



工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

熱管之原理、製作與應用

王啟川、簡國祥

Tel:03-5916294

Email: ccwang@itri.org.tw

空調機研究室

熱流技術組

能源與資源研究所



工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

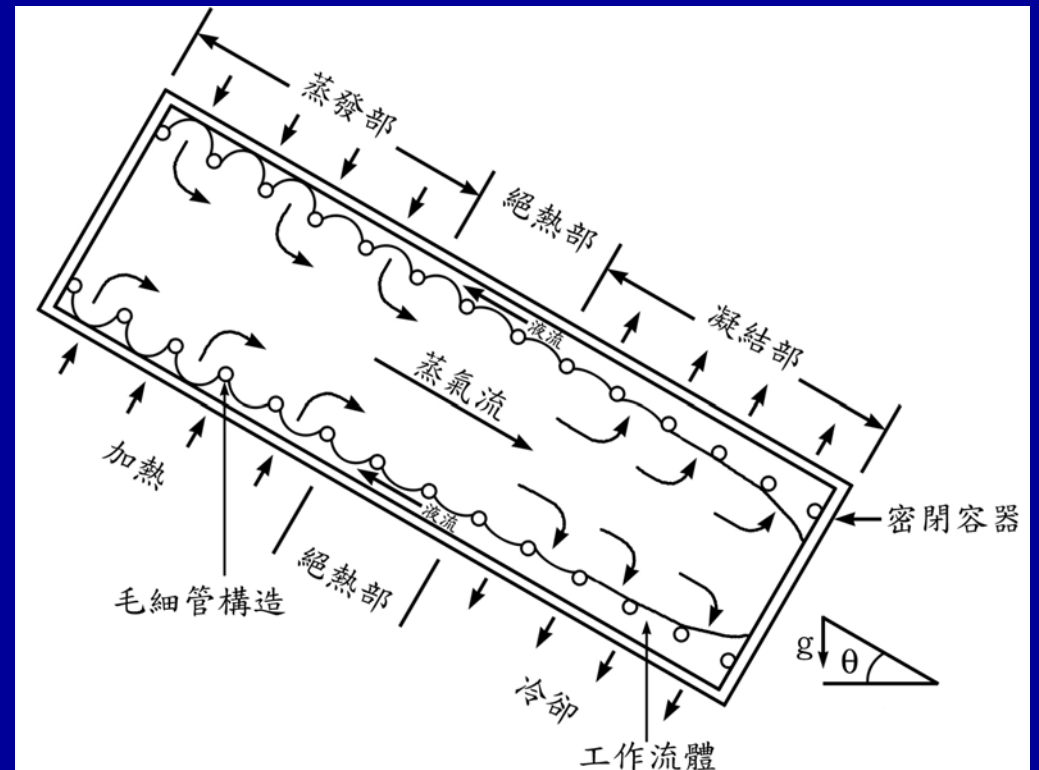
Energy & Resources Laboratories

1. 基本原理介紹
2. 熱管的製作
3. 熱管類產品的應用



熱管的組成主要有三項基本要素

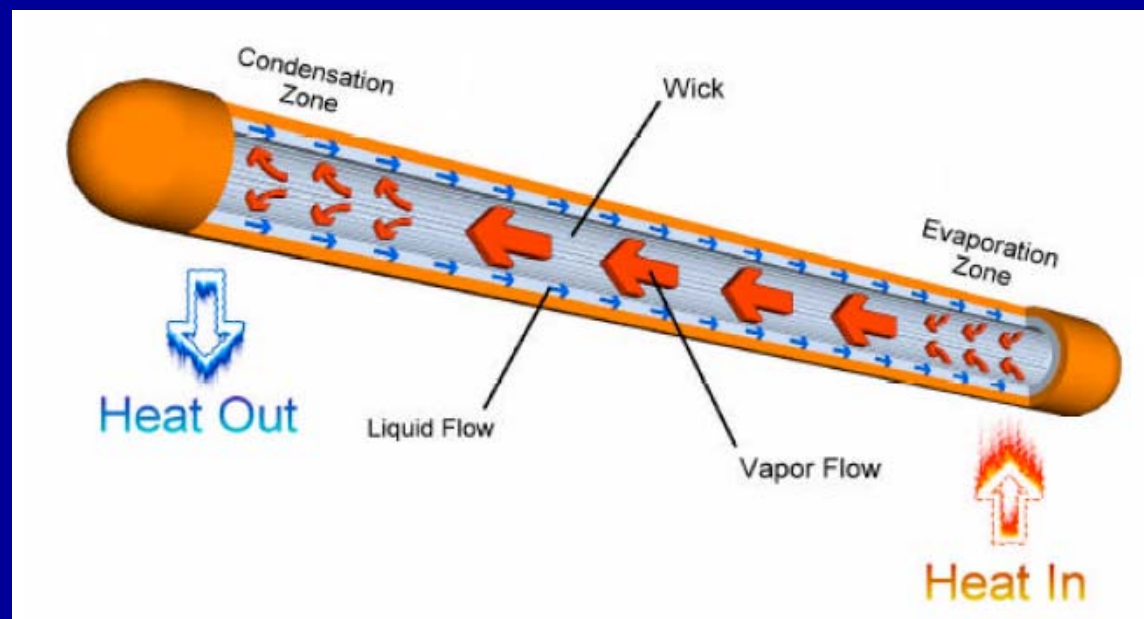
- 密閉容器(container)
- 毛細管構造(wick)
- 工作流體(working fluid)





熱管特性

- 較大的傳熱能力
- 較高的等溫性
- 熱響應迅速
- 具有熱流密度變換功能
- 重量輕
- 無可動件





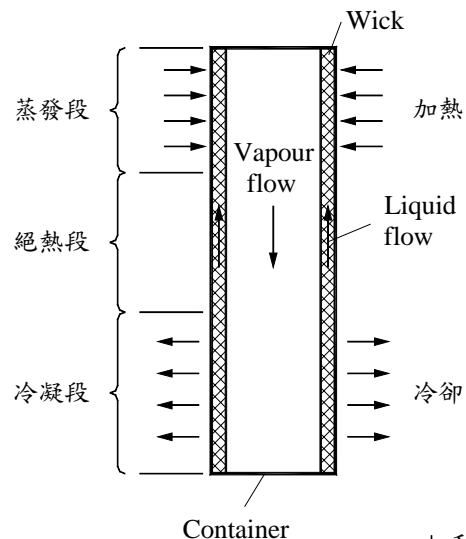
熱傳導係數

| 材 質 | 熱 傳 導 係 數 |
|-----|-------------------------|
| 熱 管 | 50,000 – 200,000 W/m °C |
| 鋁 | 180 W/m °C |
| 銅 | 380 W/m °C |
| 鑽石 | 2,000 W/m °C |

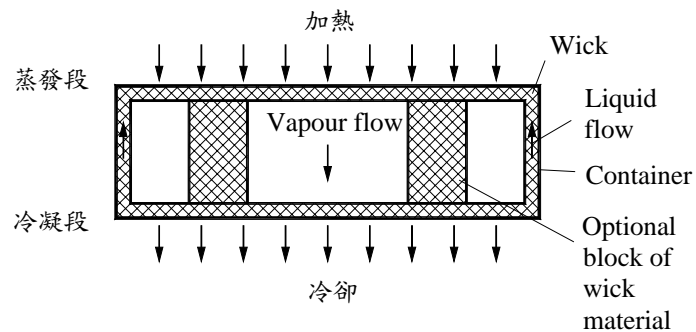


熱管種類

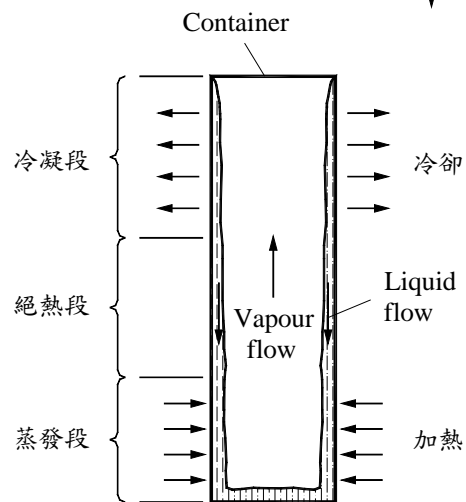
(I) 毛細現象驅動型熱管



(II) Vapor chamber

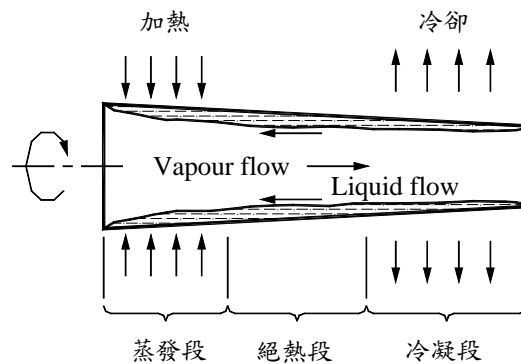


(III) 熱虹吸重力型熱管



重力方向 ↓

(IV) 旋轉式離心力驅動型熱管





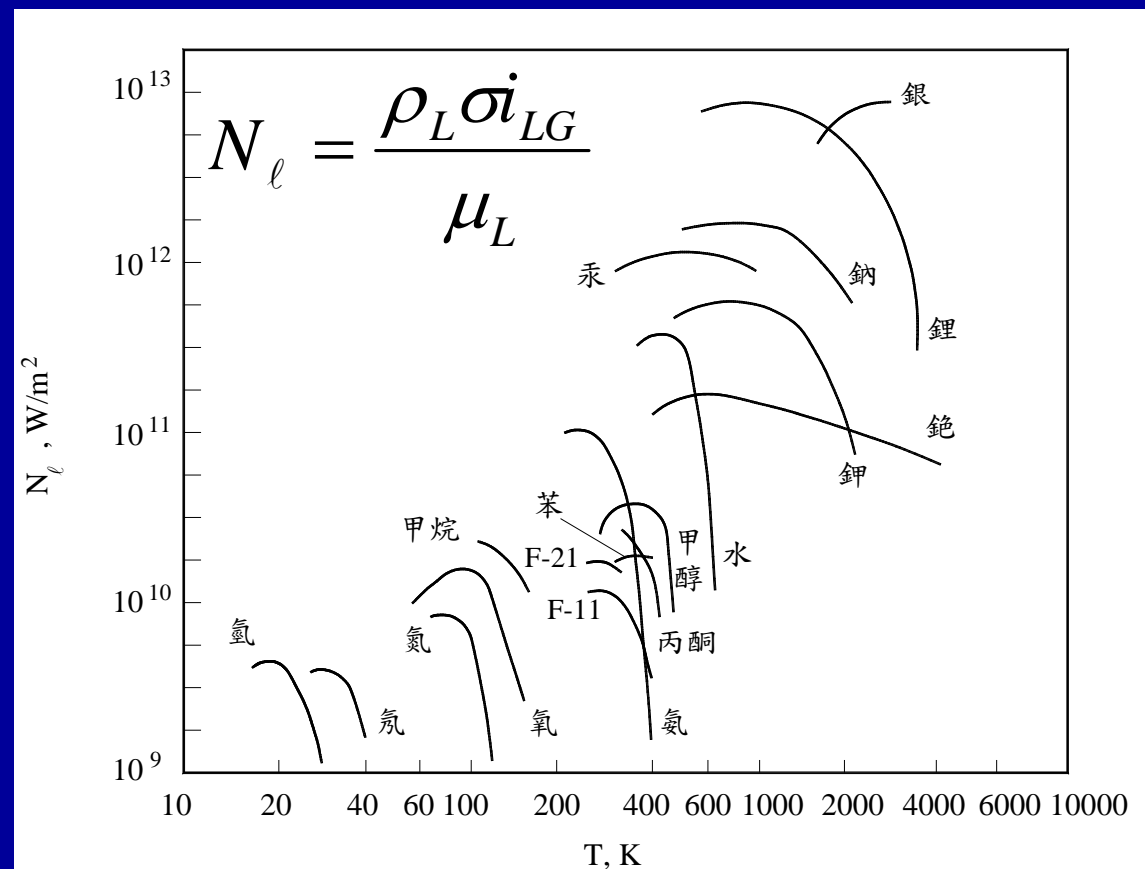
熱管優點

- 沒有運動部件，每根熱管都是永久性密封的，沒有額外的能量消耗，可大大提升操作的可靠性。
- 熱管熱交換器的結構可使用逆流設計，而且熱管本身的溫降很小，近乎等溫運作，故熱交換效率高。
- 由於冷、熱流體都在熱管外表面流過，所以容易用增加鰭片的方法來提高冷、熱流體與熱管表面的對流熱傳性能。
- 每根熱管完全獨立，容易更換，管排寬度及熱管外表面鰭片高度和間距可以根據性能要求及維修、清洗的要求，進行適當的選擇。
- 設備的傳熱性能為可逆安排設計，即冷、熱流體可以變換，這對空調系統的節能十分有利。
- 結構比較緊湊密集，單位體積的傳熱面積大，通常在流動方向上熱交換器的尺寸不大於500 mm。
- 即使於冷、熱氣流間溫差很小（如僅十幾度）的情況，也能得到一定的熱回收效率。
- 溫度低於露點，熱管熱交換器仍可以適用，例如用於溶劑的回收。
- 壽命長。



熱管工作流體的特性

- 熱傳性能好
- 與管蕊、管殼材料能長期相容
- 化學組成穩定
- 適中的飽和蒸氣壓
- 熱傳導係數高
- 潤濕性能好





工作流體與適用溫度範圍

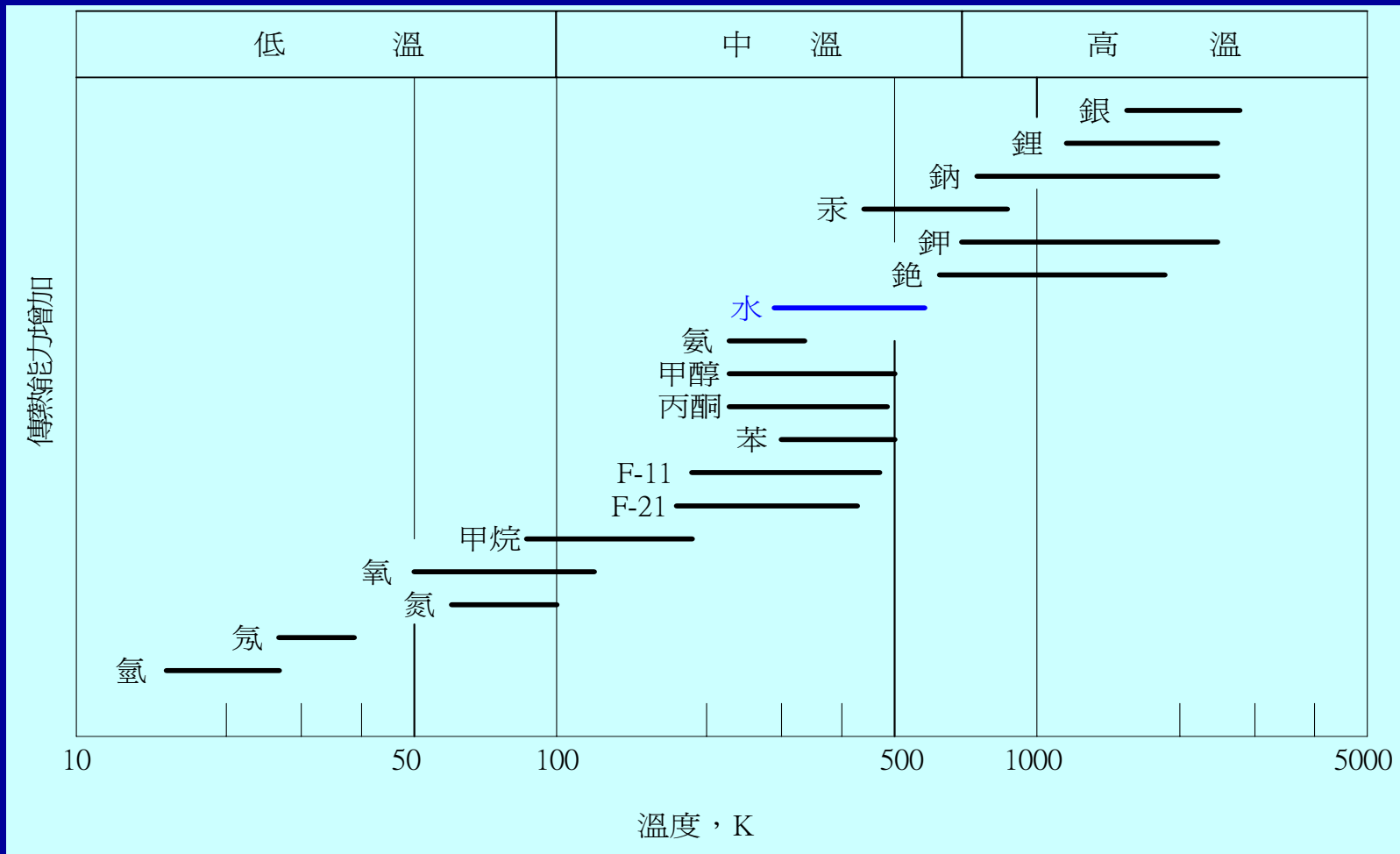


Figure of Merit

$$M = \frac{\rho_l \sigma_l h_{fg}}{\mu_l}$$

ρ : 密度
 σ : 表面張力
 H_{fg} : 液汽相變潛熱
 μ : 黏性係數

M值越大越佳
 M值是溫度的函數



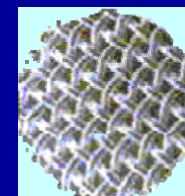
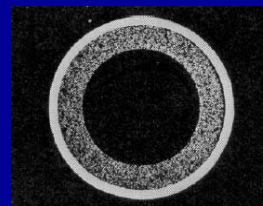
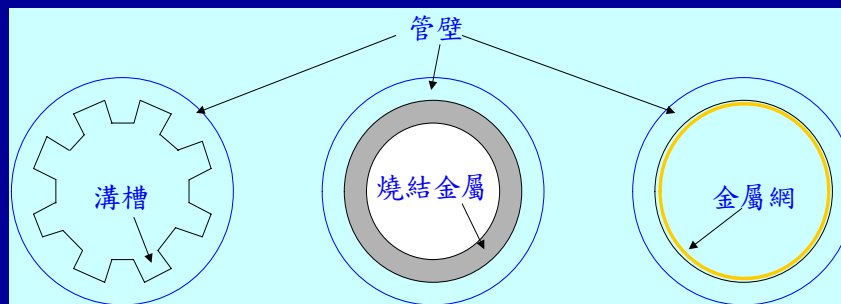
熱管工作流體與材料不相容的原因與影響

| 影 響 | 原 因 |
|----------|---|
| 熱管熱阻增大 | <ol style="list-style-type: none">1. 反應產物沉積，使熱傳係數減小2. 由於化學反應產生不凝結氣體3. 管殼、管蕊、工作流體的出氣4. 工作流體分解產生不凝結氣體 |
| 熱管傳熱能力下降 | <ol style="list-style-type: none">1. 管蕊被固體顆粒堵住，流動阻力增大2. 管蕊內有氣泡存在，使流動阻力增加或使液流中斷3. 由於化學反應使管蕊潤濕能力下降4. 由於工作流體中溶解了反應產物或金屬離子，使表面張力變小5. 工作流體中溶解了反應物使粘度增加6. 管蕊被腐蝕，無法輸送液體 |
| 管殼損壞 | <ol style="list-style-type: none">1. 管殼的電化學腐蝕2. 管殼材料溶解在工作流體中 |

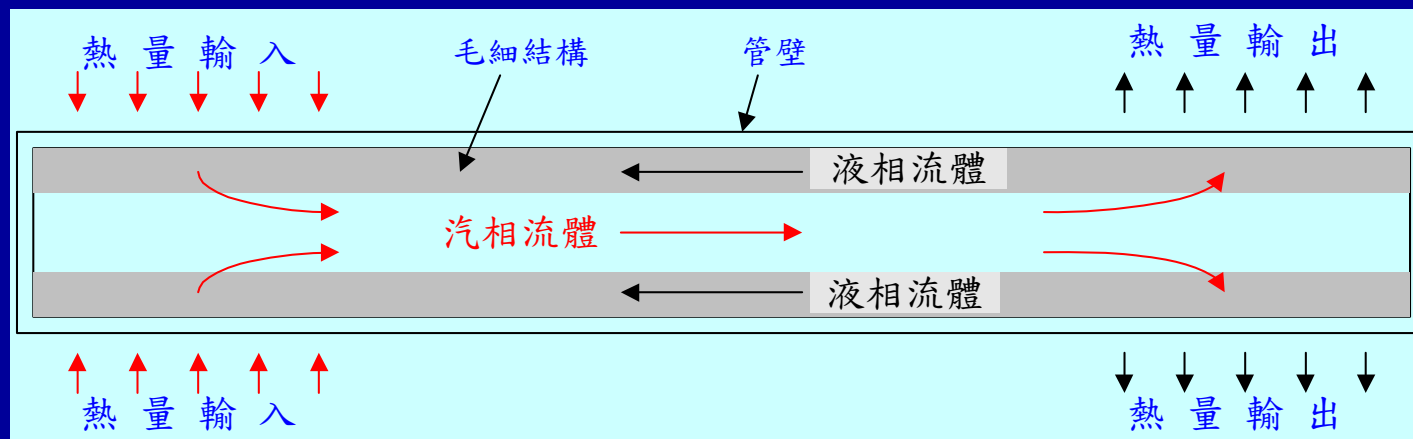


熱管毛細結構

- ▶ 管殼
- ▶ 工作流體
- ▶ 毛細結構

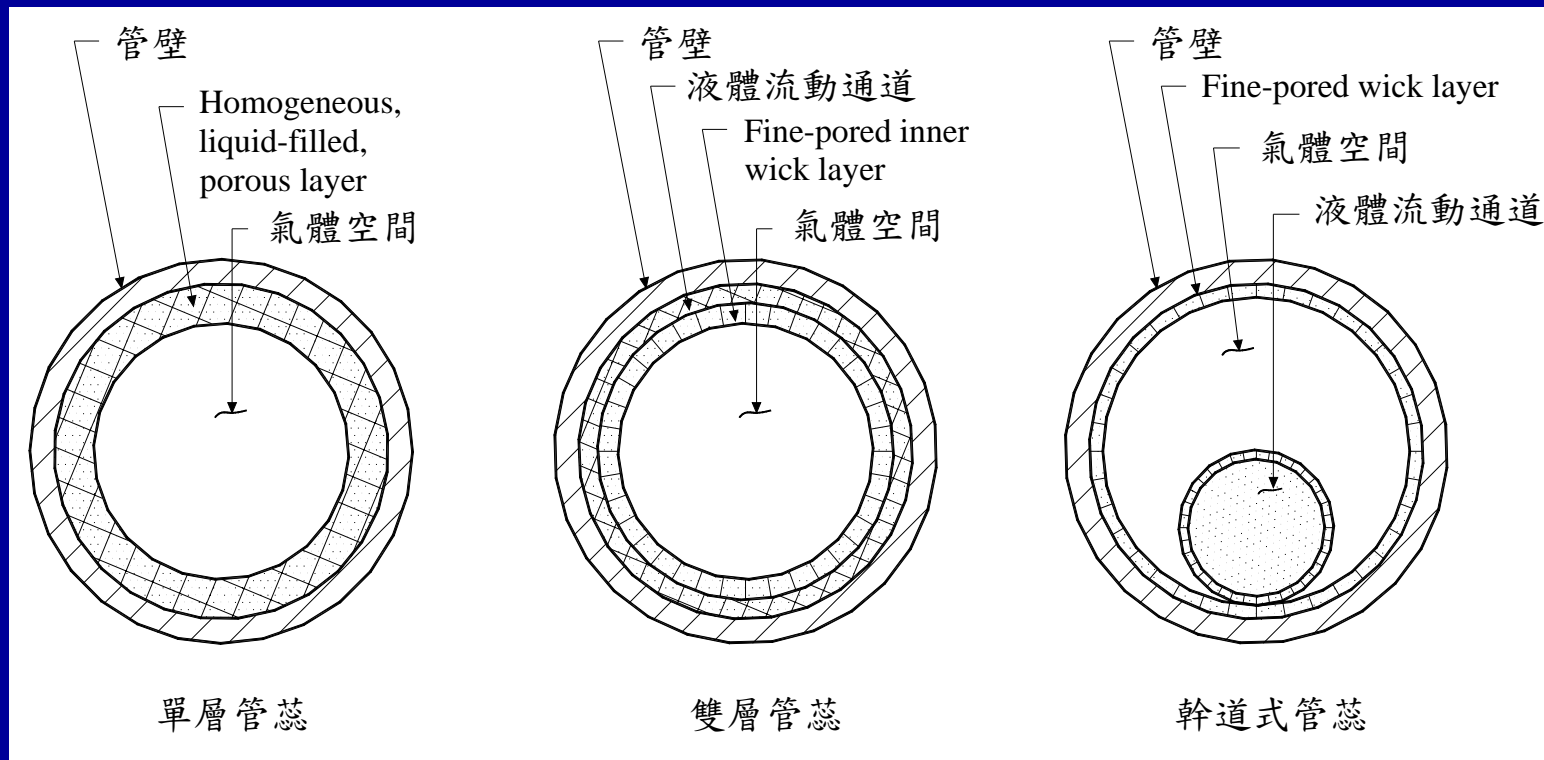


流體相變化傳熱





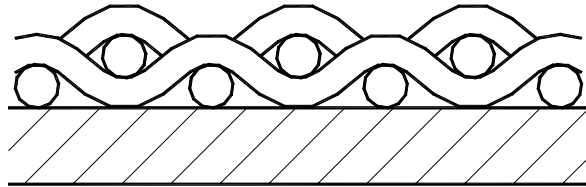
管蕊形式



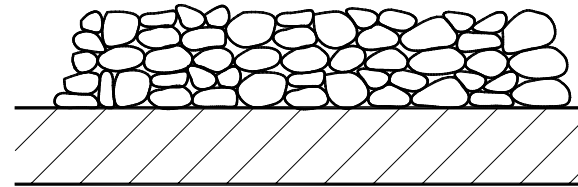
普通熱管中管蕊的樣式可分為二類，即均勻管蕊和組合管蕊。常用的均勻管蕊有編織層網、軸向槽道、燒結蕊等；這類管蕊大多具有結構簡單的特點，但性能稍差。組合管蕊的結構較複雜，但具有較好的傳熱性能與較小的熱阻



常用的均勻管蕊



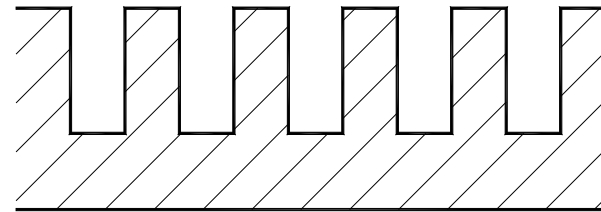
WOVEN MESH SCREEN



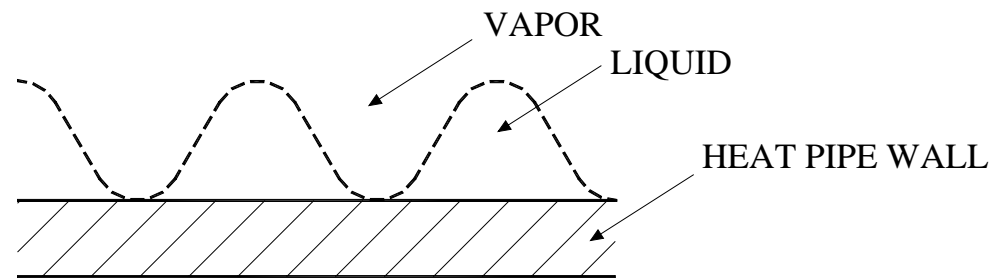
SINTERED METAL POWDER



SINTERED METAL FIBERS



GROOVES IN HEAT PIPE WALL

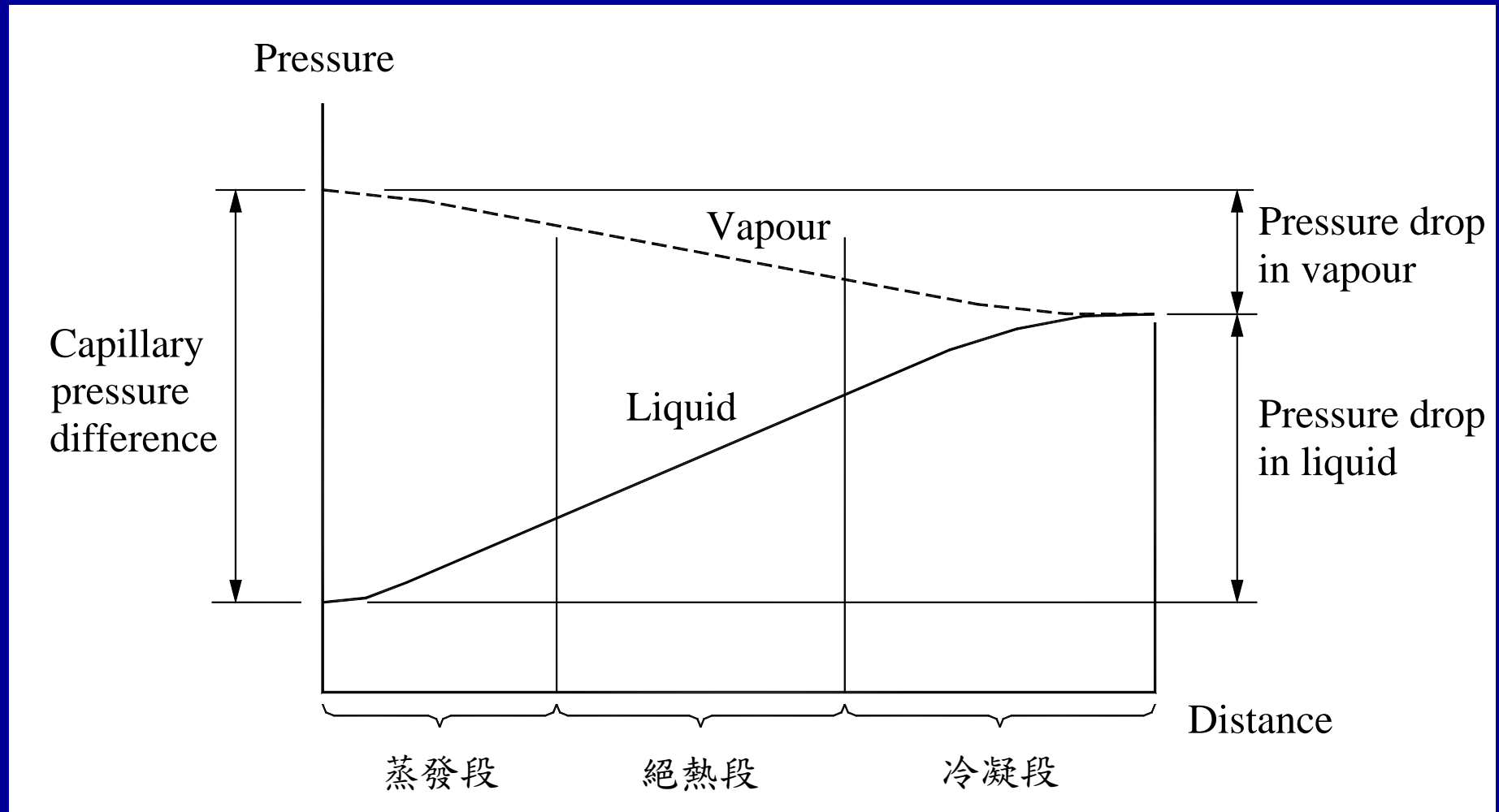


SLOTTED METAL SHEET



熱管內壓力變化

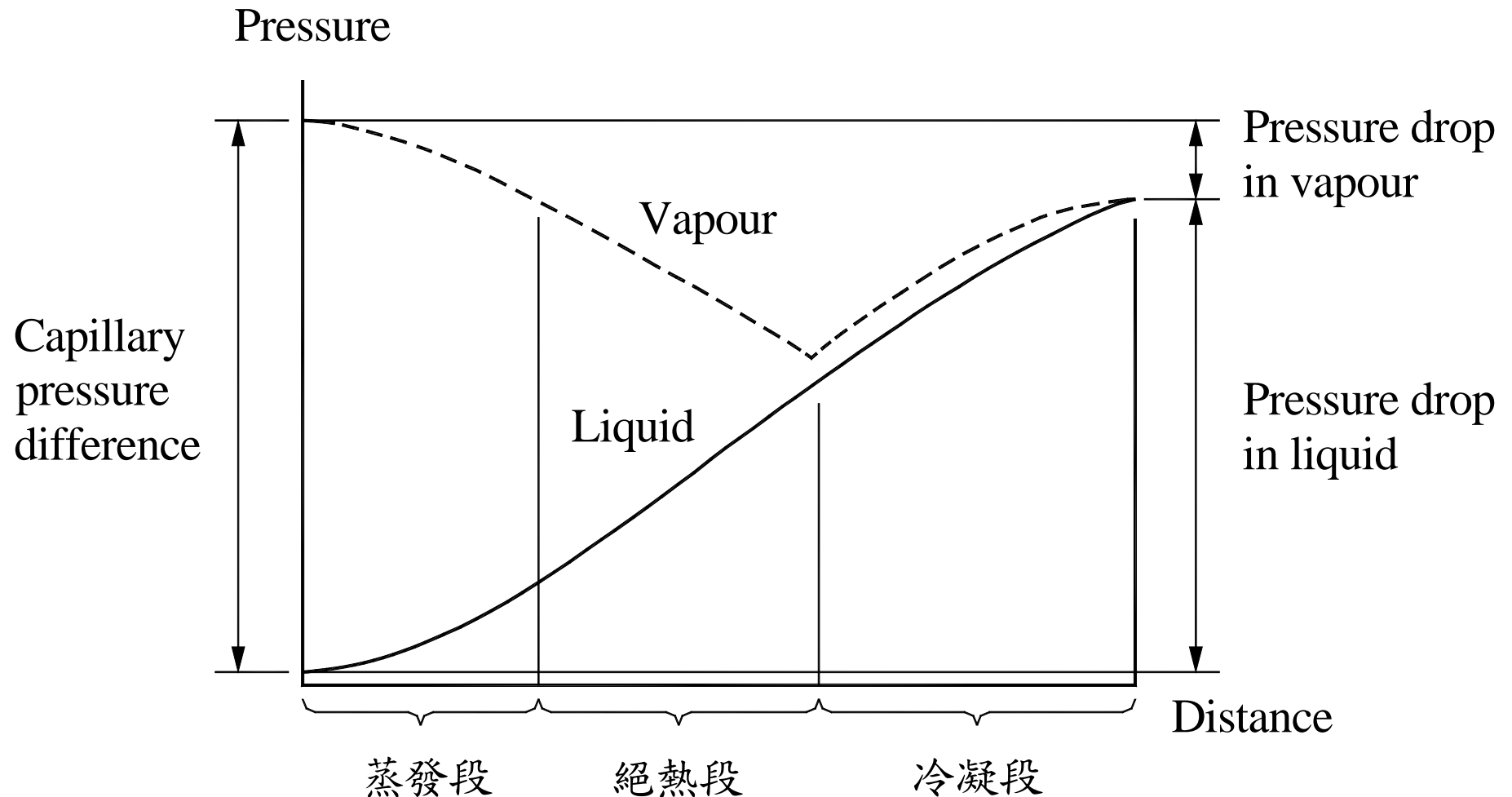
較低氣體速度下，熱管內的氣液的壓力分布





熱管內壓力變化

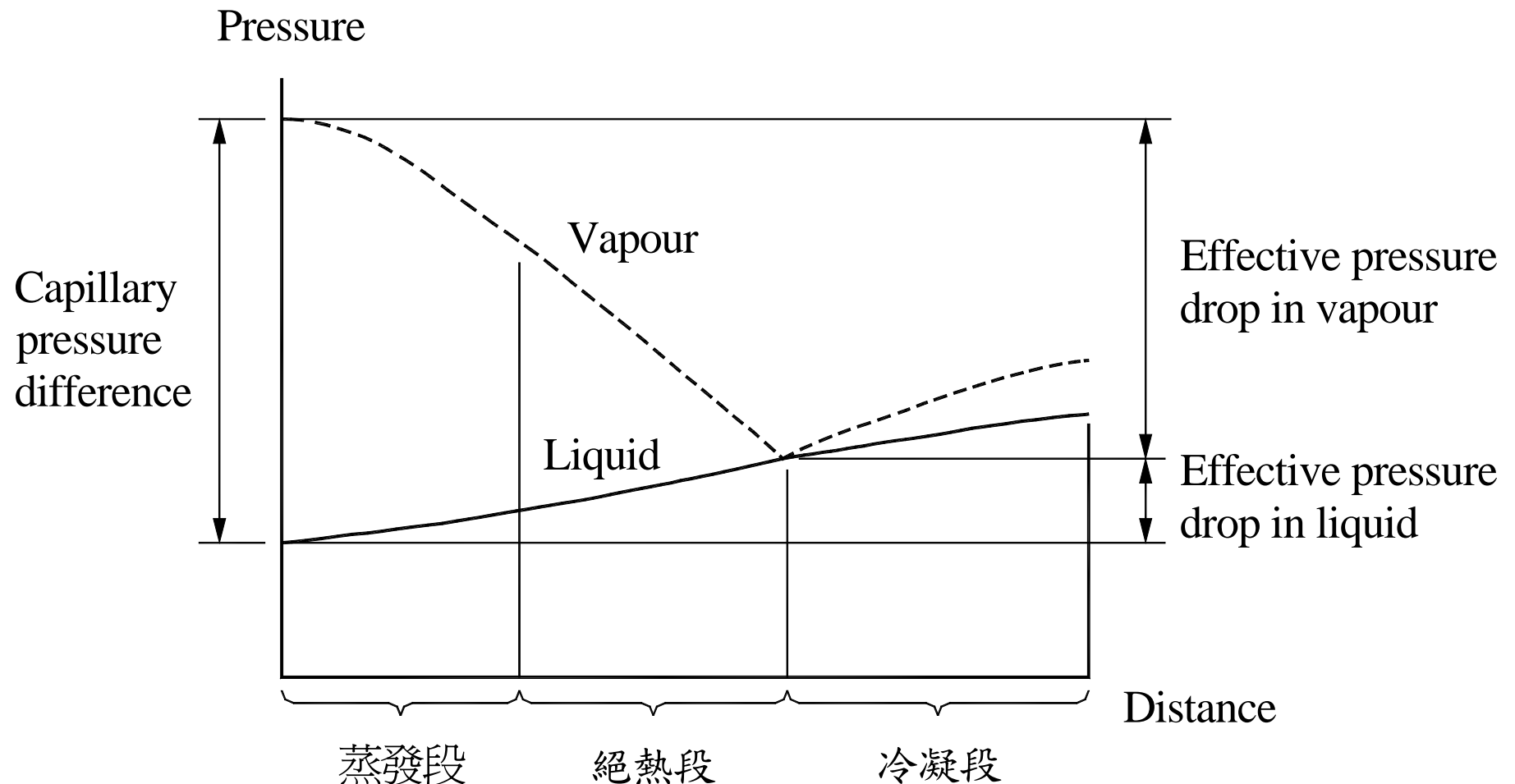
適中氣體速度下，熱管內的氣液的壓力分布





熱管內壓力變化

較高氣體速度下，熱管內的氣液的壓力分布





相容性實驗測試結果

| 工作流體 | 相容材料 | 不相容材料 |
|------|-----------|-------|
| 水 | 不鏽鋼、銅、鎳、鈦 | 鋁 |
| 阿摩尼亞 | 鋁、不銹鋼、鐵、鎳 | 銅 |
| 丙酮 | 鋁、不銹鋼、銅 | |
| 甲醇 | 不銹鋼、鐵、銅、鎳 | 鋁 |
| 冷媒 | 鋁 | |

Source: A. Faghri



壓力損失與平衡

$$\Delta P_{cap,max} \geq \Delta P_l + \Delta P_v \pm \Delta P_g$$

ΔP_l : 液相壓損

ΔP_v : 汽相壓損

ΔP_g : 重力壓損



$$\Delta P_{cap,max} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p}$$

σ : 表面張力

θ : 接觸角

r_p : 毛細孔半徑



Wetting

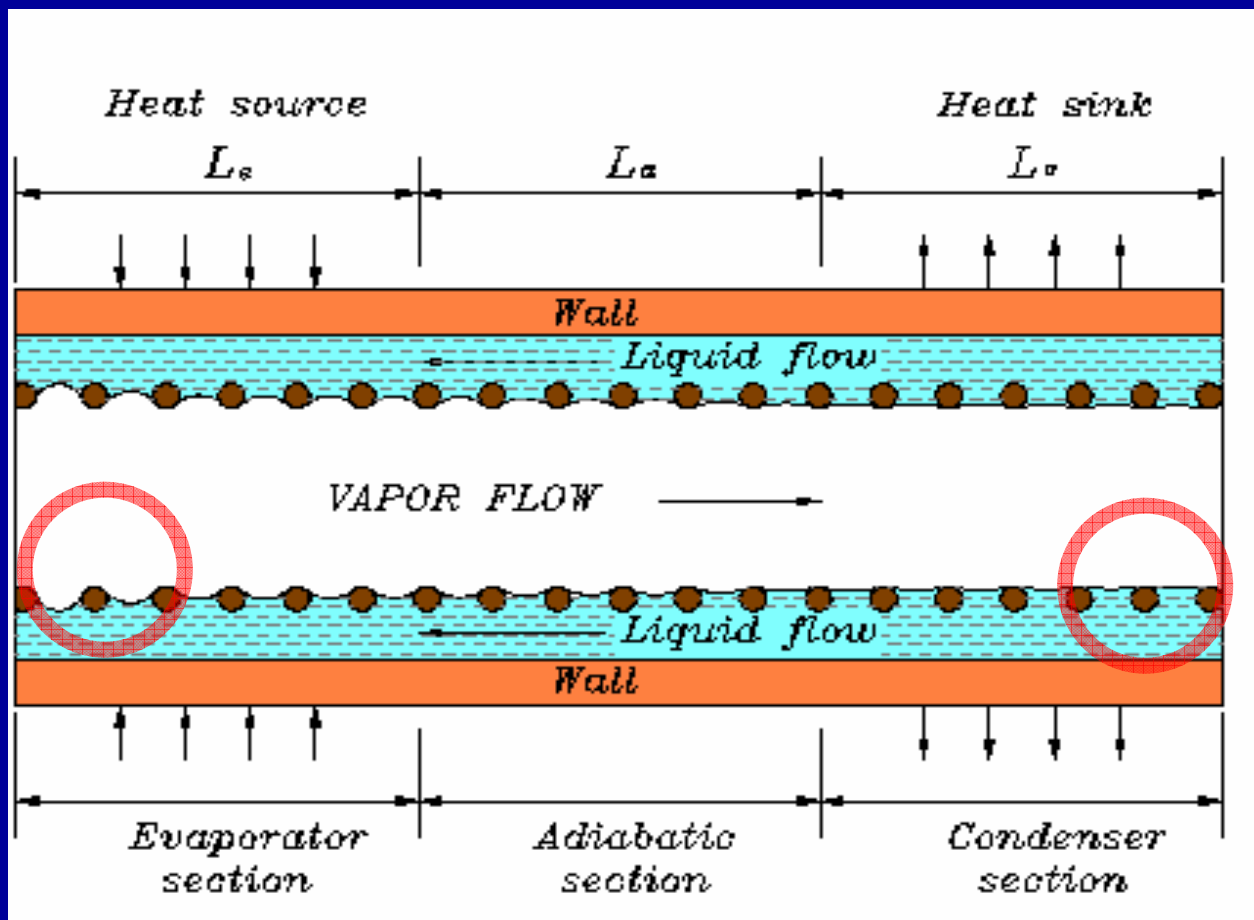
$\theta=0$

Non - Wetting

$\theta=\pi$



熱管的液汽介面



Source: Faghri



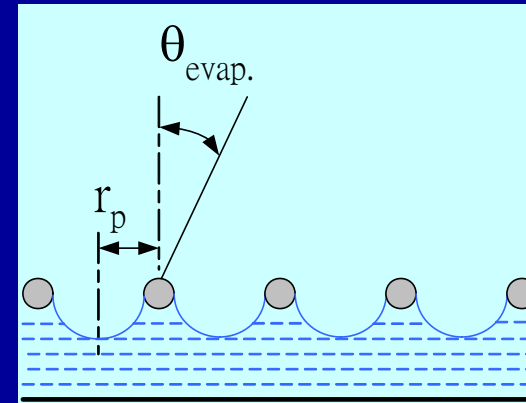
毛細壓力

液汽介面

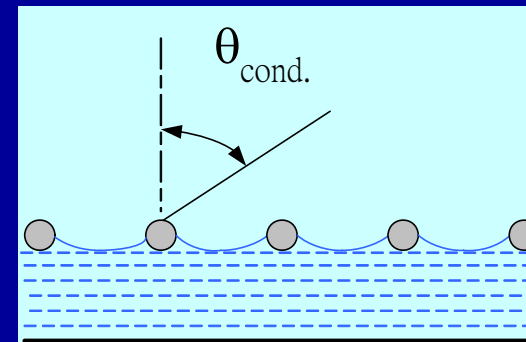
$$\Delta P_{cap} = 2\sigma \left(\frac{\overset{\approx 1}{\cancel{\cos \theta_{evap}}}}{r_p} - \frac{\overset{\approx 0}{\cancel{\cos \theta_{cond}}}}{r_p} \right)$$
$$= P_G - P_L$$



$$\Delta P_{cap, max} = \frac{2\sigma}{r_p}$$



蒸發區



冷凝區



熱管壓力損失

$$\Delta P_{cap,max} \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_g$$

Darcy's
Law

$$\Delta P_l = \frac{\mu_l \dot{m}_l L_{eff}}{\rho_l K A_w}$$

$$Q = \dot{m}_l \times h_{fg}$$

L_{eff} : 熱管有效長度 = $[L_a + (L_e + L_c)/2]$

重要參數

K : 多孔性物質的滲透係數
(和孔隙度、孔隙分佈與孔隙幾何尺寸有關)

A_w : 液體流通截面積



□ 銅粉燒結

$$K = \frac{r_s^2 \times \varphi^3}{37.5(1-\varphi)^2}$$

φ : 孔隙度

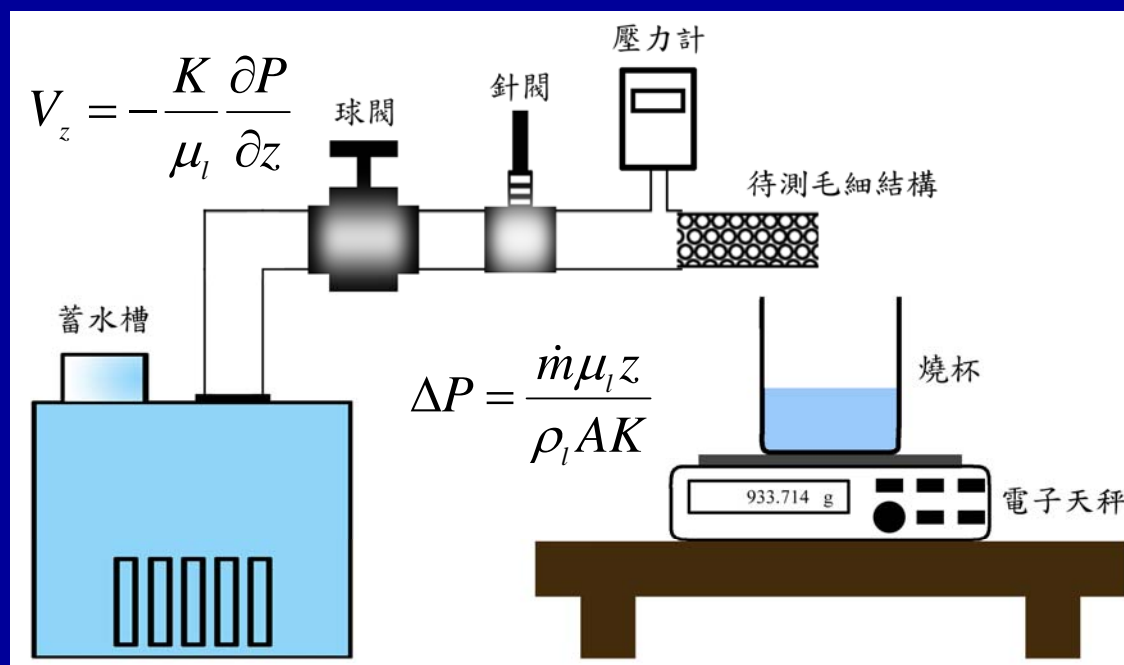
r_s : 平均粉粒半徑

注意：同時對於毛細半徑之影響



滲透度

- 對於液體流動，滲透度是一種毛細阻力的基準，此值越大代表流動阻力愈小，流體在毛細結構裡的流動性愈好，反之，則流動阻力上升。





熱管壓力損失

$$\Delta P_{cap, \max} \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_g$$



$$\Delta P_v = \frac{8\mu_v QL_{eff}}{\pi\rho_v R_v^4 h_{fg}}$$

Q：傳熱量

R_v ：蒸汽通道半徑



$$\Delta P_g = \rho_l g L \sin \phi$$

ϕ ：與水平之夾角



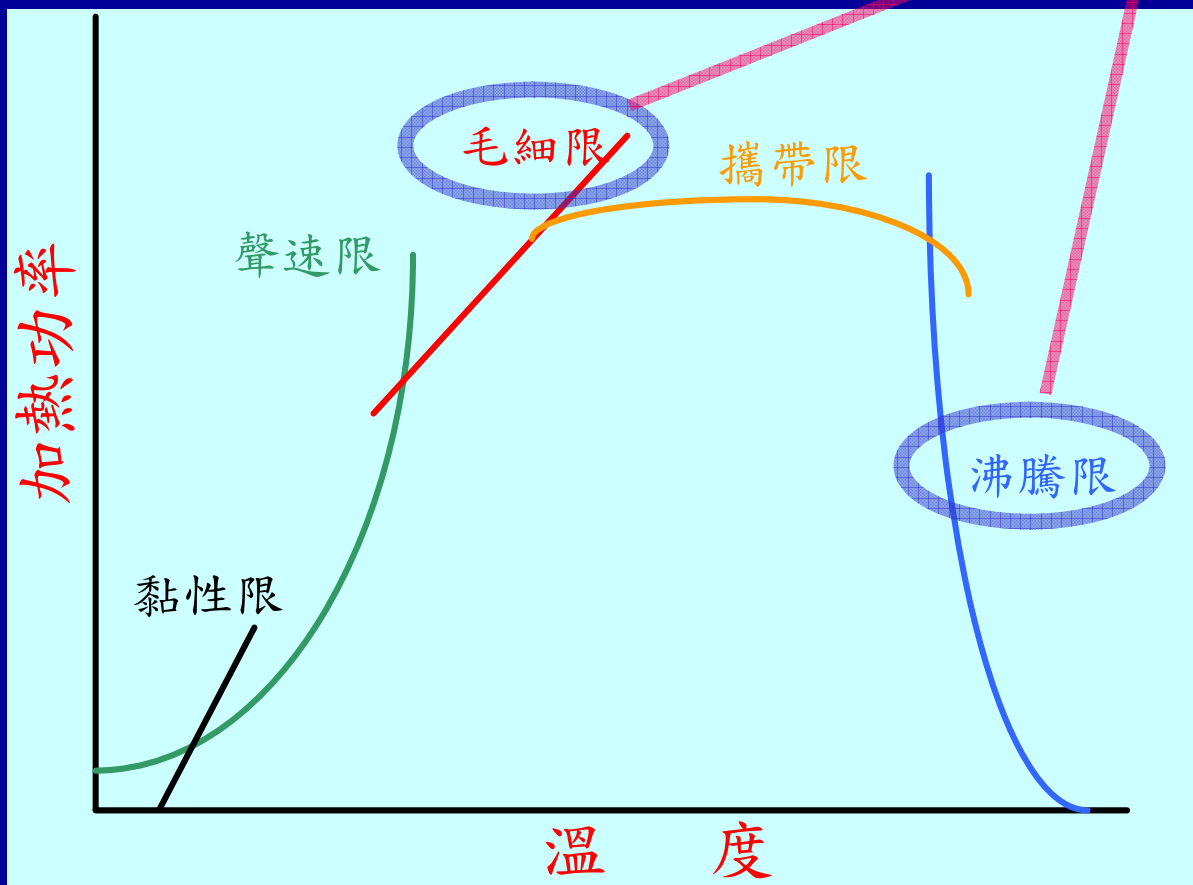
熱管設計的限制

- 蒸氣壓限制：在熱管內的蒸氣壓通常不高，而沿著冷凝段方向由於摩差的損耗，蒸氣壓會逐步下降，然而氣體與液體不同，液體藉由表面張力的影響可以忍受負壓(即拉力)，但氣體的壓力不可能有負壓的情況，因此即使在冷凝段的盡頭，蒸氣的壓力必定是大於零。
- 音速限制：在低溫與低壓的應用場所中，氣體的相對密度較低而流速也比較高，如果氣體的速度高到等於該位置的音速時，我們稱之此時達到聲速限制，此時並稱之為choked，也就是說無法再增加流速或流量，同樣的音速限制與蒸發段進口的溫度有關。
- 攜帶限制：熱管內氣體與液體的相對流速通常甚快，此一氣體流動的慣性力可能將管蕊上的液體剝離，因此這些脫離管蕊的液體便會造成氣體流向冷凝段的障礙，如果此一濺灑的情持續惡化，將會促使蒸發段出現乾涸的現象(dry out)，此時稱之為攜帶限制。
- 循環限制：熱管中的驅動壓力差與管蕊及工作流體有很大的關聯，一旦建立最大毛細壓力，則熱管內的流率將會維持在一個固定值以下，若持續的增加熱傳量將可能使蒸發段出現乾涸的現象，此時的熱通量稱之為循環限制。
- 沸騰限制：通常在蒸發段內，液體是以蒸發的型態變化成氣體，但是如果熱通量過大，則液體有可能以沸騰的形式轉變成氣體，如果沸騰相當的激烈，則可能造成蒸發段表面出現乾涸的現象，此時稱之為沸騰限制，不過因為沸騰促成的乾涸的現象很難預測，因此習慣上多以蒸發段出現沸騰現象時稱之，沸騰限制對毛細驅動的影響較大，以重力驅動的熱虹吸型熱管，沸騰並不會立即帶來乾涸的嚴重後果(這是因為熱虹吸型熱管所填充的工作流體通常比較多)。



熱管的限制

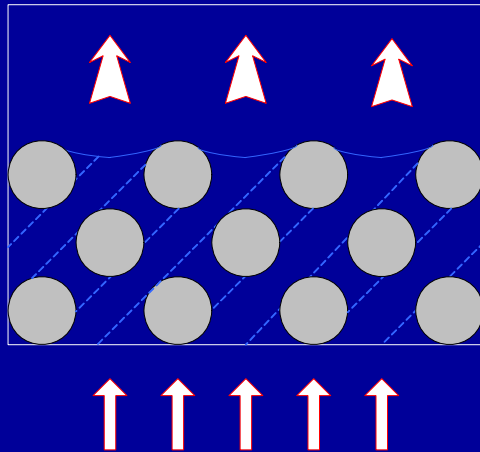
銅水熱管所遇之極限



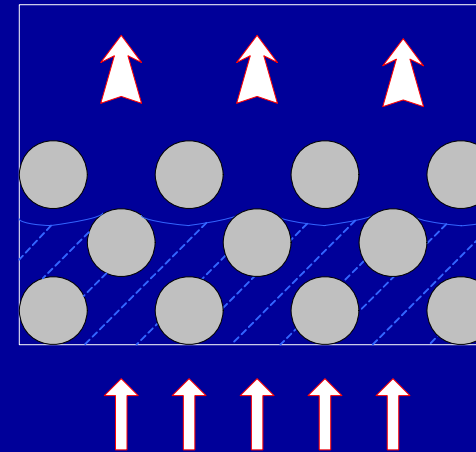


熱管的限制

□ 熱傳導-熱對流

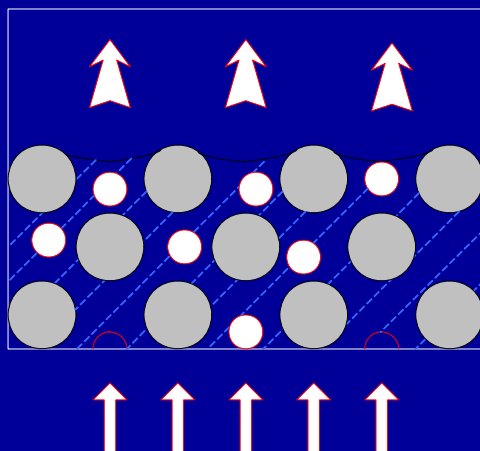


□ 液體退後

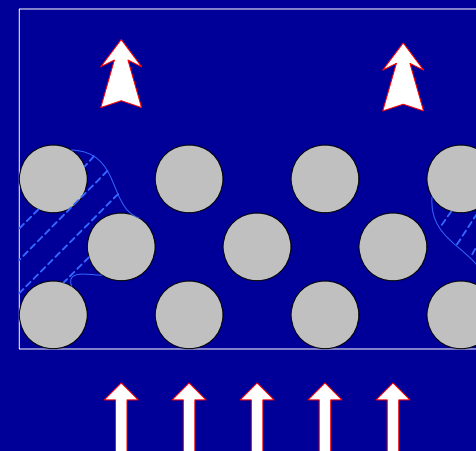


→ Capillary Limit

□ 核沸騰



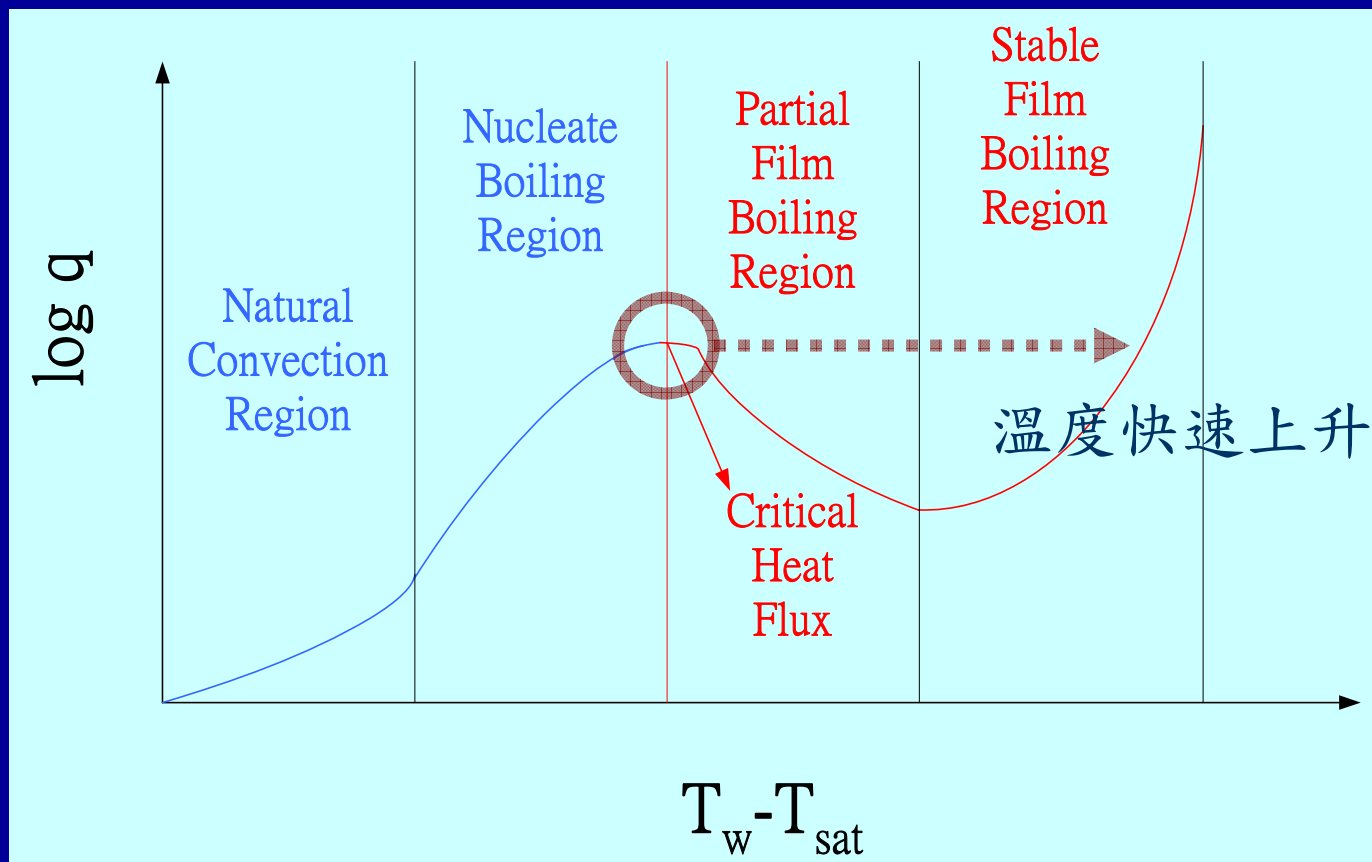
□ 薄膜沸騰



→ Boiling Limit



池沸騰曲線





熱管的毛細限

□ 毛細限

對於均勻加熱與冷卻之熱管

$$(QL)_{cap,max} \leq \frac{\frac{2\sigma}{r_{eff}} - \rho_l g L \sin \phi}{F_l + F_v}$$

$$F_l = \frac{\mu_l}{\rho_l K A_w h_{fg}}$$

液相摩擦係數

$$F_v = \frac{(f Re) \mu_v}{2 R_v^2 \rho_v A_v h_{fg}}$$

汽相摩擦係數



熱管的毛細限

對於忽略汽相壓損以及水平擺置之熱管

$$Q_{\max} = 2 \times \left(\frac{\rho_l \cdot h_{fg} \cdot \sigma}{\mu_l} \right) \times \left(\frac{K}{r_{eff}} \right) \times \left(\frac{A_w}{L_{eff}} \right)$$

Figure of Merit
(工作流體性質)

毛細結構:

- 滲透度要大
- 毛細半徑要小

熱管幾何尺寸:

- 毛細結構截面積要大
- 長度要短



熱管的沸騰限

□ 沸騰限

$$Q_b = \frac{2\pi L_e k_{eff} \Delta T_{crit}}{\ln\left(\frac{R_i}{R_v}\right)}$$

K_{eff} : 毛細結構等效熱傳導係數
 R_i : 管內半徑

$$\Delta T_{crit} = \frac{2\sigma T_v}{h_{fg} \rho_v} \left(\frac{1}{R_b} - \frac{1}{R_{men}} \right)$$

R_b : 蒸汽泡半徑
 R_{men} : 液汽介面半徑

$$R_b = \sqrt{\frac{2\sigma T_{sat} k_l (v_v - v_l)}{h_{fg} q_r}}$$

q_r : 徑向熱通量



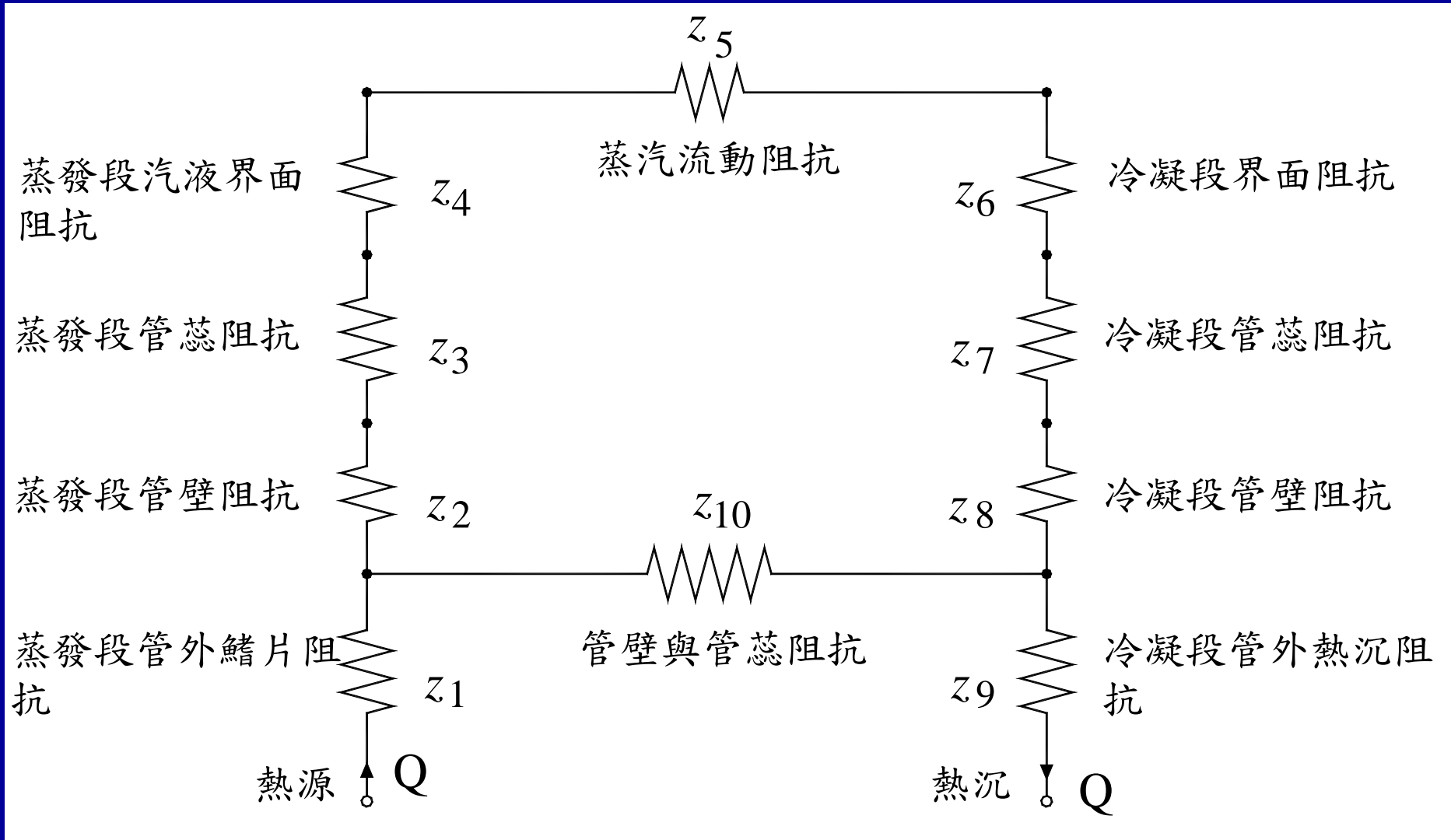
提昇熱管沸騰限

降低蒸汽泡半徑 $R_b \Rightarrow$ 提昇沸騰極限

1. 加熱表面與工作流體具有好的潤濕性。
2. 管壁與毛細結構具有好的熱接觸。
3. 工作流體要純化與去溶解氣體。
4. 平整之加熱面，以及使用高熱傳導性能之材料。
5. 毛細結構與容器必須乾淨。

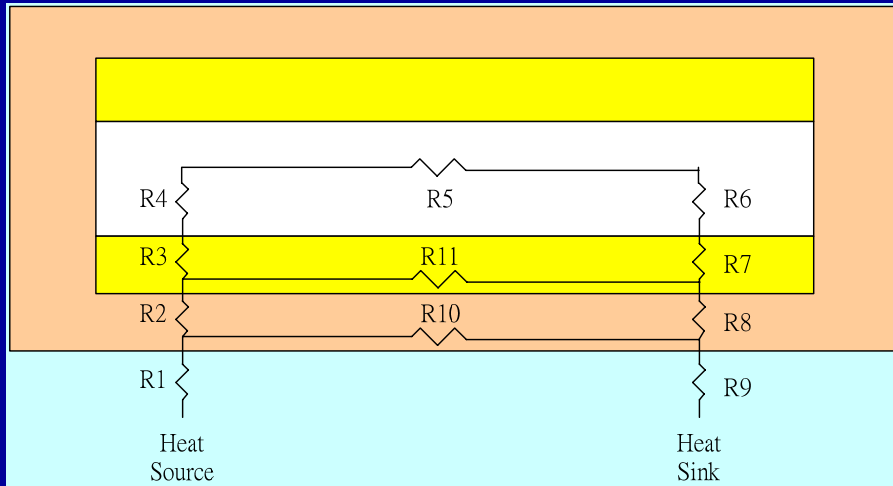


熱管阻抗





熱管的熱阻



$$R_{hp} = R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

| | 熱阻 | 大小(°C/W) |
|-------|---|------------------------|
| R_2 | $\ln(D_o/D_i)/2\pi L_e K_{wall}$ | 10^{-3} |
| R_3 | $\ln(D_i/D_v)/2\pi L_e K_{wick,eff}$ | $10^{-2} \sim 10^{-1}$ |
| R_4 | $RT_v^2(2\pi RT_v)^{1/2}/h_{fg}^2 P_v A_e$ | 10^{-7} |
| R_5 | $\frac{128}{2} \mu_v L_{eff} T_v P_v / \pi \rho_v^2 D_v^4 h_{fg}$ | 10^{-10} |
| R_6 | $RT_v^2(2\pi RT_v)^{1/2}/h_{fg}^2 P_v A_c$ | 10^{-7} |
| R_7 | $\ln(D_o/D_i)/2\pi L_c K_{wick,eff}$ | $10^{-2} \sim 10^{-1}$ |
| R_8 | $\ln(D_o/D_i)/2\pi L_c K_{wall}$ | 10^{-3} |

數值大小依實際而定

- D_o : 外徑
- D_i : 內徑
- D_v : 蒸汽通道
- L_e : 蒸發段長度
- L_c : 冷凝段長度



毛細結構之熱傳導係數

金屬粉燒結之毛細結構

$$k_{eff} = k_s \left(\frac{2 + \frac{k_l}{k_s} - 2\varphi \left(1 - \frac{k_l}{k_s} \right)}{2 + \frac{k_l}{k_s} + \varphi \left(1 - \frac{k_l}{k_s} \right)} \right)$$

k_l : 液體導熱係數

k_s : 管殼導熱係數

φ : 孔隙度

φ 增加， k_{eff} 變小



毛細結構重要參數

- 有效毛細半徑
- 孔隙度
- 等效熱傳導係數
- 滲透性



毛細結構特性比較

| 熱管特性 | 金屬網 | 粉末燒結 | 溝槽 |
|-----------|-----|------|-----|
| 毛細力 | 高 | 高 | 低 |
| 滲透性 | 低-中 | 低-中 | 中-高 |
| 熱阻 | 中-高 | 中 | 低 |
| 毛細限(水平時) | 中 | 中 | 高 |
| 重力對毛細限之影響 | 中-高 | 低 | 高 |
| 沸騰限 | 中 | 高 | 中 |
| 可靠度 | 低-中 | 高 | 高 |

❖ 此表僅是表示一般之比較，而非絕對之結果。



熱管的性能

□ 熱管性能：

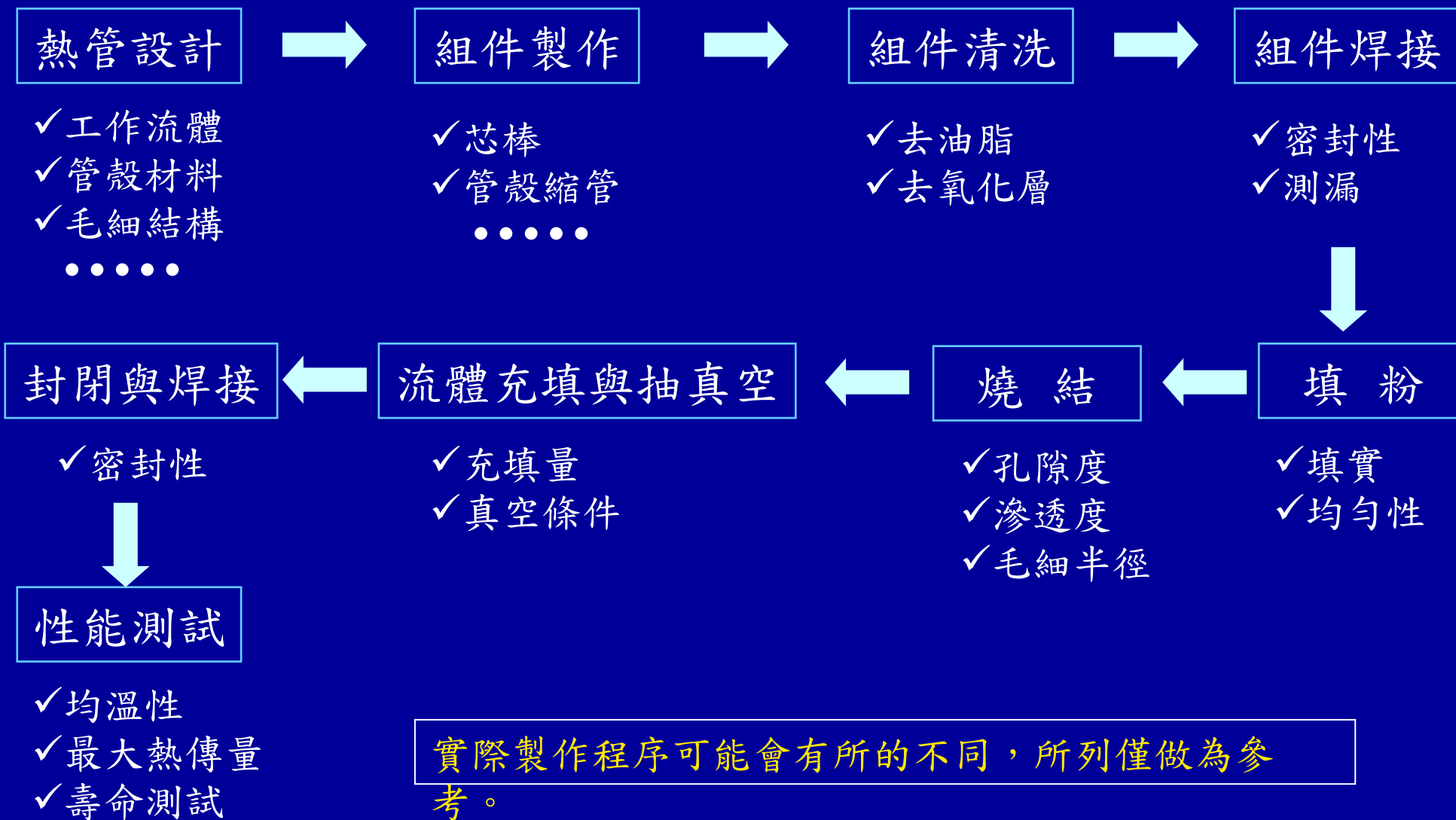
- ΔT → (真空度、毛細結構、管壁材質)
- Q_{\max} → (工作流體、毛細結構、清潔度)

□ 任何壓損的增加均會造成熱管性能的下降

- 折彎 → (毛細結構)
- 打扁 → (毛細結構、蒸汽空間)
- 角度



熱管製作





熱管製作設備

- 純水機
- 超音波清洗槽
- 焊接機
- 縮管機
- 氬氣測漏儀
- 燒結爐
- 充填機
- 真空系統
- 性能測試系統
- ●●●●●●

實際設備將依產品的不同
有所差異，所列僅做為參考。

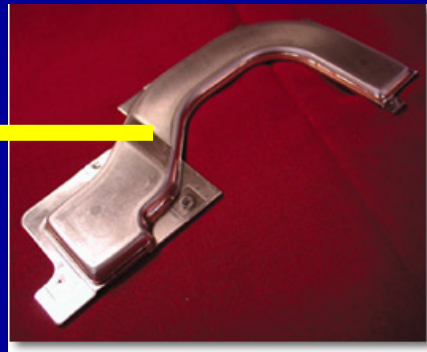
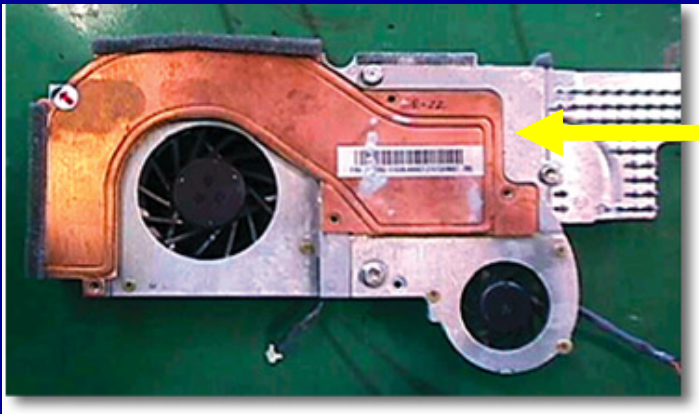


散熱器

Heat Pipe



Vapor Chamber



Thermal Column





提昇散熱器性能

$$\eta_{fin} = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{fin,max}} = \frac{\text{Actual heat transfer rate from the fin}}{\text{Ideal heat transfer rate form the fin if the entire fin were at base temperature}}$$

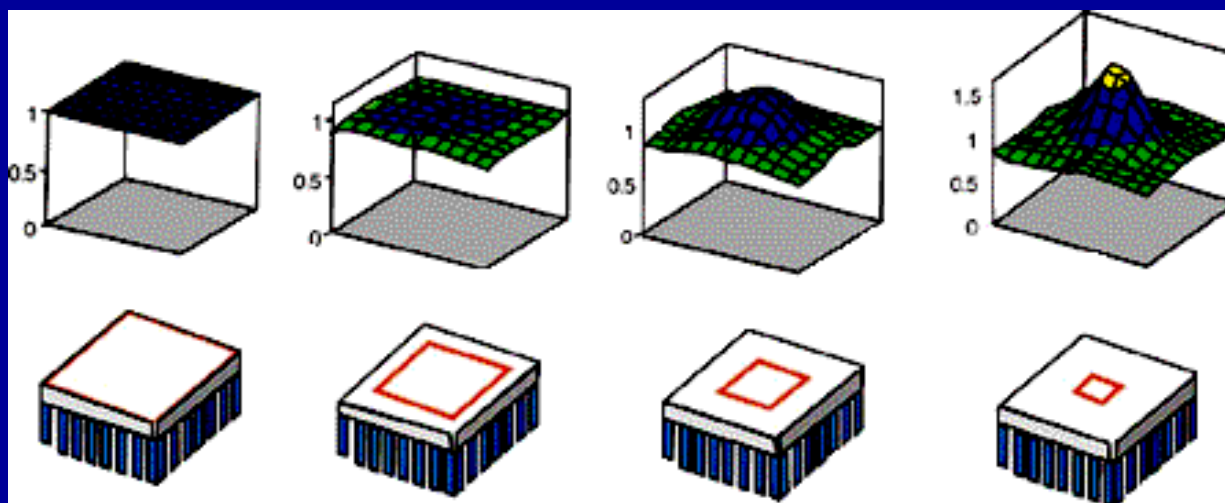
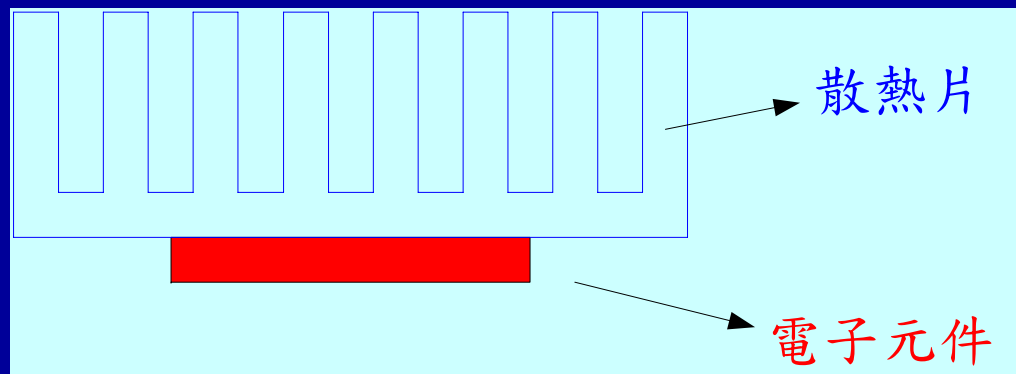
$$\dot{Q}_{fin} = \eta_{fin} h A_{fin} (T_b - T_{air})$$

溫度分佈越不均勻，鰭片效率越差。
若原始效率已經很高，不需要加熱管。





擴散熱阻



Source: Electronic cooling



擴散熱阻

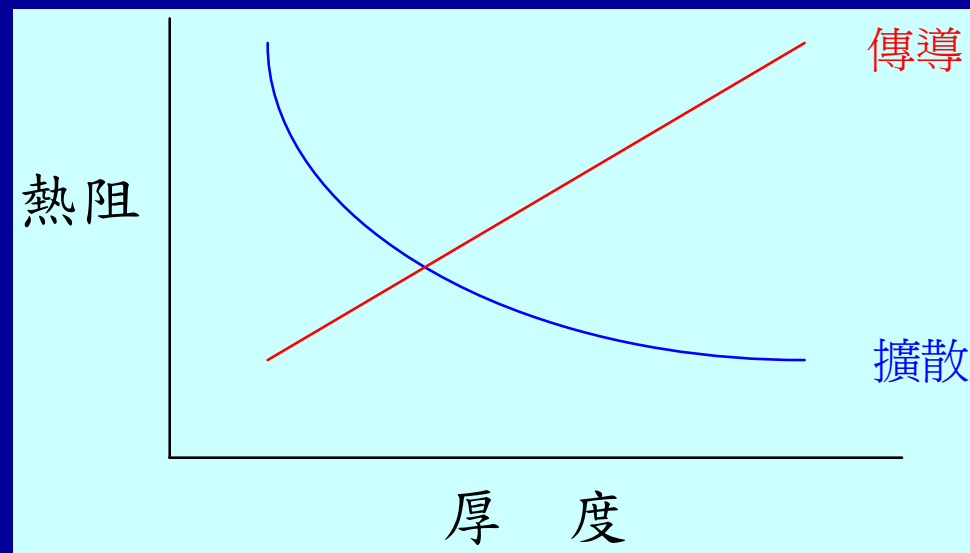
$$R_{spreading} = \frac{\sqrt{A_b} - \sqrt{A_s}}{k\sqrt{\pi A_b A_s}} \times \frac{\lambda k A_b R_{fin-air} + \tanh(\lambda t)}{1 + \lambda k A_b R_{fin-air} \tanh(\lambda t)}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{A_s}} + \frac{\pi^{3/2}}{\sqrt{A_b}}$$

$$R_{spreading} = fn(A_s, A_b, k, \lambda, R_{fin-air}, t)$$

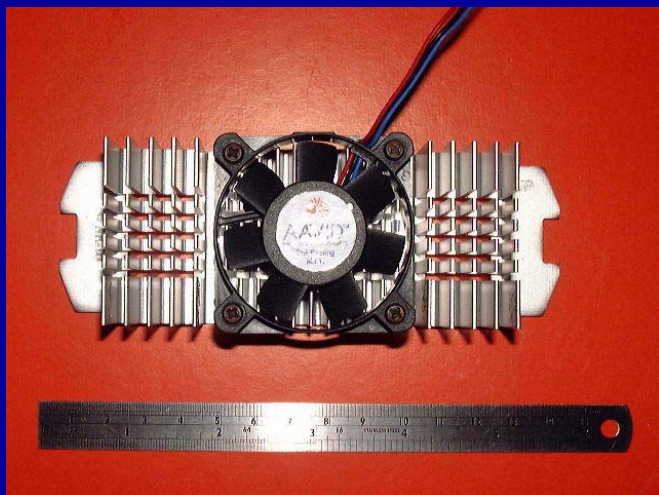
重要參數

A_b : 散熱器底部面積
 A_s : 元件接觸面積
 t : 散熱器底部厚度
 R : 散熱器熱阻





降低擴散熱阻



分散熱阻:

銅減少17%，而平板型熱管減少93%。

總熱阻:

銅減少5%，而平板型熱管減少27%。



均溫性:

鋁:溫差為 14.21°C ，

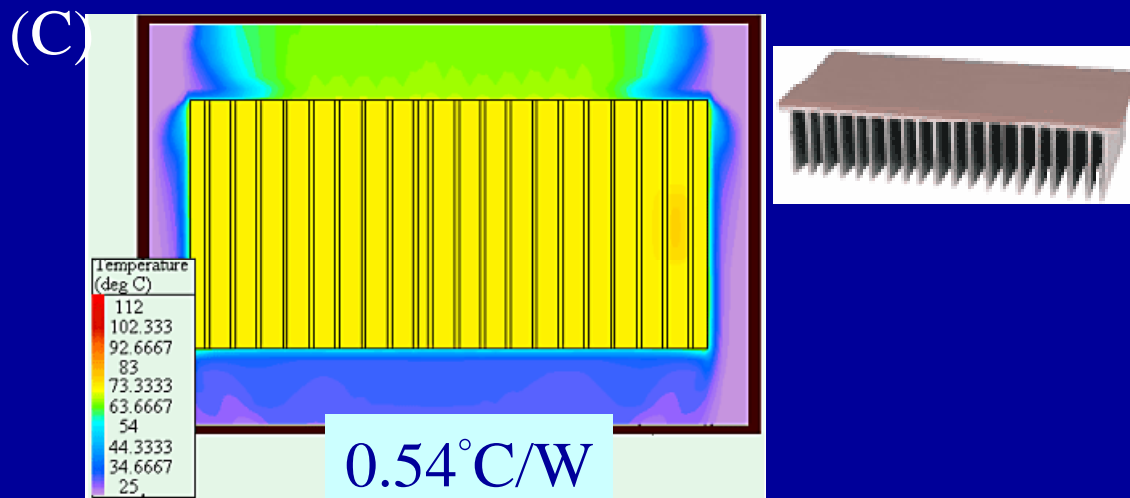
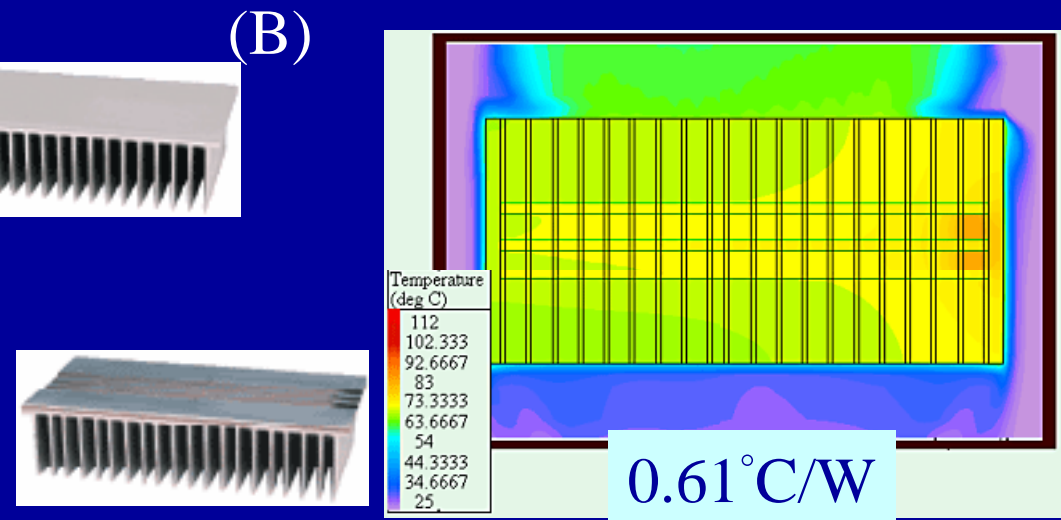
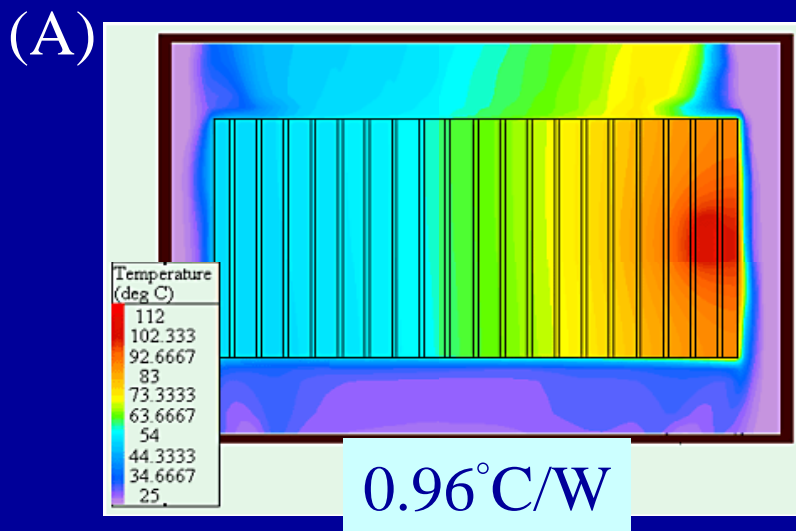
銅:溫差為 12.81°C ，

平板型熱管僅為 5.62°C 。

100mm×40mm×2.8mm



降低擴散熱阻



Source: 1.3 × 6.3 cm
Sink: 23 cm × 12 cm × 5 cm
Power: 75W

Source: Thermacore



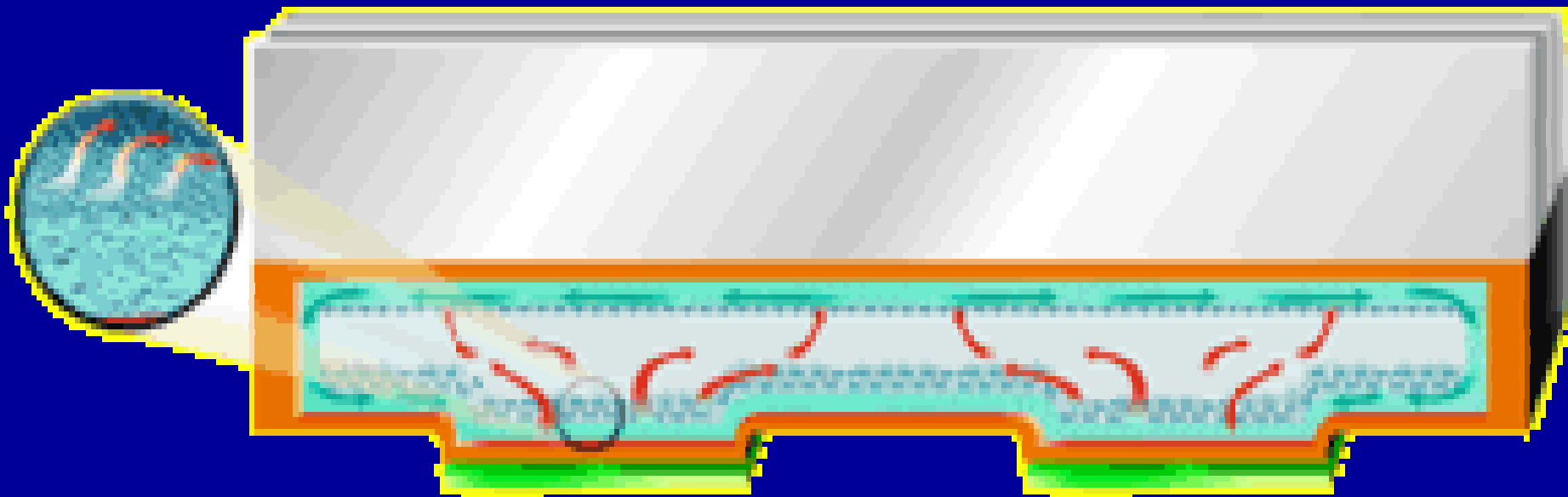
VAPOR CHAMBER

- 傳統的散熱機制無法滿足未來CHIP的發展
- VAPOR CHAMBER的工作原理(過去因製作困難度高,嘗試的人很少,而且製程設備昂貴;因此功能突破的時機延遲至今)
- VAPOR CHAMBER量產的困難度,因量產設備需配合製程特性開發.



VAPOR CHAMBER 內部作用示意圖

Ref. Thermacore



含在毛細結構內之工作介質受熱時迅速氣化，並擴散到工件內壁。經降溫後，凝結為液態，循連結之毛細結構回流到加熱點。此液氣相吸熱散熱的機制，傳熱的速度及量，經實測約當同厚度，尺寸之實心銅板的25~100倍



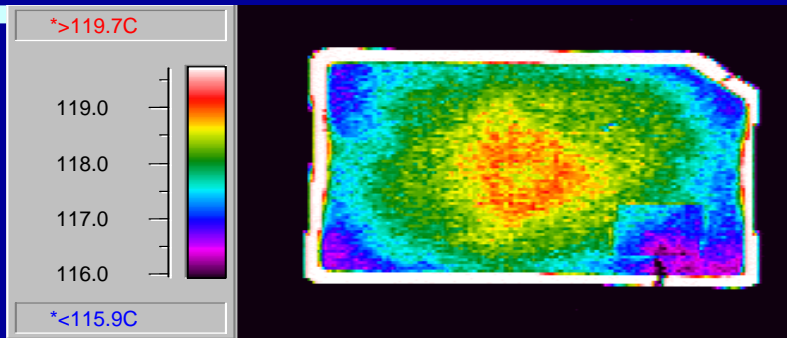
現有熱導管之技術

- 熱導管主要利用工作流體在蒸發段吸收熱量蒸發，流向冷凝段放出熱量後凝結成液態，藉由毛細結構所提供的毛細力流回蒸發段。常見之毛細製程有四種：技術領先的美國及日本主要以燒結、溝槽為主，代表公司分別為美國 Thermacore 燒結及 Furukawa 的溝槽，另外纖維則以 Fujikura 為主，台灣廠商則以網狀為主。由於使用溝槽與網狀，熱導管將受限於散熱功率在 35W 以下，且形狀固定不宜改變，至於燒結方面，由於毛細，散熱則可達 85W，但卻有加工上的限制



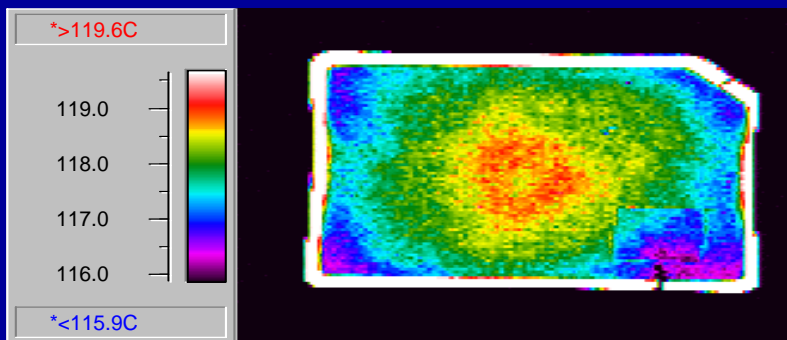
VAPOR CHAMBER 熱像圖

A.



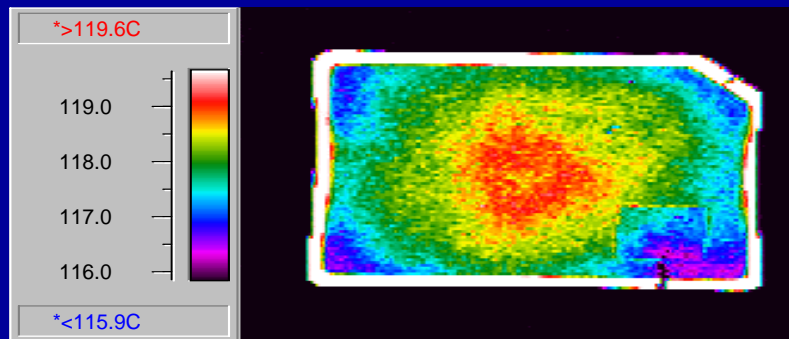
加熱瓦數 14 W, 自然對流散熱

B.



溫度分佈, 百分之95以上之面積之溫度差在 1.5°C 之間

C.





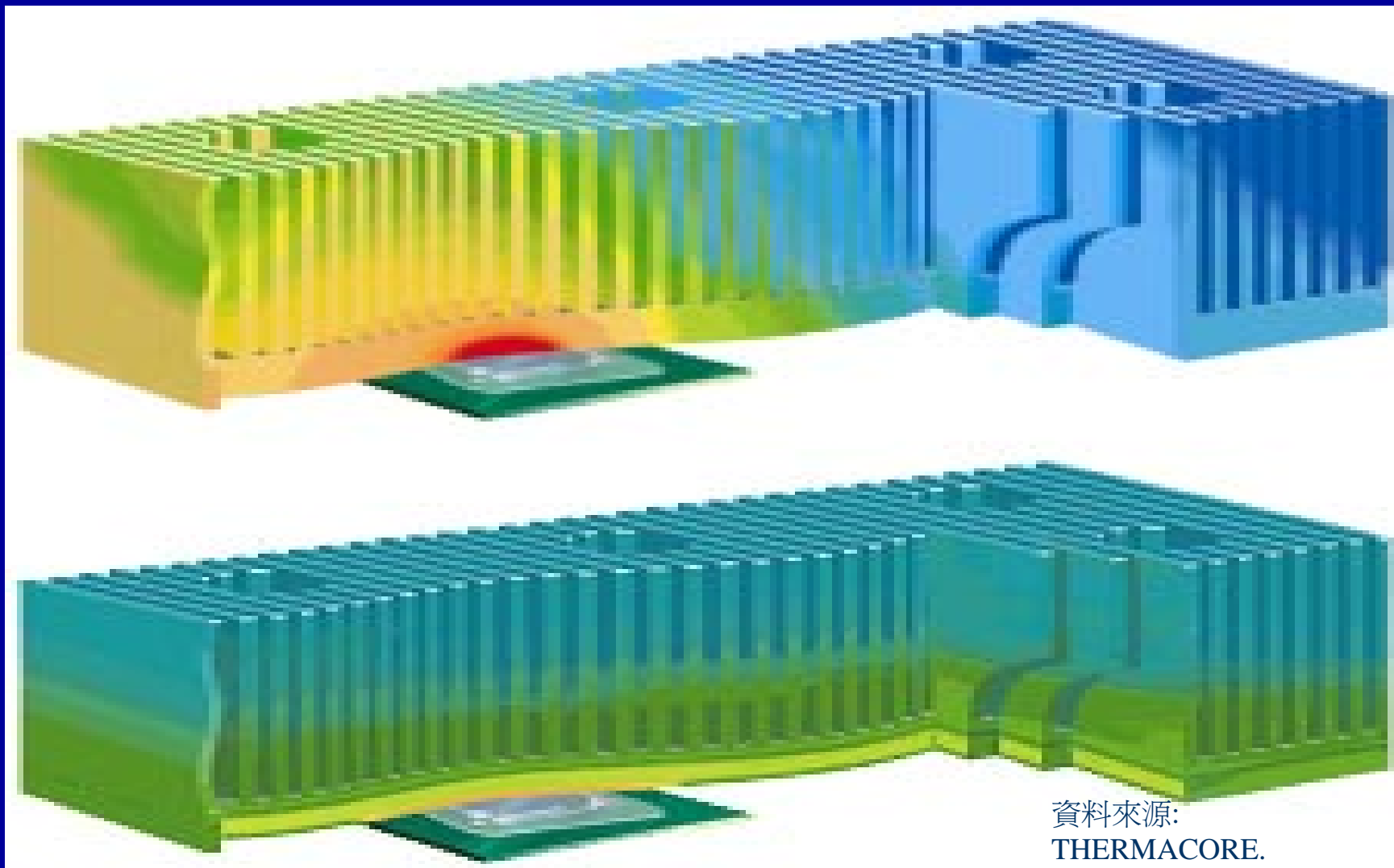
工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resource Laboratories

晶片基板為金屬板及VAPOR CHAMBER 熱擴散現象比較

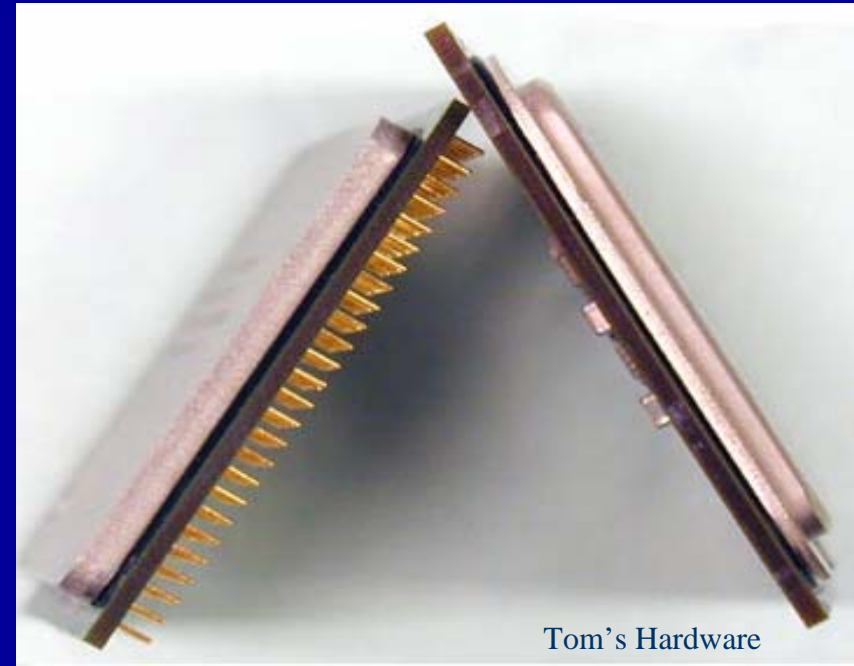
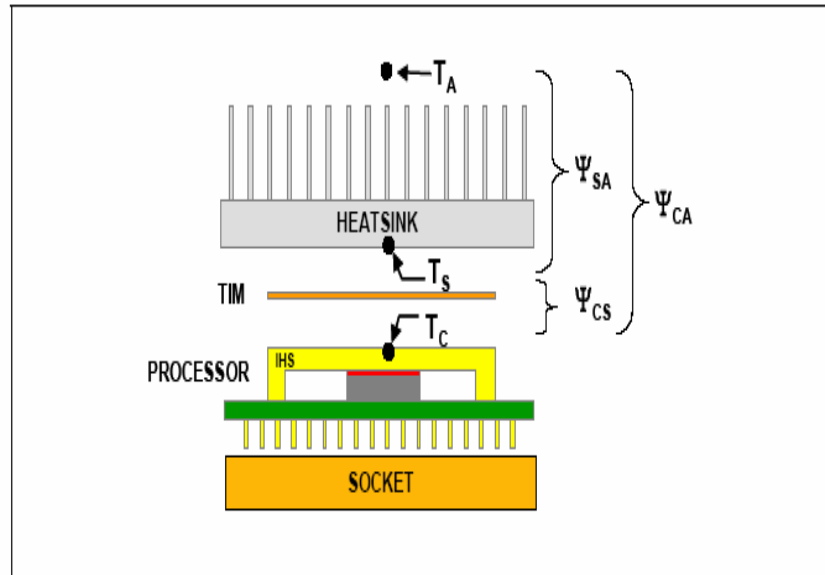


資料來源:
THERMACORE.



CPU傳熱機構

Figure 3. Processor Thermal Characterization Parameter Relationships



CPU 之發熱源經 IHS 將 $9\text{mm} \times 11\text{mm}$ 之熱點擴散為 $3.1\text{mm} \times 3.1\text{mm}$ 之發熱面，第二階段之熱擴散為 Heat Sink 之底板；Socket 478 及 775 可用底面積為 $70\text{mm} \times 84\text{mm}$ ；總共擴大 59 倍；若熱擴散仍然使用一般金屬作熱傳導，因熱擴散的效率不佳，導熱板中心和板邊緣容易產生過高的溫差，導致散熱不均勻；即使用很強的風扇，也無法將 CPU 內部的熱有效散掉。



工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

平板式 VAPOR CHAMBER 散熱元件



- 材質:無氧銅
- 尺寸:69*83*6 mm
- 熱通量: 115W/CM²
- 特性: 加貼銅鰭片後
100W加熱時,
- 風速: 11.5m/s
- T_c=54°C
- T_a=30°C
- 實測熱阻值為 0.24
°C/W



散熱能力的計算

- 板式VAPOR CHAMBER 之熱阻值為 $0.025^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- 不同規格之鰭片搭配不同風扇,設定鰭片表面溫度和冷卻空氣之溫差為 30°C ; (以 Channel flow 強制對流的方法計算)可以計算出不同的熱阻值.
- 在下列照片中之實施例,計算出鰭片之熱阻值後再加上熱超導板之熱阻值,經實際量測,散熱模組之合計熱阻值均非常接近.



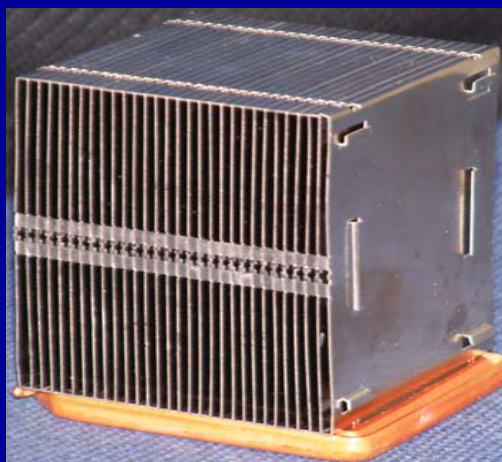
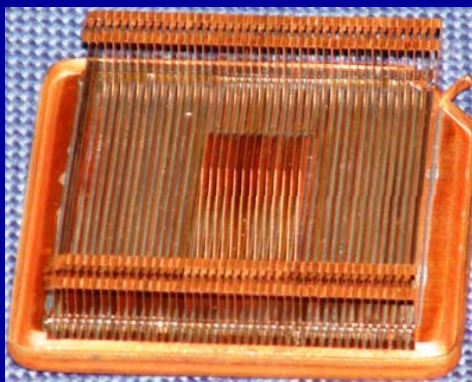
工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

板式 VAPOR CHAMBER 之散熱模組

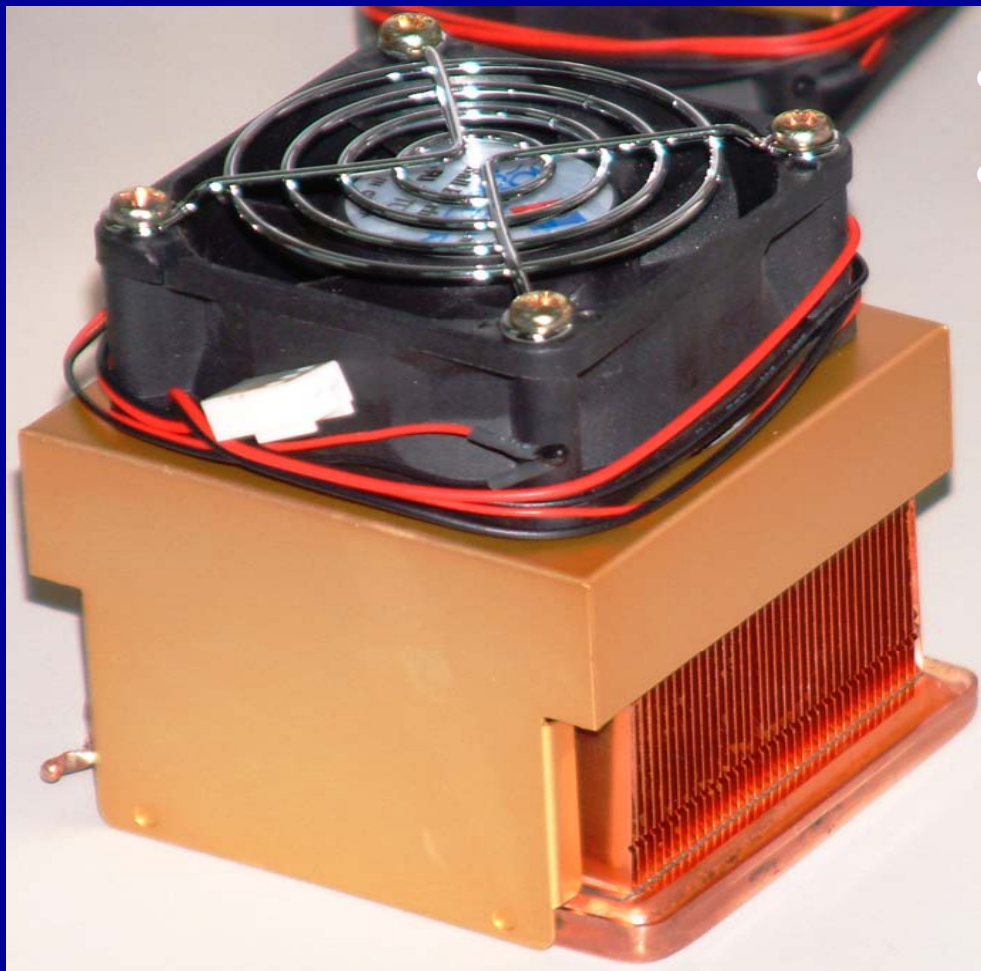


因應散熱模組使用空間上之限制, 鳍片的形式可以做不同的變化.

左上圖例為”u”形之鳍片, 中間凹處可以安裝裸扇, 實測之熱阻值為 $0.33^{\circ}\text{C}/\text{W}$



板式VAPOR CHAMBER 散熱模組



- 130W PC CPU 散熱組件
- 外形尺寸: 70W*83L*80H
- 重量: 450克



以HEAT PIPE為熱傳元件 散熱能力 100W左右之散熱模組



- 83 x 89 x 93mm
- 96 x 82 x 120 mm
- 重量780 g
- 使用4到6支6mm直徑熱管,搭配銅,鋁鰭片及底板,重量均超過500克
- 若使用全銅之散熱模組,重量更高達900克
- 散熱模組過重及蓄熱,使主機板及cpu容易損壞.



FANLESS的電子散熱機構

- 利用機殼及機殼鰭片自然對流散熱
- 發熱晶片及電子元件以熱超導板做第一階段熱擴散同時將熱直接導在機殼之內壁。
- 板式VAPOR CHAMBER 可加焊導熱管將熱傳遞到遠端機殼。
- 自然對流的散熱能力：表面溫差 80°C 時， $0.01\text{W} \sim 0.1\text{w}/\text{cm}^2$



- 高階電腦CPU散熱系統
個人/筆記型/伺服器(針對散熱空間不足者)
- 高階繪圖卡/硬碟/電源供應器
- 行車控制系統及多媒體電子機構無風扇散熱組件
- 無線通訊基地台散熱組件
- 高階遊戲機散熱模組
PS3/XBOX/任天堂



生產 Vapor Chamber 熱超導板之設備

- 工件成型模具及設備
- 電子級潔淨清洗設備
- 真空燒結爐設備
- 真空銀焊爐設備
 - 測漏儀器
 - 自動注料設備
- 自動除氣,封焊設備
- 表面拋光研磨設備
 - 鱗片錫焊設備



工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

HIGH HEAT FLUX (OVER 115W/CM²) VAPOR CHAMBER 核心重點

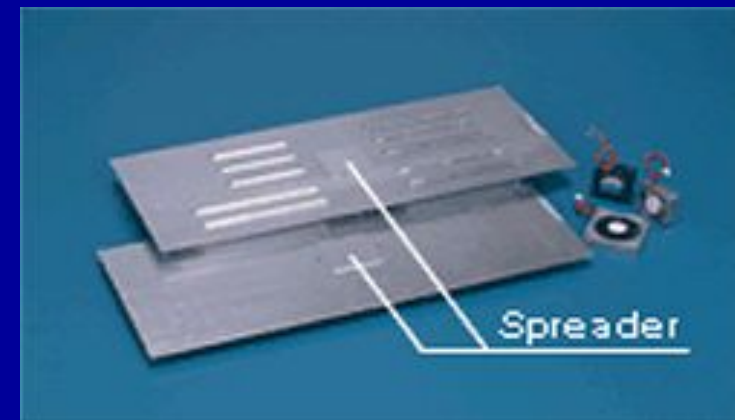
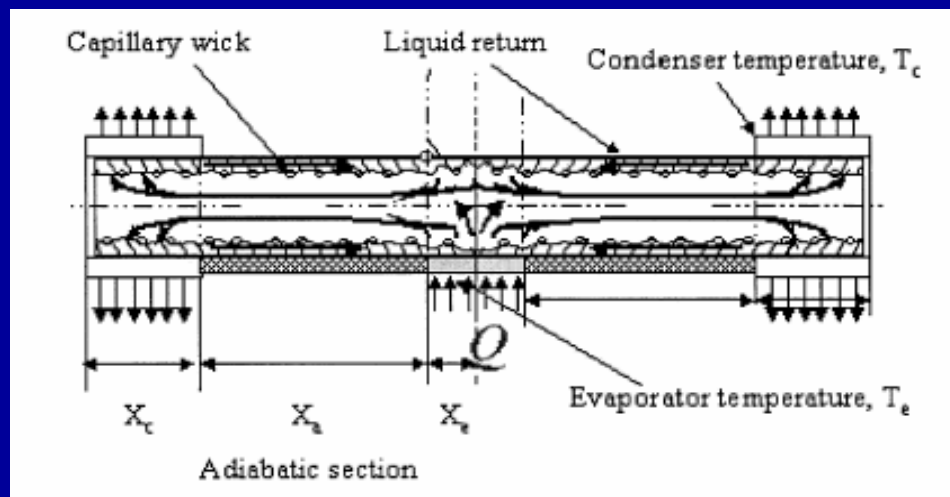
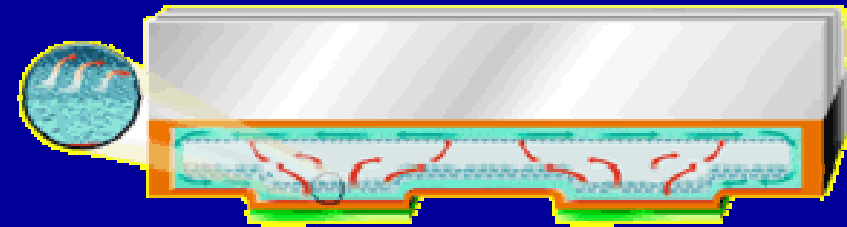
- 工件材質含氧量確認。
- 多孔毛細結構,精確控制孔隙率及滲水率。
- 增加加熱點毛細結構內可產生液體薄膜之面積。
- 液體蒸發過程中氣泡通路暢通。
- 液體蒸發和蒸氣凝結為液體回流之平衡。
- 工件封焊後測漏檢查。
- 工件封焊(BRAZING OR SOLDERING)過程避免內部污染,氧化。
- 注料量要精確,預留DEGAS時之損失。
- DEGAS程序要澈底。



微熱管均熱片

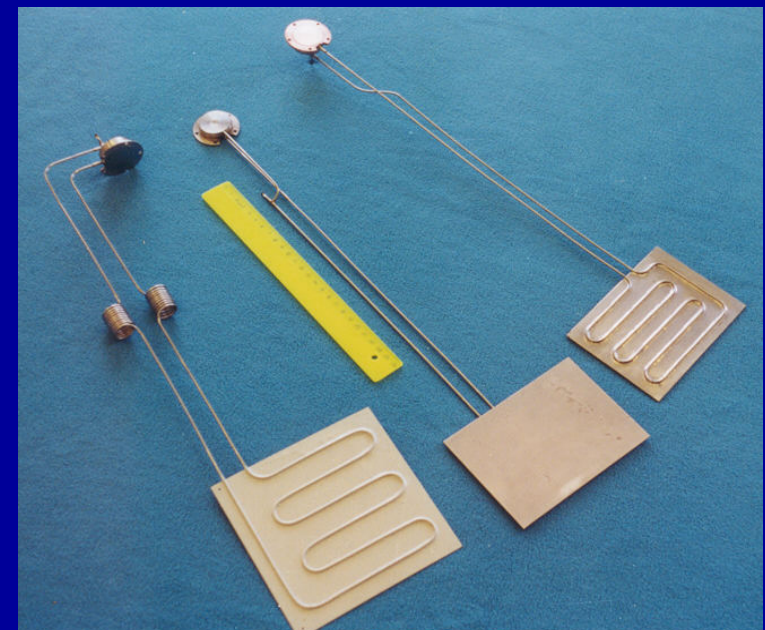
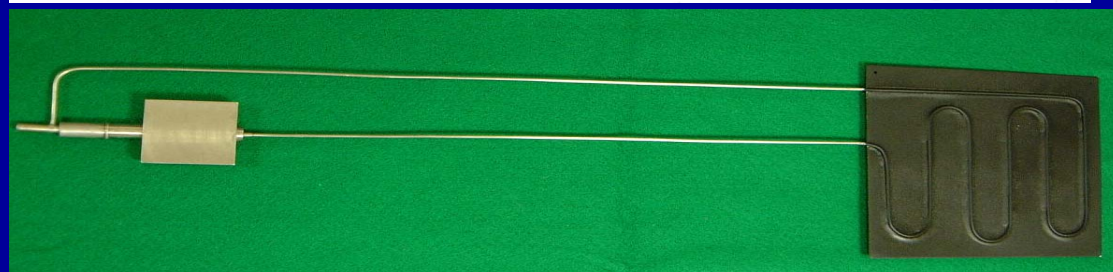
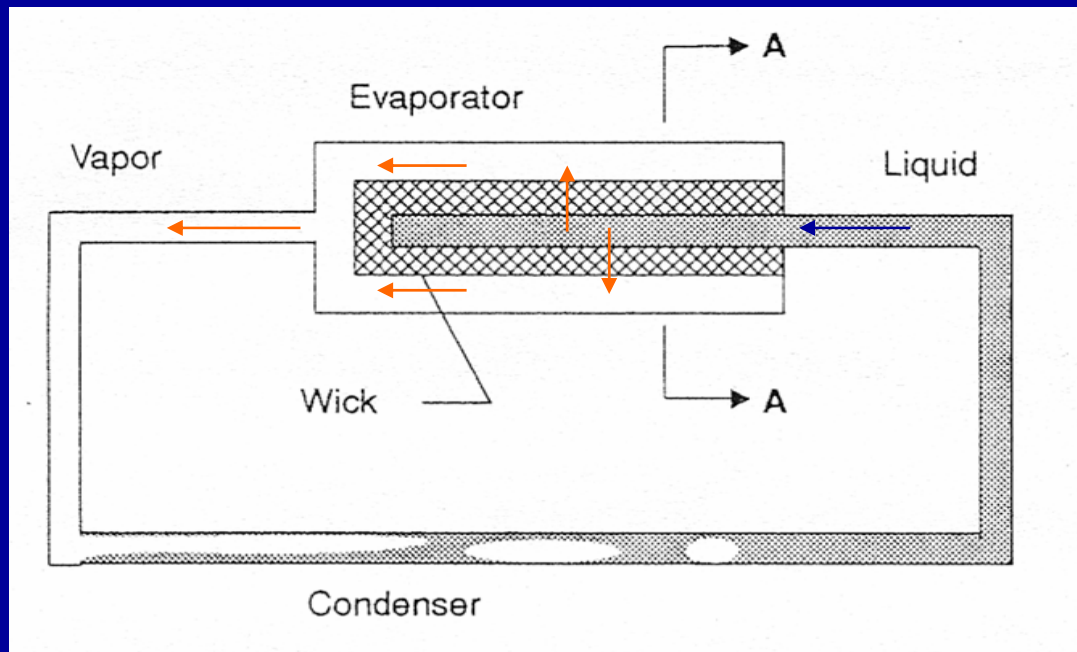
微熱管及微熱管均熱片：

- 流動阻力大
- 傳送距離有限



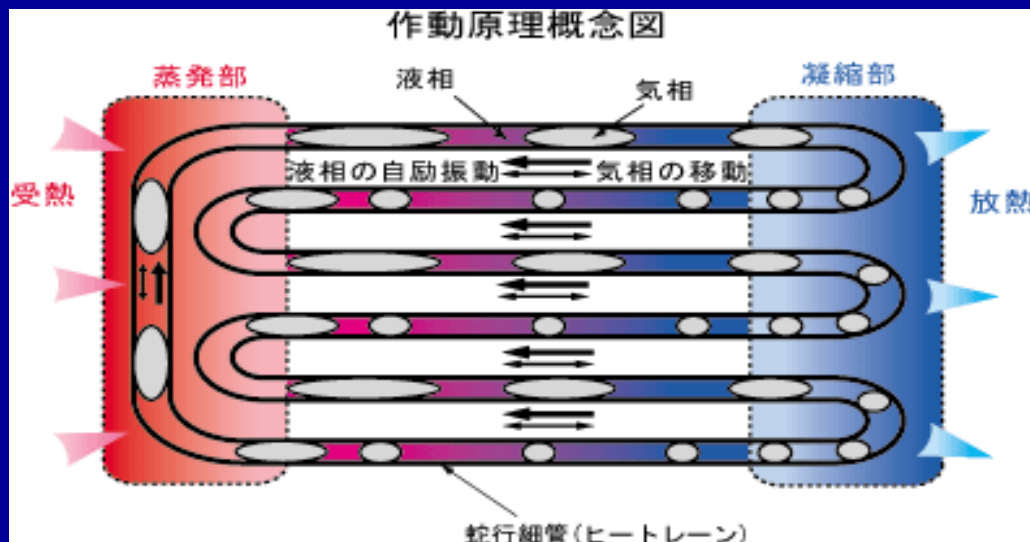
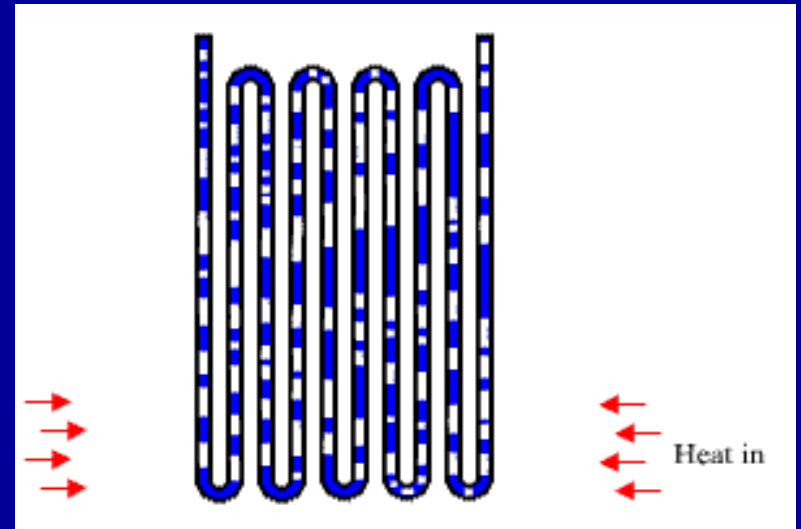
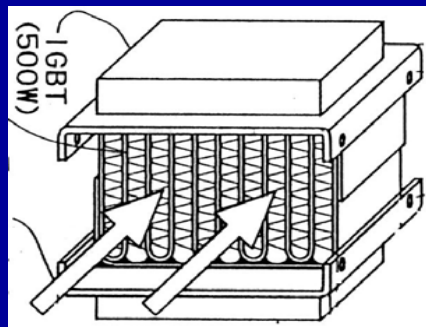


迴路型熱管





震盪型熱管



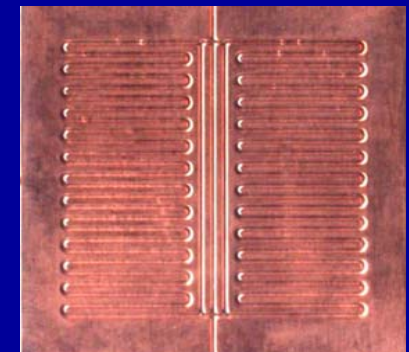
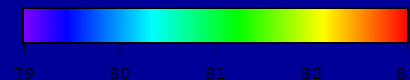


- ❑ 將傳統震盪型熱管微小化
- ❑ 解決啓動不確定性問題

$q = 20 \text{ W}$, air cooling

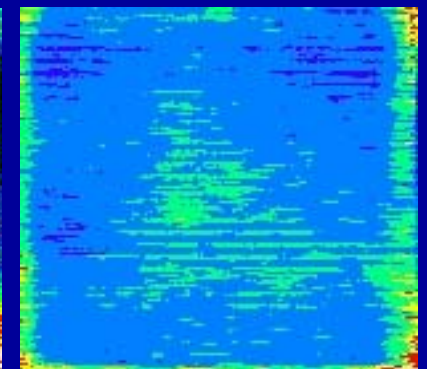
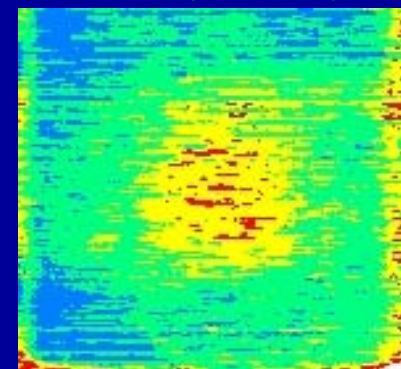


液晶熱像法觀察
表面溫度分佈



銅板(2 mm)

PHP-1





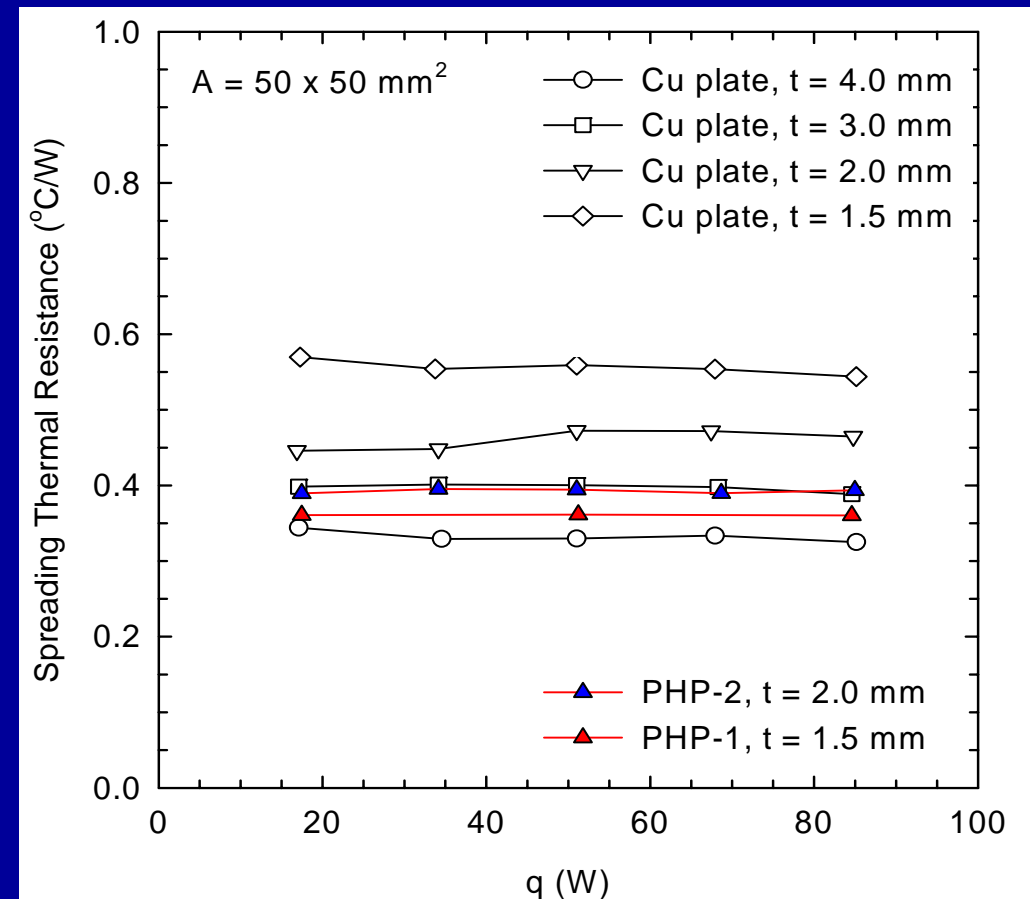
震盪型熱管均熱片性能比較

- PHP-1 : PHP板+銅板
- PHP-2 : PHP板+PHP板
- 均熱熱阻 :

T_c : 加熱點溫度

$T_{e1} \sim T_{e4}$: 均熱片四角溫度

$$R_{sp} = \frac{T_c - (T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4})/4}{q}$$





工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

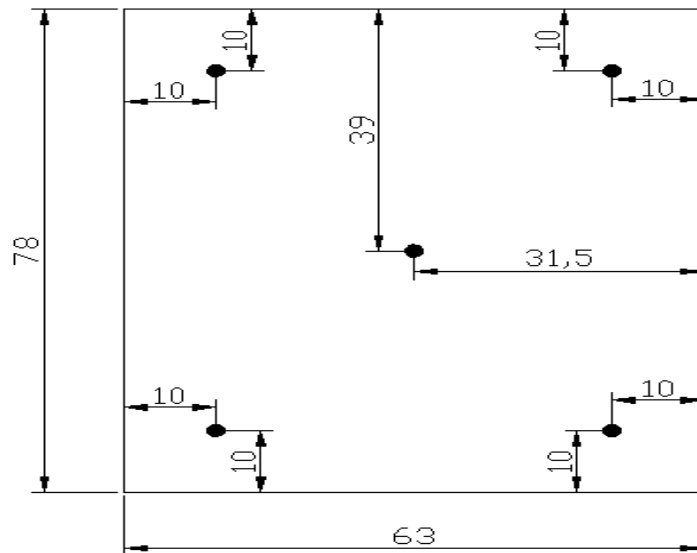
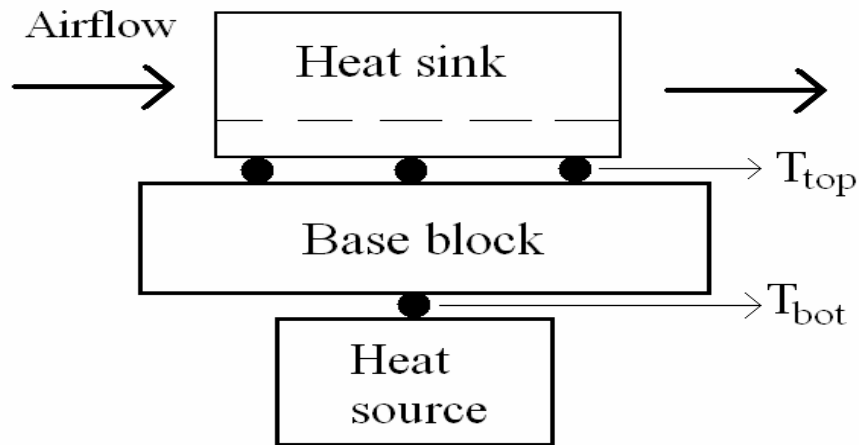
Energy & Resources Laboratories

Heat Sink integrated with the Vapor Chamber Subject to concentrated heat sources

- To investigate the influence of the heater size (concentrated heat source) with and without vapor chamber.
- Comparison of the heat spreading ability of the vapor chamber and those of copper/aluminum plate
- Three heaters with different sizes were used: $40 \times 40 \text{ mm}^2$, $20 \times 20 \text{ mm}^2$, and $10 \times 10 \text{ mm}^2$
- Input power: 50 W
- Frontal air velocity: 3, 5 and 7 m/s



Schematic of the experiment

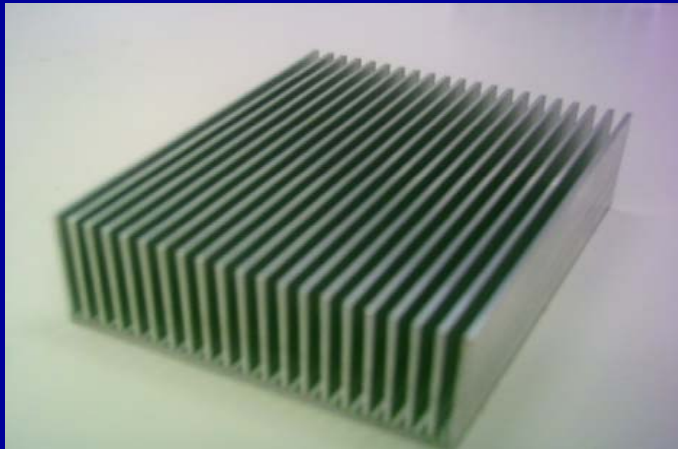


● : thermocouple location

- Schematic of heat sink attached on the base block
- Three block were used: vapor chamber, copper and aluminum plate
- Thermocouple (T-type) location on the top surface of the base block



Heat sink and the base blocks



- The attached heat sink: 21 fins.
- Fin height: 20 mm
- Fin thickness: 1 mm.



- Base blocks (from left to right: vapor chamber, copper and aluminum plate)
- Thickness: 5 mm
- Length: 86 mm
- Width: 71 mm.



Results

- Surface temperature rises and thermal resistance of each base block under different frontal air velocity
- Heater size: 40×40 mm

| | U (m/s) | T _{bot} (°C) | T _{top} (°C) | R _{th} (°C/W) |
|----------------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Vapor chamber | 3 | 22.5 | 20.61 ± 0.34 | 0.041 |
| | 5 | 17.8 | 15.85 ± 0.31 | 0.040 |
| | 7 | 15.1 | 13.06 ± 0.32 | 0.042 |
| Copper plate | 3 | 23.2 | 20.64 ± 1.10 | 0.055 |
| | 5 | 18.7 | 16.07 ± 1.10 | 0.054 |
| | 7 | 15.6 | 13.26 ± 1.08 | 0.054 |
| Aluminum plate | 3 | 24.8 | 20.50 ± 1.33 | 0.095 |
| | 5 | 20.3 | 15.97 ± 1.28 | 0.093 |
| | 7 | 17.6 | 13.25 ± 1.26 | 0.089 |



Results

- Heater size: 20×20 mm

| | U (m/s) | T _{bot} (°C) | T _{top} (°C) | R _{th} (°C/W) |
|----------------|---------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Vapor chamber | 3 | 24.4 | 20.36 ± 0.36 | 0.088 |
| | 5 | 19.5 | 15.34 ± 0.35 | 0.089 |
| | 7 | 16.9 | 12.71 ± 0.33 | 0.084 |
| Copper plate | 3 | 25.1 | 20.48 ± 1.23 | 0.100 |
| | 5 | 20.6 | 15.89 ± 1.22 | 0.100 |
| | 7 | 17.6 | 12.90 ± 1.18 | 0.099 |
| Aluminum plate | 3 | 30.0 | 20.48 ± 2.36 | 0.208 |
| | 5 | 25.5 | 15.94 ± 2.38 | 0.202 |
| | 7 | 22.5 | 13.24 ± 2.34 | 0.188 |



Results

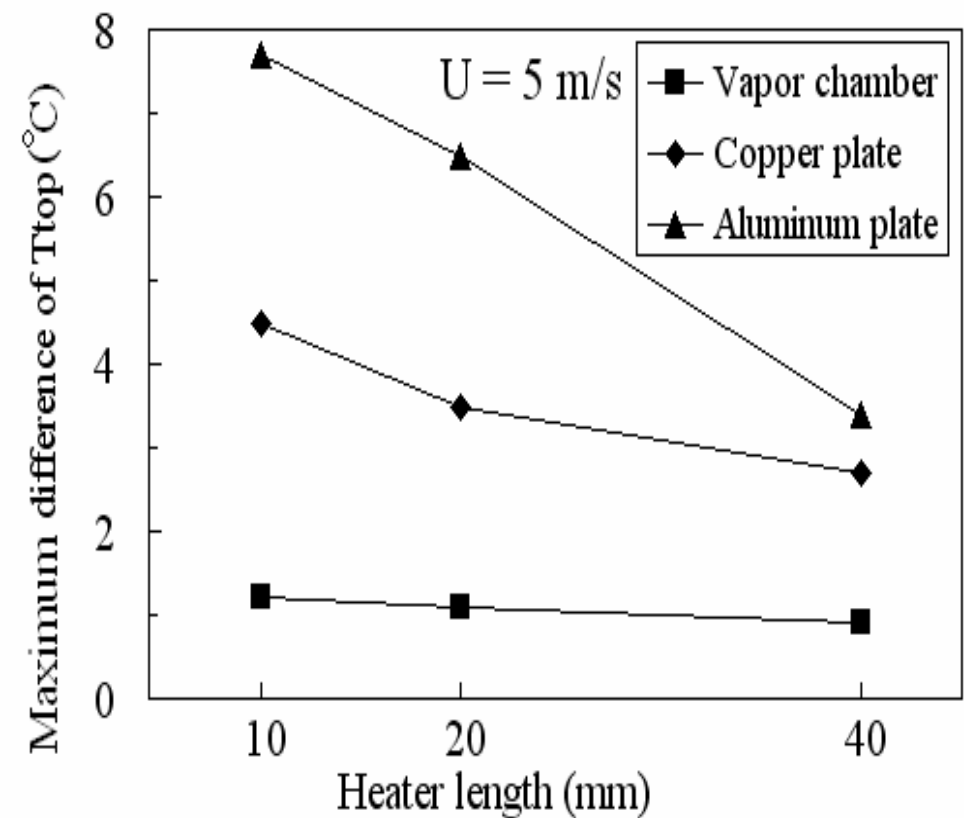
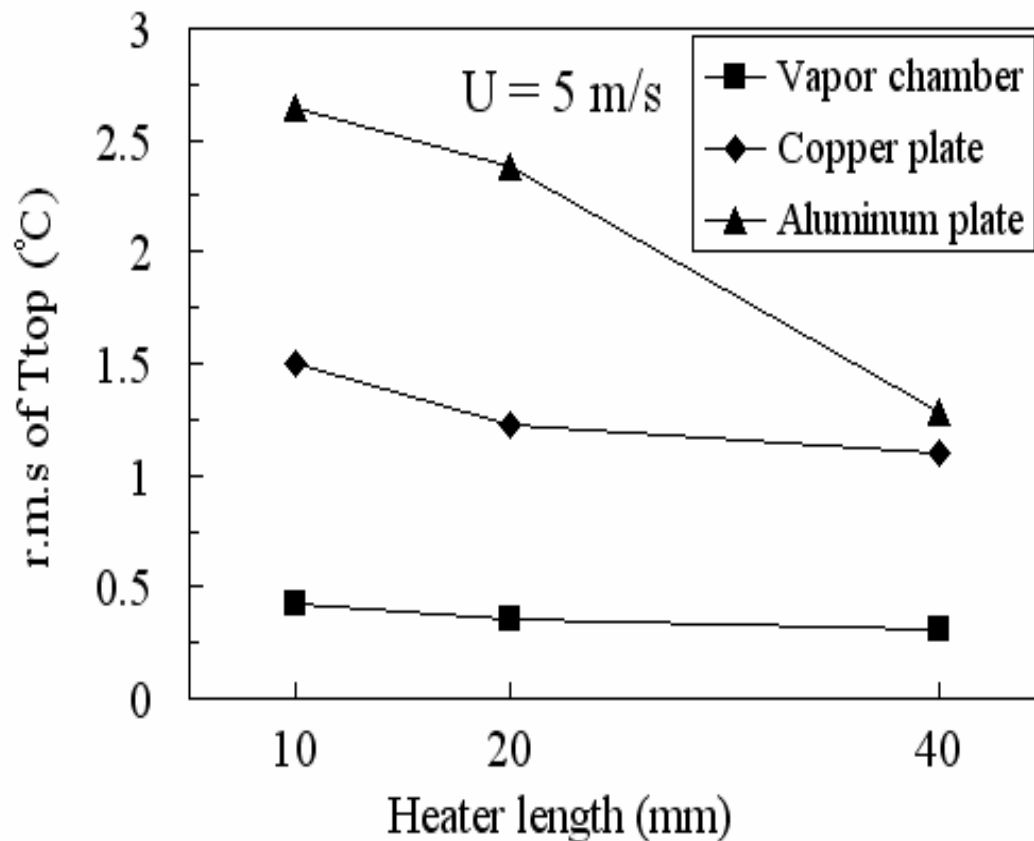
- Heater size: 10×10 mm

| | U (m/s) _{avg} | T _{hot} (°C) | T _{top} (°C) | R _{th} (°C/W) |
|----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Vapor chamber | 3 | 31.8 | 20.22 ± 0.40 | 0.251 |
| | 5 | 26.5 | 15.24 ± 0.42 | 0.240 |
| | 7 | 23.4 | 12.48 ± 0.44 | 0.226 |
| Copper plate | 3 | 31.5 | 19.55 ± 1.56 | 0.270 |
| | 5 | 26.8 | 15.10 ± 1.50 | 0.250 |
| | 7 | 23.8 | 12.40 ± 1.45 | 0.244 |
| Aluminum plate | 3 | 35.7 | 20.17 ± 2.72 | 0.343 |
| | 5 | 30.8 | 15.38 ± 2.65 | 0.338 |
| | 7 | 28.1 | 12.76 ± 2.62 | 0.325 |



Results

- The root mean square and the maximum difference of the five measured temperatures on the top surface of the base blocks.





工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

Discussion (Vapor chamber)

- When compared to pure aluminum and copper, the vapor chamber has the lowest thermal resistance due to its excellent ability of heat spreading.
- The thermal resistance (both conductive and spreading resistances) becomes larger when the heater size is reduced.
- The heater size has a significant influence to the temperature distribution of the Cu/Al plates, but has only slight effect on the temperature distribution of the vapor chamber.
- The room mean square of the top surface temperature is smallest for the vapor chamber.
- The vapor chamber has better heat spreading ability than copper/aluminum plate.



結 論

- 熱管熱阻基本取決於蒸發區及冷凝區之管壁與毛細結構厚度。
- 熱管熱阻與長度沒有直接之關係。
- 毛細結構厚度增加有助於最大熱傳量的增加，但也造成熱阻值加大。
另外也會影響到蒸汽的流動。
- 孔隙度增加，液體回流阻力減少，熱傳量增加；但熱阻也增加。
- 熱管若有後續之成形加工，參數必須以最終形狀做最佳化設計，
以符合性能之要求。
- 熱管類產品能有效降低散熱模組之熱阻，但其基本熱阻是存在的。



結 論

- 熱管扮演傳熱的重要組件，而非散熱之用。
- 熱管製作時，必須確認製程參數，是否能滿足設計之要求。
- 必須瞭解熱阻最大之地方，方能判斷熱管使用之有效性。
- 熱管應用有其極限，並非萬靈丹。

參考文獻

1. A. Faghri, “Heat Pipe Science and Technology”, Taylor & Francis.
2. G. P. Peterson, “An Introduction to Heat Pipes”, John Wiley & Sons.



工業技術研究院

能源與資源研究所

Industrial Technology Research Institute

Energy & Resources Laboratories

Thanks for your attention!