目燒結銅網進行不同溝槽大小之測試，結果如圖 4.5 所示，溝槽邊長為  $w=2\text{mm}$  時，蒸汽腔熱阻值隨輸入熱量增加逐漸下降，並於  $320\text{W}$  時熱阻值達到  $0.052\text{K/W}$ ；溝槽邊長為  $w=1.6\text{mm}$  時，當填充量為  $m=4.6\text{g}$  於  $240\text{W}$  時蒸汽腔熱阻值可達  $0.05\text{K/W}$ ，但隨後於  $280\text{W}$  時發生乾化，依此判斷為工作流體填充量不足，使乾化現象提早發生；因此將填充量增加至  $m=4.9\text{g}$ ，當加熱量達  $240\text{W}$  時熱阻值突降至  $0.046\text{K/W}$ ，而乾化現象也延後發生。此結果顯示  $w=1.6\text{mm}$  較  $w=2\text{mm}$  表現為佳，且其厚度較薄，顯然溝槽邊長  $1.6\text{mm}$  優於溝槽邊長  $2.0\text{mm}$ 。由結果可知溝槽大小是影響蒸汽腔性能的因素之一，因此本研究持續降低溝槽邊長至  $w=1.0\text{mm}$ ，觀察此邊長下之散熱性能。

### 4.4 W1.6 與 W1.0 溝槽之性能比較

為了儘量降低蒸汽腔的厚度，故將平行溝槽的邊長降低至  $w=1.0\text{mm}$ ，且在相同  $100+2\times 200$  目燒結毛細結構下與  $w=1.6\text{mm}$  進行比較，結果如圖 4.6 所示。當  $w=1.6\text{mm}$ ，填充量  $m=5.0\text{g}$  時，蒸汽腔熱阻值亦隨著加熱量增加而逐漸下降，但熱阻值始終較大，顯然過多的填充量導致液膜較厚，降低了蒸汽腔的效能。在  $m=4.3\text{g}$  時，蒸汽腔熱阻值於低加熱量下即有較好的表現，當加熱量達  $320\text{W}$  時熱阻值降至最低約為  $0.043\text{K/W}$ 。當  $w=1.0\text{mm}$ ， $m=3.4\text{g}$  之熱阻值於  $240\text{W}$  時具最小值  $0.049\text{K/W}$ ，但因填充不足隨即發生乾化；因此酌量的增加填充量至  $m=3.75\text{g}$ ，熱阻值仍可低至  $0.048\text{K/W}$  且乾化在  $320\text{W}$  時仍未發生。結果顯示在適當注水量時， $w=1.0\text{mm}$  之性能表現並不遜於  $w=1.6\text{mm}$  者，且熱傳極限可達  $320\text{W}$ ，因此在實際應用上若需進一步降低蒸汽腔厚度，可使用溝槽邊長  $1.0\text{mm}$  之上板溝槽。

#### 4.5 蒸發區流道溝槽不相接的狀況

本研究所採用之上板三角流道，除了具有支撐以及作為蒸汽通道外，因流道直接與下方毛細接觸且其空間高度不大，因此冷凝之工作流體可直接被下方毛細吸附，直接落於蒸發區，降低了工作流體回流的路徑因而提升了熱傳極限。本研究實驗結果相較於其它文獻資料，熱傳極限明顯較高，為了實際求證此一論點，本研究利用  $w=1.0\text{mm}$

之流道並將其中心區域破壞，面積大小約為  $2\text{cm}\times 2\text{cm}$  和  $4\text{cm}\times 4\text{cm}$ ，使其無法與下方毛細結構接觸，結果如圖 4.7 所示，當使用破壞面積  $2\text{cm}\times 2\text{cm}$  的上板流道於 200W 即發生乾化現象；當使用破壞面積  $4\text{cm}\times 4\text{cm}$  的上板流道時，除了提前發生乾化現象外，在低加熱量下其熱阻值較高，顯示在低加熱量下經由毛細結構與上板流道間之熱傳導效應佔有一定之比例，若上板流道與毛細結構不相接觸的面積過大，將造成低加熱量下蒸汽腔熱阻值較高。因此上方流道是否有接觸於下方毛細結構，對於本研究蒸汽腔的性能有一定程度的影響。

#### 4.6 鰭片溫度分布

蒸汽腔利用工作流體的蒸汽將熱由小熱源迅速擴散至較大的散熱表面，再藉由散熱表面上之散熱模組將熱傳至環境，因此均溫的散熱表面是蒸汽腔極為重要的特點。本實驗中埋設七支熱電偶於鰭片熱沉底部來近似量測蒸汽腔冷凝區之溫度分佈。圖 4.8 顯示本研究所採用之三種上板溝槽中， $w=2.0\text{mm}$  與  $w=1.6\text{mm}$  時鰭片底部溫度分布相當均勻，溫度差異可控制在  $1.5^{\circ}\text{C}$  以內；但於  $w=1.0\text{mm}$  時在四個角落處的溫度(T7)與其餘六點溫度最大差距達  $3.5^{\circ}\text{C}$ ，可能原因為：(1)溝槽越小流阻越大，因此蒸汽可能較不易傳至較遠的角落處；(2)溝槽越小其總體積也越小，因此被推擠至角落處的非凝結氣體佔總體積之



比率增大，降低了該處蒸汽的凝結效率。但溫度點 T7 距內部腔體外圍僅 5mm 的距離，因此不均勻部分佔整個散熱表面區域極小，對於整體蒸汽腔性能影響不大。

## 4.7 毛細結構對蒸汽腔性能之影響

### 4.7.1 不同網目毛細結構之比較

蒸發熱阻主要受到毛細結構之影響，因此毛細結構的選用將影響整個蒸氣腔的性能，銅網網目越大則流阻較小，回水能力較佳；網目較小毛細力較佳，但流阻較大。因此如何讓毛細力與流阻間折衷到一最佳值，將與蒸汽腔之性能有密切關係。本研究採用 100+2×200 目與 4×200 目兩種燒結銅網，並採用  $w=1.0\text{mm}$  之上板溝槽進行比較，結果如圖 4.9 所示，在相近的填充量下，100+2×200 目燒結銅網在 320W 時尚未發生乾化，此因其中 100 目銅網流阻較小回水能力較佳，提升了熱傳極限；而 4×200 目燒結銅網則因網目孔隙太小，使流阻較大，於加熱量 280W 時即已發生乾化現象。

本研究採用相同厚度之 100+2×200 目與 4×200 目兩種燒結銅網進行比較：但毛細厚度也是影響蒸汽腔性能的因素之一，在飽和水量下，越厚的毛細結構具有較高之熱傳極限，但伴隨著有較高之熱阻值，此乃因水膜較厚之故；越薄的毛細結構在低加熱量下即有較低之



熱阻值，但乾化現象也較早發生，因此毛細結構的選用，則需視所操作之情況決定。本研究另有複合式毛細結構，其在低加熱量下即有較低之熱阻值，且具有高熱傳極限之特性，詳細內容將在後續章節討論。

#### 4.7.2 網目毛細擺放方向之影響

本研究蒸汽腔內部腔體尺寸為  $100\text{mm} \times 80\text{mm}$ ，為使較遠角落處之工作流體易於流回蒸發區，嘗試將 100+2×200 目銅網作 45 度角的擺放並進行燒結(如圖 4.10 所示)，讓網目的排列沿著底板的對角線，用以觀測是否如此可達到目的，以提升熱傳極限。

測試結果如圖 4.11 所示，利用  $w=1.0\text{mm}$  溝槽在相同填充量  $m=3.75\text{g}$  下，呈 45 度角擺放之燒結銅網並無益處，同樣於 360W 加熱量時發生乾化，顯示此種毛細的擺放方式無法提升熱傳極限。

#### 4.7.3 不同複合式毛細之性能比較

針對複合式毛細結構，本研究比較不同形式的銅網/銅粉複合式毛細，如圖 4.12 所示，其中 wick 1 為單純燒結銅網，wick 2 為將細粉填入網中並燒結，wick 3 為將上層 100 mesh 粗網在蒸發區挖空並填入金屬粉，wick 4 為將各網層在蒸發區挖空並填入金屬粉。針對較薄的 100+200 mesh 毛細組合的測試結果示於圖 4.13，其中 wick 2s 表示填入球形粉，wick 2i 表示填入不規則粉。

由實驗結果可知，純網目式燒結毛細結構其性能值略差於其它複合式毛細結構，因燒結銅粉可提供較大的毛細力形成較多的蒸發表面積，因此有較低之熱阻值。Wick 2 即在銅網中填入銅粉，其熱阻值隨加熱瓦數增加而逐漸降低至 0.045 K/W，且於 320W 仍未發生乾化，因銅粉處於網目的空隙中，因此蒸發區所需之工作流體，可藉由網目式毛細結構拉回，彌補了銅粉高流阻之缺點。wick 4 則是把蒸發區的網目式銅網除去並灑入銅粉取代，面積大小約為  $2.1 \times 2.1 \text{ cm}^2$ ，燒結銅粉所提供之蒸發表面積較多，因此 wick 4 有較低之蒸汽腔熱阻值，約為 0.037 K/W，但乾化現象相較於其它複合式毛細結構則是提前發生，雖然燒結銅粉可提供較佳之毛細力，但 wick4 因蒸發區皆為燒結銅粉導致流阻較大，使工作流體不易回流至蒸發區中心部份，因此乾化現象提前發生。

#### 4.8 不同加熱面積下之性能比較

圖 4.14 比較加熱面積  $A_e$  分別為  $2.1 \times 2.1 \text{ cm}^2$  及  $1.1 \times 1.1 \text{ cm}^2$  下本蒸汽腔的性能。圖 4.14a 與圖 4.14b 僅差在熱阻值與加熱量均以單位面積表示。圖 4.14a 中兩種加熱面積下的蒸發熱阻分佈相離甚遠，但圖 4.14b 中則在中低熱通量時顯然整合一致，因此就毛細內的蒸發基本現象而論，在不同加熱面積下做比較時，較恰當的參數是基於單位面

積者，亦即採熱通量 $[W/cm^2]$ 與熱阻 $[Kcm^2/W]$ ，如圖 4.14b。圖 4.14a 指出當  $A_e=1.1\times 1.1cm^2$  時，不論是三層的 100+2×200 目或雙層的 100+200 目銅網，在加熱量大於 150W 後乾化開始發生。相對的， $A_e=2.1\times 2.1cm^2$  時，乾化在加熱量大於 320W 後才發生。但當以單位面積表示時，在小加熱面積下乾化發生的熱通量可高達約 130  $W/cm^2$ ，並且最小熱阻值較低，推判原因為：(1)在相同熱通量下，加熱面積越小，蒸發區之回水量需求量越低，因此蒸發區部分乾化的情況較不易發生，熱傳極限因此提升；(2)在小加熱面積時，從底板側向擴散出去的熱量佔總熱負荷的比例較多，因而蒸發區單位面積所受之實際熱負荷較少。



#### 4.9 蒸發熱阻( $R_e$ )與冷凝熱阻( $R_c$ )

本實驗先前所量測之熱阻值為整個蒸汽腔之熱阻( $R_{vc}$ )，其中則包含了蒸發熱阻( $R_e$ )、蒸汽熱阻( $R_v$ )、冷凝熱阻( $R_c$ )及鰭片與上板流道間之接觸熱阻( $R_c$ )。其中假設蒸汽熱阻可忽略，而接觸熱阻值由以下方式估計：根據實際檢測，合理之導熱膏厚度約為  $0.1\pm 0.02mm$ ，鰭片與上板接觸面積為  $100mm\times 89mm$ ，故求得接觸熱阻值約  $0.0037K/W$ 。為了解蒸發與冷凝熱阻分別所佔總熱阻之比例，因此實際去測量腔體內部之蒸氣溫度，即可區分出此二熱阻值。實驗利用  $w=1.6mm$  流道

與  $100+2\times 200$  之網目式毛細結構，並於腔體側邊開孔插入一根直徑  $0.5\text{mm}$  之熱電偶，並深入於腔體中心以量測蒸氣溫度。為了防止熱電偶與流道間之縫隙會毛細力之因素吸附部分工作流體，因此於熱電偶上方烤上一層 teflon 薄膜。量測結果如圖 4.15 所示，蒸發與冷凝熱阻隨著加熱瓦數上升而逐漸降低，其中蒸發熱阻降低是因加熱瓦數增加時，水膜厚度隨之下降並在液面形成半月膜，使蒸發表面積增加；冷凝熱阻降低則因加熱瓦數增加，高速的蒸汽流使得上板流道之冷凝水膜變薄，使熱阻降低。由實驗結果圖 4.15 所示，冷凝熱阻值為  $0.0087\text{-}0.0044\text{K/W}$ ，蒸汽腔體內部面積為  $10\text{cm}\times 8\text{cm}$ ，換算冷凝對流熱傳係數( $h_c$ )為  $28400\text{-}14400\text{ W/m}^2\text{K}$ 。但若考慮上板流道為三角形結構，實際冷凝面積約為兩倍，則冷凝對流熱傳係數為  $14200\text{-}7200\text{ W/m}^2\text{K}$ 。需加說明的是，以上對  $h_c$  的估算乃在忽略蒸汽擴散熱阻之假設下為之，若蒸汽擴散熱阻不可忽略，則上述  $h_c$  的數值將偏低。最大之蒸發對流熱傳係數( $h_e$ )可根據最小蒸發熱阻值  $0.035\text{K/W}$  與蒸發面積  $4.41\text{cm}^2$  換算，其值約為  $65000\text{ W/m}^2\text{K}$ ，比冷凝對流熱傳係數大數倍之多。實驗過程中，置入蒸發區上方的熱電偶訊號在全部實驗中均無明顯的擾動，顯示蒸發過程中並無核沸騰發生。

#### 4.10 擺放角度對蒸汽腔性能之影響

在實際電子產品應用上，不同產品各有其擺放角度，因此本研究分別就水平、垂直與倒置三種典型的角度的量測，以觀測蒸汽腔性能在不同角度上的變化。因本研究之蒸汽腔是利用 o-ring 讓腔體內持續保有真空狀態，為排除腔體內之真空度隨時間變差而降低蒸汽腔性能的可能，因此避免將三種角度在同一次的實驗中完成，但為了講求實驗的準確性，故將實驗分成兩組：水平與倒置、水平與垂直，分別使用同一蒸汽腔做量測，當水平結果相互吻合時，再比較其倒置與垂直之性能表現。本組實驗利用 100+200 網目式毛細結構搭配  $w=1.0\text{mm}$  上板流道，結果如圖 4.16 所示，在水平擺置的情況下有較佳的性能表現，最小熱阻值約為  $0.045\text{K/W}$ ，且在  $360\text{W}$  時尚無明顯乾化現象；在倒置的情況下性能趨近水平的情況，且加熱瓦數至  $320\text{W}$  也無明顯乾化現象；在垂直擺放的情況下，最小熱阻值發生在  $240\text{W}$  約為  $0.05\text{K/W}$ ，此一熱阻值與其它擺放角度無明顯差異，但其乾化現象較早發生，此因毛細力必須抵抗約  $4\text{cm}$  高的重力因素才能將工作流體自下方拉上蒸發區，因此在高熱負荷時因毛細力不足以充分供應工作流體給蒸發區，導致乾化現象較早發生。

#### 4.11 丙酮工作流體

丙酮具有低沸點之特性，且可搭配鋁與銅質容器，因此本研究亦使用丙酮作為工作流體，觀測其在低加熱量下之性能。丙酮會侵蝕一



般常用之 viton 材質的 o-ring，且丙酮在低溫下具有高蒸汽壓之特性，因此對於真空的密封上需要相當謹慎。本研究採用抗丙酮之 aflas 材質的 o-ring，注水管與蒸汽腔接合處使用 o-ring 搭配抗丙酮之環氧樹脂作密封，且本實驗操作的時間不長，因此能有效防止丙酮及真空的洩漏。

利用 100+200 目燒結銅網搭配  $w=1\text{mm}$  流道，結果如圖 4.17 所示，因丙酮可負載的加熱量較小，因此起始加熱量為 20W，並以 20W 為一單位逐步向上提升。以填充量  $m=3.2\text{g}$  為例，熱阻值隨著瓦數提高由 0.25K/W 逐步降低至 0.2K/W，並於 60W 後發生乾化現象。相較於水而言，因丙酮之毛細力較差，冷凝之液態丙酮不易被毛細結構帶至蒸發區，且丙酮蒸發潛熱較小，因此在特定瓦數下，需要更大的蒸發量，造成乾化現象較早發生，結果如圖 4.18 所示。劉展宏[19]建立一可視化之平板熱管，由其觀測結果顯示，丙酮的毛細力遠低於水，蒸發區內無法如水能形成厚度較平均的薄水膜，亦即在蒸發區內丙酮液膜厚度變化較大，較不易造成更小的蒸發熱阻。以丙酮作為工作流體時，蒸發熱阻偏高的另一可能原因亦與其較小之表面張力有關，表面張力大的液體可在其與金屬壁界面維持較大面積的薄膜，此薄膜具較小之熱阻，因此其表面上會發生高效能的薄膜蒸發(thin film evaporation)，Potash and Wayner [6]指出，固液汽界面的薄膜蒸發在毛

細物總蒸發量中佔一主要比例。反之，對表面張力較小的液體，較高比例的熱量須經由液面蒸發，具有較大之熱阻。Jeung [15]利用丙酮作為工作流體，金屬容器材質為鋁，以鰭片底部作為蒸汽腔上板，當加熱表面為  $1\text{cm}\times 1\text{cm}$  時，蒸發熱阻為  $0.5\text{K/W}$ ；當加熱表面擴大至  $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ ，在加熱量  $140\text{W}$  時蒸發熱阻則降低至  $0.25\text{K/W}$ 。整體來看，以丙酮作為工作流體之蒸汽腔熱阻值明顯高於以水為工作流體者。

在本實驗中，當加熱瓦數達  $40\text{W}$  時，底板溫度開始產生顯著振盪，研判內部有核沸騰現象發生，此一現象持續至乾化發生以前為止。此與水工作流體並無核沸騰發生有所不同。此由於丙酮之表面張力在  $40^\circ\text{C}$  時為  $2.12\times 10^{-2}\text{N/m}$ ，遠小於水之  $6.96\times 10^{-2}\text{N/m}$ ，丙酮之蒸發潛熱為  $536\text{kJ/kg}$ ，亦遠小於水之  $2406.29\text{kJ/kg}$ ，因此在某特定的熱負載下，丙酮需要更大的蒸發率，此可由增加蒸發面積或提高飽和蒸發溫度來達成。丙酮的這些物理性質使其較容易產生核沸騰。

本研究亦採用  $100+200$  目燒結銅網於中心蒸發區灑入小球粉 (wick2s) 之複合式毛細結構，結果如圖 4.19 所示。在起始加熱時，蒸汽腔熱阻值即較純燒結銅網佳，約為  $0.17\text{K/W}$ ，隨者加熱量提升，蒸汽腔熱阻值逐漸降至  $0.15\text{K/W}$ 。因銅粉毛細力大提供較多的蒸發表面積，故熱阻值較以燒結銅網為毛細結構之蒸汽腔佳，此部分與以純水



作工作流體情況相符；使用複合式毛細結構之蒸汽腔，熱傳極限卻沒因此提升，因丙酮本身毛細力較差，加上銅粉流阻較大，故冷凝之丙酮無法藉由銅網帶回蒸發區。



表 4.1 不同網目毛細結構搭配之飽和水量

wick	Thickness (mm)	porosity	Saturate charge (g)
100+2×200 mesh	0.34	0.64	1.74
100+200 mesh	0.26	0.65	1.35
4×200 mesh	0.33	0.66	1.74



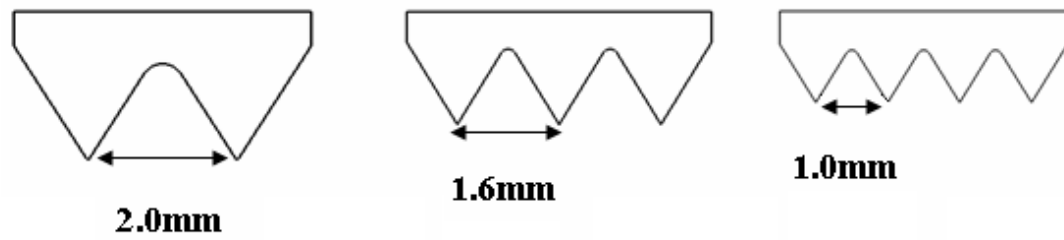


圖 4.1 三種不同邊長之三角形溝槽

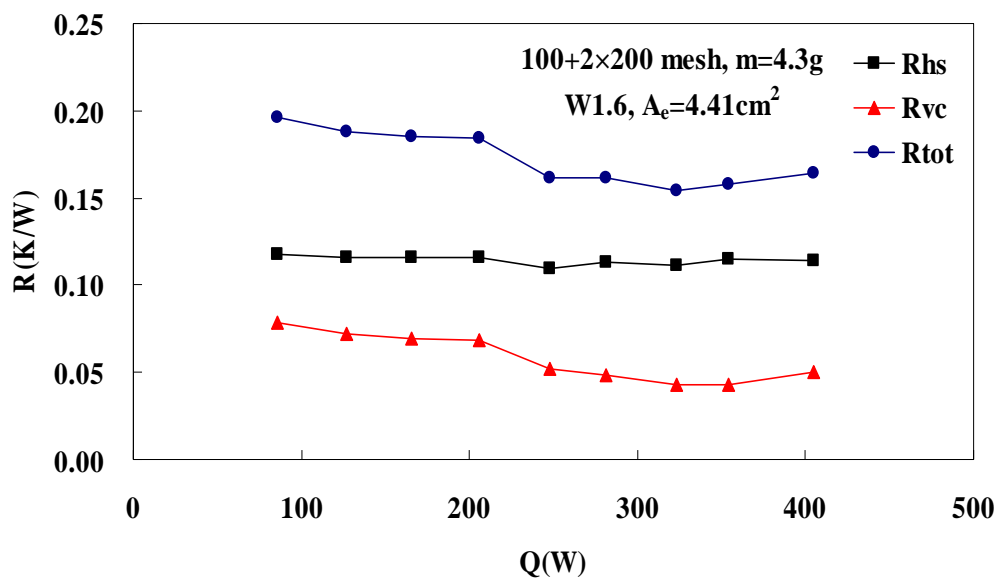


圖 4.2 總熱阻、蒸汽腔熱阻與熱沉熱阻

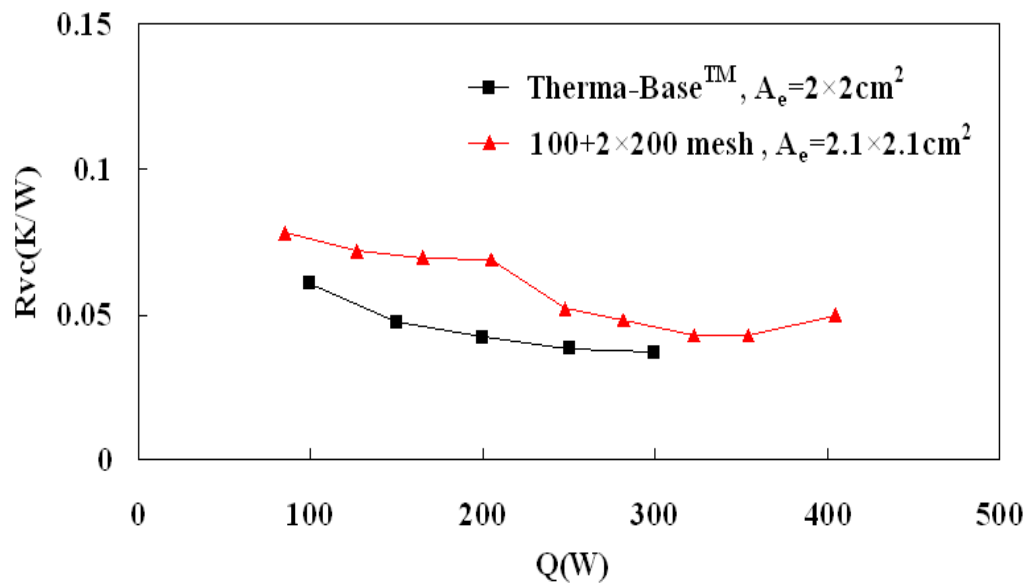


圖 4.3 蒸汽腔熱阻值比較

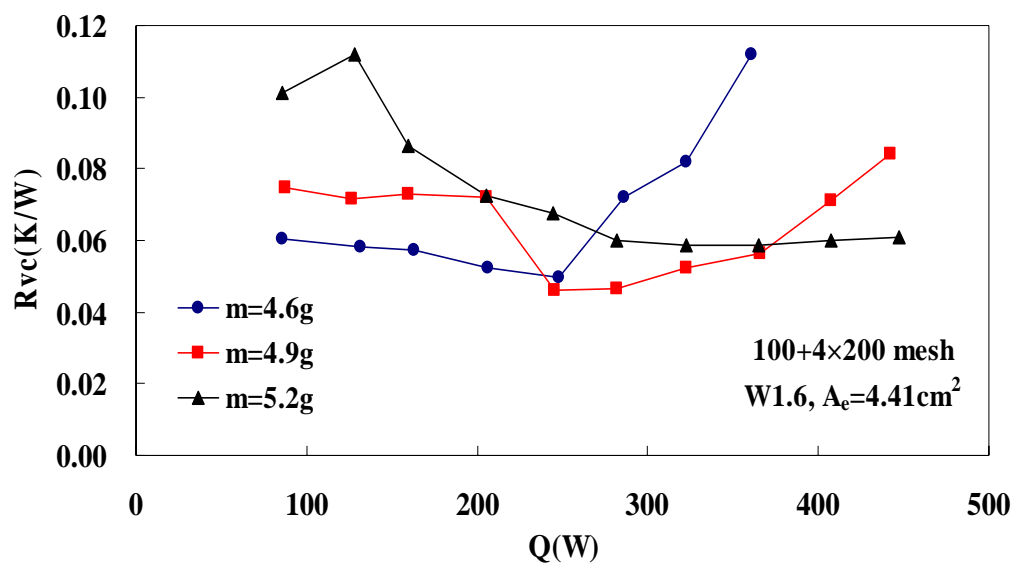


圖 4.4 填充量對蒸汽腔熱阻之影響

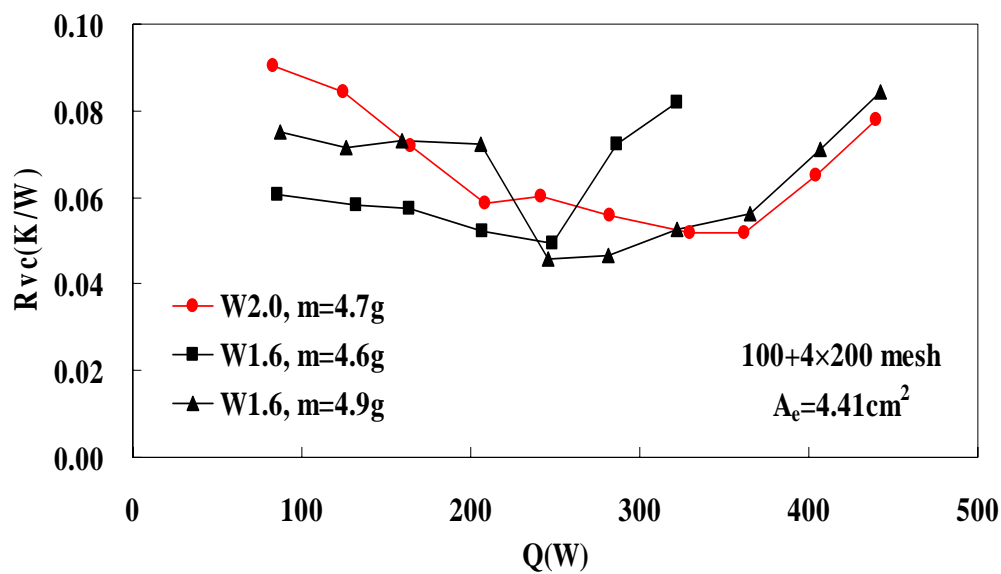


圖 4.5 W2.0 與 W1.6 於 100+4×200 目毛細下之蒸汽腔熱阻值

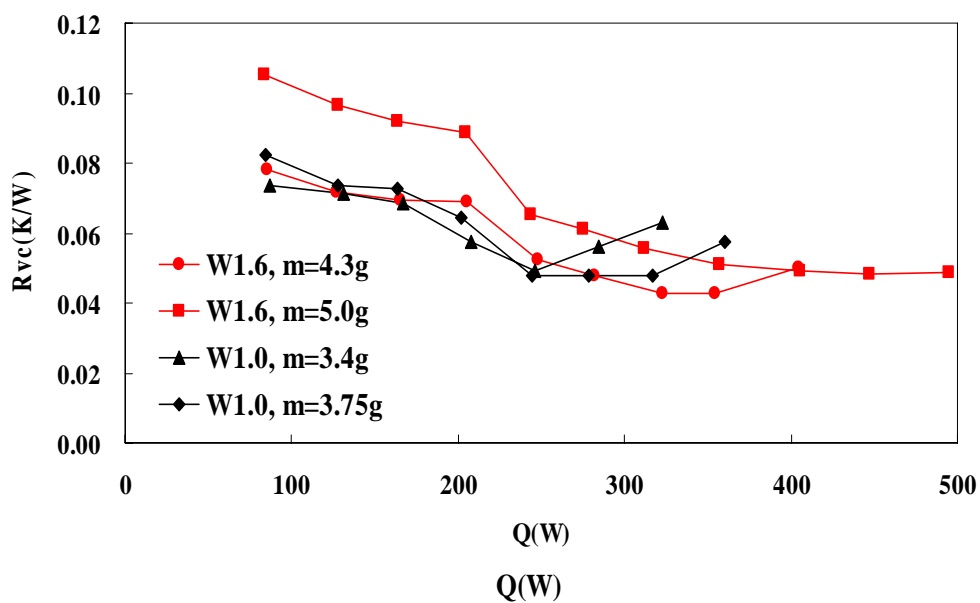


圖 4.6 W1.6 與 W1.0 於 100+2×200 目毛細下之蒸汽腔熱阻值

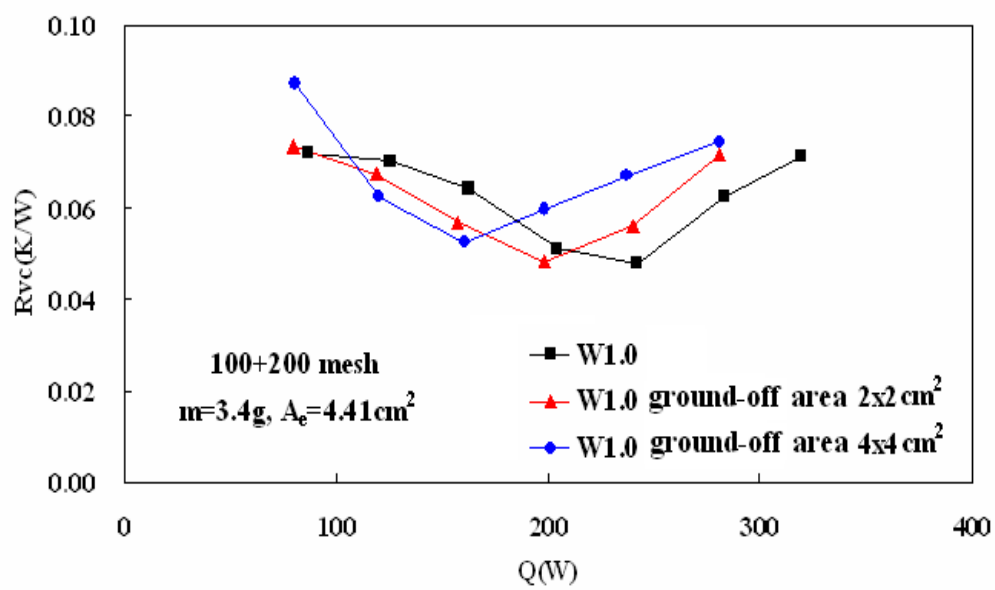
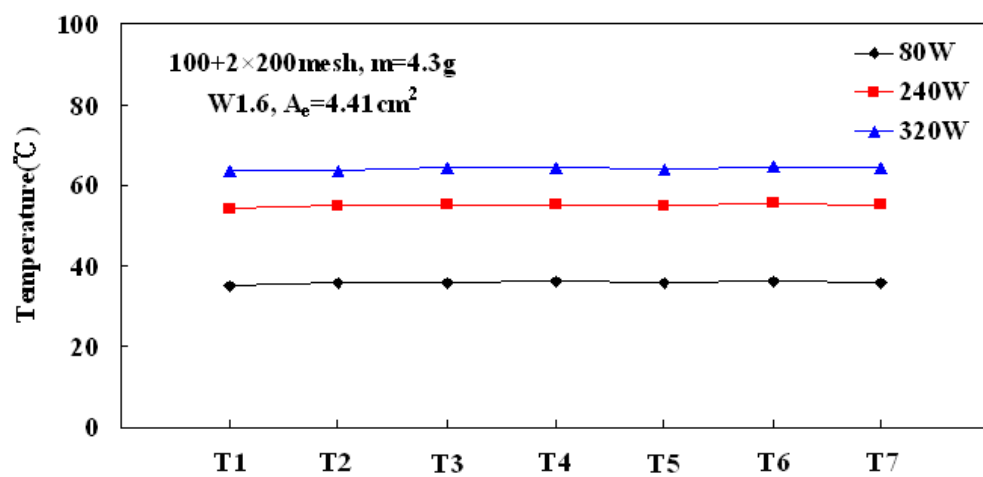
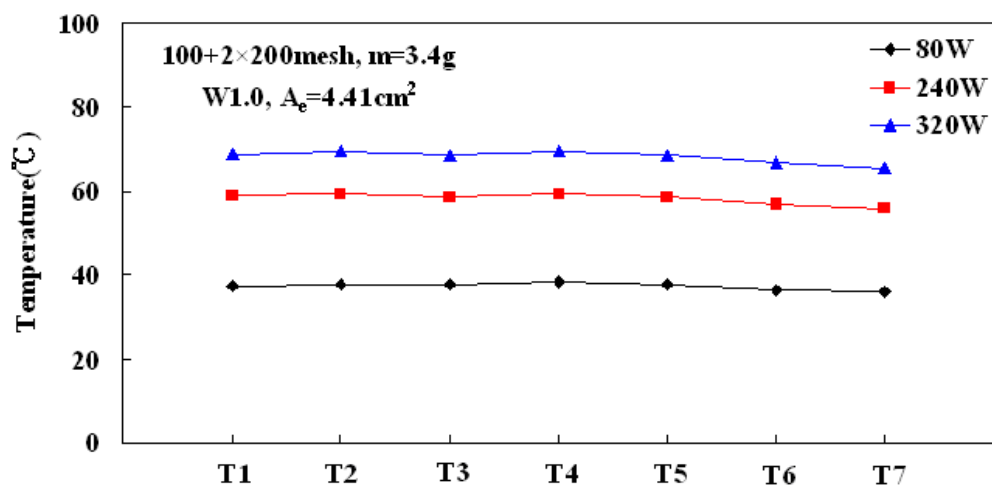


圖 4.7 上板流道破壞對蒸汽腔性能的影響





(a)



(b)

圖 4.8 鰭片底部溫度分布，(a) 溝槽邊長  $w=1.6\text{mm}$ ，  
(b) 溝槽邊長  $w=1.0\text{mm}$



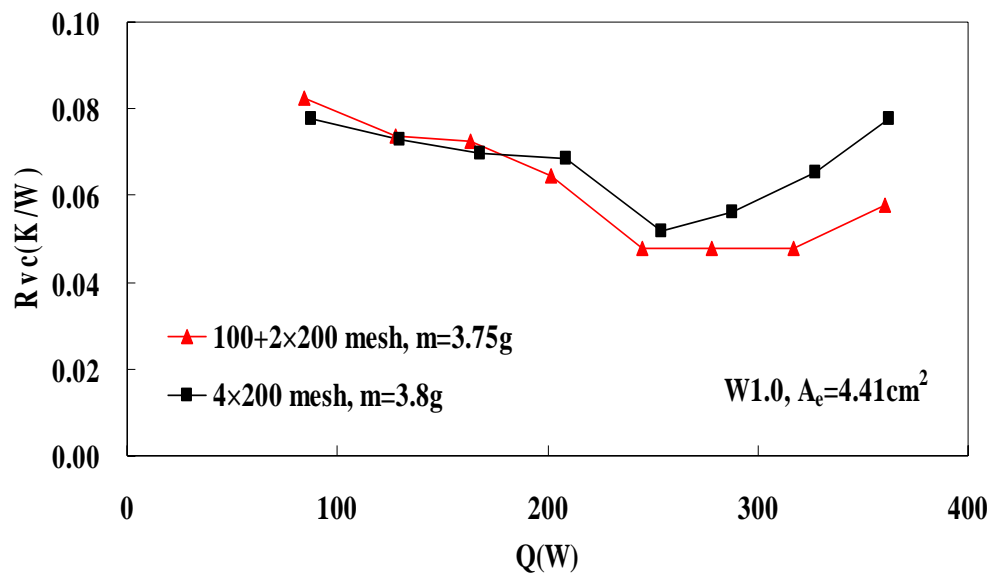


圖 4.9 100+2×200 目毛細與 4×200 目毛細之性能比較

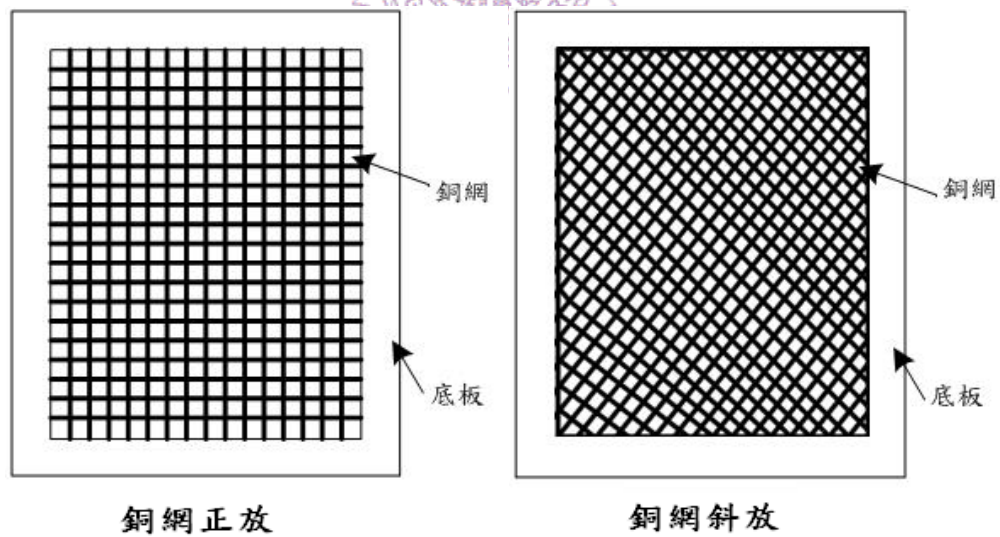


圖 4.10 銅網之不同擺放角度示意圖

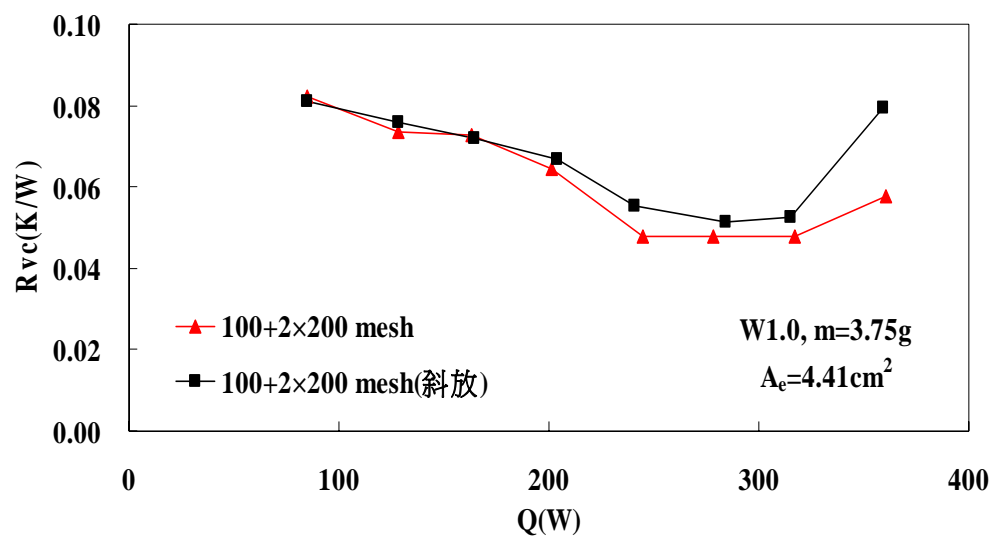


圖 4.11 100+2×200 目毛細正放與斜放之性能比較

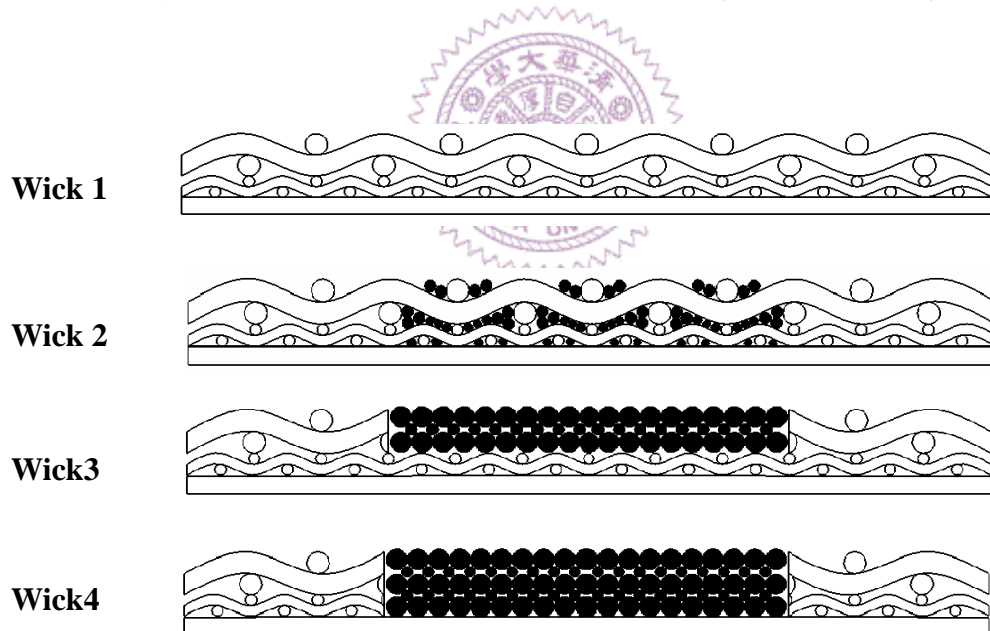
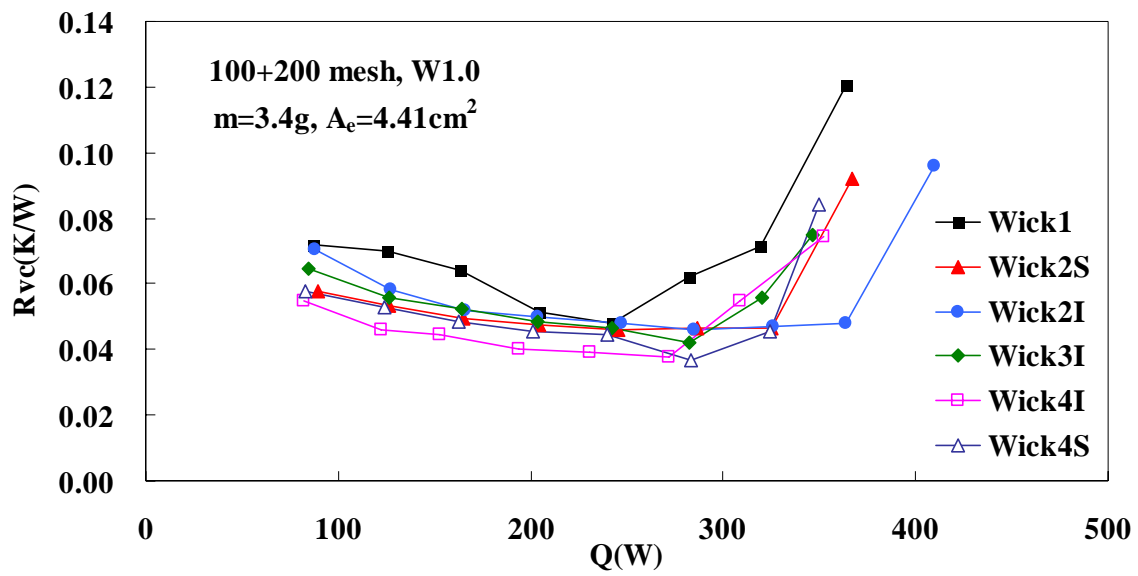
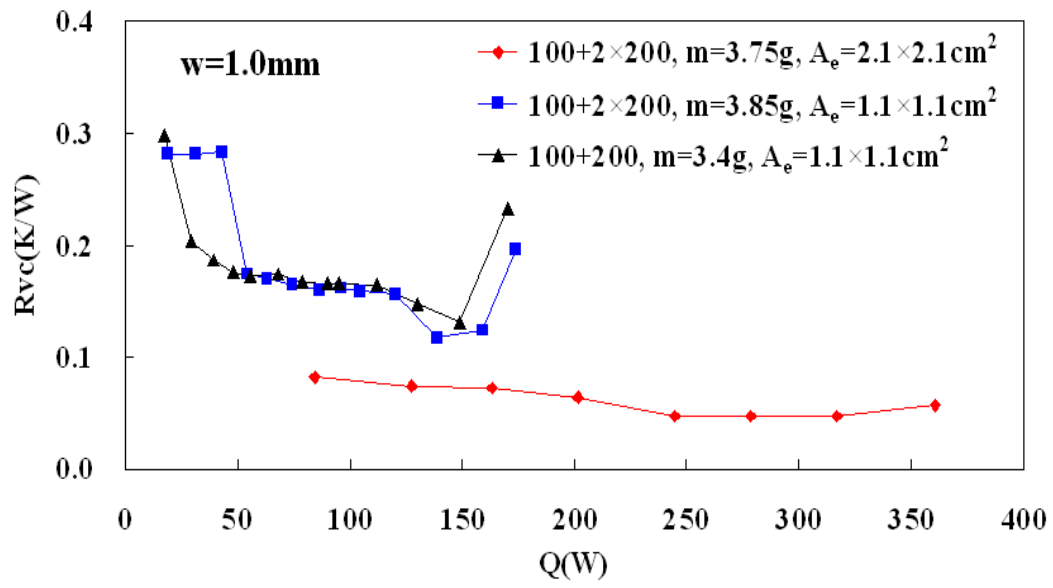


圖 4.12 不同形式的銅網/銅粉複合式毛細結構

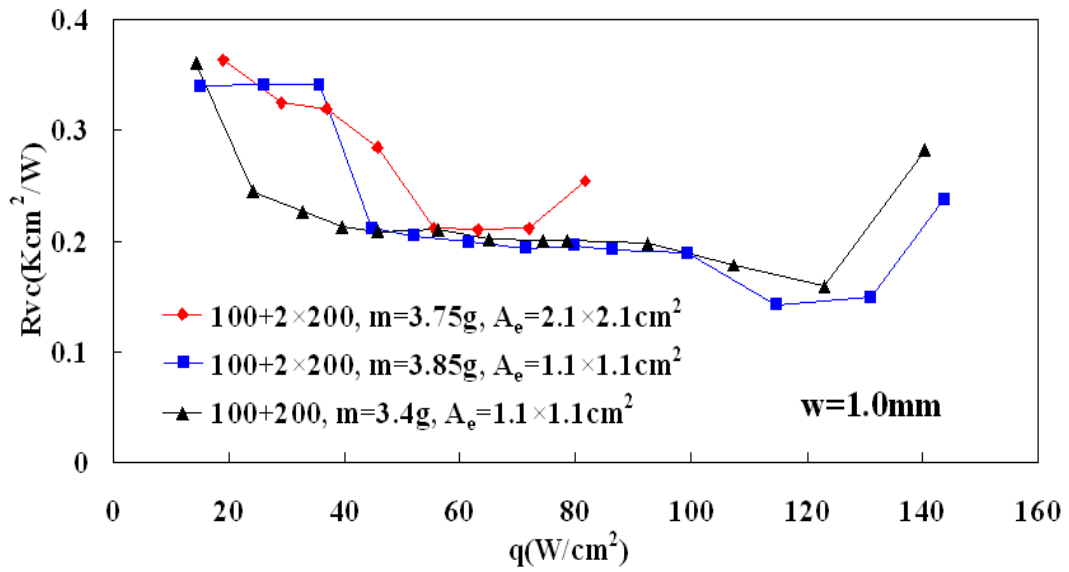


4.13 不同形式的銅網/銅粉複合式毛細之性能比較





(a)



(b)

圖 4.14 不同加熱面積下本蒸汽腔之性能比較

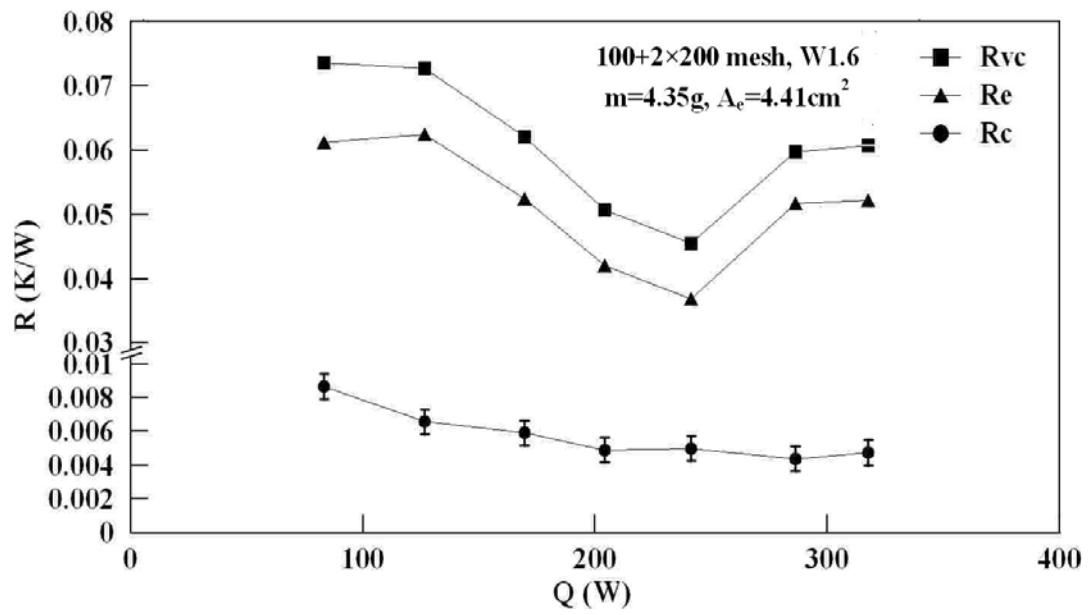


圖 4.15 蒸氣腔之蒸發熱阻與冷凝熱阻

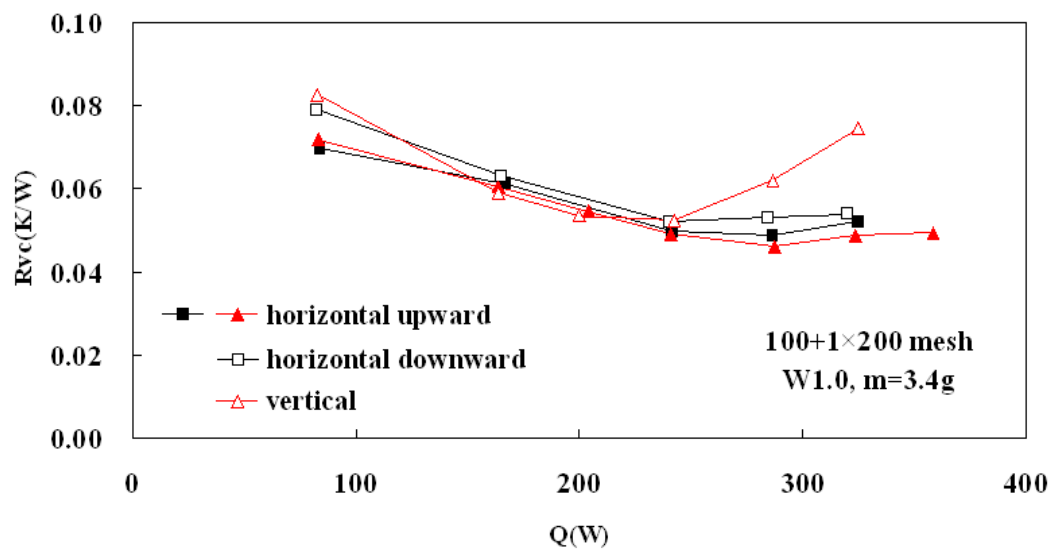


圖 4.16 蒸汽腔於不同擺放角度下之熱阻值

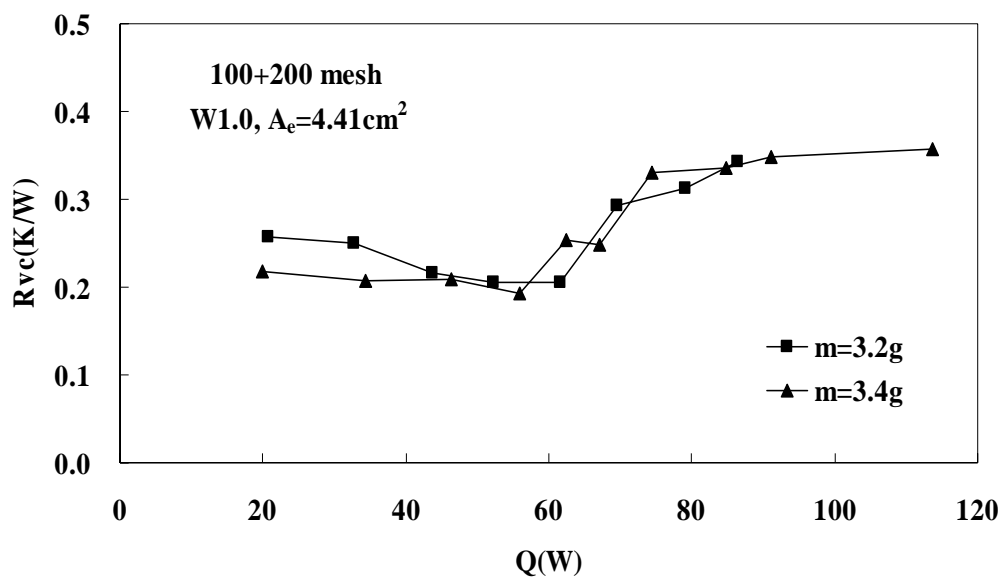


圖 4.17 工作流體為丙酮之蒸汽腔熱阻值

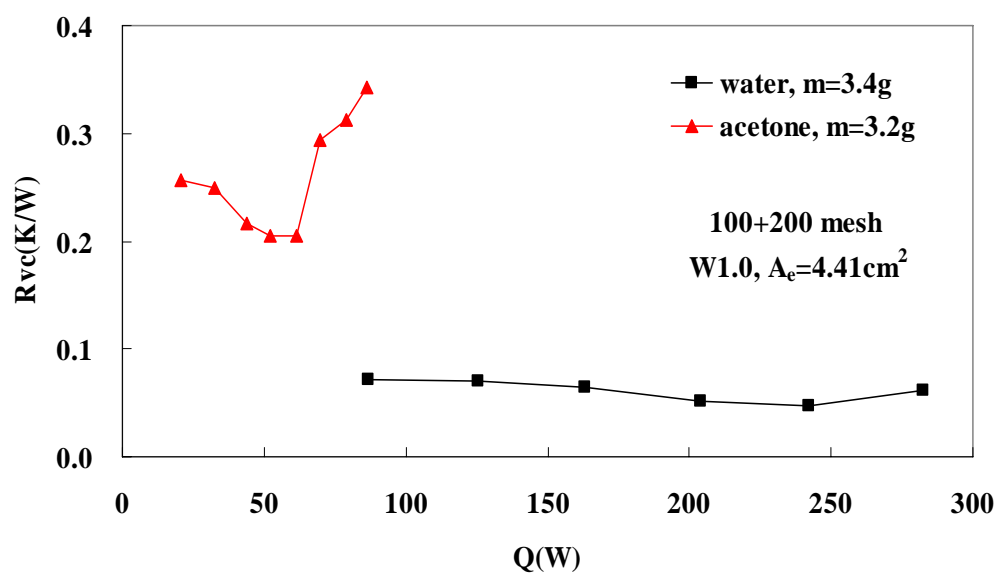


圖 4.18 純水與丙酮作工作流體熱阻值之比較

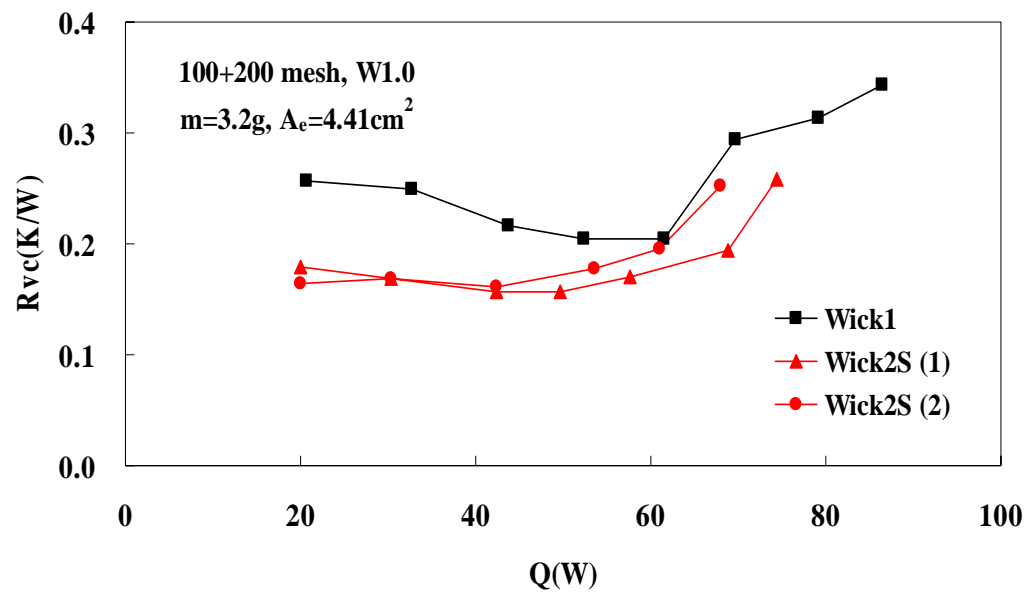


圖 4.19 丙酮搭配銅網/銅粉複合式毛細之蒸汽腔性能



## 第五章 結論

本研究將延伸 Wong et al. [3]作更進一步的研究，採取較大的蒸汽腔，主要針對上板溝槽尺寸、毛細結構、工作流體與擺放角度作更進一步的探討，實驗結論說明如下：

### (一) 上板溝槽尺寸

本研究測試了三種溝槽尺寸(W2.0、W1.6、W1.0)，其中 W1.6 性能略優於其他二者。厚度最小的 W1.0 在相同之燒結毛細結構中，性能接近 W1.6 者。若採 W1.0 之平行溝槽，則具高可撓性及低材料成本的優點，在實際應用上較具潛力。

### (二) 毛細結構

在本研究比較了幾種毛細結構之搭配：(1)100+4×200 目燒結銅網，因毛細較厚所需之水量也較大，造成其在低瓦數加熱量下有較高之熱阻值；(2)4×200 目燒結毛細，因其皆由細網組成因此流阻極大，故較早發生乾化現象；(3)100+2×200 目燒結毛細有較佳之熱阻值，且利用流阻較小之 100 目銅網進行回水，熱傳極限較高。

本實驗亦採用不同形式的銅網/銅粉複合式毛細結構，實驗結果顯示複合式毛細可改善單純銅網毛細的性能，不僅在中低加熱量時具較低且較穩定的熱阻值，且乾化延至較大加熱量才發生。



### (三) 蒸發熱阻( $R_e$ )與冷凝熱阻( $R_c$ )

蒸發與冷凝熱阻隨著加熱瓦數上升而逐漸降低，冷凝熱阻值為 0.0087-0.0044 K/W，佔總熱阻約 1/10，實際冷凝對流熱傳係數為 14200-7200 W/m<sup>2</sup>K。最小蒸發熱阻值為 0.035 K/W，最大蒸發對流熱傳係數為 65000 W/m<sup>2</sup>K。

### (四) 擺放角度

本研究分別將蒸汽腔作三種(水平正放、垂直放置、水平倒置)擺放進行量測，在性能上三種擺放角度無顯著差異，僅垂直擺放時，毛细力需克服重力才能將工作流體自下方拉回蒸發區，導致乾化提早發生。

### (五) 丙酮工作流體

以丙酮作為工作流體之蒸汽腔熱阻值明顯高於以水為工作流體者，並較早發生乾化現象。當加熱瓦數達 40W 時，底板溫度開始產生顯著振盪，研判內部有沸騰現象發生。本實驗亦採用複合式毛细結構搭配工作流體丙酮，低加熱量時具較低且較穩定的熱阻值，但與水情況相異的是熱傳極限並無因此提升。



## 參考文獻

- [1] Mochizuki, M., Saito, Y., Kiyooka, F., and Nguyen, T., “The way we were and are going on cooling high power processors in the industries,” The Seventh International Symposium in Transport Phenomena, Toyama, Japan, September 4-8, 2006.
- [2] Grubb, K., CFD modeling of a ThermoBase heat sink, 8<sup>th</sup> International FLOTHERM User Conference, 1999.
- [3] Wong, S.-C. Wu, J.-D. and Han, W.-L. Experiments on a novel vapor chamber, ITherm 2008 Conference, Orlando, FL, USA, May 28-31, 2008.
- [4] Boukhanouf, R., Haddad, A., North, M.T., and Buffone, C., “Experimental investigation of a flat plate heat pipe performance using IR thermal imaging,” Applied Thermal Engineering, 26 (2006) 2148–2156
- [5] Chang, J.-Y., Prasher, R.S., Prstic, S., Cheng, P., and Ma, H.B., “Evaporative thermal performance of vapor chambers under nonuniform heating conditions,” ASME Journal of Heat Transfer, 130 (2008) 1215011-1215019.
- [6] Potash, M., and Wayner, P.C., “Evaporation from a two-dimensional extended meniscus”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 15 (1972) 1851-1863.
- [7] C. Hohmann and P. Stephan, “Microscale temperature measurement at an evaporating liquid meniscus,” Experimental Thermal and Fluid Science, 26 (2002) 157-162.
- [8] Peterson, G.P., Wang, Y., and Li, C. “Evaporation/boiling in thin

- capillary wicks (I)—wick thickness effect,” ASME Journal of Heat Transfer, 128 (2006) 1312-1319.
- [9] Peterson, G.P., and Li, C. “Evaporation boiling in thin capillary wicks (II)—effects of volumetric porosity and mesh size,” ASME Journal of Heat Transfer, 128 (2006) 1320-1328.
- [10] Wang, Y. and Peterson, G.P., “Investigation of a novel flat heat pipe,” ASME Journal of Heat Transfer, 127 (2005) 165-170.
- [11] Hanlon, M.A., and Ma, H.B., “Evaporation heat transfer in sintered porous media,” ASME Journal of Heat Transfer, 125 (2003) 644-652.
- [12] Wang, Y., and Vafai, K., “An experimental investigation of thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe,” Int. J. Heat Mass Transfer, 43 (2000) 2657-2668.
- [13] Masataka, M., Thang, N., Yuji, S., Yasuhiro, H., Koichi, M., Tanaphan, S., and Youji, K., “Latest vapor chamber technology for computer,” The 8th International Heat Pipe Symposium, Japan, September, 2006.
- [14] Hiroaki, A., Fumitoshi, K., Masataka, M., Koichi, M., Yuji, S., Youji, K., Thang, N., and Tien, N., “Advance thermal solution using vapor chamber technology for cooling high performance desktop cpu in notebook computer,” The 1st International Symposium on Micro & Nano Technology, Honolulu, Hawaii, USA, March 4-17, 2004.
- [15] Jeung, S.G., “Quantitative thermal performance evaluation of a cost-effective vapor chamber heat sink containing a metal-etched microwick structure for advanced microprocessor cooling,” Sensors and Actuators A 121 (2005) 549–556.
- [16] Kempers, R., Ewing, D., and Ching, C.Y., “Effect of number of mesh

layers and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes,” Applied Thermal Engineering, 26 (2006) 589-595.

[17] Peterson, G.P., An Introduction to Heat Pipes, John Wiley & Sons, Inc, 1995.

[18] Koichiro, T., Yuichi, F., and Shunta, U., “Fundamental investigation of roll bond heat pipe as heat spreader plate for notebook computers,” IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 23 (2000) 80-85.

[19] 劉展宏 “操作中平板熱管在不同燒結毛細結構與工作流體下之蒸發區可視化觀察與量測,” 國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文, 2009.

