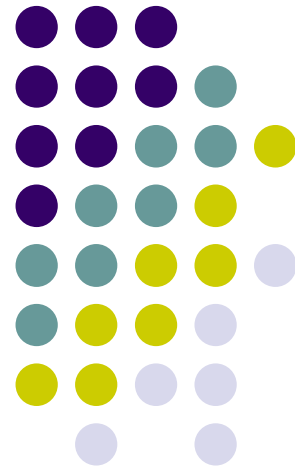
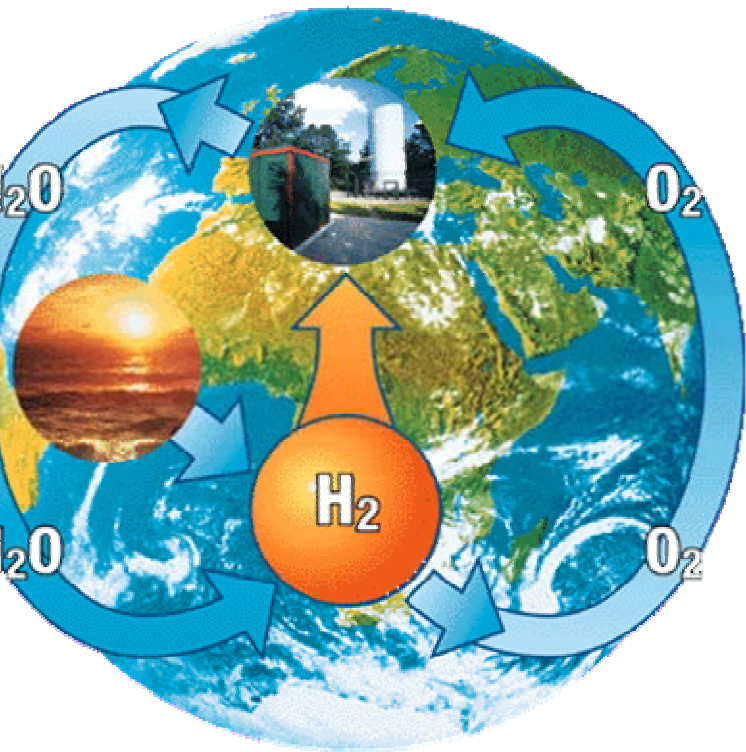
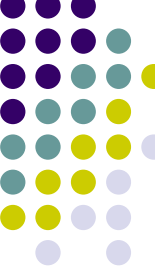


氫能技術

台大生物機電系
馮丁樹教授





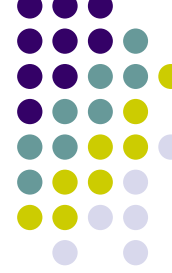
3/24日作業題目

- 1. 燃料電池之原理如何?
- 2. 燃料電池之種類有那些?

*請用A4紙作答

*請於課堂中解答並於下課時繳交

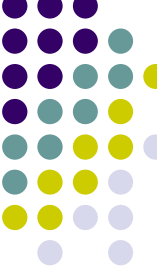
Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells and the Prospects for a Cleaner Planet (MIT Press),



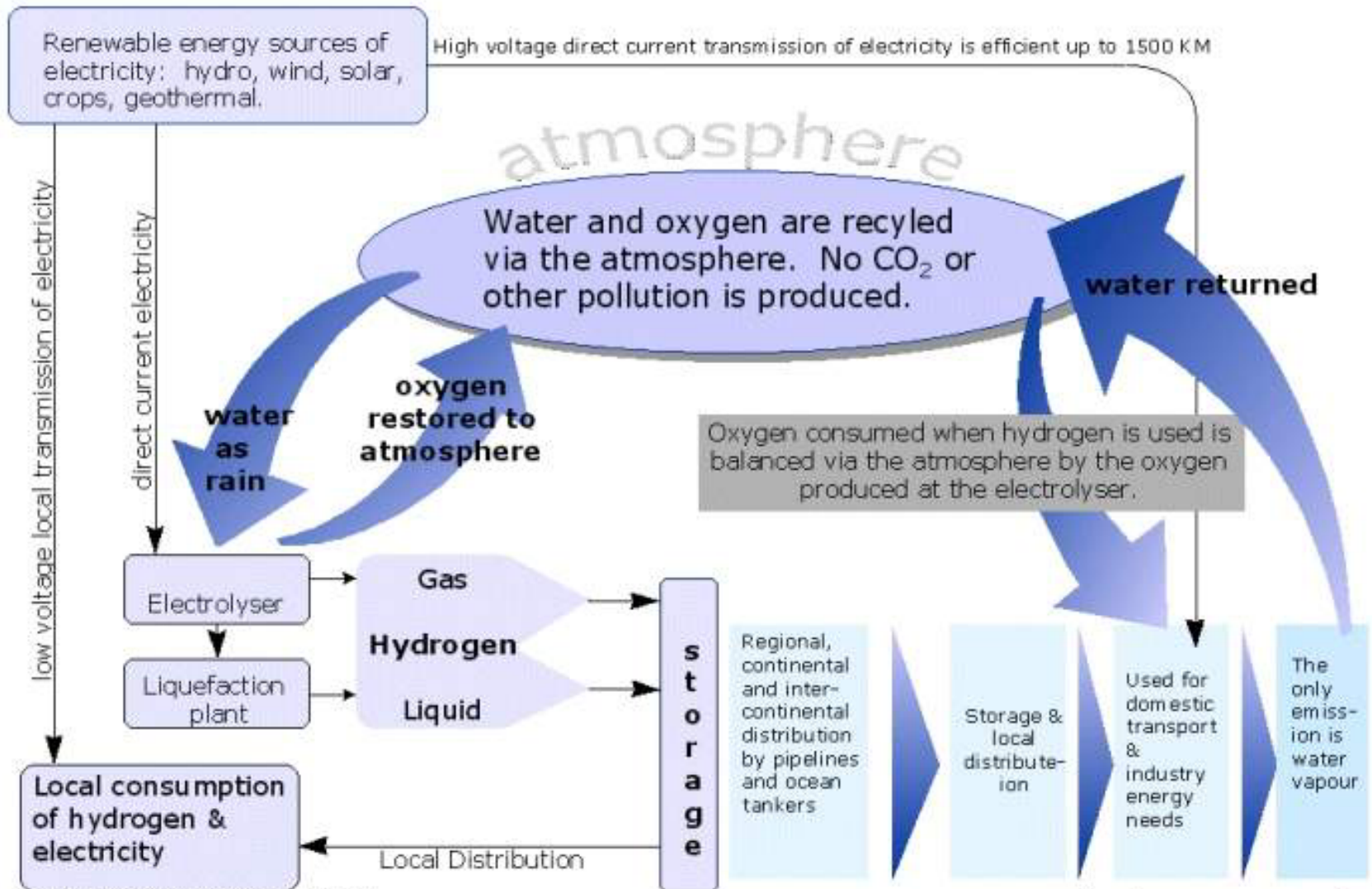
- As Hoffman writes in his book, hydrogen can “propel airplanes, cars, trains and ships, run plants, and heat homes, offices, hospitals and schools....As a gas, hydrogen can transport energy over long distances, in pipelines, as cheaply as electricity (under some circumstances, perhaps even more efficiently), driving fuel cells or other power-generating machinery at the consumer end to make electricity and water. As a chemical fuel, hydrogen can be used in a much wider range of energy applications than electricity.”

Fuel cells

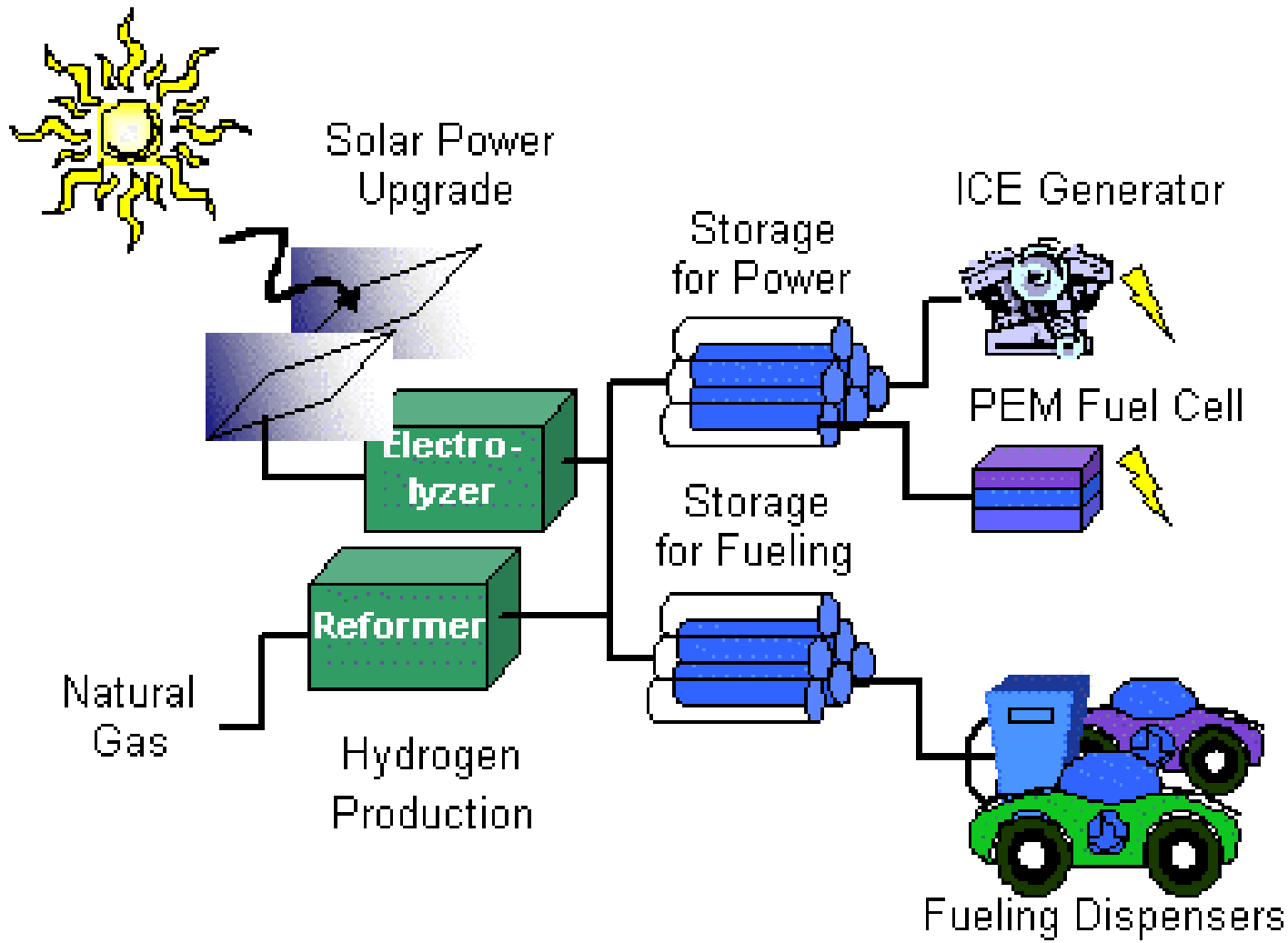
- Fuel cells are an important enabling technology for the hydrogen economy and have the potential to revolutionize the way we power our nation, offering cleaner, more-efficient alternatives to the combustion of gasoline and other fossil fuels.



The Hydrogen Energy System



Proposed Integrated Hydrogen Energy Demonstration Facility at Diamond Bar



Four steps to a new reliable, cleaner and decentralized Energy Supply based on Hydrogen + Fuel Cells

www.PersonalPowerCar.com

1 Renewable Energies produce Hydrogen

2 Cars drive on Hydrogen using Fuel Cells

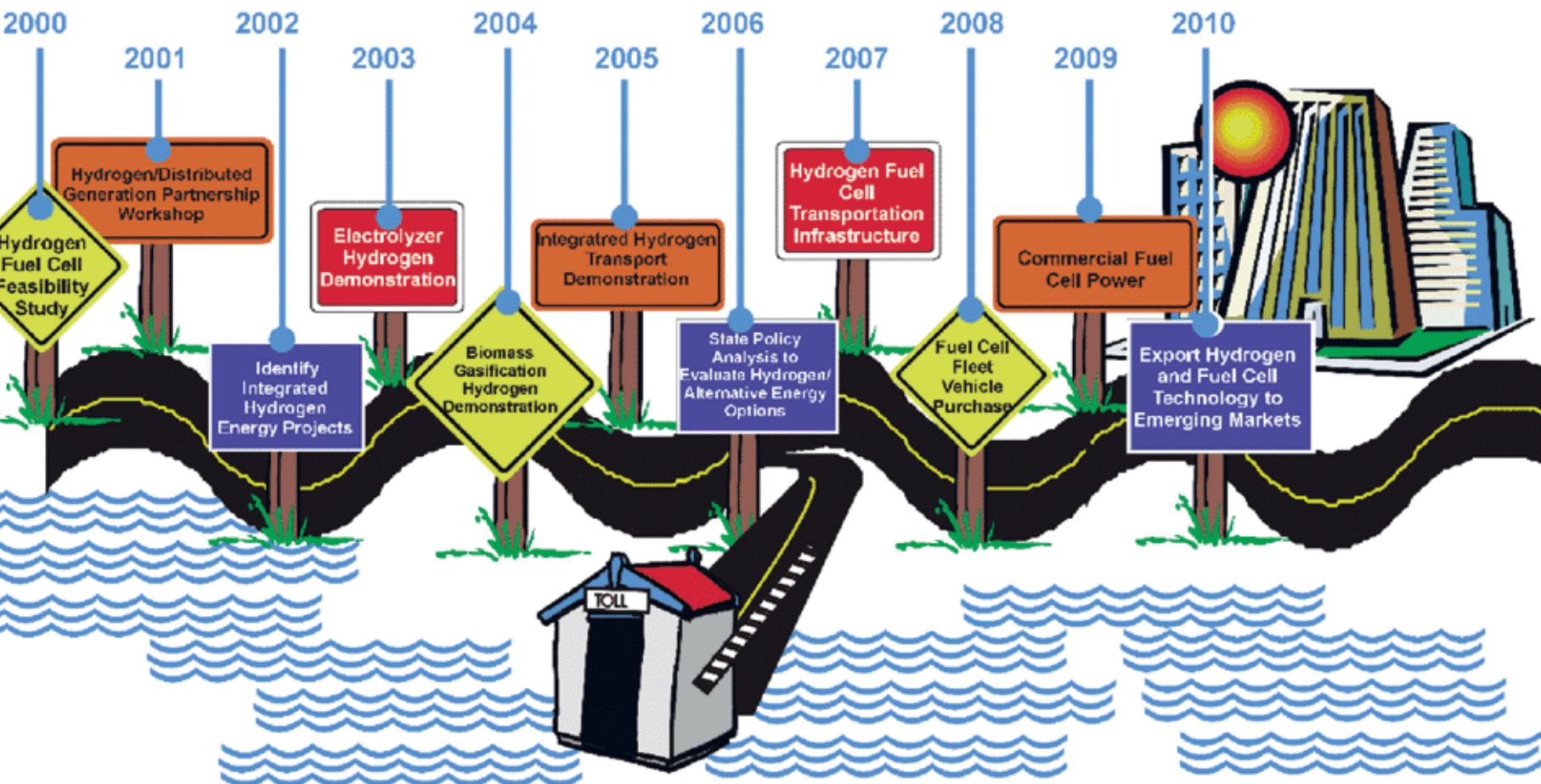
3 While parked, these vehicles supply electricity

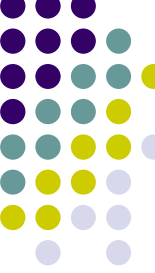
4 Car owners earn money based on electricity supplied by them

Flow of Hydrogen

Flow of Electricity

Roadmap to a Hawaiian Hydrogen Energy Future





氫能源之特點 (1)

- (1) 所有元素中，**氫重量最輕**。在標準狀態下，它的密度為0.0899g/l；在零下252.7°C時，可成為液體，若將壓力增大到數百個大氣壓，液氫就可變為金屬氫。
- (2) 氣體中**氫氣的導熱性最好**，比其他氣體高出10倍，在能源工業中氫是極好的傳熱導體。
- (3) 氫是自然界存在**最普遍的元素**，據估計它構成了宇宙質量的75%，除空氣中含有氫氣外，其他主要以化合物的形態貯存于水中，而水是地球上最廣泛的物質，因此若將海水中的氫全部提煉，其總熱值將比地球上石化燃料之總和還大上9000倍。
- (4) 除核燃料外**氫的發熱值為142,351kJ/kg**，是所有化石燃料、化工燃料和生物燃料中最高的，是汽油發熱值的3倍。



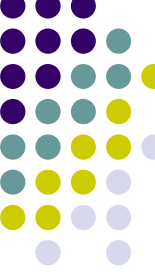
氫能源之特點 (2)

- (5) 氫燃燒性能好，點燃快，與空氣混合時有廣泛的可燃範圍，而且燃點高，燃燒速度快。
- (6) 氫本身無毒，與其他燃料相比氫燃燒時最清潔，除生成水和少量氮化氫外不會產生諸如一氧化碳、二氧化碳、碳氫化合物、鉛化物和粉塵顆粒等對環境有害的污染物質，少量的氮化氫經過適當處理也不會污染環境，而且燃燒生成的水還可循環使用，繼續提煉氫。
- (7) 氫能利用形式多，除燃燒可產生熱能外，在熱力發動機中可產生機械功，又可以作為能源材料用於燃料電池，或轉換成固態氫用作結構材料。用氫代替煤和石油，不需對現有的技術裝備作重大的改造，現在的內燃機稍加改裝即可使用，且其規模不會需大規模化才能提高效率。
- (8) 氫可為氣態、液態或固態的金屬氫化物，能適應貯運及各種應用環境的不同要求。



商業應用氫之關鍵問題

- (1) **製氫技術成本高**：氫是一種二次能源，其提煉過程不但需要消耗巨大能量，而且製氫之效率亦很低，故如何降低提煉成本是世界各國科學家共同關心的問題。
- (2) **需要安全可靠的貯氫和輸氫方法**：由於氫易氣化、著火、爆炸，因此如何妥善解決氫能的貯存和運輸，遂成為開發氫能的關鍵。



燃料電池

- 1839年英國的Grove發明燃料電池，並用以鉑黑為電極催化劑構成簡單的氫氧燃料電池，點亮倫敦講演廳的照明燈。
- 1889年Mood和Langer首先採用了燃料電池這一名稱，並獲得 $200\text{mA}/\text{m}^2$ 電流密度。
- 英國劍橋大學的Bacon用高壓氫氧製成了具有實用功率水平的燃料電池。60年代，這種電池成功地應用於阿波羅(Appollo)登月飛船，從此氫氧燃料電池廣泛應用於太空領域。
- 兆瓦級的磷酸燃料電池也研製成功。80年代開始，各種小功率電池在軍事、交通、資訊等各個領域中亦相繼獲得應用。



燃料電池的優點

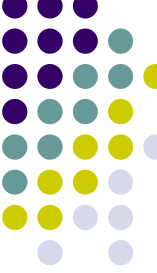
- 燃料電池是一種將燃料和氧化劑進行結合，利用其化學能轉化為電能的裝置。這種轉化過程並不需要燃燒，也沒有轉動部件。
- 綜合能源效率因而可達80%。
- 燃料電池之電源潔淨、無污染、雜訊低，結構模組化、積木性強、比功率高，既可以集中供電，也適合分散供電



燃料電池為替代電池之應用

<p>攜帶型烯 料電池</p>	<p>Warsitz製作的攜帶型燃料電池電源</p>
<p>替代電池 用的燃 料電池</p>	<p>Ballard的燃料電池膝上電腦 An H Power燃料電池電源公司提供的美國新澤西州高速公路廣告牌 An H Power燃料電池電源公司提供的職業電神攝像機 Fraunise ISE發展的峰窩電話用微型燃料電池</p>
<p>教學用烯 料電池</p>	<p>美國木醇研究所提供的教學用木醇燃料電池 Ecosoul提供的再生燃料電池教學用具 H-Tec提供的教學用太陽能-氫燃料電池</p>

Applications of fuel cell

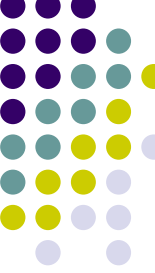




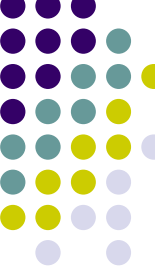
大氣污染比較(單位：kg.10⁻⁶(KWh)-1)

污染成分	天然氣火力發電	重油火力發電	煤火力發電	燃料電池
SO ₂	2.5-230	4,550	8,200	0-0.12
NO _x	1,800	3,200	3,200	63-107
烴類	20-1,270	135-5,000	30-104	14-102
塵末	0-90	45-320	365-680	0-0.14

商業發電用途

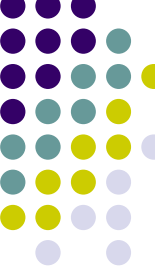


- 在實際應用上，美日等國已相繼建立了一些磷酸燃料電池電廠、熔融碳酸鹽燃料電池電廠、質子交換膜燃料電池電廠作為示範。
- 日本已開發了數種燃料電池發電裝置供公共電力部門使用，其中磷酸燃料電池（PAFC）已達到"電站"階段，並已建成兆瓦級燃料電池示範電站進行試驗，期望應用於城市能源中心或熱電聯供系統。
- 日本同時建造的小型燃料電池發電裝置，已廣泛應用於醫院、飯店、賓館等。預期燃料電池會在國防和民用的電力、汽車、通信等多領域發揮重要作用。
- 美國Arthur D.Little公司最新估計，2000年燃料電池在能源系統市場將提供1 500 2 000MW動力，價值超過30億美元，車輛市場將超過20億美元；2007年燃料電池在運輸方面的商業價值將達到90億美元。



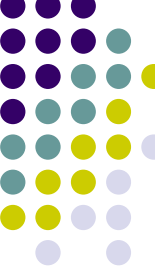
發電技術上之優點

- 不管是滿負荷還是部分負荷均能保持高發電效率；
- 不管裝置規模大小均能保持高發電效率；
- 具有很強的過負載能力；
- 通過與燃料供給裝置組合，其可適用的燃料廣泛；
- 發電出力由電池堆的出力和組數決定，機組的容量的自由度大；
- 電池本體的負荷回應性好，用於電網調峰優於其他發電方式；
- 用天然氣和煤氣等為燃料時，NOX及SOX等排出量少，環境相容性優。



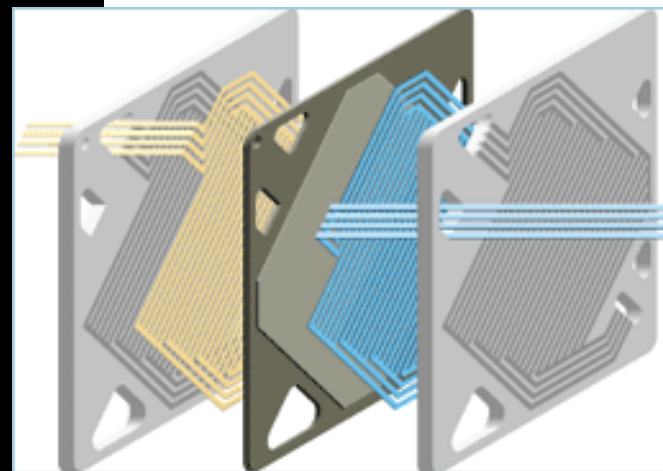
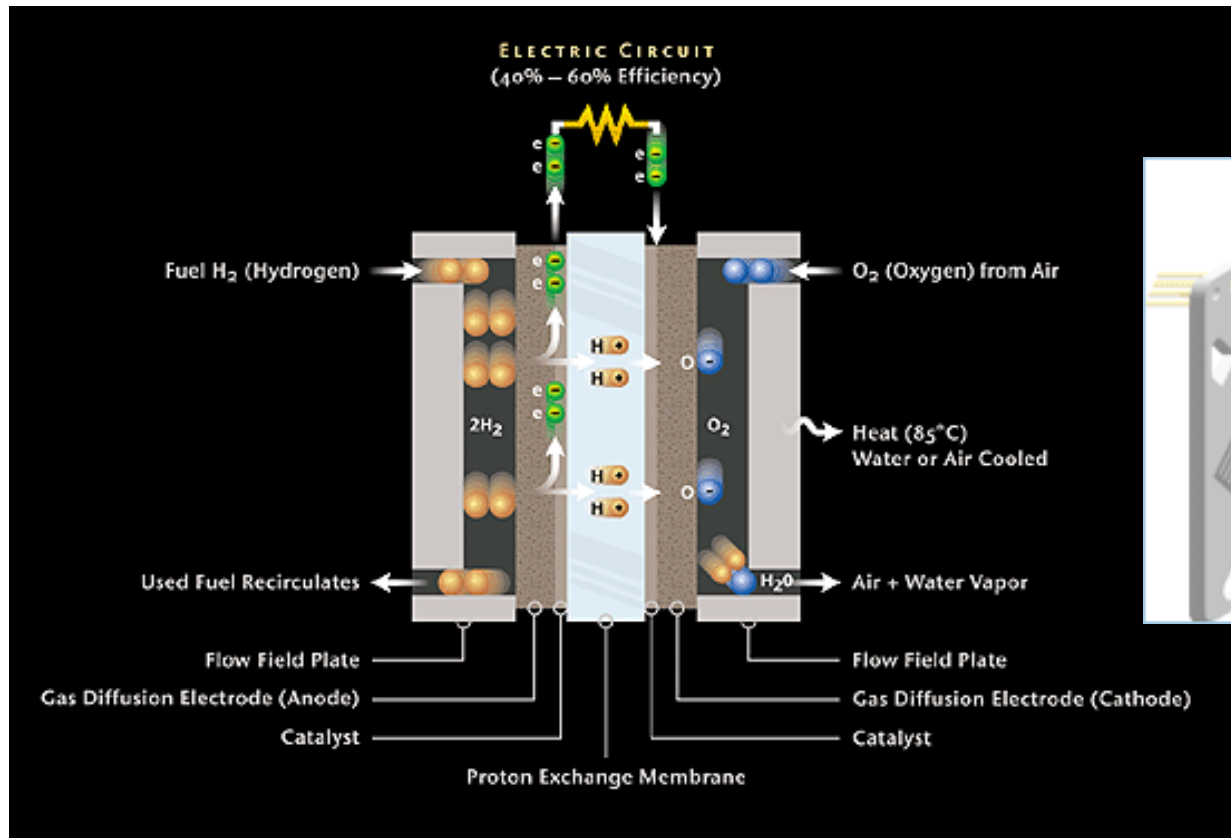
燃料電池的發展階段

- 第一代燃料電池：PAFC(磷酸型)
- 第二代燃料電池：MCFC (熔融碳酸鹽型)
- 第三代燃料電池：SOFC (固體氧化物型)

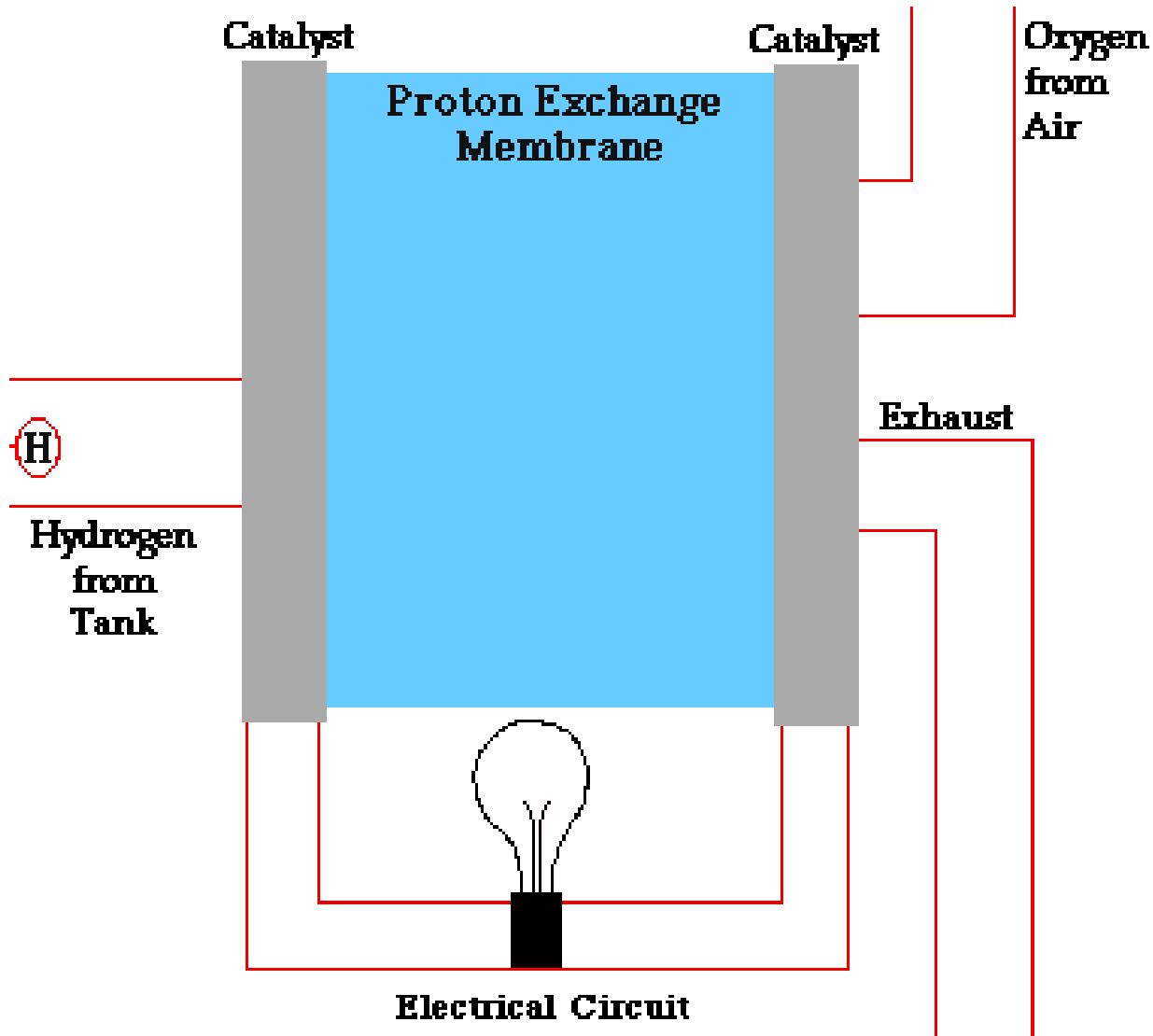


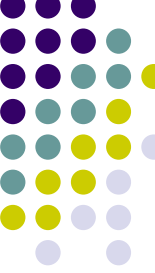
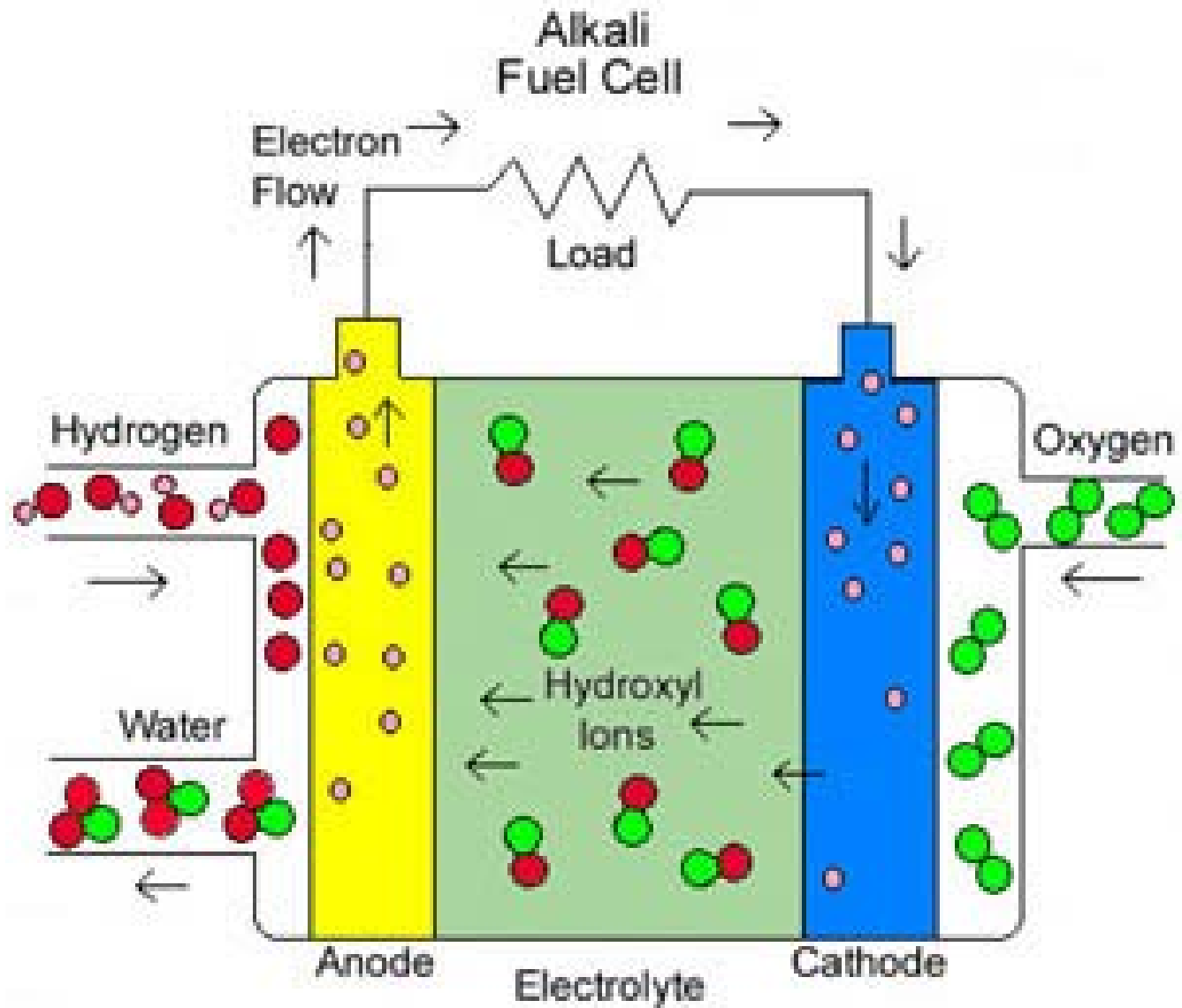
燃料電池原理

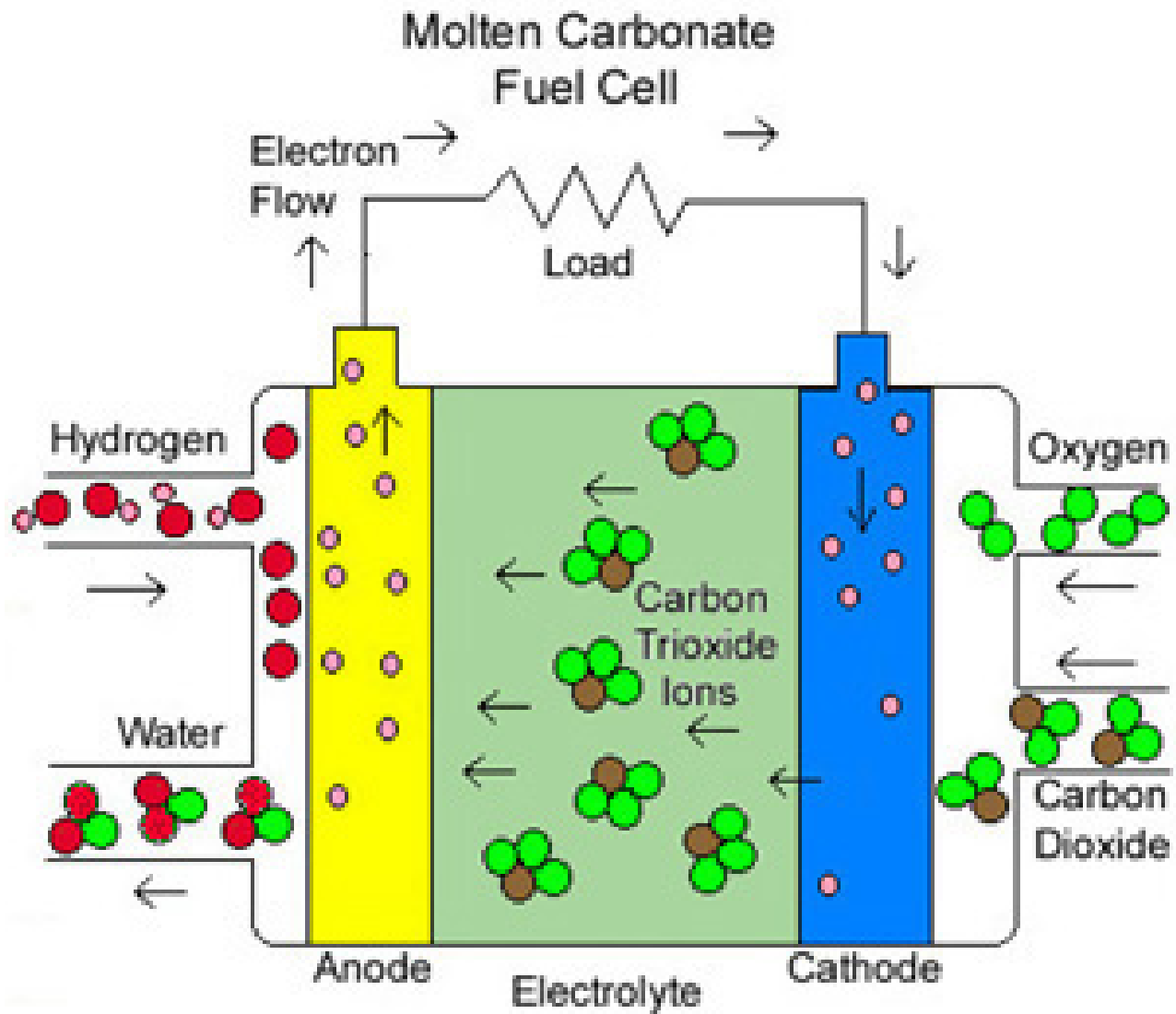
- 燃料電池其原理是一種電化學裝置，組成與一般電池相同。其單體電池是由正負兩個電極(負極即燃料電極和正極即氧化劑電極)以及電解質組成。
- 燃料電池的正、負極本身不包含活性物質，只是個催化轉換元件，因此燃料電池是名符其實的把化學能轉化為電能的能量轉換機器。
- 原則上只要反應物不斷輸入，反應產物不斷排除，燃料電池就能連續地發電

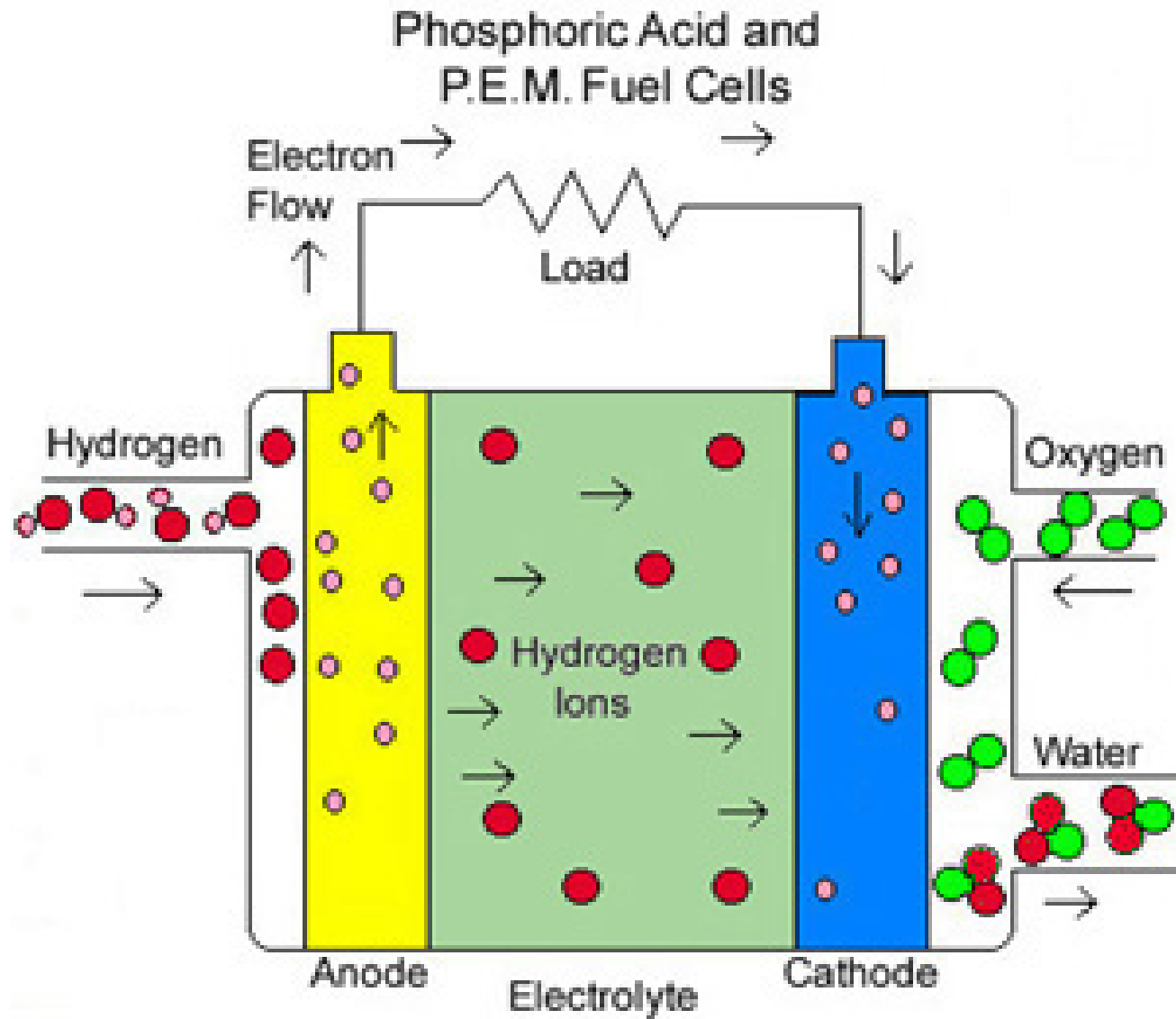


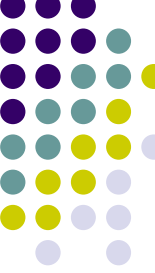
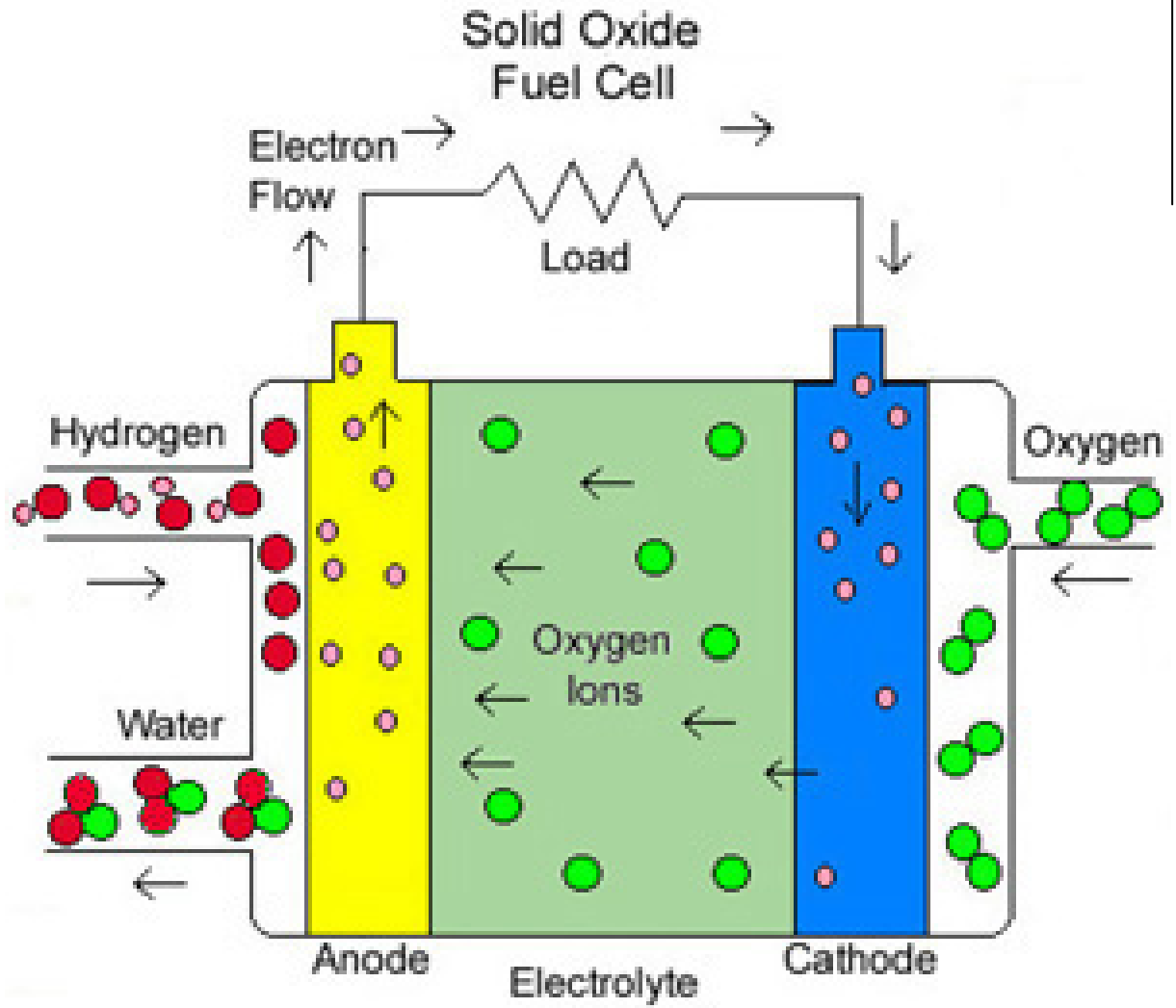
<http://www.ballard.com/tD.asp?pgid=20&dbid=0>





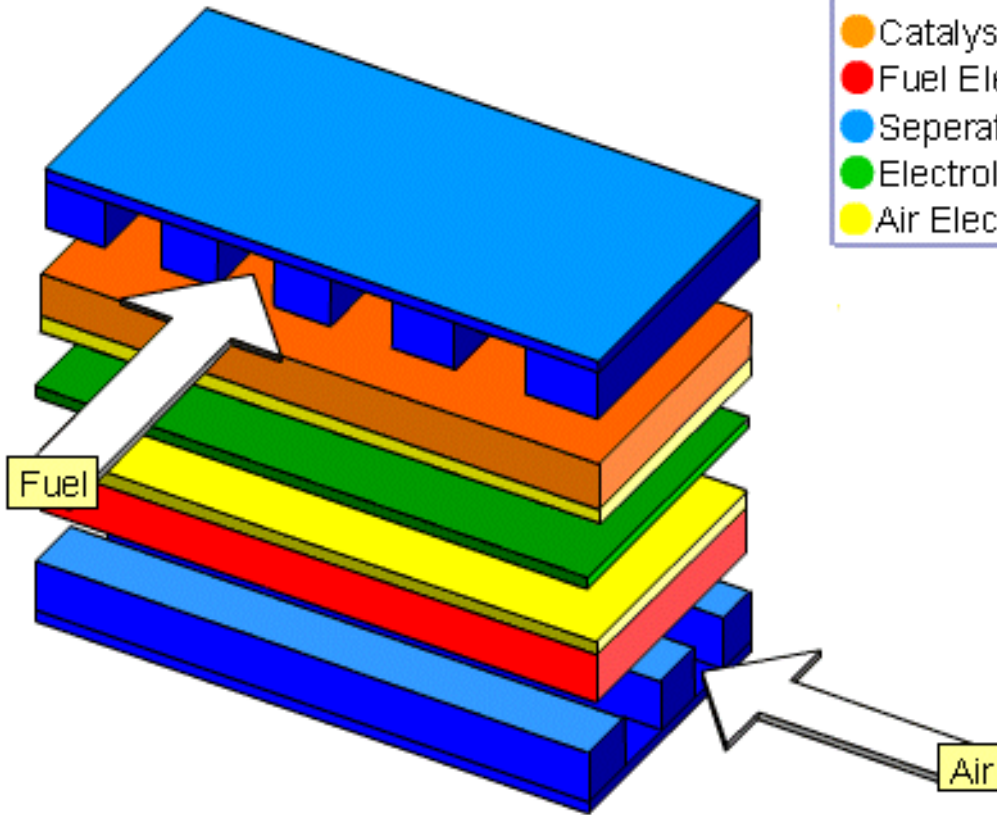








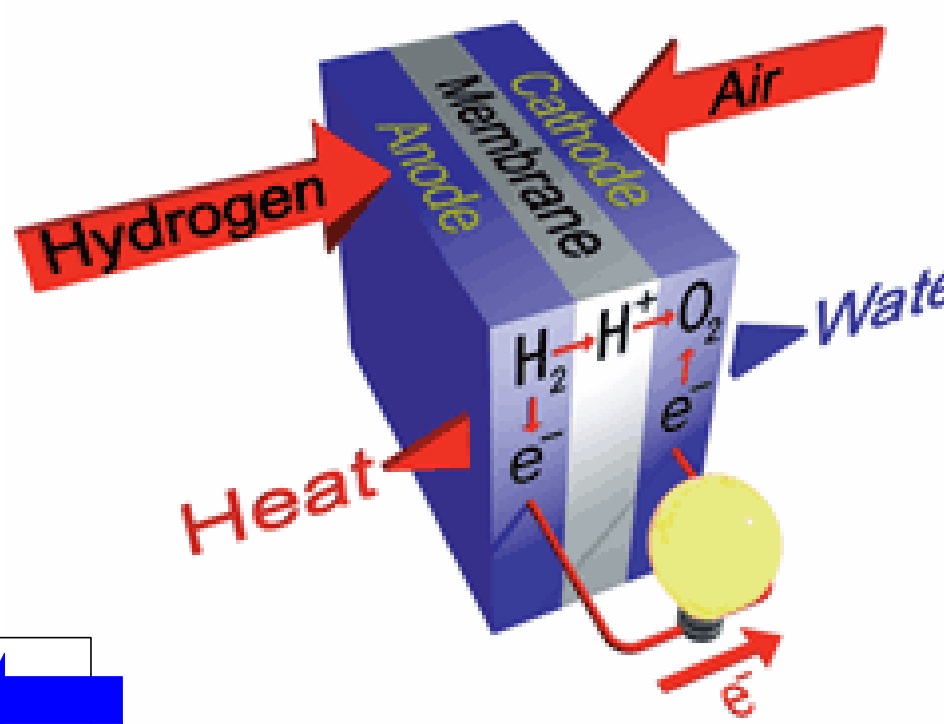
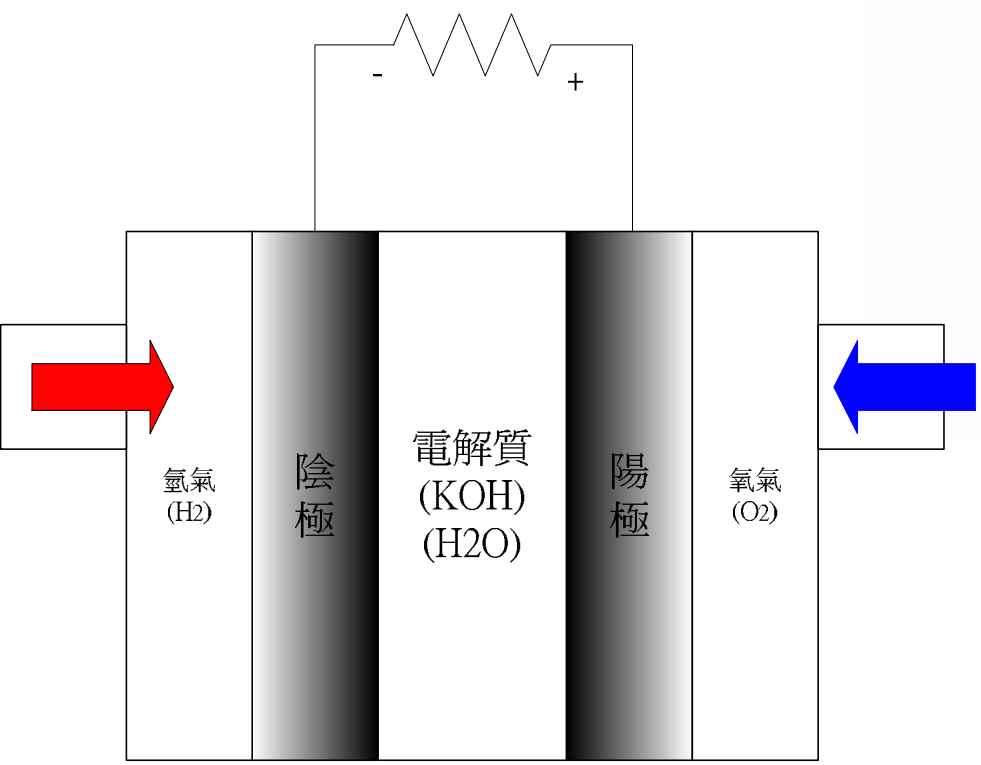
Generic Fuel Cell

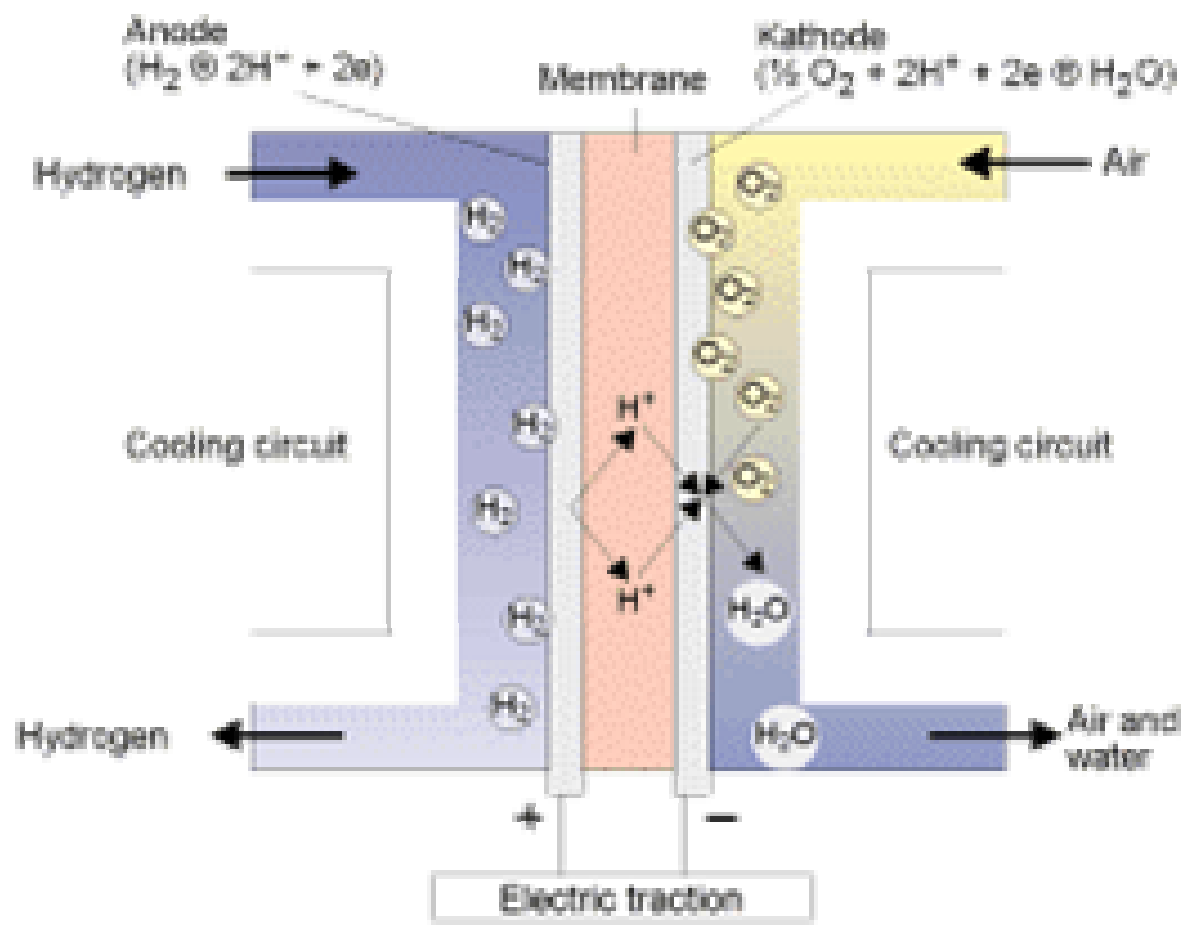


The fuel (hydrogen) enters the fuel cell, and mixes with air, which causes the fuel to be oxidized.

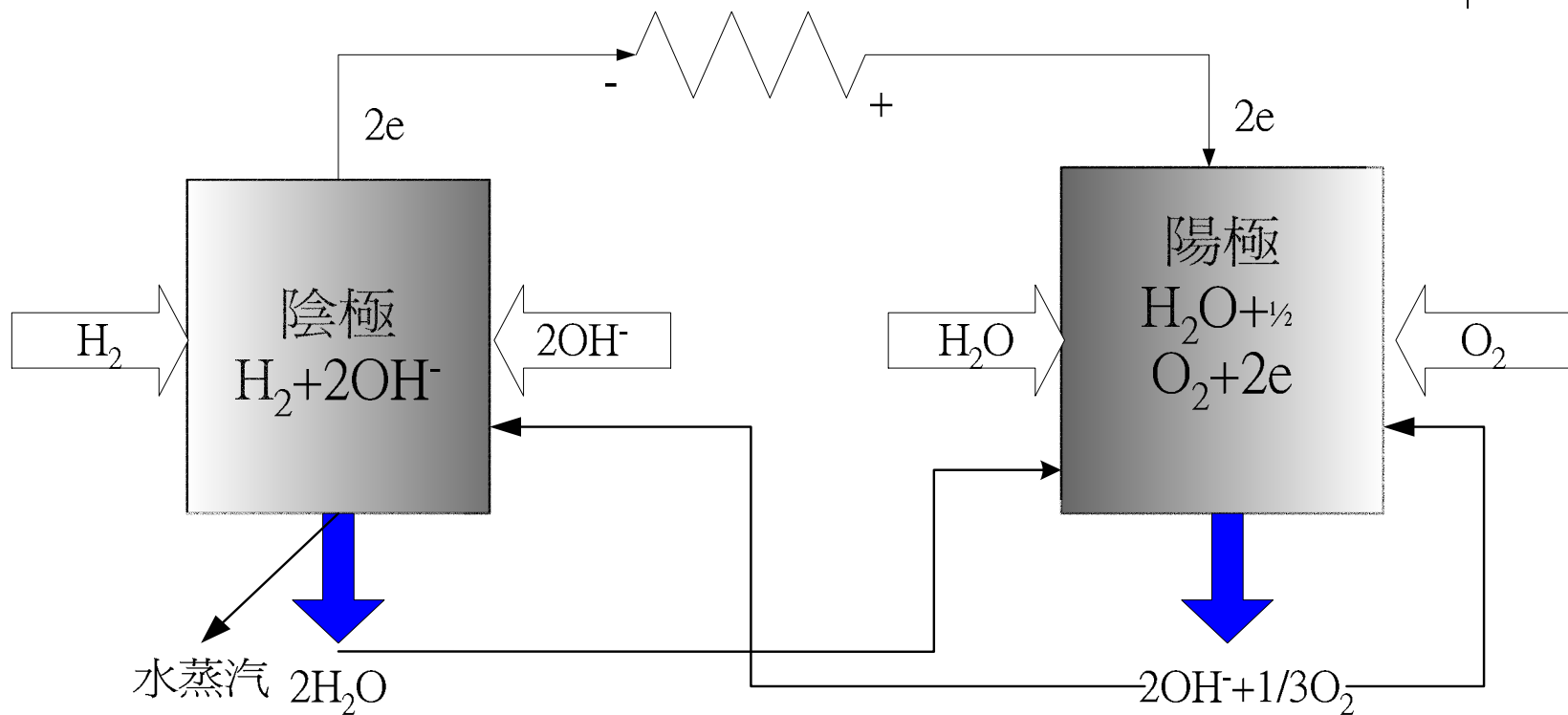
- As the hydrogen enters the fuel cell, it is broken down into protons and electrons.

燃料電池之組成





氫氧燃料電池反應循環

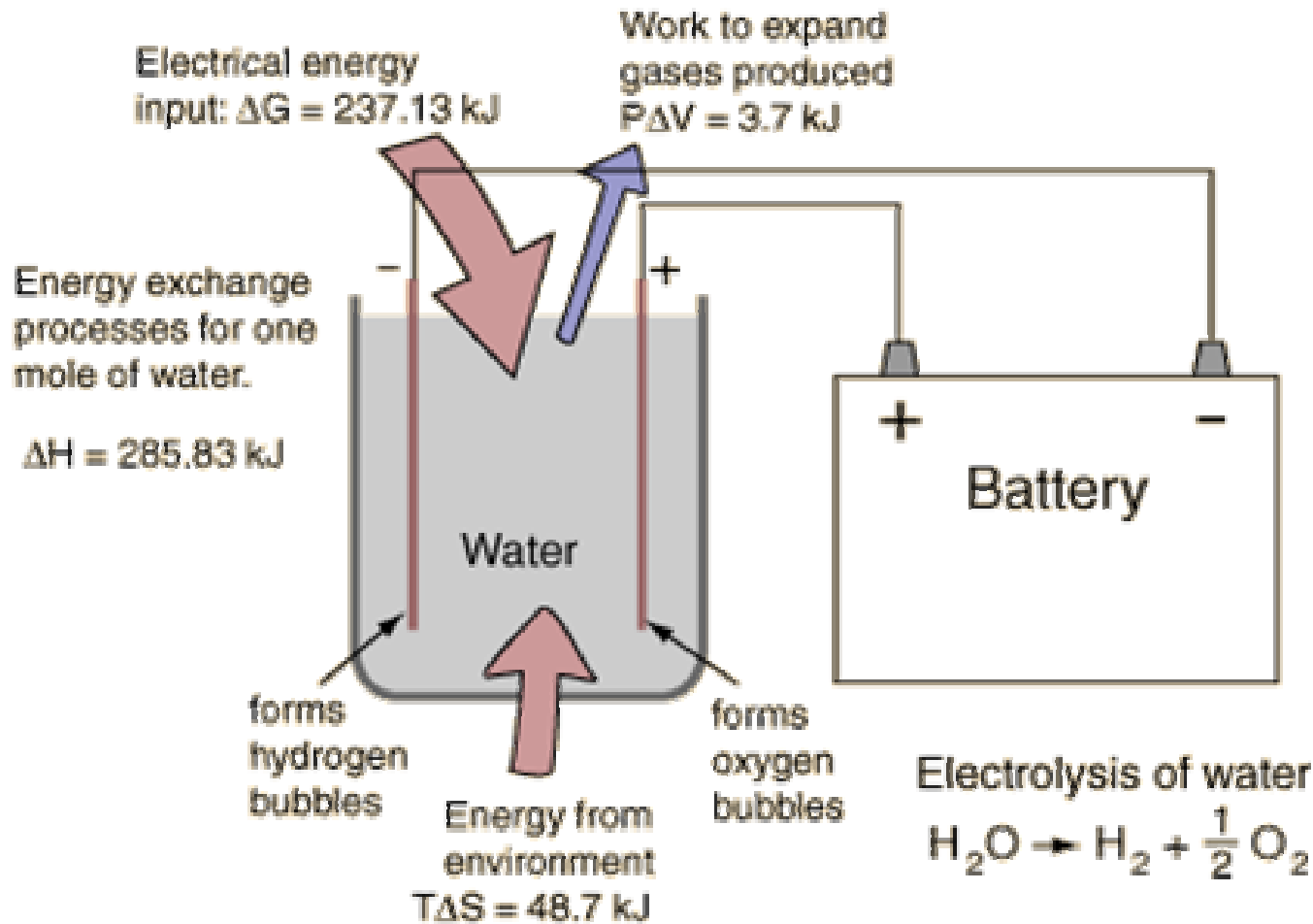


負極： $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

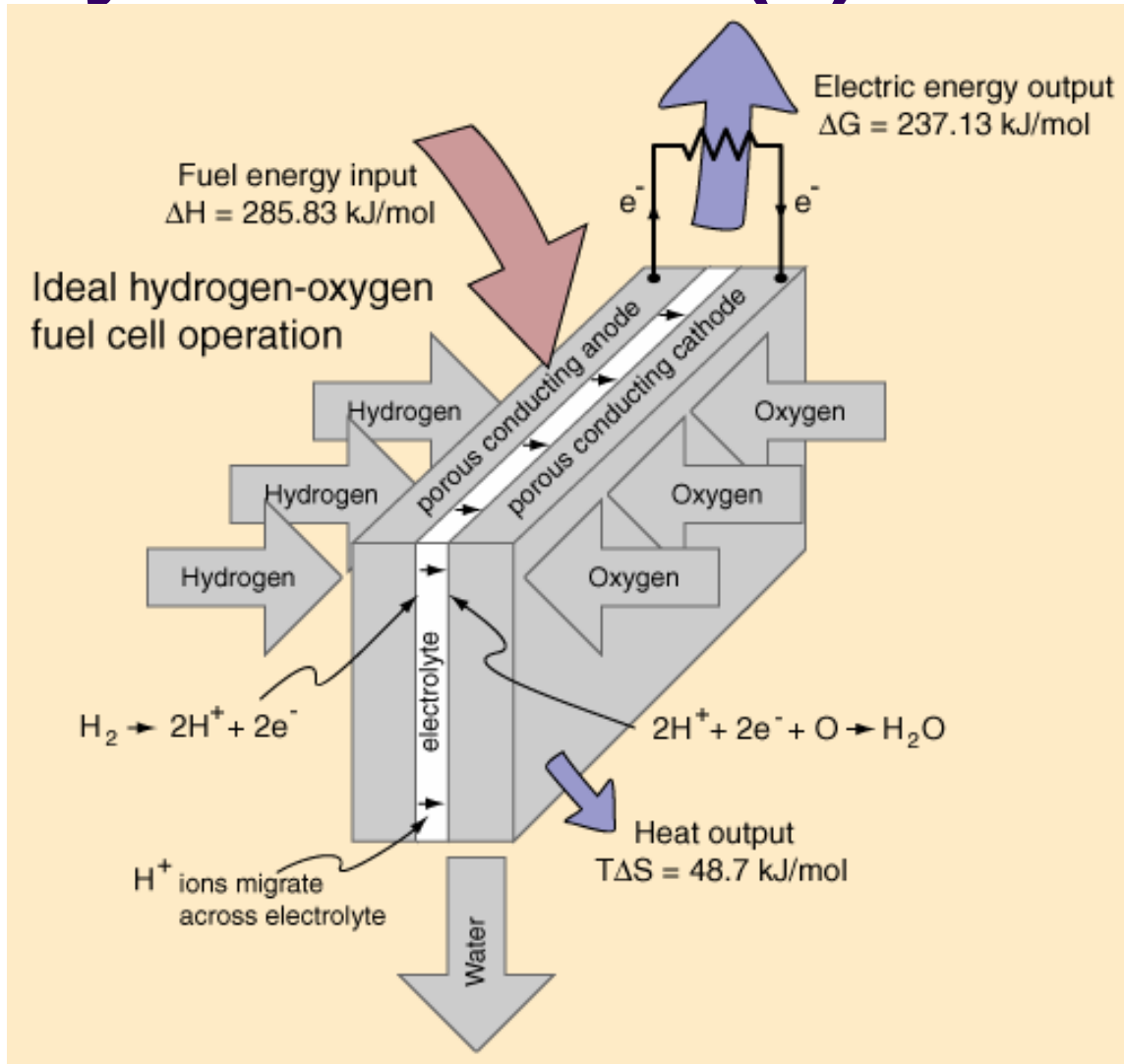
正極： $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

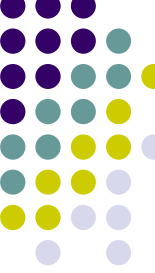
電池反應： $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Battery & Fuel cells(1)



Battery & Fuel cells(2)

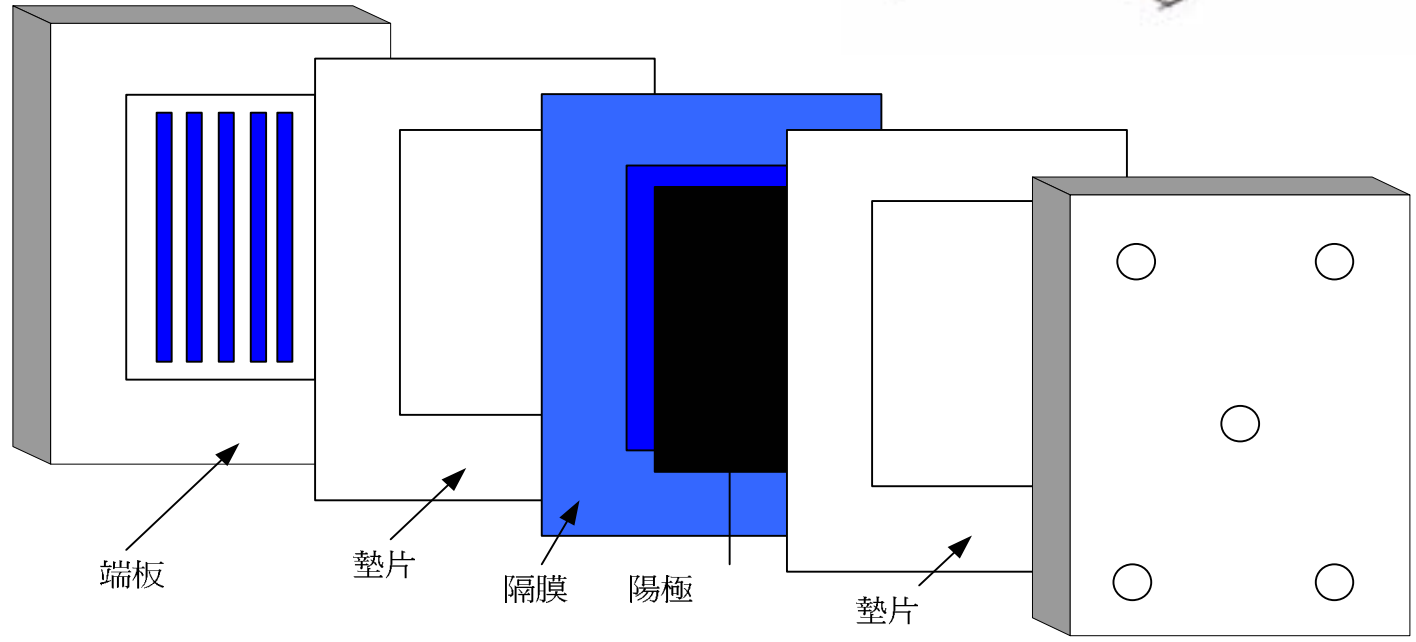
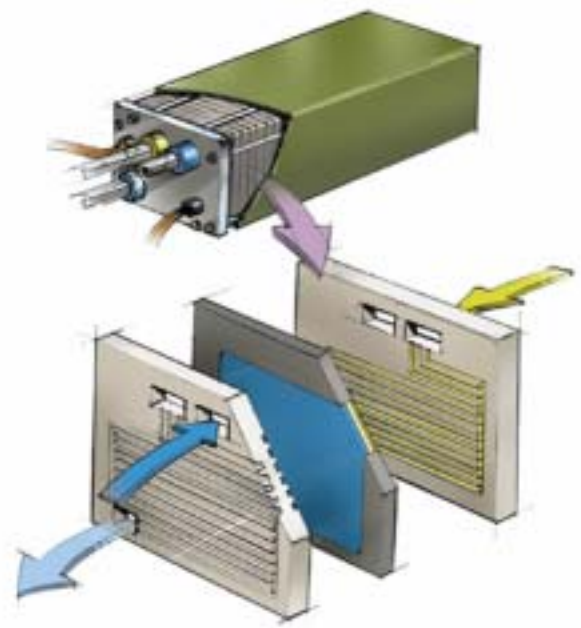




配套系統

- 只有燃料電池本體還不能工作，必須有一套相應的輔助系統，包括：
 - 反應劑供給系統
 - 排熱系統
 - 排水系統
 - 電性能控制系統
 - 安全裝置。

單電極組裝



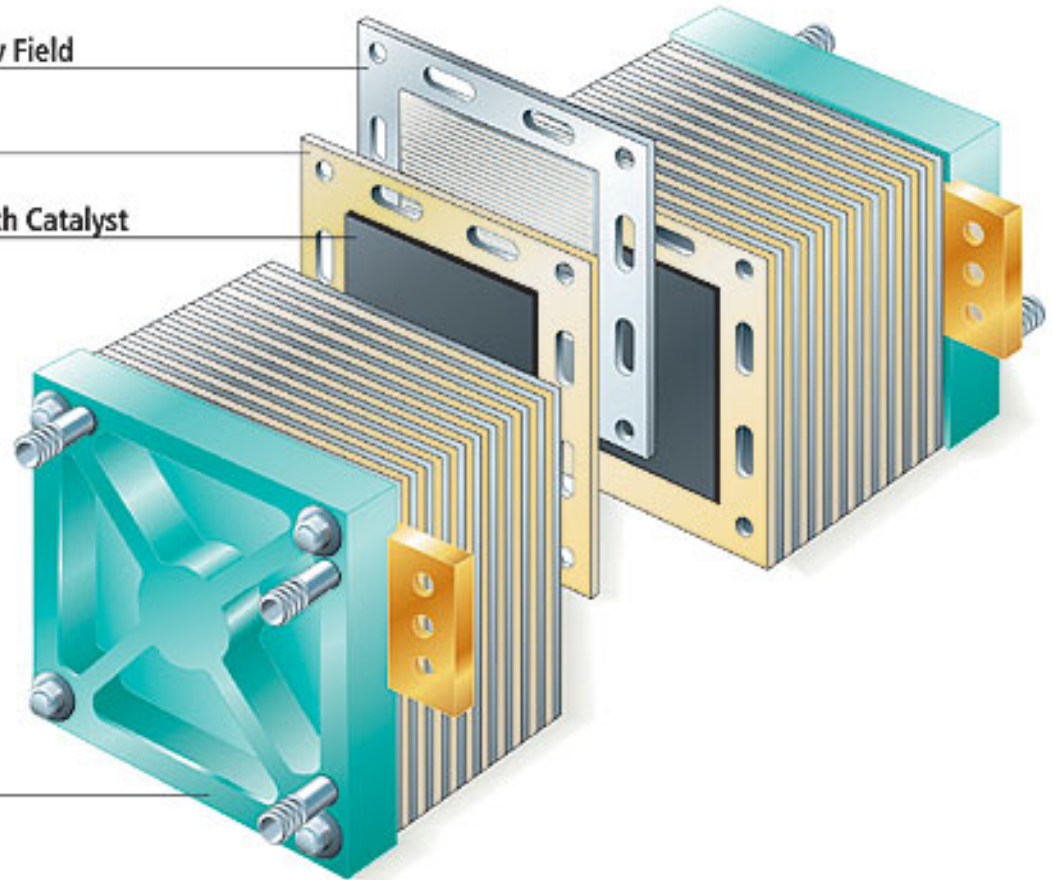


Bipolar-Plate with Flow Field

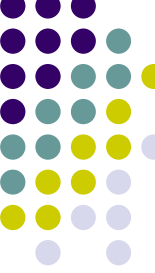
Membrane

Gas Diffusion Layer with Catalyst

End Plate



Types of Fuel Cells



- Alkali Fuel Cell (AKFC)
- Phosphoric acid fuel cells (PAFC),
- Molten carbonate fuel cells (MCFC),
- Solid oxide fuel cells (SOFC),
- Proton exchange membrane fuel cells (PEMFC)

Steps to produce currents



- In the case of PEMFC and PAFC, positively charged ions move through the electrolyte across a voltage to produce electric power.
- The protons and electrons are then recombined with oxygen to make water,
- As this water is removed, more protons are pulled through the electrolyte to continue driving the reaction and resulting in further power production.
- In the case of SOFC, it is **oxygen radicals** that move through the electrolyte.
- In MCFC, carbon dioxide is required to combine with the oxygen and electrons to form **carbonate ions**, which are transmitted through the electrolyte



燃料電池的分類

類型	磷酸型 (PAFC)	熔融碳酸鹽型 (MCFC)	固體氧化物型 (SOFC)	質子交換膜型 (PEMFC)	
燃料	煤氣、天然氣、甲醇等	煤氣、天然氣、甲醇等	煤氣、天然氣、甲醇等	純H ₂ 、天然氣	
電解質	磷酸水溶液	K ₂ CO ₃ 溶鹽	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ (YSZ)	離子(Na離子)	
電極	陽極	多孔質石墨 (Pt催化劑)	多孔質鎳 (無Pt催化劑)	Ni-ZrO ₂ 金屬陶瓷 (不要Pt催化劑)	多孔質石墨 或Ni(Pt催化劑)
	陰極	含Pt催化劑+ 多孔質石墨+Tefion	多孔NiO (摻 鋰)	LaXSr _{1-X} Mn(Co)O ₃	多孔質石墨 或Ni(Pt催化劑)
工作溫度	~200	~650	800~1000	~100	

Fuel Cells Overview



Commercially Available
Size Range
Fuel
Efficiency
Environmental
Other Features
Commercial Status

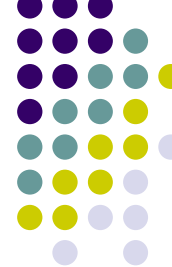
PAFC	SOFC	MCFC	PEMFC
Yes	No	Yes	No
100-200 kW	1 kW - 10 MW	250 kW - 10 MW	3-250 kW
Natural gas, landfill gas, digester gas, propane	Natural gas, hydrogen, landfill gas, fuel oil	Natural gas, hydrogen	Natural gas, hydrogen, propane, diesel
36-42%	45-60%	45-55%	30-40%
Nearly zero emissions	Nearly zero emissions	Nearly zero emissions	Nearly zero emissions
Cogen (hot water)	Cogen (hot water, LP or HP steam)	Cogen (hot water, LP or HP steam)	Cogen (80°C water)
Some commercially available	Likely commercialization 2004	Some commercially available	Likely commercialization 2003/2004

燃料電池之外觀

2KW 電池組 (第二代)



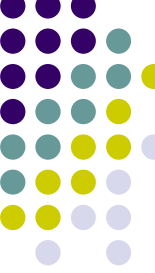
fc_video_1.avi



Storage Systems



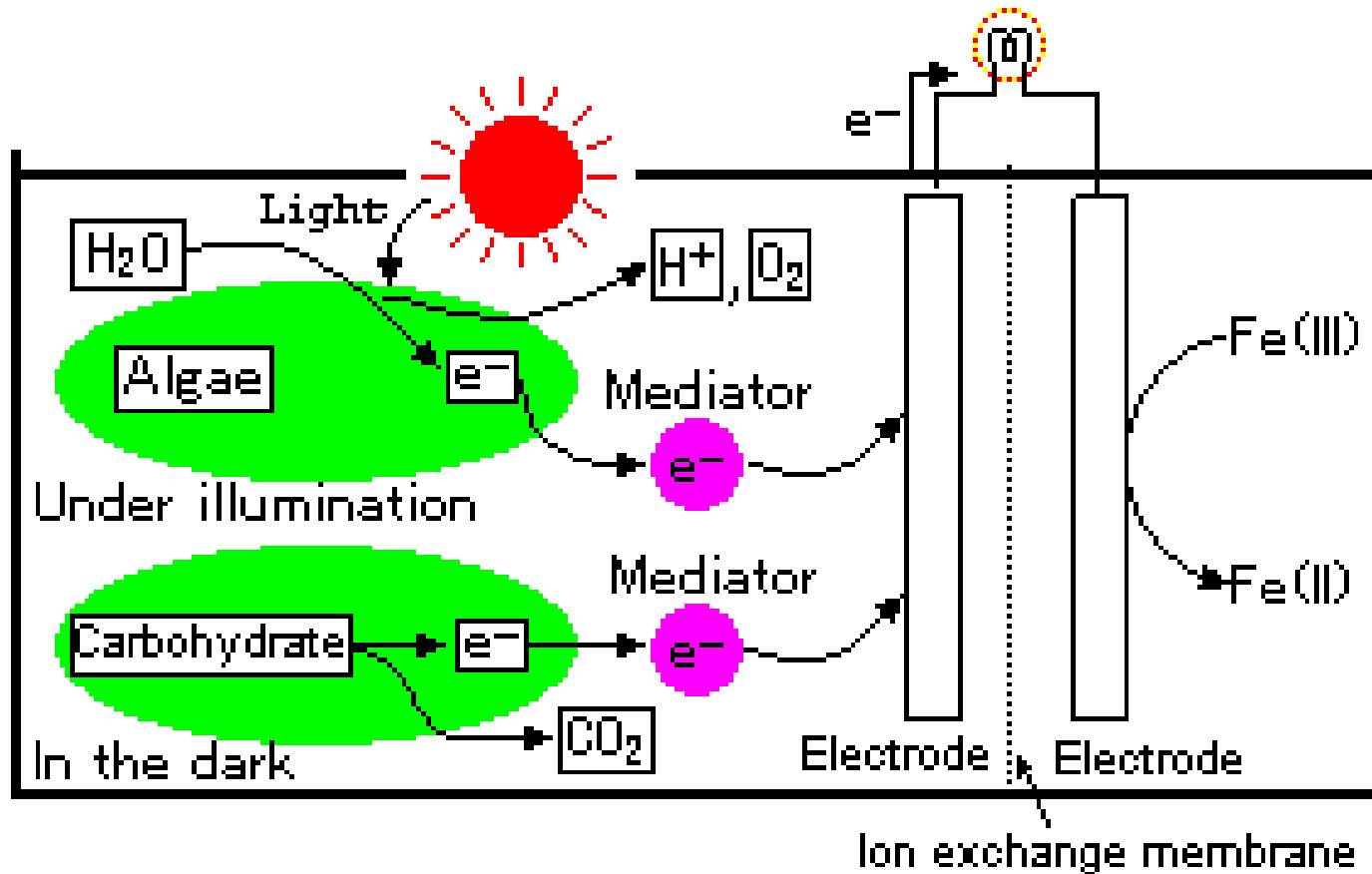
*Photo Source: National Energy
Technology Laboratory, Department of Energy*



燃料電池發電系統

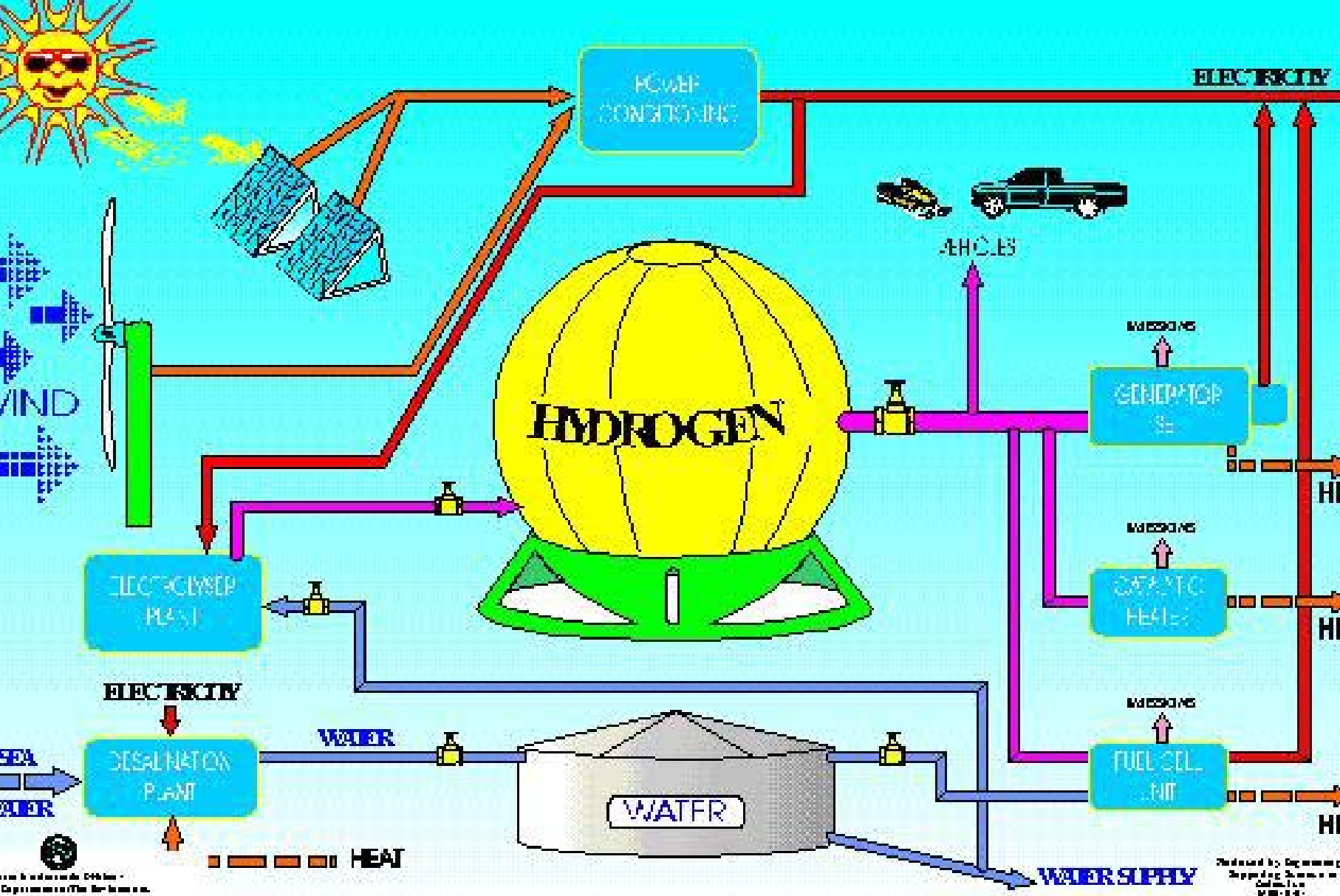
- 天然氣的發電系統：由天然氣中的 CH_4 轉化而成，其反應在轉化器中進行。出口的溫度為600
- 煤炭的發電系統：煤炭需經煤氣轉化裝置才能產生的 CO 及 H_2 等可用燃料，並須經純化過程。電池的適宜溫度（約600）
- 水電解系統：直接電解水得到氫。
- 太陽能發電系統：利用太陽電池發電再電解。
- 風能發電系統：以風能發電進行電解。
- 生質能發電系統；產生沼氣進行轉化。

生物燃料電池

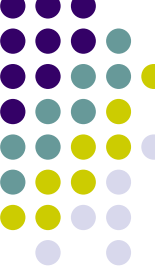


Schematic diagram of a bio-fuel cell

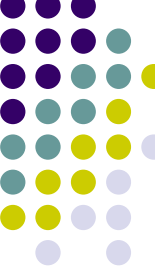
Fe(III) : ferricyanide ; Fe(II) : ferrocyanide



Alkali Fuel Cell



- use a solution of potassium hydroxide in water as their electrolyte.
- Operating temperatures inside alkali cells are around 150 to 200 degrees C
- operate at efficiencies up to 70 percent
- alkali cells need very pure hydrogen or an unwanted chemical reaction forms a solid carbonate that interferes with chemical reactions inside the cell
- need for large amounts of a costly platinum catalyst to speed up the reaction

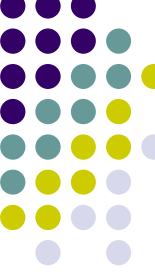


磷酸型燃料電池(PAFC)

- 目前磷酸型燃料電池的發電效率為30% 40%，綜合效率可高達60% 80%。
- PAFC作為一種中低溫型（工作溫度180-210℃）燃料電池，不但具有發電效率高、清潔、無噪音等特點，而且還可以熱水形式回收大部分熱量。

日本東芝ONSI PC25C型電站





質子交換膜燃料電池(PEMFC)

- 以磺酸型質子交換膜為固體電解質，無電解質腐蝕問題，能量轉換效率高，無污染，可室溫快速啟動
- 採用Nafion質子交換聚合物膜電極是PEMFC的電化學心臟。

安裝在柏林的250kW
PEMFC燃料電池電站



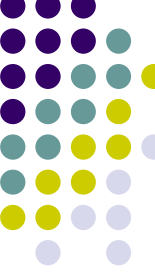
Air Product's hydrogen generator (left) at the Las Vegas Energy Station produces hydrogen through the reforming and purification of natural gas. This hydrogen fuels vehicles, and Plug Power's PEM (proton exchange membrane) fuel cell (right), which provides electrical energy to the Las Vegas grid.





熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)

- 1. 發電效率比PAFC高；
- 2. 不需要昂貴的白金作催化劑，製造成本低；
- 3. 可以用CO作燃料；
- 4. 由於MCFC工作溫度600-1000，排出的氣體可用來取暖，也可與汽輪機聯合發電。若熱電聯產，效率可提高到80%；
- 5. 中小規模經濟性與幾種發電方式比較，當負載指數大於45%時，MCFC發電系統成本最低。與PAFC相比，雖然MCFC初期投資高，但PAFC的燃料費遠比MCFC高。當發電系統為中小規模分散型時，MCFC的經濟性更為突出；
- 6. MCFC的結構比PAFC簡單。



固體氧化物燃料電池(SOFC)

- 由於是高溫動作（600-1000℃），通過再循環系統，可以獲得超過60%效率的高效發電。
- 由於氧離子在電解質中移動，所以也可以用CO、煤氣化的氣體作為燃料。
- 由於電池本體的構成材料全部是固體，所以沒有電解質的蒸發、流動。另外，燃料極空氣極也沒有腐蝕。
- 動作溫度高，可以進行甲烷等內部轉化。
- 與其他燃料電池比，發電系統簡單，可以期望從容量比較小的設備發展到大規模設備，具有廣泛用途。



SOFC和燃氣輪機混合發電站

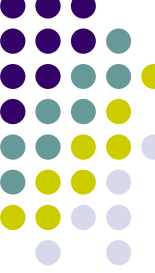
SIEMENS
Westinghouse



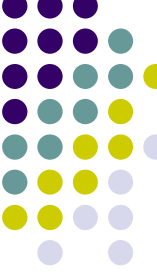
SOFC...The New Generation of Power

西門子-西屋公司開發
第一台SOFC和燃氣輪
機混合發電站

固體高分子型燃料電池(PEFC)



- 1. 效率高：燃料電池是化學能轉化為電能的過程，不受卡諾循環的限制，能量轉換效率較高，1999年戴姆勒-克萊斯勒推出的燃料電池概念車NECAR 4從油箱到車輪的能量效率為37.7%，而高效汽油機和柴油機汽車整車效率分別為16-18%和22-24%。
- 2. 續駛里程長：採用燃料電池系統為能源。
- 3. 綠色環保：燃料電池沒有燃燒過程，以純氫作燃料，生成物只有水，屬於零排放。
- 4. 超載能力強：燃料電池除在較寬的工作範圍內具有較高的工作效率外，其短時超載能力可達額定功率的200%或更大。
- 5. 低噪音：燃料電池屬於靜態能量轉換裝置，除空氣壓縮機和冷卻系統以外無其他運動部件，因此與內燃機汽車相比，運行過程中噪音和振動都較小。
- 6. 設計方便靈活：燃料電池汽車可以按照X-By-Wire的思路進行汽車設計，改變傳統的汽車設計概念，可以在空間和重量等問題上進行靈活的配置。

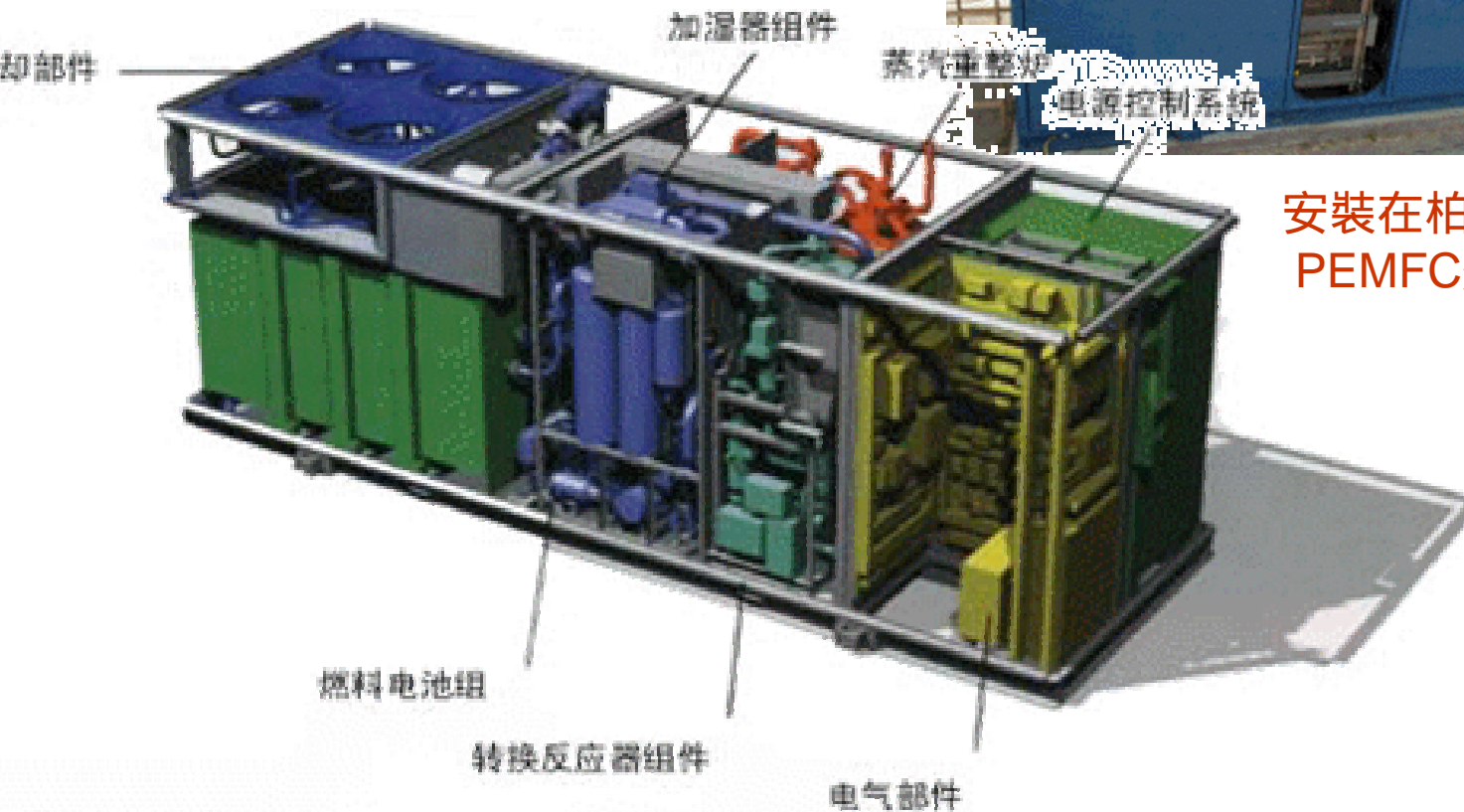


- The world first hydrogen energy station featuring the co-production of hydrogen fuel and electric power. The project is a public-private partnership between the United States Department of Energy, the City of Las Vegas, Air Products and Chemicals, Inc., and Plug Power, and will serve as a commercial demonstration of hydrogen as a safe and clean energy alternative.



Air Products hydrogen fueling station to be built in 2003 in Ann Arbor, Mich. at the United States Environmental Protection Agency's National Vehicle and Fuel Emission Laboratory.

燃料電池發電設備

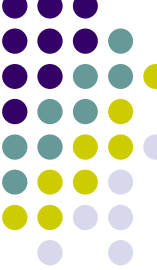


安裝在柏林的250kW
PEMFC燃料電池電站

圖 2 典型的 PEMFC 結構



Hydrogen fueling dispenser at the Las Vegas Energy Station.



展望

- 燃料電池發電的經濟性
- 對電力系統的影響展望
- 展望燃料電池的未來

