

第三章 實驗方法

3.1 簡介

本研究將以實驗方法來測試所提出新型平板熱管的效能。CPU 的發熱功率採用加熱銅塊表面模擬，再將平板熱管及散熱模組置於加熱面上方。熱由加熱面透過導熱膏傳至平板熱管底部，藉由蒸發區工作流體產生相變化，透過蒸氣輸送到冷凝區冷凝後將熱傳至平板熱管上方之鰭片，最後利用風扇以強制對流的方式與環境進行熱交換（實驗配置可參見圖 3.1）。藉由各測量點之溫度，可換算成各元件的熱阻來分析其效能。由加熱面到進行最終熱交換的環境熱沉間的總熱阻可分為鰭片熱阻 R_{hs} 、平板熱管熱阻 R_{vc} ，及熱源表面到平板熱管的接觸熱阻 R_c 三大部分。最後以分析熱阻值的方式進行效能的測試及比較。

3.2 實驗配置與步驟

為了得到足以代表熱管效能之熱阻，研究中建立一套實驗配置及測試方法。圖 3.1 為平板熱管效能測試的配置示意圖，實際測試配置如圖 3.2，下方為電木及絕熱棉包覆加熱銅塊所組成的加熱盒，利用加熱棒提供發熱量，透過加熱面積為 2cm*2cm 的加熱銅塊表面提供一均勻熱通量，上接以平板熱管搭配散熱鰭片-風扇組合而成的散熱模組，根據輸入的加熱量以及量得之溫度換算成熱阻以計算其效能。以下分別針對主要實驗裝置作說明。

3.2.1 平板熱管

本研究所設計之平板熱管為能重複使用，採以 o-ring 密封。圖

3.3 為本研究之平板熱管結構示意圖，以上板及下板密封而形成一腔體，腔體內部放置以銅網組成之毛細結構，待充填工作流體後再密封填充管後即完成平板熱管之製作。以下就本研究所討論的平板熱管分金屬容器、毛細結構及工作流體三部份來做介紹。

A. 金屬容器

平板熱管之容器用以充填工作流體及放置毛細結構，材質為無氧銅，其下板接觸熱源表面的部分為蒸發區；上板與鰭片及風扇所組成的冷卻設備透過導熱膏作接觸，即冷凝區。上板尺寸為長 93mm 寬 79mm 厚 3mm，其中上板之平行流道截面為具邊長 2mm 的等邊三角形，各溝槽間則藉溝槽壁上製作的開口連通。下板外尺寸為 93mm * 79mm * 6mm，內部腔體尺寸為 78mm * 64mm，深度視搭配的毛細厚度而不同，主要有 1.8mm、2.1mm，及 2.4mm 三種規格。上下板間使用 o-ring 來密封，外側使用不鏽鋼夾具透過螺絲來鎖緊。不鏽鋼夾具為一回字形，內尺寸為 85mm * 71mm，配合 83mm * 69mm 的鰭片規格。下板短邊的中央處鑽一孔以塞入填充管，在下板中心位置處另鑽有一洞以埋置熱電偶來量取蒸發區底板的溫度。下底板壁厚基於強度問題採取 3.6~4.2mm 厚，大於一般平板熱管之壁厚約 1mm，因此我們在銅板底面洗一口字槽，尺寸如圖 3.4，其中槽深視底板厚度而定，原則上留 1mm 之厚度。此槽可以減少經由銅板的側向熱傳導，使實驗數據更為合理。

B. 毛細結構

毛細結構除了傳輸工作流體外，強化沸騰現象也是其功能之一。

在燒結粉末、金屬網、溝槽三種主要的毛細結構中；適當孔隙大小的燒結粉末其沸騰成核址最多，沸騰效果最好，但是其流阻也相對較大，而且從文獻[20]中測試結果顯示利用燒結粉末作毛細結構之效能雖佳，但重覆性顯然是一大問題，這部份可能是燒結技術較困難，不易掌握。因此本研究選用燒結金屬銅網作為毛細結構以得較佳之重複性，以 100 目及 200 目的銅網搭配，可區分為三類。第一類是將不同目數及層數的銅網直接堆疊在腔體內，利用上流道板施予壓力；第二類則是毛細結構透過燒結過程燒結出厚度 0.3mm、0.4mm 及 0.75mm 等不同厚度的毛細結構後堆疊於腔體內；第三類則是將毛細結構與下銅板一併燒結。燒結程序如下：

- (1) 將欲燒結的數張銅網先經過清洗，清洗步驟為超音波震盪儀先後經過丙酮、水、水、酸液(硝酸、磷酸及水的混合液)、水、水等程序數分鐘，然後以氮氣吹乾，再來利用兩塊石墨板以及不鏽鋼夾具以扭力扳手提供適當的壓力(利用 4 根螺絲以扭力扳手施加 25kg-cm 的扭矩)後置入燒結爐。
- (2) 將整套不鏽鋼夾具推入鋼管的中央位置，之後確認進氣閥和出氣閥關閉，打開連結機械真空幫浦(mechanical vacuum pump)的閥門，抽真空約十分鐘，使燒結爐的壓力錶能降到最低。
- (3) 關閉真空幫浦閥門後充填氮氣直至管內壓力略大於一大氣壓後關閉氮氣進氣閥，打開氫氣的進氣閥門後充填氫氣並打開出氣閥後於出氣閥口點火將多餘的氫氣燃燒，藉由調整氫氣進氣閥及出氣閥使管內壓力穩定在略大於一大氣壓。
- (4) 設定溫度上升曲線，90 分鐘升溫至 790℃，持溫 50 分鐘，之後使其自然降溫。待溫度低於 500℃後，關閉氫氣改通氮氣使其持

續降溫。

- (5) 第三類毛細結構之燒結溫度上升曲線為 90 分鐘升溫至 900°C ，持溫 90 分鐘，之後使其自然降溫。待溫度低於 500°C 後，關閉氬氣改通氮氣使其持續降溫。

C. 工作流體

為應用在一般電子設備之冷卻上，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。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，且效能優於其餘兩者；因此本研究將選用水當作平板熱管的工作流體，透過實驗找出不同毛細厚度下的最佳充填量。



3.2.2 實驗設備

A. 真空及充填設備

平板熱管工作流體的充填採用先抽真空後注水的方式，為減少非凝結氣體對平板熱管效能之影響，純水部份必須先經過加熱程序以減少非凝結氣體對平板熱管的影響。

注水程序如下：

- (1) 清洗後組裝好的工件安裝在充填系統上，即圖 3.5 中平板熱管的位置，再將除氣過的工作流體注入玻璃管。
- (2) 啟動幫浦，依序開啟 V1，V3 閥門，待判斷管路中無殘餘液體後開啟 V2 量測壓力值。若真空初次出現洩漏的問題，將真空系統重新組裝後再進行壓力量測，之後若出現二次洩漏，則對工件重

新進行清洗組裝工作。

- (3) 將平板熱管在真空壓力為低於 1×10^{-2} torr 的條件連續抽氣 15 分鐘，以去除平板熱管腔體內殘餘氣體。
- (4) 關閉 V3 打開 V4 閥門，此時平板熱管腔體內為低壓狀態，大氣壓力會將工作流體吸入平板熱管內，而後利用真空剪剪斷填充管，經由板熱管充填前後的重量差計算實際注入的工作流體體積。

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，其加熱面積主要為 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ ，銅塊底下設計有三各直徑 10mm 長 65mm 的圓孔，分別插入三支發熱功率上限為 150 瓦的加熱棒，利用直流電源供應器提供加熱棒所需之電功。加熱銅塊外以絕熱棉包覆，再放入設計好之電木盒，以此減少熱和環境的熱交換而達到絕熱的效果。

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 及此兩點間的溫度梯度之用，透過這兩點的溫度差可以算出實際通過加熱銅塊表面的熱通量之值。

C. 風扇及鰭片

平板熱管上方是由鰭片及風扇所組成的散熱裝置，利用功率約 6 瓦的 7 公分扇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 83mm 寬 69mm 厚 2mm，鰭片的尺寸為長 83mm 高 35mm 厚 0.3mm，鰭片間距為 1.3mm，鰭片數為 43。

在鰭片底部洗製作 7 個寬 1mm 深 0.7mm 的槽以放置熱電偶，鰭片

上 7 個溫度點的平均溫度 $T_{f,avg}$ 亦代表平板熱管上板的平均溫度，因此可以將各部份熱阻計算出來，熱電偶分布位置如圖 3.6。

D. 導熱膏及加壓裝置

導熱膏的功能主要在降低接觸熱阻，而導熱膏的厚度將會大大影響該部分的熱阻值，因此實驗中利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來控制這部份的變因。此外不同壓力將會影響這部份的溫差，但是達到一相當值之後再增加，影響便不顯著了。本實驗壓力均設定在 10kgf，以加熱面積 4cm^2 來說，壓力約在 2.5atm，算是在一合理範圍內。

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 0.1mm。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來紀錄數據，由軟體上顯示各溫度點的溫度隨時間的變化來判斷是否達到穩態，待穩態後（通常約需 30 分鐘）方才紀錄。熱電偶在使用前都先經過校正。主要量取的溫度有加熱銅塊的表面溫度、鰭片上的溫度分佈以及風扇的入口溫度等。

3.2.3 其他相關儀器

A. 燒結爐

燒結爐採用振華電熱公司製作的管狀氣氛燒結爐，其程式控制器可設計加熱曲線，最高加熱溫度可達 1200°C ，而爐內鋼管的尺寸為

長 120cm、直徑 10cm，內部置有一熱電偶來量測爐內的溫度。

B. 電源供應器

加熱棒及軸流風扇所需之電功均由直流電源供應器提供，其中用來提供加熱棒電功之電源供應器具兩單元，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。另一部電源供應器則專以提供風扇運作。

C. 導熱膏

導熱膏為 Corning TC5021，比重 3.3，熱傳導值為 3.5W/m-k，耐溫範圍從零下 50°C 到 170°C。用來塗佈在金屬的接觸面上以降低接觸熱阻，主要為熱源表面以及散熱鰭片下表面等。使用前先以丙酮擦拭金屬面，最後塗抹一層均勻的導熱膏後，進行兩金屬面接觸的動作便完成。

3.2.4 實驗步驟

實驗步驟如下：

1. 平板熱管的組合：先將上板、下板、毛細結構清洗乾淨，清洗步驟為使用超音波震盪儀，將工件先泡在丙酮中震盪 5 分鐘以去除油污，稍後經過兩道純水各 5 分鐘的震盪清洗後，再泡入以硝酸、磷酸混合的水溶液中震盪 1 分鐘，取出後經過兩道純水各 5 分鐘的震盪清洗，以氮氣槍吹乾。將毛細結構放入下板，再將 o-ring 放入 o-ring 槽後，外部以不銹鋼夾具扣緊。再將熱電偶插入底板的中心處。

2. 將工作流體預先除氣後，利用玻璃管及真空幫浦等充填設備將

工作流體充填入平板熱管，充填後以熱風加熱管件以減少管件上殘留的工作流體，最後以真空剪封真空。利用充填前後重量差異判斷工作流體的充填量。

3. 將鰭片底面及加熱表面塗上導熱膏，將平板熱管及鰭片風扇置於加熱表面上，利用巾型夾及四角固定器提供 10kgf 的接觸壓力，再將一條熱電偶放於風扇的入風口處即 T_a 。將鰭片上的熱電偶線接到數據擷取器後，打開軟體讀取各點溫度。

4. 打開電源供應器使加熱棒及風扇開始運作，調整電源供應器電壓設定加熱量 80W，待 30 分鐘後，讀取溫度並紀錄。

5. 依序更改加熱量 120W、160W 及 200W，若 R_{vc} 低於 $0.07^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，則持續更改加熱量直至平板熱管的熱傳極限。

6. 待測試結束後，將平板熱管洩真空，更改測試參數後重複步驟 1-5。

3.2.5 熱阻計算之整理

熱阻之計算方式在理論中已作過說明，現在將其整理於此。本研究將系統的熱阻依元件區分成：

R_{hs} ：熱沉熱阻，由鰭片底部到環境間熱阻。

R_{vc} ：平板熱管熱阻，由下板蒸發區至上板間的熱阻。

R_c ：接觸熱阻，由熱源表面到平板熱管間的接觸熱阻。

R_{tot} ：總熱阻，由熱源表面到環境間的熱阻。

而各熱阻之計算式如下：

$$(1) \quad R_{hs} = \frac{T_{f,avg} - T_a}{Q},$$

$$(2) R_{vc} = \frac{T_{vc,b} - T_{f,avg}}{Q},$$

$$(3) R_c = \frac{T_h - T_{vc,b}}{Q},$$

$$(4) R_{tot} = R_c + R_{vc} + R_{hs} = \frac{T_h - T_a}{Q}$$

其中

Q ：加熱量，可由電源供應器讀數及加熱銅塊上的溫度梯度得到。

$T_{f,avg}$ ：鰭片底面平均溫度。

T_a ：環境溫度。

$T_{vc,b}$ ：平板熱管下板中心處溫度。

T_h ：熱源表面溫度。

3.3 實驗參數

本研究主要的變化參數為：毛細網目大小與厚度、工作流體充填量、表面粗糙度等。針對這幾項參數，將設計以下實驗：

1. 毛細結構之厚度、網目大小等是影響平板熱管效能的關鍵參數，而文獻[13]也明確指出毛細結構之目數越大（網格越細），沸騰所需之壁過熱度較小，而流阻則較大，因此熱傳極限較小；反之目數越小（網格越粗），沸騰所需之壁過熱度較大，而流阻較小，熱傳極限較大。為此我們利用目數較大的銅網在下與蒸發區銅壁接觸，可以降低沸騰所需過熱度及蒸發熱阻，有效提昇平板熱管效能；目數較小的銅網在上與流道接觸，這部份有兩項優點，(1) 流阻較小可以提高熱傳極限，使熱管不易發生（局部）乾化，(2) 底層產生之氣泡不會卡在毛細結構內，避免因氣泡堵塞導致熱管效能下降或提早發生乾化現象。毛細結構之規格整理如表 3.1，其中第一類毛細結構代號以 W 起首；第二類毛細結構代號以 Ws 起首；第三類毛細結構代號以 WS 起

首，例如代號 W75 表示 75 目之銅網；Ws100-1&200-2 則表示毛細結構為 100 目銅網一層與 200 目銅網兩層一併燒結。實驗將針對三種類型之毛細結構，分別就數種網目及層數之搭配進行測試，比較其對蒸發熱阻及最大熱傳量的影響。

2. 工作流體充填量的多寡對平板熱管的效能有顯著的影響，會有一最佳的充填範圍。工作流體較少時，熱管較易啟動，在低加熱量的效能會較佳，但其熱傳極限較低，容易在較高加熱量的情況下乾化；充填過多，熱管啟動的延遲現象較明顯，此外液膜過厚的情況下會使熱管效能變差，而蒸氣空間不足也是效能變差的原因之一。表 3.1 中孔隙率是利用測量重量與體積後經過換算而得，而根據毛細結構體積與孔隙率可以計算得到毛細結構內孔隙之總體積，透過這部份得到毛細結構飽和水量，再加上上板流道部份（約 0.59c.c.）便可以得到各種毛細結構之參考充填量。而本研究將以實驗方法，找出最佳的充填量，分析充填量對平板熱管熱阻 R_{vc} 的影響。

3. 本實驗將比較粗糙面與光滑面對平板熱管效能的影響—光滑面（以 1000 號以上砂紙研磨）；粗糙面（以美工刀在蒸發區位置刻出刀痕，刀痕間隔約 0.5~1mm），比較在相同條件下（毛細厚度及最佳充填量），粗糙程度對效能的影響。

4. 找出最佳效能的組合後，改變熱源的表面積，測試不同加熱面積下其效能及乾化極限，最後再利用增加鰭片面積強化鰭片部份熱阻後，找出系統的總熱阻 R_{tot} 極限。

表 3.1 毛細結構規格

Sample	thinkness(mm)	porosity(%)	Wick pore volume(cm ³)
W75	0.31	67	1.04
W100	0.21	64	0.67
W200	0.11	70	0.38
Ws75-1&200-1	0.4	66	1.32
Ws100-3&200-3	0.8	57	2.28
Ws100-1&200-2	0.42	66	1.38

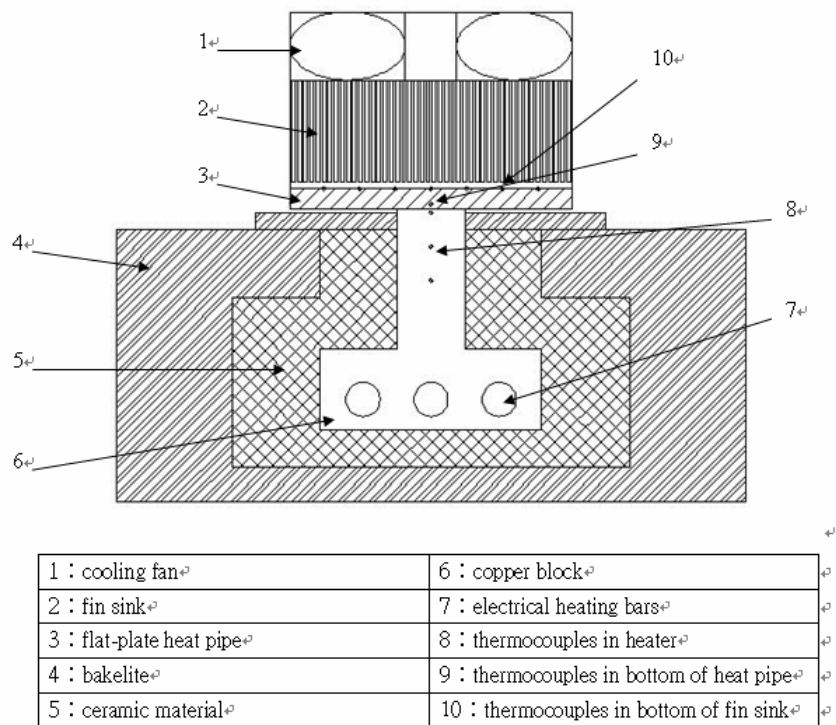


圖 3.1 平板熱管實驗配置示意圖

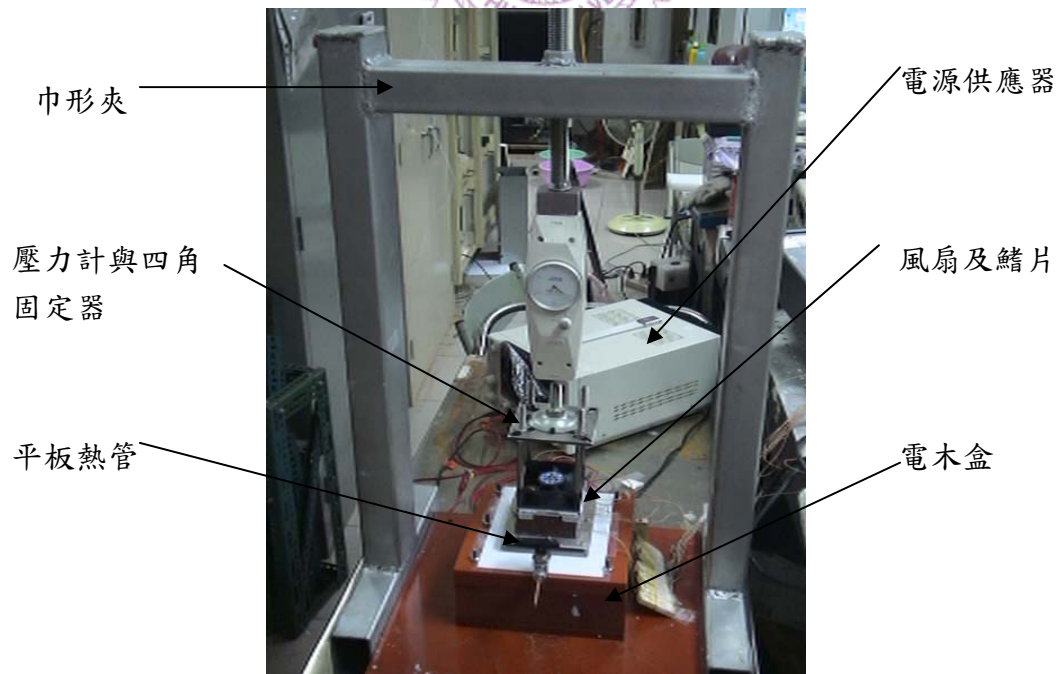


圖 3.2 平板熱管測試圖

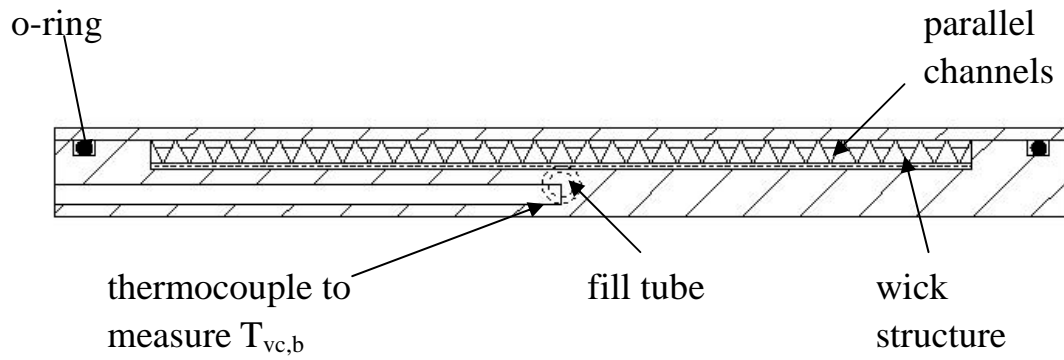


圖 3.3 本研究之平板熱管結構剖面示意圖

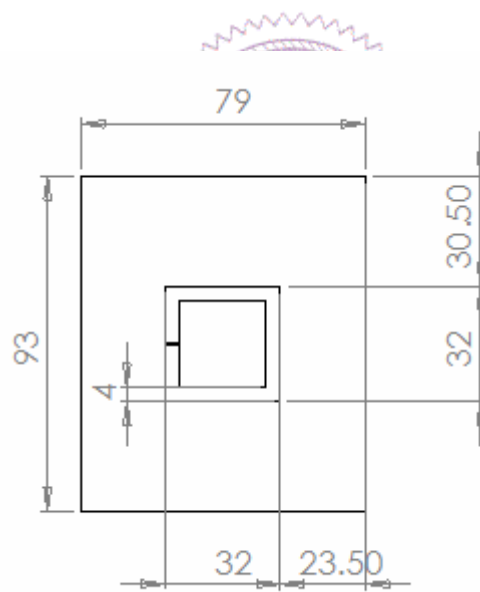


圖 3.4 底板口字槽幾何尺寸圖

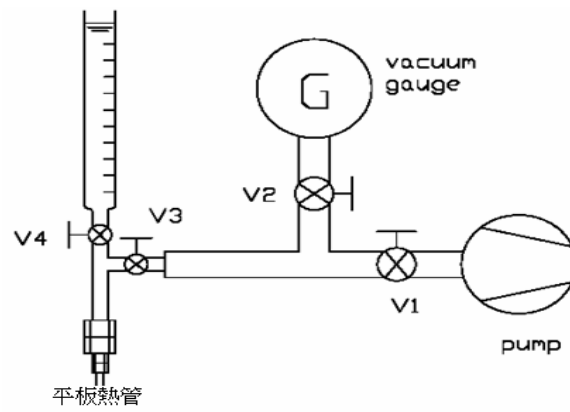


圖 3.5 充填系統示意圖

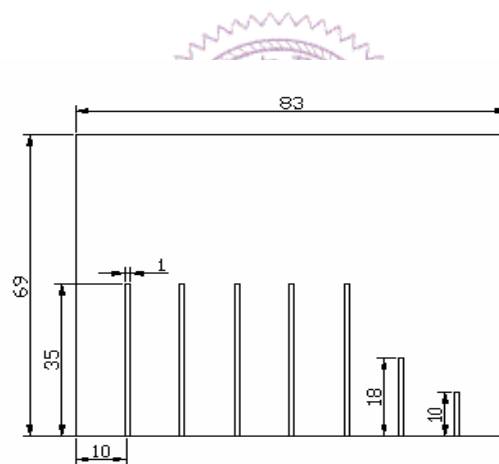


圖 3.6 鰭片底面上熱電偶位置圖