

綠色能源科技—淺談燃料電池

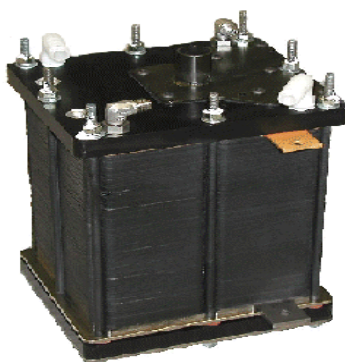
*江文鉅、**林永清

*高雄師範大學工業科技教育學系副教授

**高雄師範大學工業科技教育學系研究生

壹、前言

隨著社會環境的改變，科技不斷的創新進步，經濟持續的成長，進而人類也要求生活品質的提高，能源的需求也就日益增加，因此，各種不同的能源（如石油、煤、天然氣、核燃料、太陽能、風力、水力、地熱、海洋能、生質能、氫能等）紛紛的被開發出來並被使用，而其中以非再生能源的石油、天然氣、煤等化石能源被開發的比例最多，也因此造就了石化工業的蓬勃發展。但是，因為大量的使用石油、天然氣、煤等化石能源，卻也造成了化石能源枯竭、空氣污染與全球溫室效應等嚴重的問題，而這些嚴重的問題甚至會危害人類之後代子孫，不可不重視之。爲了要減緩地球村有限能源之耗竭，並改善愈來愈嚴重之環境污染問題，地球村的每一個國家無不竭盡所能的研發綠色新能源，期能留下一個優質環境以供後代子孫生長，而在各個國家所研發之各項新能源中，二十一世紀最閃亮的新能源應是屬於燃料電池了，燃料電池（Fuel Cell）（如圖一）所具備之高效率及低污染之特性，不僅是最符合時代之所需，也是最具有發展潛力之綠色能源裝置，在未來也是具有能源界舉足輕重的地位。



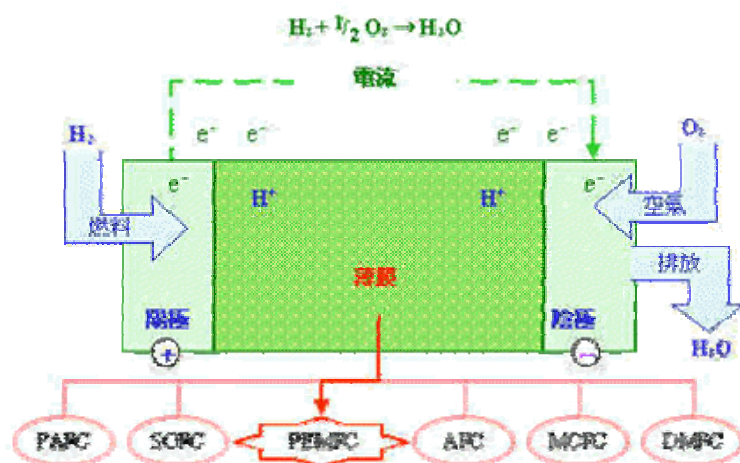
圖一 燃料電池

貳、燃料電池科技發展與創新分析

能源不僅是人類日常生活之所需，更是全世界各種動力與工業經濟的命脈，所以各國為求發展，而無限制的開發能源使用，導致能源的枯竭以及地球村環境的污染，並危及到人類與後代子孫。因此，基於能源與環保的觀點，各種綠色能源科技工程在二十世紀後期蓬勃發展，而燃料電池是最具有潛力之能源科技。燃料電池的用途非常的廣泛，受到世界各先進國家的重視，並相繼投入相當大的經費與人力在相關領域的研究上，而在「經濟學人雜誌 (Economist)」中，亦把燃料電池科技與資訊科技、生物科技並列於目前最重要的三大科技，由此可見燃料電池科技的未來發展是不可限量，值得我們高度關心與認識。

一、何謂燃料電池？

燃料電池 (Fuel Cell)，是一種使用燃料 (氫氣) 產生與維持電力的發電裝置，不像一次電池一樣用完即丟棄，也不像二次電池一樣，用完必須繼續充電以維持其電力。燃料電池我們可以從它的名稱得知，它是添加燃料來維持其電力，而所需要的燃料是「氫」氣，燃料電池的運作原理如圖二，燃料電池具有以貴金屬為材料的陰陽兩個電極，分別充滿電解液，而陰陽電極之間是一種具有滲透性的薄膜所構成。若將氫氣導入燃料電池的陽極，這時氧氣 (或空氣中的氧氣) 則會由陰極進入了燃料電池裡，再經由催化劑的作用，使得陽極中的氫原子分解成兩個氫質子 (proton) 與兩個電子 (electron)，其中的質子被氧吸引到薄膜的另一邊，電子則會經由外電路形成電流後到達了陰極。並在陰極催化劑作用之下，氫質子、氧及電子會發生化學反應而形成了水分子，也因此純水可以說是燃料電池唯一所產生的排放物。



資料來源：台灣經濟研究院

圖二 燃料電池的運作原理

而燃料電池所使用的「氫」燃料可以從任何的碳氫化合物來獲得，例如天然氣（石油氣）、甲醇、乙醇（酒精）、水的電解、沼氣…等等皆可，且由於燃料電池是利用氫及氧所產生的化學反應來產生電流及純水，因此不但對環境完全沒有污染問題，也避免了傳統蓄電池充電必須耗費時間的問題，是目前最具有發展前景與研究價值的一種綠色能源，如果能夠發展出效率更高、體積更小且方便攜帶的燃料電池，並大量應用在車輛及其他具有高污染之發電工具上，相信將能顯著減緩能源的耗竭、改善空氣污染及溫室效應等世界問題。

二、燃料電池科技之發展與創新分析

燃料電池是一種可以將燃料的化學能，透過電化學反應直接轉換成電能的發電裝置。其發展的歷史從 1839 年開始，當時是由英國的一位法官威廉葛洛夫（William Grove）在一項業餘的瓦斯電池實驗中，對兩個白金電極分別供給氫氣與氧氣，這時卻發現在兩個電極之間產生了電壓以及電流，因而產生了燃料電池的發電原理，但是當時由於電極材料不易取得的問題，因而使這項的發明當時並未受到重視；經過不斷的研究 1899 年能司特首度發現固態電解質的導電行為，並於 1937 年第一個陶瓷型燃料電池並由鮑爾與葡來司首先示範成功（楊志忠、林頌恩、韋文誠，2003）；到了 1959 年英國人法蘭西斯培根（Francis T. Bacon）製作出一個 5kW 的燃料電池組，其當時已經能夠推動電鋸機、電鋸及堆高機，使得這一項科技技術可以走出實驗室並被應用，而後 1960 年使用氫氧為燃料的鹼性燃料電池（Alkaline Fuel Cell；AFC）更於美國太空計畫中成功的應用在太空科技上，成為了太空梭的電力供應系統，並因為燃料電池所產生的排出物是純水，所以也成為太空人飲用水的維生系統。1970 年代由於發生能源危機及 1980 年代環保意識的高漲，燃料電池開始再度受到重視與發展，以提昇能源的使用效率及減緩環境的負擔為首要，1985 年，歐盟結合歐洲各個國家從事燃料電池技術的開發與研究，而其中以德國最為積極，除引進磷酸型燃料電池（Phosphoric Acid Fuel Cell；PAFC）試驗機組外，並發展熔融碳酸鹽燃料電池（Molten Carbonate Fuel Cell；MCFC）、固態氧化物燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell；SOFC）、質子交換膜燃料電池等（Proton Exchange Membrane Fuel Cell；PEMFC），尤其 BENZ 車廠將燃料電池應用在車輛的動力上，使得燃料電池這項科技的商業化進展更加的迅速。

其他如 Ansaldo 和 Internal Fuel Cells (IFC)公司結盟推廣磷酸型燃料電池 (PAFC)，以及義大利 De Nora 公司研製車用質子交換膜燃料電池 (PEMFC) 都已經有了相當不錯的成績，到了 2003 年全世界有總數超過 1000 家的企業及研究機構參與了燃料電池的組件及系統的技術研發，2004 年日本東芝推出了筆記型電腦 (Note Book) 用的直接甲醇燃料電池 (Direct Methanol Fuel Cell ; DMFC) 以做為可攜式的電池，而此型的燃料電池可以提供比一般的鋰電池高出 5 倍的電量，如圖三。



圖三 筆記型電腦用的直接甲醇燃料電池 (DMFC)

我國燃料電池的發展研究開始於 1958 年，在 1970 年代，我國原有多家單位研發鹼性燃料電池 (AFC) 並亦有成果，後來因為政府航天計畫的改變，導致燃料電池的發展研究中止，一直到了 1990 年，工業技術研究院能源與質源研究所又開始研究磷酸燃料電池 (PAFC)，於是我國第二次的燃料電池研究製造高潮逐漸的形成，目前亞太燃料電池公司已經成功研發了高效能而且安全的氫氣儲存技術，可以將氫氣儲存在比一公升的寶特瓶稍小的儲氫罐裡，讓氫氣可以像汽油一樣帶著走，且工研院材料所在 2003 年展示了最新研發出的微型直接甲醇燃料電池，能量密度比鋰 (Li) 離子電池高出 3~5 倍，未來可以使筆記型電腦連續工作達 40 個小時；目前我國有將近 20 家的研究單位在研究燃料電池的技術，不過，我國的燃料電池仍未實際的應用在日常生活上，這與國外比較之下仍有相當大的差距與進步空間。

以下說明燃料電池科技對心理層面、知識層面、社會層面及文化層面的關係與影響：

(一) 心理層面

能源是國家發展的基本動力，是人類生活不可或缺的要素，而生活環境的土地、空氣、水亦是人類基本生存的要害；因此，能源與環境都是人類最基本的需求，而減緩能源的耗竭及環境的污染及破壞更是居住在地球村的人類所須要努力的。

(二) 知識層面

燃料電池發展至今已將近 170 年，其間各國投入大量的經費與人力致力於研發及改良，使得發電量變大、體積變小、燃料及材料取得更為容易，這些都是結合了不計其數的工程師所貢獻的理論知識與經驗而得來的；相對的若要使燃料電池科技的發展更臻完善，研究工程師的培養與相關知識的整合及累積都是相當重要的。

(三) 社會層面

在燃料電池持續發展的將來，相信燃料電池將會取代高污染的能源，屆時將成為人類生活不可或缺的必需品，且將會直接影響到人類的日常生活。因此，人類必須先做好自我的調適以因應科技的社會環境。

(四) 文化層面

各國致力的研發燃料電池科技，會因各國的文化背景不同而對所研發的燃料電池科技用途就會有所不同，如應用於太空的燃料電池、應用於潛艦的燃料電池、應用於民生的燃料電池等。待滿足了該文化需求後，勢必又會造成另一文化的改變及衝突。

參、燃料電池的種類與特性

燃料電池的分類通常是以採用電解質之種類不同來區分，因此目前燃料電池依照其所採用之電解質型態不同，大致可分為：

一、鹼性燃料電池 (Alkaline Fuel Cell ; AFC)

鹼性燃料電池 (AFC) 以 OH^- 為導電離子，通常以氫氧化鉀 (KOH) 為電解質，發電效率約 70%，操作溫度小於 100°C ，但是鹼性電解質容易和空氣中的二氧化碳結合成碳酸鹽，導致性能下降，甚至失去功用，所以只能使用純氧來當作氧化劑，而由於這個限制，因此主要應用在太空科學方面。

二、磷酸型燃料電池 (Phosphoric Acid Fuel Cell ; PAFC)

磷酸型燃料電池 (PAFC) 以 H^+ 為導電離子，通常以濃磷酸 (H_3PO_4) 為

電解質，穩定性高，發電效率約 40%~45%，操作溫度 150~210°C；為最早之商業化燃料電池，磷酸型燃料電池使用碳化矽吸附高濃度磷酸為電解質並且以 Pt/C 為觸媒，所以在電極設計方面上，必須要防止磷酸洩漏、腐蝕，並且必須對一氧化碳（CO）濃度嚴格控管，以防止白金觸媒中毒，適用於固定式能源供給系統、小型發電廠。

三、熔融碳酸鹽燃料電池（Molten Carbonate Fuel Cell；MCFC）

熔融碳酸鹽燃料電池（MCFC）以 CO₃²⁻為導電離子，通常以陶瓷材料吸附熔融態的鹼金屬碳酸鹽（Li₂CO₃-K₃CO₃）作為電解質，此鹽類在熔融狀態時，具有離子傳導功能，所以其操作溫度約為 600~700°C，是屬於高溫操作之燃料電池，在此高溫之下，即使不使用昂貴的貴金屬作為觸媒，電極的化學反應仍然可以達到完全轉換，因此燃料的選擇性多、效率高，發電效率約 45%~60%，適用於 2MW 以下之分散型電廠與集中型電廠。

四、固態氧化物燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell；SOFC）

固態氧化物燃料電池（SOFC）是一種全固態結構之電解質的燃料電池，以 O²⁻為導電離子，通常以氧化鋯（ZrO₂）作為電解質，發電效率約 50%~60%，操作溫度約為 1000°C，陽極與陰極之材料分別採用添加鎳－氫化鋯與銲之鎂酸－氫化鋯之複合材料。固態氧化物燃料電池的優點與熔融碳酸鹽燃料電池相近，所以適用於集中型電廠。

五、質子交換膜燃料電池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell；PEMFC）

質子交換膜燃料電池（PEMFC）以 H⁺為導電離子，通常以全氟或部分氫化的磺酸型質子交換膜作為電解質，又稱為高分子電解質燃料電池或固態高分子聚合物電解質燃料電池，發電效率約 40%~45%，操作溫度小於 100°C，因此具有低溫操作、啟動快速與高功率密度的特性，所以適用於移動式能源供給系統。其主要的架構為質子交換薄膜與電極的組合，其中水與熱的管理及流道的設計對於質子交換膜燃料電池性能影響甚鉅，也是開發設計中的關鍵技術；在質子交換薄膜方面，現今已有（DuPont Nafion）、（Dow）、（Asahi Aciplex）等以聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene；PTFE）為基礎架構而研發出來的薄膜。另外，兩側的電極都是以鉑為主要的觸媒，將鉑分布在具有導電性與高表面積的碳黑載體上，緊鄰氣體擴散層，該擴散層通常使用經過疏水處理的碳布或碳紙，以避免反應後水分阻塞燃料或反應氣體的通道，導致降

低其輸出性能。近年來，質子交換膜燃料電池的設計主要應用在車輛運輸工具的電池組中，並且已經陸續開發出原型機，被視為最具有發展潛力的燃料電池。

六、直接甲醇燃料電池 (Direct Methanol Fuel Cell ; DMFC)

直接甲醇燃料電池 (DMFC)，是以質子交換膜燃料電池為基礎，以直接供給液態甲醇做為燃料的質子交換膜類型之燃料電池，兩者之間的差異，主要在於液態甲醇在陽極進行氧化反應時，會釋出六個電子與氫離子並產生二氧化碳，而在反應的路徑中亦會常常形成一氧化碳的衍生物，使鉑原子失去了觸媒活性，所以直接甲醇燃料電池之陽極側使用了鉑鈦 (Pt-Ru) 雙觸媒，以防止鉑觸媒因一氧化碳而毒化。另外，由於陽極側未反應的液態甲醇易穿透質子交換膜到達陰極而造成燃料電池的性能下降，因此在質子交換膜材料的選擇上亦有不同之處。直接甲醇燃料電池的優點為能量密度高、燃料來源廣、安全性高、可長時間的供電以及簡便。因此，對於電子產品設計的限制將大幅降低，可望成為電子產品的主要電力來源。

肆、燃料電池之優缺點

一、燃料電池的優點

(一) 低污染

以化石燃料提煉氫燃料以作為燃料電池之燃料時，其提煉過程中二氧化碳的排放量比熱機的排放量減少 40%以上，可以有效的減緩溫室效應；再者燃料電池所使用之燃料氣體在反應前必須先脫硫，而且燃料電池發電不需要經過燃燒，因此不排放硫氧化物 (SO_x) 與氮氧化物 (NO_x)，以減少對空氣的污染，且燃料電池是以純氫作為反應燃料，因此所產生的排放物只有純水。

(二) 噪音低

目前普遍採用之發電技術如火力、水力及核能發電等都須以大型的渦輪機為主要的裝置，其運轉時產生的噪音非常大，而燃料電池結構簡單亦沒有運轉的機件，因此可以安靜將燃料轉換為電能。

(三) 效率高

燃料電池利用電化學原理直接將化學能轉換為電能，理論上整體的熱

與電合併其效率可達 90%以上，但是由於各種極化的限制，目前燃料電池的實際電能轉換效率約 40~60%，與其他發電技術相比較，除了核能發電以外，就算燃料電池的單位質量燃料所產生之電能是最高的。

(四) 進料廣

對燃料電池而言，只要含有氫原子的物質都可作為進料來源，例如天然氣、石油、沼氣、酒精、甲醇等碳氫化合物，非常符合能源多元化，可以減緩主要能源之耗竭。

(五) 用途多

燃料電池的用途廣泛，目前可以應用的產品包括可攜式電力、車輛電力、現場型汽電共生電廠、分散型電廠以及集中型電廠等。

(六) 免充電

一般的電池是將能量儲存於電池本體中，用完後隨即丟棄或充電後重複再使用，而燃料電池是由燃料中的化學能來提供能源，因此只要不斷地供給燃料，則燃料電池便可以不停地提供電源。

二、燃料電池的缺點

(一) 成本較高

在眾多已研發的燃料電池中，質子交換膜燃料電池是最具有發展潛力之一，但是質子交換膜燃料電池必須要以貴金屬鉑為觸媒且須以純氫作為反應氣體，因此成本較高。

(二) 單位體積及單位重量所產生的功率較小

依目前所研究發展之燃料電池，其所產生的功率太小，若想要增大其功率，必須以二個以上的燃料電池來組合成燃料電池組，因而會造成燃料電池之體積與重量增加。

(三) 安全性要求較高

目前，不論是液態氫、氣態氫、儲存在鋼瓶的氫或是由碳氫化合物重整後轉換的氫等，都是燃料電池唯一的燃料，因此氫氣的產生、儲存、運輸、灌裝或重整都比較複雜，對安全性的要求也較高。

伍、影響燃料電池科技發展的動力因子分析

影響燃料電池科技發展的因素除了減緩能源耗竭、無污染、便利性外，尚須

考慮國家競爭力之因素。

一、減緩能源耗竭

在燃料電池利用燃料發生電化學反應產出電力的過程中，只要是含有氫原子的物質都可作為燃料電池所使用的燃料，因此來源非常廣泛，故在能源匱乏的地球村，可以減緩主要能源之耗竭。

二、無污染

由於環境污染速度的加劇，因此，世界各國都致力於環境污染的防制與改善，而燃料電池科技的研發問世，除了可以減少溫室氣體二氧化碳，且不排除硫氧化物（SOX）與氮氧化物（NOX），以減少對空氣的污染，而且亦沒有機械運轉的噪音，若要說燃料電池有排放物，那也只有純水而已。

三、便利性

燃料電池的用途非常廣泛，小至行動電話電力，大至發電廠，因此適合人類日常所需用品之電力，對燃料電池而言，只要含有氫原子的物質都可作為進料來源，取得容易，並且只要不斷地供給燃料，則燃料電池便可以不停地發電，相當的便利。

四、國家競爭力

各國致力於研發燃料電池，無非是要提昇民眾的生活品質、改善民眾生活環境、加強國家建設、提昇國家地位、強化國家經濟與軍事能力、延長國家能源的使用壽命等。總而言之，是使國家在國際間與各國相互競爭，以避免在國際上處於弱勢。

陸、影響燃料電池科技之影響力的因素

由於科技的進步，人類對生活品質的要求與物質的享受也愈來愈高，而因應人類需求的科技產品也就陸陸續續的被研發及製造出來，但由於人類太過於自負，常認為「人定勝天」，因此違反了自然規律、過度的開發，導致了大自然的反撲，因而造成了能源的耗竭與環境的破壞與污染等全球性的問題，甚至已危及到全人類。

然而，各國不遺餘力的研發燃料電池之新能源，除為了減緩能源的耗竭與環境的破壞與污染等全球性問題，更因為能源是代表一個國家在國際間的競爭力。因此，燃料電池的研究發展之急需性受到下列因素的影響：

一、能源因素

一個國家若非是能源生產國，則國家的發展會時常受到牽制與限制，就算是能源生產國，其所蘊藏的能源總有一天也會耗竭。因此，一個國家擁有足夠的能源對國家的發展是非常重要的，所以研究發展新能源的技術是必須的。

二、環境因素

地球環境受到無情的開發及破壞，導致空氣污染、水污染、土地污染、氣候暖化……等。因此研究發展無環境污染的綠色能源是迫在眉睫的，而燃料電池是屬於無污染的能源，因為燃料電池經由電化學反應後除純水外無任何的污染物。

三、社會因素

人類物質需求不斷的增加，而燃料電池的研究發展也會因應需求，發展出適用於各項裝備的燃料電池，因此，燃料電池會逐漸的縮小且發電量增大，屆時該綠色能源將深入人類的日常生活中。

四、經濟因素

國家的強盛與否，經濟因素是相當重要的，當一個國家成功研究發展出高性能的燃料電池科技，除可減少向其他國家購買能源外，甚至可以將產物外銷至其他國家以賺取外匯，強化國家的經濟能力。

五、軍事因素

當國家與國家發生戰事時，其軍事行動決定的勝利與否，而軍事行動是否成功，取決於後勤的支援，而能源是軍事後勤的重要物質，其決定了軍事行動的成敗，因此要鞏固國家的軍事能力，能源科技的研究發展亦是必須的。

柒、結語

能源科技與環境保護是關係著二十一世紀人類文明發展的重要課題。因為能源是國家發展的基本動力，也是人類不可或缺的要素；而環境關係著人類生存的空間；因此兩者都必須要受到全球人類的重視。而燃料電池是一項綠色發電裝置，目前已受到各國的重視並投入大量的經費與人力以從事研究發展。因此，燃料電池預計將可成為二十一世紀最重要的能源裝置。

然而，我國在研究發展燃料電池技術方面仍落後先進國家有相當的幅度，不

僅國人對於燃料電池的瞭解很少，就連投入研究發展的人力與物力也稍嫌不足，從產業的角度來看，燃料電池對相關產業發展的影響是非常的深遠，如車輛、電子、材料、石化等工業未來若與能源工業相互整合發展，勢必發展出更多的跨領域產業，對我國產業之國際競爭力將不可限量。

捌、參考文獻

左峻德（2003）。勁量電池的微觀未來—簡析台灣燃料電池產業。**能源報導**，92年11月號，5-7。

李書峰（2004）。質子交換膜燃料電池性能之理論探討。私立大葉大學車輛工程學系研究所碩士論文，未出版，彰化縣。

徐步（2001）。燃料電池行動電話基地台供電系統可行性研究。私立元智大學機械工程研究所碩士論文，未出版，桃園縣。

勒方奇（2000）。燃料電池應用於氣渦輪機之汽電共生系統評估。國立中山大學機械工程研究所碩士論文，未出版，高雄市。

張雲朋（2003）。由空氣產生電能的新能源—鋅空氣燃料電池。**科學發展**，367期，12-15。

張詩韻（2003）。「燃」起一簇「小學」之花—燃料電池之教育推廣。**能源報導**，92年11月號，11-13。

陳慕辰（2004）。直接甲醇燃料電池陰陽兩極之阻抗分析。國立成功大學化學工程系研究所碩士論文，未出版，台南市。

楊志忠、林頌恩、韋文誠（2003）。燃料電池的發展現況。**科學發展**，367期，30-33。

鄭耀宗（2003）。「氫」航的年代—國內外燃料電池技術發展概況。**能源報導**，92年11月號，8-10。

燃料的來源～氫氣（無日期）。民94年12月25日，取自：
http://idic.tier.org.tw/TFCF/data/name/name_1_6_8.htm

燃料電池的運作原理（無日期）。民94年12月25日，取自：
http://idic.tier.org.tw/TFCF/data/name/name_2_1.htm

燃料電池的種類（無日期）。民94年12月25日，取自：
http://www.tfci.org.tw/frame0_0_new.htm

環境保護大家一起來推廣（無日期）。民 94 年 12 月 25 日，取自：

<http://www.nsc.gov.tw/dept/acro/version01/battery/electric/types/fuel.htm>

A. Pozio, R. F. Silva, M. De Francesco, F. Cardellini, L. Giorgi.

(2002). A novel route to prepare stable Pt-Ru/C electrocatalysts for polymer electrolyte fuel cell.

Electrochimica Acta, 48, 255-262.

Jeng, K. T., Chen, C. W. (2002). Modeling and simulation of a direct methanol fuel cell anode. *Journal of Power Sources*, Vol. 112, 367-375.

Jeng, K. T., Kuo, C. P., Lee, S. F. (2004). Modeling the catalyst layer of a PEM fuel cell cathode using a dimensionless approach. *Journal of Power Sources*, Vol. 128, 145-151.

Jeng, K. T., Lee, S. F., Tsai, G. F. (2004). Oxygen mass transfer in PEM fuel cell gas diffusion layers. *submitted to Journal of Power Sources*.

William H. Lizcano-Valbuena, Valdecir A. Paganin, Ernesto R.

(2002). Gonzalez. Methanol electro-oxidation on gas diffusion electrodes prepared with Pt₂/Ru/C catalysts. *Electrochimica Acta*, 47, 3715-3722.