

燃料電池的製作及研究

高中組：第三名

縣市：台北縣

校名：三重高中

作者：李卓翰、蔡青霖

劉國印

指導教師：彭立浩、鍾曉蘭



蔡青霖

也許是對自然科學的興趣使然，我從高一就投入「燃」的研究，直到高三下仍代表學校參賽，雖不敢說全力以赴，但各項研究工作絕對是100%的參與。這次很榮幸能得到第三名，感謝學校、老師及兩位伙伴所給予的協助。

李卓翰

我在民國87年時以申請入學進入了國立三重高中，日前也以申請入學考上了國立中正大學化學工程系，高中生涯，曾多次參與校外活動，例如：話劇、表演、籃球比賽、租稅常識比賽、科展等其中科展更是從高一就開始製作。

劉國印

出生在一個平凡家庭中的我，興趣是溜直排輪，因為我喜歡風的感覺，因此我在學校中創了直排輪社。另外還有做實驗，學校每年所舉辦的科展我都有參加，我參加此次的全國科展，也讓我學會了尋找問題的方法。

關鍵詞：電池、燃料、Nafion、鉑

一、研究動機

偶然在NASA的網站上，得知在太空梭上是以燃料電池作為供應電能的裝置，和課程中曾經提到有關燃料電池的內容，有許多互通之處，因此引起我們一探究竟的動機。燃料電池的特點是直接以一般燃料如氫氣、甲醇等為原料，將原本燃料燃燒所要釋放的化學能，不經過熱能的形式，直接轉換成電能。如此一來，大大的減少能量在轉換過程中的損耗，而能有極佳的能量轉換效率，同時沒有不完全燃燒所帶來的污染，乾淨又環保，符合新時代的需求。現在除了太空梭之上的應用以外，先進國家更已發展出汽車用的燃料電池，以取代傳統的內燃機。燃料電池這樣先進的供應電能裝置，實在讓人想親眼目睹，不過很可惜，課本中對燃料電池只有大略敘述和簡圖說明，缺乏實際的照片讓人一睹為快。同時又因為取材不易造價太高、體積過大不易攜帶等原因，不但在日常生活中無緣一見，連在課堂上，老師也無法拿出一個燃料電池來展示，實在令人失望。於是興起製作一個簡易的燃料電池作為展示模型的想法，以說明其構造原理及功能，增加大家對燃料電池的認識。

二、研究目的

- 1.尋找及製作適當的電極、鹽橋材料，使燃料電池的運作更具效率。
- 2.測試不同的電解溶液、酸鹼度條件，使電池的輸出功率足以驅動小型電器。
- 3.製作實用的燃料電池模型，以說明能量的轉換。



三、研究設備、藥品及器材

壓克力板、壓克力管、載玻片、樣品瓶、滴管、電線、銀膠、AB膠、氯仿、燒杯、吹風機、注射針筒、三用電表、玻璃紙、乙醇、MTMOS【註1】、濃鹽酸、碳粉、鎳粉、鉑粉、鉑片、Nafion 117【註2】

【註1】MTMOS為Methyltrimethoxysilane的縮寫，是一種矽膠的單體，化學式為： $CH_3Si(OCH_3)_3$ ，在酸中可聚合而成矽膠。

【註2】Nafion 117是美國杜邦（Du Pont）公司的商品名稱，是一種氟烯磺酸的聚合物，其單體化學式為：

$CF_2 = CFCF_2CF(CF_3)OCF_2CF_2CF_2SO_3H$ 由於分子結構中有磺酸根($-SO_3^-$)存在，可以讓氫離子在磺酸根之間傳遞，是一種氫離子交換膜，也可當作是固態的硫酸電解液。

圖二 玻璃基材的碳膜-鉑粉電極



圖三 壓克力基材的碳膜-鉑粉電極



四、研究過程

(一)由參考文獻知道，金屬鉑可以催化氫氣的氧化反應，所以首先我們選擇以兩片鉑片連結導線，作為燃料電池的電極，並以0.01N稀硫酸溶液作為電解質，在兩極分別通以氫氣和氧氣，讓氫氣和氧氣在兩極反應，裝置如圖一，所使用的鉑片電極。我們以三用電表測量斷路和不同歐姆值的電阻形成通路的電壓與電流。

(二)為了降低成本，我們改以碳棒黏附鉑粉做電極。我們參考資料，首先碳棒表面塗上一層Nafion 117/鉑粉混合液，將鉑粉固定於碳棒表面，接下來以銀膠來黏著導線和電極，再用AB膠把黏著處覆蓋，以防止銅線反應，如此製成了電極。黏膠將鉑粉黏附在碳棒上，也一樣可以取代鉑片產生反應，而成本下降了許多，不過圓柱形的碳棒和氣體的接觸面積還是不夠大。

(三)為了增加和氣泡的接觸面積，改以平板玻璃片作為電極的基材，在其上塗佈碳膜為導體，再黏附鉑粉做電極（圖二）。我們先將碳粉加入2.5毫升的乙醇和1毫升的MTMOS的混合液中，加少許的HCl均勻混合後，塗佈在適當大小的玻璃片的表面，加熱之使其固化形成碳膜。在碳膜表面鋪上一層Nafion 117/Pt粉混合液，以使碳膜表面黏附鉑粉。接下來以銀膠黏著導線和電極，再用AB膠把黏著處覆蓋，以防止銅線反應。我們利用玻璃碳膜（MTMOS）-鉑粉電極做了一系列電解質濃度、氣體流速、極板面積對電壓與電流影響的實驗。

(四)由於玻璃片難以加工變形，所以我們改以壓克力為基材製作電極，壓克力板可塑性高，容易切割或改變形狀，容易加工。如同玻璃基材電極的製作方式，將玻璃改成壓克力，卻發現碳膜容易脫落，多方嘗試之後，利用氯仿能溶解壓克力的特性，先將導線以壓克力膠黏於適當大小的壓克力片上，並貼著壓克力片裸露出一小段的銅線。將碳粉加入2.5毫升的氯仿和-

小塊的壓克力碎片（約0.1克）均勻混合，塗佈在壓克力片上並覆蓋裸露出的銅線表面，在通風櫥中靜置，待氯仿蒸發便形成碳膜，如此產生的碳膜，在壓克力板上黏著牢靠，同時直接以碳膜與導線連結形成通路，碳膜本身及和導線間的電阻更小，在銅線處再以壓克力膠覆蓋，以防止銅線反應。在碳膜表面鋪上一層Nafion 117/Pt粉混合液，以使碳膜表面黏附鉑粉，如此得以壓克力為基材的電極（圖三）。

(五)由於鎳也能催化氫氣的反應，為了更進一步的降低成本，我們嘗試以鎳粉取代鉑粉作為催化劑，以壓克力為基材製作電極。除使用鎳粉取代鉑粉以外，其他步驟和過程（四）相同。但後來實際操作時發現陽極並非氫氣氧化，而是鎳本身參與反應氧化了，所以以鎳粉並不適當。

(六)為了增加電池的電壓，我們試著使兩極的電解液有不同的酸鹼度。

(七)因為兩極的電解液有不同的酸鹼度，因此需將溶液兩端以鹽橋隔開。我們分別以U型管、洋菜凍和玻璃紙製作鹽橋比較燃料電池的效能。三種鹽橋的製作如下：

- 1.U型管鹽橋的製作是將配製好飽和的硝酸鉀水溶液中加入洋菜粉（5克/250毫升），並加熱之，趁熱倒入U型管中冷卻而得。
- 2.洋菜凍則是於飽和的硝酸鉀溶液中加入洋菜粉（5克/250毫升），並加熱使洋菜完全溶解，（溶液中並可加入少量酸鹼指示劑），再倒入模型中冷卻製得，使用前或使用完的鹽橋可再放入飽和的硝酸鉀溶液中保存。
- 3.玻璃紙的使用則是先將兩片壓克力板鋸成同樣大小的框，分別抹上一層凡士林，再夾住玻璃紙，最後固定在cell的正中央。經過比較之後，選擇取用最為方便的玻璃紙作為鹽橋。

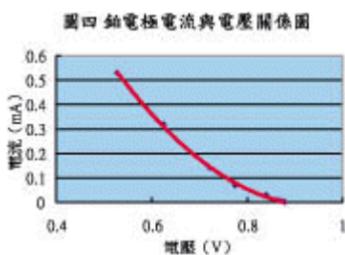
(八)展示用燃料電池的製作：我們以壓克力為材料，設計並製造出展示用的燃料電池，並用以驅動一個小鬧鐘。

五、研究結果與討論

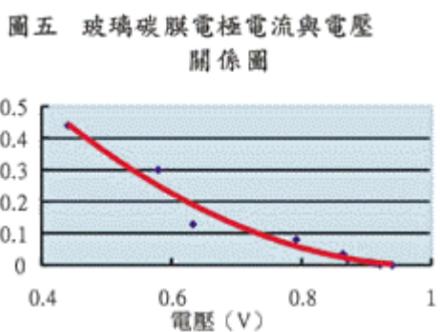
(一)在兩極的反應中，陽極（電池的負極）半反應為： $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

陰極（電池的正極）半反應為： $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

而全反應的標準電壓應為1.229伏特。實際上，電池的電壓經過我們幾次以三用電表測量的結果，斷路電壓為0.88伏特左右，再以不同歐姆值的電阻形成通路，測定其電壓和電流，作電壓與電流關係圖（圖四）。斷路電壓和標準電壓有明顯的差距，除了電池的內阻和濃度的因素以外，由於氣體在電極上的反應，需要電極與氣體和電解液等固、液、氣三相同時接觸才能進行，所以同時能反應的分子非常有限，極易產生極化現象造成電壓下降。在不同的電阻形成的通路的測定結果，也可以發現這個現象。電池的功率和電壓太小，不足以驅動電器，同時鉑片相當昂貴，若要串連則成本太高，所以我們朝著改進電池、降低成本的方向著手。



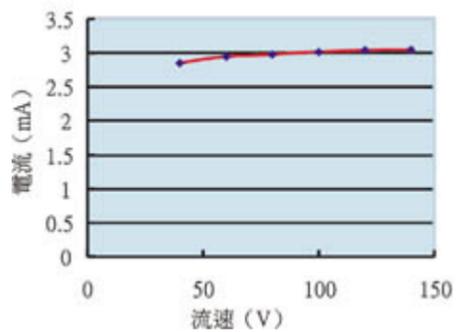
(二)由於前述的電池以鉑片為電極，而鉑片非常昂貴，為了降低成本我們改以平面的玻璃碳膜為電極，重新測定各項電壓與電流，圖五則為其電流與電壓的關係圖。由圖五則可以發現，沒有昂貴的鉑片時，斷路電壓也可以達到0.94伏特左右，不過還是只能在三用電表上看到數值，無法驅動小電器。



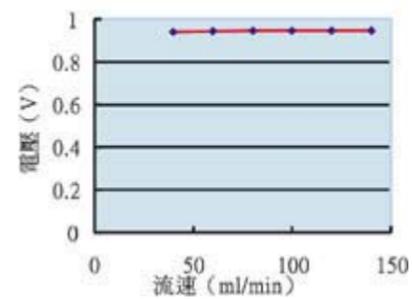
(三)要提高電池的功率，必須讓參與反應的分子數增加，這可由增加氣體流速、電解質濃度、增加極板的面積、改變電極、改善鹽橋等方面著手。

(四)改變不同的氣體流速作實驗，並作氣體流速與電壓和電流的關係圖（圖六與圖七）。結果顯示流速越大，電池的效能也越高，但是這樣的趨勢並不明顯，換言之，氣體的流速已經遠超過反應的速度了。

圖六 電流與流速關係圖

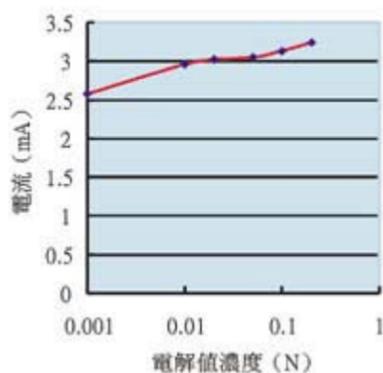


圖七 電壓與流速關係圖

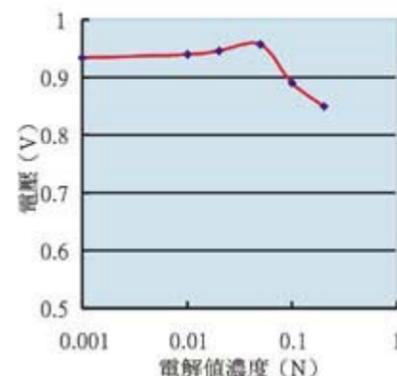


(五)以不同電解質（硫酸）濃度作實驗測電壓與電流，並作電解質濃度與電壓和電流的關係圖（圖八與圖九）。結果發現電解值濃度越大，電流也越大，電壓未必見的如此。

圖八 電流與電解質濃度的關係圖

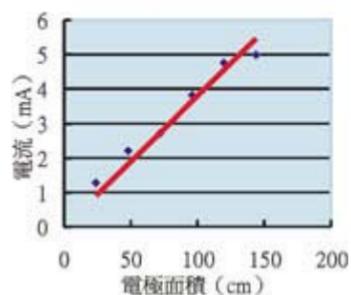


圖九 電壓與電解質濃度的關係圖



(六)改變電極面積測量其電流，並作面積大小與電流大小的關係圖（圖十）。電極面積越大，可以產生的電流也越大。

圖十 電流大小與電極面積的關係圖



(七)不同的電極在相同的條件下反應，其電壓與電流的結果列於表一。由表中結果可知，壓克力碳膜電極單位面積功率最好，同時壓克力容易加工，因此我們展示用燃料電池的電極，選擇壓克力碳膜電極。

表一 電極種類對電壓、電流、電功率的影響

溫度20 ℃ 流速140ml/min 電阻：1 kΩ
 電解質0.02N H₂SO₄ 鹽橋：玻璃紙

電極種類	電壓(V)	電流 (mA)	功率 (mW)	單位面積功率(mW/cm ²)
鉑片	0.582	0.57	0.3317	0.03685
碳棒	0.163	0.17	0.0277	0.00042
玻璃碳膜 (單片單面)	0.543	0.54	0.2932	0.01563
玻璃碳膜 (雙片雙面)	0.624	0.62	0.3869	0.00515
壓克力碳膜(單片單面)	0.711	0.71	0.5048	0.03739

鹽橋種類對電壓、電流的影響的資料列於表二。在兩極之間的鹽橋部分，原本是使用U型管，但是效果不佳，所以改以含有飽和硝酸鉀溶液的洋菜凍和玻璃紙作為鹽橋。以洋菜凍作鹽橋，電流有明顯的增加，但是洋菜凍製作不方便，也容易破損。以玻璃紙作鹽橋，電流增加更明顯，而且玻璃紙相較於洋菜凍就容易取得的多，所以最後我們選擇玻璃紙做鹽橋。

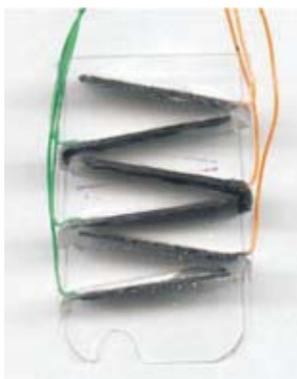
表二 鹽橋種類對電流的影響

溫度20 ℃ 流速140ml/min
 O₂ 流速100ml/min 電解質0.02N H₂SO₄

鹽橋種類	電流(mA)
一個U型管	0.774
兩個U型管	0.95
一個洋菜凍	1.30
兩個洋菜凍	2.07
玻璃紙	3.47

表三 陰極電解質溶液的酸性大小對電壓的影響

陽極：H₂流速140ml/min
 陰極：O₂流速100ml/min
 20 ℃ 0.01N NaOH



陰極電解質 [H ₂ SO ₄] (N)	V
0.001	1.407
0.01	1.425
0.02	1.450
0.05	1.486
0.1	1.460
0.2	1.450

(八)為了增加電池的電壓，我們改變兩極的酸鹼度。在陽極半反應式中($H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$)，氫氣氧化成氫離子，根據勒沙特列原理，若在鹼性環境，氫離子低，可以提高反應向右的傾向，提高電壓。相對的，陰極若在酸性環境中，也將有利於反應向右進行，提高電壓。根據涅斯特方程式(Nernst equation)，溶液兩端氫離子濃度相差 10^4 倍(pH值相差4)，則電位可以增加0.059伏特。若兩端pH值差10，則電壓可增加約0.6伏特，如此一來，電壓就接近一般乾電池了。固定陽極電解液pH值為12，改變陰極的酸性大小，並測量斷路電壓的結果列於表三。由結果可知，將燃料電池的電壓提高到1.4伏特左右，可使小鬧鐘驅動，但為提高其實用及美觀性，仍需進一步改進電池裝置。

(九)電池裝置的改進：

◎電極的製作

我們把極板交錯的排列，使氣體能在其間迂迴的行進，並能充分的反應，減少氣體的浪費；兩側並以另外的壓克力板夾住固定，方便抽換。(圖十一)

◎鹽橋的製作

在鹽橋的選取上，我們有想到以洋菜凍來代替U型管中的棉花和液體，在使用和保存上較方便。後來乾脆把U型管捨去，直接把洋菜凍架在隔板上，使通透的表面積增大了不少。但是洋菜需另外泡在飽和KNO₃中，不能永久地保存，所以增加了設計的困難，最後決定利用玻璃紙來取代洋菜。如此一來，可以減少鹽橋所佔的體積，使容器的設計變的更為簡單及實用，而且以玻璃紙做鹽橋，也有較好的效果。

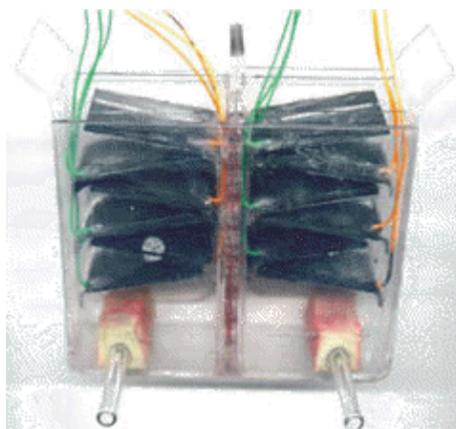
◎Cell的製作

1. 首先我們先用矽膠和AB膠來黏壓克力，結果發現容易漏水，且不美觀，所以利用氯仿來黏著，壓克力板間較能密合而不漏水。

2. 在氣體的出口的設計上，我們先考慮針頭的密封設計，能使氣體通過而使氣體不致太大，也能使容器裡的水不致回流到電解液中。後來改用細壓克力管，在壓克力管上鑽幾個小洞，使氣泡變的比較小，效率提升許多，若將小孔改成泡棉也有相同的效果。

◎電池裝置

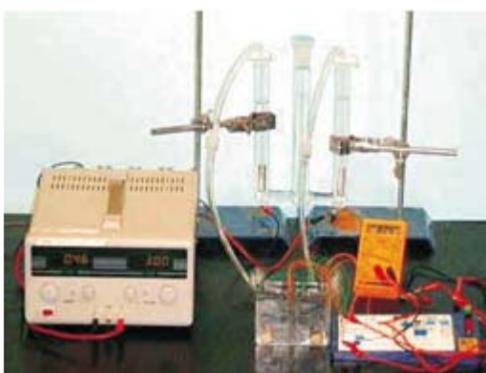
在經過不斷的測試，我們以效率最佳的電池裝置，通氧氣的半電池電解液為pH=1.5的硫酸溶液，通氫氣為pH=12以下的氫氧化鈉溶液，最後得到斷路電壓為1.414伏特，已達到一個小型乾電池的標準。實際測試的結果，足以驅動一個小鬧鐘走動並響鈴。（圖十二）



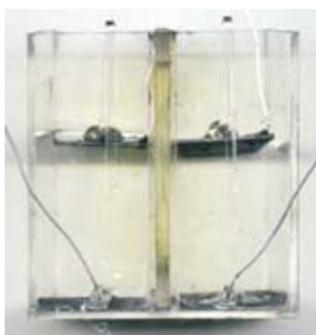
圖十二 燃料電池的裝置圖

(十)展示用的燃料電池模型的設計：

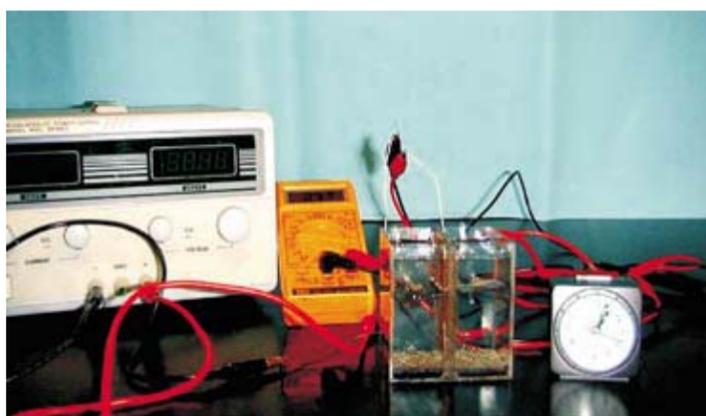
爲了提高展示效果，我們將透明的燃料電池模型，連接上水電解裝置（圖十三）。以電解水所產生的氫氣和氧氣，反應產生電流，同時也能使小鬧鐘走動並響鈴。另外，我們以同一個電池裝置，下端設計水的電解電極，上方則裝置了燃料電池的壓克力碳膜-鉑粉電極，將水電解裝置和燃料電池相結合，做成了小型而方便展示模型（圖十四）。利用下端電解水產生的氫氣與氧氣，使上方的壓克力碳膜-鉑粉電極產生電流。使用時先電解數分鐘，讓電池中產生一些氫氣與氧氣的細小氣泡，然後停止電解。所產生的氣體就能使會讓上端的電極產生電流了。實際測試的結果，短短幾分鐘的電解，便足足使小鬧鐘走上兩個半小時呢。（圖十五）



圖十三 燃料電池模型連接水電解裝置圖



圖十四 展示電池模型



圖十五 燃料電池驅動小鬧鐘

我們以壓克力為基板，在其上塗佈了碳膜，再鋪以少量的鉑粉，成功的催化了兩極的氧化還原反應，並使燃料電池產生了約0.9伏特的電壓，不但大大的降低了成本，也方便加工，而且效果比直接使用鉑片更好。更進一步，我們將電極兩端的pH值差增加，更使電壓達到了約1.4伏特，以一小片的電極便可驅動小鬧鐘。

另外，我們製作了一個透明的燃料電池模型，並連接水電解裝置，利用電解水所產生的氫氣和氧氣反應，也可以使電壓達到1.4伏特，不但能用以說明燃料電池的構造，更能實際操作，使一個小鬧鐘鈴聲大作！相信在做燃料電池展示時，必能讓人印象深刻。

七、參考資料

- 1.Walt Pyle, Alan Spivak, Reynaldo Corez, Jim Healy,"Making electric with hydrogen",Home Power #35,6/7, 1993
- 2.郁仁貽，「實用理論電化學」，徐氏基金會，1993
- 3.高級中學化學第二冊第八章，國立編譯館，1995
- 4.王忠茂、洪瑞和，「燃料電池參考資料」，1999
- 5.Fuel Cells 2000 <http://216.51.18.233/fcbenefi.html>

評語

本研究旨在自行研製燃料電池並探討燃料電池內部結構組成對燃料電池輸出電壓及電流之影響，本研究相當富有創作力及良好科學態度，以高中生來言，能自行研製高技術的燃料電池值得鼓勵。

[回到目錄頁../Index.htm](#)