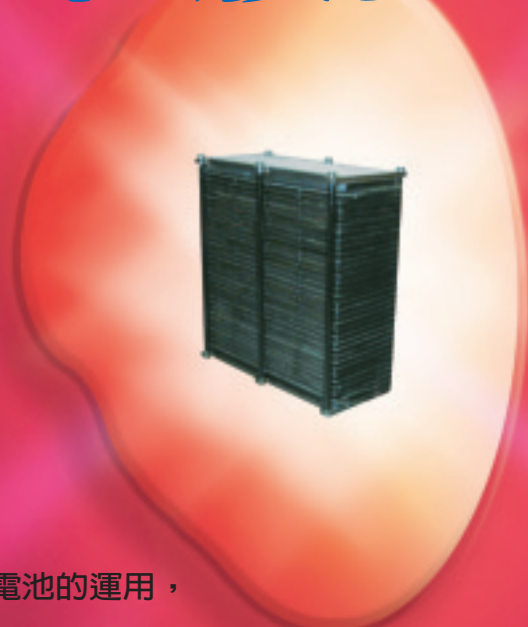


燃料電池的 心臟

電極膜組



「燃料電池的運用，
在本世紀可如同內燃機在百年前
取代馬匹等個人交通工具般，成為新世紀的動力引擎。」

(福特公司總裁，William C. Ford, Jr 於二〇〇〇年一月國際汽車展講辭)

■黃朝榮 林修正

報章雜誌常刊載關於燃料電池的訊息，譬如燃料電池的電動車或燃料電池緊急備用電力等，到底燃料電池是什麼樣的電池？

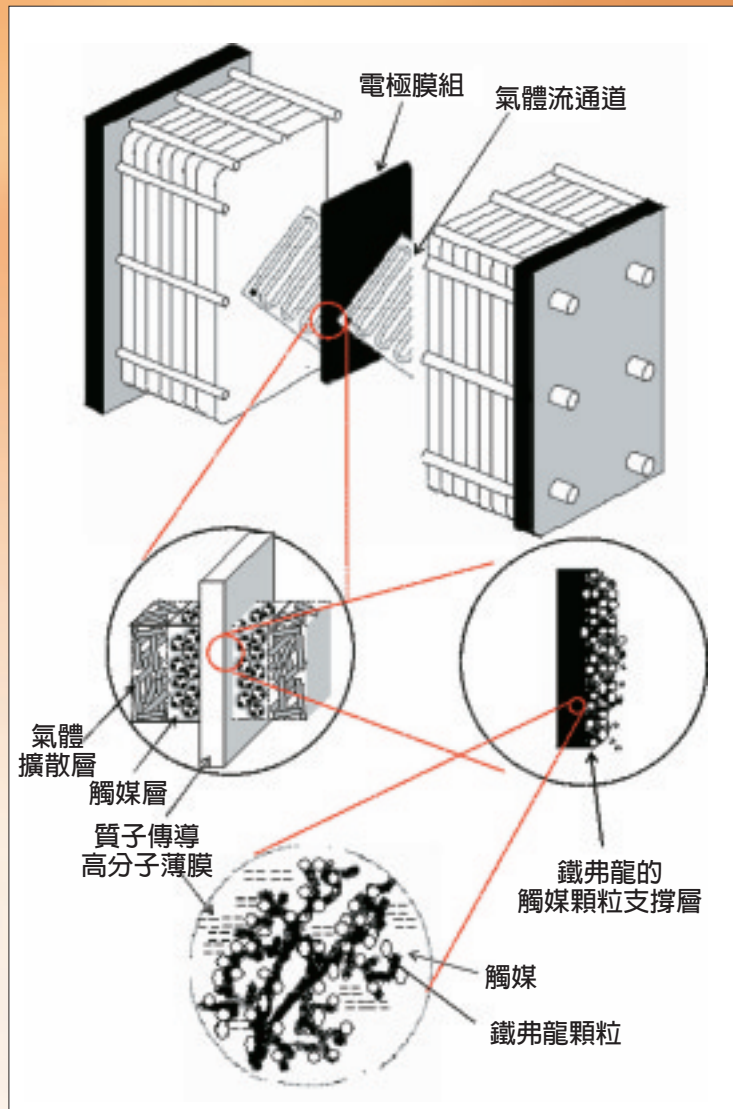
基本上，燃料電池是一種將化學能直接轉變成電能的裝置，不需充電，只要持續的補充燃料及氧化劑，即可連續運轉發電。所補充的燃料及氧化劑並不經過燃燒反應的過程，而是燃料與氧化劑發生電化學反應產生電流。

簡單地說，電化學反應是伴隨著電荷轉移的化學作用，電子及離子以不同的反應路徑完成電荷的轉移。燃料電池的反應過程中，燃料與氧化劑不可混合，而是分開進入燃料電池中，個別在電池的陽極及陰極產生反應。燃料經電化學反應後產生電子，電子經由電極及外線路流向另一電極與氧化劑反應，氧化劑接受電子後，產生反應，並由電池內的電解質傳導離子，形成電池運轉的迴路。

燃料電池的核心單元是由三個基本組件所構成：一個陽極，一個陰極，以及兩個電極之間的電解質。通常以氫氣為燃料，氧氣為氧化劑，在陽極氧化燃料，在陰極還原氧氣。燃料電池就是由這樣的核單元串聯組成較大功率的電池組，或稱電池堆。

一般氧化劑可用空氣中的氧氣，而氫離子及電子均來自陽極，電解質傳導氫離子。氫離子產於陽極後，經電解質到達陰極，而電子產於陽極後，則經由電池外的電線進入所使用的電器物品，再到達陰極。電子流經電器物品時，用電物品即可運轉。

陽極與陰極之間，有電解質可供傳導離子用。燃料電池由於電解質中所傳導的離子不同或操作溫度不同，可分類



電極膜組之細部結構及電池組的構裝。

製圖／林世銘

為鹼液燃料電池、磷酸燃料電池、碳酸融鹽燃料電池、固態氧化物燃料電池、質子交換薄膜燃料電池，及直接進料甲醇燃料電池等六種。

本文所介紹的是質子交換薄膜燃料電池，或稱為高分子電解質燃料電池。這種燃料電池，利用杜邦公司所生產的氫離子傳導膜作為電解質，傳導性甚佳。但此膜價錢昂貴，是氫離子傳導薄膜燃料電池尚未能上市的一個原因。

燃料電池中的燃料與氧化劑的電化學反應速率甚低，須借助於催化劑加速，因此需要陽極觸媒及陰極觸媒。以高分子電解質燃料電池為例，主要的發電機制來自於常被稱為是燃料電池心臟的電極膜組（Membrane Electrode

Assembly, MEA)。基本上電極膜組有五層結構，其中心是傳導氫離子的高分子膜，兩旁各為陽極觸媒層及陰極觸媒層，最外層是燃料氣體擴散層及氧氣擴散層。

觸媒層的構造頗為複雜，由於主要的電化學變化皆在此產生，如果觸媒層的設計及製造不良，燃料電池就無法產生高電流，效率因此降低。觸媒層夾在聚合物膜與氣體擴散層之間，其製造方法是先將適量的觸媒與高分子膜的溶液均勻混合，此混合液稱為觸媒混漿。混漿可塗在氣體擴散層上，或塗在聚合物膜上，但是高分子膜因易吸收混漿中的溶劑而變形，往往造成製造上的困難。

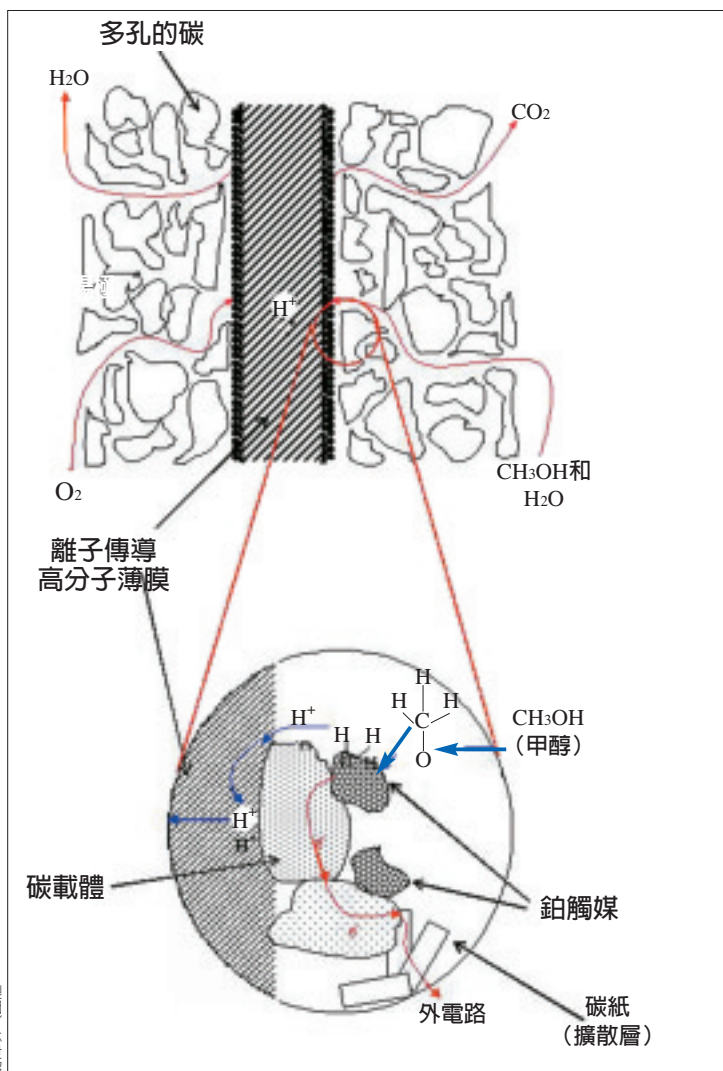
塗上陽極觸媒的燃料氣體擴散層，高分子膜，及塗上陰極觸媒的氧氣擴散層，三者經熱壓而形成電極膜組。因此具備製作技藝及電極膜組的設計知識，決定了電極膜組的運作功能。

現以氧氣觸媒層來說明反應如何進行。氧氣進入燃料電池時，首先須加以分散，以便均勻地到達觸媒層，一般構成氣體擴散層的材料是碳布或碳紙，兩者須經高溫石墨化，使其具有導電性並增加抗蝕性，因為在電場的影響下，碳材容易腐蝕。

而且氣體擴散層也要疏水化，若將聚四氟化乙烯（PTFE，又稱鐵弗龍）加在氣體擴散層內，因為鐵弗龍不親水，進出電極膜組的水氣不會凝聚在氣體擴散層內，可以避免凝聚的水滴造成氣體擴散層的阻塞。鐵弗龍同時具有結合劑的功能，因其碳氟結構的穩定性，不會因電位操作下所產生自由基的攻擊而解構。

反應氣體經氣體擴散層後到達觸媒層，電化學反應皆在觸媒金屬的表面上產生。氣體擴散層的另一功能是傳導電子，反應所需的電子利用氣體擴散層進出，故氣體擴散層必須能傳導電子，且導電性要高。一般氣體擴散層加入鐵弗龍後，導電性會降低，所以要加入導電度高的碳粉，使導電度增加。

直接進料甲醇燃料電池電極膜組上的反應機制示意圖。



製圖/林世銘

觸媒表面必須與電解質（即質子傳導膜）接觸，因電化學反應是在兩者的界面產生。而反應所需的氫離子皆由電解質傳遞，所以觸媒與電解質接觸不良，將不利反應的進行，若觸媒不與電解質接觸，其功能即消失。反應所需的電子皆經由觸媒進出，但觸媒本身的導電度不良或各個觸媒顆粒間的接觸不佳，也會造成電子的進出阻力。上述因素皆造成電極膜組內電阻的增大，減少電池的功率輸出。

常用的觸媒是鉑或其他貴重金屬，為了增大鉑的表面積，通常鉑金屬都附在碳黑顆粒上，碳黑顆粒比鉑大，可攤展鉑的表面，增加鉑的使用率，同時亦提供氣體通路及反應產物脫離的路徑。

在使用於燃料電池時，電極觸媒通常須具備觸媒活性高、導電度高、電化學穩定性高、不易被氧化或還原、價格便宜，及來源充裕等條件。鉑價格昂貴，應盡量減少使用，可是太少亦影響反應的進行。替代性觸媒材料也是現今研發的重點之一。電極觸媒是電極膜組結構中最重要的功能性材料，主要的功用是催化電化學反應的進行。

在陽極使氫分子氧化成電子及質子，若直接進料甲醇，則由於反應更為複雜，必須使用不會被甲醇氧化反應的強吸附生成物占據反應表面位置的電極觸媒所組成，如合金及氧化物，以持續催化甲醇與水分子產生電子、質子和二氧化碳。

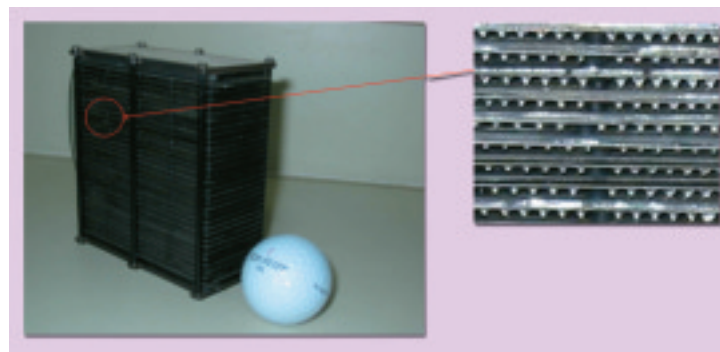
在陰極則需要氧還原反應的觸媒，通常使用可吸附氧分子的大環金屬錯合物為電極觸媒，表面吸附氧分子是氧還原電化學反應的催化條件。觸媒在觸媒層中需要高分子黏合劑來接合，此黏合劑也可以是高分子電解質，不但具有接合觸媒的功能，同時也是傳送氫離子的途徑。

以氧氣陰極為例，當反應在觸媒表面上進行時，需要氧的存在。此氧不是氣體，而是溶

於電解質中的氧，而氫離子也經由電解質到達觸媒表面，電子經由氣體擴散層及觸媒層的接觸而到達觸媒表面。其中溶氧、氫離子及電子三者缺一不可，缺一反應即無法進行。

同時反應所產生的水分不可滯留在觸媒表面上，所生成的水要立即移去，才能騰出空間讓反應物再度進駐觸媒表面，生成物的離去亦是影響反應快慢的因素之一。燃料電池的生成物是水，因此，如何將水迅速地從燃料電池中移去是一個重要的課題。

對使用氫氣為進料的高分子電解質燃料電池而言，一個良好的燃料電池運作核心，其基本條件要有四條路徑存在，即氫離子通道、溶氧通道、電子通道及水的通道。這些路徑如果功效不



攝影／林世韶

DASI 10W 高分子電解質燃料電池的外觀。

彰，會造成發電效能降低，因此至今電極膜組的製造仍是一種技術工藝，每一個燃料電池組製造商皆有其獨門的製作生產方法。

一個燃料電池的功率大小，是由電極膜組的尺寸及電池組中電極膜組的數量來決定的。電極膜組是高分子電解質燃料電池的核心單元，也是燃料電池組功率性能的關鍵元件，加上合適的流場設計、水管理與熱管理的操作條件，以形成不同用途的燃料電池。 □

黃朝榮

工業技術研究院工業材料所

林修正

長庚大學化學工程與材料工程系