



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：燃料電池之研究探討

作者：邱家瑋 馬崇仁

系級：四年乙班

學號：D9329512 D9366735

開課老師：李景松

課程名稱：化合物半導體元件

開課系所：電子工程學系

開課學年：96 學年度 第一學期



中文摘要

燃料電池 (Fuel Cell)，是一種發電裝置，但不像一般非充電電池一樣用完就丟棄，也不像充電電池一樣，用完需要充電，燃料電池正如其名，是繼續添加燃料以維持其電力，所需的燃料是「氫」，之所以被歸類為新能源，原因就在此。一般電池均需兩種金屬或金屬化合物作為正、負電極，並以電解質中的正負離子作為電池內部的傳導，電池外部則藉電子的流動完成通路。

燃料電池的基本發電原理是以氫氣與氧氣經過化學反應後產生水、熱能與化學能，而化學能可直接轉換成電能。

燃料電池的特性符合時代潮流的走向。其主要有下列幾項：低污染、噪音低、效率高、進料廣、用途多、免充電。目前最主要的燃料電池為：鹼性燃料電池、質子交換膜燃料電池、磷酸燃料電池、固態氧化物燃料電池、熔融碳酸鹽、直接甲醇燃料電池。

燃料電池是一項綠色發電裝置，目前已受到各個國家的重視並投入大量的經費與人力來從事研究發展。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。

關鍵字：

燃料電池、高效率發電、低污染發電、Fuel Cell

目 次

第一章 燃料電池的介紹與原理

1.1 概念-----	4
1.2 燃料電池的定義-----	5
1.3 燃料電池工作原理-----	6
1.4 燃料電池的特色-----	8

第二章 不同燃料電池的分類介紹

2.1 不同燃料電池的性能比較-----	10
2.2 主要燃料電池類型-----	11
2.2.1 鹼性燃料電池-----	11
2.2.2 磷酸燃料電池-----	13
2.2.3 熔融碳酸鹽燃料電池-----	15
2.2.4 固態氧化物燃料電池-----	16
2.2.5 質子交換隔膜燃料電池-----	18
2.2.6 直接甲醇燃料電池-----	21
2.3 不同燃料電池的特性比較-----	30
2.4 特殊燃料電池-----	31
2.4.1 鋅空氣燃料電池-----	31
2.4.2 再生式燃料電池-----	32
2.4.3 質子性陶瓷燃料電池-----	33
2.4.4 氫燃料電池-----	34

第三章 燃料電池應用與未來發展

3.1 燃料電池的應用-----	35
3.1.1 燃料電池發電需求-----	35
3.1.2 燃料電池發電廠-----	37
3.2 全球與台灣在燃料電池的發展-----	40
3.2.1 全球發展-----	40
3.2.1 國內發展-----	43
3.3 燃料電池市場-----	44
3.4 專題結論-----	46

參考資料

第一章 燃料電池的介紹與原理

1.1 概念

近年來，由於燃料電池（Fuel Cell）技術創新突破，再加上環保問題、能源不足、溫室效應多重壓力下，國際間政府、汽車、電力、能源產業等單位，漸漸重視燃料電池科技發展。

在十九世紀時，內燃機發明前就發現燃料電池的存在，但因為石油的發現與大量開採，在低成本與無環保意識的當時，人們選擇利用燃燒石油的方式來產生能源，因此燃料電池的發展在當時不受到重視。西元 1980 年，石油危機的產生，在全世界的石油短缺的危機下，儘管在開發各種能源，例如太陽能、核能、風能、潮汐能等再生潔淨能源等方面取得很大的進展，但由於這些能源的來源與供電不穩定，而燃料電池可以持續且穩定地供電因而受到矚目。目前能源的主要是來自於核能、石油、天然氣與煤等礦物，發電的原理是將礦物燃燒或反應產生大量的熱能轉換為機械能，再將機械能轉換成電能。

燃料電池發電：化學能→（電化學反應）→電能

傳統熱機發電：化學能→（燃燒）→熱能→機械能→電能



利用內燃機來產生電的方式具有低效率以及污染氣體排放的缺點。燃料電池透過一個潔淨的方式高效率發電（ $\sim 83\%$ ），同時具有低污染排放特性，能取代傳統內燃機發電方式。

國內將 Fuel Cell 譯為「燃料電池」，但其實它並非電池，而是經由電化學反應之發電機。

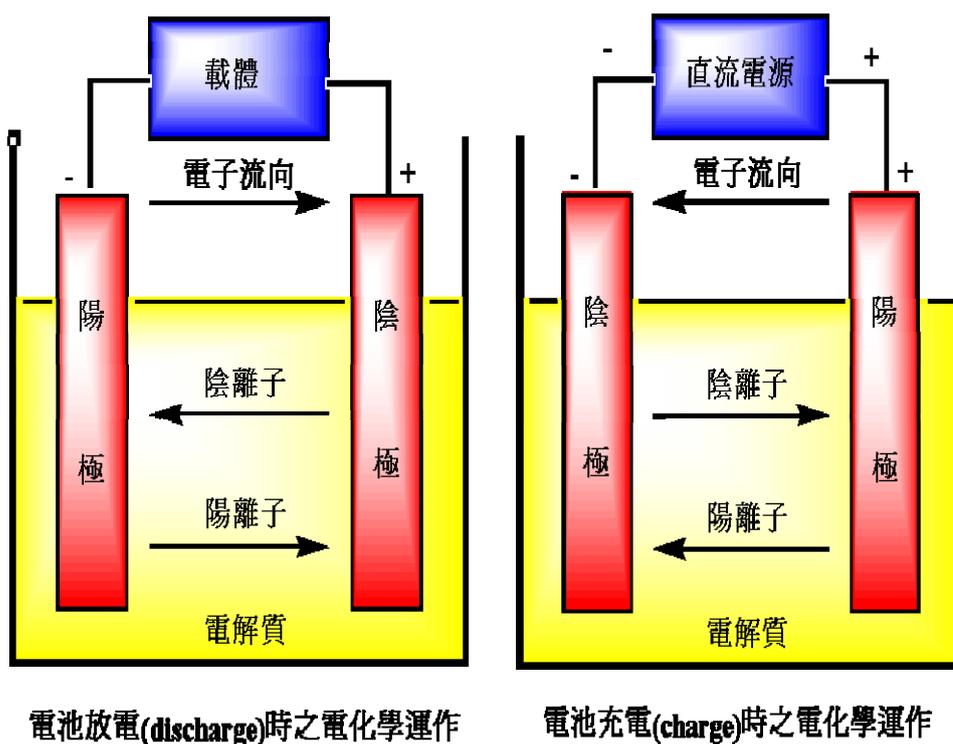
1.2 燃料電池的定義

燃料電池（Fuel Cell），是一種發電裝置，但不像一般非充電電池一樣用完就丟棄，也不像充電電池一樣，用完需要充電，燃料電池正如其名，是繼續添加燃料以維持其電力，所需的燃料是「氫」，之所以被歸類為新能源，原因就在此。

1.3 燃料電池工作原理

一般電池均需兩種金屬或金屬化合物作為正、負電極，並以電解質中的正負離子作為電池內部的傳導，電池外部則藉電子的流動完成通路。

燃料電池的基本發電原理是以氫氣與氧氣經過化學反應後產生水、熱能與化學能，而化學能可直接轉換成電能。



燃料電池的運作原理〈如圖〉，也就是電池含有陰陽兩個電極，分別充滿電解液，而兩個電極間則為具有滲透性的薄膜所構成。氫氣由燃料電池的陽極進入，氧氣則由陰極進入燃料電池。經由催化劑的

作用，使得陽極的氫元子分解成兩個氫質子與兩個電子，其中質子被氧「吸引」到薄膜的另一邊，電子則經由外電路形成電流後，到達陰極。在陰極催化劑之作用下，氫質子、氧及電子，發生反應形成水分子，因此水可說是燃料電池唯一的排放物。燃料電池所使用的「氫」燃料可以來自於任何的碳氫化合物，例如天然氣、甲醇、乙醇、水的電解…等等。由於燃料電池是經由利用氫及氧的化學反應，產生電流及水，不但完全無污染，也避免了傳統電池通電耗時的問題，是目前最具發展前景的新能源方式，如能普及的應用在車輛及其他高污染之發電工具上，將能顯著改善空氣污染及溫室效應。

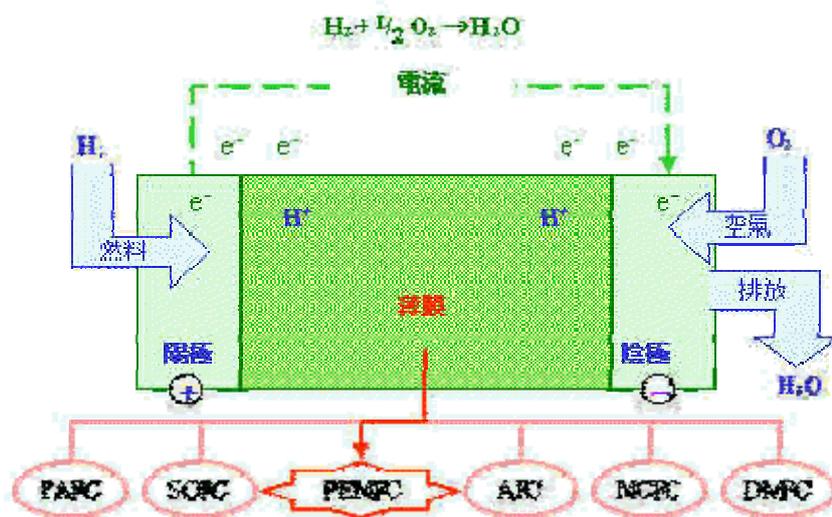
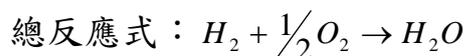
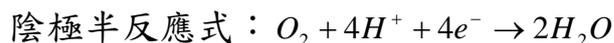
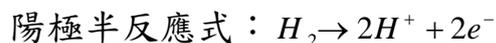


圖 燃料電池的運作原理 (資料來源：台灣經濟研究院)

不同種類的燃料電池之操作原理不盡完全相同，但其主要反應機

制原理並無太大之差異，為一流動之離子在電解質中流動與一通過外部電路之電子之電子所進行之化學反應；其總反應式與陰、陽極半反應是為：



1.4 燃料電池的特色

燃料電池的特性符合時代潮流的走向。其主要有下列幾項：

(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，且燃料電池發電不需要經過燃燒，因此不排放硫氧化物（SOX）與氮氧化物（NOX），以減少對空氣的污染，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

構簡單沒有運轉的機件，因此可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。

第二章 不同燃料電池的分類介紹

2.1 不同燃料電池的性能比較

電池類型	鹼性	質子交換膜	直接甲醇	磷酸	熔融碳酸鹽	固態氧化物
英文簡稱	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
溫度分別	低溫燃料電池			中溫燃料電池	高溫燃料電池	
操作溫度	室溫~100 度	室溫~90 度	室溫~130 度	108~205 度	650 度	800~1000 度
操作電壓	< 60 psia	< 30psia	< 75psia	< 120psia	< 120psia	常壓
電解質	KOH	含氟質子交換膜	高分子	H ₃ PO ₄	LiCO ₃ K ₂ CO ₃	ZrO ₂
陽極	C(含 Pt)	C(含 Pt) Ru	C(含 Pt) Ru	C(含 Pt)	Ni(含 Cr, Al)	金屬(Ni, Zr)
陰極	Metal C(含 Pt)	C(含 Pt)、鉑黑	C(含 Pt)	C(含 Pt)	NiO	金屬氧化物 如 LaMnO ₄
流動離子	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
池體材料	合成樹脂	石墨金屬	石墨金屬	石墨	鎳不鏽鋼	陶瓷
可用燃料	精練氫氣 電解副產 氫氣	天然氣 甲醇 輕油	甲醇	天然氣 甲醇輕油 沼氣	天然氣 甲醇石油 煤炭	天然氣 甲醇石油 煤炭
氧化劑	純氧	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣	空氣. 氧氣
反應物	高純度氫氣	混合氫氣	甲醇	混合氫氣	混合氫氣	混合氫氣
電效率	60~70%	45~58%	30%	37~42%	>50%	50~65%
電池重組可能性	不可能	不可能	不需要	可能	非常可能	非常可能
起電時間	< 0.1 h	< 0.1 h	< 0.1 h	1~4 h	5~10 h	5~10 h
技術進展	80KW	1KW	250KW	11KW	2MKW	100KW

2.2 主要燃料電池類型

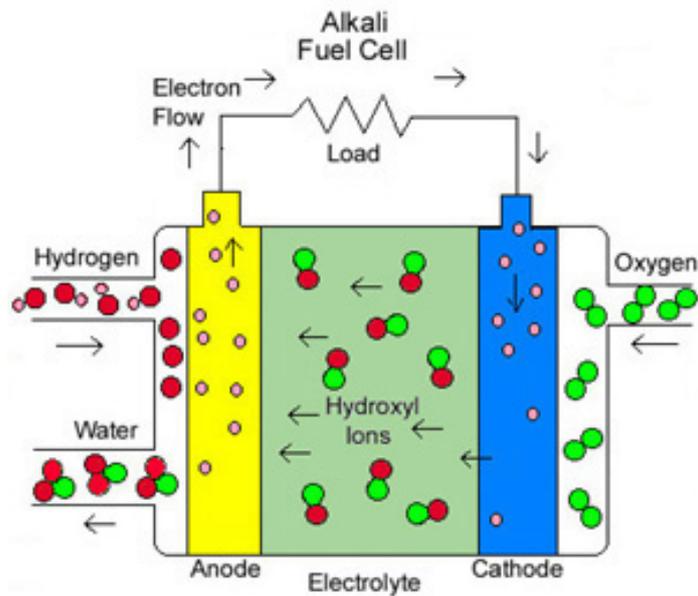
燃料電池的陽極和陰極為多孔性電極，以電解質層將之隔開，燃料及氧化劑則分別由兩極的背面通入。電解質的好壞對燃料電池的性能影響大，特別是對電解質為液態的燃料電池，如 AFC、PAFC、MCFC。

反應氣體藉催化作用以離子形式經由電解質層擴散至相反電極表面完成反應，但是如果和電解質層接觸的多孔性電極表面吸收過多的電解質，則會阻礙反應氣體離子擴散至另一邊，這種現象稱為「溢流」，若電極表面未得到電解質適度的濕潤，則會造成過高的電池內電阻，且未被濕潤的部分，無法產生反應，因而導致電極利用率下降。

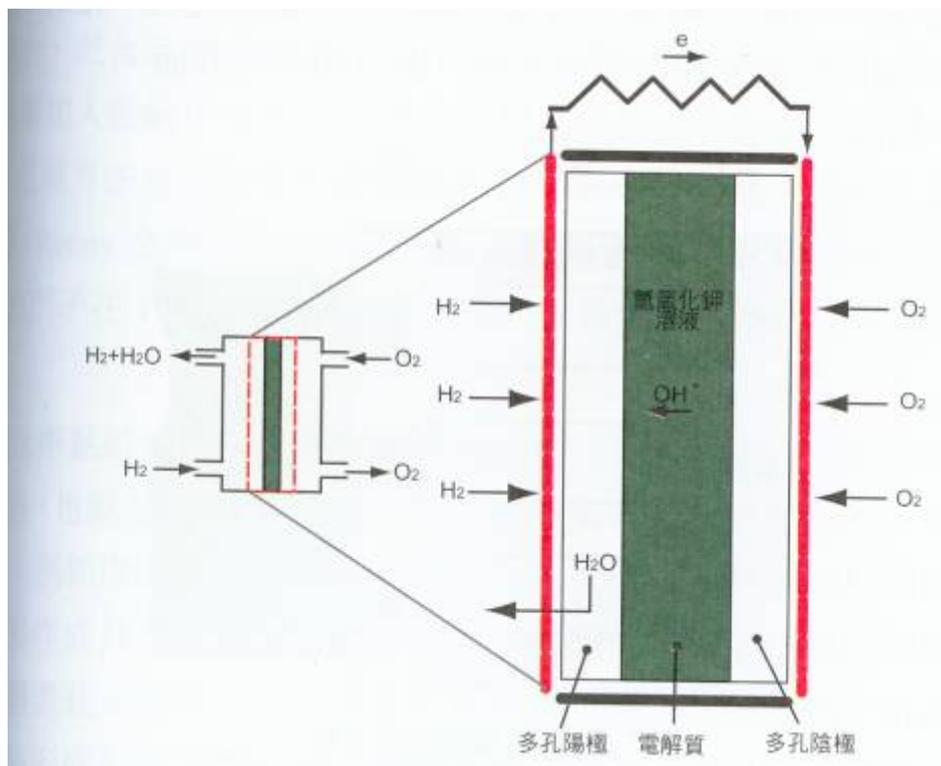
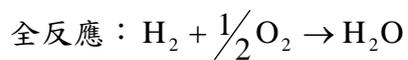
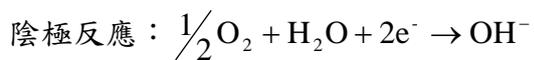
雖然，各種燃料電池的基本原理和構造相似，但其操作條件各不相同且性能優劣互見，將一一探討：

2.2.1 鹼性燃料電池 (Alkaline Fuel Cells)

鹼性燃料電池(AFC)具有快速啟動之特性，在 1960 年代曾經被 NASA 用於雙子星-太陽神(Gemini-Apollo)太空計畫，除供應電力外尚提供飲用水給太空人。其運作原理如下圖所示：氧氣在陰極與水結合形成 OH 基離子，氫氧基離子游向陽極與氫離子結合形成水，所釋出的電子形成電流。



(取材自 <http://americanhistory.si.edu/>)



AFC 型電池的電解質使用氫氧化鉀之水溶液，並可採用多種非貴金屬質的觸媒電極，但一般仍以鉑為主。操作溫度略高介於 23~100°C。燃料須採用壓縮的純氫氣，反應速率快，可產出 60-70% 的電能轉換率。

因為鹼性與二氧化碳反應會生成碳酸鹽，造成電解質阻抗增大，導致電池性能劣化，因此鹼液燃料電池不使用空氣為氧化劑。此型燃料電池發展雖早，但僅限用純氫和純氧為原料，用於太空梭及潛水艇等特殊場所。

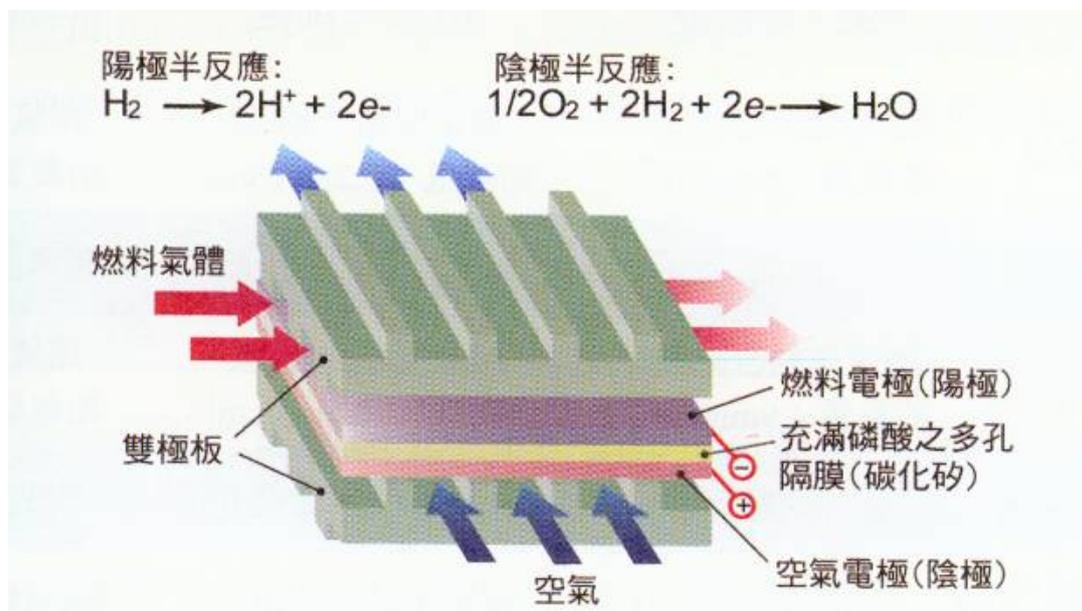
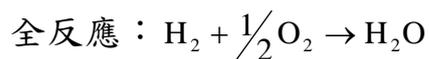
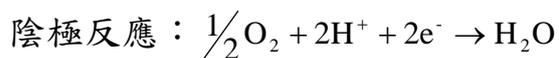
2.2.2 磷酸燃料電池 (Phosphoric Acid Fuel Cells)

磷酸燃料電池有第一代燃料電池之稱，現階段裝置容量從數 KW 至 11000KW 不等，是目前在民生消費應用經驗最多的燃料電池技術。目前全球有超過 200 具 PAFC 供電系統提供醫院、療養院、旅館、辦公大樓、機場、垃圾掩埋場、廢水處理廠及發電廠等所需之電力及蒸汽熱能。

PAFC 型燃料電池係使用磷酸為電解質，電極亦採用鉑金屬為觸媒，操作溫度較高，介於 150~200°C 之間。高溫使觸媒對碳氫燃料轉

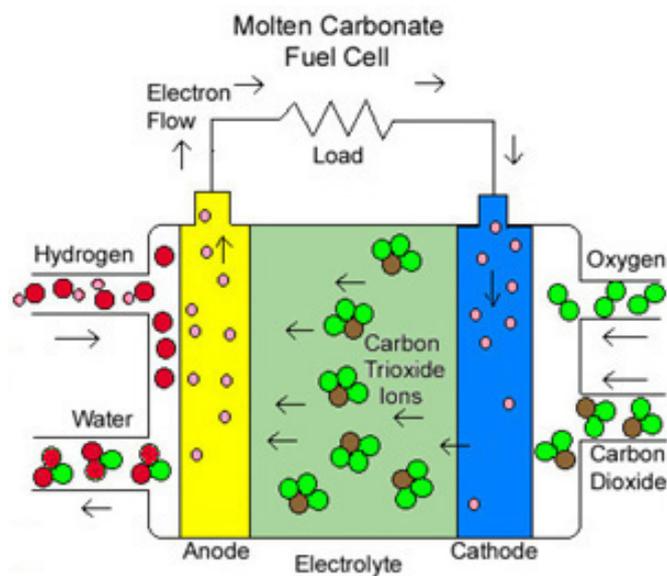
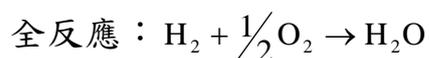
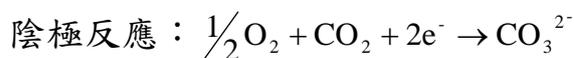
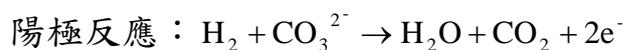
化(reformation)產生的污染物較具承受力，故 PAFC 型電池可使用天然氣、丙烷及垃圾沼氣等碳氫燃料。

PAFC 在中大型固定式發電設備之應用甚廣，電轉換效率可達 36-42%；若採熱電聯產(汽電共生，co-generation)設置，則能量轉換效率可達 85%。



2.2.3 融熔碳酸鹽燃料電池 (Molten Carbonate Fuel Cells)

MCFC 型燃料電池是由多孔陶瓷陰極、多孔陶瓷電解質隔膜、多孔金屬陽極、金屬極板構成的燃料電池。利用懸浮於多孔惰性基材中的融熔態鹼金屬(如鋰、鈉、鉀)碳酸鹽混合物為電解質，電極可採用非貴金屬的鎳質電極。陰極需有二氧化碳及氧氣同時參與反應。



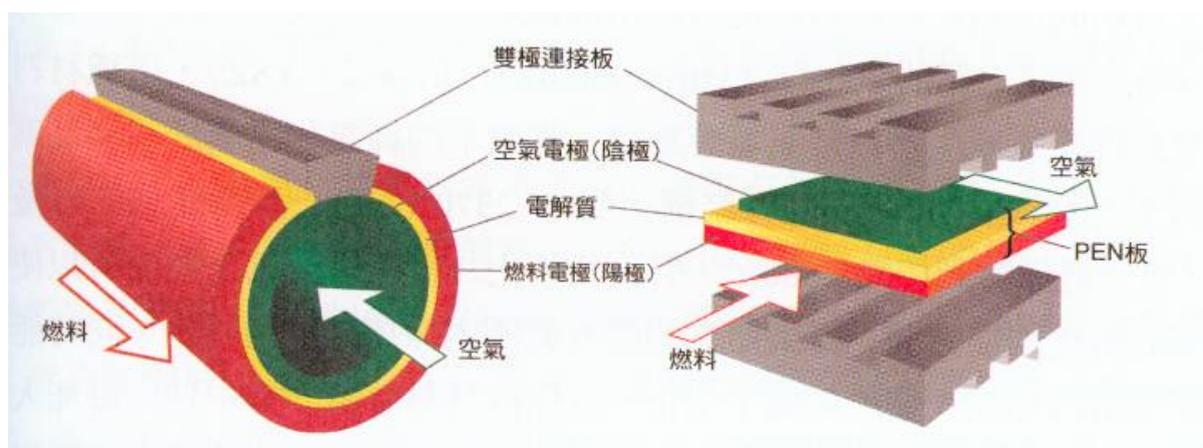
(取材自 <http://americanhistory.si.edu/>)

MCFC 電池仰賴高溫的特點使其燃料有多樣的選擇。市場上已有以氫氣、一氧化碳、煤氣、天然氣、丙烷、垃圾掩埋場沼氣及海運用柴油等。此燃料電池優點為：電池性能良好、活化極性小、總熱效率高與廢熱溫度超過 500°C ，適合後發電循環 (Bottoming Cycle) 或工業製程加熱等用途。

但有一些使用上的限制：(1)它們的啟動較慢；(2)須有強固的熱遮蔽設計；(3)耐高溫材料製作不易。當前的 MCFC 發電裝置的研發方向著重於縮小佔地空間及降低成本，以及與燃氣渦輪機的整合。

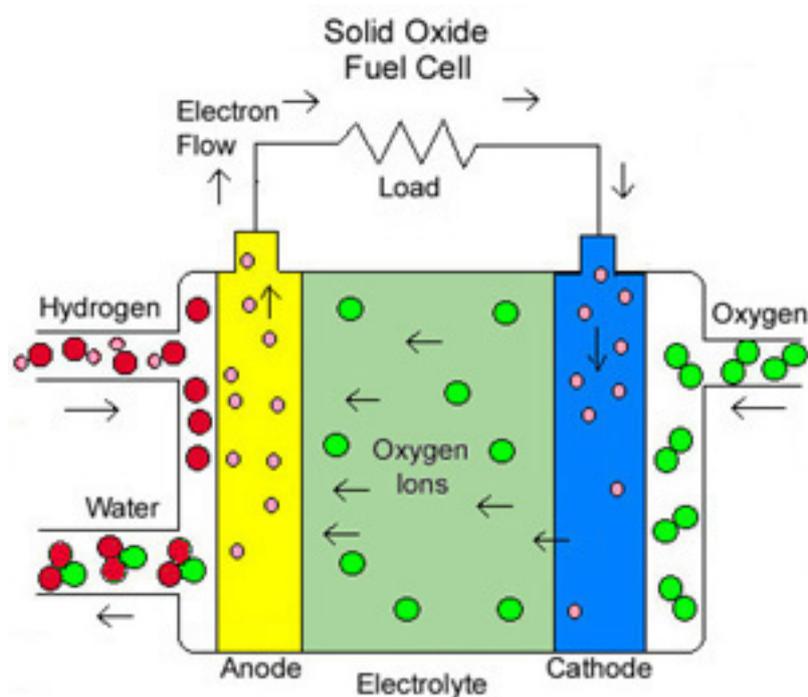
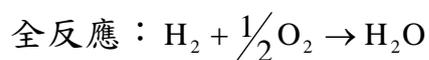
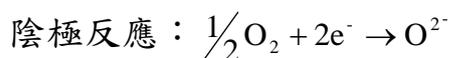
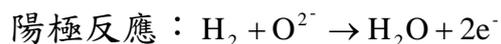
2.2.4 固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cells)

SOFC 可分管式及平板式



採用固態氧化物作為電解質，除了轉換效率高效、環境親和性佳的特點外，它無材料腐蝕和電解液腐蝕等問題。高操作溫度有幾個好

處：電極觸媒不限於使用如鉑、銻等貴金屬，可採用鎳；對一氧化碳中毒承受能力大，SOFC 甚至可使用煤氣為燃料。若再回收高溫碳氫燃料轉化過程所產生的廢熱，則可再進一步降低運轉成本。但高操作溫度下，氧化物電解質雖無洩漏之虞，仍會熱裂，影響使用壽命。



(取材自 <http://americanhistory.si.edu/>)

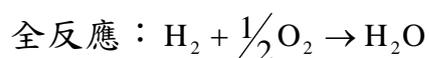
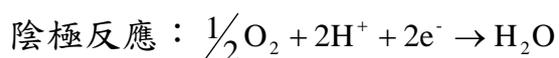
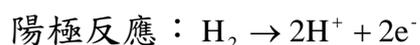
這種燃料電池所用的電解質是固態的陶瓷材料，一般為氧化鈣或氧化鋯，作用是輸送氧離子至陽極，與氫原子結合後形成水，並釋出自由電子產出電流。

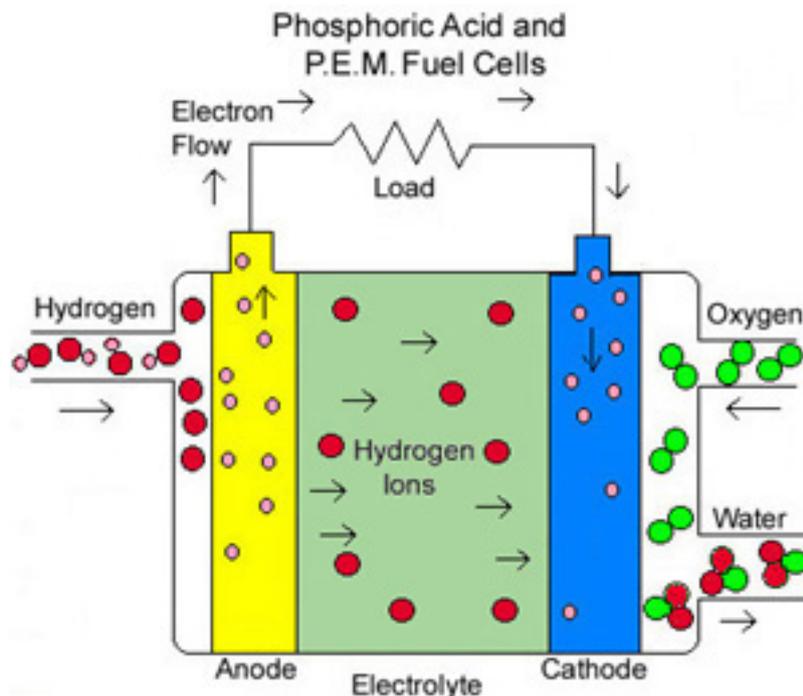
SOFC 的燃料適用範圍廣，不僅能用氫氣，還可直接用一氧化碳、天然氣（甲烷）、煤氣、碳氫化合物、NH₃、H₂S 等作燃料。這類電池最適合於分散和集中發電，如中至大型的現場發電或熱電聯供的應用。常見用於醫院、旅館及大學校區等居住用供電及電廠發電。電信產業亦常利用它來做電力之備援系統及裝載於軍用車輛上的輔助性供電設備(APUs)。

2.2.5 質子交換隔膜燃料電池

(Proton Exchange Membrane Fuel Cells)

PEMFC 的基本原件是兩個電極夾著一層高分子薄膜的電解質，電解質需要水維持溼度，使其成為離子的導體。是目前交通運輸業應用最多的燃料電池。它的電解質是固態的高分子聚合物薄膜，僅可容許質子透析過去。杜邦專利之全氟化氟碳聚合物 Nafion 已廣為業界所採用。由於此種高分子材料須在潤濕的狀態下使用且耐溫性有限，但改良後的新材質耐溫則可達 200°C。





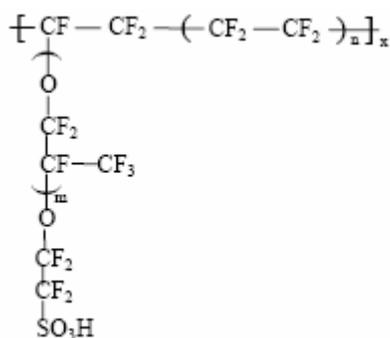
(取材自 <http://americanhistory.si.edu/>)

參與反應的觸媒採用在低溫對氫氣最有解離能力的是：鉑金屬。燃料以純氫氣為主；若使用甲醇、乙醇、天然氣或液化石油氣等燃料，則須先經過轉化器(reformer)處理將氫元素萃取出來，才可使用。

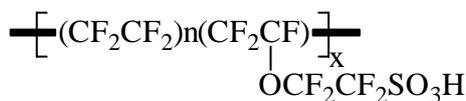
質子交換膜基本性質

氫氣質子交換膜燃料系統中，質子交換膜的要求是必須要具有良好的質子導電度、機械強度以及耐久度，杜邦早在 1960 年便已開發出來的 Nafion 可以符合上述要求。Nafion 是屬於全氟磺酸之陽離子

交換膜，其結構包括固定的疏水性主幹、氣體可穿透之具彈性過氟碳鏈及含水的離子存叢群三部分，目前其他公司所生產的氟系高分子質子傳導膜大多是仿照 Nafion 的高分子結構，如圖所示。然而，Nafion 不能直接應用在直接甲醇燃料電池系統中，因為全氟系質子交換膜有極高甲醇滲透率，降低燃料電池放電的壽命與表現。高甲醇滲透率的原因是來自於極大的離子基團所形成的大通道，而此大通道形成的原因和其高分子結構有關。



(a) Nafion®



(b) Asahi

圖、全氟系質子交換膜材料的化學結構 (a) Nafion® (b) Asahi

全氟系質子交換膜的材料設計上皆是利用碳氟樹脂作為高分子主鏈增加薄膜的化學安定度、熱穩定度以及機械強度。

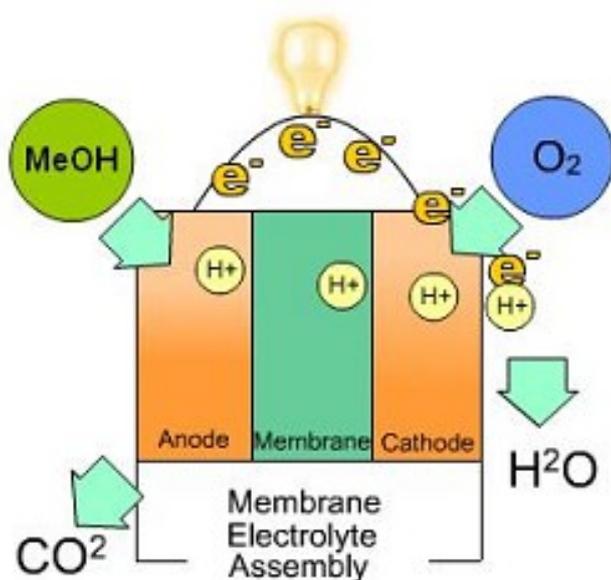
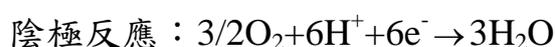
PEM 型燃料電池有以下優點：(1)質輕，單位重量輸出的功率高；(2)使用溫度低，對附近組件的熱影響小；(3)啟動迅速，幾分鐘內可達全功率。以上的優勢使此型燃料電池適合於地面車輛之應用。快速啟動的特性，使其可搭配其它元件組成不斷電系統(UPS)，作為緊急之電源供應。

目前仍有幾項挑戰待克服：(1) 鉑質觸媒作為催化劑來講甚為昂貴，而且碰到一氧化碳時便無法發揮催化作用，故稱「一氧化碳中毒(CO poisoning)」，故較不適用於易產生一氧化碳的碳氫類燃料；(2) 隔膜對溫度及化學不純物質的抵抗性須再提昇；(3)受限於氫體儲存技術之瓶頸。目前一般行車，要求燃料可續駛 480~650 公里(300~400 英哩)，當前的氫燃料車的儲槽容量尚無法滿足。(4)低溫啟動能力須再改進。

2.2.6 直接甲醇燃料電池(Direct methanol fuel cells)

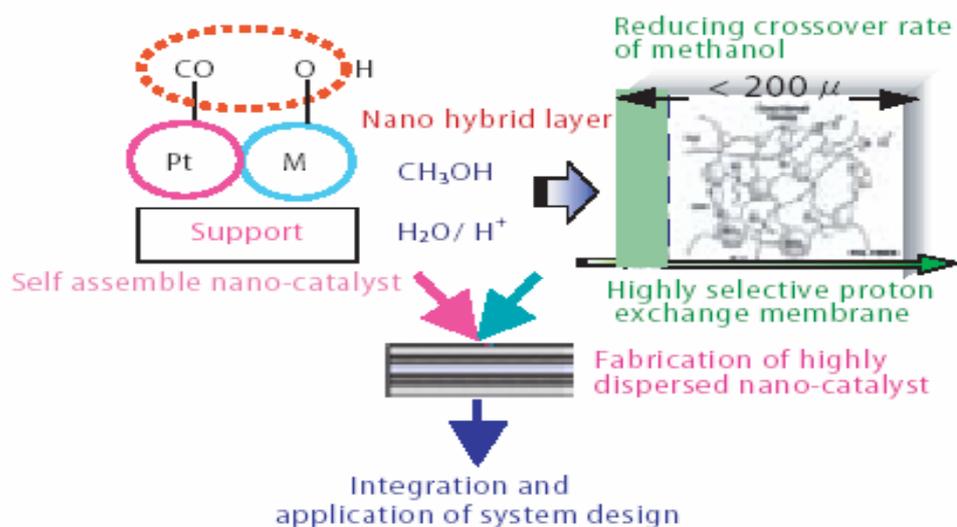
直接甲醇燃料電池(DMFC)，是以質子交換膜燃料電池為基礎，以直接供給液態甲醇做為燃料的質子交換膜類型之燃料電池，兩者的差異，主要在於液態甲醇在陽極進行氧化反應時，會釋出六個電子與氫離子並產生二氧化碳，而在反應的路徑中也會常常形成一氧化碳的衍生物，使鉑原子失去觸媒活性，所以直接甲醇燃料電池之陽極側使

用鉑鈦 (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



(<http://www.antig.com/english/tech.html>)

它不同於 PEM 之處在於使用未經轉化的液態甲醇—俗稱木精或工業酒精，因此燃料成本極低。其操作溫度略高於 PEM 型。能量轉換效率略低，約為 40%。



目前仍在改進隔腐蝕、燃料滲漏及小型化等問題。軍用品輕型供電裝置及運輸業均是未來有潛力的發展方向。

一. 甲醇進料方式

直接純燃料電池的甲醇進料可為液態甲醇溶液或氣態甲醇和水的蒸氣，就質傳效果而言，甲醇蒸氣進料優於液態甲醇進料，但就直接甲醇燃料電池系統而言，甲醇蒸氣進料必須在加裝一個預熱氣(使液態甲醇變成蒸氣態)，系統不僅變複雜也造成能量損失。目前 DMFC 的系統多為液態甲醇進料的設計。

Table 1-1 Compare of DMFC with two different types of feed. 【109】

	Feed	
	甲醇蒸氣	甲醇溶液
系統複雜性	複雜	簡單
冷卻系統	需要	不需要
加濕系統	需要	不需要
電池堆	大	小
電極	氣體擴散電極	液體擴散電極
質傳能力	佳	差
燃料溫度	高	低(已稀釋)
操作溫度	高(130°C)	低(<100°C)

二. 甲醇滲透現象(Methanol Crossover)

甲醇滲透的現象是直接甲醇燃料電池目前的瓶頸，其基本原因是甲醇在氟磺酸型質子交換膜(Aafion)中有很高的擴散性。因質子交換膜有很高的甲醇滲透性，因此陽極進料甲醇會隨著水分子從陽極穿越過質子交換膜到達陰極，不但告成甲醇燃料的流失，亦會與氧氣形成混成電位(mixed potential)降低陰極電位，使電池效能變差。

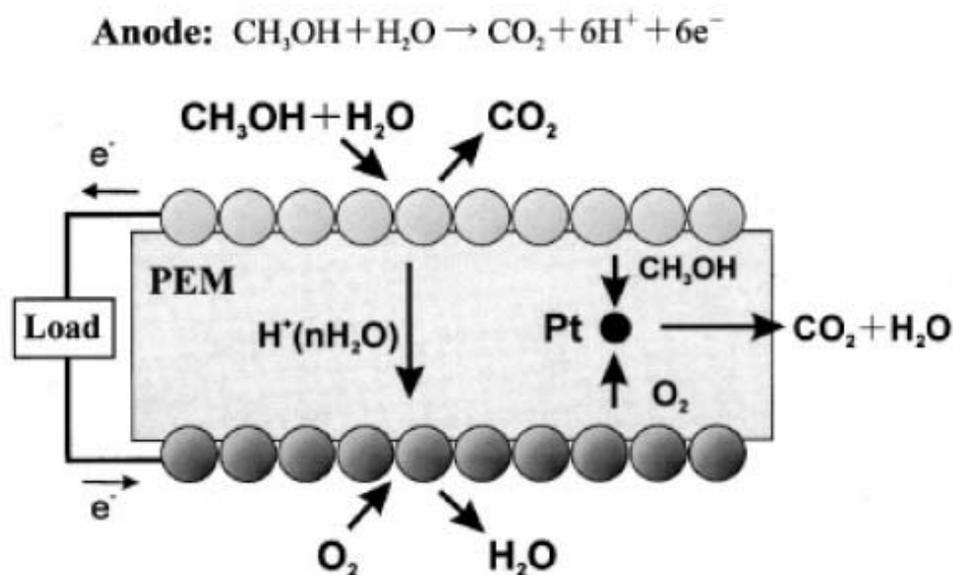


Fig.1-2 The diagram of a DMFC with Pt-PEM. 【11】

因此，直接甲醇燃料電池的質子交換膜須具備的性質為：

1. 良好的隔離膜
2. 高機械性質
3. 好的化學及熱安定性
4. 高質子導電性
5. 零電子導電性

由於 Nafuon 膜具有很好的化學、熱穩定性、高質子傳導性，而且質輕、機械强度高、易加工，目前多採用 Nafion 膜作為直接甲醇燃料電池之電解質膜，但 Nafion 膜有相當嚴重的甲醇滲透問題。

使用 Nafiona 膜作為直接甲醇燃料電池質子交換膜時，其影響甲醇滲

透的因素，約可分為電池溫度、甲醇濃度、陰極側壓力、膜厚、膜當量重等：

A. 甲醇濃度影響

甲醇進料濃度增加，開環電位(open circuit voltage)下降，這是由於甲醇濃度越高，滲透速度越高，陰極產生之混成電位越低所造成。

B. 陰極側壓力

Scott 發展出一個模式描寫固態高分子電解質膜在直接甲醇燃料電池系統下甲醇滲透情況。

C. 電池溫度

使用 2.5M 甲醇與 Nafion117 作電解質膜，電池溫度增加時電池性能亦較佳。增加電池溫度可使電解質膜導離子的能力上升，觸媒活性上升，雖甲醇滲透率也上升，但電池溫度小於 90°C 時，增加溫度使導離子能力、觸媒活性上升因數較甲醇滲透來的顯著，因此有助於電池性能的提升。

D. 膜厚

膜厚增加，甲醇滲透率隨之下降。但膜厚增加時，阻抗變大，濃度極化也較高。

E. 膜當量重

增加膜當量重，甲醇滲透率降低，但在高電流密度下電池效能降低，

與膜厚效應相似。

※Nafion 的改質

增加 Nafion 的導離子性，可依下列目標來做改質

1. 增加 Nafion 膜內磺酸根離子含量
2. 增加 Nafion 膜內含水量
3. 促使高分子排列整齊，減少離子傳遞之阻礙

高分子 Nafion 膜內磺酸根離子含量越高，Nafion 導電度越高：
Nafion 膜內添加無機吸水物質 5wt%P205 顆粒，可藉由 P205 良好的吸水性，可使導電度增為兩倍；添加離子共聚合物(ionic copolymer)，可使 Nafion 膜內高分子排列更整齊，減少離子傳遞之阻礙進而增加其導電度。

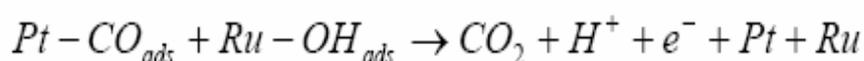
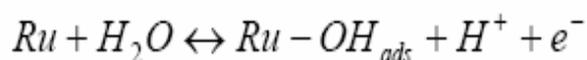
三. 陽極觸媒材料

直接甲醇燃料電池使用甲醇為燃料，其放電性能較使用氫氣差，因此需研發陰陽兩極，尤其是陽極的高效觸媒，來提高反應性。白金是最常用的電極觸媒，其優點為電化學活性高，缺點是容易受中間產物一氧化碳的毒化，已有研究顯示慘雜其他金屬元素如鈦或其他金屬形成雙成分或多成份的合金，可降低白金中毒的程度。

A. Pt-Ru/C 合金觸媒

根據以發表的文獻，鈦可催化一氧化碳的原因主要可歸納出兩種：

1. 鈦慘入白金之中，改變白金之晶格結構，減弱 CO 在白金上的吸附力，或降低 Pt-CO 鍵能
2. 鈦相對於白金在較負之電位即可氧化，與 H₂O 反應生成含氧之吸附物(Oxygen containing species)，以(OH)_{ads} 表示，接著與吸附之白金之 CO 反應，將 CO 氧化成 CO₂，稱之雙作用機制。



文獻指出，雙金屬合金觸媒作為陽極材料以 Pt-Ru/C 電極表現最佳，隨著 Ru/Pt 比例的增加，對甲醇氧化能力隨之改變；當 Pt 與 Ru 之表面原子組成比為 1 比 1 時，有最佳的氧化能力。

B. 合金觸媒

除了 Pt-Ru，目前知道可增強甲醇電催化活性的雙合金觸媒有：

Pt-Ni、Pt-Re、Pt-Mo、Pt-Co、Pt-Cr 等。將 Pt、Mo 兩種金屬粉末及添加 NaF 或 MgH₂ 製備 Pt-Mo 雙合金金屬觸媒，其結果顯示 Pt-Mo 觸媒對 CO 毒化效應有明顯改善。除了雙合金觸媒外，也可在鉑金屬以外添加至少兩種以上氧化活性高的金屬，形成三元合金觸媒或是四元合金觸媒。

四. 擴散層

當電池進行放電時，陽極的甲醇/水混合物必須經過擴散層到電極表面進行反應，而生成的 CO₂ 從擴散層排出，放電反應才能穩定的進行。以碳紙作為擴散層時，氣泡與碳紙間的摩擦力大，容易使小氣泡集結成大氣而妨礙甲醇通行，甚至形成氣柱堵塞在流場板的流通內，使甲醇無法順利到達觸媒表面進行反應，進而降低電池的效能。以碳布做為擴散層，產生之 CO₂ 氣泡較小且分散性佳，較有利 CO₂ 的排除。

陽極觸媒的擴散層，若能使甲醇水溶液和二氧化碳擁有一個別的通道，可提高觸媒的使用率及使電流穩定。

2.3 不同燃料電池的特性比較

種類	優點	缺點
PEFC	<ul style="list-style-type: none"> * CO₂ 不被電解質吸收 * 聚合物電解質不會揮發 * 腐蝕與材料之問題可忽略 	<ul style="list-style-type: none"> * 需要大量的白金觸媒 (Pt) * CO 會毒化陽極 (anode) * 溼度調節困難 * 離子交換膜價格高昂 * H₂ 是唯一適用直接氧化之燃料
AFC	<ul style="list-style-type: none"> * 具潛力之電極觸媒範圍大 * 電極含媒 PAFC 較便宜 * 陽極 (O₂) 性能較 PAFC 好 	<ul style="list-style-type: none"> * 不能排除 CO₂ * 不適用含碳之燃料
PAFC	<ul style="list-style-type: none"> * CO₂ 不被電解質吸收 * 在現場型汽電共生的應用上，總能量效率高 	<ul style="list-style-type: none"> * H₂ 是唯一適用直接氧化之燃料 * CO 會毒化陽極 (anode)
MCFC	<ul style="list-style-type: none"> * 電極之動力反應快 * 廢熱之品質高 * CO 為可用之燃料 * 其價格較 PAFC 有發展潛力 * 能量效率高 * 可直接於電池內進行燃料之重組反應 	<ul style="list-style-type: none"> * 電極觸媒價格高 * O₂ 為不可逆的動力反應 * 電解質導電能力低 * 材料之問題影響其壽命與穩定性 * 對硫的忍耐度低 * 陰極 (cathode) 必須以 CO₂ 為進料
SOFC	<ul style="list-style-type: none"> * 廢熱品質高 * CO 是可用之燃料 * 電極之動力反應快 * 不需要外接燃料重組器 * 系統效率高 * 不需要 CO₂ 循環於電池內 * 沒有電解質維護之問題 * 電解質組成不會改變 	<ul style="list-style-type: none"> * 製造過程價格高 * 反應溫度高，電池之材料受限 * 電解質之內電阻相當高

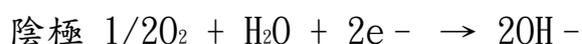
2.4 特殊燃料電池

目前燃料電池科技已由多種技術所組成的領域。燃料電池可依據電解質及燃料分類的不同而加以區分燃料電池的類型。

2.4.1 鋅空氣燃料電池 (Zinc-Air Fuel Cells)

鋅-空氣燃料電池，簡稱 ZAFC，是所有燃料電池中真正像電池的，因為它有個充電過程。ZAFC 含有一個鋅質陽極、一個稱為氣體擴散電極(gas diffusion electrode, GDE)的陰極，彼此之間由電解質來區隔；鋅金屬其實是燃料，空氣中的氧氣仍是氧化劑。

GDE 是一種隔膜，其作用是只讓空氣中的氧氣透析過去。當氧與水在陰極形成氫氧基離子(OH⁻)後，OH⁻離子便可經由電解質游向鋅質陽極，並與鋅發生氧化反應，形成氧化鋅及水，反應式如下。這種過程可產生電動勢(電壓)，數個 ZAFC 串接在一起便能產生電力。



雖然 ZAFC 的反應過程與鹼性燃料電池類似，但燃料的使用方法確是迥異，表現出電池的特色。燃料鋅金屬一般以顆粒體儲存於「燃

料槽」中，並作為陽極。ZAFC 還有一個鋅再生機，自動地將氧化鋅還原為鋅。在這個閉迴路系統中，當鋅發生氧化反應時，ZAFC 可輸出電能；當鋅耗盡時，系統可設計成自動連接至外部電路，將反應逆轉，把氧化鋅再生成鋅金屬顆粒。再將反應逆轉便可重新提供電力，其過程即類似電池須再充電的作法。

另一方面 ZAFC 具有高比能量(specific energy)的特點，表示其單位重量所能提供的電能高於一般的充電電池。ZAFC 用於電動車輛，在市場上已證明確比配備充電電池的同重量車輛具有更長的續航力。

2.4.2 再生式燃料電池 (Regenerative Fuel Cells)

再生性燃料電池是一種新奇的閉迴路循環的發電裝置。將水電解技術(電能+ $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$)與氫氧燃料電池技術($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{電能}$)相結合。利用太陽能或風力等自然能量所產生的電能將水予以電解，產生氫氣與氧氣。氫與氧再輸送至燃料電池，便可產生電能、熱能及水；水可再重新循環至電解機中，產生氫燃料，周而復始。

水電解效率與燃料電池性能的優劣決定於氧氣電極中的觸媒組成，僅需低耗能即可將水電解成氧與氫，又兼具高效率地將氧氣轉化為電能的雙重角色。目前該技術承襲傳統燃料電池與水電解的電極，

採用白金與氧化銻 (IrO_2) 而構成的複合材料 Pt/ IrO_2 ，因材料昂貴而使得整體造價不菲。

2.4.3 質子性陶瓷燃料電池 (Protonic Ceramic Fuel Cells)

PCFC 是一種新型的燃料電池，以採用具有質子傳導性的陶瓷材料為電解質，如 BaCeO_3 等固態電解質。這種陶瓷材料在高溫下便能展現良好的質子傳導率。如同熔融碳酸鹽型及固態氧化物型燃料電池，操作溫度一般在 700°C 左右。它既分享了高操作溫度之熱力學及動力學方面的優勢，又同時擁有質子交換聚合物電解質 (PEM) 及磷酸電解質 (PAFC) 等質子性傳導的優點。

高溫條件對於碳氫類燃料而言，是使它們能產出較高電能轉換效率的必要條件。PCFC 在高溫下可將化石燃料以電化學作用直接在陽極氧化，如此省卻了費用高昂的萃取氫氣之轉化製程。其反應方式類似於直接甲醇燃料電池：碳氫燃料分子與水蒸汽被吸附於陽極表面後，氫原子迅速被萃出並解離成質子及電子，亦生成二氧化碳；質子經陶瓷電解質輸送至陰極與氧及電子結合生成水，電子流經外部電路便產生電力。由於陶瓷電解質為固體，故沒有 PEM 電解質須濕潤及 PAFC 怕漏酸的問題。

2.4.4 氫燃料電池

太空任務中使用的發電裝置，是一種能源直接轉換裝置，將化石燃料中的碳氫化合物化學能，經由觸媒及電催化的反應機制，直接轉換成電能。它是未來最優越的發電技術之一，不僅發電效率高，對環境的污染亦相當輕微。

第三章 燃料電池應用與發展

3.1 燃料電池的應用

3.1.1 燃料電池發電需求

燃料電池近幾年來的應用與發展逐漸開花結果，不但提升了供電性能，其應用亦已深入至人們每日的食衣住行。依各種不同的應用，將燃料電池利用在生活中這種發電需求。

固定式發電

目前全世界已有超過 2,500 個燃料電池發電系統正在運作，供應醫院、療養院、旅館、辦公大樓、學校、機場及發電廠等之主要或備援的電力。在大型的建築系統中，使用氫燃料發電設備與傳統的電力供應服務相比，可節省 20~40%的設施運轉費用。若技術不斷提昇又能兼顧製造成本的降低，燃料電池輸電系統甚可能在未來取代現行的高壓電力網絡之供電模式。

住宅用電

燃料電池技術用於重要地區之高壓輸配電線路網的輔助電力或備用電力，或是用在獨立於電力網之外的偏遠地區或電力電纜難以到

達的現場之電力供應等，均是理想的發電裝置。此外，由於燃料電池運作時幾乎無噪音，空氣污染近乎零，而且排放的廢熱還可以回收用於產生熱水及暖氣，故特別適於家居之應用。

交通運輸

所有的汽車主要大廠均在發展燃料電池車輛(Fuel Cell Vehicle)，有的已進入試產階段。本田(Honda)與豐田(Toyota)汽車均已在美國加州及日本當地開始經營出租FCV的業務。由於燃料載運技術的瓶頸及氫氣供應基礎建設之不足。

可攜式電源

小型化的燃料電池一旦成功地進入市場，消費者使用行動電話想要一個月內都不須充電的願望應可實現。燃料電池可能改變通訊技術的發展，為筆記型電腦、個人數位助理器、可攜式影音媒體播放器等，提供比二次充電電池更長的供電時間。

由於燃料電池具有可微型化的特點，未來可應用於攝像機、可攜式工具、低功率遙控裝置、助聽器、煙火檢知器、防盜器及軍用品等。

垃圾掩埋場及廢水處理廠

垃圾掩埋及廢水處理中常會產生沼氣，其主要成份為甲烷氣體。將此種氣體經過轉化器之作用即可萃取出氫氣。目前美國各地的許多掩埋場及廢水廠皆已採用燃料電廠方案，一方面減少廢氣的排放量，另一方面又將其回收利用來產生電力，供應廠區自身所需的電力。

3.1.2 燃料電池發電廠

燃料電池音具備高效率、低污染、安靜及高機動性等優點，可應用的範圍甚廣，將其應用層面、考慮因素與應用範圍歸納分析。燃料電池是以解決民生用電不足為主要目的，除了 PEMFC 較為一般民眾生活相關，MCFC 與 SOFC 用於分散型與集中型電廠，至於 PAC 的用途包含汽電共生式現場型與分散型電廠。就應用於公用事業的燃料電池發電廠做一說明：

應用在公用事業的燃料電池發電廠，可分為三種形式

1. 基載用集中式發電廠(central station power plant)

是結合燃料電池本體、煤炭氣化(coal gasifier)和底部循環的整合型煤炭氣化式燃料電池(IGFC)。此屬於大型發電系統，在所有燃

煤發電系統中的效率和環保性最高，極有發展潛力。

2. 分散型發電廠(dispersed power plant)

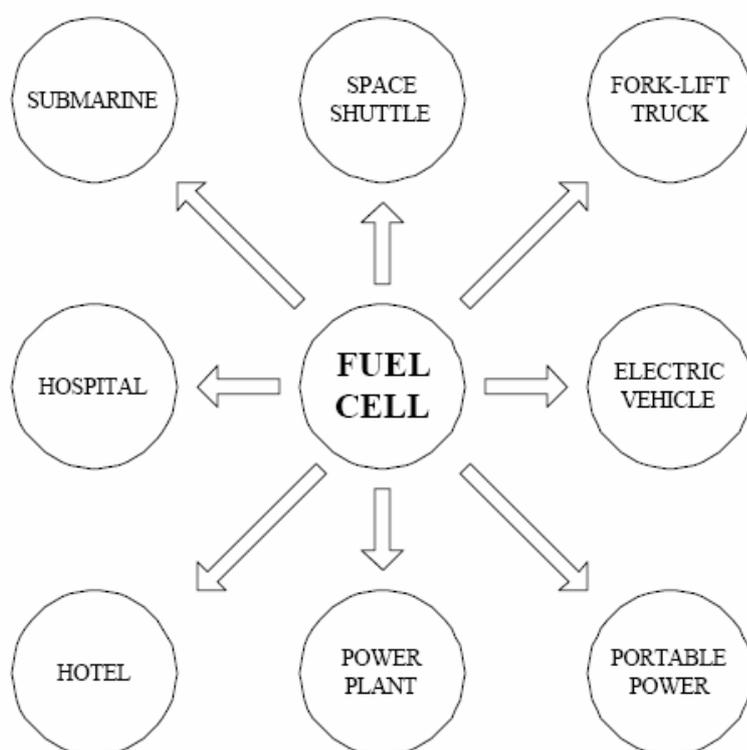
此為小型之燃料電池系統，初期以 40KW 至 500KW 的 PAFC 為主，使用低污染之甲醇、聯氨、氨氣等等為燃料，可安裝於市區，補充不足的電力，並可考慮將廢熱加以回收利用。

3. 現場型發電廠(on-site power plant)

此型的燃料電池電廠通常是以天然氣為進料，並輔以廢熱回收的系統（廢熱回收是燃料電池最引人注目之特色），可應用於商業部門、住宅部門及工作部門。在商業和住宅區的應用方面，是以 40KW 至 400KW 的 PAFC 系統為主，提供辦公大樓、餐廳、醫院、旅館、公寓、零售店舖等民生場所的電力需求，並可用其廢熱提供熱水、暖氣、低壓蒸氣及吸收式空調系統等服務，整體效率最高可達百分之九十。在工業上的應用，由於必須達到汽電共生的要求，規模遠大於前者，容量為百萬瓦，初期以發展 4.5KW 至 11MW 的 PAFC 系統為主，但是因為 PAFC 的廢熱品質較低（低於 200 度），此種現場型汽電共生電廠的競爭力較差，未來高溫型燃料電池 MCFC、SOFC 的商業化後，則可望與傳統之汽電共生電廠競爭。

Application for fuel cell :

應用層面	考慮因素	機組規格
公用事業 (utility)	循環壽命, 價格	5~1,000 MW
汽電共生 (cogeneration)	總能量效率廢熱之品質	1~50 MW
現場型電廠 (on-site)	可靠性, 價格	40~400 MW
推進系統 (propulsion)	重量, 價格	15~60 MW
攜帶型電器 (portable)	重量, 堅固耐用	< 2 kW
太空科技 (space)	重量, 體積	25~100 kW



3.2 全球與台灣在燃料電池的發展

3.2.1 全球發展

歐洲各國在 1950 年代就開始小規模燃料電池的研發，在 1960 年代的美國太空計畫中，瑞典 ASEA 公司參與阿波羅號及雙子星號太空船所使用的燃料電池系統研究。ASEA 公司早在 1960 年代就有 200KW 的燃料電池原型機組的示範運行，為當時全球最先進的技術，但在 1967 年 7 月 4 日，該燃料電池系統不幸燒毀，ASEA 公司的燃料電池計畫遂驟然終止，此後歐洲在燃料電池的發展上僅限於學術研究，而在實際應用的研發上，被美國與日本超前。1985 年，歐盟重新結合歐洲各國從事燃料電池技術的開發，其中以德國最為積極，除大力引進磷酸型燃料電池試驗機組，並發展熔融碳酸鹽燃料電池、固態氧化物燃料電池、質子交換膜燃料電池等。

當前世界燃料電池技術之發展，以質子傳導膜燃料電池及直接甲醇燃料電池、固體氧化物型燃料電池等為主流。目前固體氧化物型燃料電池多應用於大型定置型發電系統，屬研究開發階段；但因使用燃料來源很廣且不受進氣一氧化碳影響，發電效率高，因此近來應用於中小型發電系統與卡車用等輔助動力系統亦受到相當重視。而質子交換膜燃料電池由於體積小、重量輕、厚度薄且可室溫操作、啟動迅速，

較適合應用於汽車、家用/業務用發電系統、UPS 等產品，已進入實用化階段。至於同樣利用質子交換膜為電解質之直接甲醇燃料電池，則以低功率小型攜帶式電子產品之應用居多，由於存在著甲醇穿透、陰極觸媒毒化的問題，造成系統反應電位降低及反應效能之損耗，效率相對較低，目前產品多為原型產品，處研究開發階段。而最早導入市場之磷酸型燃料電池，近年在大型發電系統市場之重要性，則已漸被 SOFC、MCFC 所取代。

根據 Freedonia Group 估計，2004 年世界燃料電池系統市場需求約 3.75 億美元，其中應用市場規模以發電系統占 58.7% 最大，其次為汽車占 18.1%、非車輛用運輸工具占 12% 等；而若以技術類型分析，則以 PEMFC 之市占率 58.7% 最高，其次為 SOFC 占 13.3%。目前居於技術主流的 PEMFC 操作溫度約 70~80°C，主要應用產品為小型定置型或可攜式發電系統與運輸工具。

在小型定置型發電系統方面，由於日本政府於 2005 年初率先獎勵家用燃料電池熱電共生系統，預計近期內該市場會有很大成長，主要廠商包括荏原 Ballard、松下電器產業、東芝 IFC、三洋電機、三菱重工業、東京瓦斯、大阪瓦斯等。

在運輸工具方面，目前國際汽車大廠均有投入燃料電池汽車之開發，2004 年民間投入燃料電池領域之總研發經費中，約有 76%即來自汽車業者，顯示車廠對未來燃料電池產業之重視。主要汽車大廠對於燃料電池汽車之經營策略多為進行產業水平或垂直策略聯盟，以降低研發風險，例如戴姆勒克萊斯勒(DaimlerChrysler)、福特(Ford)與 Ballard(電池組技術)一直為長期合作夥伴；通用汽車(GM)亦與豐田(Toyota)、Hydrogenics(儲氫技術)有技術合作關係；Honda R&D Co. 與 Plug Power(重組器、電池組、變頻器技術)共同開發家庭能源站；另一方面，DaimlerChrysler、GM、Honda 與 Toyota 等國際大廠，則試圖掌握大部分燃料電池汽車產業價值鏈，積極投入之研發項目包括上游產氫、儲氫、燃料重組技術，中游之燃料電池組、與系統零組件、電力驅動系統，及下游燃料電池整車系統。

在可攜式電子產品方面，目前技術類型以 PEMFC、DMFC 為主，而應用於 3C 電子之微型燃料電池，則多採用直接甲醇燃料電池；雖然恩益禧(NEC)、日立(Hitachi)、三洋(Sanyo)、東芝(Toshiba)、富士(Fujitsu)、卡西歐(Casio)、三星(Samsung)、摩托羅拉(Motorola)、諾基亞(Nokia)等各大廠均積極投入研發，但全球應用於手機或筆記型電腦之甲醇燃料電池市場尚未出現。目前於可攜式燃料電池應用市場，則以德國 Smart Fuel Cell 與英國 Voller Energy 針對娛樂及工

業用途等推出利基商品，銷售最為成功。

3.2.1 國內發展

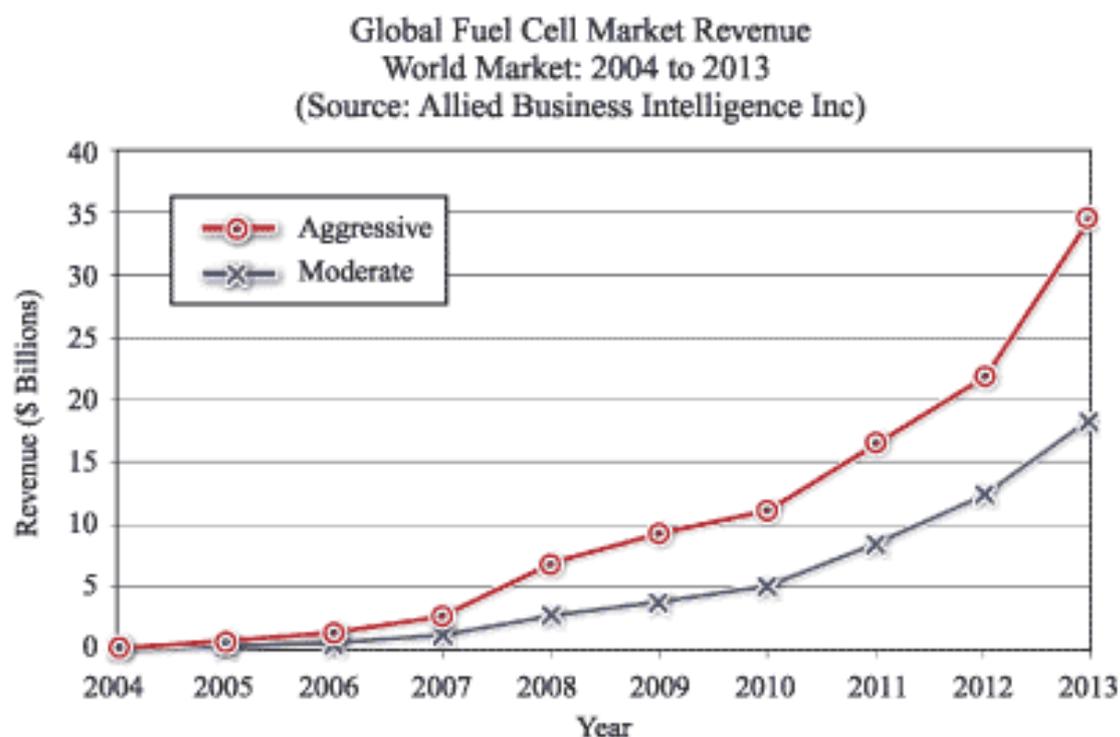
我國燃料電池的研究始於 1958 年。1970 年代初，我國燃料電池的研究掀起高潮，多家單位研製鹼性燃料電池(AFC)並取得一定的成果，後因航天計畫改變，燃料電池研究也就基本中止。直到 1990 年代，工研所能質所開始研究磷酸燃料電池，我國第二次燃料電池研製高潮逐漸形成。

目前國內企業參與燃料電池技術研發之廠家數並不多，以中小企業為主，主要是以開發電池組廠商居多，零件材料方面則多以研發雙極板為主；至於下游應用產品，目前 PEMFC 應用製品多為小型定置型發電系統或燃料電池機車，而微型燃料電池，目前國內僅有勝光科技公開發表應用於筆記型電腦之 DMFC 研發成果。

國內重要燃料電池組/系統研發廠商包括大同世界科技、台達電、亞太燃料電池科技、博研燃料電池、勝光科技等。由於現階段上游關鍵材料與元件多須自國外進口，而下游應用大廠(如整車廠、3C 系統廠)則多對燃料電池研發採觀望態度，致使國內燃料電池系統之整合效果仍有待提升，成為國內燃料電池產業發展的重要指標。不過，國內中小企業經濟體系經營彈性佳，可快速調適燃料電池產業初萌芽階段之少量多樣化市場特性，且在量產技術與應用研發能力方面

亦具有國際競爭優勢，因此只要能針對利基產品之市場需求切入，國內業者在燃料電池產業的全球分工體系中應可占有一席之地。

3.3 燃料電池市場



燃料電池具有能量轉換效率高、低污染之優點，為廿一世紀備受矚目的新能源技術，唯目前仍存有成本過高、氫燃料供應設施、體積及系統封裝技術等問題有待解決。目前燃料電池應用產品面臨的商業化挑戰，在於可攜式產品如 3C 電子、小型緊急發電機等，因輸出功率需求低，市場對小型燃料電池之高單價接受度較高，但微型化是其能否成功商品化之關鍵。

此外，對直接甲醇燃料電池而言，政府對甲醇燃料流通之安全規範程度，將會左右其商品化時程，預計主要國家政府對攜帶甲醇燃料上飛機之限制將自 2007 年起陸續放寬，屆時直接甲醇燃料電池之市場將會迅速成長。至於定置型燃料電池發電系統，其具市場競爭力之價格為，小型約 3,000 美元/kW、大型約 500~1,000 美元/kW，預計產品價格下降可藉由學習曲線逐漸達成，但系統耐久性能否達 4 萬小時以上，為商品化之關鍵。

而汽車為燃料電池是最具挑戰性之應用市場，預估燃料電池系統價格必須降至 50 美元/kW 才具市場競爭力，但目前仍須致力於燃料電池與馬達驅動系統之技術研發以降低成本，並提升系統發電與傳動效率。未來一旦燃料電池汽車可成功量產商業化，將帶動所有燃料電池應用產品之材料/零組件成本快速下降，屆時燃料電池產業將正式進入市場起飛期，為各種燃料電池應用商品導入時程之預期進展。

Freedonia Group 預計 2014 年，世界燃料電池系統需求值可成長為 135.5 億美元；其中以發電系統市占率 51.7% 最高，其次為可攜式電子產品占 25.9%，並以可攜式電子產品之需求值平均年增率 64.6% 成長速度最快。至於技術類型，2014 年全球燃料電池市場仍將以 PEMFC 之市占率最高，約為 47%；其次為 DMFC、SOFC 等

3.4 專題結論

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。

燃料電池是一項綠色發電裝置，目前已受到各個國家的重視並投入大量的經費與人力來從事研究發展。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。

參考文獻

- [1] http://iss.met.ntou.edu.tw/~met/Energy/B/7/new_page_2C.htm
- [2] <http://www.che.yuntech.edu.tw/Functional%20polymer%20La/fuel%20cell%20kinds.htm>
- [3] <http://www.teema.org.tw/publish/moreinfo.asp?autono=2867>
(文／尤如瑾 工研院產業經濟與趨勢研究中心能源研究部)
台灣區電機電子工業同業公會
- [4] <http://www.civil.ncku.edu.tw/webusers/cct/%E5%B0%88%E9%A1%8C%E6%BC%94%E8%AC%9B/20051125%E7%87%83%E6%96%99%E9%9B%BB%E6%B1%A0.ppt#315,44,H>
elios 之再生式燃料電池系統
- [5] <http://hk.geocities.com/csss4j/18.htm>
- [6] http://idic.tier.org.tw/TFCF/data/name/name_1_6_8.htm
- [7] <http://e1ps.tripod.com/fuelcellfuture/> (Fuel Cell Future)
- [8] http://she.moeaidb.gov.tw/issue/issue5/tec5_4.htm (經濟部工業局工安環保報導第五期)
- [9] <http://www.fuelcells.org.tw/menu.asp> (元智大學燃料電池中心)
- [10] <http://www.mse.fcu.edu.tw/laboratory/lab18.htm> (逢甲大學材料系微電能實驗室)
- [11] http://www.tier.org.tw/07publication/tiermon/9207/mon9207_9.htm
- [12] <http://www.epochtimes.com/b5/6/12/11/n1553614.htm>
- [13] <http://www.epochtimes.com/b5/6/12/5/n1545250.htm>
- [14] 經濟部技術處 ITIS 計畫/產業分析師 譚小金
(直接甲醇燃料電池關鍵材料-正負極觸媒的技術發展現況與趨勢)
- [15] 江滄柳 國立成功大學 航空太空工程研究所
能源科技之明日之星-燃料電池
- [16] 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
生活科技教育月刊 二〇〇六年 三十九卷 第四期
- [17] 衣寶廉 編著，黃朝榮、林修正 校訂，燃料電池-原理與應用
- [18] 黃鎮江 編著，燃料電池
- [19] 鄭耀宗等著，現場型磷酸燃料應用於大用戶之可行性研究，1995年。

- [20] Fuel Cell Handbook, fifth edition, 2000 年。
- [21] 左峻德, 燃料電池之特性與運用, 2001 年。
- [22] 蔡賜琳 FCEV 燃料電池電動車簡介
- [23] 吳漢朗、馬振基國立清華大學化學工程學系
燃料電池質子交換膜之研究現況
- [24] 2007-2008 年中國燃料電池行業分析及投資諮詢報告 2007 年 8 月
- [25] 陳振源 南臺科技大學機械工程研究所
未來的綠色能源——燃料電池
- [26] 衣寶廉 編著, 黃朝榮、林修正 校訂, 燃料電池-原理與應用
- [27] 陳慕辰 直接甲醇燃料電池陰陽兩極之組抗分析
國立成功大學化學工程學系研究所碩士論文 九十三年九月
- [28] 邱耀輝 質子交換膜燃料電池質傳及電流傳導問題之研究
大葉大學 機械工程學系碩士論文 九十二年六月
- [29] 戴詠哲 在燃料電池中流體流動與質傳現象
元智大學 化學工程學系碩士論文 九十一年七月
- [30] 呂俊逸 質子交換膜燃料電池研究—MEA 的製造和性能分析
國立中山大學機械工程研究所碩士論文 八十九年六月
- [31] 汪志豪 燃料電池電動車之性能分析與動力匹配
大葉大學 機械工程學系碩士論文 九十四年六月
- [32] 利基型商品有利台廠切入 燃料電池市場蓄勢待發
新電子 2005 年 12 月號 237 期 文·尤如瑾
- [33] 陳慕辰 直接甲醇燃料電池陰陽兩級之阻抗分析
國立成功大學化學工程學系研究所碩士論文 九十三年