

## 第四章 實驗結果與討論

### 4.1 流道親水性測試

由於本研究的重點在利用流道本身的毛細力來達成水移除的效用，所以首先，對流道的吸水能力做初步測試。

#### 4.1.1 流道基材的選擇

在設計流道之前，我們先要選擇一種親水佳，又導電性良好的材質以作為我們流道的基材。現今一般大多使用石墨來作為流道及集電板，但是在親水性的考量下，我們選擇了金屬來作為設計流道板的材料，一方面金屬本身較石墨來得親水，金屬導電性也普遍良好。考量到易加工、導電性、抗腐蝕的需求下，我們分別以不銹鋼 316、純鈦、黃銅及鍍金黃銅當作材料來做比較。由 Fig. 4-1~4-4，我們粗略的以水珠及金屬之間的接觸角來區分其親水性的優劣，可以看到在未氧化情形下的黃銅及不銹鋼，具有最小的接觸角，其親水性較佳，鍍金黃銅則次之（可能是鍍金層緻密度不足所致）；不銹鋼易氧化且不易鍍金，鈦則親水性不佳，所以皆不列入考慮。而黃銅在實驗過程中極易氧化，因此最後我們以黃銅鍍金來當做我們陰極流道板的材質（註：雖然使用黃銅鍍金在長時間操作下會因銅離子及鎳離子而毒化 MEA，但本實驗操作時間所累積造成的毒化並不大，故暫忽略此因素對實驗的影響）。

#### 4.1.2 流道的吸水能力測試

在這個測試裡，我們僅針對三種不同的流道組合，在不通入空氣

的情形下，測試吸水能力。

首先是第一型平行流道(參考 Fig. 3-3 所示)，Fig. 4-5 為其經測試的吸水能力。在第 7 秒的時候，可以看到在流道上累積了一個大水珠無法移除，一直到第 43 秒，水珠仍然存在並沒有被流道的毛細力所牽引。其它的區域雖然偶爾會有小水珠累積，但通常也會受到毛細力而沒入流道中。而會有部分流道毛細力不足，推測其可能是流道的毛細力還不夠強或是流道的鍍金並不均勻所造成。

Fig. 4-6 顯示著第二型平行流道(參考 Fig. 3-4 所示)所測試出的吸水能力。此種組合，在緊壓的情形下，某種程度與未打穿的流道相似，因此在流道吸水的能力上，我們也大致可以看到相同的情形。同樣的在某些流道會累積水而無法受到毛細力的牽引。值得注意的是，在 17 秒時，流道上方雖累積大量的水，但是藉由水的重力仍然無法進入流道，因此在此區的毛細力的確不足，而期望能藉著肋條及平板間的毛細通道輸送水的能力，也發揮得不明顯。

Fig. 4-7 則是第三型平行流道(參考 Fig. 3-5 所示)經測試得到的吸水能力。從圖中可以看到，在第 3 秒時有小水珠稍稍累積，但在第 5 秒馬上受到毛細力的吸引而進入流道中。而從開始到結束，當水碰到流道，都迅速的進入流道中，整個流道尚稱分布均勻，並不會發生部份流道的毛細力不足。

經過此簡單測試，在沒有空氣的輔助下，可以得到第三種設計的毛細力較其他兩種設計強而且分布均勻。

## 4.2 DMFC 組裝測試

### 4.2.1 操作條件

Fig. 4-8 顯示本實驗中一個組裝好的 DMFC 單電池。因為陽極甲醇的流率、濃度、陰極的空氣流率、溫度以及壓力所造成的接觸阻抗，都對電池的效能有很大的影響，所以在決定操作環境的條件需要審慎。參考文獻【7】，從表 4-1 可以得知，本實驗所採用扭力在 30kg-cm 的情形下可得到較小的接觸阻抗。一般來說，陽極的甲醇流率太大會造成 crossover 且消耗過多的能量，但較低的甲醇流率又容易造成二氧化碳的堵塞而使得效能下降，根據 Cowart【17】，陽極通常使用 10 到 100 倍當量比的流率來得到最大的性能。而甲醇濃度越大雖然理論上性能越佳，但同樣也會有造成 crossover 的問題，一般文獻上大多採用 1~3M 可以得到最佳的效能，本研究則採用 2M 甲醇濃度。而在空氣流率方面，雖然較小的空氣流率（ $\lambda < 5$ ）會使得效能較差，但本研究目的著重在設計一個陰極流道，能因本身的毛細力，而使用較小的空氣流率，依據這個原則，我們會使用不同的空氣流率及溫度，來測試出操作的穩定程度。本實驗的操作條件範圍，列於表 4-2。

### 4.2.2 性能穩定性測試

在直接甲醇燃料電池中，能夠穩定的操作是非常重要的，有時候有些流道的組合，在短時間內輸出高性能，但是經過時間累積，也許是陰極水沒排除，或是種種因素而造成性能下降。本研究的目的即在於能設計一具毛細力平行流道能夠穩定的將陰極凝結水排除，因此此測試即在對電池做長時間的操作，觀察其性能是否能維持穩定。

#### （一）第一型平行流道

首先我們先測試第一型平行流道所組裝的 DMFC，其流道截面尺寸為寬 0.5mm、深 0.5mm(見 Fig. 3-3 所示)。操作條件如表 4-2 所示，溫度為 50°C，甲醇溶液濃度為 2M、流率為 80ml/h，固定 1 安培的電量，維持其陰極的反應速率，陰極空氣流率則由 100ml/min ~250ml/min ( $\lambda = 5 \sim 13$ )，經過長時間測試，從 Fig. 4-9 可以看到，空氣流量越大，效能都有顯著的提升；而在性能穩定性上，空氣流量為 100、150、200ml/min 的時候，都大約在 20 分鐘內，性能就有大幅度的滑落，但我們也可以看出，隨著流量的上升，性能下降的趨勢則較和緩，這點可以從空氣流量為 250ml/min，性能大約維持了 25 分鐘左右的穩定而看出，但最後仍舊在 40 分鐘內下降到底。從 Fig. 4-5 就可以知道，未打穿的流道，毛細力並不顯著，因此當陰極反應的水不斷的生成累積，毛細力不足以帶走，而空氣的對流力又不夠時，陰極自然造成水的堆積而使得質傳能力變差，所以性能下降。又當空氣流率不斷提升，空氣的對流力逐漸彌補毛細力的不足，而能將產生的水帶走，因此從圖中可以看到當空氣流量變大，性能會越來越穩定。但是本研究是希望能夠設計出一能利用毛細力來帶走水的流道板，而運用較大的空氣流率所得到的實驗結果與實驗目的不符，所以此種設計需要改進。

## (二) 第二型平行流道

賴威任【13】曾利用打穿的流道和玻璃下板的組合，觀察到水在玻璃和流道肋條之間的毛細間隙通道的輸送行為。因此我們在這個設計中延用其想法並加以改變，將玻璃板改為金屬板，如此能增加其壓力，並期望能強化導電性。測試條件維持在溫度 50°C，甲醇溶液濃度為 2M、流率為 80ml/h，固定 1 安培的電量，維持其陰極的反應速

率，陰極空氣流率則由 150ml/min ~250ml/min ( $\lambda = 8 \sim 13$ )，實驗結果如 Fig. 4-10 所示。當空氣流量為 150ml/min ( $\lambda = 8$ ) 時，性能約略穩定的維持了一小段時間，大約在 30 分鐘後又開始急速下降，當效能下降到 0，此時我們對陰極通入 1000ml/min 的空氣 1 分鐘，再將空氣流量調整為 200ml/min ( $\lambda = 10$ ) 繼續測試，發現電池效能在短暫的恢復並且提高之後，又再次快速下降，此時我們再對陰極通 1000ml/min 的空氣 1 分鐘，並再次將空氣流量調整為 250ml/min ( $\lambda = 13$ )，電池效能仍是在短暫的提升後快速的下降。將 Fig. 4-10 與 Fig. 4-11 做比較，在一開始運作時，兩種形式的流道都能維持短暫穩定，但是從圖中可以發現，第二型的平行流道的操作下穩定較久，而後才迅速下降，推測原因為第二型平行流道比第一型平行流道多了流道肋條與金屬下板所形成的毛細間隙，故能儲存更多的凝結水，因此其能維持穩定較久，但是當間隙積滿了水，又因毛細間隙的毛細力過強，而使得水無法被移除而造成性能迅速下降。本次實驗未與文獻【13】中同樣達到長時間穩定的性能，原因是文獻【13】中使用的是較硬的玻璃下板，所以在與流道組合時較容易留下一毛細間隙，成為凝結水之通道，而本實驗使用的金屬下板較軟，在施壓後會與流道肋條緊密貼合，反而較不易留下毛細通道，或形成的間隙太小，造成毛細力比後方吸水區的毛細力更強，而使水不易移除。如此也造成即使我們再通大量空氣欲將陰極累積的水排除，但因為其毛細太強，所儲存的水無法排出，水逐漸累積，無法維持穩定的效能。

### (三) 第三型平行流道

為了兼顧毛細力及導電性，我們的設計再做改變。在這個設計中，我們利用下底板之溝槽側壁與打穿平行流道肋條側壁之間的縫隙



(其截面深為 0.3mm、寬 0.15mm) 來當做毛細通道 (見 Fig. 3-5)。一來毛細縫隙通道比第一種設計的流道角落之毛細力更強，二來毛細通道從下端轉變成為側端，可有效改善第二種設計因壓力造成金屬變形的影響。而在此種設計下，我們將分不同的空氣流量與不同的溫度，來探討其將水移除的能力。

### (1) 不同空氣流量

在這次的測試中，我們的操作條件仍為溫度 50°C，甲醇溶液濃度為 2M、流率為 80ml/h，固定 1 安培的電量來維持其陰極的反應速率，陰極空氣流率則由 100ml/min ~200ml/min ( $\lambda = 5 \sim 10$ )，來觀察其穩定性。從 Fig. 4-11 可以知道，當空氣流量為 100ml/min ( $\lambda = 5$ ) 時，性能穩定性較差，在 90-100 分鐘時，由於空氣對流力較弱，會有水稍微累積的現象，但是當水累積夠多，毛細縫隙通道的水足夠延長到後方的吸水區，就會將水帶走並回復效能。而當空氣流量為 150ml/min ( $\lambda = 8$ )，曲線的震盪開始和緩，效能開始趨於穩定，雖然偶而也會有水累積的情形，但是由於空氣流量稍稍變大，對流力的增強，使得水並不會累積太多太久，即會被移除。再將空氣流量提升為 200 ml/min ( $\lambda = 10$ )，性能明顯更為穩定，只呈現非常小幅度的波動，水累積的現象幾乎不再發生。由此可知，當空氣流量做小幅的提升，在與流道的毛細力相輔相成下，整體的性能會更平穩而長久。Fig. 4-12 為在這三種流量下穩定後的性能曲線。

### (2) 不同溫度

溫度的不同除了影響電池的效能，也間接的影響了陰極的液態水量，理論上來說溫度越高，陰極的液態水越容易汽化，而越不容易堵

塞流道；反之，溫度越低則液態水越多。此測試即控制溫度在 50°C 與 70°C 時，性能的穩定程度。此時操作條件為甲醇溶液濃度 2M、流率 80ml/h，同樣固定 1 安培的電量，維持其陰極的反應速率，空氣流量則定在 150ml/min ( $\lambda = 8$ )。Fig. 4-13 顯示了在此種測試條件下的結果，當溫度為 50°C 及 70°C 時，性能皆能維持相當程度的穩定。將這兩種不同溫度的測試結果做比較，在這兩種溫度下對效能的穩定度影響並不大，唯一的差別在於溫度較高時性能也較好。Fig. 4-14 則為 30°C~70°C 下的性能曲線。

在第三種設計下，雖然性能可以維持長時間的穩定，但是從測試中還是可以發現，性能呈現間歇性微幅下降。原因可能是因為在平行流道中，若是流道中有少許累積水，在對流力不夠強及毛細力還不足以將水延伸到後端的吸水區時，就容易形成一死區，使得空氣無法進入反應，因而造成性能慢慢的微幅下降，但待累積到足夠積水後則會被移除，使效能又迅速回升。

整體來說，三種設計所使用的材質及結構相當，短時間在相同測試條件下所得到的性能也相差無多，但因為設計上的些許差異，而在穩定性上得到了不同的結果。打穿流道與具溝槽平板運用在 DMFC 陰極的流道組合，能有效的利用溝槽毛細力及空氣對流力，因此能使電池的效能穩定而長久的發揮。

表4-1 流道組合與接觸組抗比較表(阻值單位 $m\Omega$ )【7】

(P 表平行流道，G 表網格型流道，S 表蛇行流道)

組合 扭力	P-P	P-G	S-S	P-S	G-G	G-S
15kgf-cm	1.04	1.2	1.66	1.47	1.85	2.39
20 kgf-cm	0.9	1	1.29	1.2	1.48	1.72
30 kgf-cm	0.76	0.75	1.02	0.98	1.05	1.3



電流量及 溫度	I = 1000 mA 烘箱控溫 T = 50°C~70°C
<i>Anode</i>	2M 甲醇水溶液，流量為 80ml/h
<i>Cathode</i>	一大氣壓乾空氣，流量從 100ml/min~250ml/min



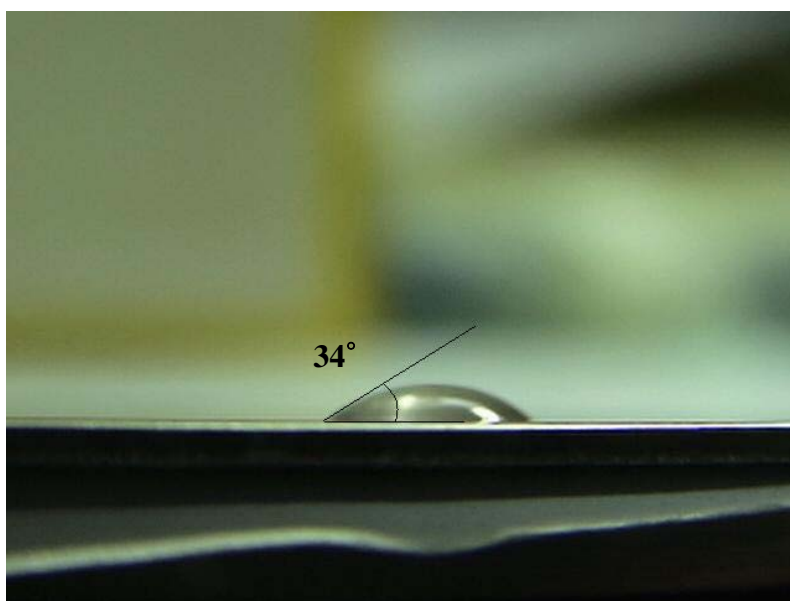


Fig. 4-1 不銹鋼的接觸角，約為  $34^{\circ}$

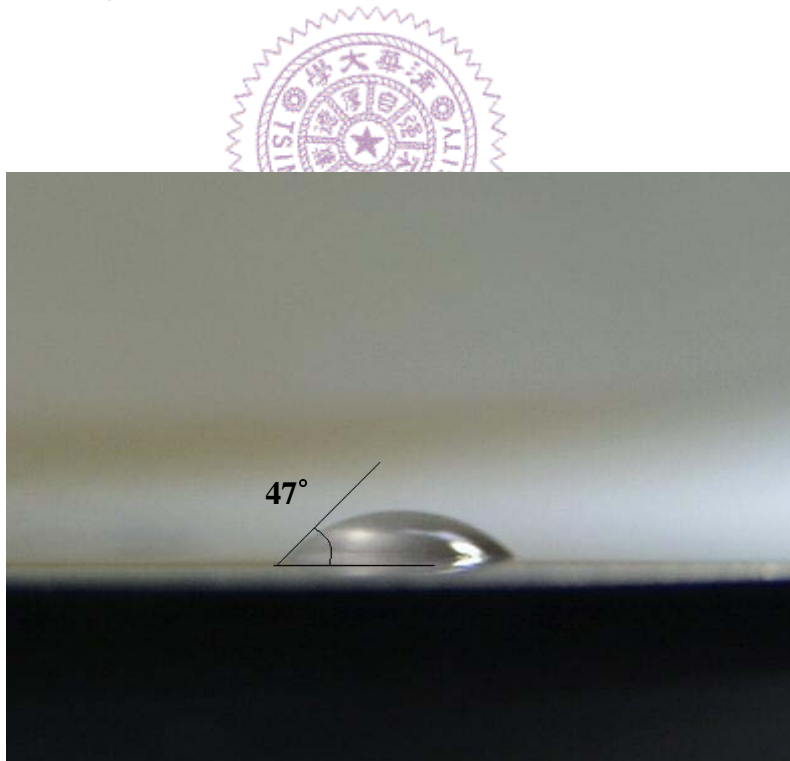


Fig. 4-2 純鈦的接觸角，約為  $47^{\circ}$

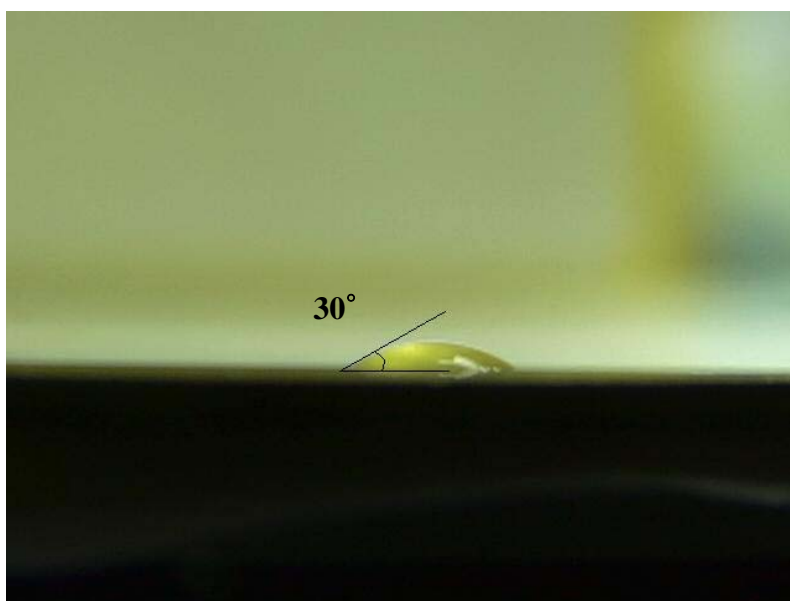


Fig. 4-3 黃銅的接觸角，約為  $30^\circ$

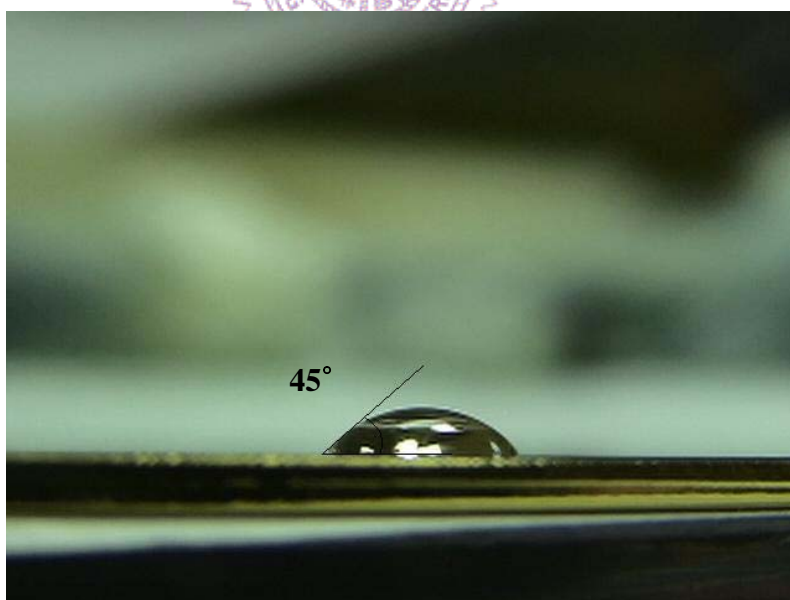


Fig. 4-4 不銹鋼的接觸角，約為  $45^\circ$

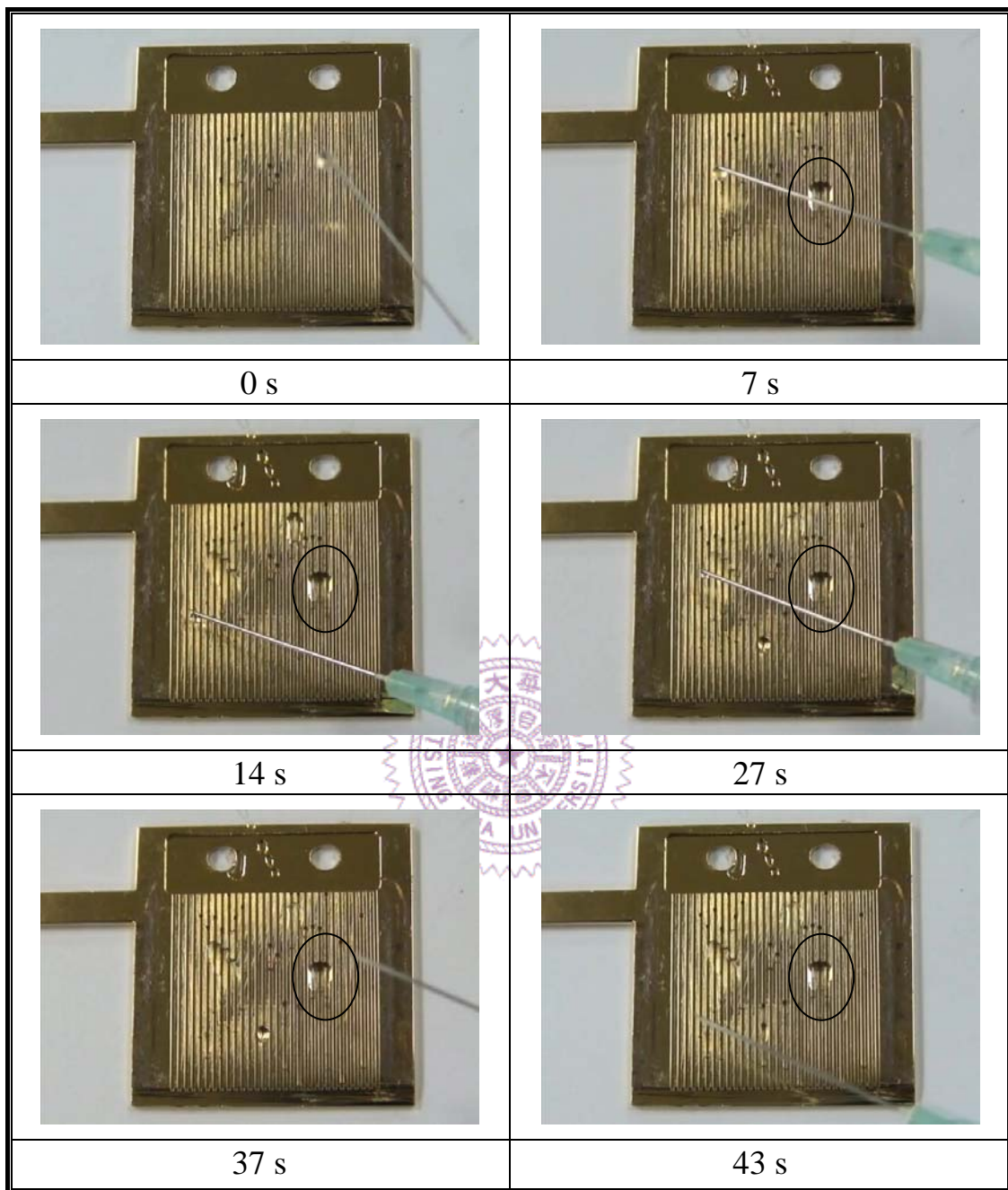


Fig. 4-5 第一型平行流道吸水能力測試圖

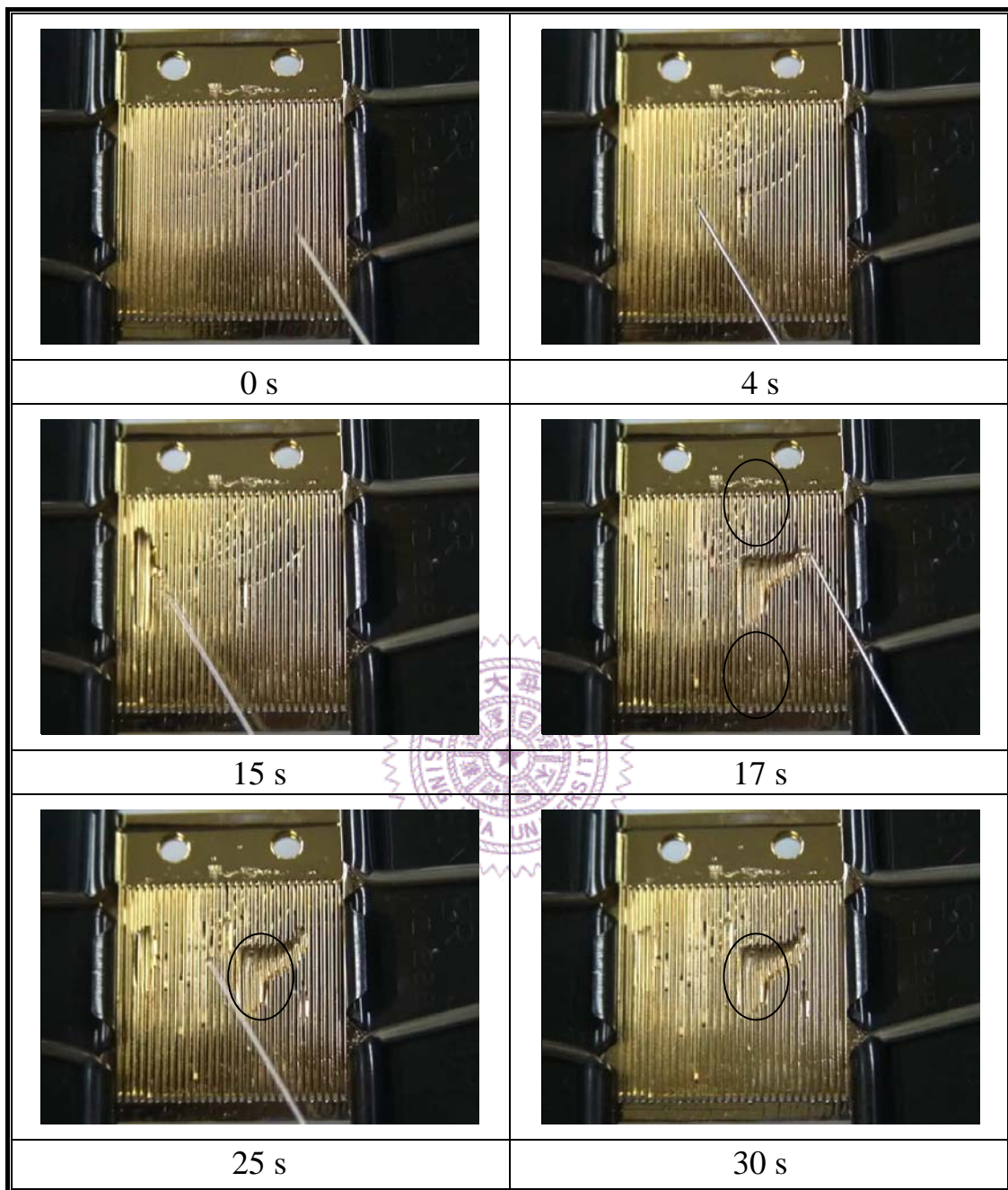


Fig. 4-6 第二型平行流道的吸水能力測試圖



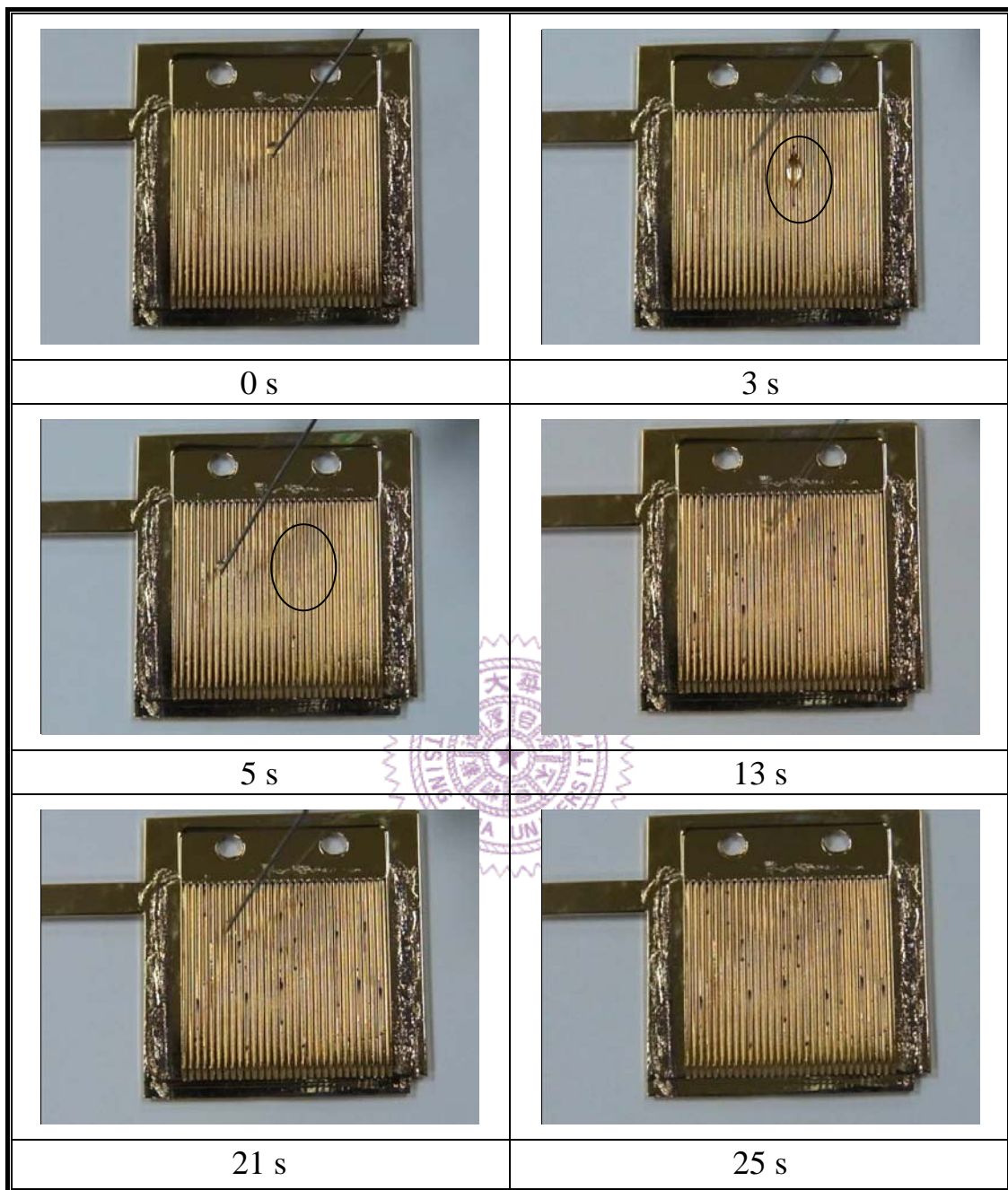


Fig. 4-7 第三型平行流道吸水能力圖



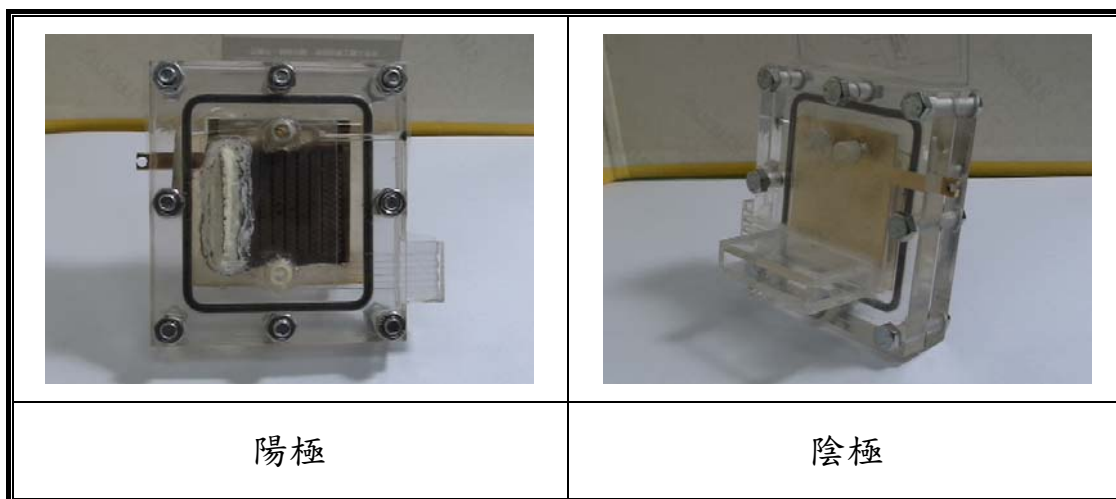


Fig. 4-8 組裝好的 DMFC 單電池

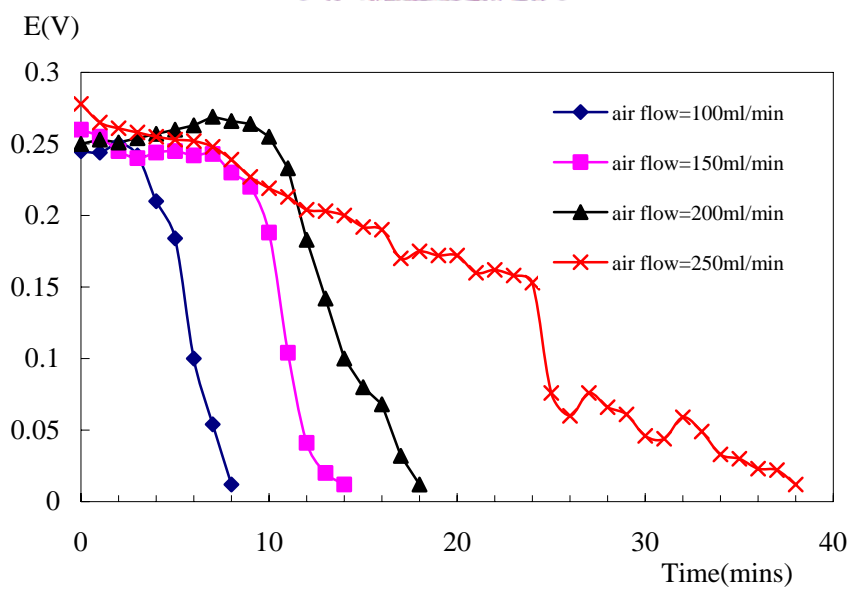


Fig. 4-9 第一型平行流道下之性能穩定測試圖

( $I=100\text{mA}$ 、 $T=50^{\circ}\text{C}$ 、甲醇濃度=2M、甲醇流率 80ml/h)

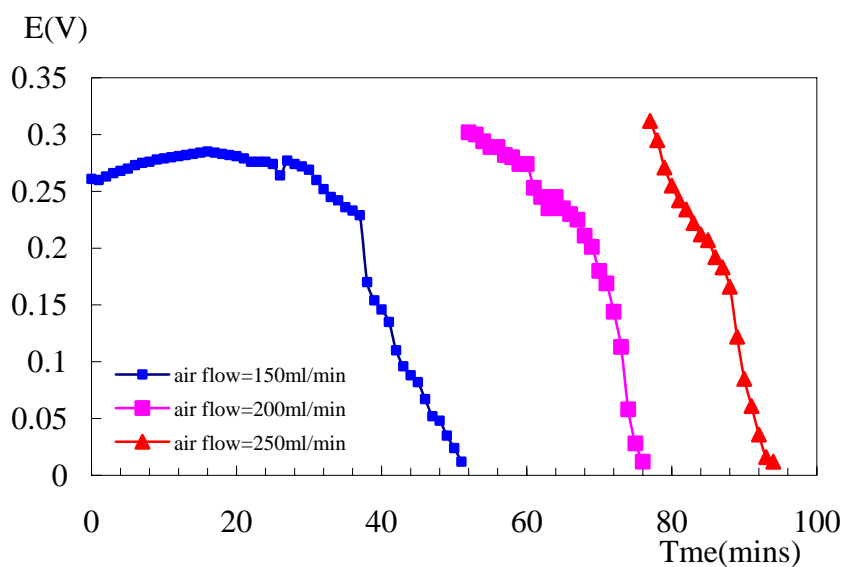


Fig. 4-10 第二型平行流道下之性能穩定測試圖

( $I=1000\text{mA}$ 、 $T=50^{\circ}\text{C}$ 、甲醇濃度=2M、甲醇流率 80ml/h)

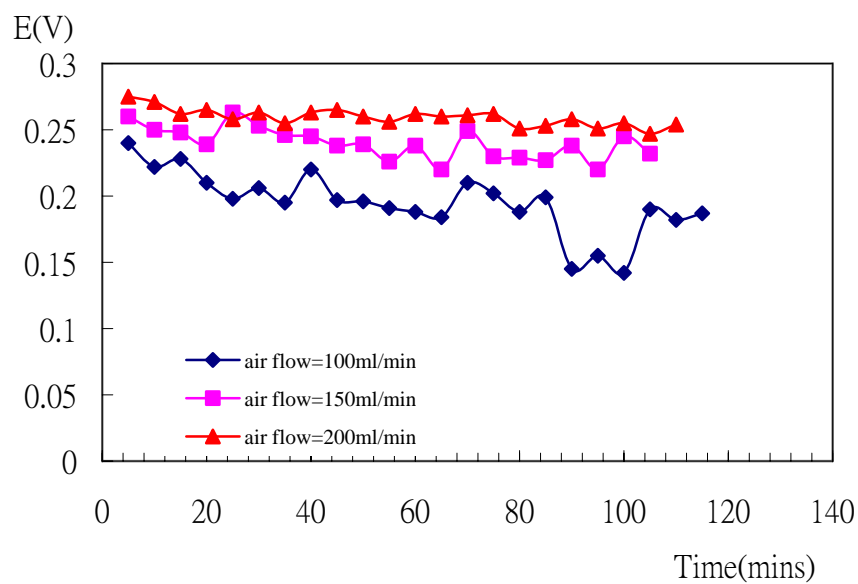


Fig. 4-11 第三型平行流道不同空氣流量下之性能穩定圖

( $I=1000\text{mA}$ 、 $T=50^{\circ}\text{C}$ 、甲醇濃度=2M、甲醇流率 80ml/h)

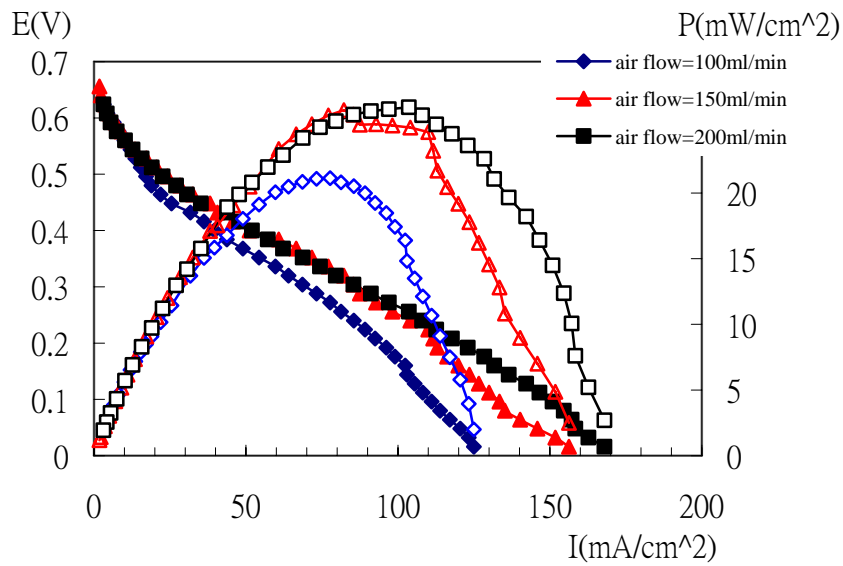


Fig. 4-12 第三型平行流道在不同空氣流量下之性能曲線

( $I=1000\text{mA}$ 、 $T=50^{\circ}\text{C}$ 、甲醇濃度 $=2\text{M}$ 、甲醇流率  $80\text{ml/h}$ )

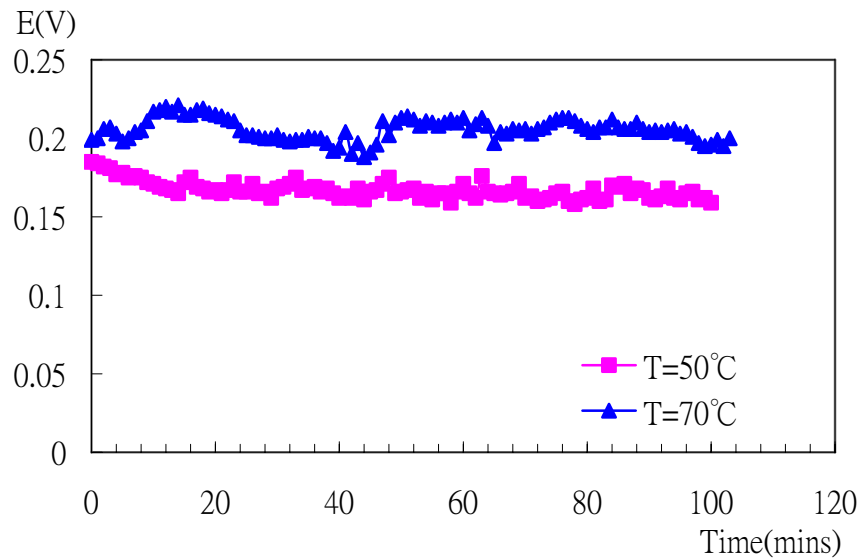


Fig. 4-13 第三型平行流道在不同溫度下之性能穩定圖

( $I=1000\text{mA}$ 、 $\text{air flow}=150\text{ml/min}$ 、甲醇濃度 $=2\text{M}$ 、甲醇流率  $80\text{ml/h}$ )

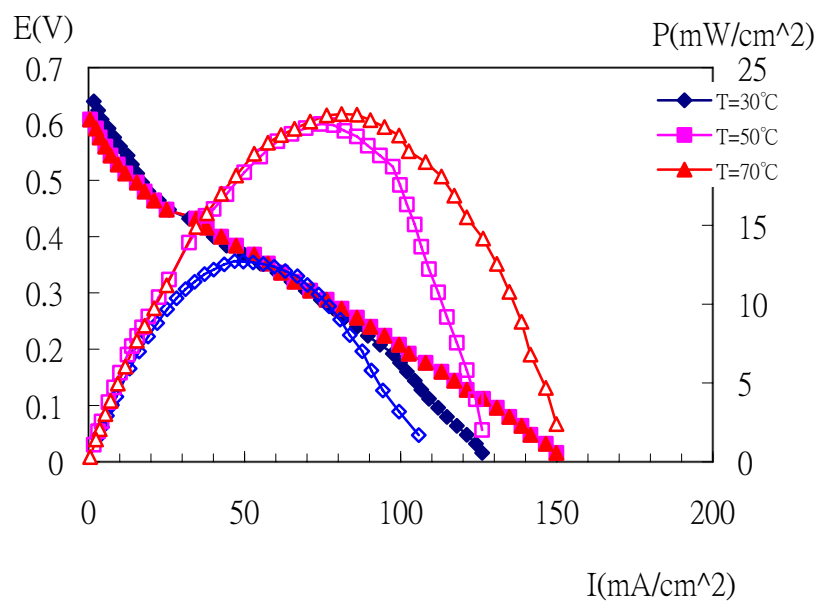


Fig. 4-14 第三型平行流道在不同溫度下之性能曲線

(air flow=150ml/min、甲醇濃度=2M、甲醇流率 80ml/h)

