

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

質子交換膜燃料電池之系統製作與模擬

The Study of Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Fabrication and Simulation

研究生：莊漢鵬

指導教授：周長彬 教授

中華民國一百年六月

質子交換膜燃料電池系統製作與模擬

The Study of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Fabrication
and Simulation

研究生：莊漢鵬

Student : Han-Peng Chuang

指導教授：周長彬

Advisor : Chang-Ping Chou



國立交通大學
機械工程學系
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Mechanical Engineering

June 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一〇年六月

新能源燃料電池之系統製作與模擬

學生：莊漢鵬

指導教授：周長彬

國立交通大學機械工程學系（研究所）碩士班

本研究將針對質子交換膜燃料電池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC）之輕質化電池組進行設計。由於雙極板佔燃料電池組百分之九十的體積，為主要重量來源，因此新型複合雙極板將選用輕質材料披覆導電銅層與金層，使得非鐵金屬或非金屬材料具有金屬化結構，以達到具有電傳導特性及較佳物理、化學等特性。本研究所製作之電池組，可較傳統電池組減低 70% 之重量。

本研究第二部份是使用美商國家儀器公司所開發之軟體—LabView，利用程式控制之方式，擷取實驗所開發質子交換膜燃料電池電池組之性能。此外建構混合電力系統應用於生態養殖之範例，藉由程式控制與資料擷取，根據生態養殖系統所需之電力負荷，取得太陽能電池與備用電源之發電功率，透過備用電源之模擬，取得所需燃料電池之系統。未來將可針對各種需求的電力負荷，藉由相似性分析的方式，將燃料電池及太陽能電池之電力系統擴大化。

關鍵字：PEMFC、質子交換膜燃料電池、雙極板、混合電力系統

The Study of proton exchange membrane fuel cell fabrication and Simulation

Student : Han-Peng Chunag

Advisors : Chang-Pin Chou

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This study provided a lightweight design in proton exchange membrane fuel cell. because the bipolar plate occupy the ninety percent of the volume, and the main source of weight in PEMFC, so this study decreased the weight and cost by choosing plastic material which is coated with conductive copper and gold to be bipolar plate. Making the non-ferrous metal or non-metallic materials have metal structures like electrical conductivity, the physical or chemical and other properties. The stack's weight in this study can be decreased 70% than conservative stack.

The second part of this study is using LabView which developed by National Instruments Corporation, to get the performance data from proton exchange membrane fuel cell stack and each cells in this stack. And provide an example of ecological farming to be the hybrid power system application, through program control and data acquisition, to get the power data of ecological farming system load requirement. According the solar cell and backup power's performance to simulate fuel cell's specifications. This application will be amplify to base on the demand for the variety of electrical load in the Future.

Keywords: Fuel cells, PEMFC, Bipolar plate, Hybrid power system

致 謝

首先感謝周長彬老師在研究所兩年給我的指導，使我的碩士生活獲益良多，在研究所學會該如何找出問題的重點，解決所面臨的問題，學會該如何處理人際關係與做人的道理。感謝吳信達學長在實驗與學理上的協助與指導，並指導我參加許多比賽。在比賽的過程中，讓我學到許多課本上沒教過的事。另一方面也感謝口試委員徐瑞坤老師與鄭璧瑩老師的指導與建議，得以使論文更佳的完善，有了這些成果，我相信在未來職場上已有足夠的能力與決心，去面對所有的挑戰。

感謝實驗室裡的每個同伴，謝謝博士班的學長姐柏青、治豪、孟宏、蔓蕙、偉仁、世基、祐全給我鼓勵與協助，碩士班學長姐肇宏、元駿、吉修、明良與貞慈，和我的同學們治偉、宏信、彥彬、阿勇、偉隆，陪我一起奮鬥、一起玩樂，感謝你們在生活與學業上給予我幫助，此外還有學弟妹正峰、阿貴、天一、阿咪，在我研究所的生活中，能與大家成為異姓兄弟，讓我覺得非常幸運，在學期間也感謝奇美電子提供獎學金，使我求學過中得到幫助。

最後感謝我的父母親，你們多年來無私的奉獻與關懷，不論在什麼情況下，都帶給我溫暖、鼓勵著我，謝謝你們使我能夠成功完成研究所的學業。研究所兩年轉眼就過去了，誠摯的感謝在我生活中出現的每一個人，沒有你們將不會有今天的我，謝謝你們。

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第一章 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 燃料電池簡介	2
1-3 文獻回顧	5
1-3.1 燃料電池應用相關文獻回顧	9
1-3.2 電池組系統操作相關文獻回顧	9
1-3.3 雙極板相關文獻回顧	11
1-3.4 膜電極相關文獻回顧	14
1-3.5 燃料電池系統模擬與控制相關文獻回顧	15
1-4 研究動機與目的	16
第二章 理論分析	19
2-1 燃料電池發電原理	19
2-1.1 質子交換膜燃料電池系統	19
2-1.2 質子交換膜燃料電池膜電極	22
2.2 雙極板金屬化	22
2-2.1 雙極板簡介	22
2-2.2 塑膠金屬化方法	23
2.3 混合電力系統設計原理	25
第三章 實驗設計及方法	27
3-1 實驗流程規劃	29
3-1.1 雙極板製備流程	29

3-1.2	MEA 製備-----	30
3-1.3	單電池活化及耐久性測試-----	33
3-1.4	電池組組裝流程-----	34
3-1.5	混合電力系統之應用-----	35
3-2	實驗儀器介紹-----	39
3-2.1	燃料電池單電池測試機台-----	39
3-2.2	熱壓機-----	40
3-2.3	四點探針阻抗測試-----	41
3-2.4	資料擷取設備-----	42
第四章	實驗分析與過程探討-----	43
4-1	燃料電池製作-----	43
4-1.1	MEA 製作-----	43
4-1.2	雙極板製備-----	46
4-1.3	單電池測試分析-----	47
4-1.4	燃料電池組組裝-----	48
4-1.5	電池組電性分析-----	55
4-2	混合電力系統-----	57
4-2.1	硬體設備建構-----	57
4-2.2	系統程式-----	62
第五章	結論及未來展望-----	71
5-1	結論-----	71
5-2	未來展望-----	72
第六章	參考文獻-----	75

表目錄

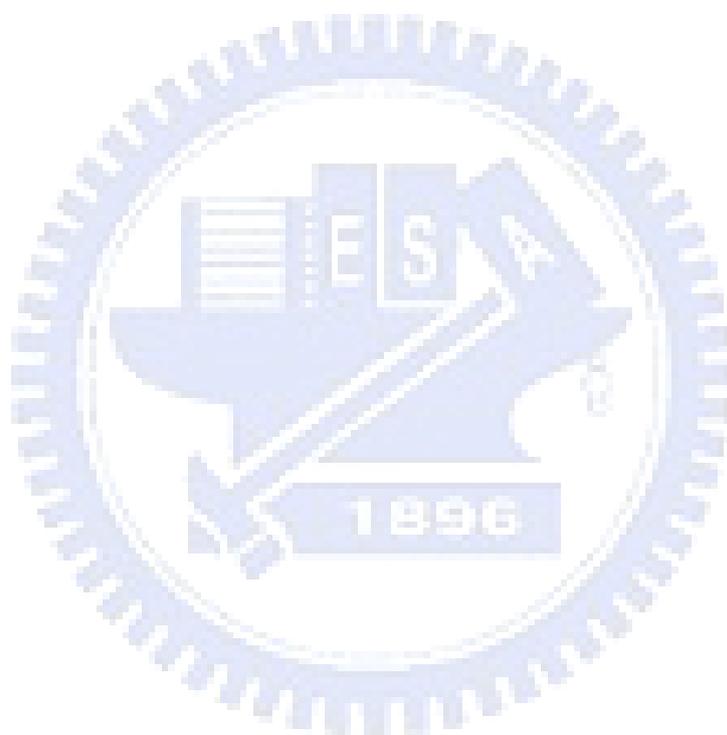
表 1-1	其他國家燃料電池產業發展現況	4
表 1-2	PEMFC 與 DMFC 比較	5
表 1-3	其他相關文獻之燃料電池組規格	15
表 2-1	雙極板材質性質比較	23
表 2-2	雙極板成本比較	23
表 2-3	壓克力材料特性	25
表 3-1	水體養殖條件	37
表 3-2	四點探針電阻儀規格	42
表 4-1	本實驗所使用 GDL 規格表	43
表 4-2	不同壓合條件下 MEA 接觸電阻量測	45
表 4-3	成品規格 $5*5\text{ cm}^2$ 及 $2*5\text{ cm}^2$ 實體量測雙極板電阻值	47
表 4-4	鋁箔膠帶規格	49
表 4-5	所製作之 5V、6V 電池組規格表	54
表 4-6	太陽能模組功率測試	61
表 4-7	養殖系統所使用之設備一覽表	66
表 5-1	電池組規格比較	73

圖目錄

圖 1-1	2009 年前台灣雙極板專利發明申請比例	6
圖 1-2	2009 年前美國雙極板專利發明申請比例	6
圖 1-3	過去五年台灣及美國雙極板專利成長趨勢	7
圖 1-4	(a)德國西門子公司 34kW PEFC 燃料電池系統(b)德國 Class 212 潛艇	9
圖 1-5	Young-Jun Sohn 所開發質子交換膜燃料電池組(a)16 cells (b)21 cells	11
圖 1-6	雙極板種類	17
圖 1-7	常用雙極板(a)金屬雙極板(b)複合碳板	18
圖 2-1	燃料電池工作原理示意圖	19
圖 2-2	電鍍槽示意圖	24
圖 2-3	真空濺鍍示意圖	24
圖 3-1	實驗流程圖(a)輕量化電池組製作流程圖(b)性能測試流程圖	27
圖 3-2	雙極板製備程序圖	29
圖 3-3	浸泡於 H_2O_2 溶液中之現象	31
圖 3-4	浸泡於硫酸溶液中之現象	31
圖 3-5	觸媒製備情形	32
圖 3-6	MEA 壓合情形	32
圖 3-7	MEA 製作流程圖	33
圖 3-8	單電池組裝示意圖	34
圖 3-9	能源屋概念圖	36
圖 3-10	小型水體養殖模型	37
圖 3-11	太陽能與燃料電池電力搭配示意圖(夏季)	38
圖 3-12	太陽能與燃料電池電力搭配示意圖(冬季)	38
圖 3-13	燃料電池測試機台	39
圖 3-14	熱壓機	41
圖 3-15	四點探針實體圖	41
圖 3-16	資料擷取設備 NI USB-6008	42
圖 4-1	GDL24BC 與 GDL10BC 壓合後之比較	44

圖 4-2	不同壓合條件下MEA 接觸電阻變化圖-----	46
圖 4-3	鍍膜後雙極板接觸電阻量測-----	47
圖 4-4	單電池功率比較-----	48
圖 4-5	MEA 膜電極-----	49
圖 4-6	燃料電池接合方式-----	50
圖 4-7	MEA 與雙極板接合後電阻量測(A)正常(B)矽膠量過多-----	50
圖 4-8	燃料電池組模型圖-----	51
圖 4-9	燃料電池組測試圖 (A)加裝阻氣板(B)未裝阻氣板-----	51
圖 4-10	燃料流動路徑(A)有裝阻氣板(B)未裝阻氣板-----	52
圖 4-11	本實驗所製作燃料電池組(A)雙極板鍍膜後雕刻(B)雙極板射出成型後鍍膜-----	53
圖 4-12	本實驗所製作燃料電池組接觸電阻比較(A)雙極板鍍膜後雕刻(B)雙極板射出成型後鍍膜-----	53
圖 4-13	PMMA 複合雙極板 5V、6V 電池組重量比較(A)雙極板鍍膜後進行雕刻流道(B)雙極板射出成型後鍍膜-----	54
圖 4-14	燃料電池運作情形-----	55
圖 4-15	燃料電池量測情形-----	56
圖 4-16	燃料電池各單電池發電電壓值-----	56
圖 4-17	燃料電池組發電電壓-----	57
圖 4-18	模擬混合電力電源設備-----	58
圖 4-19	電流感測器-----	58
圖 4-20	DC TO AC 轉換器-----	59
圖 4-21	控制元件-----	59
圖 4-22	達靈頓 IC-----	59
圖 4-23	太陽能模組測試情形-----	61
圖 4-24	太陽能電池電性擷取程式-----	63
圖 4-25	太陽能電池電性資料(A)電壓(B)發電功率-----	63
圖 4-26	電子設備啟動時序圖-----	66
圖 4-27	電子設備消耗功率-----	67
圖 4-28	系統時間程式-----	67

圖 4-29 電子設備驅動程式-----	68
圖 4-30 備用電源(模擬燃料電池)電性擷取程式-----	68
圖 4-31 備用電源(模擬燃料電池)發電情形-----	69
圖 4-32 根據電流值所推導之燃料質量流率-----	70
圖 4-33 太陽能電力與燃料電池電力搭配圖-----	70



第一章 緒論

1-1 前言

由於地球環境遭到嚴重的破壞，和石油資源不足的警訊，使得環保議題受到世界各國之重視。因此聯合國於 1992 年召開「地球高峰會議」，會議中提出「21 世紀議程 (Agenda 21)」，期望國際間貿易、技術與資訊合作能夠建立在永續發展之基礎上。而於 1997 年在日本京都發佈了《京都議定書》，更制訂各先進工業國家二氧化碳排放減量的標準，限制各國溫室氣體的排放量以抑制日趨嚴重的全球暖化現象。二氧化碳，是造成全球暖化的主要原因之一，因此各國工業在未來之發展，一定要限制二氧化碳的排放量，並努力研發新的替代能源[1]。

台灣屬於能源稀少的國家，能源的主要來源大多仰賴進口，因此國內油、電價格容易受到國際市場的影響。為了解決這類問題，必須提高國內對先進能源的研究和發展，同時學習各先進國家對廢棄物的回收利用，以達到永續發展的願景。在政府的推廣下，許多新能源技術已逐漸的成熟，例如：太陽能、風力、生質能、燃料電池等技術，因此替代能源已漸漸成為目前研究方向之主流。

而燃料電池被世人公認為最潔淨的再生能源之一，因此各國對燃料電池的研究也逐漸提高，以期望未來能以燃料電池取代現有的發電設施；例如：將取代大型發電場的高溫型固態氧化物燃料電池(SOFC)；取代可攜式

3C 電子產品電力來源的直接甲醇燃料電池(DMFC)和質子交換膜燃料電池(PEMFC);在交通運輸方面,質子交換膜燃料電池(PEMFC)已被認為是未來最佳之動力來源,此外像是不斷電系統(UPS)及偏遠地區的輔助電力,也是質子交換膜燃料電池未來發展的方向之一[2]。

1-2 燃料電池簡介

英國科學家 William Grove 於 1839 年在實驗中思考到,將水通電後進行電解反應會產生氫氣與氧氣,若將此行為進行逆向操作是否能得到電?因此 William 博士將浸泡在電解液中的金屬棒鍍上一層鉑黑當作電極,並接上負載,經過實驗驗證後,氫氣和氧氣的確可因為電化學反應而產生直流電流,因而發明瞭第一顆燃料電池[3]。

燃料電池真正蓬勃發展是在 1960 年代,各國開始發展太空國防工業。美國首先將質子交換膜燃料電池導入期太空計畫中[4],並在各國科學家的努力下,使得燃料電池的發電效率及小型化方面皆有顯著的成長,更促成其商業化的蓬勃發展。如今燃料電池利用其模組化的優點,滿足各種規格的電力需求,因此包括 3G 電子產品、運輸設施、家用發電設備、大型發電廠等皆可發現燃料電池的應用實例[5]。其優點有:

(1) 發電轉換效率高

因為燃料電池的發電方式是藉由透過化學反應得到電能,因此不受卡

諾循環的限制，理論上燃料電池的轉換效率可達 80~90% ，但因為受到目前技術上的限制，實際的轉換效率大約在 50% 左右。

(2) 低噪音

如同第一點所提及，燃料電池的發電方式是使用化學能轉電能，因此發電的同時並不會產生摩擦，所以發電過程不會產生噪音。

(3) 低污染

目前質子交換膜燃料電池所使用之燃料大多以純氫和純氧為主，因此燃料中的碳化物及硫化物較少，而且其發電方式是以電化學反應進行，而非燃燒反應，所以氮氧化物、硫氧化物及二氧化碳的排放量都非常的少。

(4) 持續性電源

燃料電池是由外部供應燃料來發電，若假設內部元件正常的情況下，只要持續供應燃料，就會不斷產生電力。此外燃料電池依其電解質和燃料的不同可區分為：

1. 鹼液型 (AFC ; alkaline fuel cell)
2. 磷酸型 (PAFC ; phosphoric acid fuel cell)
3. 熔融碳酸鹽型 (MCFC ; molten carbonate fuel cell)
4. 固態氧化物型 (SOFC ; solid oxide fuel cell)
5. 質子交換膜型 (PEMFC ; proton exchange membrane fuel cell)
6. 直接甲醇燃料電池 (DMFC ; direct methanol fuel cell)

在我國政府新能源政策的推動下，燃料電池之應用發展逐漸普及，國內科技業者透過產學合作、技術授權之方式，取得國內外知名學者的燃料電池技術結晶，而成立能源科技之產業[6]，例如：泰新能源[7]、亞太燃料電池[8]…等，為求使國內燃料電池發展更為蓬勃，這些科技公司之研發重點主要以實用性為主，強調如何降低商品化之成本與提高電池組之功能性，以期望未來能與外國產業並駕齊驅，表 1-1 為各國燃料電池產業發展現況[9]。

其中國內燃料電池之發展又以 PEMFC 及 DMFC 最受重視[10]，其規格如表 1-2 所示。PEMFC 與 DMFC 具備工作溫度低之優點，可廣泛應用於日常生活所需之裝置，如 3C 可攜式產品[11]、交通運輸[12]等工業。至於上述其他型式的燃料電池中 AFC 多用於太空工業；MCFC、SOFC 則較常用於分散型與集中型的大型發電廠；PAFC 的用途則主要在汽電共生式現場型與分散型裝置[13-15]。

表 1-1 其他國家燃料電池產業發展現況(資料來源：工研院 IEK)[9]

	美國	日本	歐盟	韓國	印度	中國大陸	台灣
應用市場	軍事用途 汽車 定置型系統	汽車 3C 產品 家用系統	汽車 定置型系統	汽車 3C 產品	運輸車輛 小型定置型系統	運輸車輛 定置型系統	運輸車輛 小型定置型系統 3C 產品
技術類型	PEMFC SOFC 儲氫技術	PEMFC DMFC SOFC 儲氫技術	PEMFC 及 關鍵材料 SOFC 產氫技術	PEMFC (雙極板…等) DMFC	PEMFC 儲氫合金	PEMFC Stack 關鍵材料 儲氫材料	PEMFC (雙極板、BOP) DMFC

表 1-2 PEMFC 與 DMFC 比較[10]

種類	PEMFC	DMFC
電解質	高分子膜	高分子膜
操作溫度	常溫~90°C	常溫~130°C
反應物 ANODE	混合氫氣	甲醇
使用觸媒	Pt	Pt-Ru
反應物 CATHODE	氧氣/空氣	氧氣/空氣
發電效率	45~50%	~40%
特性	功率密度高，體積小， 重量輕，工作溫度低。	不需使用燃料重組器，系統簡單。 容易產生甲醇會穿透高分子膜之 現象。
應用範疇	運輸電力 家用型發電機組 可攜式電源	運輸電力 家用型發電機組 可攜式電源

1-3 文獻回顧

燃料電池之商品已逐漸在市場普及，尤其在可攜式電力、電動車方面更為完善。各國學者與業者紛紛發表其研究成果於知名期刊與專利，以求使未來產業發展更為迅速。本文蒐集國內外燃料電池相關技術之發展與應用情形，並針對國內外在燃料電池發展中所使用之雙極板材料，進行統計分析，圖 1-1、1-2 為 2009 年以前臺灣及美國在燃料電池發明中所使用雙極板比例，我國在燃料電池之發展上，主要以石墨雙極板(212 件)、金屬雙極板(209 件)及複合材料(57 件)作為燃料電池元件之使用，相較於台灣之發展現況，美國在雙極板材料之發展成平行發展之現象，不論是主流的石墨板、金屬板，或被認為是未來趨勢之複合材料、合金材料之雙極板，都有相當的研究比例。圖 1-3 說明，過去五年台灣及美國專利成長趨勢[16][17]。

台灣雙極板專利申請比例

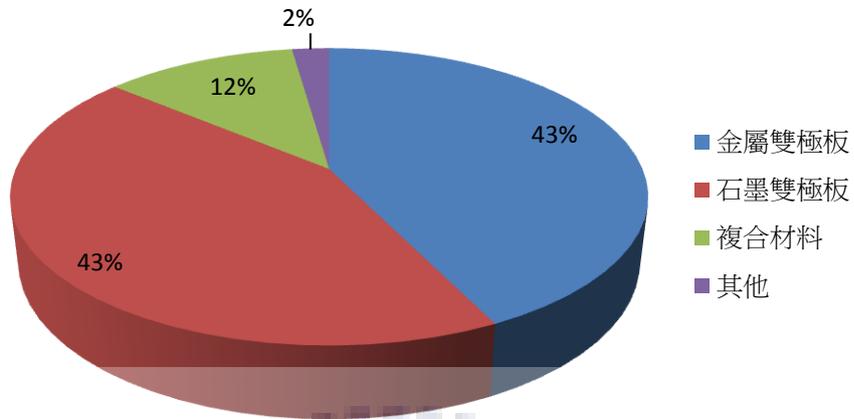


圖 1-1 2009 年前台灣雙極板專利發明申請比例[16]

美國雙極板專利申請比例

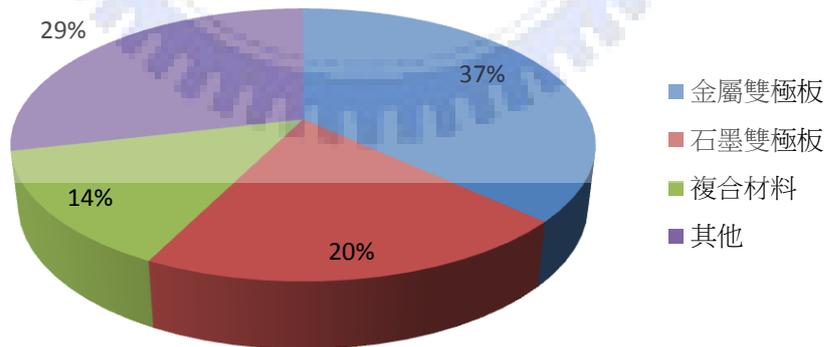
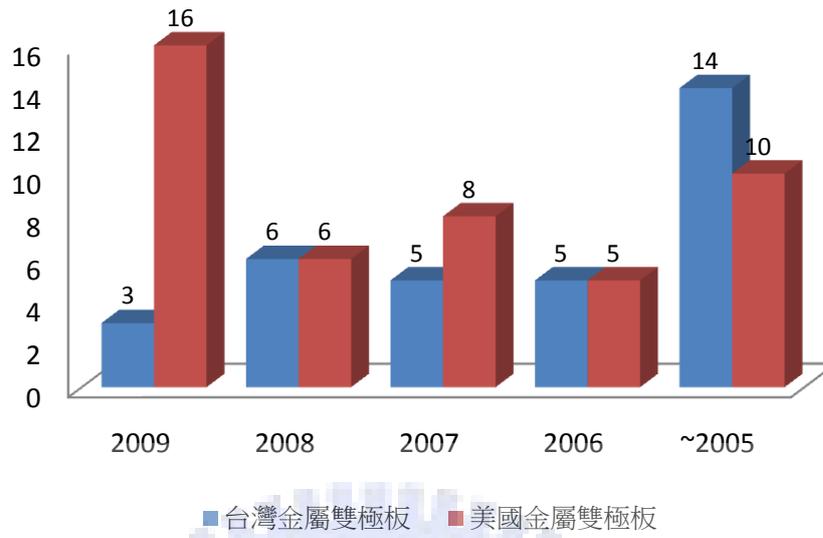
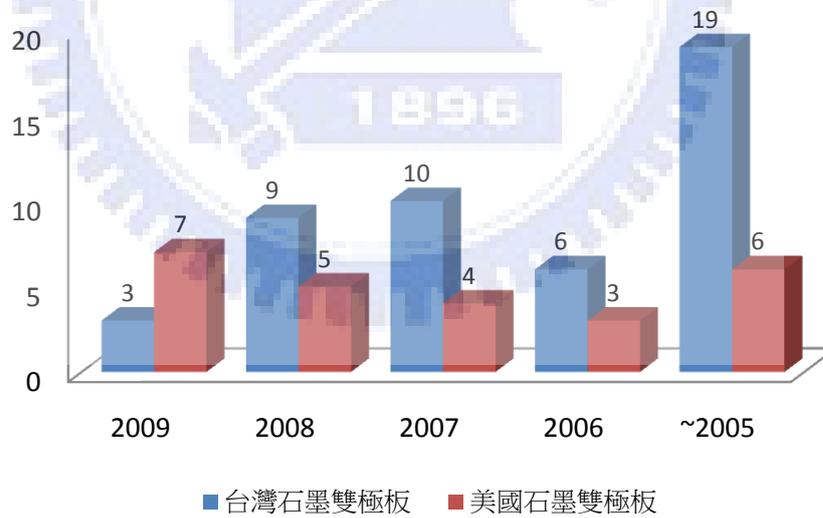


圖 1-2 2009 年前美國雙極板專利發明申請比例[17]

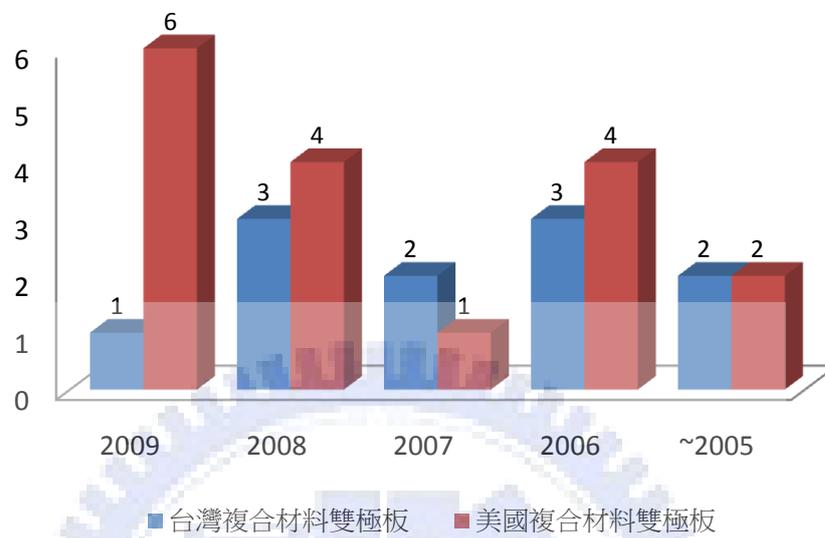


(a)



(b)

圖 1-3 過去五年台灣及美國雙極板專利成長趨勢[16-17]



(c)



(d)

圖 1-3 續 過去五年台灣及美國雙極板專利成長趨勢[16-17]

1-3.1 燃料電池應用相關文獻回顧

Gunter[18]透過分析近年來海軍潛水艇與軍艦所使用之動力系統，認為燃料電池具備低噪音、低熱損失與環境所造成之破壞較少等優點，認為是取代原有狄賽爾動力循環系統之最佳辦法，並舉出德國西門子公司所發展的 34kW 之 PEAC 燃料電池組，成功使用於德國 Class 212 潛艇，但因為燃料來源取得不易，將只能預先儲備純氫、純氧當作為燃料，如圖 1-4 所示。



圖 1-4(a)德國西門子公司 34kW PEFC 燃料電池系統(b)德國 Class 212 潛水艇[18]

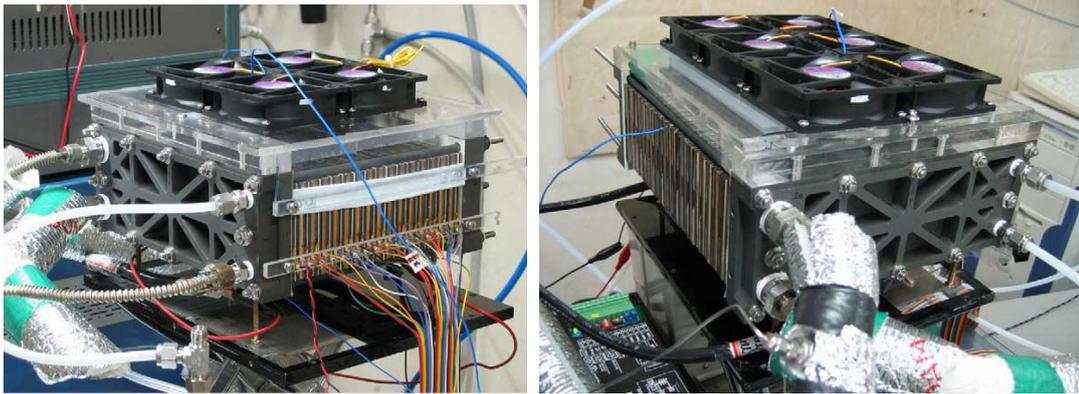
1-3.2 電池組系統操作相關文獻回顧

Barbir 等人[19]使用硬質石墨碳板作為雙極板體材料，而 MEA 使用 W.L. Gore & Associates Inc.之產品，其膜厚度只有 $40\ \mu\text{m}$ ，Pt 觸媒的塗佈量只有 $0.3\text{mg}/\text{cm}^2$ ，電極工作面積為 780cm^2 ，串聯五十個單電池所組成之電池組，總重量 65kg、體積為 37L，啟動後在 2 秒內功率達到輸出功率 7kW 之效能。

Miyake、Sanyo 等人[20]研發出以二十個 PEMFC 單電池串聯的電池組，電極工作面積為 200cm^2 ，Pt 觸媒塗佈量為 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ ，從文獻分析中無法得知期使用何種高分子膜做為電解值，其整體性能為 $10.62\text{V}=500\text{mA}/\text{cm}^2$ (H_2/Air 、 $T_c=80^\circ\text{C}$ 、 $\text{RH}=70/70\%$ 、 $3/3\text{atm}$)。

Picot 等人[21]分析透過分析來自 De Nora 公司所開發的三種質子交換膜燃料電池組之水、熱管理問題，分別為使用 Nafion 117 的 1Kw 電池組與使用 Nafion 115 的 5kw、10kw 電池組所提供的三種電池組。從分析結果得知，Nafion 117 之電池組在進行操作時，反應生成水將全部出現在陰極。而 Nafion 115 之電池組時，在電流密度低於 $400\text{mA}/\text{cm}^2$ 時，水的穿透率可達 40%，在其研究結推論，必須妥善處理水管理與熱平衡問題才能使電池組達到其最佳之狀態。

Young-Jun Sohn[22]等人建立兩組分別為 16 cells 和 21cells，電池工作面積為 100cm^2 ，且使用 Nafion 112 的質子交換膜和加裝風扇，進行分析相對濕度、電池溫度…等對電池組的影響。在其研究成果中，得到在相對濕度達 60% 時，可使此加裝風扇的 500W 電池組得到最佳的效能。



(a)

(b)

圖 1-5 Young-Jun Sohn 所開發質子交換膜燃料電池組

(a)16 cells (b)21 cells[22]

1-3.3 雙極板相關文獻回顧

Buchi 等人[23]使用硬質碳板組成單電池與小型電池組，並探討操作溫度與進氣燃料有無增溼之議題。在電池溫度低於 60°C 時，進氣燃料無增溼之情況下，可透過間接利用反應生成水，達到使質子交換膜達到自我溼潤之效果，使質子交換膜處於最佳的含水狀態，以保持其應有的質子導電度。但電池溫度超過 70°C 時，若無氣體增溼則膜脫水現象即發生。

Chu and Jiang[24]選用硬質碳板製作單電池與 30 cells 之電池組，並探討質子交換膜與電池操作溫度對性能之影響性。研究中使用 Nafion 117、115、112、105 等四種質子交換膜，發現使用 Nafion 112 可使電池組達到最佳效能，電池操作溫度在 50°C 可使電性效能達到最佳狀態。此外並發現若電池組操作溫度處於 30°C 時，進氣燃料之濕度將會影響電池性能。

K. Tuber 等人[25]在其著作中以數值分析之方法，比較蜿蜒流道、平行流道與不規則流道對燃料電池性能之影響。提出流道設計之好壞，在於是否能減少質子傳遞時所需的能量需求，且增加燃料分配均勻度，較好的流道設計勢必能有效地減少電池內不均勻的反應物與產物傳輸現象，減少功率損失。

E.A. Cho 等人[26]使用 90%的石墨+10%的高分子材料作為雙極板製作之材料，並採用熱壓成型與射出成型兩種製程方式。從其研究結果得知，使用射出成型所製作之雙極板，雖然接觸電阻會大於使用熱壓成型，但耐久性與使用性能上，射出成型方式較占優勢，且在高電流密度時，射出成型之雙極板具有較高的疏水性。

Wilson Mahlon 等人[27]提出複合材料具備重量輕、機械性質優良、抗腐蝕、容易成型等特性，並可利用一體成型之方式備出比傳統石墨板更薄的雙極板，對於提升燃料電池性能有很大的幫助。

James Larminie 等人[28]提出可將碳/碳複合材料透過射出成型之加工方法製作雙極板，但為避免成型時發生撓曲，雙極板之厚度必須大於數 mm 以上。

M.H. Oh 等人[29]利用射出成型之方式將高分子塑膠混合石墨粉製備複合石墨板，雙極板之工作面積為 25cm^2 與 50cm^2 ，並於雙極板表層塗佈上鎳(Ni)或鈀-鎳(Pd-Ni)，以達到避免腐蝕和增加電導性。由其實驗結果發現，

所得之複合石墨雙極板導電性雖較原有之石墨板差，但輸出功率可達 $0.37\text{W}/\text{cm}^2$ ，而且在 300 小時的耐久性測試中，並沒有發生性能衰弱之現象。

J.Wind 等人[30]指出金屬雙極板相較於石墨雙極板，具有以下優點：成本低、易於機械加工大量生產、機械強度大、氣密性高與電阻率小。不過由於 PEMFC 的操作環境呈現弱酸性，將會造成金屬容易腐蝕之現象，進而降低電池工作效率及壽命，因此藉由在金屬表面鍍上抗腐蝕層，來增加抗腐蝕性。因此其研究中將黃金與其他金屬鍍於沃斯田不鏽鋼(SS316L，C：0.03%、Cr：16.5~18%、Ni：10~14%)，從實驗結果在 1000 小時的耐久性測試中，某些廉價金屬之表面氧化物生成量不多，並不致於影響內電阻值。

陳科宏等人[31]利用聚乙烯樹脂與石墨粉藉由塊狀模狀成型(BMC)之方式製備高分子複合材料雙極板，並以不同儀器來進一步探討試片的性質。由研究結果可知，其所開發之複合材料雙極板，雖然抗拉強度變差，抗曲強度變強，且有比石墨板更大的電阻值，但仍能保持完整氣密的氣密性；因此其認為 BMC 製程雖然會降低雙極板之效能，但該製程方式較利於大量商業生產。

吳信達在文獻中[32]提及到平板型燃料電池之流場板以後可以改置成陶瓷基板或複合陶瓷加塑料之混合板，而改進現有塑料或 PCB 板(電路板)之問題，因而增加導熱及強度問題，並提及到燃料電池是未來 3C 產業中最具有前瞻性之產品。

陳皇任在其論文[33]中提出由於金屬板與塑膠材料皆具有加工容易、價格低廉的特性，若以金屬板結合塑膠材料製成兩面具有反應氣體流道，而中間設有冷卻流道的雙極板，則這種將冷卻流道與雙極板整合在一起的複合材料雙極板，將具有成本低、製造容易、散熱效果良好、耐腐蝕性、導電性佳、體積小、重量輕、耐沖擊等諸多優點。研究結果顯示：此一複合材料雙極板的技術構想實屬可行，且其材料成本以及加工度皆優於傳統的石墨雙極板。經由單電池性能驗證可知，單一電池功率密度已經可達到 $0.334\text{W}/\text{cm}^2$ ，已屬於可以應用範圍，若能將進行後續的散熱測試、耐久性等各項研究，對燃料電池技術的發展將有很大的助益。

1-3.4 膜電極相關文獻回顧

M. Prasanna 等人[34]透過長時間測試來探討 MEA 製作過程中，是否有經過熱壓處理對電性造成之影響。從其研究成果顯示，當恆流通入 $600\text{mA}/\text{cm}^2$ 之情況下，有熱壓處理之 MEA 輸出電壓為 0.63V ，未經過熱壓處理則為 0.65V ，在經過 500 小時的操作時間下，有經過熱壓處理的 MEA，電壓下降速率為 $0.32\text{mV}/\text{h}$ ，遠高於未熱壓處理的 $0.12\text{mV}/\text{h}$ 。

choi 等人[35]利用 CFD 之方式發現，提出將雙極板之與氣體擴散層之間的接觸面積若是能將燃料電池流道板中之隔板與擴散層之接觸面積降至趨近於零，則能有效地增加反應氣體與擴散層的反應面積，同時增加反應氣體使用率。

1-3.5 燃料電池系統模擬與控制相關文獻

Jeong-Gyu[36]等人，利用可程式控制的 DC 直流電源，和圖控式軟體 LabView 及 DAQ 擷取設備建立燃料電池的動態模擬。該系統模擬之情形相當近似於燃料電池靜態與動態的實際狀況，該系統模擬是以 2 kW 的燃料電池做為實驗目標，並要求其 30% 負荷改變時，其暫態響應時間為 2ms。

Restrepo[37]等人，依 PEMFC 之理論方程式藉由 LabView 建立 PEMFC 的動態與熱傳的數學模型，再與 Relion SR-12 500-W PEM FC stack 數值進行比對，並控制負載由 0A 升高至 21.6A，探討其電壓值及溫度分佈之影響。

Hong-Jun[38]等人，以太陽能電池混合燃料電池系統，建立一分散式電力系統，以解決當太陽下山或陰天時，太陽能電池效率較差所造成電力不足之情形。

表 1-3 其他相關文獻之燃料電池組規格

2008	Chen, C. Y., W. H. Lai, et al.[39]	Planar array stack design aided by rapid prototyping in development of air-breathing PEMFC.	電池數目：10cells 電池大小：6 cm x 6 cm x 0.9 cm 電池工作面積 1.3 cm ² . 使用 H ₂ /O ₂ 做為燃料 工作溫度=70°C
2009	Hinaje, M., D. Nguyen, et al.[40]	Impact of defective single cell on the operation of polymer electrolyte membrane fuel cell stack.	電池數目：23cells 工作面積：100cm ² 額定發電功率：500W 使用燃料：H ₂ /Air 氣體壓力：P _H =接近常壓 P _{air} = 接近常壓 S _{hyd} =2 ; S _{air} =4
2009	Rajalakshmi, N., S. Pandian,	Vibration tests on a PEM fuel cell stack usable in	電池數目：30cells 雙極板材料：Graphite plate

	et al.[42]	transportation application	電極面積：330 cm ² 額定發電功率：500 W 使用燃料：H ₂ /Air
2009	Ladewig, B. P. F.Lapicque (2009)[43]	Analysis of the Ripple Current in a 5 kW Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack	(電池由 Helion Fuel Cell company 提供) 電池數目：75cells 工作面積：342cm ² 額定功率：5 kW 使用燃料：H ₂ /Air 電池工作溫度：70°C 氣體壓力：P _H =1.6bar P _{air} =1.6bar S _{hyd} =1.2; S _{air} =2

1-4 研究動機與目的

為了使質子交換膜燃料電池達到商品化的範疇，必須依其目前所面臨之缺點進行研究。目前市面上已開發的質子交換膜燃料電池組，仍存在許多需要改善的地方，例如：質子交換膜、觸媒、電極、流場板、儲氣瓶等元件[10]。因此本研究針對質子交換膜燃料電池組之雙極板與其組裝過程進行研究，其主要目標分別為：

- (1)利用質輕堅韌的塑膠材料，改良燃料電池組過重之問題。
- (2)改變燃料電池組裝過程之使用元件，以減低製作成本與重量。

雙極板在燃料電池組中，擔任提供氣體流動與電流收集之功用，因此其材料必須具備導電、隔絕氣體、耐溫、抗酸性物質腐蝕和足夠支撐電池之機械強度；此外質子交換膜燃料電池反應過程中，將會產生水與熱，因此雙極板亦必須排水、散熱等性質[3]。而目前燃料電池雙極板的材料：金屬板、石墨碳板及複合碳板等材料，如圖 1-6 所示。金屬板價格昂貴且過於

笨重上，而複合碳板在流道加工上有許多的困難，如圖 1-7 所示，兩者於量產與輕質化上似乎還無法突破。因此質輕堅韌的塑膠複合材料，將是值得研究之課題[26-33]。

而燃料電池裝置在發電時，往往會將單電池進行堆疊以達到足夠的工作電壓。雙極板正是其電力傳輸之主要介面，因此若能提高雙極板之性能，對整體的燃料電池系統必會有大幅的助益。此外目前在燃料電池組之組裝過程中，大多使用金屬墊片作為阻擋氣體洩漏與各單電池間接合之介質，透過簡化燃料電池之組裝零件，將能提高燃料電池普及化之可能性。因此本論文在研究過程中，認為雙極板與電池組裝時所使用之元件，皆對燃料電池在市場上之發展影響甚大，值得投入相當的研究能量。

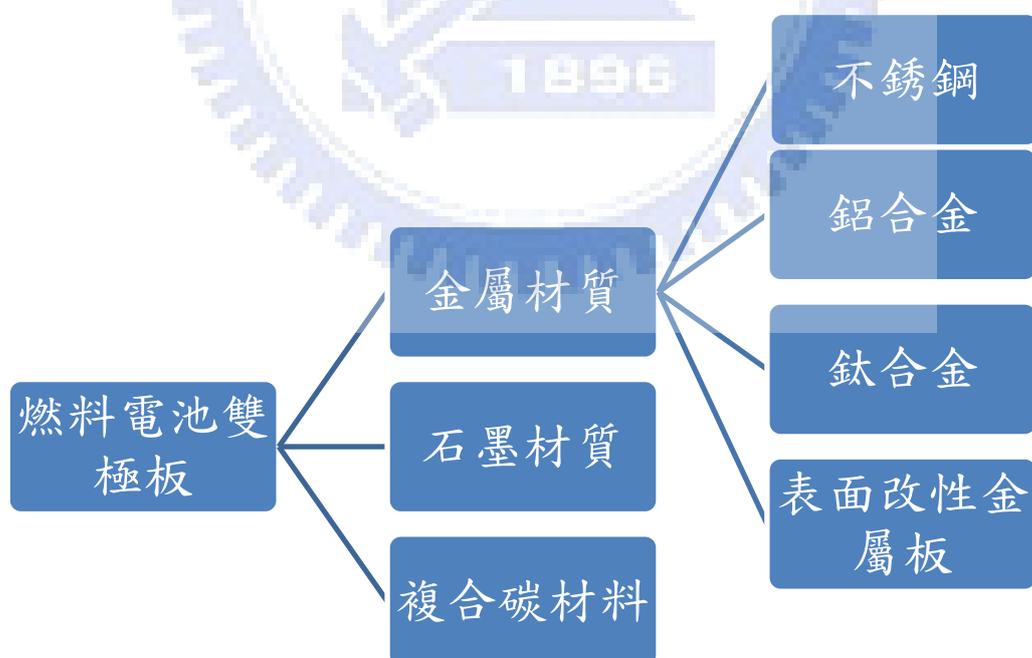
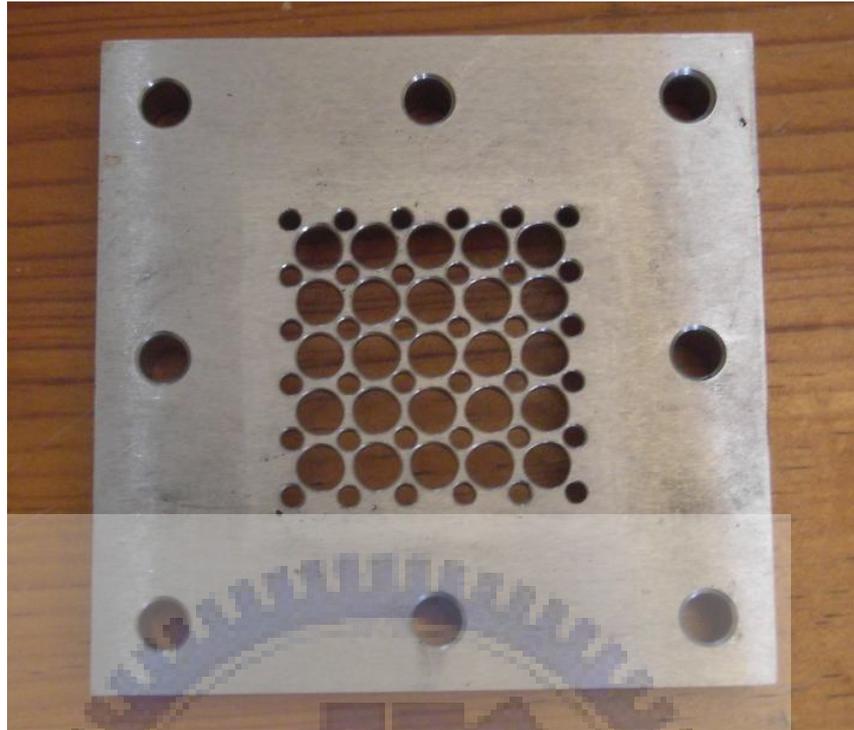


圖 1-6 雙極板種類



(a)



(b)

圖 1-7 常用雙極板(a)金屬雙極板(b)複合碳板[26-33]

第二章 理論分析

2-1 燃料電池發電原理

2-1.1 質子交換膜燃料電池系統

質子交換膜燃料電池發電方式乃是利用電化學反應使氫氣與氧氣結合，產生電能、熱能、水等，因此也稱為電解水的逆反應[3]，如式(2.1)所示。

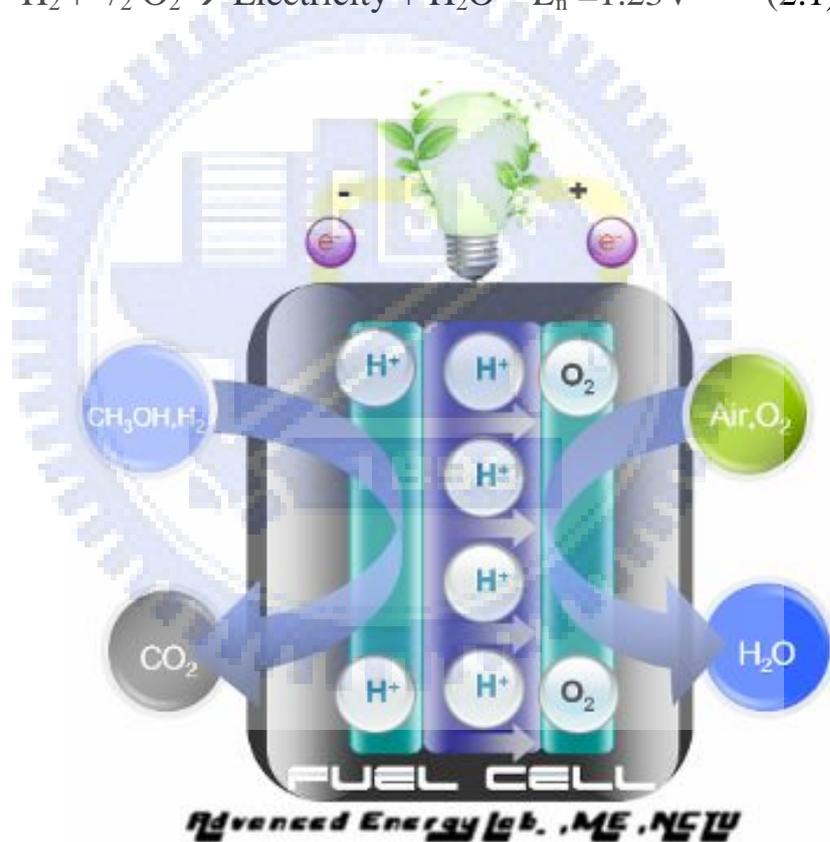
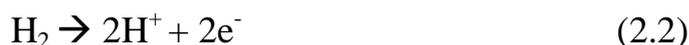


圖 2-1 燃料電池工作原理示意圖

而質子交換膜燃料電池所使用的氣體(氫氣、氧氣)大多會先進行加濕，再通入陽極和陰極流場，以防止中間的電解質產生失水現象，而阻礙質子

的傳遞。當加濕後的氫氣通入雙極板內流場後，沿著氣體流道移動，並藉擴散作用穿透氣體擴散層，然後均勻分佈於含有鉑/碳顆粒之觸媒層，而鉑觸媒會將氫氣分解成為氫質子與電子[10]，可由式(2.2)來表示：



由於氫質子是透過中間的質子交換膜(Proton exchange membrane)與透過外迴路傳遞的電子，在陰極端與氧原子結合，以產生水、熱能與電力，來驅動電力負載構成一個完整的電力迴路。因此必須維持電解質的濕度，否則氫質子再傳輸上將會受到阻礙，其反應方程式如式 2.3 所示：



而燃料電池實際的輸出電壓會等於陰極電位與陽極電位的差，當無輸出電流時，將此時燃料電池的電壓視為開路電壓(Initial Opencircuit Voltage) E_n 。而當電池輸出電流對外做功時，會產生使電壓降低的極化現象(Polarization)，例如：活性極化 (η_{act})、濃度極化 (η_{conc}) 以及歐姆極化 (η_{ohm})，因此燃料電池實際輸出的電壓會等於開路電壓減去極化損失如式(2.4)所示

$$E_{\text{cell}} = E_n - \eta_{\text{act}} - \eta_{\text{conc}} - \eta_{\text{ohm}} \quad (2.4)$$

此外由式(2.2)可知每一個氫氣分子含有兩個電子，而一個電子帶有 1.602×10^{-19} 庫倫之電量，且一克莫爾之電子帶有 96487 庫倫之電量，此外從化學表即可得到每一克莫爾之氫氣，其質量為 2.0158g，因此吾人可計算出產生依安培之電流量所需之氫氣質量流率[44-45]為

$$\dot{m}_{\text{H}_2 \text{ 產生 } 1\text{A 電流}} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} \times \frac{1\text{mol e}^-}{96487\text{C}} \times \frac{1\text{g mol H}_2}{2\text{mol e}^-} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} \times \frac{2.0158\text{g}}{1\text{g mol H}_2} = 6.26 \times 10^{-4} \frac{\text{gH}_2}{\text{min}} \quad (2.5)$$

由式(2.3)可知於燃料電池進行電化學反應時，氧氣之消耗當量為氫氣的 $\frac{1}{2}$ 倍，因此乘上其倍率可得氧氣之質量流量[44-45]為

$$\dot{m}_{\text{O}_2 \text{ 產生 } 1\text{A 電流}} = \dot{m}_{\text{H}_2 \text{ 產生 } 1\text{A 電流}} \times \frac{1\text{g mol H}_2}{2.0158\text{g H}_2} \times \frac{1\text{g mol O}_2}{2\text{g mol H}_2} \times \frac{32\text{g O}_2}{1\text{g mol O}_2} = 4.969 \times 10^{-3} \frac{\text{g O}_2}{\text{min}} \quad (2.6)$$

而本研究採自然進氣膜室之燃料電池組，其使用空氣中之氧氣做為燃料，而空氣中氧分子含量為 21%，且一克莫爾之空氣質量為 28.9 克代入計算[44-45]可得

$$\dot{m}_{\text{Air 產生 } 1\text{A 電流}} = \dot{m}_{\text{O}_2 \text{ 產生 } 1\text{A 電流}} \times \frac{1\text{g mol O}_2}{32\text{g O}_2} \times \frac{1\text{g mol Air}}{0.21\text{g mol O}_2} \times \frac{28.9\text{g Air}}{1\text{g mol Air}} = 0.0214 \frac{\text{g Air}}{\text{min}} \quad (2.7)$$

2-1.2 質子交換膜燃料電池膜電極

質子交換膜之膜電極(MEA)，其組成元件包括：觸媒、氣體擴散層、及質子交換膜，為燃料電池發電過程中最重要的部分。當氫氣透過氣體擴散層接觸到觸媒後，觸媒層將對氫氣進行催化反應，將氫氣中的質子與電子解離，然後氫離子透過質子交換膜傳至陰極端，而電子是經由氣體擴散層傳至雙極板之外電路系統。

2-2 雙極板金屬化

2-2.1 雙極板簡介

雙極板佔燃料電池電池堆中幾乎全部的體積與質量，其主要功能在於將發電過程所使用之氣體經由流道導入陰陽極、生成水的排放及電力的傳遞。因此雙極板材料需具備：導電、隔絕氣體、耐高溫、抗腐蝕、足夠的機械強度、散熱及排水等性質，此外若考慮燃料電池商品化之議題，雙極板材料便須具備流道容易雕塑及輕量化的性質。

目前市售所使用的雙極板大多使用金屬材料和石墨碳板，可是都有其缺點。金屬材料不但重且極不耐酸性物質腐蝕，而石墨板質脆所以不易流道的加工，加上導電性不及金屬材質。因此在本研究中，所使用的雙極板將利用壓克力材料再鍍銅增加其導電性，具有質輕、導電性佳、成本低與疏水性……等特質，不論排水或導入反應液體，都不致因液體殘留而使性能降低，雙極板材質性質與成本比較[46-48]由表 2-1、2-2 說明。

表 2-1 雙極板材質性質比較

項目	石墨板	金屬板	石墨複合板	塑膠金屬板
流道加工	難	難	快	快
成本	高	高	中	低
導電度	高	高	中	高
板型強度	脆	硬	適中	適中
重量	重	重	輕	輕
研究比例	多	多	中	少
備註	國內外	國內外	國內外	本研究開發

表 2-2 雙極板成本比較[46-48]

雙極板材質	重量	材料成本	加工成本	備註
金屬板	~1200g	~550元	~3500元	表面須進行防腐蝕材料添加
碳板	~260g	~600元	~4500元	
複合碳板	~260g	整體評估與碳板相同	~4500元	
塑膠金屬化板	~200g	~50元	~1000元流道切削 ~1500元鍍膜費用	表面須進行防腐蝕材料添加

2-2.2 塑膠金屬化方法

本研究中雙極板所使用金屬化方法，大約有下列幾種：

1. 電鍍法：利用前處理去除鍍件表面的油脂、氧化物銹皮、氫氧化物、灰塵等雜質後，將基材至於電鍍槽內通以直流電使電鍍槽內之電解液中的金屬離子披覆於電鍍物上因此電鍍物必須為導體，通常使用真空蒸鍍於被鍍物表面形成一次之金屬薄膜，再運用電鍍法使金屬層成長至所需厚度[49]。

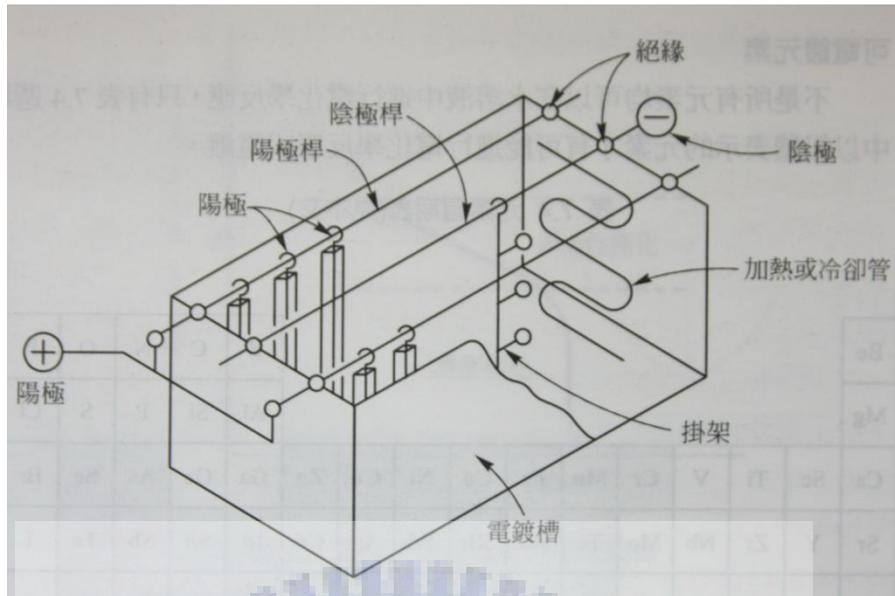


圖 2-2 電鍍槽示意圖[49]

2. 真空濺鍍法：使具有高能量之離子束撞擊欲鍍金屬表面，使欲鍍金屬表面中之原子與分子脫落，稱為濺射。在原子及分子沉積於被鍍金屬之表面，形成薄膜狀，此過程必須處與真空狀態下，確保執行過程中不受到大氣之影響，稱為真空濺鍍法，如圖 2-3 所示。

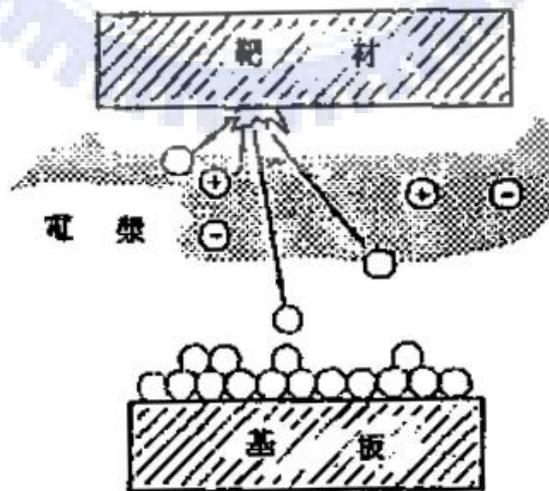


圖 2-3 真空濺鍍法示意圖[50]

一般欲鍍金屬之塑膠材料，多使用俗稱 ABS 的丙烯晴-丁二烯-苯乙烯共聚合物(ABS, Acrylonitrile - Butadene - Styrene)作為塑膠基材，但 ABS 之熱變形溫度約 80~90°C，在質子交換膜燃料電池之工作溫度最高可達 120°C 之情況下，本研究認為該材料可能存在變形之風險，因此選用熱變形溫度約 140~180°C，俗稱壓克力玻璃的甲基丙烯酸甲酯(PMMA, Acrylic Resin)，作為待鍍塑膠底材，壓克力材料特性由表 2-3 說明[51-53]。

表 2-3 壓克力材料特性

特性	熱變形溫度	吸水率	剪斷強度	表面電阻	抗拉彈性係數
	140-180°C	0.3%	630Kg/Cm ²	≥1016Ω	4.3e+005 psi
特性	比重	抗腐蝕性		比熱	熱傳導係數
	1.19~1.2	耐水、酸、鹽類 會受部份 鹼性物質侵蝕		1.424 erg/g. °C	1.675-2.094e+004 erg/sec. cm. °C

2-3 混合電力系統設計原理

在以往再生能源的電力設計上，大多將再生能源作為輔助電力使用，因此不必考慮其發電上的缺失，因為不管其發電過程是否有誤，仍以市電為電力來源的主要供給[54]。

但再生能源的研究不只是為了解決溫室效應的影響，也將可作為對偏遠地區獨立型發電系統的雛型。偏遠地區的電力來源常常必須考慮電力輸

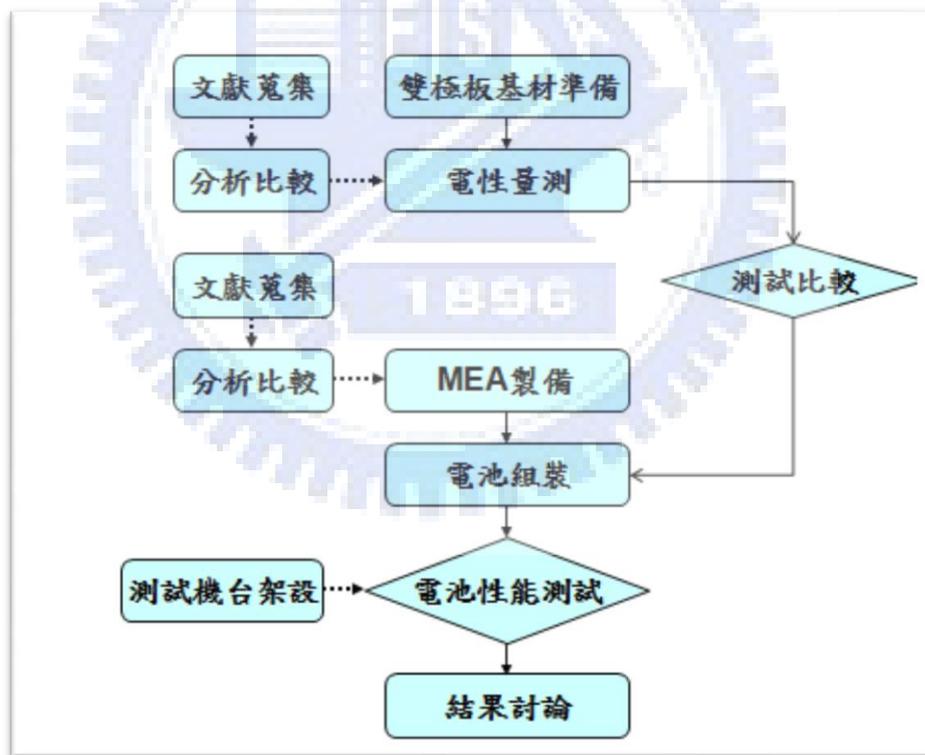
送的問題。目前電力的輸送，主要採取電纜線的傳送方式，而這些電纜線的架設，均需要事先經過各界學者對其地形之探勘、考量其土壤的堅固性以及架設成本等，才能進行實際電纜線架設。因此，在邊遠地區，如山區、沿海地區或人煙稀少之區域，即會發生電力不足的情形。[54-55]

根據上述理由，本計劃設計概念是將運用具有低污染、低噪音、高效率、適用範圍廣的燃料電池，結合太陽能發電系統，或是一般市電系統，以及其它輔助發電設備等來改善上述問題，例如：改善尖峰時刻用電用電量的不足以及偏遠地區限電等問題的發生，同時亦能降低二氧化碳的製造量，因而大幅的降低環境的污染，對台灣在環境保育的推廣有著實的幫助。



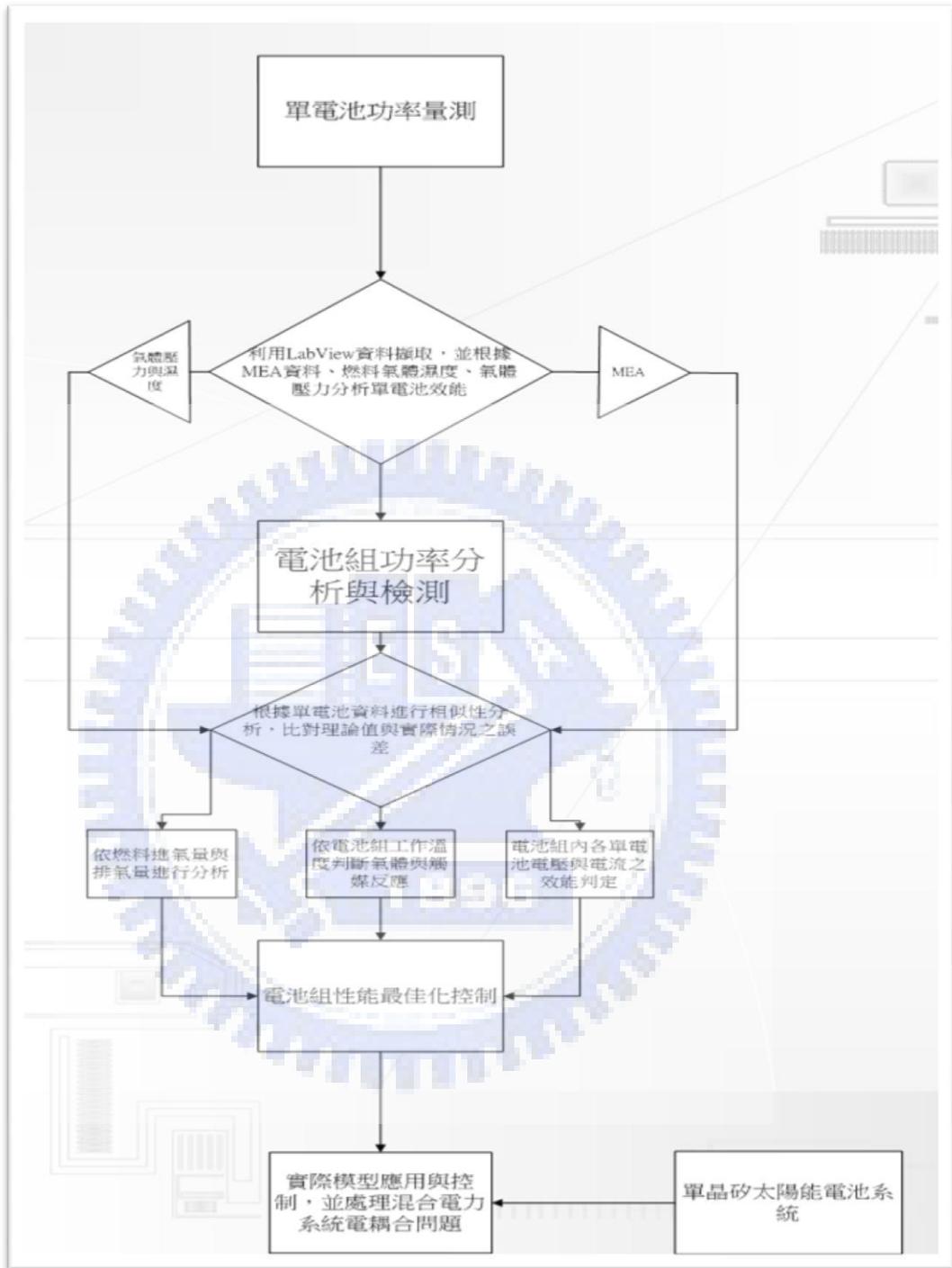
第三章 實驗設計及方法

本章節內容為實驗流程規劃以及儀器設備規格介紹。本實驗所做的研究的範圍包括三方面：第一項是延續劉佳杰學長[56]、劉安祐學長[57]、洪振祐學長[58]的研究，在質子交換膜燃料電池雙極板完成輕量化改良後，對單電池做電性量測。第二項是完成燃料電池組裝與電池組性能測試。第三部分為將已開發的燃料電池組搭配太陽能電池系統，導入實驗室開發的生態養殖系統進行應用，燃料電池組製作之流程圖如圖 3-1 所示。



(a)

圖3-1 實驗流程圖(a)輕量化電池組製作流程圖(b)性能測試流程圖



(b)

圖3-1續 實驗流程圖(a)輕量化電池組製作流程圖(b)性能測試流程圖

3-1 實驗流程規劃

3-1.1 雙極板製備流程

本研究首先比較市場中使用率較高之塑膠材料，如：ABS、PP、PVC、PMMA、PE、耐隆 6、PC、纖維強化塑膠等，在考量這些材料之成本、加工性、材料特性、金屬化容易性…等因素後[59-60]，決定選用 PMMA 作為本研究所開發之質子交換膜燃料電池組的雙極板材料。此外並比較兩種不同之製程方式，其一為 PMMA 鍍金屬膜後再進行流道的雕刻，其次為 PMMA 使用射出成型之傳統加工法，再進行金屬化處理，而流道之加工將設計於模具上。此外將透過機械粗化與酸洗…等前處理方式，來改善 PMMA 表面之金屬薄膜附著力[61]，如圖 3-2 所示。

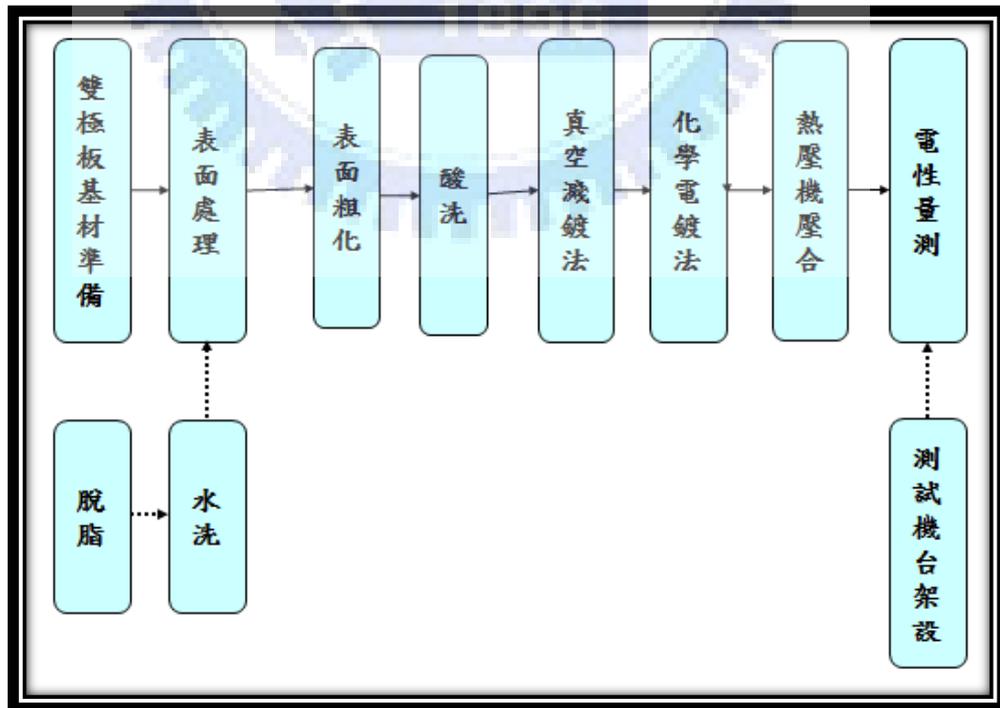


圖3-2 雙極板製備程序

3-1.2 MEA 製備

質子交換膜燃料電池是以分子結構為 C-F 鍵組成之高分子聚合體，稱作全氟磺酸化高分子膜作為電解質[44]。質傳能力會根據其支鏈上的磺酸根而有所不同，目前最主要的生產者以美國的杜邦公司最為有名，其商品稱為 Nafion 112、117、119、212 等，每個型號之質子交換膜厚度皆不同，厚度太薄容易造成電池組製作時破裂，而厚度太厚卻會使質傳效果降低，進而影響 MEA 性能。

本研究採用 Nafion117、212 的質子交換膜作為製備 MEA 之材料，並採疏水電極之製程方法[43-44]，製作流程說明如下：

(1) 氣體擴散層(GDL) 之疏水處理

將裁好的碳紙稱重，浸入已稀釋好的鐵氟龍溶液 (DuPont) 中，時間約 1~2 分鐘；而後蔭乾，再置入高溫爐內，常壓下以 350°C 烘乾；冷卻稱重，可求得疏水處理的程度。

(2) 質子交換膜 (PEM) 的前處理

將裁好的 PEM (Nafion 117、Nafion 212) 浸入純水中，隨後浸泡於 H₂O₂ 溶液中，再以純水清洗 3~4 次，此步驟希望移除膜表面之有機物。其次，先製備 0.5M H₂SO₄，將膜浸泡其中，再以純水清洗 3~4 次。此步驟希望移除膜表面之無機物。最後將膜浸泡於純水中儲存。質子交換膜在進行前處理步驟時，浸泡於 H₂O₂ 溶液中，使得質子交換膜表面出現大量氣泡。此為 H₂O₂ 在清洗質子交換膜表面氧化物產生之現象，如圖 3-3 所示。在浸泡硫酸溶液過程中，亦會在質子交換膜表面產生氣泡，代表硫酸溶液中之硫酸根正與質子交換膜進行結合，如圖 3-4 所示。

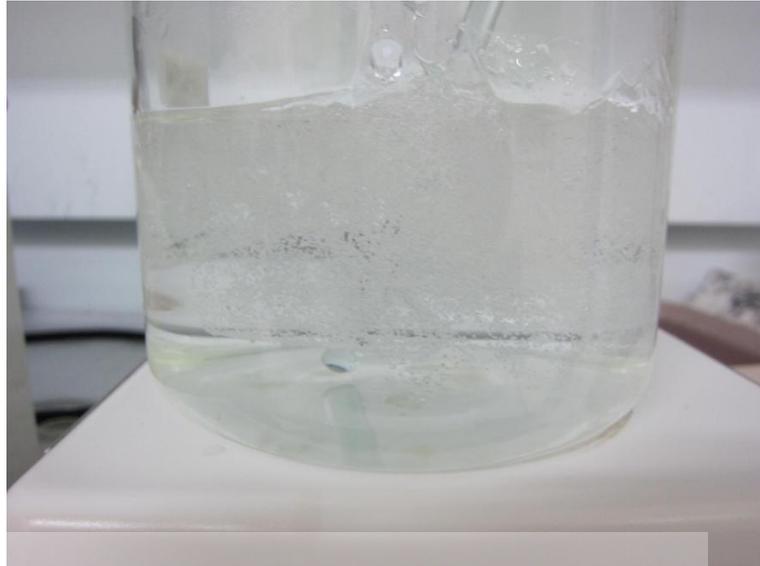


圖3-3 浸泡於 H_2O_2 溶液中之現象



圖3-4 浸泡於硫酸溶液中之現象

(3) 觸媒層漿料製作

依比例稱取適量之 Pt/C 觸媒 (20 wt% Pt/XC-72, E-Tek) 及 Nafion 溶液 (5 wt%, IPA Based, Aldrich)。再將觸媒、磁石放入瓶內，並利用丙酮予以濕潤，並加入 Nafion Solution，置於磁石加熱攪拌器上混合，使 Pt 觸媒均勻地 Nafion 混合，再塗佈於 GDL 上，如圖 3-5 所示。



圖3-5 觸媒製備情形

(4) 電極製作

目前利用刮塗方法，以刮板將觸媒層塗至已疏水處理之碳紙上。若觸媒漿料太稠，加入適 IPA (異丙醇) 予以稀釋；若太稀則加長攪拌時間；塗畢，放於通風儲內晾乾；再置入高溫爐常壓下烘乾；冷卻稱重，可求得觸媒單位面積之填充量 (mg/cm^2)。

(5) MEA 組成

取出已處理的膜，將兩片電極夾於質子交換膜兩側，施以熱壓即完成 MEA，如圖 3-6 所示。



圖3-6 MEA壓合情形

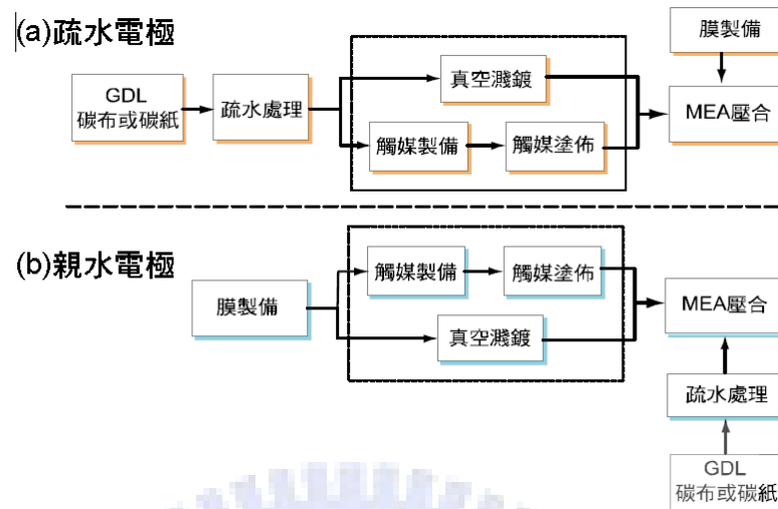


圖3-7 MEA製作流程圖[44]

3-1.3 單電池活化及耐久性測試

MEA 製備後，依塑膠端板→金屬雙極板→防漏墊片→MEA→防漏墊片→金屬雙極板→塑膠端板順序組合，兩端以螺絲鎖緊，即完成單電池測試之準備[43-44]，如圖 3-8 所示。單電池測試之實驗是使用之金屬雙極板流道為蛇型流道設計，並使用 Scribner 公司的 Fuel Cell Test System 850C 作為測試機台[62]

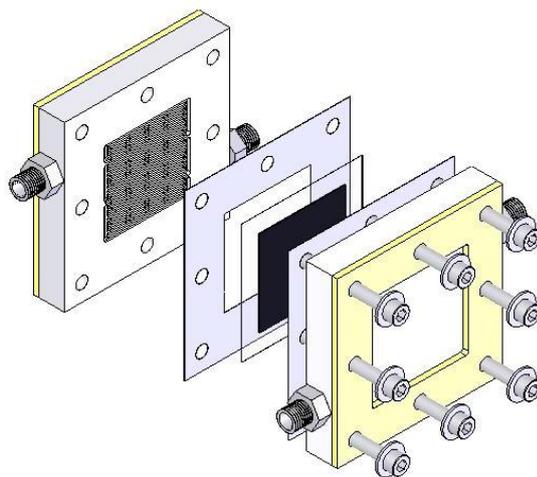


圖3-8 單電池組裝示意圖[43]

3-1.4 電池組組裝流程

使用純氫、純氧做為燃料的質子交換膜燃料電池單電池的額定工作電壓約為 0.7V，但若使用自然進氣[22]之模式，亦即使用空氣作為燃料之單電池其額定電壓約為 0.5V，所以通常會以堆疊或平板的方式，組裝成電池組以符合所需的輸出電壓。本研究採用堆疊方式製作自然進氣型之燃料電池組，將所製備好的單電池依序堆疊，藉由雙極板之導電性，以串聯之方式增加輸出電壓。在堆疊過程中，為防止燃料氣體洩漏，於單電池與單電池間將塗上矽膠密封。

3-1.5 混合電力系統之應用

本部分以溫室能源屋之概念為先導[63]，如圖 3-9、3-10 所示，並在能源屋內部建構一種仿溪流循環生態池，而此生態池中將加裝一個小型幫浦，使得池內水的流動呈現環流現象。此小型幫浦是為了有效地增加水中含氧量。另一方面，再藉由養殖魚群，模擬成一小型魚塢。除此之外，根據所養殖之魚類生活特性與習性，控制水溫、水深、流速、水質及水域面積大小，用來觀察能源系統對溫室水體的影響。

在本研究中選擇蓋斑鬥魚(亦稱為台灣鬥魚)為生態池內養殖範本。近年來，因環境改變，及水質嚴重污染，數量驟減，行政院農委會於 1990 年將其列為「珍貴稀有保育類野生動物」[64]。蓋斑鬥魚通常生長於水流和緩的地區，像是溪流、池塘或沼澤地帶，一般在水流較急的河川流域較難看見其蹤影。同時，蓋斑鬥魚具有很強的溫差適應能力，於攝氏 4 度~38 度的水溫中仍然可存活不過，其最佳生長的水溫範圍約為攝氏 20 度~27 度。雖然在此範圍以外溫度可以存活，但會減少活動並暫停覓食與繁殖的動作。因此，藉由實驗來探討能源對實驗水體的影響，以及觀察蓋斑鬥魚對水體內的水溫、水深、流速及水域面積大小適應情況。

經由實驗得到養殖範本之最佳生活數據後，如表 3-1 所示。根據其數據內容，以控制溫室能源屋中各元件，例如溫控系統、幫浦與水質過濾器，來達到蓋斑鬥魚生活條件中水溫、流速與水質等設計參數的最佳化標準。

而這些控制元件之電力來源，在本計劃中，將以矽晶太陽能電池和燃料電池做為主軸；雖然太陽能電池係一種利用太陽光直接發電的光電半導體薄片，它祇要一照到光，瞬間就可輸出電壓及電流，但是其有夜間不能發電以及容易受到氣候影響的缺點[63-64]。因而針對此缺點，本研究團隊把白天的太陽電池所產生之電力以各種形態儲存至蓄電池、飛輪裝置或抽蓄發電廠等，以備電力不足之需。於夜間或用電之巔峰時刻，太陽能電池或其所配合之蓄電裝置若無法供給足夠之電力時，啟動燃料電池，以穩定且迅速的方式補足缺額電力。太陽能電池與燃料電池電力搭配過程，如圖 3-11 及圖 3-12 所示。

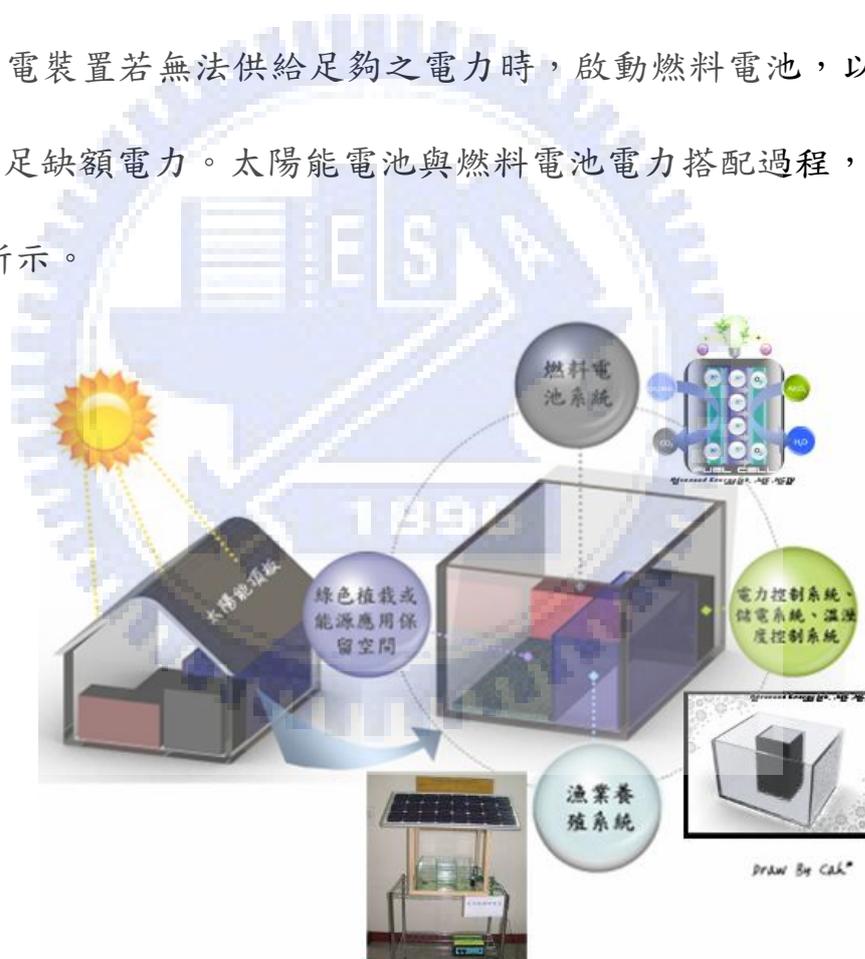


圖 3-9 能源屋之概念圖[63]



圖 3-10 小型水體養殖模型

表 3-1 水體養殖條件[64]

項目	條件	說明
1	溫度	日夜溫差頗大，常引起養殖魚群受凍死亡；寒害更會使魚類群體暴斃，對養殖漁業有莫大傷害。因此換水和加溫設備將能幫助此研究控制溫度。
2	水流	適合的流速範圍內，水流的刺激將影響稚魚的某些行為，在流水環境中稚魚喜歡聚集和逆水游動。所以仿造水流將會對魚類攝食行為和生長有所益處。
3	水質管理	養殖用水不佳時，養殖生物常易遭受病害，甚而發生養殖魚類大量死亡。水質分析和水質的控管，將有助於我們減少魚類病害發生。
4	電力系統	養殖漁業的電力系統需要穩定而不中斷，所以有別於一般市電系統，獨立的能源系統是最適合的，不管是幫浦、水質監控系統、抽水機、微粒過濾機都賴於此。

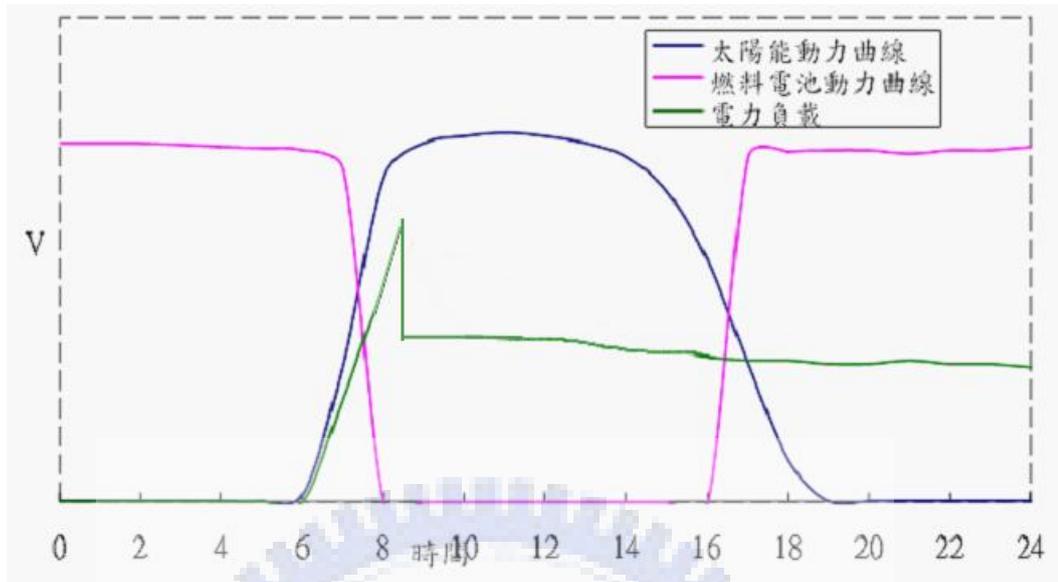


圖 3-11 太陽能電池與燃料電池電力搭配示意圖(夏季)[64]

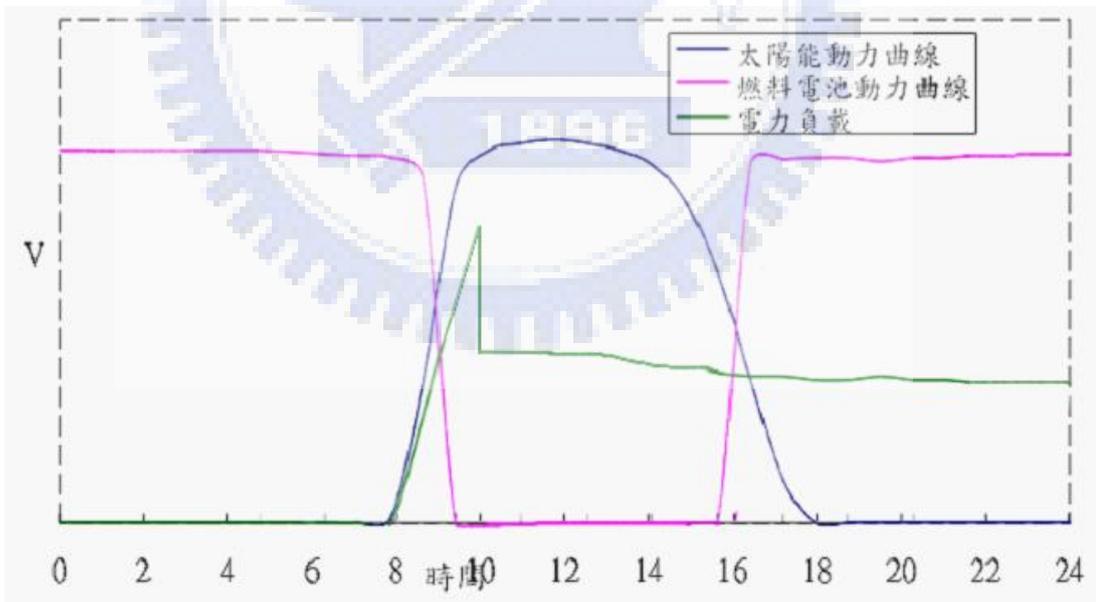


圖 3-12 太陽能電池與燃料電池電力搭配示意圖(冬季)[64]

3-2 實驗儀器介紹

本部份針對實驗中雙極板、膜電極、電力系統控制之實驗分析所使用的主要設備，分別簡述如下：

3-2.1 燃料電池單電池測試機台

本實驗使用 Scribner 公司所生產的 Fuel Cell Test System 850C[62]，如圖 3-13 所示。進行燃料單電池進行性能測試等測試，以探討單電池的電阻、電壓及功率密度隨電流密度變化的情形。其中分別測試裝有塑膠批覆金屬鍍膜之雙極板與金屬板之單電池。850C 具有軟體控制介面，可調控氣體加濕系統、流量控制、氣體與測試電池的溫度控制…等系統參數，並且可以記錄電壓、電流、功率、電流密度、功率密度、流量、溫度、濕度、時間等即時圖表的功能，所得之資料將配合本研究利用 LabView 所擷取之燃料電池組中各單電池之數據進行分析。



圖 3-13 燃料電池測試機台(資料來源：Scribner Associates)

3-2.2 熱壓機

圖 3-14 為熱壓機實體圖，它能提供最大 15 噸的壓力。上壓板與下壓板分別可控制溫度，溫度控制可由右邊面板輸入所需要之溫度值。在進行熱壓時，遇先設定好行程時間、溫度範圍，達到所需溫度段時，方可進行壓合動作。在壓合時，面板下方有一調整旋轉閥，可手動控制所需之壓合力。下列為本研究主要操作及設定條件：

1. 起動電源開關。
2. 按下馬達泵浦、溫度控器開關，含設定使用之溫度，本實驗溫度設定為 120°C、110°C。
3. 設定行程時間，本實驗行程時間 120 秒，含下壓板上升時間，不含下壓板下降時間。
4. 放入 MEA 至下壓板上方。
5. 按下自動鍵，起動行程動作。
6. 當上下壓板接觸時，壓力錶會少許上升，本實驗設定之壓力值為 60、70、80 kg/cm²。
7. 執行完壓合時間後，下壓板會自動下降，即完成 MEA 之壓，替換下一片試片，則重複 4、5 步驟即可。



圖 3-14 熱壓機

3-2.3 四點探針阻抗測試

歐姆阻抗儀主要使用四點探針方式，直接取得表面電阻值。歐姆阻抗儀設備(KEITHLEY KEI-2000)如圖 3-15 所示。表 3-2 為本研究所使用之四點探針阻抗測試儀規格。

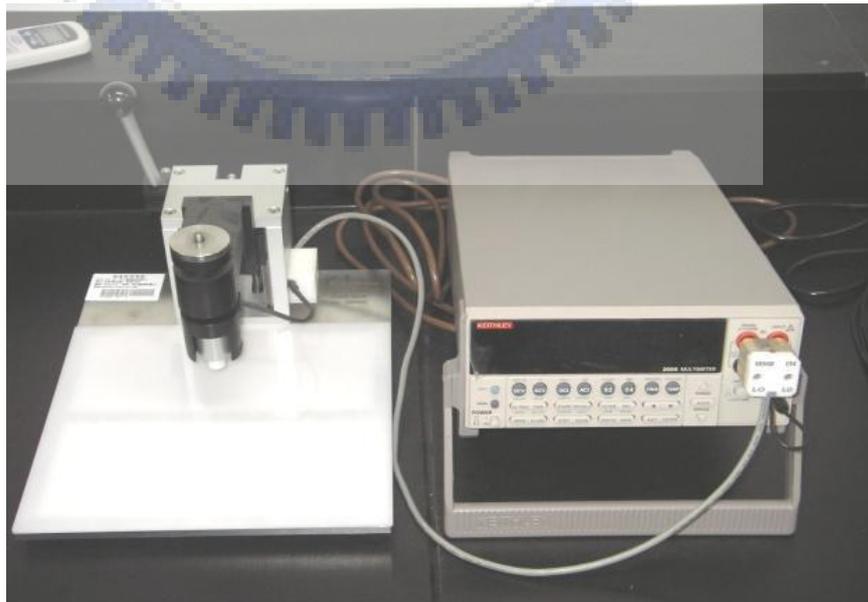


圖 3-11 四點探針實體圖

表 3-2 四點探針阻抗測試儀規格

型號	Model 2000
位數	六位半
擴充通道	10
直流電壓	
靈敏度	100nV
最大讀值	1000V
基本準確度	0.002%
靈敏度	10nA
檔位範圍	10mA-3A
基本準確度	0.03%
歐姆(2/4)	
靈敏度	100 $\mu\Omega$
基本準確度	0.008%

3-2.4 NI 資料擷取設備

本實驗使用美商國家儀器公司所開發的資料擷取設備，型號為 NI-USB6008[65]，如圖 3-14 所示。6008 具備 2 個類比輸出、8 個類比輸入、12 個數位 I/O、32 位元計數器。在資料擷取效能上可達 14 位元解析度、48 ks/s 取樣率，並具有高機動性的 USB 匯流排供電、內建訊號連結。



圖 3-12 資料擷取設備 NI USB-6008[65]

第四章 實驗分析與過程探討

本章依實驗流程規劃，完成燃料電池組的製作與分析，並建構混合電力系統之結構。本章將分為兩個部分，首先針對燃料電池組在製造流程上加以討論，其次討論混合電力系統在建構上之問題。

4-1 燃料電池製作

4-1.1 MEA 製作

在執行燃料電池 MEA 製備步驟下，透過比較本研究所選用之兩種 GDL—GDL 10BC 與 GDL24BC[7]，同為 SGL GROUP 所開發之產品，其產品規格如表 4-1 所示。分別將 GDL 10BC 與 GDL24BC 經過觸媒塗佈後與質子交換膜進行熱壓。熱壓條件設定為：上下膜溫度 120°C、壓力 80 kg/cm²、壓合時間 120s。

表 4-1 GDL 規格表

GDL 規格表			
性質	單位	GDL24BC	GDL10BC
Thickness	mil	9.3	16.3
	μm	235	420
Areal Weight	oz/ft ²	0.33	0.44
	g/m ²	100	135
Porosity	%	76	82
Air Permeability	cm ³ /(cm ² ·s)	0.6	1.45
Electrical Resistance (through plane)	mΩcm ²	<12	<16

經過實際壓合後之觀察，可發現 GDL10BC 在原設定之熱壓條件下，可成功之壓合。而 GDL24BC 在壓合後，呈現碳纖維脫落之現象。兩者之比較如圖 4-1 所示。因此藉由改變 GDL24BC 之熱壓條件，探討壓力、溫度對碳纖維剝落和 MEA 接觸電阻之影響，如表 4-2 所示。



24BC

10BC

圖 4-1 GDL24BC 與 GDL10BC 壓合後之比較

表 4-2 不同壓合條件下 MEA 接觸電阻量測

壓合條件	接觸電阻(Ω)
壓合溫度 120°C	56
壓力 80 kg/cm ²	59
溫度 110°C	69
壓力 80 kg/cm ²	72
溫度 100°C	120
壓力 80 kg/cm ²	114
溫度 120°C	133
壓力 70 kg/cm ²	137
溫度 120°C	211
壓力 60 kg/cm ²	232
溫度 110°C	187
壓力 70 kg/cm ²	182
溫度 110°C	321
壓力 60 kg/cm ²	340

經過分別量測在壓力值 80 kg/cm² 下，改變上下膜溫度 120°C、110°C、100°C，與溫度在 120°C、110°C，改變熱壓壓力 80 kg/cm²、70 kg/cm²、60 kg/cm²，所得之接觸電阻值，吾人可發現溫度與壓力對 MEA 之接觸電阻皆有影響，但熱壓壓力比熱壓溫度所產生之影響更劇烈，如圖 4-2 所示。

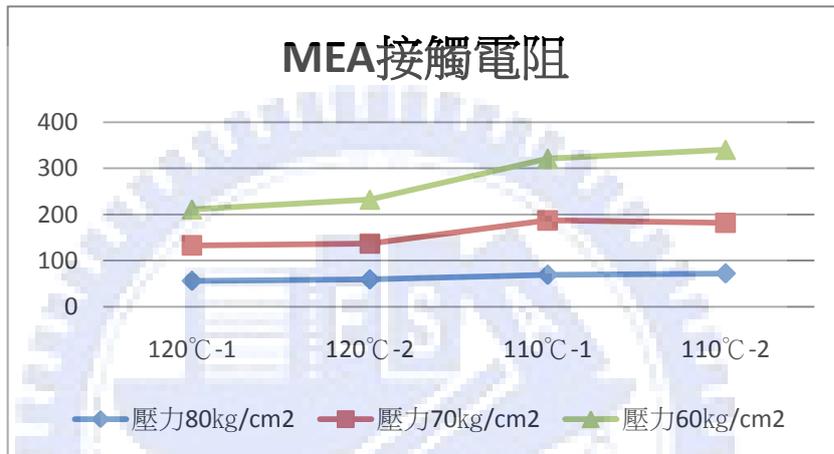
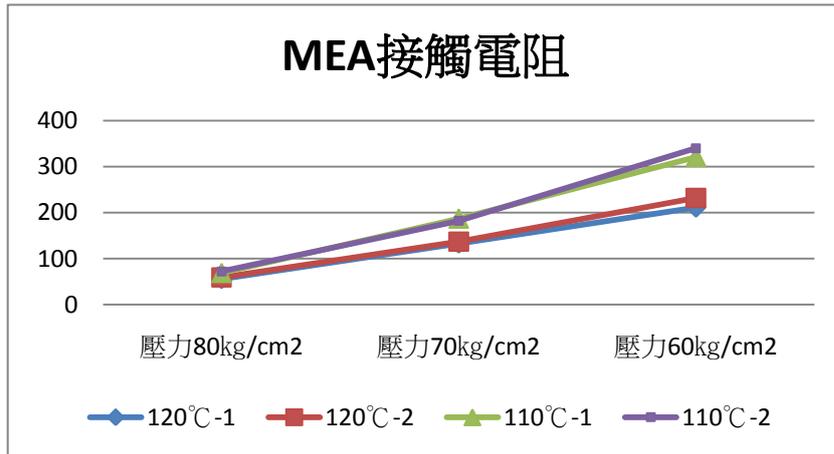


圖 4-2 不同壓合條件下 MEA 接觸電阻變化圖

4-1.2 雙極板製備

在本研究中透過使用塑膠材料作為雙極板之基材，得到有效低減少燃料電池重量之效果，而雙極板之成型技術可透過塑膠射出成型之傳統技藝，大幅降低生產成本。但由於塑膠材料之導電性差[56-58]，因此對其進行批覆金屬材質，以提升其導電性，經鍍膜後之雙極板接觸電阻量測情形如圖 4-3、表 4-3 所示。



圖 4-3 鍍膜後雙極板接觸電阻量測

表 4-3 成品規格 5*5 cm² 及 2*5 cm² 實體量測雙極板電阻值

規格	電阻值		
	正面	反面	正反面
5*5 cm ²	0.008	0.010	0.008
2*5 cm ²	0.009	0.007	0.007

4-1.3 單電池測試分析

本實驗將 PMMA 鍍金屬薄膜之複合材料雙極板跟一般傳統之金屬雙極板進行在電性上之比較，為了增加塑膠雙極板之導電性，在電鍍抗腐蝕的金薄膜前，先進行披覆導電銅層，其金屬薄膜厚度分別為金膜 10⁻⁶ m、銅膜 3000Å。單電池雙極板的流道設計為蛇型流道設計，使用純度 99.999% 的氫氣做為燃料，氧化劑則為空氣、氫氣，其中氧氣的進氣流量為 100sccm，空氣則是採自然進氣方式，PMMA 複合雙極板與金屬雙極板之單電池功率比較如圖 4-4 所示。

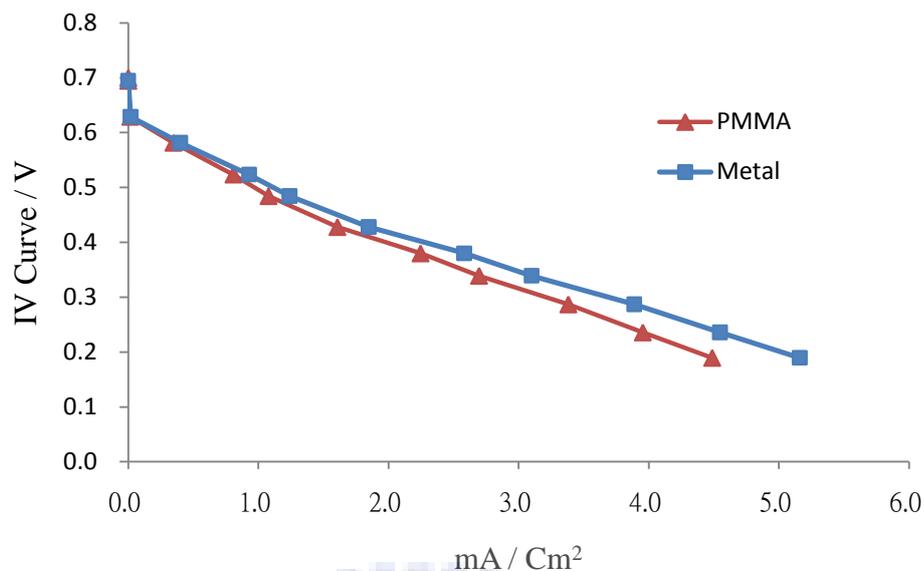


圖 4-4 單電池功率比較

由圖 4-4 比較結果中，發現本研究所開發之燃料電池雙極板於 2 mA/cm^2 下，可維持相同的輸出功率，但當通過電流逐漸增大時，所鍍之金屬薄膜無法輸出更多的電子，因此輸出功率較低於金屬雙極板。因此只要增加薄膜厚度，即可提高其電性[66-68]。

4-1.4 燃料電池組組裝

完成燃料電池各元件製備過程後，將製好的 MEA 貼上鋁箔膠帶，如圖 4-5 所示。其目的是為使兩個單電池間形成通路，在傳統燃料電池製作過程中，是採用金屬墊片作為雙極板阻氣、電路導通之連接，本文發現鋁箔膠帶導電性佳、阻抗低、黏著力佳、厚度薄，最薄可達 0.07mm [69]，規格如表 4-4 所示，較原本使用金屬墊片之組合方式，除了降低燃料電池組重量外，更能使增加燃料與氣體擴散層間之反應面積，提高反應氣體使用量。



圖 4-5 MEA 電極

表 4-4 鋁箔膠帶規格(資料來源：恒裕科技股份有限公司)[69]

Standard Specifications					
單導鋁箔膠帶: LQ-230 LQ-250 LQ-270		雙導鋁箔膠帶: LQ-231 LQ-251 LQ-291		雙面背膠鋁箔膠帶: LQ-232 LQ-252 LQ-292	
厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)	厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)	厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)
0.07; 0.08; 0.1	Max 0.04	0.075; 0.085; 0.14	Max 0.04	0.11; 0.13; 0.17	Max 0.04
溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°	溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°	溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°
-10~120	Min 0.8	-10~120	Min 0.8	-10~120	Min 0.8
單導銅箔膠帶: LM-120 LM-150		雙導銅箔膠帶: LM-121 LM-151		雙面背膠銅箔膠帶: LM-122 LM-152	
厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)	厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)	厚度(mm)	表面阻抗(Ω/in^2)
0.06; 0.08; 0.1	Max 0.04	0.06; 0.08; 0.1	Max 0.04	0.095; 0.105	Max 0.04
溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°	溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°	溫度範圍($^{\circ}C$)	離型力(kg/inch) 180°
-10~120	Min 0.8	-10~120	Min 0.8	-10~120	Min 0.8

此外在堆疊過程中，本研究以矽膠做為兩單電池間之接合劑，在雙極板之四周塗上矽膠如圖 4-6 所示，並在鋁箔膠帶上割好進氣口對準後黏貼。接著量測接合好的 MEA 與雙極板之接觸電阻，吾人可發現以矽膠做為接合之方式，並不會增加過多的接觸電阻值，但在塗佈矽膠時，如果矽膠量塗得太多，容易對 MEA 造成汙染並增加其電池之內電阻，接合後之電阻情形如圖 4-7 所示。



圖 4-6 燃料電池接合方式



圖 4-7 MEA 與雙極板接合後電阻量測(A)矽膠量正常(B)矽膠量過多

在完成堆疊於兩側加上端板與阻氣板及完成燃料電池組裝，其組裝模型圖如圖 4-8 所示，阻氣板之目的是為使所通入之燃料能流入各單電池之 MEA 中產生反應，而若未加裝阻氣板，在通入燃料後，燃料之流動會經由雙極板上之進氣口直接流出電池組，因此會產生僅進氣端之單電池發電之情形，氣體流動示意圖如圖 4-9、 4-10 所示。

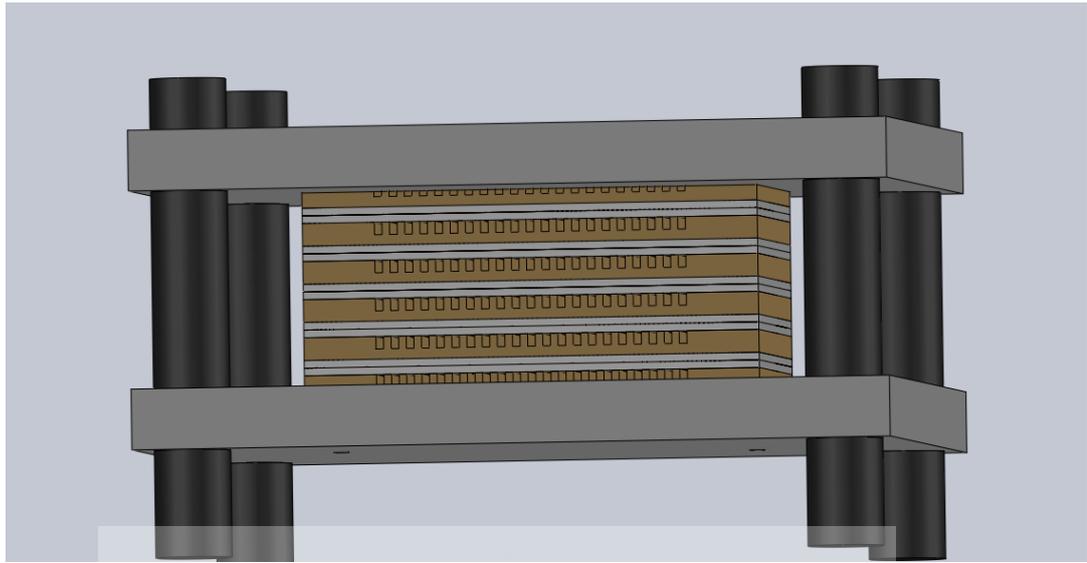
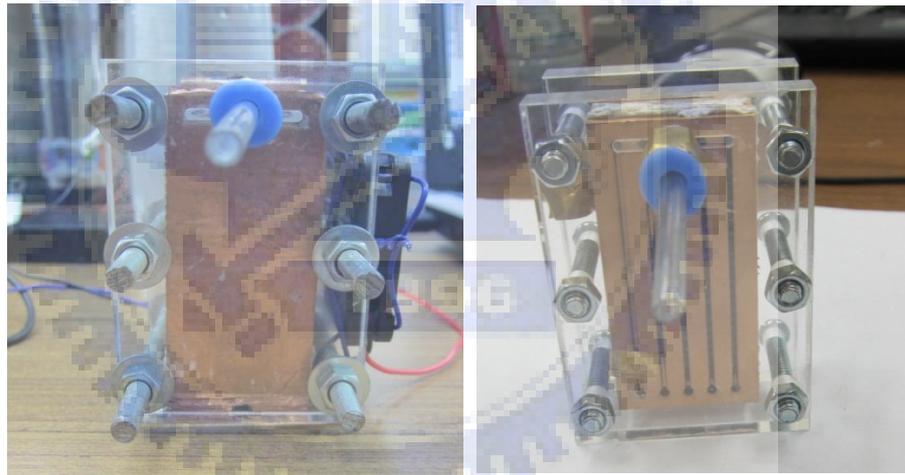


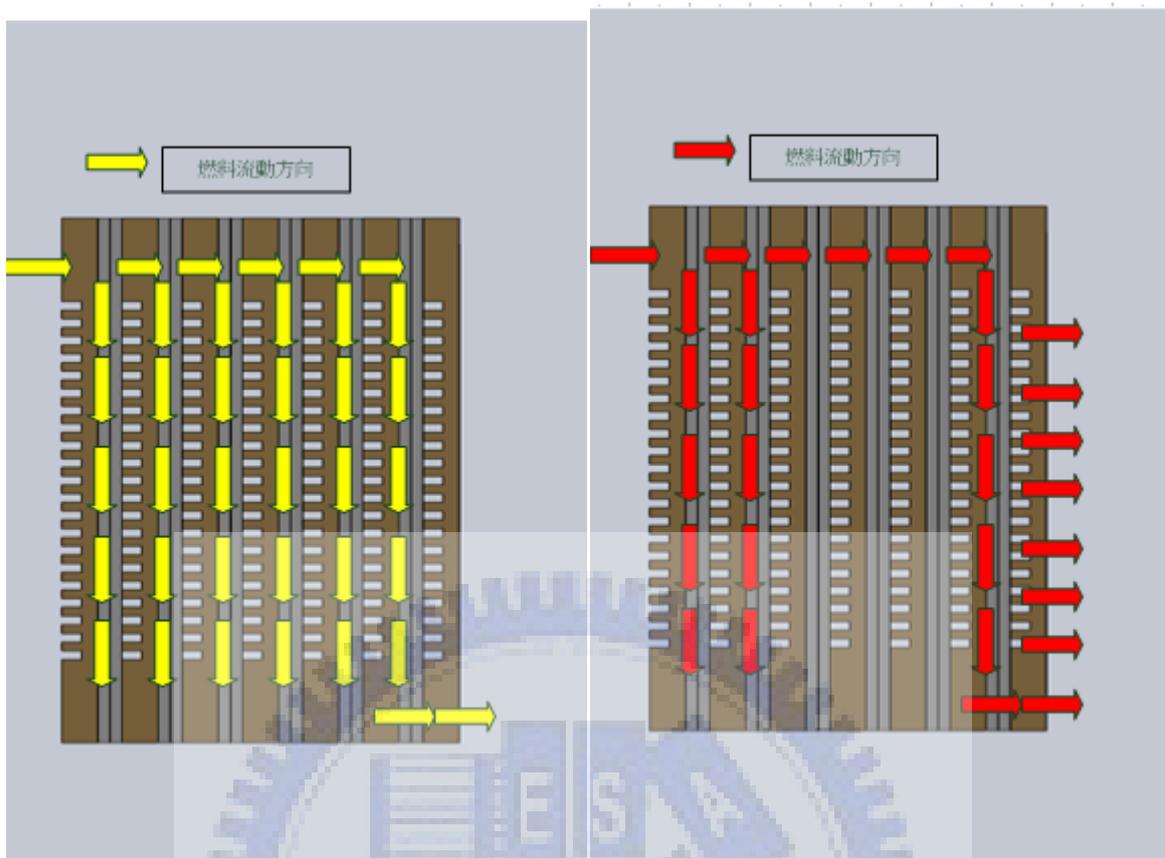
圖 4-8 燃料電池組模型圖



(a)

(b)

圖 4-9 燃料電池組測試圖 (a)加裝阻氣板(b)未裝阻氣板

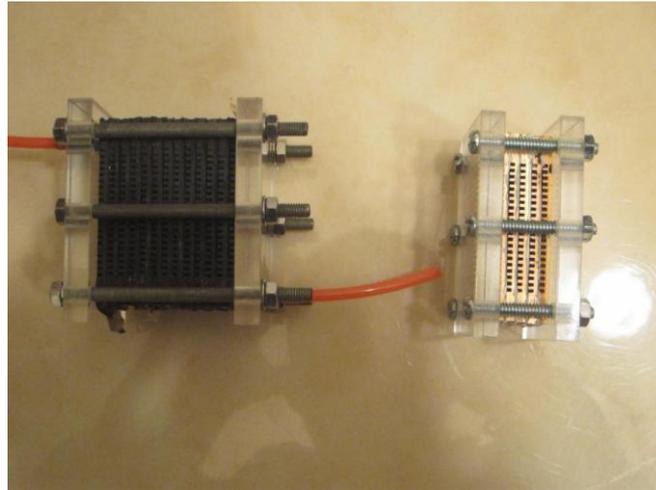


(a)

(b)

圖 4-10 燃料流動路徑(a)有裝阻氣板(b)未裝阻氣板

本研究共製作兩種不同雙極板之燃料電池組，其一為塑膠板材鍍膜後進行雕刻流道之電池組，其次為雙極板射出成型後進行鍍膜處理之電池組，由圖 4-11、4-12 比較可知鍍膜後再進行雕刻流道之雙極板，由於雙極板側邊不具備導電物，需以銅鉑使兩單電池間形成通路，但仍然會增加電池之內電阻，因此射出成型後進行鍍膜處理之雙極板，為較理想之做法。完成組裝之燃料電池組，重量僅 0.2kg 如圖 4-13 所示，其規格表如表 4-5 所示



(a)

(b)

圖 4-11 本實驗所製作燃料電池組(a)雙極板鍍膜後進行雕刻流道(b)雙極板射出成型後鍍膜



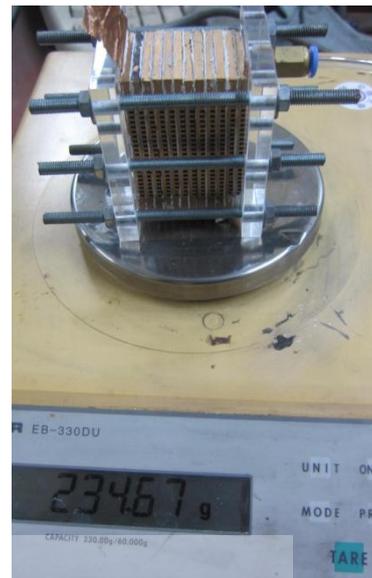
(a)

(b)

圖 4-12 本實驗所製作燃料電池組接觸電阻比較(a)雙極板鍍膜後進行雕刻流道(b)雙極板射出成型後鍍膜



(A)



(B)

圖 4-13 PMMA 複合雙極板 5V、6V 電池組重量比較(A)雙極板鍍膜後
進行雕刻流道(B)雙極板射出成型後鍍膜

表 4-5 本研究所製作之 5V、6V 電池組規格表

本研究所製作之燃料電池組		
雙極板種類	鍍膜後雕刻流道	雙極板射出成型
電池數目	12	11
額定電壓	6V	5V
額定功率	12W	10W
工作面積	4.5cm*2.7cm	同左
電池組重量	0.212kg	0.189
材質	PMMA	同左
價位	600 美元(RD)	

4-1.5 電池組電性分析

本研究使用 H-recer[70]燃料電池教具中之製氫設備作為本研究燃料之來源，如圖 4-14 所示，並增加電流量，以 0.2A、0.4A、0.6A、0.8A、1A、1.2A、1.4A，以增加其製氫之速度。當燃料通入電池組之後，分別量測電池組兩端電壓與各單電池之電壓值，如圖 4-15 所示。在實驗過程統計中，發現燃料電池從冷機狀況下，約需要 5min 才能達到穩定電壓輸出。其電壓輸出值如圖 4-16、4-17 所示。其中各單電池之電壓輸出不一定相同，再進一步量測電性較差之單電池，可發現其內電阻過大，影響其單電池發電性能。但其輸出電壓過低，並不會影響其他單電池，或使整顆燃料電池組失效。根據實驗數據的統計，該電池組中各單電池最高發電電壓可達 0.6V，最低為 0.02V，總電壓約為 4.5V。

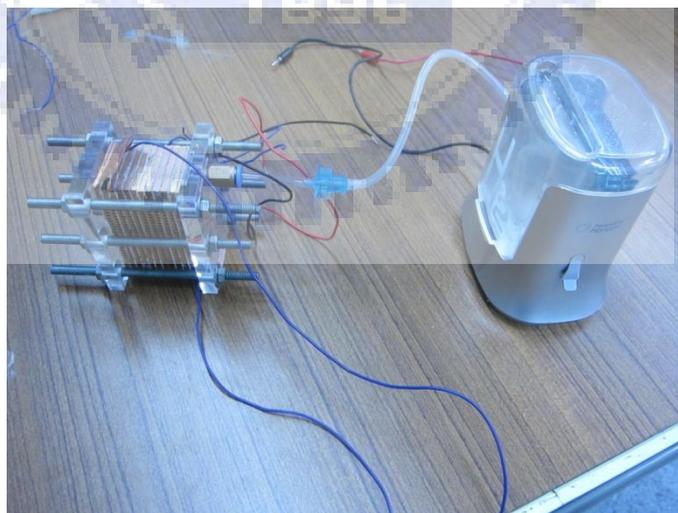


圖 4-14 燃料電池運作情形

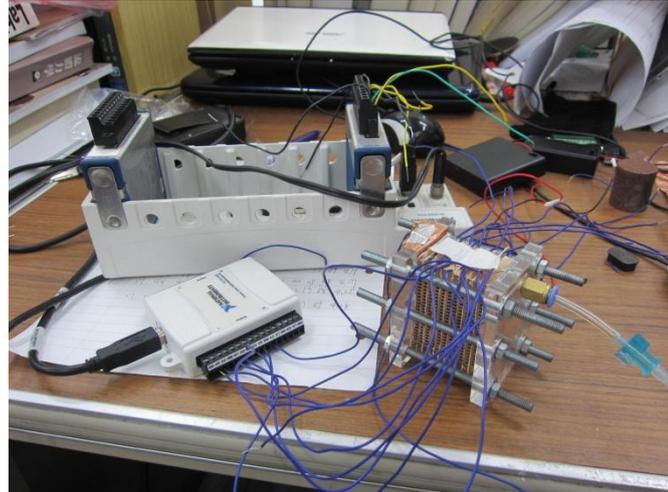


圖 4-15 燃料電池量測情形

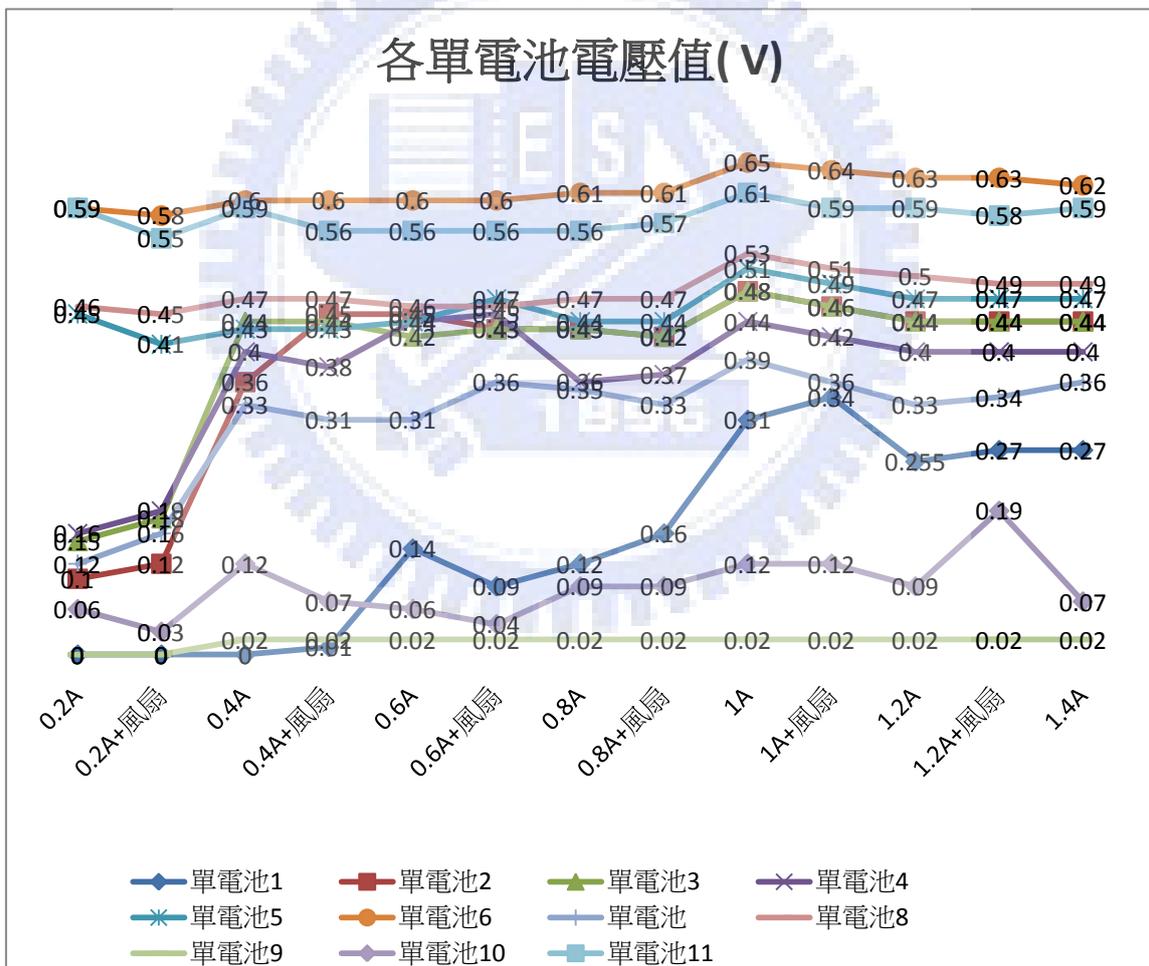


圖 4-16 燃料電池各單電池發電電壓值

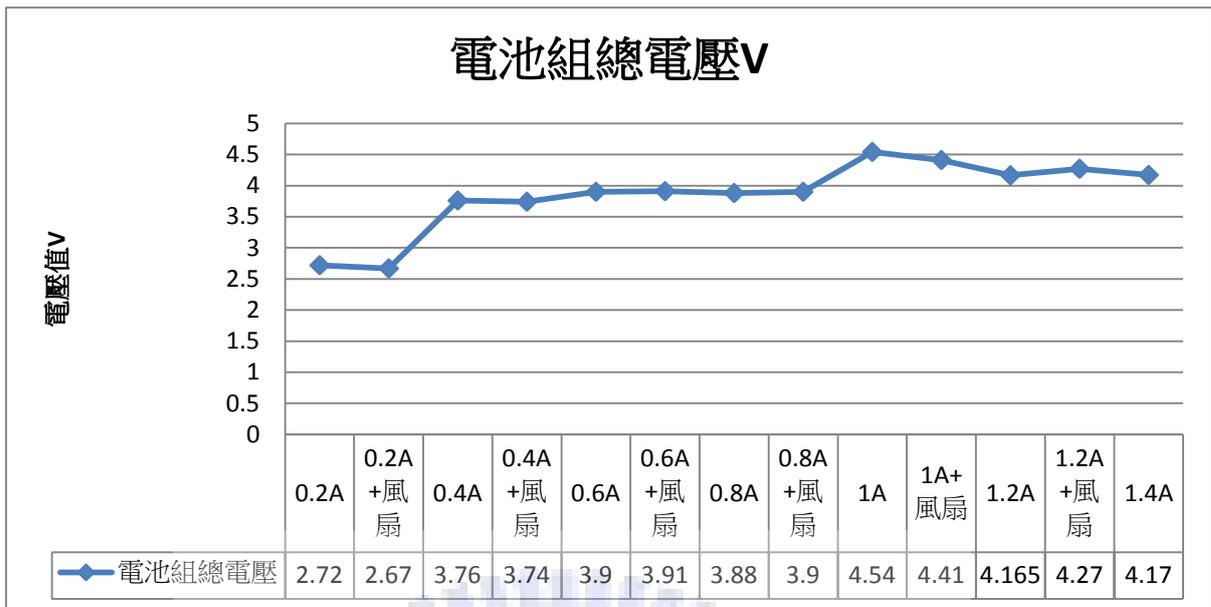


圖 4-17 燃料電池組發電電壓

4-2 混和電力系統

4-2.1 硬體設備建構

本研究使用 NI - USB6008 之 DAQ 擷取卡對自行建構之生態養殖系統進行控制與資料擷取，為使在實驗室內可進行燃料電池與太陽能電池混合電力之系統控制，因此使用三個變壓器將市電轉為 12V 2A 之直流電，便透過無熔絲開關做有效之防範措施，如圖 4-18 所示。當系統啟動時，直流電源將通過自行組裝的電流感測器，量測目前之電流值，如圖 4-19 所示，再進入直流/交流轉換器，如圖 4-20 所示，本實驗之電流感測器使用 WCS1702 與 WCS1720 分別量測各電力來源與總輸出之電流值。在控制部分，本研究使用 KYOTTO 所製造之 KD20C10AX 固態繼電器，做為電力控制之開關，當利用程式賦予 DAQ 擷取卡輸出訊號，DAQ 擷取卡將輸出 5V 之電壓訊號

製固態繼電器中，將使固態繼電器得以導通，使系統形成通路[71]，而本研究透過 5 個固態繼電器控制電子負載，3 個繼電器控制電力來源，如圖 4-21 所示，但由於在接上附載情況下，DAQ 擷取卡之輸出電壓會低於 5V，因此使用達靈頓 IC 來提高 DAQ 擷取卡之輸出電壓[72]，如圖 4-22 所示。

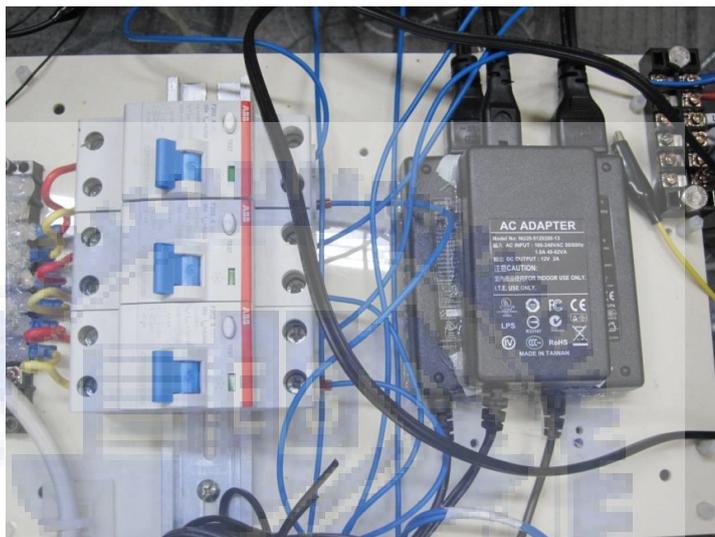


圖 4-18 模擬混合電力電源設備

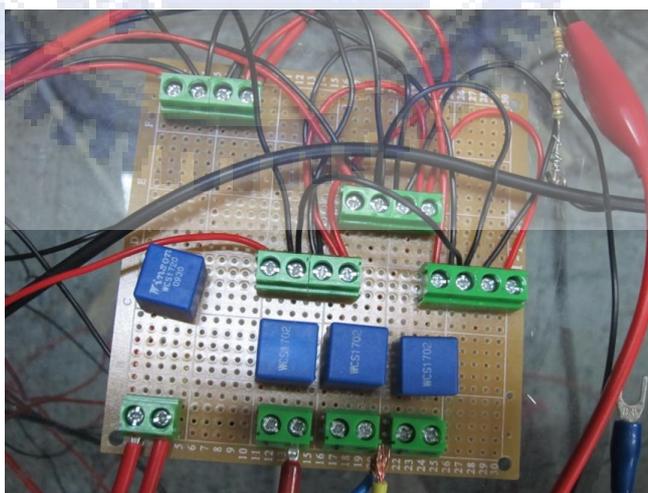


圖 4-19 電流感測器



圖 4-20 DC TO AC 轉換器

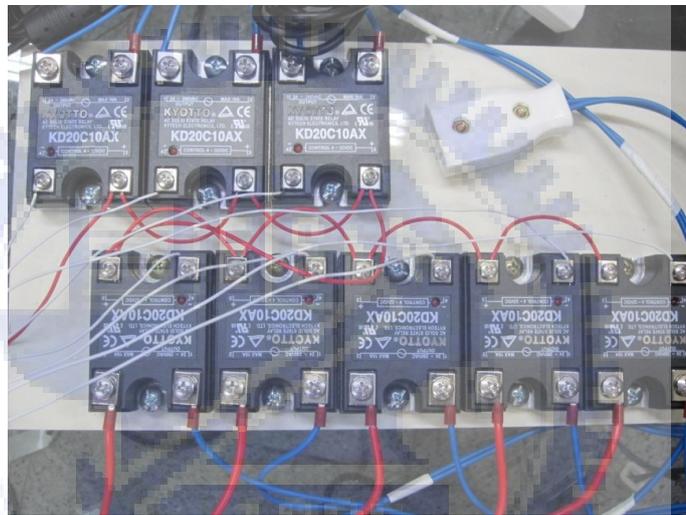


圖 4-21 控制元件

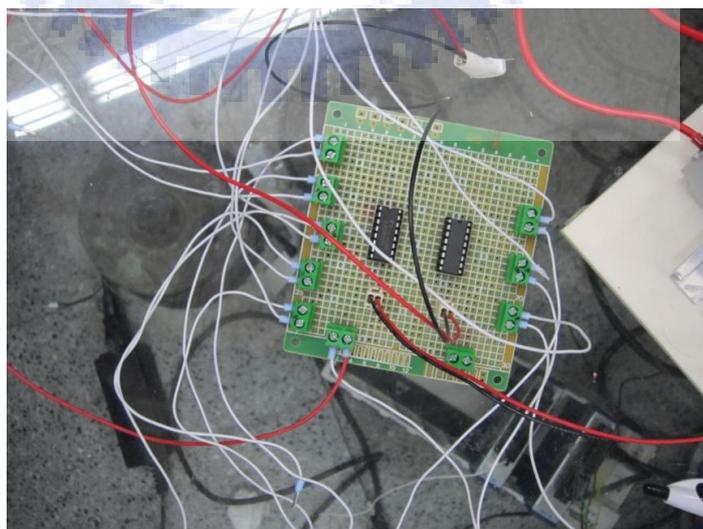


圖 4-22 達靈頓 IC

本研究之混合系統運用，是以太陽能做為白天之主電力來源，當遇到陰天或者烏雲密布之情況，使得太陽能輸出功率下降，而不足以供應電子零件之所耗功率時，啟動燃料電池做為輔助電源，在一般操作情形下，為了避免突然啟動與關閉對燃料電池系統所造成之損害，會將燃料電池處於一個低輸出功率的待機狀態，再藉由增加燃料電池之燃料質量流率，來提高燃料電池之電力輸出功率[73]。而本研究為了減少燃料之浪費，因此使用直流電源供應器在定電壓 12V 之情況下，量測電流之變化量，藉此取得系統輸出功率，進而模擬燃料電池系統燃料質量流率改變之情形。

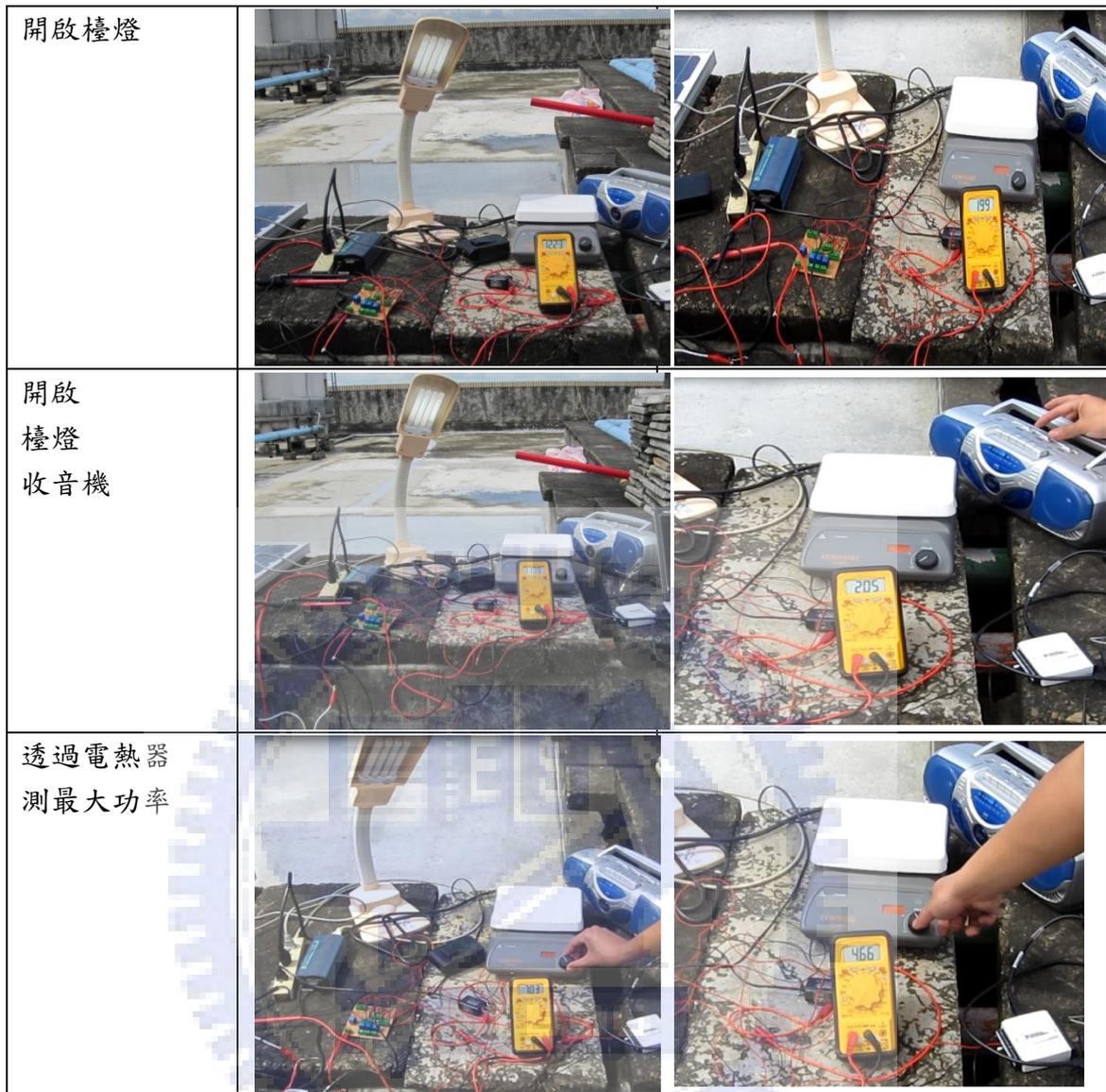
為了取得本研究所使用太陽能電池之功率，對本研究之太陽能模組進行測試，其電力測試情形如表 4-6 所示。由測試之結果可知，當電子零件之開關未開啟時，其開路電壓為 13.30V、開路電流為 0.35A，而開啟其中檯燈後，其輸出電壓馬上降為 12.23V、電流升為 1.9A，再繼續開啟其他之電子零件，太陽能電池輸出電壓降為 11.79V、電流升為 2.05A。最後透過加溫器來測試太陽能模組最大輸出功率為 35W，電壓為 7.03V、電流為 4.86V，平均輸出功率為 25W，其測試過程如表 4-6 所示。



圖 4-23 太陽能模組測試情形

表 4-6 太陽能模組功率測試

開啟電子零件	輸出電壓值 18.96	輸出電流值
無		



4-2.2 系統程式

本研究使用同為美商國家儀器公司所開發之應用軟體 LabView，作為系統控制與資料擷取之介面[74]。透過 Labview 軟體所建立之程式賦予 DAQ 擷取設備執行動作之命令。本研究所系統程式規劃之功能有以下四點：太陽能電性量測、電子設備控制、備用電源啟動、與量測燃料質量流率計算，將分別敘述如下：

1. 擷取太陽能電池電壓與電流資料，並透過計算取得太陽能發電功率，將DAQ擷取卡連接電流感測器與分壓裝置擷取太陽能電性資料，系統程式、太陽能電性資料如圖4-24、4-25所示。其中由於本研究所使用之DC/AC轉換器，存在最低輸入電壓之限制，當電壓低於10V轉換器將會自動關閉，此功能符合一般太陽能產業在進行最大功率追蹤時，若功率輸出太低，會強行關閉該太陽能電池，以免影響整體系統之控制。

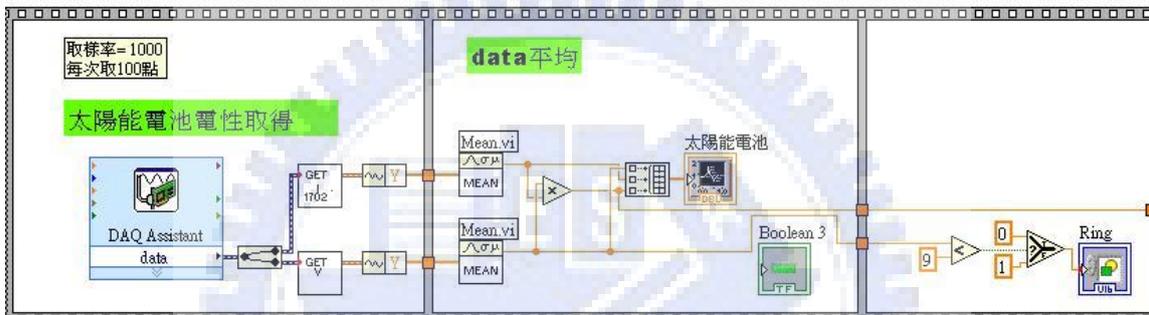
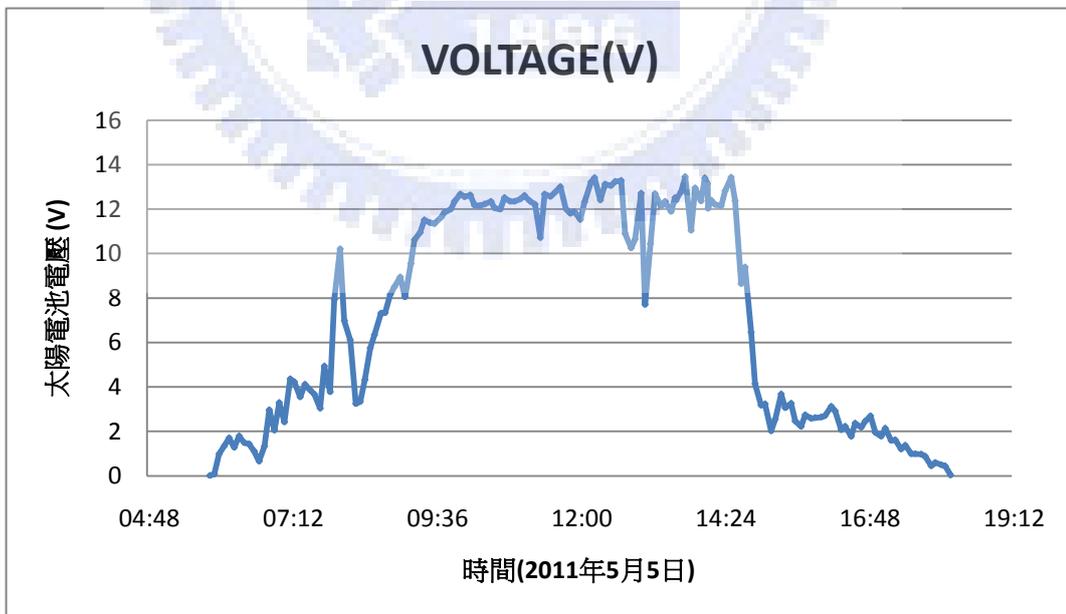
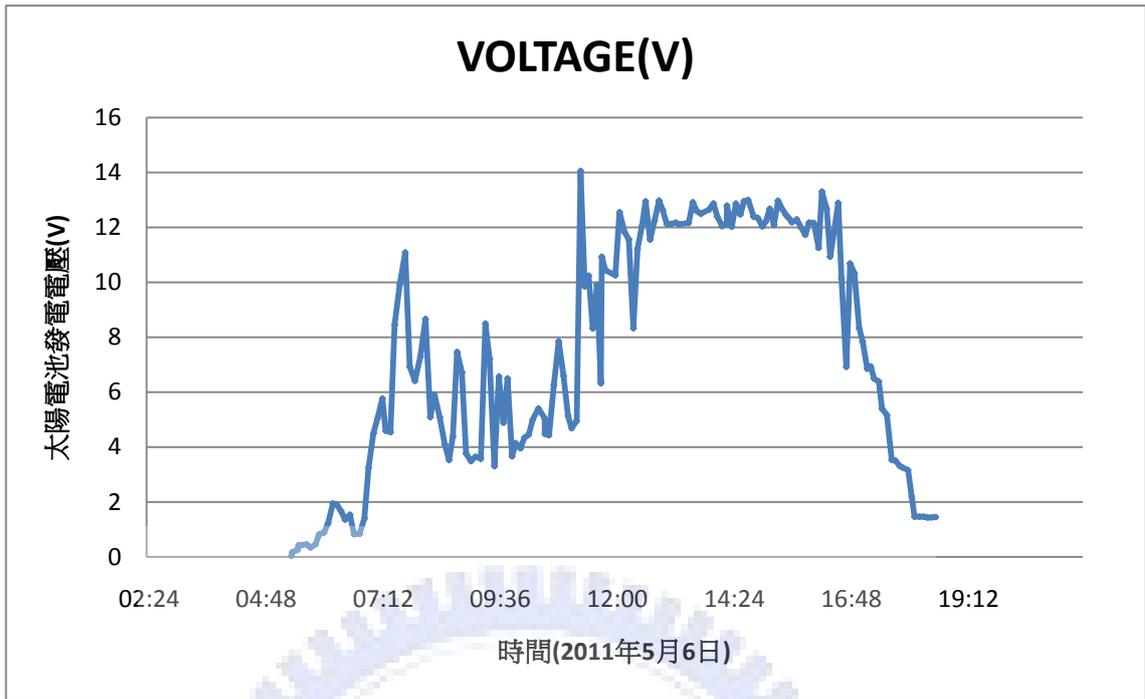


圖 4-24 太陽能電池電性擷取程式



(A)

圖 4-25 太陽能電池電性資料(A)電壓(B)發電功率

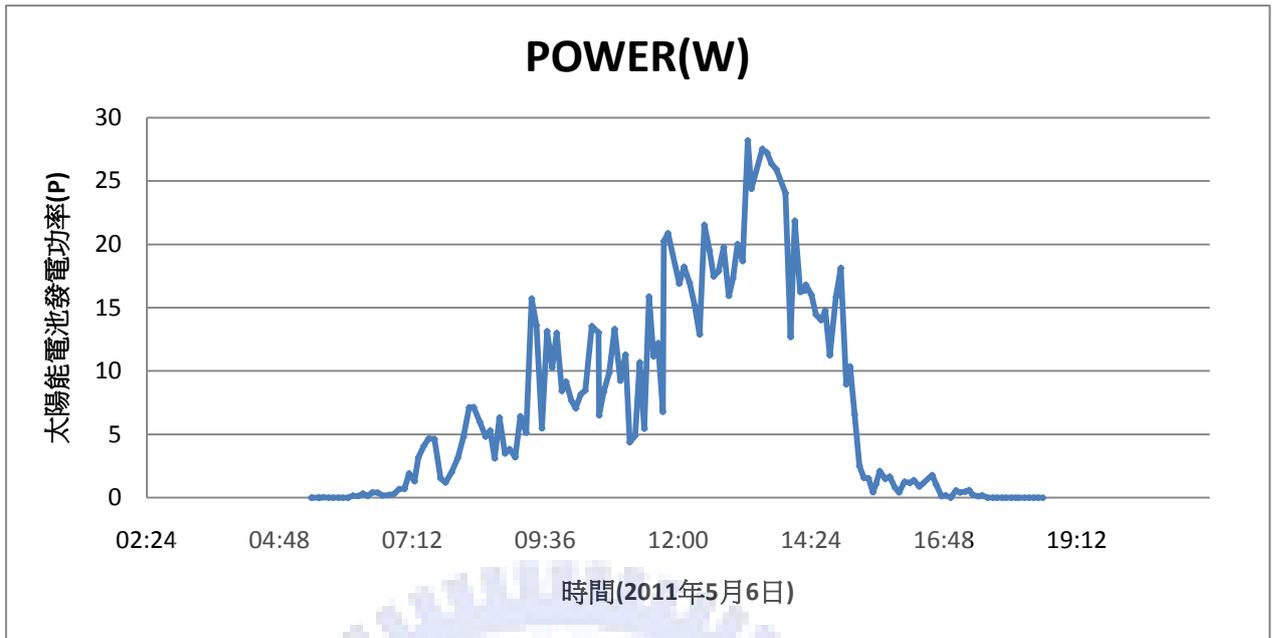


(A)



(B)

圖 4-25 續 太陽能電池電性資料(A)電壓(B)發電功率



(B)

圖 4-25 續 太陽能電池電性資料(A)電壓(B)發電功率

2. 設定電子設備驅動控制時間，所使用之電子設備如表 4-7 所示，並依自行設定時序圖進行控制，將時間以數字設定為 0~1440，如圖 4-26 所示。當系統時間達到該電子設備啟動之對應數字時，DAQ 擷取卡將發送 5V 電壓至固態繼電器中，使太陽能電池所產生之電力，透過 DC to AC 轉換器，將直流電轉換成交流電進入電子設備中，使系統形成通路。

表 4-7 養殖系統所使用之設備一覽表

生態養殖系統所使用的設備	耗電量
水質過濾器	使用電源：110V；50/60Hz。 消耗功率：3W
飼料餵食器	使用電源：110v（60Hz） 消耗功率：4W
打氣機(馬達)	流量：0.8 公升/分 電力：110V 50/60Hz 消耗功率：4W
照明燈	使用電源：110V 50/60Hz、 消耗功率：5W
備用打氣機	使用電源：110V 消耗功率：4W

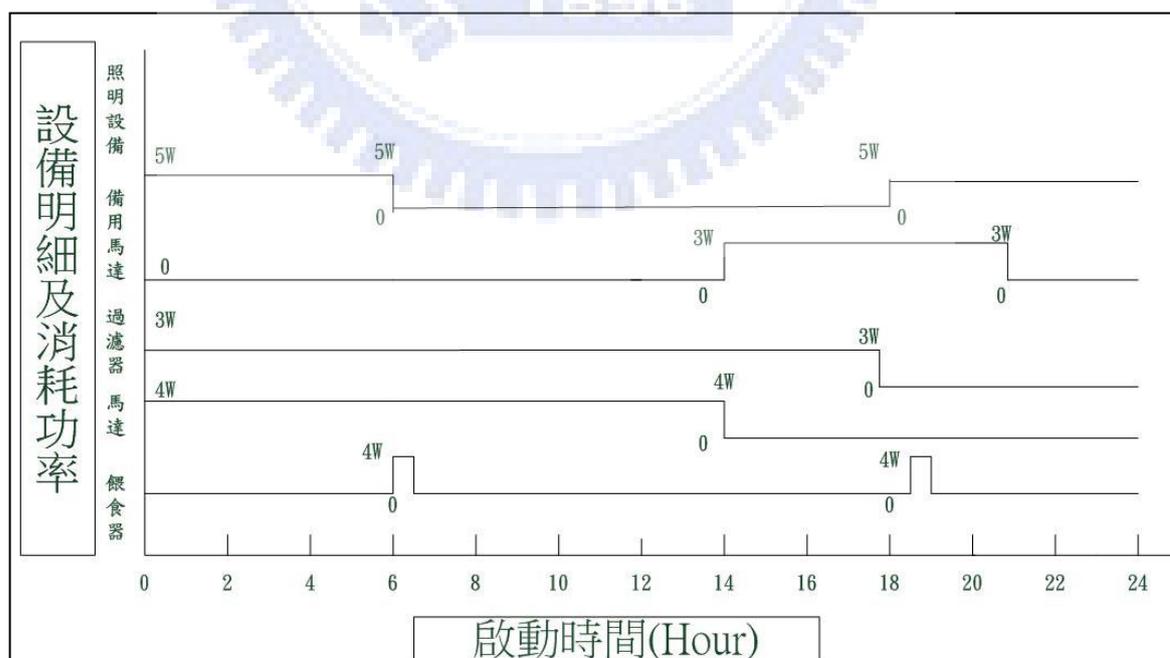


圖 4-26 電子設備啟動時序圖

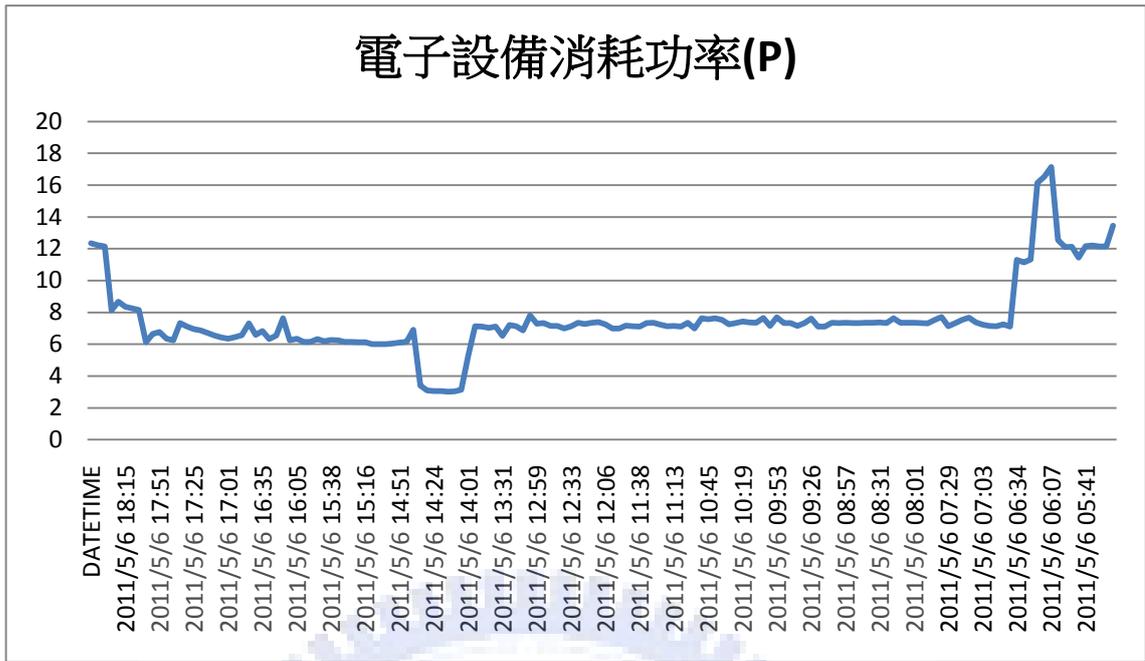


圖 4-27 電子設備消耗功率

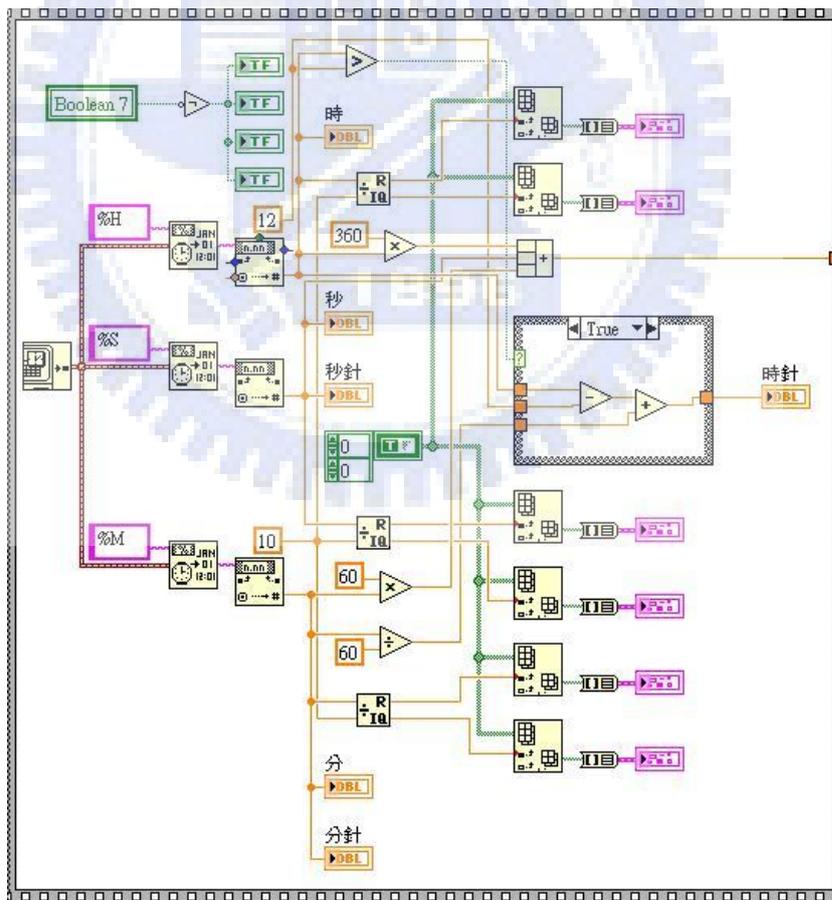


圖 4-28 系統時間程式

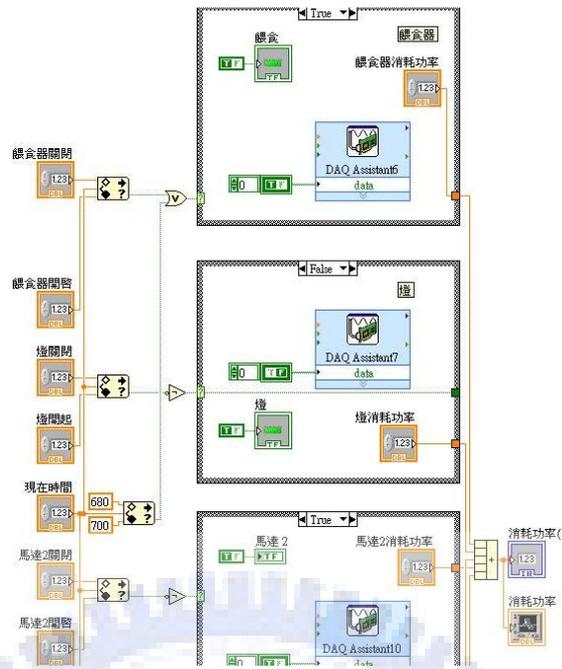


圖 4-29 電子設備驅動程式

3. 本研究透過線性疊加之概念，將太陽能電池與備用電源進行規劃。透過 LabView 程式的撰寫，當 DAQ 所得之太陽能發電功率減去電子設備消耗功率為負時，系統程式將自動使備用電源前端的固態繼電器導通，使備用電源輸入電力補足負載所需，如圖 4-30、4-31 備用電源啟動與電性擷取程式。

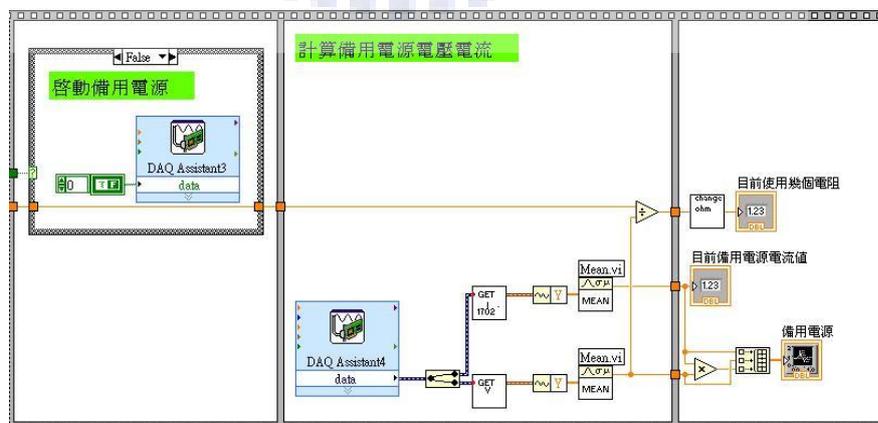


圖 4-30 備用電源(模擬燃料電池)電性擷取程式

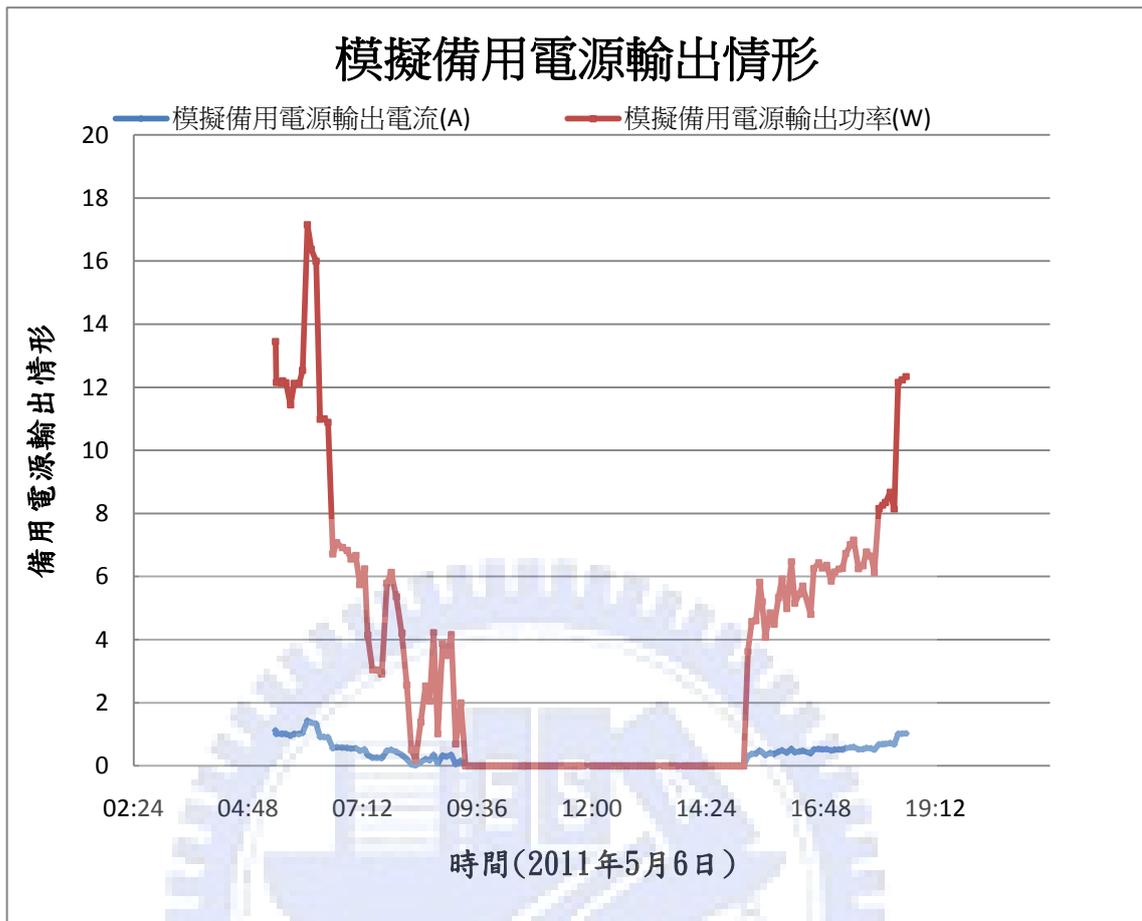


圖 4-31 備用電源(模擬燃料電池)發電情形

4. 在得到備用電源之發電數據後，將其導入公式以計算燃料電池所需燃料質量流率，本研究中假設理想狀態下，各單電池進氣量 100%之利用率，單電池額定電壓 0.5V，因此若要達到工作電壓 12V 需要 24 組單電池，將所得之備用電源電流值帶入式 2.5、2.6、2.7，並透過程式計算取得理想狀態下所需燃料進氣量[44]，如圖 4-32 所示。

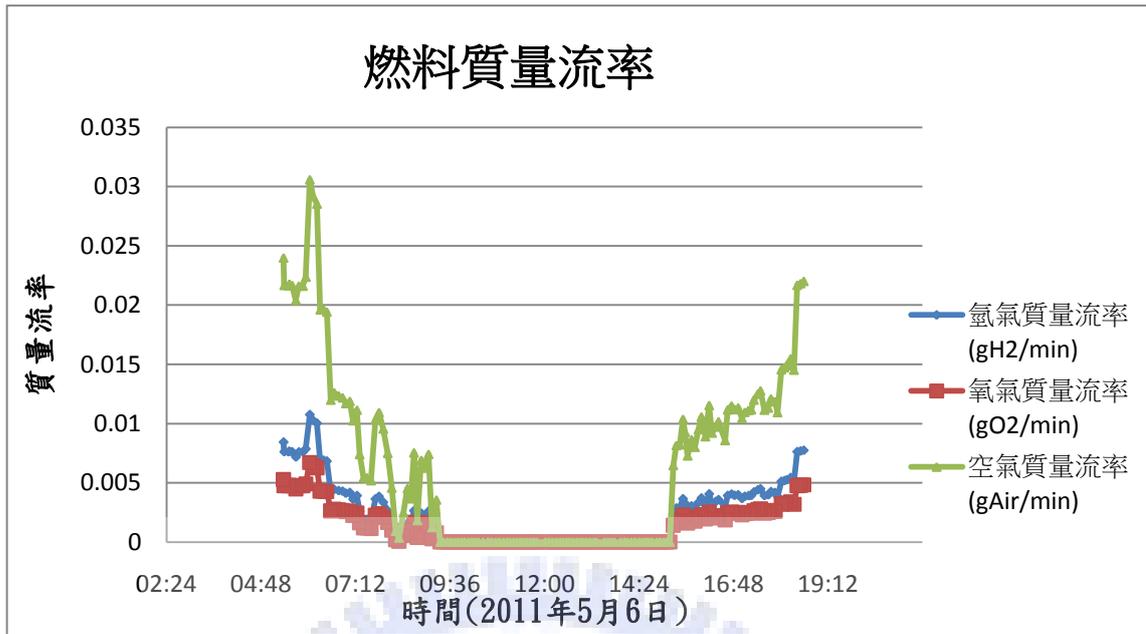


圖 4-32 根據電流值所推導之燃料質量流率

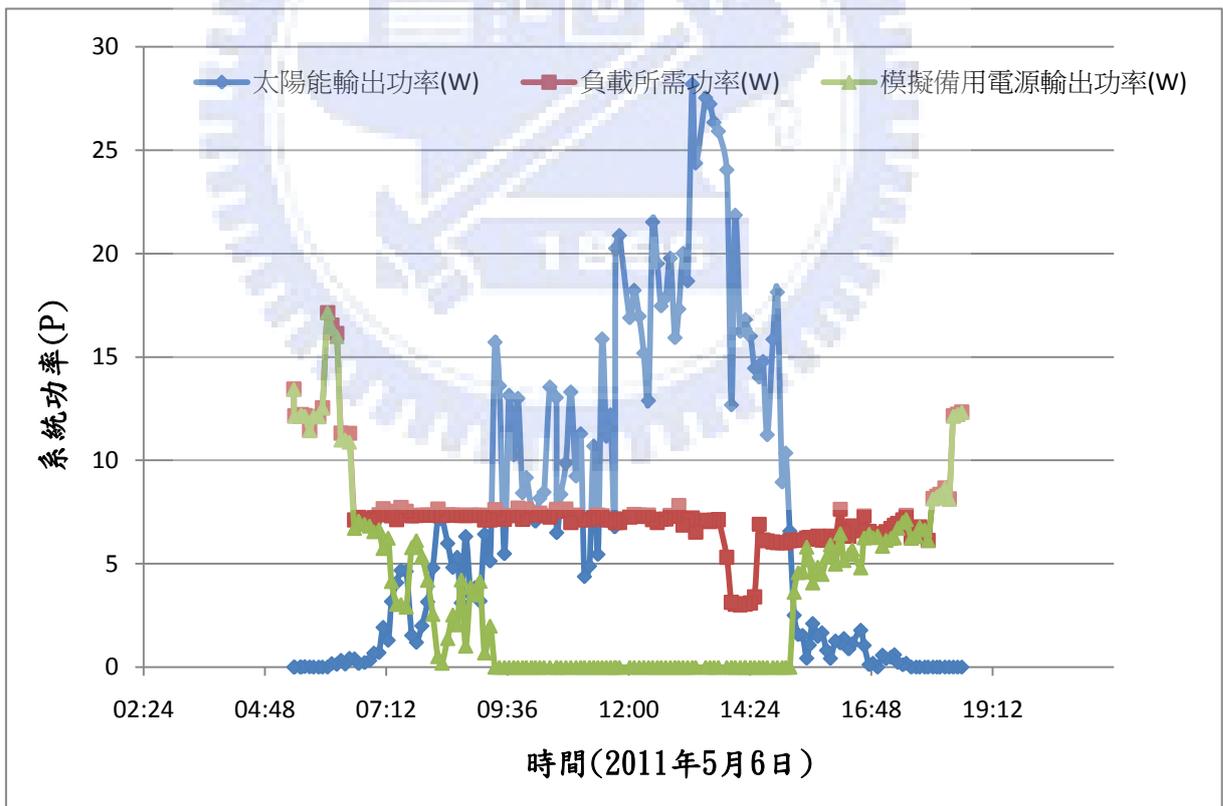


圖 4-33 太陽能電力與燃料電池電力搭配圖

(量測時間 2011/05/06 5:00~19:00)

第五章 結論與未來展望

5-1 結論

質子交換膜燃料電池在未來電力產業中是最具有前瞻性之產品，本研究透過系統元件設計與開發，大幅降低質子交換膜燃料電池的生產成本與重量，對 PEMFC 系統在應用上有嶄新的突破。本研究之成果詳述如下：

1. 使 PMMA 材料，經過塑膠表面金屬鍍膜處理，運用於質子交換膜燃料電池之雙極板，對其整體重量與成本均有明顯的改善，重量大幅下降約有 70%。
2. 在本研究經過表面改質處理後，使雙極板上之金屬膜具有較佳的附著力與接觸電阻，所製作之雙極板其表面接觸電阻僅 0.007Ω ，並成功製備兩組分別為 6V、5V 之電池組，其重量皆在 0.5 kg 以下。此外本研究在金屬鍍膜時，是以金膜 10^{-6}m 、銅膜 3000\AA 之條件，可獲得低於 $2\text{mA}/\text{cm}^2$ 之條件下與金屬雙極板近似相同之 IV 曲線。
3. 本研究透過矽膠與鋁箔膠帶做為燃料電池組裝之介質，將有效改善以往使用金屬墊片所增加之重量與成本，並對整體電性不會造成太大之影響。本研究所使用自然進氣之雙極板結構，所得之單電池額定電壓約為 0.43V，額定電流約為 0.2A，並透過增加風扇，提高空氣流量有助於電流值之增加。

4. 透過 LabView 之軟體應用，減少建立資料擷取與控制裝置上所需之時間，所開發混合電力系統之應用介面，未來可針對個人所需之電子設備工作啟動時間與功率進行規劃，且進行燃料質量流率之計算，將有助於進行混合電力系統之建構，節省設計開發上之成本與時間。

5-2 未來展望

燃料電池在應用及發展上仍具備許多需要改善之問題，本研究雖然針對質子交換膜燃料電池在雙極板與組裝製程上提出改良之方式，以大幅降低原有產品之成本與重量。

但燃料電池之元件中，如觸媒、質子交換膜…等元件，仍存在許多可研究之議題，將其分述如下：

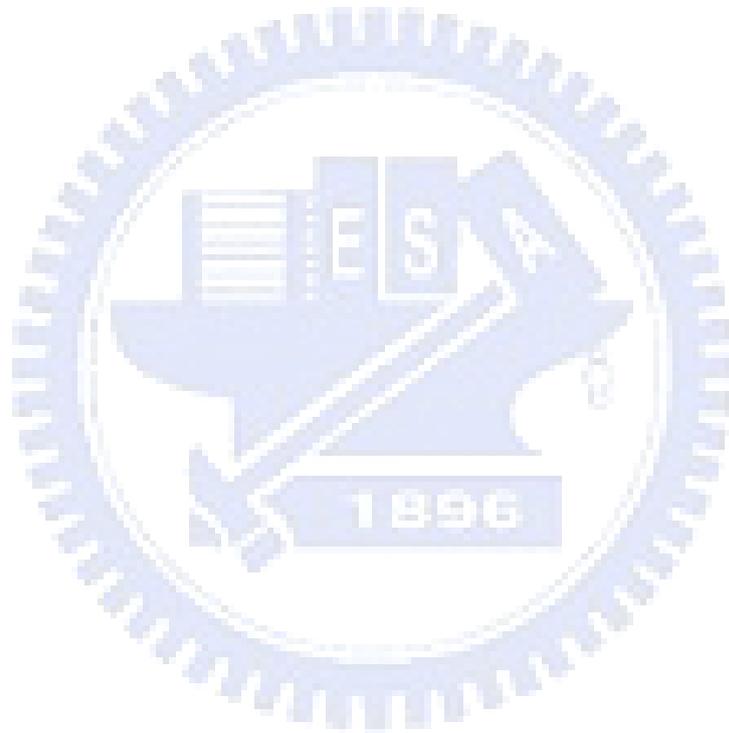
1. 其製造成本仍然過於昂貴，本研究是以機械傳統工藝—射出成型進行雙極板基材製作，因其製程成本低，未來將有助於大量生產，但燃料電池成本昂貴之原因，另有觸媒與電解質…等因素，因此各國學者亦努力研發其他材料以取代原有觸媒材料—鉑，使燃料電池更快邁入普及化之階段。

2. 而燃料電池之燃料—氫氣、氧氣儲存問題還需克服，本研究認為燃料電池在未來發展上，應該會利用空氣取代氧氣，以減少氣瓶的攜帶量，因此所製備之電池組是採自然進氣之方式，雖然使得發電功率上較一般氫氧燃料電池低，但其在製作時間與成本皆較為便宜。
3. 本研究所開發之電池組與商品化之燃料電池組 ReliOn SR-12 500W PEM Fuel Cell[75]比較，如表 5-1 所示。在本研究所開發之電池組，若相似性放大成 48 顆單電池，在性能優劣上將不比 ReliOn SR-12 500W PEM Fuel Cell 遜色，而所開發之電池組，仍在進行耐久性測試中，且希望能夠通過安全性…等檢測，若能進一步研發電池系統周邊設備，例如：重組氣系統、電力控制單元…等元件，事必能提供後續學者作為研究之參考。

表 5-1 電池組規格比較

	本研究	市售商品
電池數目	12(48)	48
額定電壓	6V(24V)	25-39V
工作面積	2*5cm	56.5*61.5 cm
額定功率	12W(324W)	50W
電池組重量	0.9g	44kg
材質	PMMA	金屬
價位	600 美元 (開發費用)	8000 美元

4. 混合電力系統之應用現已成為電力系統之主流，舉凡如太陽能併聯市電、太陽能併風力發電…等，在應用上已有許多前例可循，本研究採用之混和電力控制方法，僅針對太陽能電力不足時進行備用電源操控，因此在程式執行上有其所需之執行時間與誤差，未來將可透過更佳的控制法與程式架構，改善這些缺點。



參考文獻

- [1] 經濟部能源局，能源產業技術白皮書，2010
- [2] Lin, M, Cheng, Y and Yen, S.,” Evaluation of PEMFC power systems for UPS base station applications”, Journal of Power Sources, 140, pp.346-349,2005.
- [3] 黃朝榮、林修正、衣寶廉，” 燃料電池-原理與應用” ，五南文化事業機構，2005
- [4] 本間琢也 監修/王建義 編譯，圖解燃料電池百科，全華圖書，2004
- [5] Wee, Jung-Ho,” Applications of proton exchange membrane fuel cell systems”,Renewable and Sustainable Energy Reviews,11,pp. 1720-1738, 2007.
- [6] 鄭耀宗，徐耀昇，燃料電池技術進展的現況分析，燃料電池論文集，經濟部能源委員會，p15~27，1999
- [7] 泰新能源股份有限公司 <http://www.tension.com.tw/>
- [8] 亞太燃料電池股份有限公司 <http://www.apfct.com/>
- [9] 工研院 IEK，燃料電池產業未來之趨勢與投資機會，2007/05
- [10] 吳信達，“超輕型質子交換膜燃料電池之研究”，交通大學，博士論文，2010
- [11] Corbo, Pasquale, Migliardini, Fortunato, Veneri, Ottorino, "Experimental analysis and management issues of a hydrogen fuel cell system for stationary and mobile application", Energy Conversion and Management, 48, pp 2365-2374, 2007
- [12] Candusso, D., Harel, F., De Bernardinis, A," Characterisation and modelling of a 5 kW PEMFC for transportation applications", International Journal of Hydrogen Energy,31,pp 1019-1030,2006
- [13] 陳長鵬，科技專題：燃料電池的演進與原理介紹，大紀元 <http://www.epochtimes.com> ，2006
- [14] 燃料電池發電次世代技術調查委員會 編著，溫武義 編譯，燃料電池技術，全華圖書，2004
- [15] fuel cell today <http://www.fuelcelltoday.com/>
- [16] 中華民國專利資訊檢索系統 <http://twpat.tipo.gov.tw/>
- [17] United States Patent and Trademark Office <http://patft.uspto.gov/>
- [18] Gunter, Sattler, “PEFCs for Naval Ships and Submarines : many tasks,

- one solution,” *Journal of Power Sources*, 71, pp. 144-149, 1998.
- [19] Barbir, F., Bahar, B. and Kolde, J. A., “Development of 10 kW Pem Fuel Cell Stack with Advanced Membrane/Electrode Assemblies,” *Electrochemical Society’s 190th Meeting*, San Antonio, Texas, October 6-11, 1996.
- [20] Miyake, Y., Akiyama, Y., Hamada, A., Itoh, Y., Oda, K., Sumi, S. and Nishio, K., “Status of Fuel Cells R&D Activities at Sanyo,” *Journal of Power Sources*, 61, pp. 155-160, 1996
- [21] Picot, D., Metkemeijer, R., Beziau, J. J. and Rouveyre, L., “Impact of the Water Symmetry Factor on Humidification and Cooling Strategies for Fuel Cell Stacks,” *Journal of Power Sources*, 75, pp. 251-260, 1998.
- [22] Sohn, Y. J., Park, G. G., Yang, T. H., “Operating characteristics of an air-cooling PEMFC for portable applications”, *Journal of Power Sources*, 145, pp 604-609, 2005
- [23] Buchi, F. N., Tran, D. and Srinivasan, S., “Performance of Pem Fuel Cells without External Humidification of the Reactant Gases,” *Electrochemical Society Proceedings*, 95 (23), pp. 226-240, 1997.
- [24] Chu, D. and Jiang, R., “Comparative Studies of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack and Single Cell,” *Journal of Power Sources*, 80, pp. 226-234, 1999.
- [25] K. Tuber, A. Oedegaard, M. Hermann, C. Hebling, “Investigation of fractal flow-fields in portable proton exchange membrane and direct methanol fuel cells”, *Journal of Power Sources* 131, pp. 175–181, 2004.
- [26] E.A. Cho, U.S. Jeon, H.Y. Ha, S.A. Hong and I.H. Oh, “Characteristics of composite bipolar plates for polymerelectrolyte membrane fuel cells”, *Journal of Power Sources*, Vol.125, pp.178-182, 2004.
- [27] Wilson, Mahlon, “Composite bipolar plate for electrochemical cells”, WO00/25372, 2000.
- [28] James Larminie, Andrew Dicks, “Fuel Cell Systems Explained”, John Wiley, 2001.
- [29] M.H. Oh, Y.S. Yoon, S.G. Park, The electrical and physical properties of alternative material bipolar plate for PEM fuel cell system, *Electrochimica Acta*, 50, pp 777-780, 2004

- [30] J. Wind, R. Spah, W. Kaiser, G. Bohm, Metallic bipolar plates for PEM fuel cells, *Journal of Power Sources*, 105, pp 256-260, 2002
- [31] 陳科宏、陳世明、馬振基、關旭強、吳漢朗，燃料電池雙極之製程及其性質之研究，清華大學化工系、工研院材料所，2003
- [32] 吳信達，DMFC 之性能測試與系統設計，明道大學，碩士論文，2006
- [33] 陳皇任，結合反應氣體流道與冷卻流道之 PEMFC 雙極板的研製，碩士論文，2005
- [34] M. Prasanna, E.A. Cho*, T.-H. Lim, I.-H. Oh, "Effects of MEA fabrication method on durability of polymer electrolyte membrane fuel cells ", *Electrochimica Acta*, 53, pp 5434-5441, 2008
- [35] Choi, K. H., Peck, D. H., Kim, C.S., and Shin, D. R., "Water transport in polymer membranes for PEMFC", *Journal of Power Sources*, 86, pp.197-201, 2000.
- [36] Jeong-Gyu, L., et al. Implementation of Fuel Cell Dynamic Simulator. in *Power Electronics Specialists Conference*, 2006. PESC '06. 37th IEEE. 2006.
- [37] Restrepo, C., et al. Simulator of a PEM fuel-cell stack based on a dynamic model. in *Industrial Electronics*, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE. 2009.
- [38] Hong-Jun, C., et al. An analysis of PEMFC & photovoltaic 500W hybrid system. in *Power Electronics*, 2007. ICPE '07. 7th International Conference on. 2007.
- [39] Chen, C. ,Y.Lai, W. ,H.Weng, B. J.," Planar array stack design aided by rapid prototyping in development of air-breathing PEMFC ", *Journal of Power Sources*,179,pp 147-154,2008
- [40] M. Hinaje, D. Nguyen, S. Raël, B. Davat," Impact of defective single cell on the operation of polymer electrolyte membrane fuel cell stack", *International Journal of Hydrogen Energy*,34,pp 6364-6370,2009
- [41] Rajalakshmi, N.,Pandian, S.,Dhathathreyan, K. S.," Vibration tests on a PEM fuel cell stack usable in transportation application ", *International Journal of Hydrogen Energy*,34,pp 3833-3837,2009
- [42] Ladewig, B. P.,Lapicque, F.," Analysis of the Ripple Current in a 5 kW Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack ", *Fuel Cells*,9,pp

157-163,2009

- [43]S. D. Wu, C. P. Chou, R. G. Peng, C. H. Lee, Y. Z. Wang, "A novel scrape- applied method for the manufacture of the membrane–electrode assembly of the fuel–cell system", Acta Mech Sin, 2009.
- [44]黃鎮江，"燃料電池"，全華科技圖書股份有限公司，2003
- [45]翁芳柏，徐耀昇，"燃料電池實驗教材"，亞太燃料電池科技公司，2006
- [46]Robert C. Makkus, Arno H.H Janssen, Frank A. de Bruijn and Ronald K.A.M.Mallant ,Stainless steel for cost-competitive bipolar plates in PEMFCs , Fuel Cells Bulletin Volume,17, pp 5-9 ,2000.
- [47]Jenn-Kun Kuo, Chao-Kuang Chen, A novel Nylon-6 – S316L fiber compound material for injection molded PEM fuel cell bipolar plates, 2006
- [48]H. Tawfika, Y. Hung, D. Mahajan 'Metal bipolar plates for PEM fuel cell—A review, Journal of Power Sources, 163,pp 755 – 767,2007
- [49]柯賢文，"表面與薄膜處理技術"，全華圖書，2005
- [50]Masako Yudasaka, Rie Kikuchi, Takeo Matsui, Yoshimasa Ohki, Susumu Yoshimura, and Etsuro Ota, "Specific conditions for Ni catalyzed carbon nanotube growth by chemical vapor deposition "Applied Physics Letters ,67, pp 2477 ,1995
- [51]汪建民，材料分析，中國材料科學學會，1998。
- [52]賴耿陽，塑膠金屬化加工技術，復漢出版社，1999
- [53]謝慶雄，模流分析基礎入門，國立勤益技術學院 CAE 實驗室講義
- [54]沈輝、曾祖勤，太陽能光電技術，五南出版社，2008
- [55]Gencoglu, Muhsin Tunay,Ural " Design of a PEM fuel cell system for residential application", International Journal of Hydrogen Energy,34,pp 5242-5248,2009
- [56]劉佳杰，燃料電池複合雙極板表層金屬膜強度及電行為之研究，交通大學，碩士論文，2008
- [57]劉安祐，不同表面濺鍍於複合雙極板之導電性與機械強度研究，交通大學，碩士論文，2009
- [58]洪振祐，電池塑膠雙極板披覆銅導電層之研究，交通大學，碩士論文，2009

- [59] 田民波，薄膜技術與薄膜材料，五南出版社，2007
- [60] 洪敏雄、王木琴、許志雄、蔡明雄、呂英治、方冠榮、盧陽明，工程材料科學，全華圖書，2009
- [61] 金原榮著，王建義譯，薄膜工程學，全華圖書，2005
- [62] Scribner Associates <http://www.scribner.com/>
- [63] 吳信達、莊漢鵬、周長彬，"The Study of a new utilization in aquaculture by using green energy"，International Innovation and Invention Conference,2010
- [64] 吳信達,葉吉修,徐肇鴻,周長彬,葉柏樑,李光中，"綠色能源系統運用至環境生態之研究"，資源與環境學術研討會，2009。
- [65] 美商國家儀器公司 <http://www.ni.com>
- [66] Shinn-dar Wu, Wei-Yu Ho, Chang-Pin Chou, "Improvement of Metallic Bipolar Plate of PEMFC by Deposition of Nano-scaled Multilayer Films", THE 10TH CHINESE HYDROGEN ENERGY CONFERENCE, September 17-20,2009.
- [67] S. D. Wu, W. Y. Ho, C. P. Chou, J.J.Hwang, A. H. Chiou, "The Study of Metal Film Strength Composite Low-weight Bipolar Plate for Fuel Cell", THE 10TH CHINESE HYDROGEN ENERGY CONFERENCE, September 17-20,2009.
- [68] Shinn-Dar Wu, Cheng Yu Hung, Chang Pin Chou, "Metallization of the new composite of bipolar plate for fuel cells", The First International Conference on Applied Energy (ICAE09), 5-7 January, 2009, Hong Kong, ICAE09_066
- [69] 恒裕科技股份有限公司 <http://www.hengyu.com.tw/>
- [70] Horizon-fuel cell technologies <http://www.horizonfuelcell.com/>
- [71] 蕭子健，硬體介面專題製作 LAB VIEW 7X，高立圖書，2005
- [72] IT360 <http://it360.tw/>
- [73] Li Chun-Hua,Zhu Xin-Jian,Cao Guang-Yi," Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology", Renewable Energy,34,pp 815-826,2009

[74] 蕭子健，虛擬儀控程式設計 LabVIEW 8X，高立圖書，2007

[75] Fuel cell 2000 <http://www.fuelcells.org/>

