

國立交通大學
機械工程學系

碩士論文

分離式熱源對微通道熱沉的熱特性

**Effect of Discrete Heat Source on the
Thermal Characteristics of Microchannel Heat**

Sink 96

研究生：劉坤穎

指導教授：王啟川 教授

中華民國一百零一年七月

分離式熱源對微通道熱沉的熱特性

Effect of Discrete Heat Source on the Thermal Characteristics of Microchannel Heat Sink

研究生：劉坤穎

student: Kun-Ying Liou

指導教授：王啟川

advisor: Chi-Chuan Wang



中華民國一百零一年七月

分離式熱源對微通道熱沉的熱特性

學生：劉坤穎

指導教授：王啟川

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘要

在電子散熱中，避免結合點溫度過高，可減少電子元件進入功能減衰，保證電子元件的穩定，隨者電子元件的發展，發熱源有往分離式熱源且熱源集中的趨勢，故熱沉的設計，變得相當重要。

微通道為一種液冷式的熱沉，本研究設計不同尺寸的微通道，藉由模擬數值分析與實驗數據對比，研究微通道在發熱源為均勻和發熱源為分離式下的熱特性，在模擬數值分析中，探討在不同歧管設計與微通道流道設計下，加熱面的溫度分布包含平均溫度與最高溫度，與微通道的進出口壓降，以及將微通道的流道進行分流設計後，流道的流量分布和工作流體溫度分布；實驗分析中，探討加熱源與微通道接觸面的平均溫度和最高溫度，以及微通道進出口的壓降，受到不同加熱源和歧管影響下的變化。

微通道系統，主要熱傳機制為熱對流效應，增加熱對流效應，可以明顯的加強微通道的熱特性，次要為熱傳導效應。隨者加熱瓦數的增加，加熱面的溫度分布會越來越不均勻，當熱源為分離式熱源，發熱量集中，加熱面會有較大的結合點溫度，可透過微通道設計，降低最高溫度，避免加熱源的損壞。

關鍵字：微通道、結合點溫度、分離式熱源

Abstract

In electronics cooling, the junction temperature must be kept as low as possible to ensure the safe operation and stability of the electronic components. The problem becomes more severe since the electronic components always has discrete and concentrated heat source feature that accentuates the associated phenomenon. Therefore, microchannel employing liquid cooling is a good solution to eliminate the gigantic heat resistance caused by high flux concentrated heat sources. This study investigates the effect of configuration for microchannel heat sink on the overall performance both experimentally and numerically. The influence of the configurations of the manifolds is also examined. It is found that the forced convection is the main heat transfer mechanism but thermal conduction effect also plays essential role. The temperature distribution of the heat source becomes more non-uniform when the supplied heat is increased. To examine the influence of discrete heat source, the supplied heat source is divided into three separate heating sources. The results show a significant effect of the concentrated heat source. It is found that the deviation of temperature is also related to the supplied heat and the location of supplied heat source.

Keywords : microchannel, junction temperature, discrete heat source

致謝

感謝老天，本文順利的圓滿完成，首先最需要感謝，我的指導教授，王啟川老師，記得考完研究所後，第一次與老師碰面，老師問我為什麼要找他，我跟老師說我想要親手做實驗，感謝老師給我機會，從不懂到懂得學習過程，是我人生中，重要的資產，也感謝老師提供的完善實驗資源與耐心的指導，才会有本文的產生，在此非常感謝老師兩年來的指導。另外也感謝劉耀先教授，以及工研院劉君愷博士，在口試時提出了許多重要的意見，讓我的論文更加完善。

在實驗室的學習過程中，許多的學習來自於，實驗室的學長姊指導與幫忙，在此感謝實驗室博班學長，書磊與昆壕，以及碩班學長，凱涵、嘉峻、智鈞、泓凱、育傑、岳峻與東榮，還有同屆的同學們，彥慶、佩如、美佐、仁傑、冠宇、靖瑞、泳彤、善豪、柏豪、宇琪、楷翔、立竹、洋嘉、士哲與瑋亭，學弟妹們，慧敏、宥澄、建宏、宜群等人，謝謝你們在我困惱的時候，給我寶貴的建議，在我放鬆的時候，一起玩樂的時光，太多的感謝，盡在不言之中，因為有你們，讓碩班的生涯，更加多采多姿，謝謝你們。除了學校之外，也特別感謝工研院，楊愷祥博士的指導與幫忙。

最後更要感謝我的父母，提供一個良好的環境，在我求學路上的陪伴支持，讓我能學業上好好的學習，是我堅持下去永不放棄的動力!也感謝我的苑真，謝謝妳總是默默在背後支持我，提醒我，鼓勵我，記得我要在實驗室忙晚一點，還會關心我，要我早點回宿舍休息!要感謝的人太多了，謹以此論文獻給所有關心我的人，謝謝你們!

劉坤穎

2012.8 工五 305

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
符號說明.....	xi
第一章 緒論.....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 文獻回顧.....	3
1-3 研究動機與目的.....	5
第二章 分析原理與方法.....	6
2-1 微細系統的模擬模式.....	6
2-2 單相流體在微通道內的特性.....	7
2-2-1 摩擦特性.....	7
2-2-2 熱傳特性.....	12
2-3 理論計算.....	13
2-4 實驗設備.....	16
2-5 實驗校正與不准度計算.....	27
第三章 模擬分析.....	30
3-1 均勻加熱.....	31

3-1-1 歧管設計	31
3-1-2 分流設計 Partial Bypass	39
3-2 分離式加熱	47
3-2-1 歧管長邊進出	48
3-2-2 阻礙物設計	53
第四章 實驗分析	55
4-1 長邊進出歧管	57
4-2 漸擴短邊進出歧管	59
4-3 分流設計	75
4-4 模擬與實驗比較	76
第五章 結論	78
參考文獻	80



表目錄

表 1-1 研究參數表	5
表 2-1 矩形流道的 L_{hy}	8
表 2-2 不同長寬比的矩形流道中 $f_{app} \times Re$ 與 x^+ 的關係	11
表 2-3 微通道水力發展長度與溫度發展長度計算表	13
表 2-4 微通道壓降與熱對流細數計算表	13
表 2-5 微通道流道壁面溫度計算表	15
表 2-6 微通道加熱面溫度計算表	15
表 2-7 不準確度分析整理表	29
表 3-1 均勻加熱參數表	31
表 3-2 分流設計進出口壓降表	40
表 3-3 分流設計加熱面平均溫度	41
表 3-4 分流設計加熱面最高溫度	41
表 3-5 分流設計，進口流量 0.007kg/s，不同分流流道的流量比例整理表	46
表 3-6 分離式熱源-歧管長邊進出邊界條件	48
表 3-7 分離式熱源，歧管長邊進出，四種類型最高溫度和壓降整理表	52
表 3-8 分離式熱源，具分流設計，阻礙物設計下，熱特性整理表	53
表 4-1 實驗流道空壓降表	55
表 4-2 長邊進出歧管，進口水溫 25°C	57
表 4-3 長邊進出歧管，進口水溫 30°C	57
表 4-4 長邊進出歧管，進口水溫 35°C	57
表 4-5 長邊進出歧管，進口水溫 40°C	58
表 4-6 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表	59
表 4-7 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	59
表 4-8 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	59
表 4-9 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表	60
表 4-10 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	60

表 4-11 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	60
表 4-12 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表 ...	61
表 4-13 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	61
表 4-14 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	61
表 4-15 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表 ...	61
表 4-16 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	62
表 4-17 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	62
表 4-18 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表	62
表 4-19 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	62
表 4-20 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	63
表 4-21 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表	63
表 4-22 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	63
表 4-23 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	63
表 4-24 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表	64
表 4-25 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表	64
表 4-26 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表	64
表 4-27 漸擴短邊進出歧管，分流設計截面積 5mm×1mm，熱特性表	75

圖目錄

圖 1-1 電子元件損壞因素圖	1
圖 1-2 微通道工作流體流向圖 [2].....	4
圖 1-3 矩形和漸擴歧管與矩形和漸擴流道組合圖 [7.8].....	4
圖 2-1 通道內控制體積示意圖	8
圖 2-2 設備流程圖	16
圖 2-3 實驗設備測試端圖	17
圖 2-4 差壓計[Differential Pressure Transmitter]: YOKOGAWA 公司製造，型號為 EJA110-DM，實驗中量測範圍為 0~0.5kgf/cm ²	17
圖 2-5 分配器 [Distributor]: YOKOGAWA 公司製造，型號為 SDBS，將差壓計輸出的電流訊號，轉換為電壓訊號輸出。.....	18
圖 2-6 BT200 : YOKOGAWA 公司製造，手持式，將差壓計歸零，保持電壓訊號輸出的準確性。.....	18
圖 2-7 包覆式熱電耦 [Thermocouple]: 量測進口水溫。.....	19
圖 2-8 浮子式流量計 [Rotameter]: 欣川公司製造，流量範圍為 0.1~1 l/min。.....	19
圖 2-9 恆溫水槽	20
圖 2-10 離心式幫浦: Iwaki 公司製造，型號為 MD-20RZ。.....	20
圖 2-11 MX100[Hybrid Recorder]: YOKOGAWA 公司製造，可連接電腦進行資料擷取。.....	21
圖 2-12 自耦變壓器[rariable transformer]: 久鑫公司製造，輸入 110V，輸出 0~130V，15A。.....	21
圖 2-13 導熱膏 [Heat Sink Compound]: KYOTOKU 公司製造，型號為 Y-500 傳導係數為 2.8-3.0 W/m×K.....	22
圖 2-14 加壓器 [Load Cell]: 瑞領公司製造，加壓範圍 0~100 kgf.....	22
圖 2-15 絕緣層-鐵氟龍.....	23
圖 2-16 絕緣層-電木.....	23
圖 2-17 加熱片 50V-250W	24
圖 2-18 長邊進出歧管	24

圖 2-19 漸擴短邊進出歧管	25
圖 2-20 微通道 流道尺寸 1mm×1mm	25
圖 2-21 分流設計微通道	26
圖 2-22 均溫銅塊與標準件 RTD	27
圖 2-23 熱電偶校正圖	27
圖 3-1 模擬網格測試圖	30
圖 3-2 長邊進出歧管工作流體走向圖	32
圖 3-3 長邊進出歧管流道壓力分布圖	32
圖 3-4 長邊進出歧管水流溫度分布圖	33
圖 3-5 長邊進出歧管加熱面溫度分布圖	33
圖 3-6 漸擴短邊進出歧管工作流體走向圖	34
圖 3-7 漸擴短邊進出歧管流道壓力分布圖	35
圖 3-8 漸擴短邊進出歧管水流溫度分布圖	35
圖 3-9 漸擴短邊進出歧管加熱面溫度分布圖	36
圖 3-10 中央短邊進出歧管工作流體走向圖	37
圖 3-11 中央短邊進出歧管流道壓力分布圖	37
圖 3-12 中央短邊進出歧管水流溫度分布圖	38
圖 3-13 中央短邊進出歧管加熱面溫度分布圖	38
圖 3-14 微通道四種不同尺寸分流設計示意圖	39
圖 3-15 分流設計流道截面積 5mm×1mm 流道位置示意圖	42
圖 3-16 分流設計進口水溫分布圖	43
圖 3-17 分流設計出口水溫分布圖	43
圖 3-18 分流設計進口流速分布圖	44
圖 3-19 分流設計進口流量比例圖	44
圖 3-20 分流設計，進口流量 0.007kg/s，不同分流流道的流量比例整理圖	46
圖 3-21 分離式加熱源微通道前視圖	47
圖 3-22 分離式加熱源微通道側視圖	47
圖 3-23 分離式熱源類型一水流左進右出流向示意圖，箭頭為水流進口	48

圖 3-24 分離式熱源類型一加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.62°C	49
圖 3-25 分離式熱源類型二水流右進左出流向示意圖，箭頭為水流進口	49
圖 3-26 分離式熱源類型二加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.58°C.....	50
圖 3-27 分離式熱源類型三水流左進右出流向示意圖，箭頭為水流進口	50
圖 3-28 分離式熱源類型三加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.83 °C.....	51
圖 3-29 分離式熱源類型四水流右進左出流向示意圖，箭頭為水流進口	51
圖 3-30 分離式熱源類型四加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.34 °C.....	52
圖 3-31 分離式加熱微通道，分流設計截面積 5mm×1mm，阻礙物設計示意圖	53
圖 3-32 分離式熱源，具分流設計，阻礙物設計下，熱特性圖	54
圖 4-1 實驗微通道與加熱片接合面，熱電耦量測點位置圖	55
圖 4-2 實驗流道空壓降圖	56
圖 4-3 實驗加熱片示意圖	56
圖 4-4 長邊進出歧管，不同進口水溫，不同瓦數下，平均溫度與最高溫度變化圖	58
圖 4-5 漸擴短邊進出歧管，加熱片 123，實驗第 1 次與第 2 次，再現性圖.....	65
圖 4-6 漸擴短邊進出歧管，加熱片 123，不同流量下，熱特性圖	66
圖 4-7 漸擴短邊進出歧管，加熱片 12，不同流量下，熱特性圖	67
圖 4-8 漸擴短邊進出歧管，加熱片 13，不同流量下，熱特性圖	68
圖 4-9 漸擴短邊進出歧管，加熱片 23，不同流量下，熱特性圖	69
圖 4-10 漸擴短邊進出歧管，加熱片 1，不同流量下，熱特性圖	70
圖 4-11 漸擴短邊進出歧管，加熱片 2，不同流量下，熱特性圖.....	71
圖 4-12 漸擴短邊進出歧管，加熱片 3，不同流量下，熱特性圖	72
圖 4-13 漸擴短邊進出歧管，流量 0.46 l/min 下，不同加熱源的平均溫度圖	73
圖 4-14 漸擴短邊進出歧管，流量 0.46 l/min 下，不同加熱源的最高溫度圖	73
圖 4-15 漸擴短邊進出歧管，分流設計和沒有分流設計，對照圖	75
圖 4-16 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量 0.46 l/min 下，模擬與實驗對照圖	76
圖 4-17 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量 0.46 l/min 下，模擬與實驗對照圖	77

符號說明

α_h	歧管垂直於微通道方向的截面積 / 微通道流道總截面積
ΔP	流道壓降, pa
L	流道長度, m
D_h	流道水力直徑, m
f	摩擦因子 [friction factor]
ρ	工作流體密度, kg/m^3
u	工作流體速度, m/s
U_{in}	進口處得均勻速度, m/s
u_{FD}	出口處的速度分布, m/s
Re	雷諾數 [Reynolds number]
μ	工作流體黏滯係數, $N \times s/m^2$
Nu	紐森數 [Nusselt number]
Nu_x	溫度入口區的紐森數
Nu_∞	溫度完全發展區的紐森數
$Nu_{\infty,T}$	軸向和周長皆為等溫條件下溫度完全發展區的紐森數
$Nu_{\infty,H1}$	軸向為等熱通量而周長為等溫條件下溫度完全發展區的紐森數
$Nu_{\infty,H2}$	軸向與周長皆為等熱通量下溫度完全發展區的紐森數
L_{hy}	水力發展長度
L_{th}	溫度發展長度
L_{hy}^+	無因次的流場完全發展長度
L_{th}^+	無因次的溫度完全發展長度
A_a	加熱源面積, m^2
A_c	流道截面積, m^2
A_h	總微通道流道壁面面積, m^2
P_h	流道的周長, m
α^*	長寬比=短邊/長邊
x^+	無因次的流動發展距離

x^*	無因次的溫度發展距離
f_{app}	明顯摩擦係數
f_{FD}	完全發展區摩擦係數
$K(x)$	摩擦缺陷
$K(\infty)$	完全發展區的摩擦缺陷
Q	熱傳量，W
\dot{m}	工作流體質量流率，kg/s
C_p	工作流體的比熱，J/kg × K
T_{in}	微通道的進口水溫，K
T_{out}	微通道的出口水溫，K
T_m	$(T_{in} + T_{out})/2$ ，K
T_j	加熱面溫度，K
Δx	發熱源到微通道流道的距離，m
K_A	DBC 的熱傳導係數，W/m · K
K_C	銅的熱傳導係數，W/m · K
K_D	Diode 的熱傳導係數，W/m · K
K_h	加熱源的熱傳導係數，W/m · K
K_I	IGBT 的熱傳導係數，W/m · K
K_S	Solder 的熱傳導係數，W/m · K
K_w	水的熱傳導係數，W/m · K
Pr	ν/α ，Prandtl number
Pe	$Re_L * Pr$ ，Peclet number

第一章 緒論

1-1 研究背景

1965 年 Gordon Moore 在 Electronics Magazine 發表一篇文章，文章內指出「積體電路 (IC Integrated Circuit) 上可容納的電晶體數目，約每隔 18 個月便會增加一倍，性能也將提升一倍。」這是大家熟知的「摩爾定律」。以目前半導體製程進步的速度來看，發展趨勢還是遵循著摩爾定律以驚人的速度往微小的尺度推進，能造成半導體製程能否更為精進的一大因素就是「熱」。

以目前電子元件發展的趨勢來看，未來的電子元件只會在更小的面積中產生更高的功率，發出更大的發熱量，因此，散熱底板所承受的熱負載就愈大，直接影響的就是電子元件的可靠度。溫度是所有電子元件能否正常運作的關鍵因素，而電子零件的故障、損壞有 55 % 是溫度所造成如圖 1，電子元件的溫度每提升 2 °C 其可靠度就降低 10 %。所以，為了保持電子元件的可靠度以及穩定性，溫度的控制以及散熱機制的設計對於目前電子產業的發展已成為不可缺少的角色。

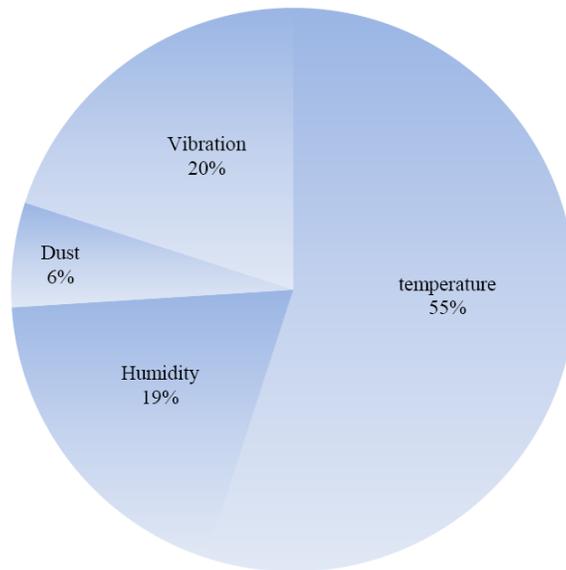


圖 1-1 電子元件損壞因素圖

積體電路在莫耳定律下以每一年半縮小一倍的速度在發展，電子元件逐漸地變小，電路的設計也越來越密集，為了讓電子產品達到穩定的可靠性且較長時間的壽

命，必須考慮散熱來讓電子元件維持較佳的狀態，所以面臨到嚴峻的散熱問題。傳統的散熱方式，主要是以氣冷的形式為主，藉由增加散熱鰭片的散熱面積以及增加風扇來達成強制對流效應，都是常見的增加散熱效率的方法。但隨者電子元件逐漸變小，單位面積的發熱量愈來愈大，散熱空間不斷壓縮的情況下，傳統的氣冷式散熱，逐漸的不敷使用，所以散熱的方法將走入水冷式散熱。近幾年來，微機電系統 (MEMS , Micro-electromechanical Systems) 的應用逐漸成熟，微機電系統是利用矽、石英等高分子材料製造微米尺度等級的技術。利用 MEMS 蝕刻的技術，製成微通道已經發展成熟完備，應用水冷散熱模組在散熱機構，是現在逐漸被開發的散熱技術。

本文研究目標是設計單相的微通道散熱系統，近幾年研究單相微通道系統文獻相當的多，而本研究將偏重於分離式的熱源，對於微通道散熱特性的影響。再電子產品中，發熱源往往是屬於集中式發熱，單位面積的發熱量是相當大的，而要讓電子元件維持在較佳的狀態，重要的關鍵是在高熱通量的發熱源，在運轉的過程中，有良好的散熱系統，使其冷卻，避免溫度達到接合點溫度，降低發熱源的性能。故微通道的設計，需考量到分離式熱源的影響，本研究將研究熱源為分離式熱源，微通道系統的散熱與流動特性。

1-2 文獻回顧

近幾年，許多研究發現在微流道中，其入出口位置的排列方式會影響流體的速度分布和溫度分布，對於在設計微流道尺寸時，變得相當重要，Lu et al. [1] 研究五種不同類型的入出口排列，分別為 I 型，Z 型，]型，L 型， Γ 型，再 Z 型和 L 型會有微通道系統會有工作流體回流的現象發生，造成溫度差異變大，同樣的流速下，這五種排列在壓降方面為：I 型 $>$ Γ 型 $>$ L 型 $>$ Z 型 $>$]型，而在熱傳性能上：I 型 \approx Γ 型 $>$]型 $>$ L 型 $>$ Z 型，綜合考量壓降與熱傳性能上，]型會是最佳的選擇，其中]型排列與本文中的 U-type 排列相同。Ljubisa et al. [2] 提出再 U-type 下，採用不同的微通道設計，如圖 1-2 所示，微通道會有較佳的溫度分布。

微通道內部的壓降和熱傳性能，是微通道重要的物理指標，Toh et al. [3] 利用有限體積法，模擬微通道流動，研究 $f \times Re$ ，無因次化參數摩擦因子和雷諾數對於微通道的影響。Park et al. [4] 也研究在不同的尺寸下，微通道的摩擦因子。微通道的速度分布是非常難量測到的物理量，水流在微通道內部的流動，並無明確的物理機制，在大部分的文獻中，皆提到工作流體由微通道入口歧管，流入微通道，會產生一個衝擊力，在速度入口區對微通道工作流體的流動產生影響，Liu et al. [5] 對五種不同的微通道入口排列，使用 PIV [particle image velocimetry] 技術，量測工作流體在微通道內，流動的情況。Wei et al. [6] 使用 PIV 技術，量測單通道的速度分布，在速度完全發展區的量測結果與理論計算相差不大，呈現拋物線的速度分布。

再微通道的速度分布，是呈現不均勻的情況，有文獻提出歧管的形狀會強烈的影響速度分布與溫度分布，當歧管與流道垂直的截面積，遠大於流道總截面積時，工作流體可以在歧管內有良好的混合，速度分布會比較均勻，當加熱源為均勻加熱時，有均勻的速度分布，就會有均勻的溫度分布。

Cho et al. [7,8] 研究不均勻性加熱下，4 種不同的微通道設計，如圖 1-3 所示，微通道的熱傳性能差異。在此文獻中，會設計漸縮的微通道，是為了降低微通道的壓降。此研究指出矩形歧管的溫度分布會比不規則形歧管來的均勻，在流道漸縮，歧管對溫度分布的影響會比較大，顯示歧管的設計對於微通道是相當的重要。此文獻在再不均勻性加熱方面的研究，是指出漸縮的微通道設計，可以降低微通道的壓

降，再不均勻性加熱時，溫度分布具有強烈的不均勻性，不均勻的溫度分布，可能會再發熱源的電子元件產生溫度過高，是不理想的微通道設計。

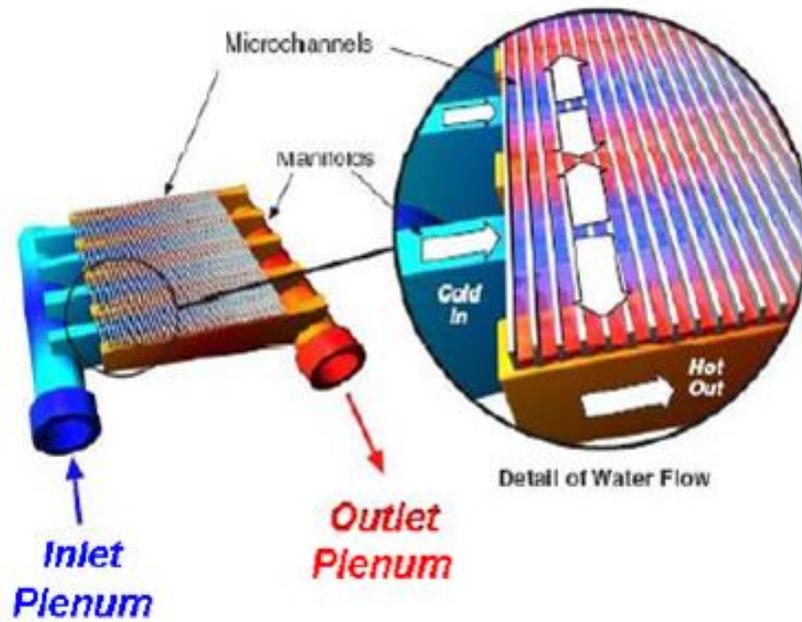


圖 1-2 微通道工作流體流向圖 [2]

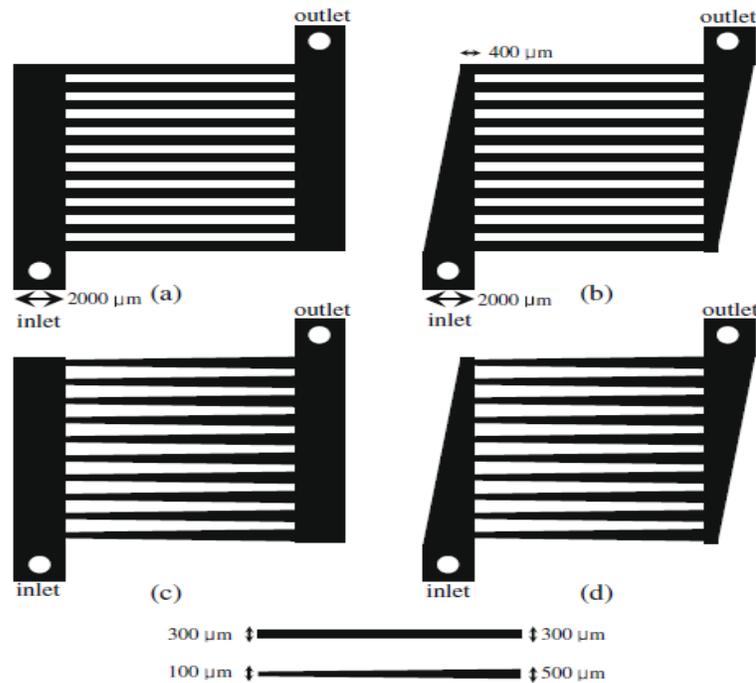


圖 1-3 矩形和漸擴歧管與矩形和漸擴流道組合圖 [7.8]

1-3 研究動機與目的

近年來，電子元件在高發熱量、集中式發熱、往輕薄短小概念發展，利用氣冷來解決散熱問題已遇到瓶頸。許多學者開始投入研究水冷散熱系統，微通道系統為其中一種水冷散熱系統，而當熱流系統微細化後，熱流現象會迥異於傳統的熱流理論，許多尺寸的效應會逐漸浮現，本研究將研究微通道系統的散熱、流動特性。在研究微通道系統的文獻中，大部分的研究文獻，所採用的熱源，為均勻性熱源，這與實際的操作環境，有所不同，若考量到熱源不均勻，微通流道系統的散熱、流動特性是會受到影響，本研究將分別研究熱源均勻性與不均勻性下，微通道系統的散熱、流動特性。

在本研究中，設計的微通道散熱面積、散熱瓦數、工作流體與操作環境...等參數，如表 1-1 所示：

表 1-1 研究參數表

加熱面積	96mm×38.5mm
散熱瓦數	700W
工作流體	水
入口水溫	55°C
環境溫度	65°C
環境壓力	1atm

第二章 分析原理與方法

2-1 微細系統的模擬模式

微細熱流系統的模擬與特徵長度與時間尺度有很大的關聯，由於其物理機制有很大的區別，因此模擬上大致可分為兩種模式，及連續流體模式與分子模擬模式。在模擬微細熱流系統時，由於氣體和液體的特性不同，因此在模擬上必須考量不同效應的相對影響，在氣體時必須考慮下列效應的影響：

- (1) Rarefaction (稀薄效應)
- (2) Compressibility (可壓縮特性)
- (3) Viscous heating (黏滯加熱特性)
- (4) Thermal creep (熱蠕變現象)

對氣體而言，稀薄效應與可壓縮特性彼此間會交替影響，氣體的可壓縮性會促使壓力分布出現曲線分布，而稀薄效應又會使壓力分布線性化；黏滯加熱效應因黏滯應力作功所引起的加熱現象，此一效應在微奈米通道下，會特別明顯，而且即使原來表面上為等溫狀態都會受到影響，因此會造成流動方向的溫度梯度產生。

對液體必須考慮下列效應的影響：

- (1) Wetting (濕潤特性)
- (2) Adsorption (吸附特性)
- (3) Electrokinetics (電動特性)

以潤濕特性而言，必須考慮到流體本身的親水(hydrophilic)與疏水性(hydrophobic)，這個特性與先前介紹的表面張力的效應有關，當尺寸便小時，表面張力的效應影響會變大。吸附效應則與表面奈米孔隙有相當的關聯，流體流動的邊界條件與此類表面吸附特性有關，如果流體被奈米孔隙所捕捉，則可能會出現超冷(supercooling)的現象。

2-2 單相流體在微通道內的特性

微通道非常適合使用於電子元件的散熱系統，微通道系統中，流道水力直徑比較小，加上避免流道壓降過大，工作流體速度也比較小，則無因次化參數，雷諾數 $Re = \rho u D_h / \mu$ 相對小，所以在微通道系統中，屬於層流流動。從平行板層流流動的壓降計算方程式：

$$\Delta P = \frac{4L}{D_h} \times f \times \frac{1}{2} \times \rho \times u^2 = 2 \times \mu \times u \times f \times Re \times \frac{L}{D_h^2} \quad (2-1)$$

L : 流道長度，m

D_h : 流道水力直徑，m

f : 摩擦因子 (friction factor)

ρ : 工作流體密度， kg/m^3

u : 工作流體速度，m/s

Re: 雷諾數 (Reynolds number)

μ : 工作流體黏滯係數， $\text{N} \times \text{s/m}^2$

考慮流動已完全發展且為層流流動，流速相同，則 $\Delta P \propto L/D_h^2$ 在層流流動中，熱傳性能參數，紐森數 (Nusselt number): $Nu = h \times D_h / K$ 為常數，結合此兩式，可知在相同的熱傳性能與壓降的需求下，微通道具有尺寸縮小的優勢，若在同樣尺寸下，想增加熱傳性能，則需降低水力直徑，以及壓降變大。透過設計微通道，可以解決部分電子元件體積縮小，散熱需求增加的問題。

2-2-1 摩擦特性

微通道的運用中，受到體積不大的限制，流道長度通常不大，需考量微通道是否進入完全發展區。

當工作流體進入流道後，最大速度發展到 99% 的最大已完全發展展速度，稱之為水力發展長度 (hydrodynamic entrance length, L_{hy})，

此一長度與進口流動速度、流道幾何形狀與水力直徑有關，速度越快，所需要的發展長度也就越長，過去有許多文獻，多以無因次的流場完全發展長度 L_{hy}^+ ，

$L_{hy}^+ = L_{hy} / D_h \times Re$ ，來整理水力發展長度的關係式。

快速估算水力發展長度：

a. 層流流動： $L_{hy}^+ \approx 0.05$

b. 紊流流動： $L_{hy}^+ \approx 4.4 * Re^{-\frac{5}{6}}$

表 2-1 矩形流道的 L_{hy}

$\alpha^*=1$	$\alpha^*=0.5$	$\alpha^*=0.2$
$0.09Re$	$0.085Re$	$0.075Re$

微通道的運用中，工作流體的循環，需要外力作功推動，所以壓降是重要的參數，將動量帶入雷諾輸送定律(Reynolds transport theorem)可得：

$$\frac{d(m*u)}{dt} = \Sigma F = \frac{d}{dt} \int_{CV} \rho u dV + \int_{CS} \rho u \cdot dA \quad (2-2)$$

考量入口處為均勻流速 U_{in} ，已進入完全發展區，外力來自於外加的壓力差以及必須被克服的壁面摩擦阻力，如圖 2-1 所示：

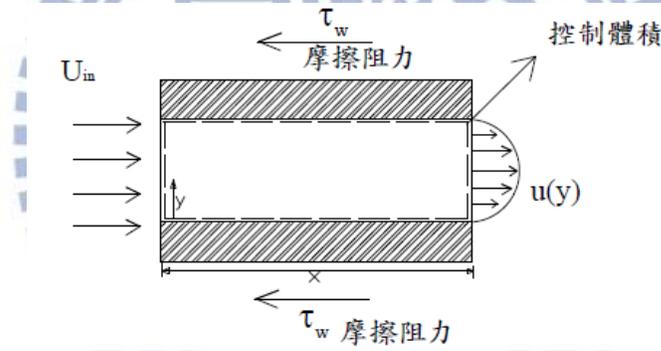


圖 2-1 通道內控制體積示意圖

則 2-2 之方程式變為：

$$\Sigma F = \Delta P \times A_c - \int_0^x \tau_{w,x} P_h dx = \frac{d}{dt} \int_{CV} \rho u dV + \int_{CS} \rho u \cdot dA \quad (2-3)$$

A_c : 流道截面積， m^2

P_h : 流道的周長， m

如果考慮穩定的流動狀態($d/dt=0$)，且流體為不可壓縮流體，密度為定值，則 2-3 之方程式變為：

$$\Sigma F = \int_{出口} \rho u_{FD}^2 dA - \rho U_{in} A_c \quad (2-4)$$

u_{FD} : 出口處的速度分布， m/s

利用水力直徑 $D_h = 4 A_c / P_h$ 的關係式，再將 2-4 之方程式同時除上 $\frac{1}{2}\rho U_{in}^2$ 可得：

$$\frac{\Delta P A_c}{\frac{1}{2}\rho U_{in}^2} = \frac{4A_c}{D_h} f x + 2 \int_{出口} \frac{u_{FD}^2}{U_{in}^2} dA - 2A_c \quad (2-5)$$

將 2-5 之方程式同時除以截面積 A_c ，可得：

$$\Delta P^* \equiv \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_{in}^2} = \frac{4}{D_h} f x + \frac{2}{A_c} \int_{出口} \frac{u_{FD}^2}{U_{in}^2} dA - 2 \quad (2-6)$$

微通道壓降計算，可以 2-6 之方程式計算得之，但考量工作流體流速分布不易取得，所以可利用下列方法快速估算：

第一種方法是使用明顯摩擦係數 f_{app} (apparent friction factor)，將 2-6 之方程式表示成如下：

$$\Delta P^* \equiv \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_{in}^2} = f_{app} \frac{4x}{D_h} \quad (2-7)$$

第二種方法，將壓降分成『完全發展部份的摩擦貢獻』與『發展區中速度分布變化的影響』兩部份，則：

$$\Delta P^* \equiv \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_{in}^2} = \Delta P_{FD}^* + \Delta P_{DEV}^* = f_{FD} \frac{4x}{D_h} + K(x) \quad (2-8)$$

其中 $K(x)$ 稱之為壓力缺陷(pressure defect)，代表速度分布變化所造成的壓力損失。當流動已達完全發展時， $K(x)$ 趨近定值，不再變化，此值通常以 $K(\infty)$ 來表示，也稱之為 Hagenbach's factor，下式為精確的估算式：

$$K(\infty) = 1.2 + \frac{38}{Re} \quad (2-9)$$

由於 f_{app} 或 $K(\infty)$ 與位置有關，因此文獻上都使用無因次的流動發展距離 x^+ (dimensionless axial distance)來整理相關的資料：

$$x^+ = \frac{x}{D_h Re} \quad (2-10)$$

本研究的微通道設計為矩形流道， f_{app} 或 $K(\infty)$ 與長寬比值有關，故在此定義，長寬比=短邊/長邊= α^*

摩擦特性可分成三種類型討論：(1)流道長度大於發展長度，發展長度僅占流道長度的幾個百分比(2)流道長度大於發展長度，發展長度與流道長度差距不大(3)流道長度比發展長度還短。

類型(1):

$$f_{FD} Re = 24(1 - 1.3553 \alpha^* + 1.9467 \alpha^{*2} - 1.7012 \alpha^{*3} + 0.9564 \alpha^{*4} - 0.2537 \alpha^{*5}) \quad (2-11)$$

類型(2):

$$\Delta P^* = f_{FD} \frac{4x}{D_h} + K(\infty) \quad (2-12)$$

其中矩形流道的 $K(\infty)$:

$$K(\infty) = 1.778 - 1.149e^{(\alpha^*)} \quad (2-13)$$

類型(3):利用 2-7 之方程式和表 2-2 來計算壓降。

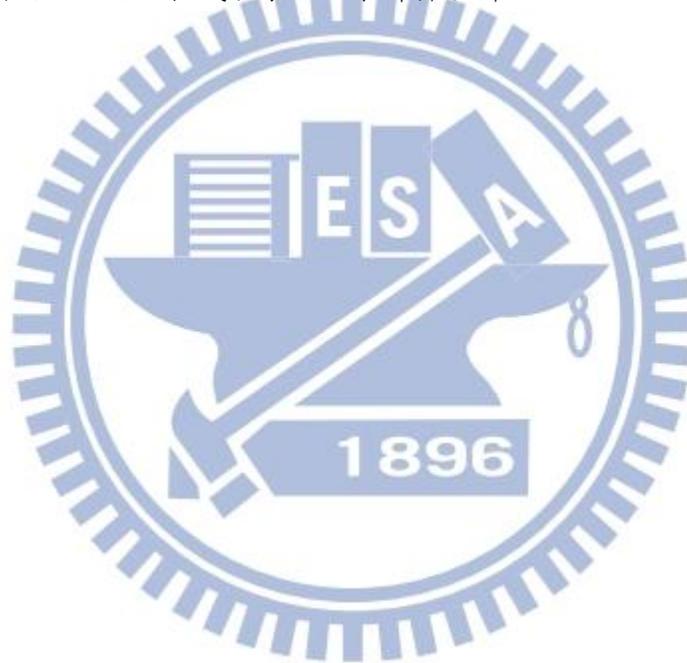


表 2-2 不同長寬比的矩形流道中 $f_{app} \times Re$ 與 x^+ 的關係

x^+	$\alpha^*=1$	$\alpha^*=0.5$	$\alpha^*=0.2$	$\alpha^*=0$
0	142	142	142	287
0.001	111	111	111	112
0.003	66	66	66.1	67.5
0.005	51.8	51.8	52.5	53
0.007	44.6	44.6	45.3	46.2
0.009	39.9	40	40.6	42.1
0.01	38	38.2	38.9	40.4
0.015	32.1	32.5	33.3	35.6
0.02	28.6	29.1	30.2	32.4
0.03	24.6	25.3	26.7	29.7
0.04	22.4	23.2	24.9	28.2
0.05	21	21.8	23.7	27.4
0.06	20	20.8	22.9	26.8
0.07	19.3	20.1	22.4	26.4
0.08	18.7	19.6	22	26.1
0.09	18.2	19.1	21.7	25.8
0.1	17.8	18.8	21.4	25.6
0.2	15.8	17	20.1	24.7
1	14.2	15.5	19.1	24

2-2-2 熱傳特性

相對於無因次的流動發展距離 x^+ ，溫度場的入口效應，也有一相對發展的長度 x^* (dimensionless thermal axial distance)，由於溫度場的變化與流體特性有關，因此 x^* 含有 Pr(Prandtl number):

$$x^* = \frac{x}{D_h Re Pr} = \frac{x}{D_h Pe} \quad (2-14)$$

在層流流動中，熱傳性能紐森數(Nu_x)會隨者入口長度 x 增加而下降，到達完全發展區時，紐森數(Nu_∞)趨於定值，定值與流道幾何形狀有關。而溫度場完全發展長度 L_{th} 的定義，根據 Shah et al.[11]建議以 $Nu_x/Nu_\infty = 1.05$ 時，當作溫度場完全發展長度，而無因次化的溫度發展長度為:

$$L_{th}^+ = \frac{L_{th}}{D_h Re Pr} = \frac{L_{th}}{D_h Pe} \quad (2-15)$$

對於層流流動而言，熱傳性能與邊界條件有關，可分成(1)軸向與周長均為等溫條件(2)軸向為等熱通量而周長為等溫條件(3)軸向與周長均為等熱通量條件，三種情況討論，下列各方程式為在溫度完全發展區的熱傳性能，紐森數(Nu_∞):

類型(1):

$$Nu_{\infty,T} = 7.541(1 - 2.61 \alpha^* + 4.97 \alpha^{*2} - 5.119 \alpha^{*3} + 2.702 \alpha^{*4} - 0.548 \alpha^{*5}) \quad (2-16)$$

類型(2):

$$Nu_{\infty,H1} = 8.235(1 - 2.0421 \alpha^* + 3.0853 \alpha^{*2} - 2.4765 \alpha^{*3} + 1.0578 \alpha^{*4} - 0.1861 \alpha^{*5}) \quad (2-17)$$

類型(3):

$$Nu_{\infty,H2} = 8.235(1 - 10.6044 \alpha^* + 61.1755 \alpha^{*2} - 155.1803 \alpha^{*3} + 176.9203 \alpha^{*4} - 72.9236 \alpha^{*5}) \quad (2-18)$$

其中下標 ∞ 代表溫度完全發展區，T 代表軸向與周長均為等溫條件，H1 代表軸向為等熱通量而周長為等溫條件，H2 代表軸向與周長均為等熱通量條件。

2-3 理論計算

利用方程式 2-14 以及表格 2-2，可計算出微通道的水力發展長度和溫度發展長度，如下列表格所示：

表 2-3 微通道水力發展長度與溫度發展長度計算表

寬度(mm)	深度(mm)	雷諾數	水力發展長度(mm)	溫度發展長度(mm)
0.8	0.8	805.114	57.968	182.6
0.8	2.5	1219.87	116.81	367.957
1	1	1006.393	90.575	285.312
1.2	1.2	1207.671	130.428	410.849

由水力發展長度以及溫度發展長度，可知道本研究的微通道，是處於速度完全發展區和溫度入口區的階段，再利用公式 2-13 算出壓降，使用公式 2-16、公式 2-17 和公式 2-18 求得溫度完全發展區的熱傳性能紐森數(Nu_{∞})，再帶入 $Nu_x/Nu_{\infty} = 1.05$ ，算出溫度入口區粗略的熱傳性能紐森數(Nu_x)，即可利用紐森數的定義， $Nu = h \times D_h/k$ ，其中熱傳導係數 k ，考慮本研究的工作流體，將操作於 $55^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ ，故帶入水溫為 330K 的熱傳導係數 $k_w = 0.65(\text{W}/\text{m} \times \text{K})$ ，得到熱對流係數 h ，如下：

表 2-4 微通道壓降與熱對流細數計算表

寬度(mm)	深度(mm)	壓降(Pa)	$h[\text{T}]$	$h[\text{H1}]$	$h[\text{H2}]$
0.8	0.8	2465.583	2541.199	3079.972	2722.375
0.8	2.5	1414.09	2260.949	2743.978	1838.35
1	1	1518.387	2032.959	2463.978	2177.9
1.2	1.2	1003.862	1694.133	2053.315	1814.917

在表 2-4 中，熱對流係數 h 中括弧內的意思，分別為 T 代表軸向與周長均為等溫條件，H1 代表軸向為等熱通量而周長為等溫條件，H2 代表軸向與周長均為等熱通量條件。

由下式可以計算微通道中工作流體移熱能力：

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) \quad (2-19)$$

Q :熱傳量，W

\dot{m} :工作流體質量流率，kg/s

C_p :工作流體的比熱，J/kg × K

T_{out} :微通道的出口水溫，K

T_{in} :微通道的進口水溫，K

考量微通道的進口水溫為 55°C，可得到微通道的出口水溫，再使用牛頓冷次定律(Newton's law of cooling):

$$Q = h \times A_h \times (T_w - T_m) \quad (2-20)$$

A_h :總微通道流道壁面面積，m²

T_w :微通道流道壁面溫度，K

T_m : $(T_{in} + T_{out})/2$ ，K

可以推算出微通道流道壁面溫度，考量再微通道與發熱源中間，為一維且穩態，可帶入傅立業定律(Fourier's law):

$$Q = -kA_a \frac{dT}{dx} \cong kA_a \frac{T_j - T_w}{\Delta x} \quad (2-21)$$

A_a :加熱源面積，m²

T_j :加熱面溫度，K

Δx :發熱源到微通道流道的距離，m

在方程式 2-21 中， Δx ，考慮微通道整體設計，厚度為 6mm，且為微流道流道設計再微流道整體中間， $\Delta x = (0.006 - \text{微流道深度})/2, [m]$

，用 2-21 之方程式可粗略估算 T_j ，如下列表格所示：

表 2-5 微通道流道壁面溫度計算表

寬度(mm)	深度(mm)	$T_w[T],(K)$	$T_w[H1],(K)$	$T_w[H2],(K)$
0.8	0.8	360.711	357.436	359.465
0.8	2.5	352.191	350.395	354.537
1	1	365.703	361.555	364.125
1.2	1.2	367.397	362.952	365.706

表 2-6 微通道加熱面溫度計算表

寬度(mm)	深度(mm)	$T_j[T],(K)$	$T_j[H1],(K)$	$T_j[H2],(K)$
0.8	0.8	361.958	358.683	360.712
0.8	2.5	353.031	351.235	355.376
1	1	366.902	362.754	365.324
1.2	1.2	368.548	364.104	366.857



2-4 實驗設備

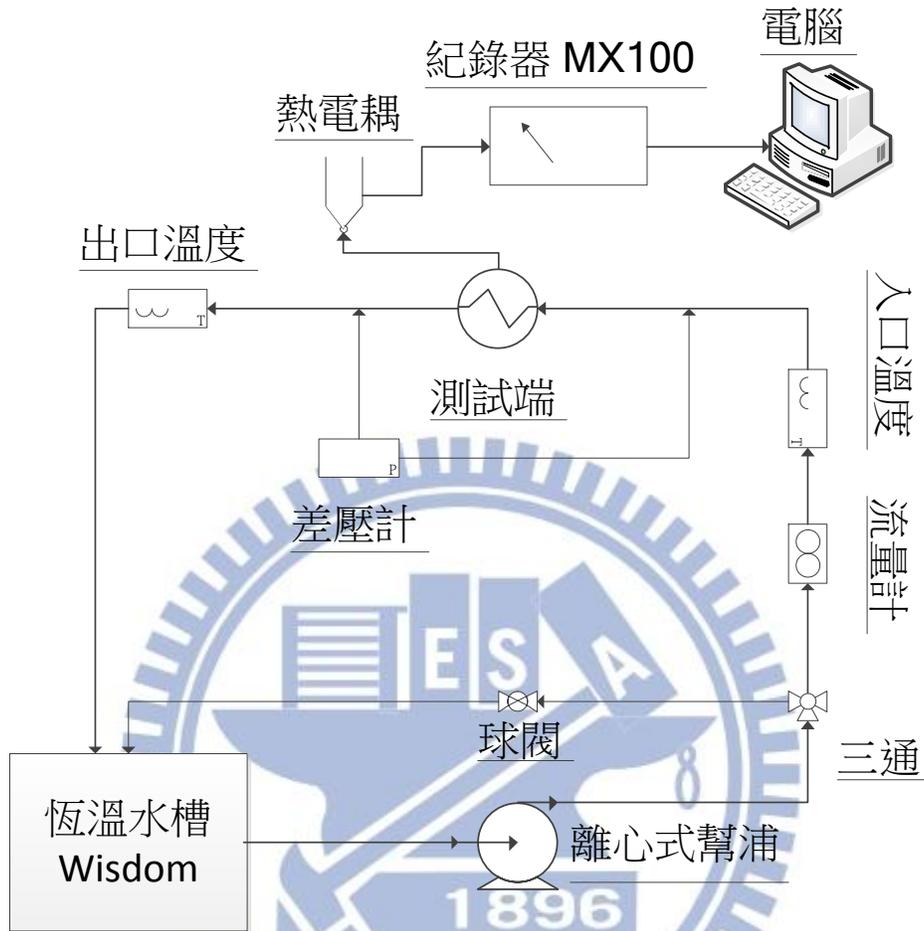


圖 2-2 設備流程圖

圖 2-2 為實驗設備流程圖，是一個封閉系統的水路循環。在測試端的部分，利用電熱片提供熱源，透過設計的微通道將熱量帶出，至恆溫水槽冷卻，恆溫水槽提供穩定温度的工作流體給離心式幫浦，再由離心式幫浦作功，推動工作流體形成一個穩定的封閉循環系統，由於離心式幫浦無法調節工作流體流量，透過三通與球閥，來控制進入測試段所需之流量，藉由量測進出口的工作流體溫度，得到微通道所帶走的熱量。差壓計用來量測進出口的差壓，由於管路經過漸縮漸擴影響，會大幅度的增加差壓，故量測到的差壓須扣除空壓降的部分，才是實際的微通道差壓。熱電耦用來量測微通道與電熱片夾層的表面溫度，熱電耦輸出的電流，透過紀錄器 MX100，轉換成溫度值，用來推估出微通道的熱對流係數，與電熱片的最高溫度。在加熱面與微通道表面接觸，接觸阻抗是影響實驗準確度的重要因素，故在接觸表

面塗覆一層導熱膏，再利用加壓器(Load Cell)，由上往下加壓，降低接觸阻抗。其餘實驗設備如圖 2-3 至圖 2-21:

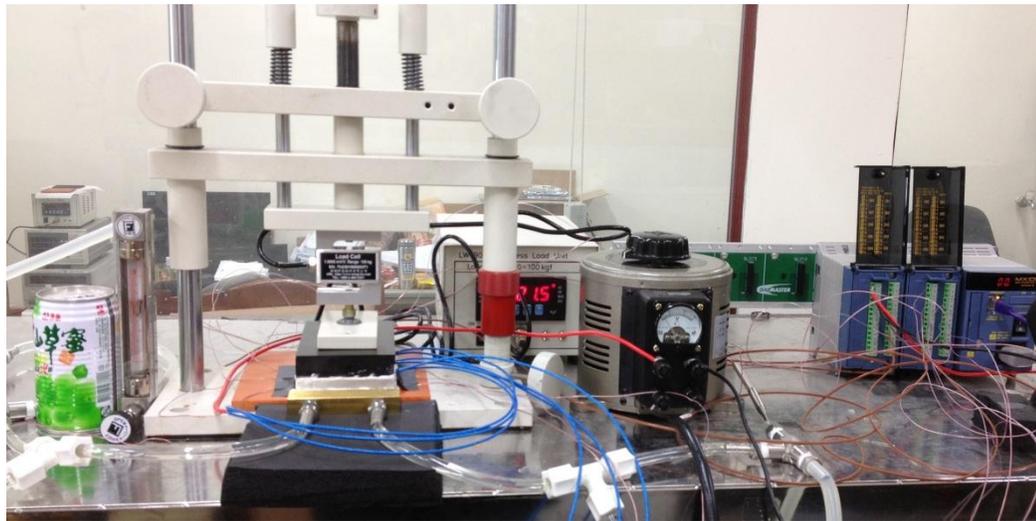


圖 2-3 實驗設備測試端圖



圖 2-4 差壓計[Differential Pressure Transmitter]: YOKOGAWA 公司製造，型號為 EJA110-DM，實驗中量測範圍為 $0\sim 0.5\text{kgf/cm}^2$



圖 2-5 分配器 [Distributor]: YOKOGAWA 公司製造，型號為 SDBS，將差壓計輸出的電流訊號，轉換為電壓訊號輸出。



圖 2-6 BT200 : YOKOGAWA 公司製造，手持式，將差壓計歸零，保持電壓訊號輸出的準確性。



圖 2-7 包覆式熱電耦 [Thermocouple]: 量測進口水溫。



圖 2-8 浮子式流量計 [Rotameter]: 欣川公司製造，流量範圍為 0.1~1 l/min。



圖 2-9 恆溫水槽



圖 2-10 離心式幫浦：Iwaki 公司製造，型號為 MD-20RZ。



圖 2-11 MX100[Hybrid Recorder]: YOKOGAWA 公司製造，可連接電腦進行資料擷取。



圖 2-12 自耦變壓器[variable transformer]: 久鑫公司製造，輸入 110V，輸出 0~130V，15A。

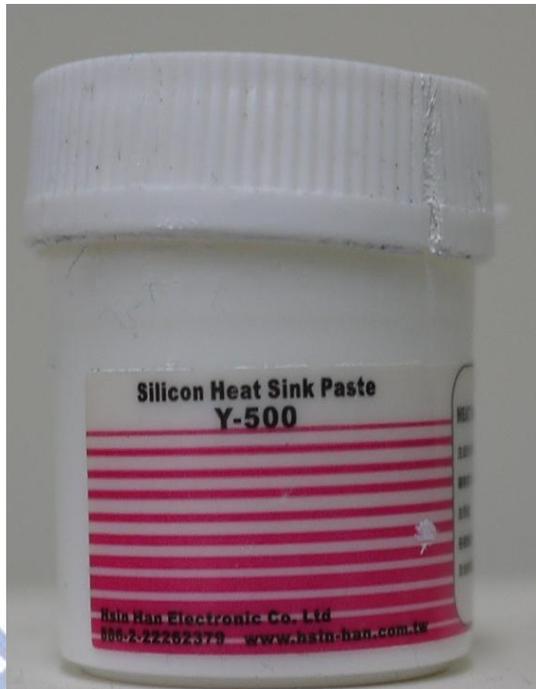


圖 2-13 導熱膏 [Heat Sink Compound]: KYOTOKU 公司製造，型號為 Y-500 傳導係數為 $2.8-3.0 \text{ W/m}\times\text{K}$

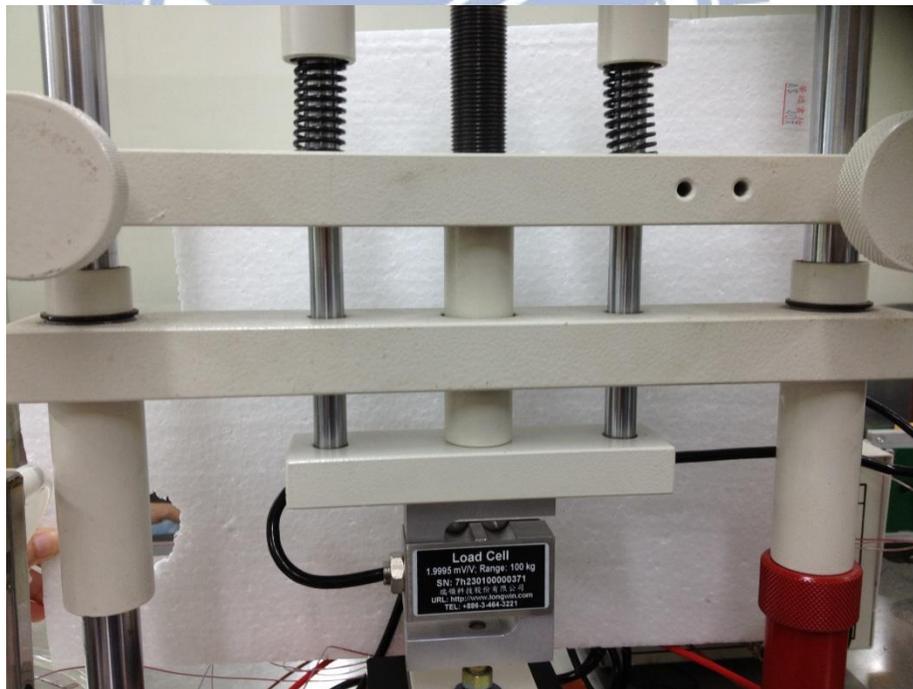


圖 2-14 加壓器 [Load Cell]: 瑞領公司製造，加壓範圍 $0\sim 100 \text{ kgf}$

絕熱層：降低熱損，設計兩層式絕熱層，上層為鐵氟龍，熱傳導係數為 $0.23W/m \times K$ ，下層為電木，熱傳導係數為 $0.233W/m \times K$ ，利用下層絕熱層的空氣層，由於空氣的熱傳導係數為 $0.0026W/m \times K$ ，可有效的降低熱損。



圖 2-15 絕緣層-鐵氟龍



圖 2-16 絕緣層-電木

加熱片：分離式加熱片，整體尺寸為 96mm×38.5mm，分成三個部分，一個部分的尺寸為 32mm×38.5mm，供應電壓 50V，最大發熱量為 250W，利用線路的接通與否，控制加熱源的位置。如圖 2-17 所示，在加熱片中，將內部線路接出電線的區域，發熱量並不穩定，故設計此區域，突出加熱片些許，如紅色區域所示，降低加熱片不穩定所造成的影響。

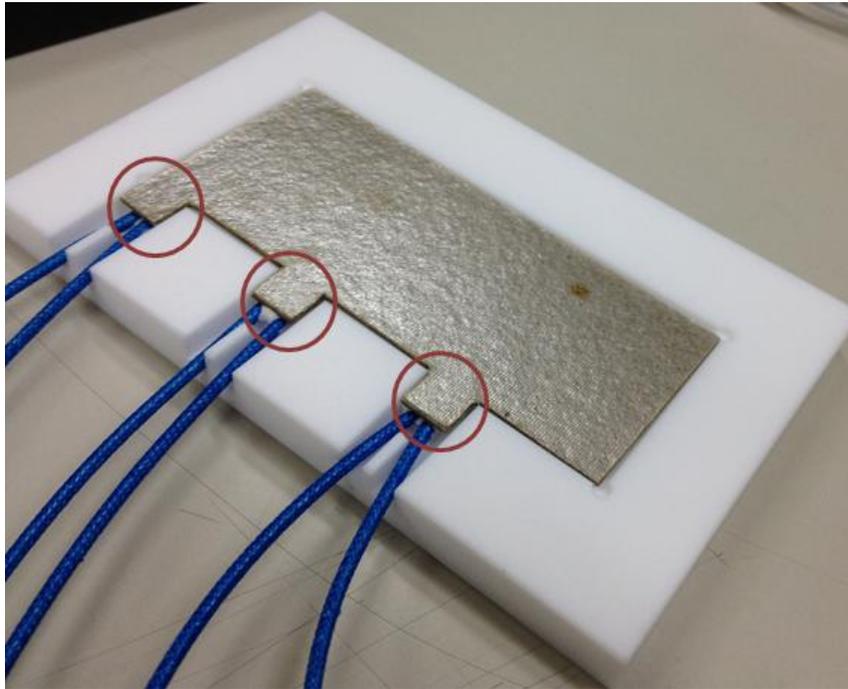


圖 2-17 加熱片 50V-250W

長邊進出歧管：歧管外部尺寸為長度 10mm，寬度 102mm，厚度 21mm，而內部進口歧管與出口歧管的尺寸是相同的，長度 7mm，寬度 40.5mm，厚度 5mm。工作流體進口方向與微通道長邊垂直，故稱為長邊進出歧管。



圖 2-18 長邊進出歧管

漸擴短邊進出歧管：漸擴短邊進出的歧管尺寸為外部尺寸是長度 25mm，寬度 90mm，厚度 14mm，而內部進口歧管與出口歧管的尺寸是相同的，由 6.35mm×4mm 擴大為 29mm×4mm，擴大的長度為 18mm，厚度為 4mm。工作流體進口方向與微通道短邊垂直，故稱為短邊進出歧管。



圖 2-19 漸擴短邊進出歧管

微通道：微通道流道設計為外部尺寸長度 132mm，寬度 82mm，厚度 6mm，內部流道尺寸為寬度 1mm，深度 1mm，共有 15 條流道。



圖 2-20 微通道 流道尺寸 1mm×1mm

分流設計微通道：微通道流道設計為外部尺寸長度 132mm，寬度 82mm，厚度 6mm，內部流道尺寸為寬度 1mm，深度 1mm。在流道的前半段，將前面三條流道合併為，一條分流設計截面積為 5mm×1mm 的流道，並在流道的中間流道，整合流道，形成一個混合區。



圖 2-21 分流設計微通道

2-5 實驗校正與不准度計算

針對量測實驗之溫度熱電耦作校正之動作，是為了確定量測溫度的準確性，故本實驗利用均溫銅塊如圖 2-22，其中均勻銅塊大小為($\phi 80\text{mm} \times 60\text{mm}$)，與經過國家度量中心校正過之 RTD 為本實驗校正用之標準元件如圖 2-22，並搭配恆溫水槽來校正溫度。

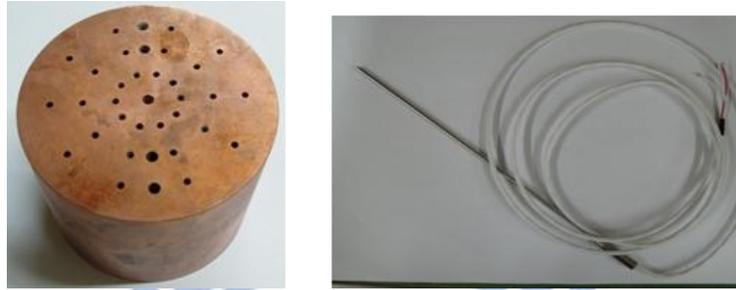


圖 2-22 均溫銅塊與標準件 RTD

將 RTD 與量測熱電耦放置於恆溫銅塊內，量測範圍為 $10^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，每 10°C 記錄熱電耦量測的溫度值，再與標準元件 RTD 進行比較。圖 2-23，以標準元件量測溫度為 y 軸，x 軸為量測溫度，利用線性方法，找出每一條熱電耦的線性方程式，如圖 2-23 所示，採用此方法，可有效的確保量測溫度的準確性。

熱電偶校正

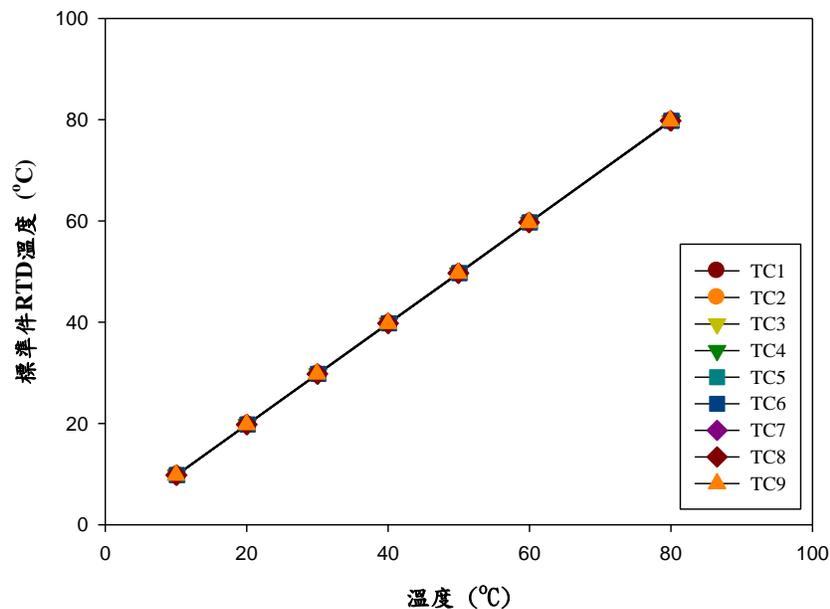


圖 2-23 熱電偶校正圖

物理量可分為基本量和導出量，導出量是由數個基本量運算得出，不準確度分析，是透過計算基本量的誤差，經由誤差傳遞，得到導出量的誤差。若導出量 F 為 X_1 、 $X_2 \cdots X_n$ 所組成， $F=F(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ ，則導出量 F 之不準確度 δF 為

$$\delta F = \left\{ \left[\left(\frac{\partial F}{\partial X_1} \right) \delta X_1 \right]^2 + \left[\left(\frac{\partial F}{\partial X_2} \right) \delta X_2 \right]^2 + \cdots + \left[\left(\frac{\partial F}{\partial X_n} \right) \delta X_n \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (2-22)$$

其中 δX_1 、 δX_2 與 δX_n 為，組成導出量 F 的基本量不準確度，透過量測得到基本量的不準確度，再利用方程式(2-22)誤差傳遞，計算得到導出量 F 之不準確度 δF ，以下為本研究所探討的導出量：

(1) 溫度差的不準確度 $\Delta T = (T_{out} - T_{in})$

$$\delta(T_{out} - T_{in}) = [(\delta T_{out})^2 + (\delta T_{in})^2]^{1/2} \quad (2-23)$$

(2) 質量流率 $\dot{m} = \rho \times A \times V = \rho \times \frac{\pi}{4} D^2 \times V$

$$\frac{\delta \dot{m}}{\dot{m}} = \left[\left(\frac{\delta \rho}{\rho} \right)^2 + \left(2 \frac{\delta D}{D} \right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2-24)$$

(3) 散熱量的不準確度 $Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$

$$\frac{\delta Q}{Q} = \left[\left(\frac{\delta \dot{m}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta T}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2-25)$$

不準確度分析的整理結果，如表 2-7 所示：

表 2-7 不准度分析整理表

不准度分析	
物理量	不准度
L(m)	± 0.00002 m
W(m)	± 0.00002 m
H(m)	± 0.00001 m
D(m)	± 0.00002 m
$T_{in}(^{\circ}\text{C})$	± 0.2 $^{\circ}\text{C}$
$T_{out}(^{\circ}\text{C})$	± 0.2 $^{\circ}\text{C}$
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\pm 0.94\%$
$\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	$\pm 0.05\%$
V(m/s)	± 0.015 m/s
$\dot{m}(\text{kg}/\text{s})$	$\pm 3.06\%$
Q(kW)	$\pm 3.21\%$

第三章 模擬分析

本文模擬分析的軟體，是採用 SolidWorks 內部的 Flow Simulation，此套軟體是利用有限單元法來進行數值分析。圖 3-1 是 Flow Simulation 的網格測試，在 x 軸為網格數，y 軸為入口壓力，理論值是採用微通道矩形通道公式，忽略轉折與歧管部分的影響下，計算得到。由圖 3-1 可知，網格數大約為 5.0×10^5 時，相當接近理論值，與理論值的差距約為 9.39%，故再接下來的模擬分析，網格數皆大於 5.0×10^5 。

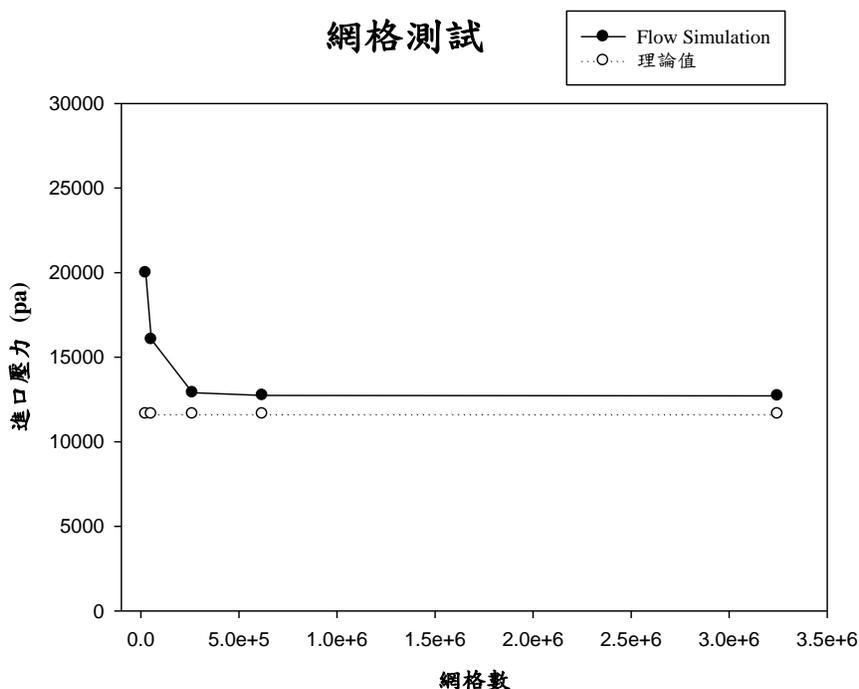


圖 3-1 模擬網格測試圖

根據文獻回顧，歧管的設計是影響微通道性質的重要參數，故模擬分析探討，在均勻加熱的情況下，不同的歧管設計，對於微通道的熱特性影響。分流設計的想法，將不在加熱源正下方通道的工作流體，透過擴大通道寬度，避免工作流體在通道前端，進行熱交換，讓工作流體維持在較低溫的狀態，於通道的中間處，將前半段的高溫工作流體與低溫工作流體，在混合區的混合後，再進入後半段的通道，進行熱交換，且受到流道長度減少與部分流道擴大的影響，可降低微通道壓降。在分離式熱源中，熱量具有集中效應，會對微通道的熱特性，造成影響，藉由改變加熱源的位置與工作流體流向，找出最佳的微通道設計。在分流設計中，混合區的混合情形，是重要的影響參數，故探討在分離式熱源中，混合區加入阻礙物的設計。

3-1 均勻加熱

本研究的微通道流道設計尺寸長度 132mm，寬度 82mm，厚度 6mm，微通道本體與歧管的熱傳導係數， $K_c = 400 W/m \times K$ ，均勻加熱源的加熱片尺寸為，長度 96mm，寬度 38.5mm，厚度 0.3mm，熱傳導係數， $K_h = 148 W/m \times K$ ，發熱量為 700W，微通道中流道尺寸為 1mm×1mm。模擬測試中，均勻加熱的邊件條件和物理參數，採用表 3-1，工作流體為水，入口水溫為 55°C，考慮在微通道流道入口處速度為 0.5m/s，換算出微通道入口歧管流量為 0.00738 kg/s，出口歧管處，設定環境壓力為 1atm。

表 3-1 均勻加熱參數表

加熱面積	96mm×38.5mm
散熱瓦數	700W
工作流體	水
入口水溫	55°C
環境溫度	65°C
環境壓力	1atm
流量	0.00738 kg/s

3-1-1 歧管設計

(A) 長邊進出:長邊進出歧管，外部尺寸設計為長度 84mm，寬度 6mm，厚度 4mm，而內部歧管尺寸，進口與出口的尺寸是相同的，為長度 40.5mm，寬度 5mm，深度 1.8mm。流道中工作流體的走向如圖 3-2 所示，箭頭為工作流體流動方向，中間地方為加熱片，長度 96mm，寬度 38.5mm，厚度 0.3mm。

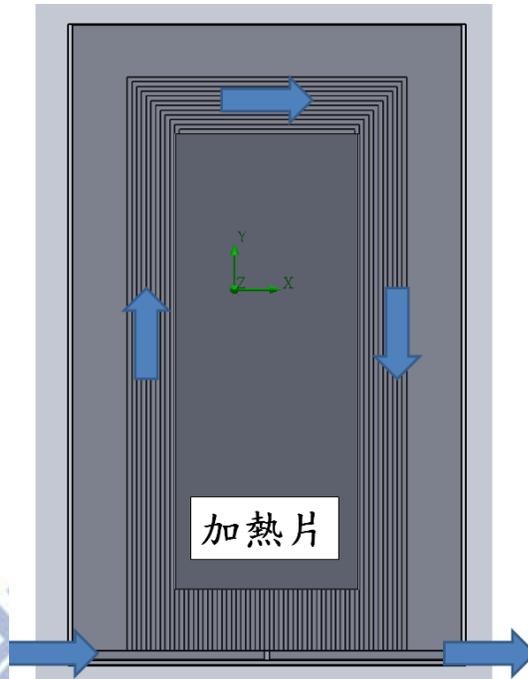


圖 3-2 長邊進出歧管工作流體走向圖

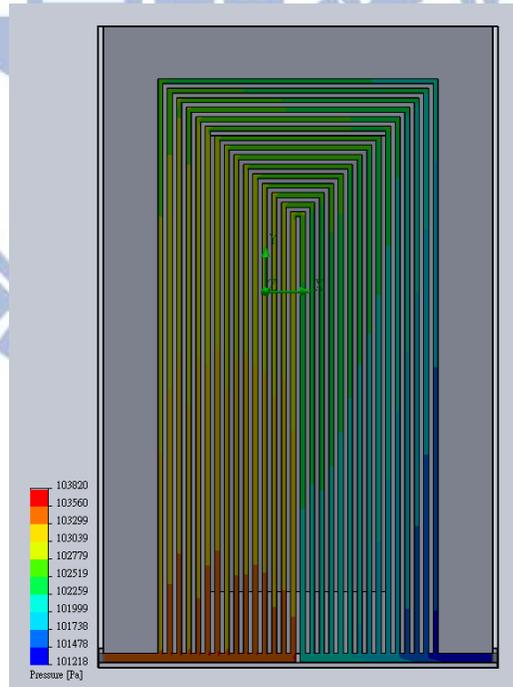


圖 3-3 長邊進出歧管流道壓力分布圖

圖 3-3 是微通道流道位於 0.5mm 深度的流道切面壓力分佈圖，入出口壓降約為 2200pa，此壓降包含歧管的壓降，與理論計算的微通道流道壓降約為 1800pa 比較，此壓降不包含歧管壓降，模擬結果的壓降大約增加 22.22%。

圖 3-4 是流道中間的水流溫度分布情況，中間通道的水流溫度是爬升最快的通道，由於加熱面擺放的位置是在中間的，故內部流道的壁面溫度較高，透過熱對流效應，與工作流體進行熱交換，升高內部流道的水流溫度。

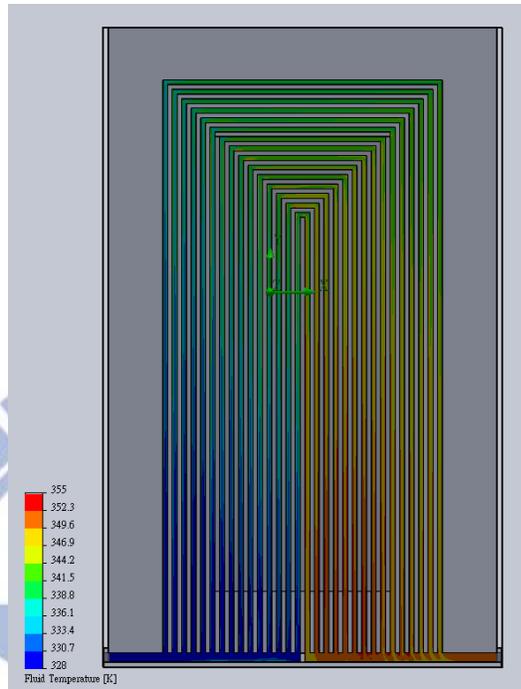


圖 3-4 長邊進出歧管水流溫度分布圖

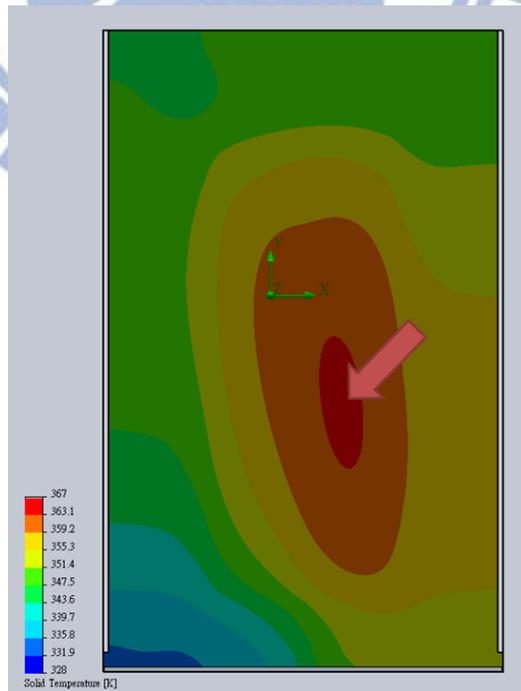


圖 3-5 長邊進出歧管加熱面溫度分布圖

圖 3-5 是加熱面的溫度分布，整體的溫度分布，隨者微通道內的水流溫度越高，加熱面的溫度會越高，在微通道內部，主要熱傳機制是熱對流效應，而在水流溫度高的地方，壁面溫度高，造成加熱面的溫度升高。箭頭所指得是加熱面最高溫度的 T_j ，不位於微通道的通道出口處，微通道的通道出口處，水溫是最高的，造成流道壁面溫度最高，由於在微通道中，除了主要的熱對流效應，還有側向的熱傳導效應，所以高水溫處的發熱量，透過側向傳導到微通道進口處的流道，進口處的水流溫度是比較低，再由熱對流效應帶走熱量，故中間的流道，是水流溫度最快升高的流道，而加熱面最高溫度，不位於微通道的通道出口處。微通道內部的熱傳機制，可分為主要的熱傳導效應與次要的熱對流效應，彼此交互影響微通道。

(B) 漸擴短邊進出：漸擴短邊進出歧管，外部尺寸為長度 82mm，寬度 18mm，厚度 6mm，而歧管內部，進口與出口的尺寸是相同的，由 6.35mm×4mm 擴大為 29mm×4mm，出口歧管則是由 29mm×4mm 縮小為 6.35mm×4mm。流道中工作流體的走向如圖 3-6 所示，箭頭為工作流體流動方向，在中間地方為加熱片，長 96mm，寬 38.5mm，厚 3mm。

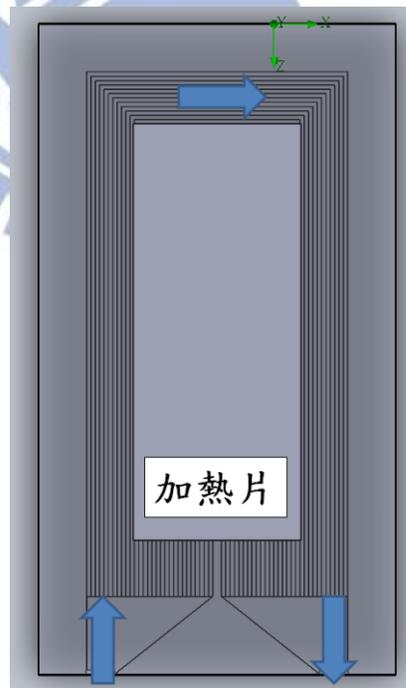


圖 3-6 漸擴短邊進出歧管工作流體走向圖

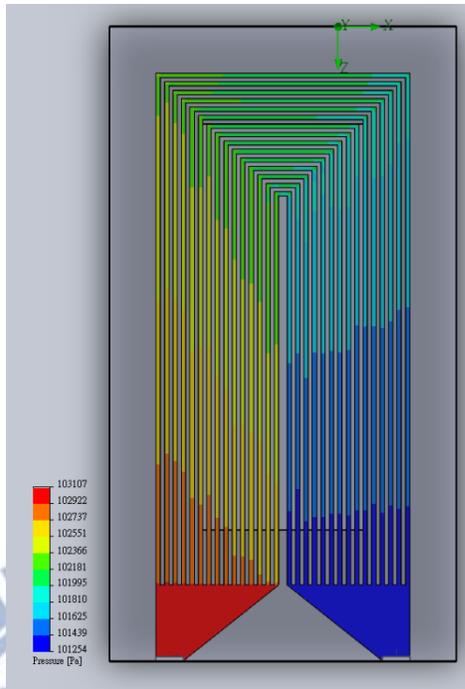


圖 3-7 漸擴短邊進出歧管流道壓力分布圖

圖 3-7 為歧管漸擴短邊進出的流道切面壓力分佈圖，入出口壓降約為 1900pa，圖 3-8 為流道中間的水流溫度圖，在中間流道區域，水流溫度比較高，進口處的歧管，有渦流的產生。

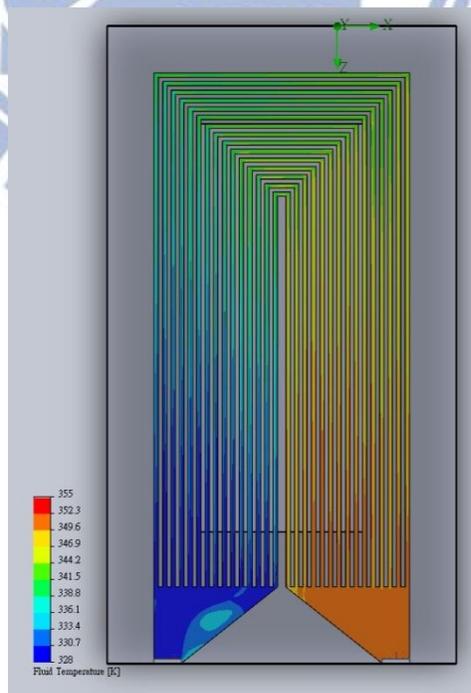


圖 3-8 漸擴短邊進出歧管水流溫度分布圖

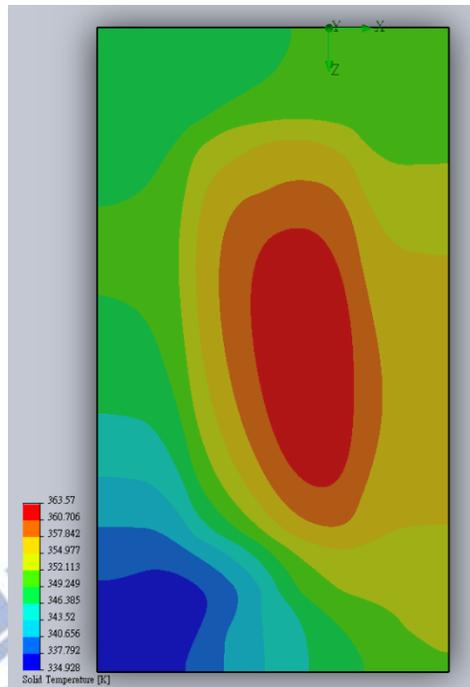


圖 3-9 漸擴短邊進出歧管加熱面溫度分布圖

圖 3-9 是歧管漸擴短邊進出的加熱面溫度分布，與長邊進出歧管具有同樣的效應存在，溫度分布趨勢相同，歧管漸擴短邊進出的加熱面最高溫度為 363.32K，平均溫度為 358.15K，最高溫度和平均溫度比歧管長邊進出的溫度分布，約高 0.2~0.3K。

- (C) **中央短邊進出:** 考量加熱片的位置，位於微通道的中央，將較低溫度的工作流體，由中間流道進入，來提高中央區域的熱對流效應。中央短邊進出歧管，外部尺寸為長度 82mm，寬度 18mm，厚度 6mm，而內部進口歧管尺寸，由 6.35mm×4mm 擴大為 32mm×4mm，出口歧管則是由 13mm×4mm 縮小為 3.175mm×4mm。流道中工作流體走向如圖 3-10 所示，箭頭為工作流體流動方向，在中間地方為加熱片。

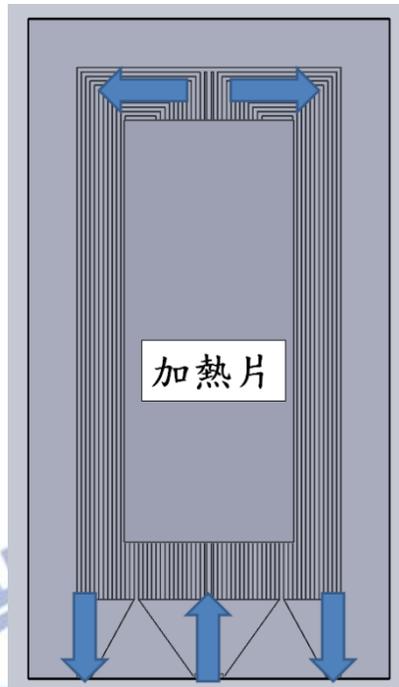


圖 3-10 中央短邊進出歧管工作流體走向圖

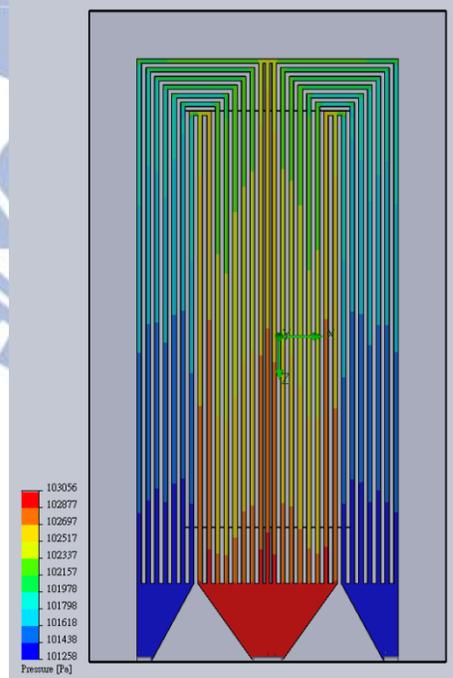


圖 3-11 中央短邊進出歧管流道壓力分布圖

圖 3-11 為中央短邊進出歧管的流道切面壓力分佈圖，由於流道的設計，減少部分流道的長度，故壓降大約為 1800pa，而圖 3-12 流道中間的工作流體溫度圖，不同於歧管長邊進出和漸擴短邊進出的工作流體溫度分布，受到

側向熱傳導效應的減少，使水流的溫度上升較為均勻。圖 3-13 中，加熱面最高溫度為 363.54K，平均溫度為 359.52K，跟漸擴短邊進出歧管比，溫度高出約 0.2K，是由於通道長度減少與側向熱傳導效應降低的影響。

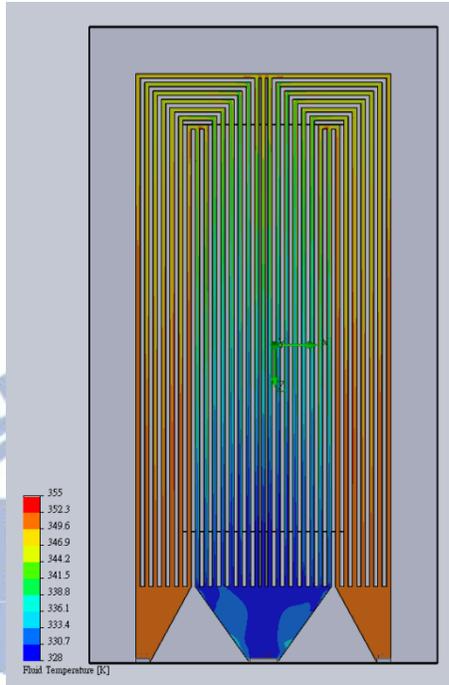


圖 3-12 中央短邊進出歧管水流溫度分布圖

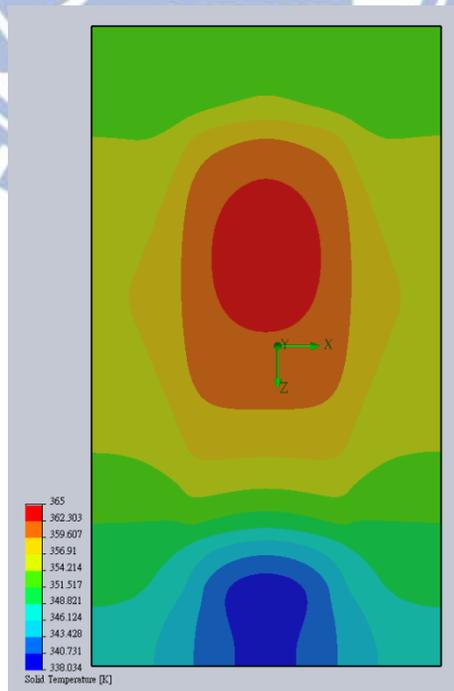


圖 3-13 中央短邊進出歧管加熱面溫度分布圖

3-1-2 分流設計 Partial Bypass

分流設計的想法，將微通道流道分為兩個部分，熱源正下方稱之為內部流道，反之，則稱為外部流道。由於本研究的微通道，流道設計經過兩個轉折，根據先前歧管設計中的長邊進出歧管與漸擴短邊進出歧管可知，加熱面局部溫度較高發生於工作流體流經兩個轉折後的後半段內部流道。分流設計中，將前半段的外部流道，經由擴大流道，降低流道的熱對流效應，使得外部流道的工作流體保持在較低溫的狀態，經過一個轉折後，合併部分流道產生，混合區，將前半段內部流道的高溫工作流體與前半段外部流道的低溫工作流體混合，工作流體混合後，再進入後半段的內部流道與外部流道，此時的工作流體溫度會比沒有分流設計的工作流體溫度來的低，預期可增加後半段的熱對流效應，且分流設計中，部分流道比原先設計的流道大並減少部分流道成混合區，故微通道的入出口壓降，會有大幅度的降低，這是分流設計的起初想法。

在分流設計中，考量加熱面與微通道的尺寸，將分流設計擴大外部流道的設計為，分流流道截面積為 $3\text{mm}\times 1\text{mm}$ 、 $5\text{mm}\times 1\text{mm}$ 、 $7\text{mm}\times 1\text{mm}$ 、 $9\text{mm}\times 1\text{mm}$ ，四種不同尺寸的擴大流道截面積設計，如圖 3-14 所示：

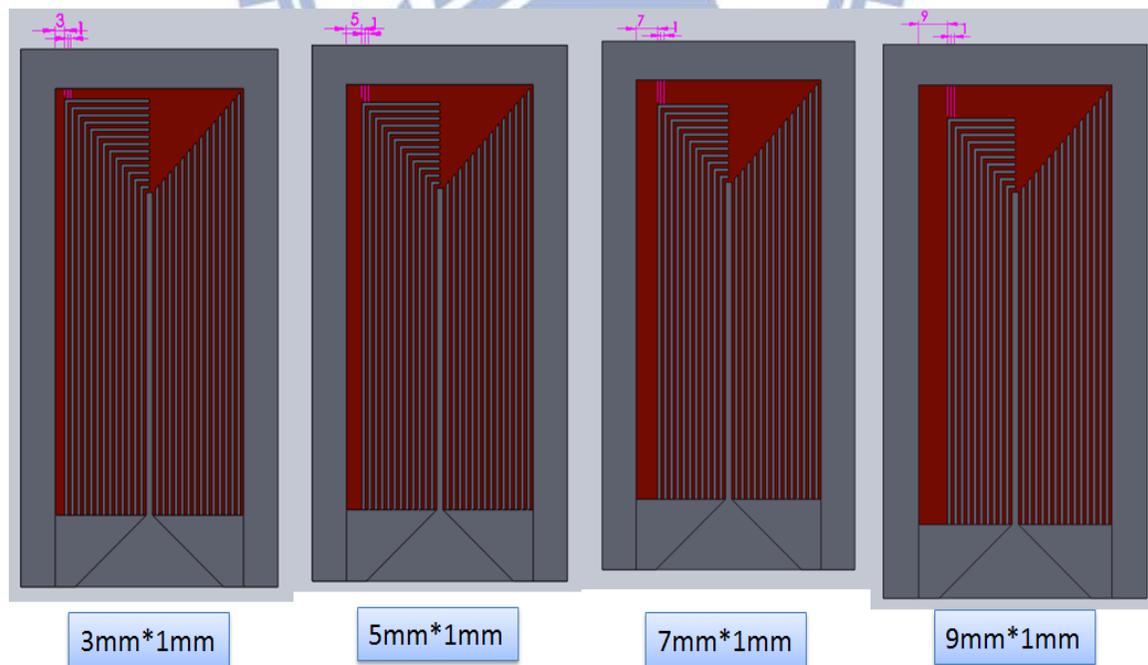


圖 3-14 微通道四種不同尺寸分流設計示意圖

在圖 3-14 中，紅色區域為微通道的流道，深度皆為 1mm，除了分流設計的通道寬度不同外，其餘的微通道寬度皆為 1mm。在分流設計中，歧管進口流量，會對流道的流量分布產生影響，而流道的流量分布是流道內部的熱對流效應的重要影響參數，在模擬分析中，將歧管進口流量分成 0.003kg/s、0.005kg/s、0.007kg/s、0.009kg/s、0.013kg/s、0.020kg/s，共六種不同的歧管進口流量模擬分析。

表 3-2 是不同的歧管進口流量，無分流設計與四種分流設計微通道的進出口壓降比較表，從此表可知，有分流設計微通道的進出口壓降，不論在何種進口流量下，進出口壓降都有降低的情況，呈現分流設計的流道截面積越大，進出口壓降減少的幅度就會大，最大的減少幅度，發生於流道截面積為 9mm×1mm，進口流量為 0.003kg/s，降低的幅度與無分流設計微通道相比，降低大約 25%。而在進口流量改變的情況，不論在何種分流流道截面積設計下，呈現進口流量越大則壓降降低的效果越不明顯，在流道截面積為 3mm×1mm，進口流量為 0.02kg/s，進出口壓降降低的幅度是沒有分流設計微通道的 1%，是模擬分析中，降低幅度最小的情況。

表 3-2 分流設計進出口壓降表

流量 kg/s	無分流設計	3mm×1mm	5mm×1mm	7mm×1mm	9mm×1mm
0.003	461	422	391	366	345
0.005	1018	942	872	816	766
0.007	1677	1578	1466	1372	1291
0.009	2414	2299	2168	2022	1904
0.013	4131	3982	3762	3487	3328
0.02	7760	7685	7048	6710	6301

表 3-3 是微通道加熱面的平均溫度，從此表可知，具有分流設計微通道的加熱面平均溫度，呈現上升的情況，會有平均溫度上升的情況，是受到分流設計微通道經過分流設計後，整體微通道的流道有效面積減少，會造成流道內熱對流效應降低，故微通道再分流設計下，加熱面的平均溫度是增加的。

在加熱面的平均溫度，呈現進口流量越大，平均溫度增加的幅度降低，與分流設計的截面積增加，平均溫度增加的幅度增加，這兩種趨勢。造成進口流量越大，

平均溫度增加的幅度降低，再進口流量的增加時，加強在混合區的混合效應，經由分流設計所保留外側流道的低溫工作流體，與內部流道的高溫工作流體，因為流速變快，所以混合比較強烈，造成後半段的流道，內部流道的工作流體溫度呈現，進口流量高的比進口流量低的，工作流體溫度較低，所以在進口流量高的條件下，後半段的內部流道，流道內熱對流效應會增加，故進口流量越大，加熱面平均溫度增加的幅度降低。而隨者分流設計的分流流道截面積增加，造成整體微通道的流道有效面積減少更多，所以分流流道的截面積增加，造成加熱面平均溫度增加的幅度增加的趨勢。

在進口流量為 0.003kg/s 時，並沒有上述兩種趨勢，因為當進口流量較低的時候，再加熱 700W 的條件下，加熱面的平均溫度比較高很多，在幅度的變化，會變得比較不明顯，但仍然符合，進口流量越大，平均溫度增加值減少，與分流設計的截面積增加，平均溫度增加值增加的趨勢。

表 3-3 分流設計加熱面平均溫度

流量 kg/s	無分流設計	3mm×1mm	5mm×1mm	7mm×1mm	9mm×1mm
0.003	112.97	113.52	114.11	114.36	114.62
0.005	93.75	94.25	95	95	95.28
0.007	86.11	86.5	87.31	87.15	87.42
0.009	82.02	82.34	83.11	82.88	83.14
0.013	77.75	77.89	78.12	78.38	83.19
0.02	74.24	74.37	74.51	74.54	74.77

表 3-4 分流設計加熱面最高溫度

流量 kg/s	無分流設計	3mm×1mm	5mm×1mm	7mm×1mm	9mm×1mm
0.003	121.89	122.06	122.53	122.63	122.82
0.005	100.22	100.56	101.30	101.24	101.52
0.007	91.65	91.96	92.79	92.64	92.93
0.009	87.12	87.44	88.20	88.02	88.30
0.013	82.58	82.79	82.98	83.26	83.44
0.02	79.23	79.37	79.48	79.52	79.68

表 3-4 是微通道加熱面的最高溫度，趨勢跟平均溫度相同，而最高溫度的增加值，會比平均溫度的增加值來的大，最高溫度受到流道設計的影響，會比平均溫度受到流道設計的影響大，造成的結果，但最高溫度和平均溫度，受到分流設計影響，造成變化的幅度卻是相差不多。

分流設計中，影響微通道與加熱面間的平均溫度和最高溫度變化，主要的因素為：流道進口溫度、流道出口溫度、流量進口流速、流量進口流量。

圖 3-15，是分流設計流道截面積為 $5\text{mm}\times 1\text{mm}$ 的通道示意圖，箭頭代表工作流體的進口和出口，流道 0 代表分流流道，在進口處的流道，由左至右分別為流道 1 至流道 15，如紅色框框所示，而此分流設計將流道 1 至流道 3 合併為分流流道，流道 0，故此通道的進口處流道，由流道 4 至流道 15；而在出口處的流道，由右至左分別為流道 1 至流道 15，如綠色框框所示。

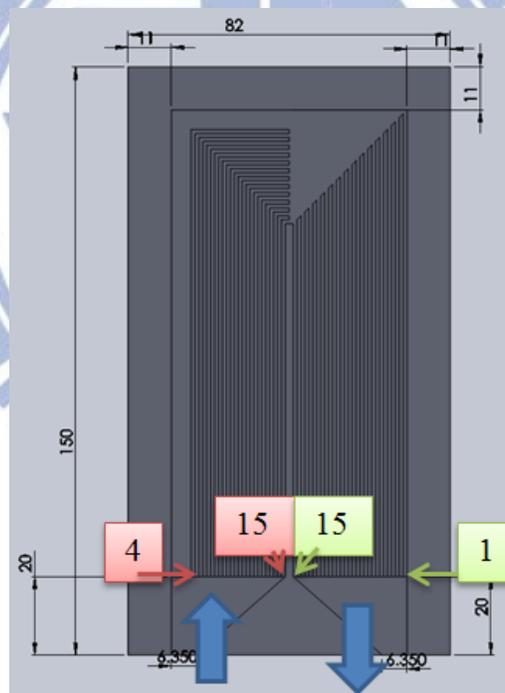


圖 3-15 分流設計流道截面積 $5\text{mm}\times 1\text{mm}$ 流道位置示意圖

圖 3-16 至 3-19 是以歧管進口流量為 0.007kg/s ，歧管進口水溫 55°C ，環境溫度 65°C ，環境壓力 1atm ，為邊界條件，工作流體為水，探討在不同的分流設計下，對微通道的四種主要因素：流道進口溫度、流道出口溫度、流量進口流速、流量進口流量，所造成的變化。

進口水溫

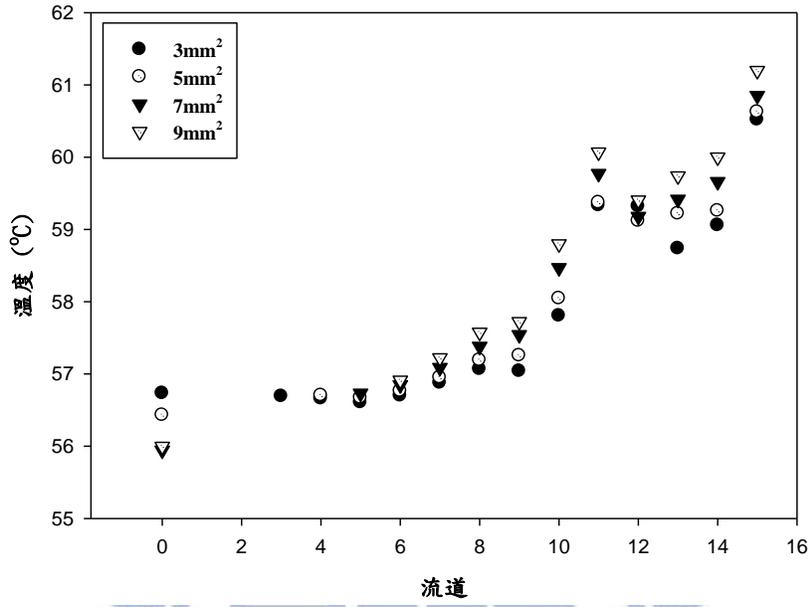


圖 3-16 分流設計進口水溫分布圖

出口水溫

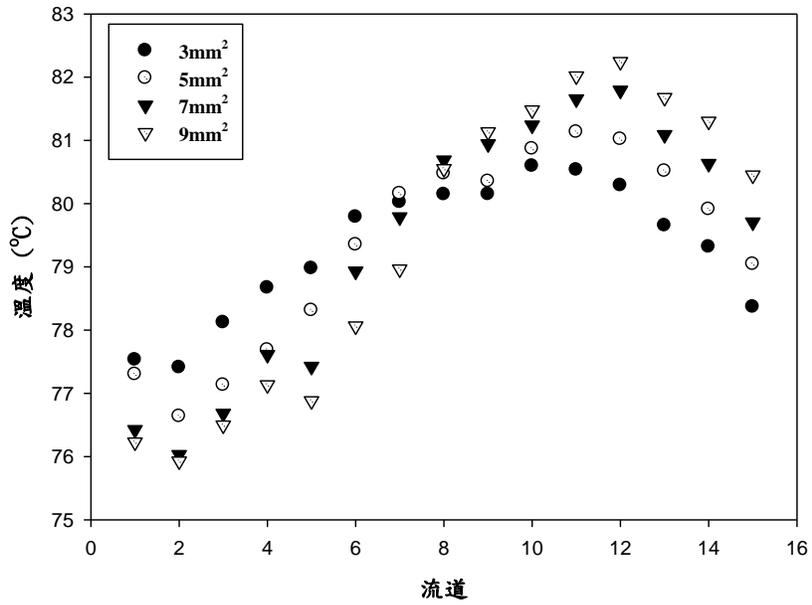


圖 3-17 分流設計出口水溫分布圖

進口流速

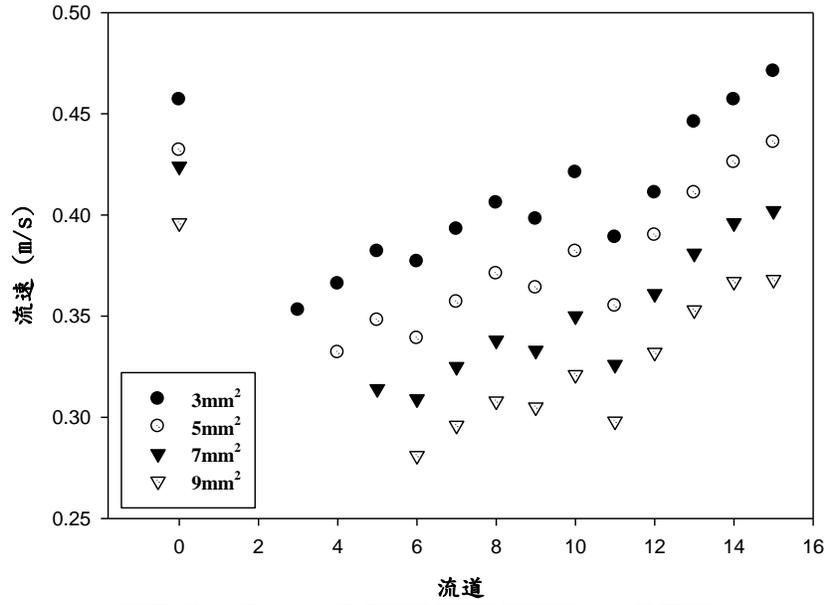


圖 3-18 分流設計進口流速分布圖

進口流量比例

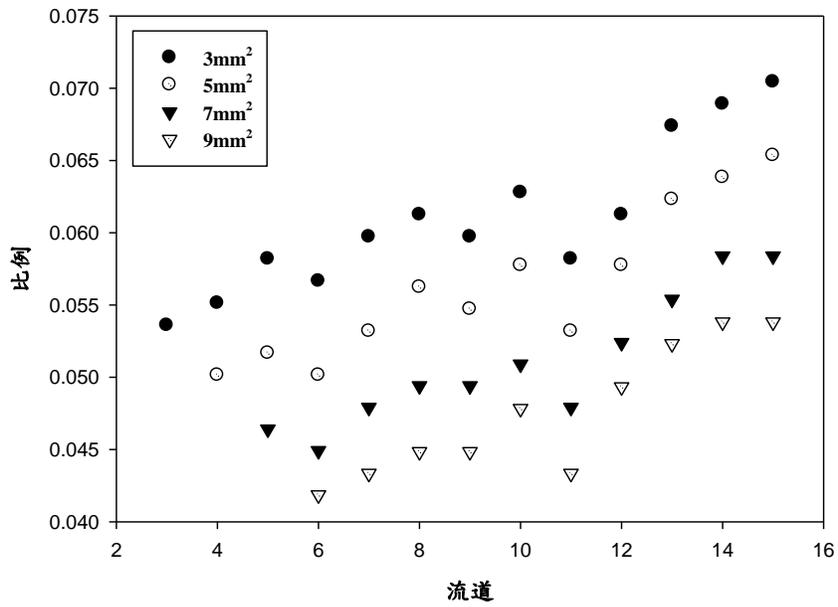


圖 3-19 分流設計進口流量比例圖

圖 3-16，進口水溫會隨者流道越靠近中心，溫度越來越高，而在流道 11 有一個高峰，這是受到流量不均勻的影響，如圖 3-18 所示，在流道 11 有個流量低谷。在進口水溫中，分流流道呈現，流道截面積越大，水流溫度越低，而在流道截面積為 $9\text{mm}\times 1\text{mm}$ 時，會比流道截面積 $7\text{mm}\times 1\text{mm}$ 高，是受到微通道側向熱傳導效應的影響，流道截面積 $9\text{mm}\times 1\text{mm}$ 相當接近加熱源，故水流溫度會比較高。圖 3-17 出口水溫中，分流流道截面積越小，出口水溫會越均勻，當分流設計流道截面積越大，流速低，造成工作流體再混合區的混合變差的，造成出口水溫不均勻的現象。在圖 3-17，出口水溫圖中，出口水溫的最大值，不是出現於最靠近中間區域的內部流道，反而越靠近中間區域的內部流道，出口水溫會有小幅度的下降，這是由於微通道側向熱傳導效應的影響，將部分的熱量，經由側向熱傳導，傳導到水溫較低的進口流道，進行熱交換，故出口水溫的極大值，不是出現於最靠近中間的內部流道。進口流速與進口流量比例呈現相同的趨勢，受到進口歧管設計形狀的影響，在圖 3-19 中，由於大部分的工作流體，是流入分流設計流道中，故未將分流設計流道的進口流量比例放入此圖，而分流流道的進口流量比例呈現流道截面積越大，所佔的比例越大，最大的比例是分流流道截面積為 $9\text{mm}\times 1\text{mm}$ 時，佔進口流量的 52.46%，而最小的比例，是流道截面積為 $3\text{mm}\times 1\text{mm}$ 時，佔進口流量的 20.67%，差距相當的大。

圖 3-20，整理進口總流量為 0.007kg/s 時，不同分流流道的流量比例下，微通道的熱特性圖，呈現流量比例越大，平均溫度與最高溫度增加，進出口壓降降低的趨勢。表 3-5，將熱特性與分流流道截面積的整理表格，不同的分流流道截面積，平均溫度與最高溫度的增加幅度與進出口壓降的降低幅度表。

分流設計 進口流量 0.007 kg/s

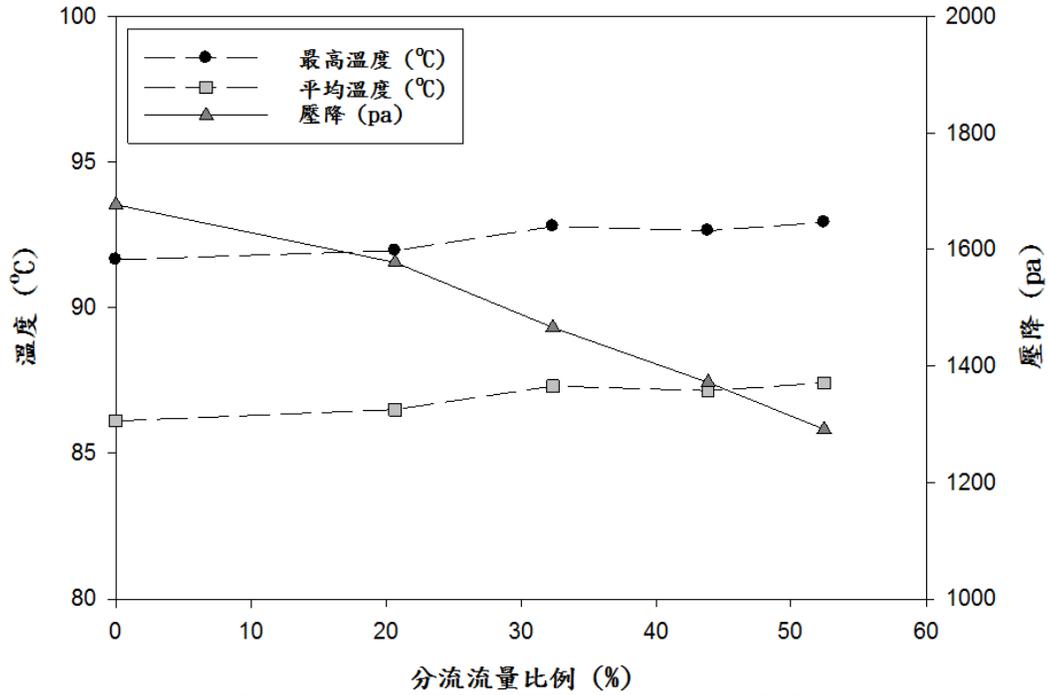


圖 3-20 分流設計，進口流量 0.007kg/s，不同分流流道的流量比例整理圖

表 3-5 分流設計，進口流量 0.007kg/s，不同分流流道的流量比例整理表

	最高溫度	平均溫度	壓降
no P.B.	91.65 °C	86.11 °C	1677 pa
3mm ²	91.96 °C	86.5 °C	1578 pa
變化幅度	0.33%	0.45%	-5.90%
5mm ²	92.79 °C	87.31 °C	1466 pa
變化幅度	1.24%	1.39%	-12.58%
7mm ²	92.64 °C	87.15 °C	1372 pa
變化幅度	1.07%	1.21%	-18.19%
9mm ²	92.93 °C	87.42 °C	1291 pa
變化幅度	1.39%	1.52%	-23.02%

3-2 分離式加熱

在分離式加熱源中，加熱源的設計採用兩種加熱源，分別為加熱源 a 與加熱源 b，其中加熱源 a 的尺寸為長度 13.5mm，寬度 13.5mm，厚度 0.14mm，單片的發熱量為 105W，加熱源 b 的尺寸為長度 10mm，寬度 10mm，厚度 0.35mm，單片的發熱量為 11.5W，兩個加熱源的熱傳導係數皆為 $K_I = K_D = 117.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，再加熱源的下方為軟焊層，長寬尺寸與加熱源 a 和加熱源 b 相同，厚度為 0.1mm，熱傳導係數為 $K_S = 65 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，再軟焊層下方為銅層，長度 96mm，寬度 38.5mm，厚度 0.3mm，銅層下方為 DBC 層，長寬尺寸與銅層一樣，厚度為 0.635mm，熱傳導係數 $K_A = 170 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，再 DBC 層下方，再一層相同尺寸的銅層，然後再一層硬焊層，長寬尺寸與銅層相同，厚度為 0.35mm，軟焊層下即為微通道本體，如圖 3-21 與圖 3-22 所示：

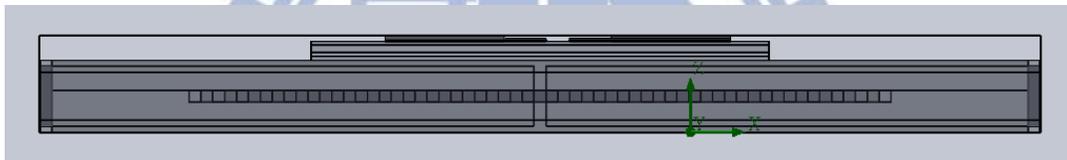


圖 3-21 分離式加熱源微通道前視圖



圖 3-22 分離式加熱源微通道側視圖

3-2-1 歧管長邊進出

在分離式加熱源中，由於加熱源發熱量不同和加熱片排列距離有所不同，所以工作流體的流動方向，會對微通道的熱傳特性產生影響。將分成兩個流動方向與兩種排列方式，共 4 種情形討論。邊界條件如表 3-6 所示：

表 3-6 分離式熱源-歧管長邊進出邊界條件

工作流體	水
入口水溫	55°C
環境溫度	65°C
環境壓力	1atm
流量	0.00738 kg/s
加熱源 a	105W
加熱源 b	11.5W

類型一：

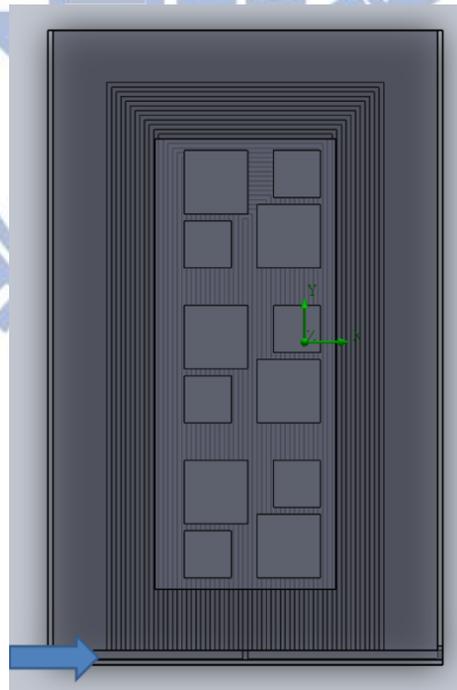


圖 3-23 分離式熱源類型一水流左進右出流向示意圖，箭頭為水流進口

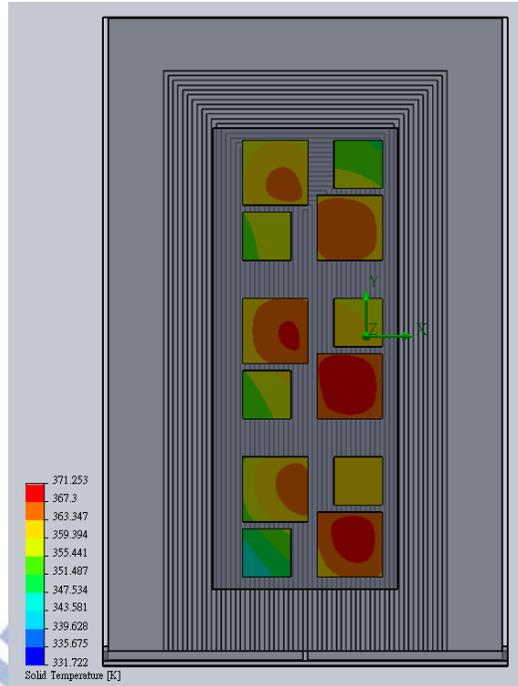


圖 3-24 分離式熱源類型一加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.62°C

類型二：

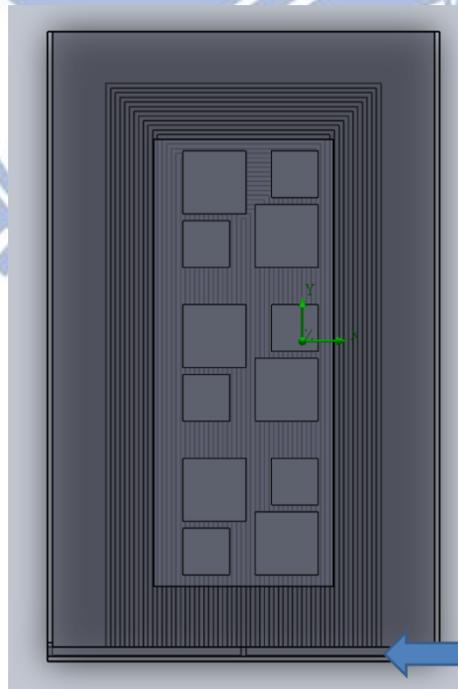


圖 3-25 分離式熱源類型二水流右進左出流向示意圖，箭頭為水流進口

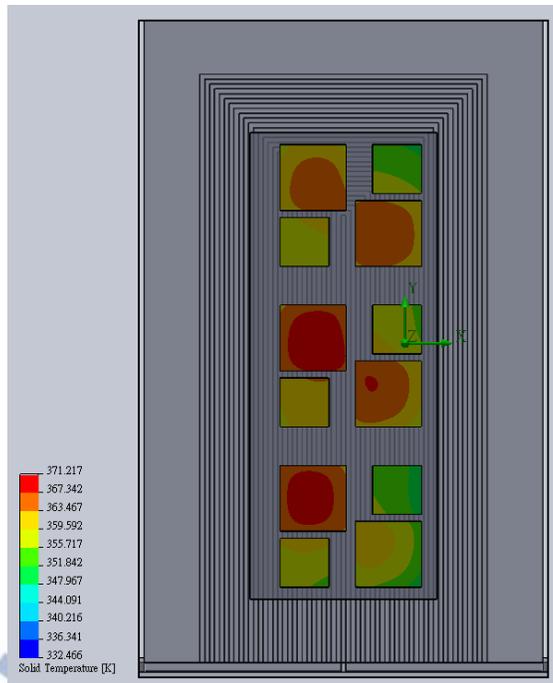


圖 3-26 分離式熱源類型二加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.58°C

類型三：

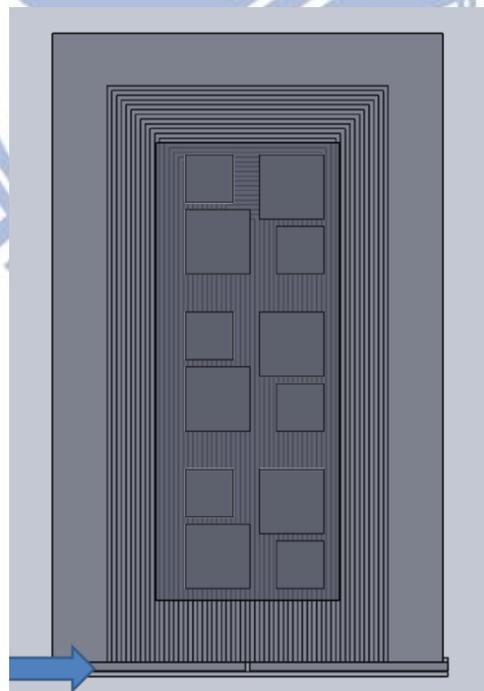


圖 3-27 分離式熱源類型三水流左進右出流向示意圖，箭頭為水流進口

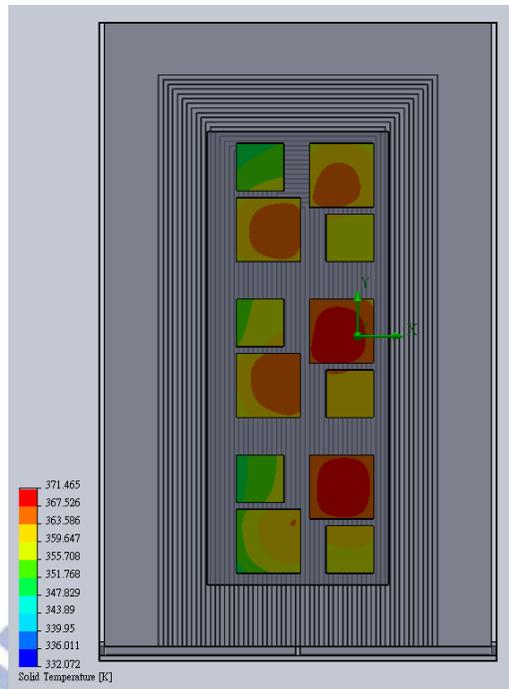


圖 3-28 分離式熱源類型三加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.83°C

類型四：

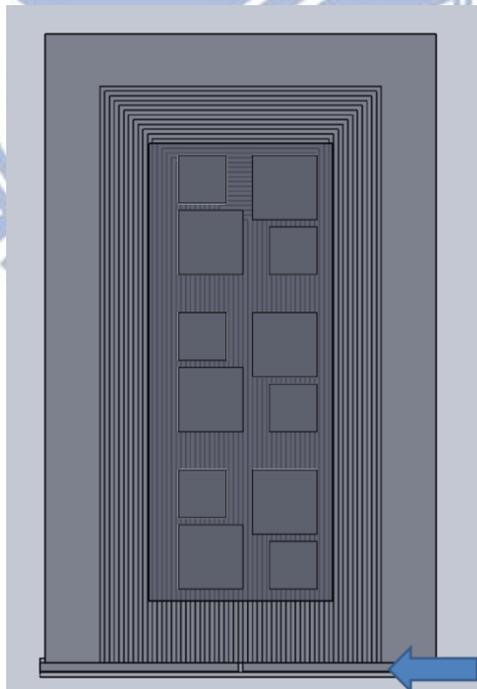


圖 3-29 分離式熱源類型四水流右進左出流向示意圖，箭頭為水流進口

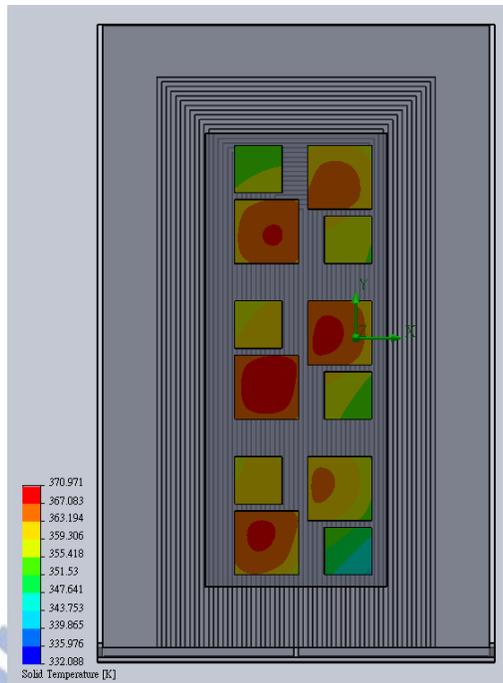


圖 3-30 分離式熱源類型四加熱面溫度分布圖，最高溫度 97.34°C

表 3-7 分離式熱源，歧管長邊進出，四種類型最高溫度和壓降整理表

	類型一	類型二	類型三	類型四
最高溫度 (°C)	97.62	97.58	97.83	97.34
進出口壓降 (pa)	2608	2598	2613	2600

綜合比較四種類型，可以發現類型三，熱特性是最不好的，在微通道中，影響熱特性的原因，可分為熱對流效應與熱傳導效應，在歧管長邊進出中，分離式熱源的位置是往右邊，在類型三中，前半段不在加熱源下方的流道，經由側向熱傳導效應，傳遞的距離比較遠，而降低了流道的熱對流效應；而前半段在加熱源下方的流道，先經過發熱量比較大的加熱源 a，所以工作流體的溫度，會比較高，故在後半段的熱對流效應會降低。綜合兩個原因，導致在分離式熱源中，相同的流道設計，改變不同的排列位置，與不同的工作流體流向，可以找到最佳解的存在。

3-2-2 阻礙物設計

在分流設計中，影響微通道熱特性的因素為，混合區的混合作用。故探討在混合區，加入阻礙物，調整阻礙物的高度，在不同阻礙物高度，會有不同的微通道熱特性。阻礙物相對位置如圖 3-31 所示。阻礙物的長寬為 25mm×1mm，距離微通道後半段流道 3mm。

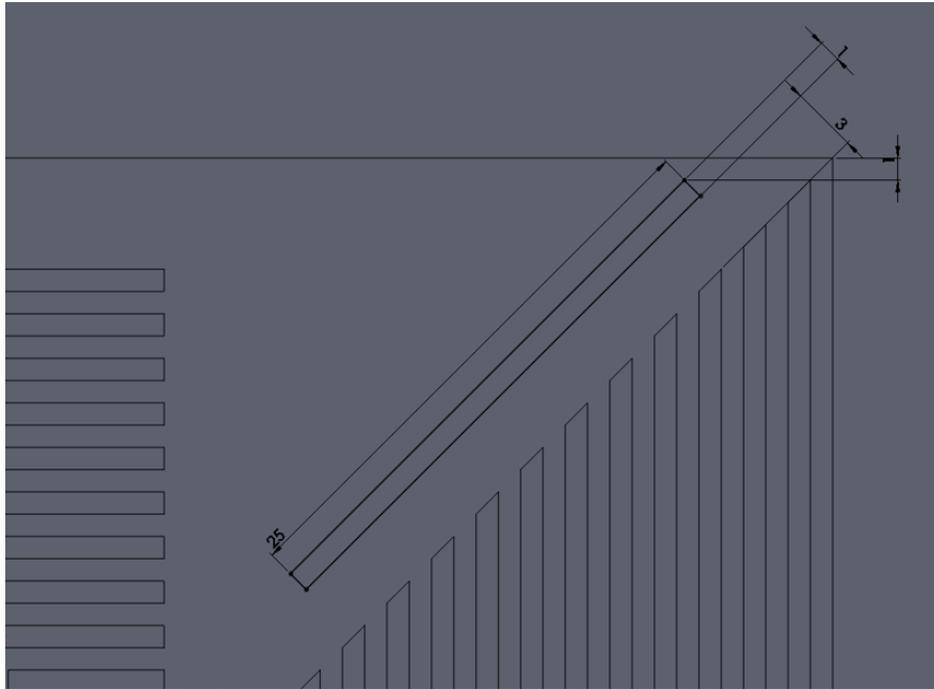


圖 3-31 分離式加熱微通道，分流設計截面積 5mm×1mm，阻礙物設計示意圖

模擬的邊界條件如表 3-6 所示，熱源採用分離式熱源，微通道流道尺寸，參照分流設計的尺寸，採用分流設計截面積為 5mm×1mm，阻礙物高度分為 0mm、0.25mm、0.4mm、0.5mm、0.6mm、0.75mm、1mm，七種不同阻礙物高度。

表 3-8 分離式熱源，具分流設計，阻礙物設計下，熱特性整理表

高度 (mm)	最高溫度 (°C)	平均溫度 (°C)	壓降 (pa)
0	101.98	90.86	1704.00
0.25	101.88	90.75	1693.00
0.4	101.82	90.68	1708.00
0.5	101.84	90.69	1723.00
0.6	101.84	90.68	1735.00
0.75	101.73	90.55	1827.00
1	102.32	90.80	2575.00

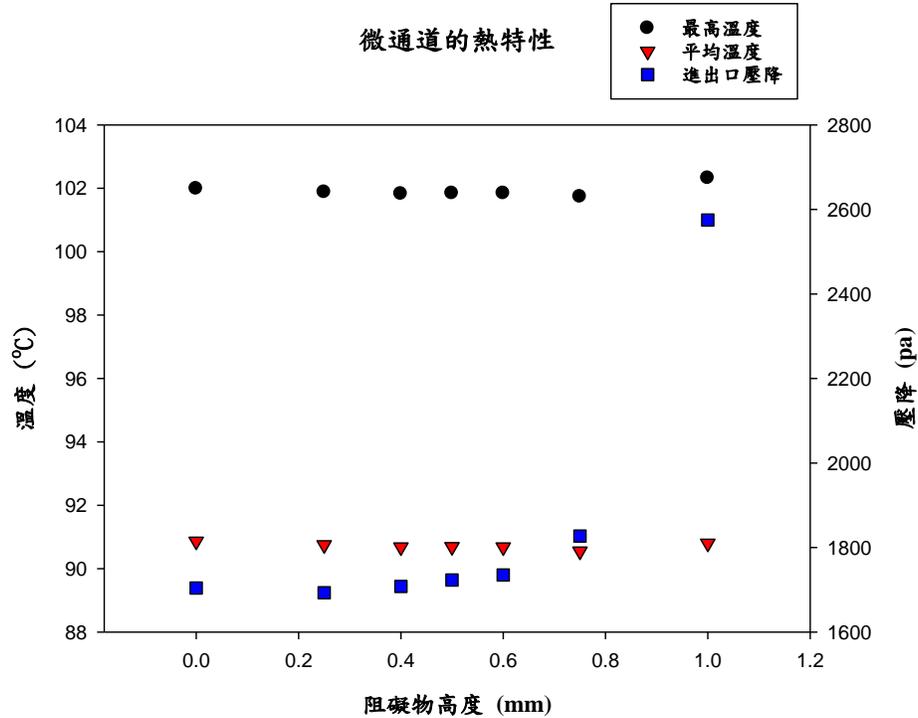


圖 3-32 分離式熱源，具分流設計，阻礙物設計下，熱特性圖

在不同阻礙物高度中，微通道加熱源的平均溫度，最低的平均溫度出現於阻礙高度為 0.75mm，最高與最低的平均溫度差距約為 0.3°C，沒有很明顯的變化。而加熱面的最高溫度，於阻礙物高度為 0.75mm，會有最低溫度 101.73°C，最高與最低的最高溫度差距為 0.6°C，變化也沒有很明顯。在進出口壓降，在阻礙物高度為 0.75mm，會開始有明顯增加的變化，直到阻礙物高度為 1mm，完全將流道阻礙住，會有最高的壓降 2575pa，比沒有阻礙物的流道，高出 51.12%的壓降。在微通道中，放置阻礙物，會略為改善微通道加熱源的溫度，但在進口壓降會有增加的趨勢，不同的阻礙物高度，會對微通道產生影響，隨者阻礙物的高度變大，溫度變化是降低的，有一個低谷的存在，當完全阻礙流道時，溫度反而會增大，而流道的進出口壓降隨者阻礙物的高度變大，會慢慢變大。

第四章 實驗分析

實驗的過程中，利用裸線式熱電耦量測加熱源與微通道表面的溫度，量測的溫度點位置如圖 4-1 所示，共量測 6 個溫度點，分別為 1~6。

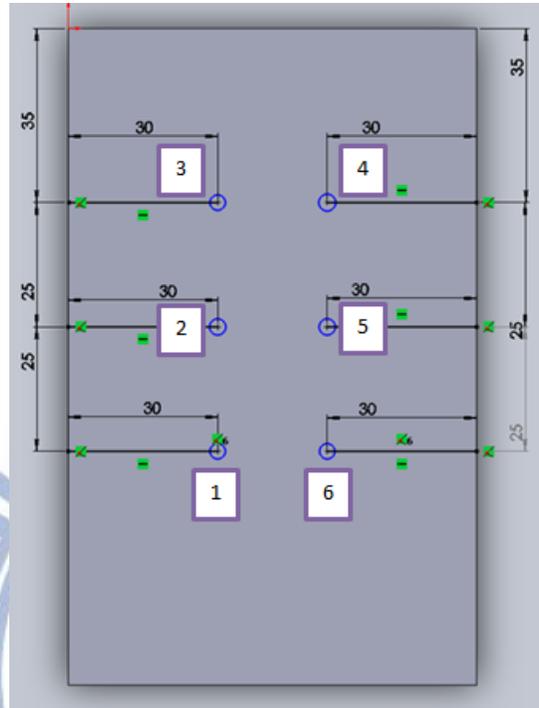


圖 4-1 實驗微通道與加熱片接合面，熱電耦量測點位置圖

包覆式熱電耦量測，進出口的工作流體溫度，差壓計量測，進出口壓降，管路採用外徑 9.5mm、內徑 6.5mm 的 PU 管[Polyurethane Tube]，壓降的量測中，由管路漸縮至歧管入口 2.5mm，會產生壓降，故量測在無微通道時系統的壓降，如表 4-1 與圖 4-2 所示。

表 4-1 實驗流道空壓降表

流量 (l/min)	壓降 (pa)
0.70	7970.63
0.60	6646.28
0.50	5395.50
0.46	5003.10
0.40	4340.93
0.30	3556.13

系統空壓降

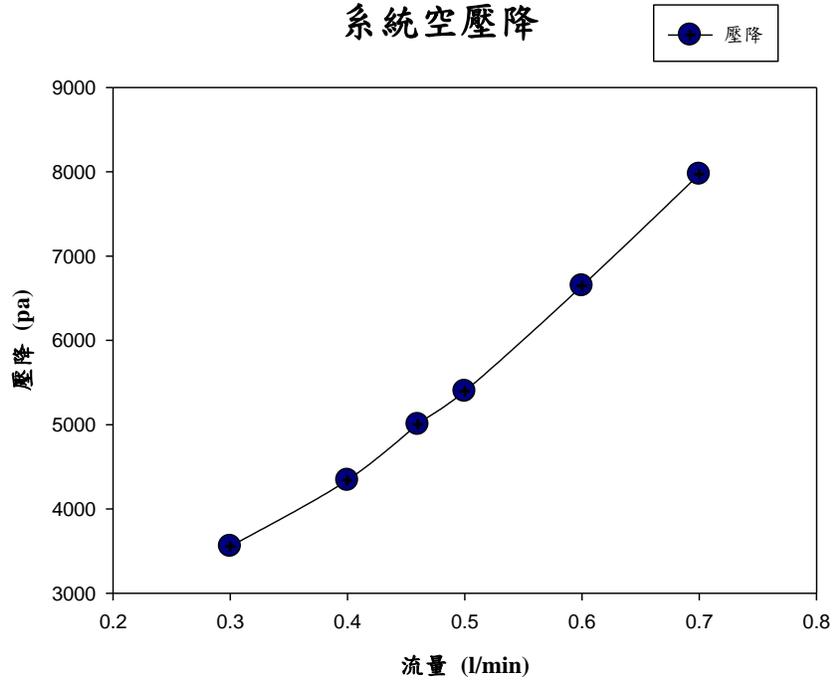


圖 4-2 實驗流道空壓降圖

實驗中，分成長邊進出歧管實驗，漸擴短邊進出歧管實驗，分流設計實驗，三種實驗，其中短邊漸擴歧管實驗，加入分離式熱源，在加熱片中，共分成三個加熱源，分別為 1、2 與 3，如圖 4-3 所示，探討分離式加熱源對微通道的熱特性影響。

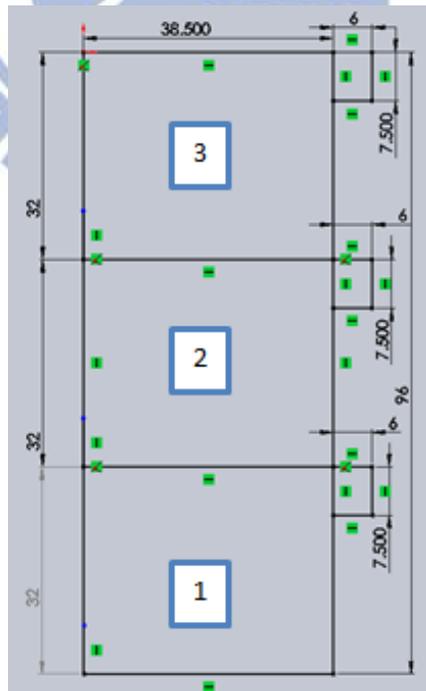


圖 4-3 實驗加熱片示意圖

4-1 長邊進出歧管

使用長邊進出歧管與微通道，加熱源 3 個皆開啟，工作流體為水，進口流量為 0.71 l/min，分成 4 種不同進口水溫，分別為 25°C、30°C、35°C 與 40°C，對微通道加熱面平均溫度與最高溫度的影響。

表 4-2 長邊進出歧管，進口水溫 25°C

加熱片 123 流量:0.71 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)
25.17	25.17		25.18	25.30
25.17	25.47	14.97	26.38	26.90
25.17	26.27	54.87	29.72	31.30
25.17	27.57	119.72	34.55	36.90
25.07	28.07	149.66	36.13	38.60
25.07	29.27	209.52	40.20	44.00
25.07	29.97	244.44	41.55	46.20

表 4-3 長邊進出歧管，進口水溫 30°C

加熱片 123 流量:0.71 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)
30.07	29.97		29.97	30.10
30.07	32.57	124.71	38.87	40.80
30.07	34.27	209.52	44.53	48.00
30.17	35.37	259.40	47.72	52.10
30.17	35.67	274.37	48.72	52.60

表 4-4 長邊進出歧管，進口水溫 35°C

加熱片 123 流量:0.71 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)
34.57	34.57		34.53	34.60
34.57	36.97	119.72	43.20	45.10
34.57	38.67	204.53	49.05	52.30
34.57	39.57	249.43	52.08	55.70
34.57	40.77	309.29	56.12	61.50

表 4-5 長邊進出歧管，進口水溫 40°C

加熱片 123 流量:0.71 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)
39.67	39.57		39.57	39.70
39.87	42.27	118.06	48.48	50.30
39.97	44.17	206.61	54.82	57.80
39.97	45.07	250.88	58.30	62.70
39.97	46.27	309.91	63.42	70.90
39.77	46.57	334.50	65.85	73.40

長邊進出歧管 流量0.71 l/min

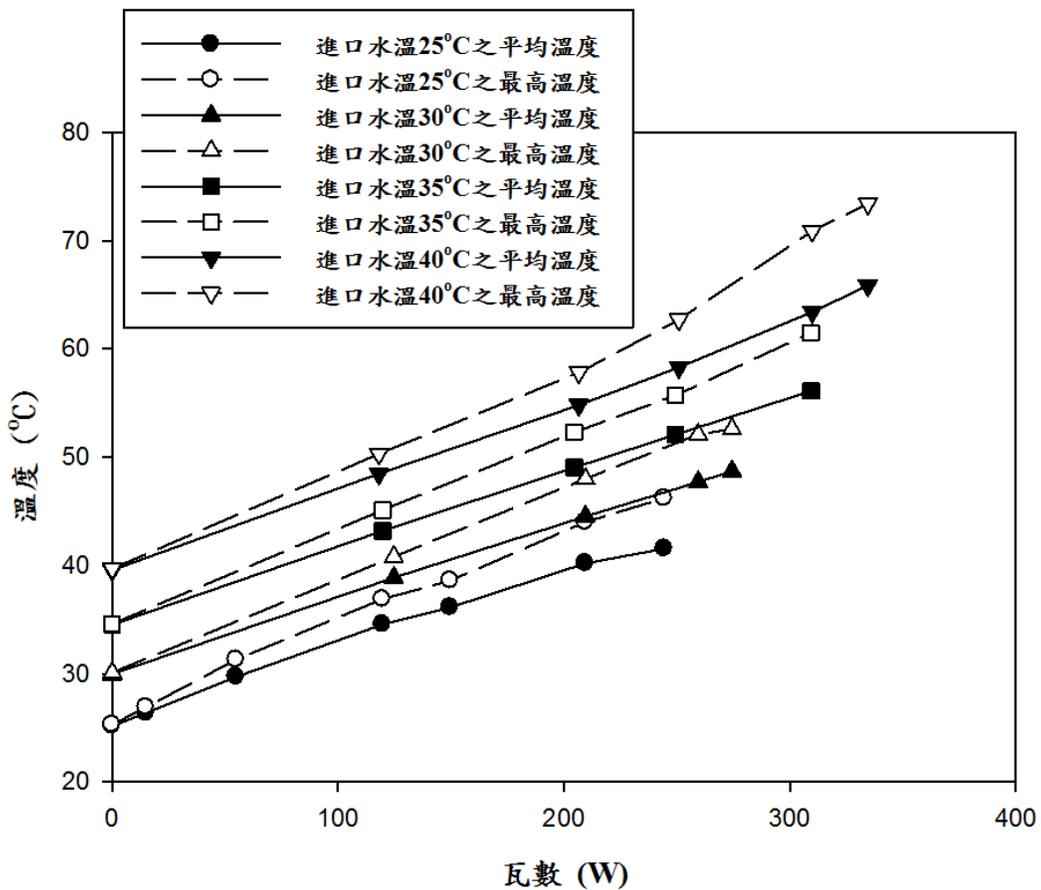


圖 4.4 長邊進出歧管，不同進口水溫，不同瓦數下，平均溫度與最高溫度變化圖

長邊進出歧管的實驗中，不論進口水溫為幾度，微通道加熱面的平均溫度與最高溫度，接隨者瓦數的增加，差異越來越大，加熱面加熱時，微通道的散熱機制為熱對流效應和熱傳導效應，由於微通道的長度過長，在每一段的微通道所能帶走的热量並不相同，隨者加熱瓦數增加，最高溫度的上升幅度必然會比平均溫度大，故

在微通道設計中，需要透過流道的設計，來降低最高溫度，避免加熱面過熱。微通道的熱特性，不受到進口水溫改變的影響，有顯著的變化。

4-2 漸擴短邊進出歧管

使用微通道和漸擴短邊進出歧管，工作流體為水，進口水溫為 20°C，進口流量為 0.46 l/min、0.6 l/min 與 0.7 l/min，共三種流量。表 4-6 至表 4-8 為加熱片使用 123，及加熱片皆開啟的實驗數據整理。

表 4-6 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 123 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.57	20.67		20.53	20.60	4586.28
20.57	21.47	28.84	22.11	22.67	4512.70
20.57	23.57	96.14	26.21	28.05	4316.50
20.57	26.57	192.28	31.31	35.88	4095.78
20.47	28.17	246.76	34.31	40.58	4009.94

表 4-7 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 123 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.27	20.37		20.23	20.30	7198.09
20.27	21.07	33.44	21.88	22.12	7149.04
20.17	22.57	100.32	25.57	26.40	7050.94
20.27	23.87	150.48	28.50	29.70	6965.10
20.27	25.27	209.00	31.87	33.40	6879.26

表 4-8 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 123 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.27	20.37		20.23	20.30	9245.93
20.27	21.02	36.58	21.86	22.05	9233.66
20.17	22.27	102.41	25.27	25.70	9172.35
20.17	24.57	214.57	31.28	32.30	9049.73

在電子散熱中，當熱源無法均勻地藉由熱傳機制，熱傳導或熱對流，將熱量傳至熱沉，會導致不同的熱特性，而現今的電子散熱系統，熱源大部分屬於分離式熱源，熱量集中於某個區域，如果該區域的溫度過高，會降低電子元件的可靠度。故在微通道中，探討分離式熱源，對微通道所造成的影響。表 4-9 至表 4-17 為使用加熱片中兩個加熱源，分別為加熱片 12、加熱片 13 與加熱片 23，三種不同加熱組合，在三種不同流量，0.46 l/min、0.6 l/min 與 0.7 l/min，對微通道熱特性的影響與變化。

表 4-9 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 12 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.57	20.67		20.53	20.60	4512.70
20.47	21.17	22.43	21.72	22.70	4304.24
20.47	22.67	70.50	24.86	27.68	4230.66
20.47	23.77	105.75	27.00	31.47	4181.61
20.47	26.17	182.67	31.44	39.93	4022.20
20.47	28.07	243.55	34.75	46.38	3936.36

表 4-10 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 12 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.27	20.37		20.30	20.30	7112.25
20.27	21.67	58.52	23.63	25.10	7026.41
20.27	23.47	133.76	27.95	30.40	6940.58
20.27	24.57	179.74	30.67	33.90	6903.79

表 4-11 漸擴短邊進出歧管，加熱 12，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 12 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	9221.40
20.17	21.07	43.89	22.26	23.18	9209.14
20.17	22.27	102.41	25.55	27.40	9037.46
20.17	23.37	156.05	28.63	31.46	8939.36
20.17	23.87	180.44	29.76	32.63	8890.31

表 4-12 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 13 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.37	20.57		20.40	20.50	4807.00
20.37	21.27	28.84	21.95	22.89	4745.69
20.37	22.97	83.32	25.08	27.89	4610.80
20.37	25.47	163.44	29.35	35.19	4524.96
20.47	27.77	233.94	33.09	41.45	4377.81

表 4-13 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 13 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.37		20.25	20.30	7149.04
20.17	21.67	62.70	23.32	24.60	7075.46
20.17	23.07	121.22	26.20	28.80	6989.63
20.27	24.57	179.74	29.35	32.60	6916.05

表 4-14 漸擴短邊進出歧管，加熱 13，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 13 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.22	20.30	9160.09
20.17	21.07	43.89	22.08	22.80	9135.56
20.17	22.57	117.04	25.61	27.60	9061.99
20.17	23.97	185.31	28.97	31.70	9000.68

表 4-15 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 23 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.37	20.47		20.38	20.50	4757.95
20.37	21.07	22.43	21.39	21.80	4647.59
20.37	22.47	67.30	23.84	25.60	4488.18
20.27	25.47	166.64	28.74	33.10	4377.81
20.27	27.37	227.53	31.90	38.00	4255.19

表 4-16 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 23 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.27	20.37		20.27	20.30	7149.04
20.17	20.97	33.44	21.91	22.61	7124.51
20.17	22.87	112.86	26.42	28.80	7038.68
20.17	24.37	175.56	29.83	33.10	6977.36

表 4-17 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱片 23 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.22	20.30	9196.88
20.17	21.07	43.89	22.22	23.03	9160.09
20.17	22.27	102.41	25.31	27.03	9123.30
20.17	23.07	141.42	27.23	29.73	9074.25
20.17	24.02	187.75	29.60	32.85	9049.73

表 4-18 至表 4-26 為使用加熱片中，一個加熱源，分別為加熱片 1、加熱片 2 與加熱片 3，三種不同加熱源組合，在三種不同流量中，微通道熱特性的變化。

表 4-18 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 1 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27	3.20	20.20	20.20	4721.16
20.17	20.97	25.64	21.27	22.30	4708.90
20.17	21.67	48.07	22.45	24.60	4647.59
20.17	22.47	73.71	24.30	29.30	4586.28

表 4-19 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 1 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	7136.78
20.17	21.07	37.62	21.97	24.00	7099.99
20.17	21.97	75.24	23.86	28.00	7038.68
20.17	22.67	104.50	25.58	30.80	7014.15

表 4-20 漸擴短邊進出歧管，加熱 1，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 1 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.27	20.37		20.25	20.30	9245.93
20.27	20.77	24.38	21.37	22.90	9233.66
20.27	21.57	63.40	23.31	27.00	9184.61
20.17	22.17	97.53	24.98	30.10	9147.83

表 4-21 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 2 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27	3.20	20.20	20.20	4696.64
20.17	20.87	22.43	21.38	22.50	4672.11
20.17	21.77	51.27	22.97	25.90	4623.06
20.17	22.47	73.71	24.32	28.80	4598.54
20.17	22.97	89.73	26.22	32.00	4561.75

表 4-22 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 2 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	7112.25
20.17	20.97	33.44	22.17	24.10	7063.20
20.17	21.97	75.24	24.81	28.90	7014.15
20.17	22.97	117.04	27.18	32.50	6977.36

表 4-23 漸擴短邊進出歧管，加熱 2，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 2 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	9245.93
20.17	20.77	29.26	21.57	22.84	9209.14
20.17	21.67	73.15	24.17	27.60	9172.35
20.17	22.47	112.16	26.37	31.50	9147.83

表 4-24 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.46 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 3 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27	3.20	20.18	20.20	4745.69
20.17	20.87	22.43	21.17	22.70	4733.43
20.17	21.97	57.68	23.25	27.80	4659.85
20.17	23.47	105.75	26.33	37.20	4610.80

表 4-25 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.6 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 3 流量:0.6 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	7136.78
20.17	21.07	37.62	21.83	23.50	7112.25
20.17	22.17	83.60	24.03	28.42	7063.20
20.17	22.97	117.04	25.62	31.61	7026.41

表 4-26 漸擴短邊進出歧管，加熱 3，流量:0.7 l/min，不同瓦數下，熱特性表

加熱 3 流量:0.7 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	壓降 (pa)
20.17	20.27		20.20	20.20	9233.66
20.17	21.07	43.89	21.83	23.70	9196.88
20.17	21.87	82.90	23.70	27.70	9172.35
20.17	22.47	112.16	24.97	30.50	9135.56

如圖 4-5 所示，在流量 0.46 l/min，加熱源 3 個全開的條件下，將實驗做再現性圖，避免實驗數據的變化，是來自於誤差所造成。在壓降的部分，會有些許誤差所造成的差異，差異大約 5~10%，而在平均溫度與最高溫度，差異並不大，趨近於線性。圖 4-6 至圖 4-12，分別是加熱片開啟 3 個、2 個與 1 個，在不同流量下的比較圖，不論開啟的加熱源數量為何，均呈現流量增加，壓降會上升，平均溫度與最高溫度，則會下降。由圖 4-6 至圖 4-12 中，在相同進口流量中，壓降隨者瓦數增加會有，降低的趨勢，這是受到加熱瓦數增加，微通道出口水溫會上升，故入口的壓降會有降低的趨勢，平均溫度則是變化幅度不大，而在最高溫度的部分，由

於在加熱源少的時候，即加熱片只開啟一個加熱源下，最高溫度升高值比較很大，故在流量增加，且加熱瓦數較大時，最高溫度增加幅度會變大。在圖中，左上角處為加熱片示意圖，數字綠色代表加熱片開啟，數字紅色代表加熱片不開啟。

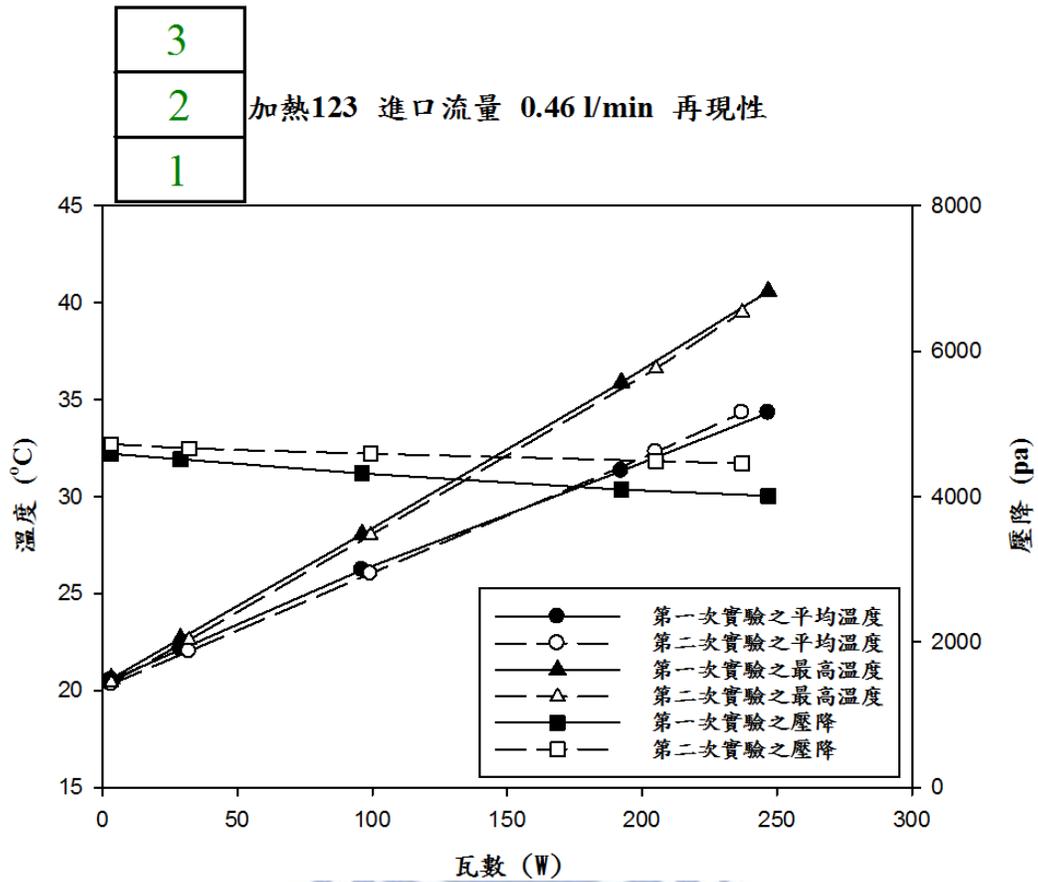


圖 4-5 漸擴短邊進出歧管，加熱片 123，實驗第 1 次與第 2 次，再現性圖

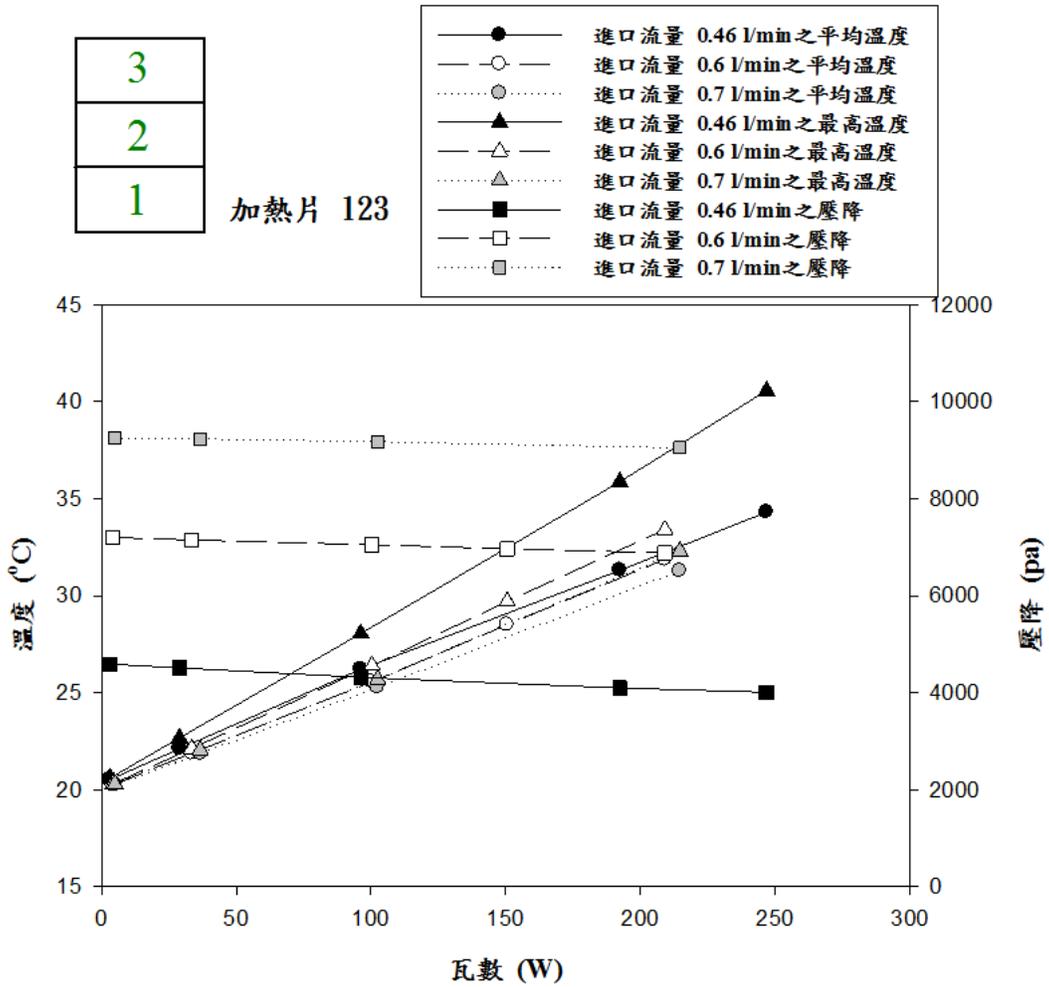


圖 4-6 漸擴短邊進出歧管，加熱片 123，不同流量下，熱特性圖

3
2
1

加熱片 12

- 進口流量 0.46 l/min 之平均溫度
- 進口流量 0.6 l/min 之平均溫度
- ◉ 進口流量 0.7 l/min 之平均溫度
- ▲ 進口流量 0.46 l/min 之最高溫度
- △ 進口流量 0.6 l/min 之最高溫度
- ◀ 進口流量 0.7 l/min 之最高溫度
- 進口流量 0.46 l/min 之壓降
- 進口流量 0.6 l/min 之壓降
- ◻ 進口流量 0.7 l/min 之壓降

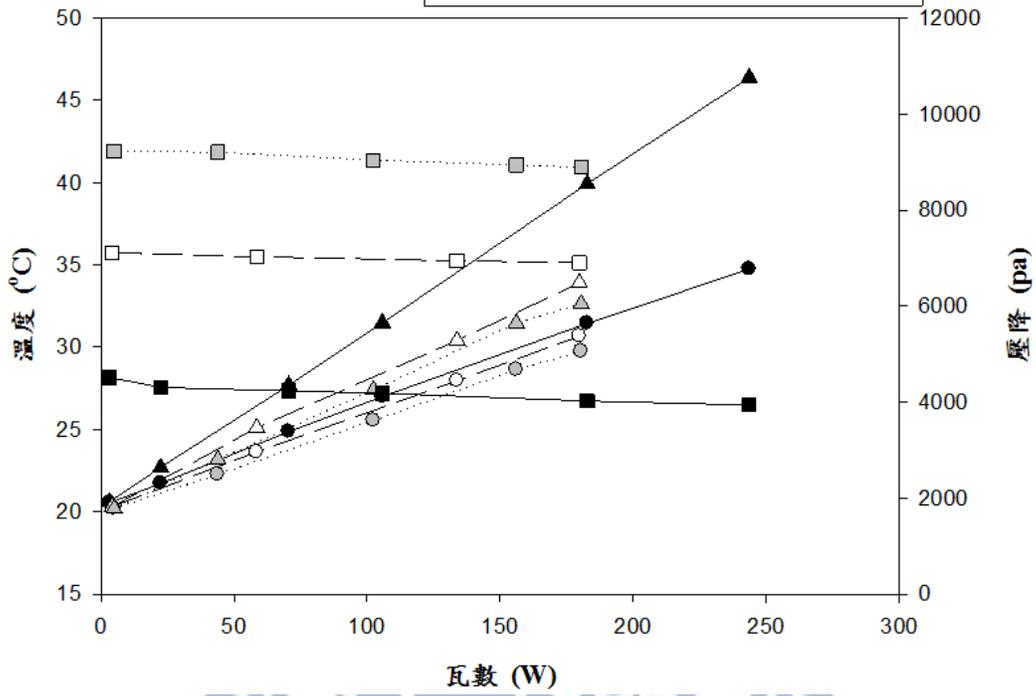


圖 4-7 漸擴短邊進出歧管，加熱片 12，不同流量下，熱特性圖

3
2
1

加熱片 13

- 進口流量 0.46 l/min 之平均溫度
- 進口流量 0.6 l/min 之平均溫度
- 進口流量 0.7 l/min 之平均溫度
- ▲ 進口流量 0.46 l/min 之最高溫度
- △ 進口流量 0.6 l/min 之最高溫度
- △ 進口流量 0.7 l/min 之最高溫度
- 進口流量 0.46 l/min 之壓降
- 進口流量 0.6 l/min 之壓降
- 進口流量 0.7 l/min 之壓降

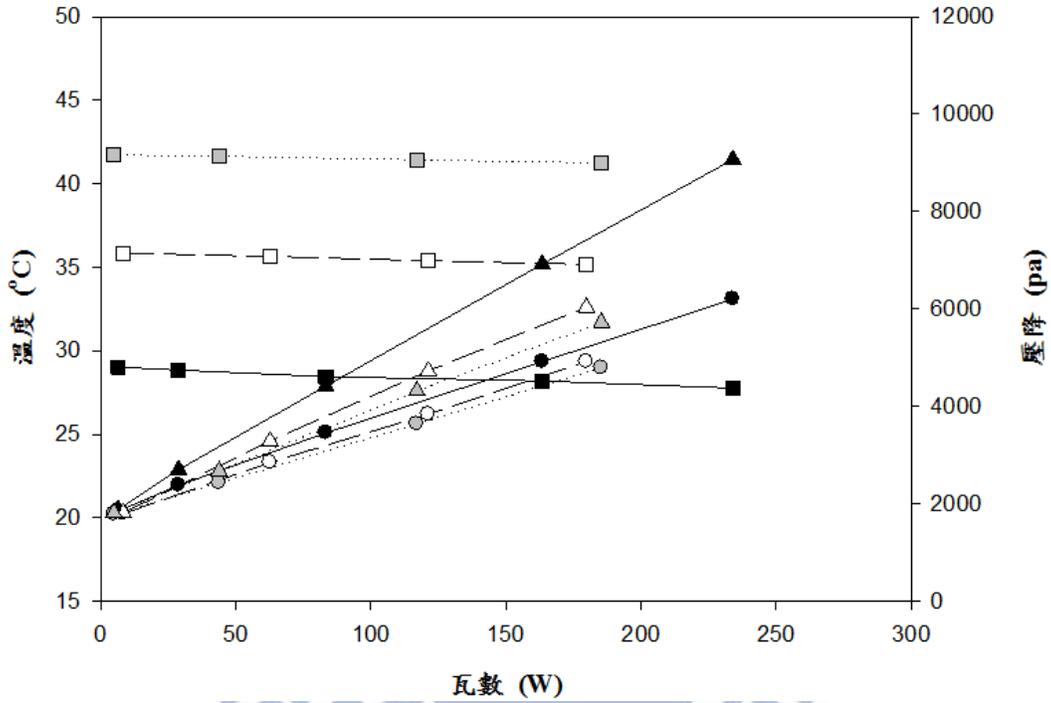


圖 4-8 漸擴短邊進出歧管，加熱片 13，不同流量下，熱特性圖

3
2
1

加熱片 23

- 進口流量 0.46 l/min 之平均溫度
- 進口流量 0.6 l/min 之平均溫度
- ◉ 進口流量 0.7 l/min 之平均溫度
- ▲ 進口流量 0.46 l/min 之最高溫度
- △ 進口流量 0.6 l/min 之最高溫度
- ◕ 進口流量 0.7 l/min 之最高溫度
- 進口流量 0.46 l/min 之壓降
- 進口流量 0.6 l/min 之壓降
- ◻ 進口流量 0.7 l/min 之壓降

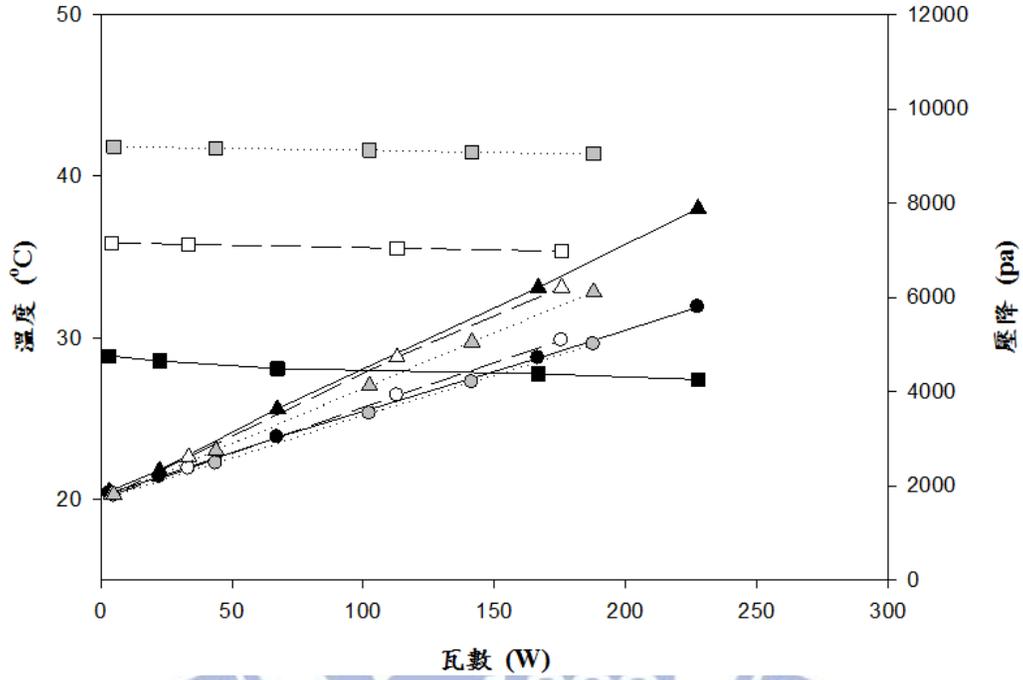


圖 4-9 漸擴短邊進出歧管，加熱片 23，不同流量下，熱特性圖

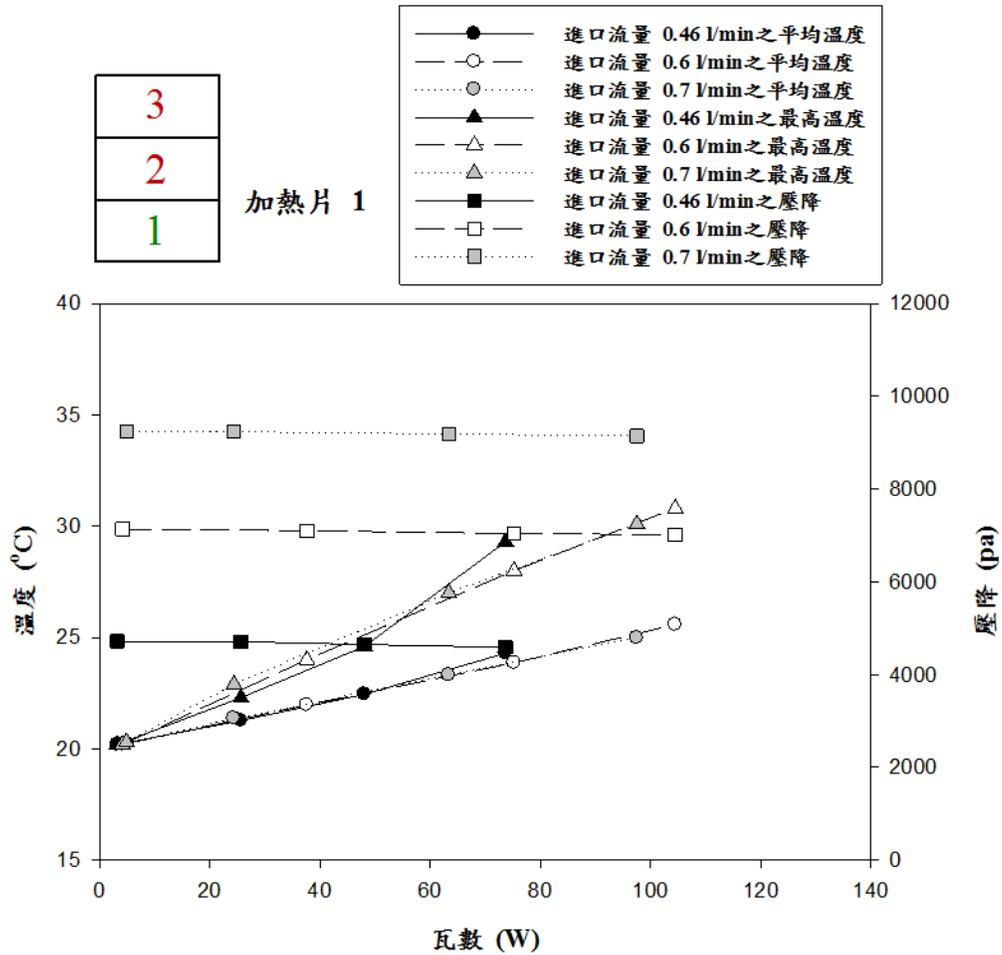


圖 4-10 漸擴短邊進出歧管，加熱片1，不同流量下，熱特性圖

3
2
1

加熱片 2

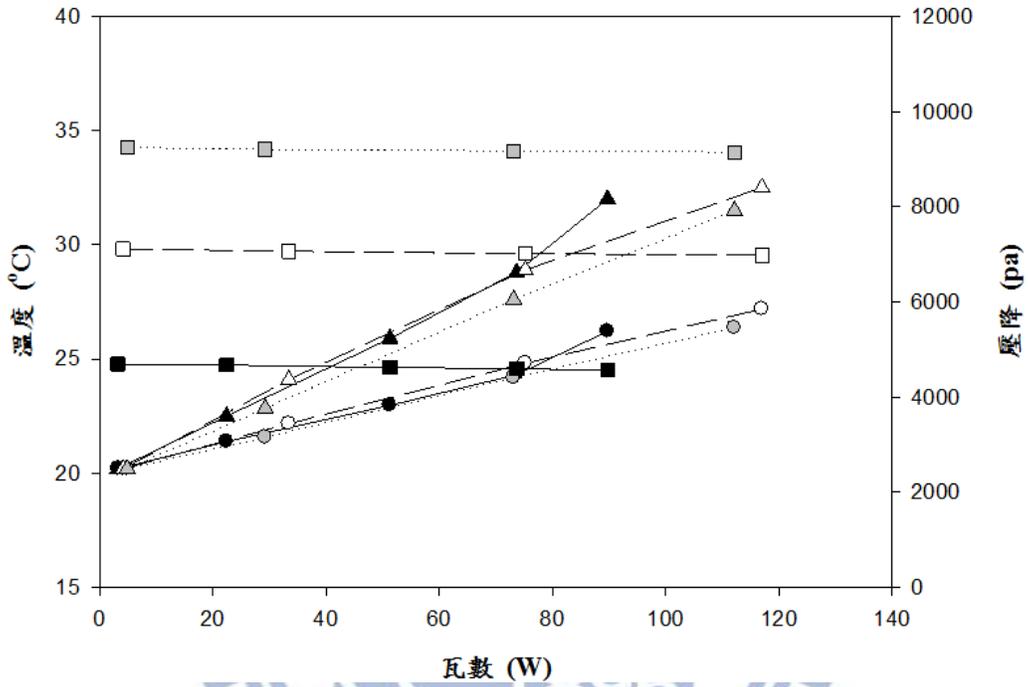
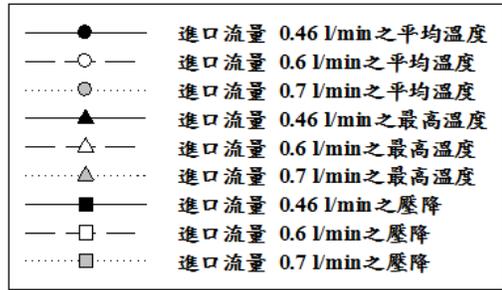


圖 4-11 漸擴短邊進出歧管，加熱片 2，不同流量下，熱特性圖

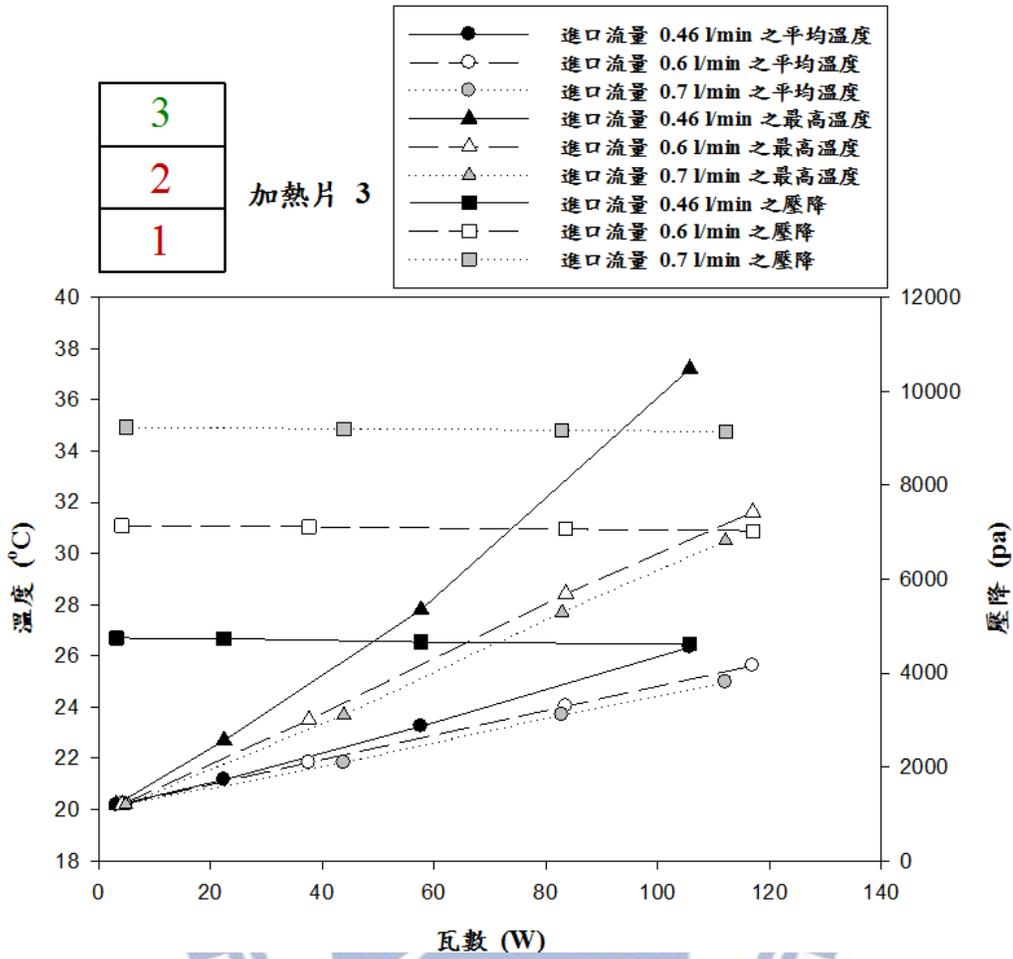


圖 4-12 漸擴短邊進出歧管，加熱片 3，不同流量下，熱特性圖

進口流量 0.46 l/min 加熱面平均溫度

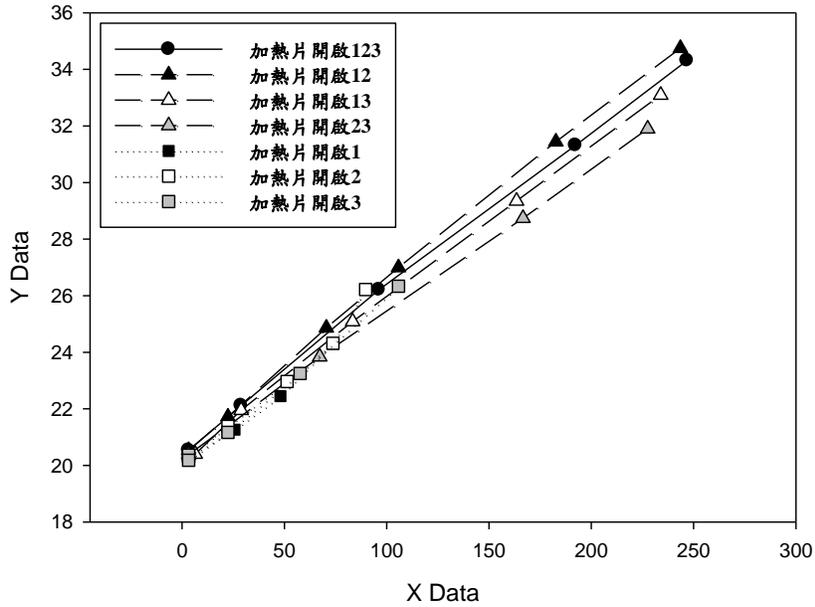


圖 4-13 漸擴短邊進出歧管，流量 0.46 l/min 下，不同加熱源的平均溫度圖

進口流量 0.46 l/min 加熱面最高溫度

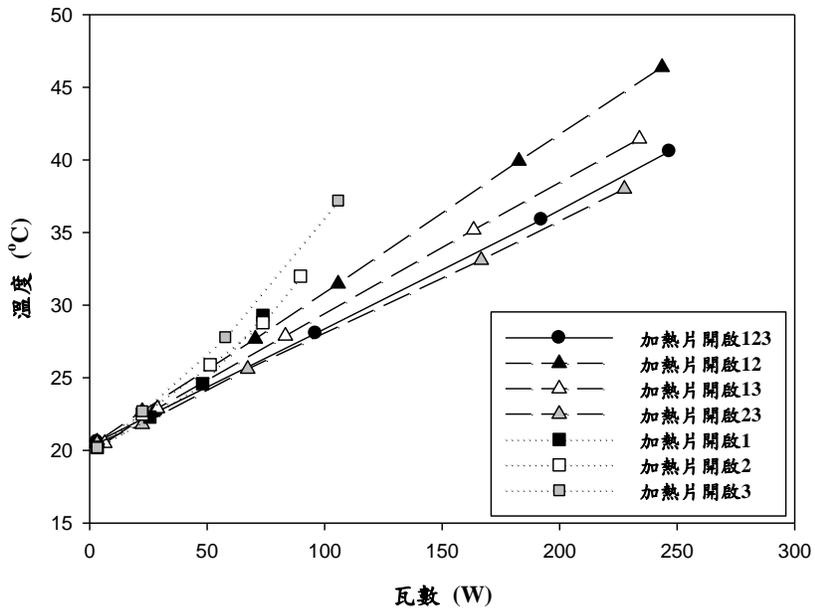


圖 4-14 漸擴短邊進出歧管，流量 0.46 l/min 下，不同加熱源的最高溫度圖

圖 4-13 與圖 4-14，是比較在同樣流量 0.46 l/min 中，開啟不同加熱源，對微通

道熱特性的影響，在圖 4-13 中，平均溫度，由於部分量測點有較低溫度，取平均下來，不同加熱源對於微通道熱特性的影響，並不明顯。而圖 4-14，最高溫度，在加熱片開啟減少，具有最高溫度上升的特性。在開啟兩個加熱源，最高溫度的最低值，出現於開啟加熱片 23，與開啟加熱片 123 的最高溫度相比，開啟加熱片 23 會略低，而最高溫度的最高值，出現於開啟加熱片 12，這是由於加熱片 12，加熱源開啟的地點，剛好與微通道的流道進出口相當的接近，如果工作流體，在進口處就開始加熱，會降低微通道的熱對流效應，讓後面的流道熱傳機制變差，導致開啟兩個加熱片條件下，最好的是開啟加熱片 23 和最差的是開啟加熱片 12。在開啟一個加熱片，對於微通道的影響變小，開啟不同位置的加熱片，最高溫度呈線性，並無顯著的差距，這是由於熱源過度集中，最高溫度開始大幅度的增加，改變位置的影響被減弱。



4-3 分流設計

分流設計使用漸擴短邊進出歧管和分流設計微通道，加熱源使用 123，工作流體為水，進口水溫為 20°C，表 4-27 為實驗數據整理。

表 4-27 漸擴短邊進出歧管，分流設計截面積 5mm×1mm，熱特性表

加熱 123 流量:0.46 l/min

進口 (°C)	出口 (°C)	瓦數 (W)	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)
20.27	20.37		20.40	20.40
20.17	21.07	28.84	23.10	23.80
20.27	21.27	32.05	23.38	24.30
20.17	23.37	102.55	31.33	34.10
20.17	23.57	108.96	32.17	35.50
20.17	24.97	153.82	37.20	41.60
20.17	25.17	160.23	38.83	44.20
20.17	26.37	198.69	42.37	48.30

分流設計溫度對照圖

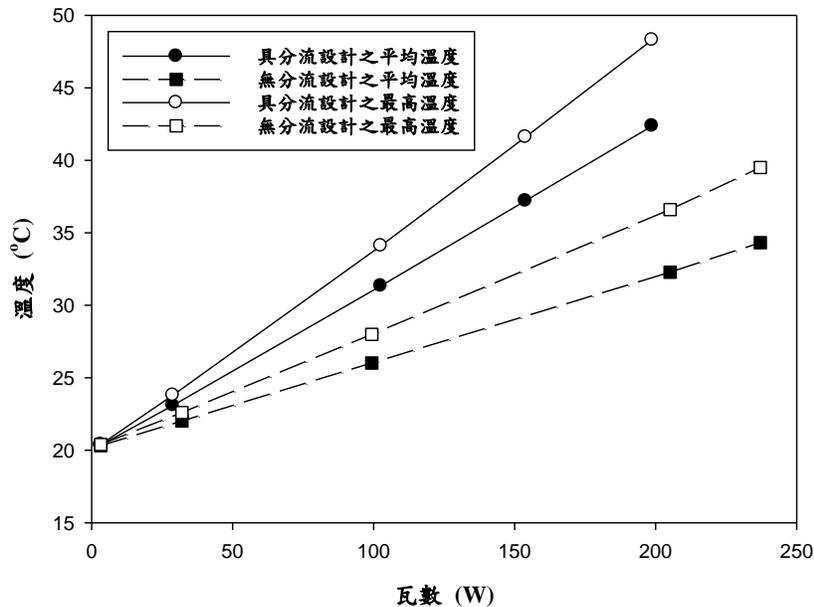


圖 4-15 漸擴短邊進出歧管，分流設計和沒有分流設計，對照圖

圖 4-15 中，有分流設計和沒有分流設計的微通道熱特性，分流設計實驗中，最高溫度和平均溫度，比沒有分流設計的微通道，增加許多，可見在實驗過程中，分流設計的效果，沒有在模擬中的理想，溫度上升幅度變大。

4-4 模擬與實驗比較

圖 4-16 與圖 4-17 比較漸擴短邊進出歧管的實驗結果與模擬分析結果，在相同的邊界條件下，微通道的熱特性比較。圖 4-16 是開啟加熱片 123，進口流量為 0.46 l/min，工作流體為水，進口水溫為 20°C，模擬中的加熱瓦數，設為 50W、150W 與 250W，將三個點取線性，可得到模擬不同瓦數下，微通道的熱特性。在壓降中，模擬與實驗的數值，差距比例並不大，而在平均溫度與最高溫度中，模擬和實驗的數值，差距比例比較大，這是因為在模擬中，加熱面與微通道的貼合，是沒有接觸熱阻的存在，而在實驗中，加熱面和微通道之間，存在接觸熱阻，在兩者之間塗覆導熱膏，可降低接觸熱阻，但無法完全去除接觸熱阻的影響，故在溫度的量測上，模擬數值與實驗數據會有一定的差異，而在平均溫度與最高溫度間，最高溫度受到接觸熱阻的影響比較大，差異的比例也被放大。但模擬數值與實驗數據呈現相同的趨勢存在。

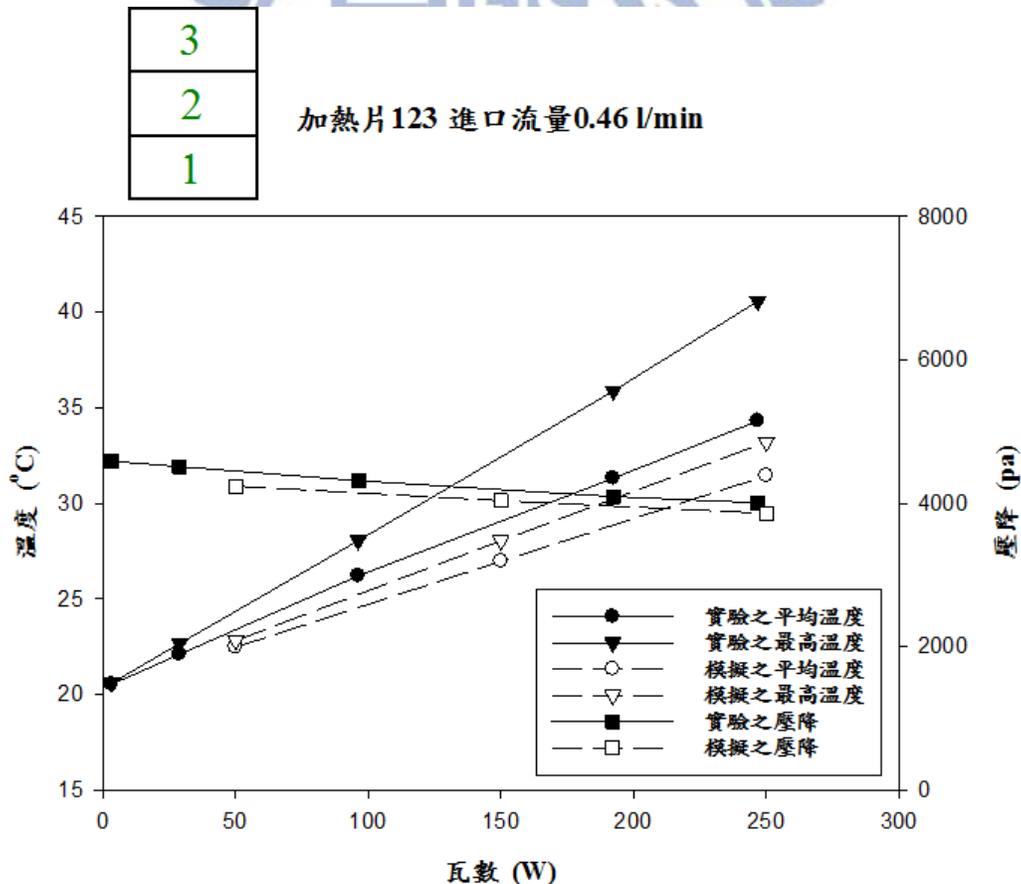


圖 4-16 漸擴短邊進出歧管，加熱 123，流量 0.46 l/min 下，模擬與實驗對照圖

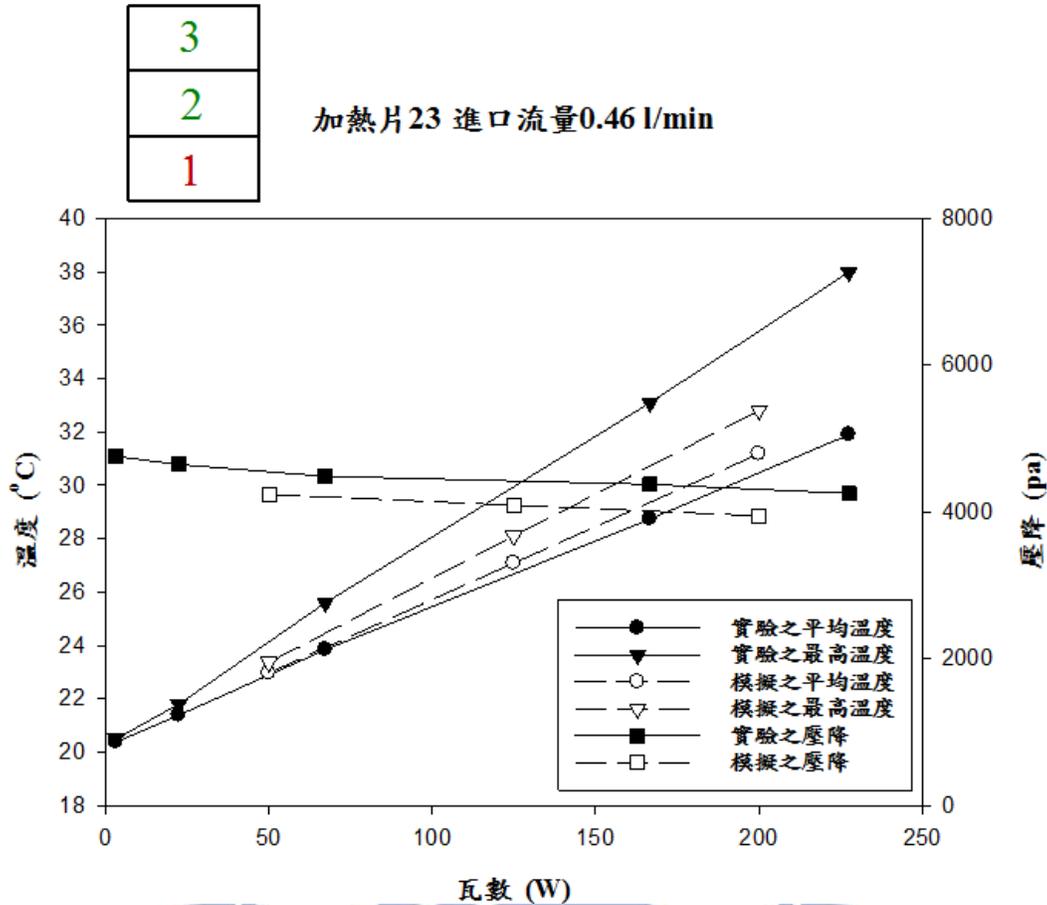


圖 4-17 漸擴短邊進出歧管，加熱 23，流量 0.46 l/min 下，模擬與實驗對照圖

圖 4-17 是比較在開啟兩個加熱片下，即加熱片 23，模擬與實驗的比較，在實驗中，由於兩個加熱片，輸入的熱量無法與三個加熱片相比，所以模擬中的加熱瓦數，設為 50W、125W 與 200W，三種不同的加熱瓦數。模擬數值與實驗數據呈現相同的趨勢存在，在開啟兩個加熱片下，最高溫度的差異是最大的，而平均溫度與壓降兩者的差異不大。

第五章 結論

根據模擬數值分析與實驗數據對比，可以得到下列在不同的邊界條件中，對於微通道熱特性的結論：

(1). 微通道的熱傳機制為，熱對流效應與熱傳導效應，其中熱對流的效應是由於流道內部，工作流體流動，將發熱量由進口流道處帶往出口流道，產生的效應；熱傳導效應描述的是，在熱沉表面截面積大於發熱源表面截面積下，存在側向的熱傳導機制，高溫的發熱源透過側向熱傳導，將發熱量傳導至無發熱源的熱沉處，再進行流道的熱對流效應。故在微通道中，主要的熱傳機制為熱對流效應，熱傳導效應為次要熱傳機制。

(2). 微通道可分成，流道與歧管，流道的設計，包括流道的尺寸、長度和形狀，本研究流道的尺寸為 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ ，形狀為矩形；歧管的設計，包括流道長邊進出歧管、流道短邊進出漸擴歧管與流道短邊進出中央漸擴歧管。在歧管的設計中，具有不同的微通道熱特性，在短邊進出漸擴歧管中，進口歧管位於旁邊的設計，是較好的設計，模擬分析為，平均溫度 358.15°C ，最高溫度 363.32°C 。

(3). 微通道用於分離式熱源中，發熱源如果尺寸不相同且不是在流道的正中央，讓工作流體先經過低溫的發熱源，且發熱源偏向前段流道側，讓後段流道側向的熱傳導效應增強，可以降低微通道的最高溫度與平均溫度。

(4). 微通道中，工作流體進口溫度的改變，對於微通道的熱特性影響不大；改變加熱源的瓦數，會增大微通道加熱面，最高溫度與平均溫度的差距，這是由於在維通道中，主要的熱傳機制為熱對流效應，故加熱源開始加熱時，溫度分布是不均勻的情況，加熱源瓦數越大，溫度分布越不均勻，最高溫度與平均溫度的差距越大。

(5). 在不同的工作流體流量中，不論加熱源是均勻式加熱或分離式加熱，微通道的進出口壓降，隨流量的增加，呈現線性增加的趨勢；微通道的平均溫度，也是隨流量降低而增加；微通道的最高溫度，隨流量降低，增加幅度比較大，而隨者流量的增加，最高溫度降低的幅度逐漸變小。

(6). 在相同的流量下，微通道的平均溫度與壓降，變化幅度不大，而在微通道最高溫度，當加熱源為分離式加熱源，會有增加的趨勢。加熱源面積越小，擺放在微通道不同位置，在低瓦數時，對於最高溫度相差不大。而加熱源面積較大，擺放的位置不同，隨者發熱瓦數越大，最高溫度的差異也越大。

(7). 分流設計，是將微通道部分流道整合為不同尺寸流道，藉由減少前段流道的熱對流效應，讓工作流體經過流道中間的混合區，混合後，工作流體在進入後段流道中。根據模擬數值分析的結果，分流設計會降低微通道的進出口壓降，略為增加微通道的平均溫度與最高溫度。而實驗數據顯示，分流設計的微通道，平均溫度與最高溫度會增加許多。



參考文獻

- [1] M.C. Lu, C.C. Wang, Effect of the inlet location on the performance of parallel-channel cold-plate, Transactions on Components and Packaging Technologies 2006; 29: 30-38
- [2] L.D. Stevanovic, R.A. Beaupre, A.V. Gowda, A.G. Pautsch, S.A. Solovitz, Integral micro-channel liquid cooling for power electronics, Integral Micro-channel Liquid Cooling for Power Electronics. Proceedings of the Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Twenty-Fifth Annual IEEE 2010;1591-1597
- [3] K.C. Toh, X.Y. Chen, J.C. Chai, Numerical computation of fluid flow and heat transfer in microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer 2002; 45:5133-5141.
- [4] H.S. Park, J. Punch, Friction factor and heat transfer in multiple microchannels with uniform flow distribution, International Journal of Heat and Mass Transfer 2008; 51: 4535-4543.
- [5] M.X. Liu, W.J. Sheu, S.B. Chiang, C.C. Wang, PIV investigation of the flow maldistribution in a multi-channel cold plate subject to inlet locations, Journal of Enhanced Heat Transfer 2007;14: pp.65-76.
- [6] X. Wei, Y. Joshi, Experimental and numerical study of sidewall profile effects on flow and heat transfer inside microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer 2007; 50:4640-4651.
- [7] E.S. Cho, J.W. Choi, J.S. Yoon, M.S. Kim, Modeling and simulation on the mass flow distribution in microchannel heat sinks with non-uniform heat flux conditions, International Journal of Heat and Mass Transfer 2010; 53:1341-1348.
- [8] E.S. Cho, J.W. Choi, J.S. Yoon, M.S. Kim, Experimental study on microchannel heat sinks considering mass flow distribution with non-uniform heat flux conditions, International Journal of Heat and Mass Transfer 2010; 53:2159-2168.
- [9] D. Bogojevic, K. Sefiane, A.J. Walton, H. Lin, G. Cummins, D.B.R. Kenning, T.G. Karayiannis, Experimental investigation of non-uniform heating effect on flow boiling instabilities in a microchannel-based heat sink, International Journal of Heat and Mass Transfer 2011; 50:309-324.

[10] R. Chein, J. Chen, Numerical study of the inlet/outlet arrangement effect on microchannel heat sink performance, International Journal of Thermal Sciences 2009; 48:1627-1638

[11] P. Gunnasegaran, H. A. Mohammed, N.H. Shuaib, R. Saidur, The effect of geometrical parameters on heat transfer characteristics of microchannels heat sink with different shapes, International Communications in Heat and Mass Transfer 2010; 37:1078-1086

[12] M. H. Saidi, M. Salehi, R. H. Khiabani, Analysis of Micro Channel Heat Sink Performance, Semi-therm 25.

[13] R.K. Shah and A.L. London, Laminar flow forced convection in ducts, Academic Press, 1978.

[14]王啟川，熱交換設計，五南圖書出版股份有限公司。

