

2015 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 030002

參展科別 化學

作品名稱 微型氫氧光電燃料電池之特性探究及應用
Assembly, Characterization and the
Application of Sustainable Solar Powered
Micro-type Fuel Cell

得獎獎項 大會獎：三等獎
美國 I-SWEEEP 正選代表：2015 年美國國
際永續發展 3E 科技競賽

就讀學校 高雄市立高雄女子高級中學

指導教師 游宗穎、蘇政宏

作者姓名 鄭伊涵、黃怡穎

關鍵字 氫氣燃料電池、永續電池、氧化亞銅

作者簡介



我是來自高雄的鄭伊涵，對於科學懷抱著夢想與希望。

從小我就對神奇的視界抱著好奇的心，用積極主動的態度去探索新地事物。上了高中，我成為高瞻班的一員，因此有了更多接觸科學實驗的機會！參加科展的過程中雖然遇到各種疑問與實驗瓶頸，但卻使我更加勇敢，也因為克服了問題而感到歡喜，也更堅定自己對科學的喜愛！面對問題，我勇於接受挑戰，與師長、同學討論後總能尋求適宜的解決途徑。最後，也是最重要的是感謝所有幫助過我的人。

過程中學到很多，但是在無垠的科學領域中，也知道自已必須更加努力。期許未來能更上層樓，繼續學習、成長。能夠有更多的機會繼續我的科學。

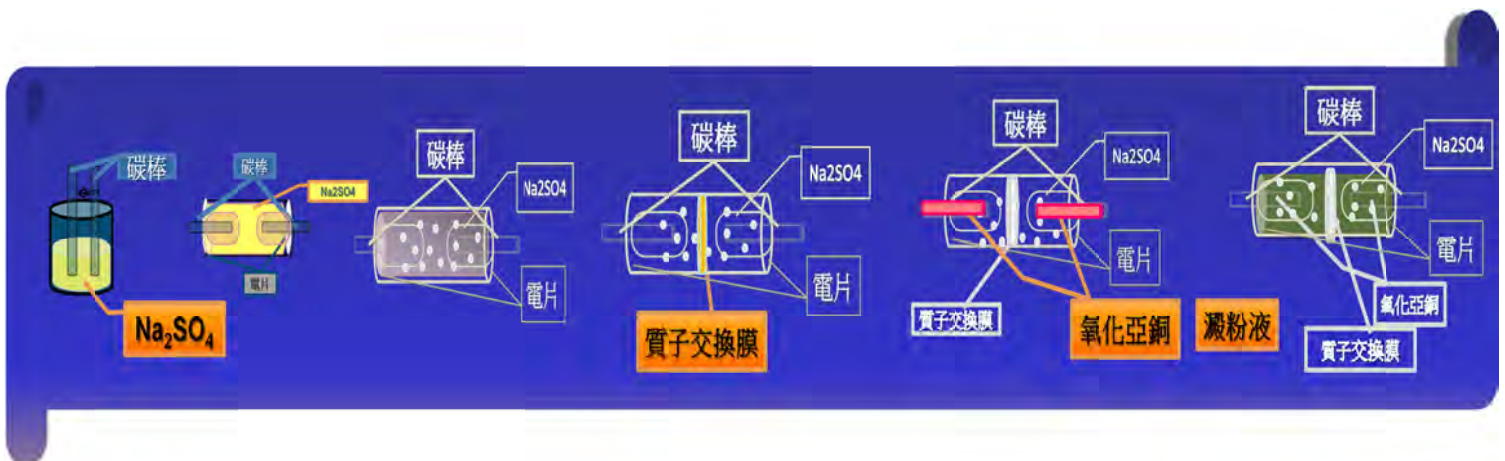
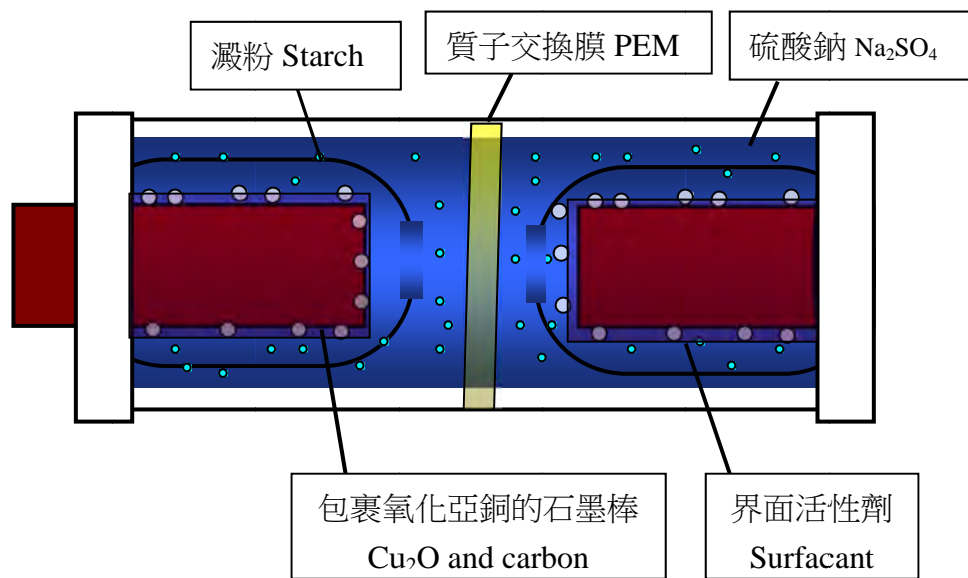


我是來自高雄的黃怡穎，對於科學研究帶著熱情與執著。從小就喜歡動手做實驗、摸索未知世界的我，考上高雄女中後，積極參與科展研究。我學習著在碰到問題時如何找到解決途徑，這份研究教導我如何運用廣闊的資源萃取所需的精髓。感謝所有幫助過我的人。期許未來能更上層樓，繼續學習、成長。

微型氫氧光電燃料電池之特性探究及應用

摘要

本研究之目的為製成低污染的永續氫氧燃料電池。首先，將電極與電解液最佳化。以石墨棒及 $0.1MNa_2SO_4$ 的組合最具優勢，可達到 2.0V。進一步將電池微型化，製成 AA 電池尺寸。而後，將 1M 界面活性劑 BKC 添加於電解液，使氫氧氣泡附著於電極，提高電壓穩定性。為了加強氣體使用效率，再加入質子交換膜。提升電壓與穩定性後，再以氫氧焰燃燒法與 RF 濺鍍法製造氧化亞銅作為光電材料，利用光能電解，分別製成第一代到第五代微型氫氧光電燃料電池。此燃料永續氫氧光電燃料電池不但成本低、效率高、低污染，且可持續產生 2.2V 的高穩定電壓。



Assembly, Characterization and the Application of Sustainable Solar Powered Micro-type Fuel Cell

Abstract

The main idea of our experiment is to design a sustainable solar powered battery. Abundant energy is preserved in H_2 , and once H_2 reacts with O_2 , synthesizing into H_2O , energy is released. Ideally, the potential voltage should be 2 V.

Preliminarily, we found that while generating gases through electrolyzing H_2O , the synthesizing reaction tended to happen faster. To reach higher efficiency, we optimised the conductivity and the gas-preserving ability of different solutions and electrodes. According to our research, we concluded that graphitic electrodes set apart at 4cm assembled with a 1.0 M Na_2SO_4 solution most efficiently preserved gases; under this condition, the battery voltage reached 1.8 V.

An idea of adding surfactants into the solvent, which improves the perservation of gases, has led us to a breakthrough. According to our data, 1.0 M BKC works best. Not only does it increase the voltage to 2.5 V, but its current also becomes significantly more stable, maintaining at the same figure for 600 seconds.

To create a more stainable battery, we applied solar energy by electroplating the electrode with Cu_2O , which is a type of photo catalyst. Once illuminated by sunshine, electrons reach an excited state, thus generating currents in the battery.

In conclusion, our solar-powered and eco-friendly device can generate stable electricity efficiently. In addition, it is reusable and can be manufactured within the reasonable price of 50 NTD.

壹、研究動機

現今社會工業發展蓬勃的同時，人們生活的環境品質大不如前，主要的原因包含人們生活所需都離不開電力，而電力的製造都少不了對空氣的污染、對環境的迫害。當我們長期生活在如此惡劣的土地上，疾病似乎成了不可避免宿命。

決定研究主題的關鍵時刻，是一次電解水的發現—原本用於電解水收集氫氣的裝置，竟然在移除電源供給後主動放電！雖然在這之前我們對燃料電池已經有不少認識，然而，對於經過電極電解後所產生的氣體能夠達到如此優良的放電效率，卻是一大發現！因此我們著手進行探究，欲解開其箇中之道！

* 高中課程：高二基礎化學〈二〉 Ch4-2 化學電池 Ch4-3 發展中的能源 Ch5-2 永續發展、高三選修化學上 Ch3 電化學



直立型燃料電池



微型燃料電池

貳、研究目的

由於我們想了解哪些材料製作燃料電池可達到最高效能，因此我們討論了不同電解液的種類、濃度、溫度及加入不同種類的界面活性劑，以及不同電極種類、距離和表面積下，電池開路電壓的變化。最後我們以界面活性劑、質子交換膜、鍍上氧化亞銅及不同種類的漿糊水進行改良。根據實驗的結果，製作出最有效率且符合綠色環保的燃料電池，並運用在實際物品中，使燃料電池和我們的生活結合，達到環保愛地球的實踐。

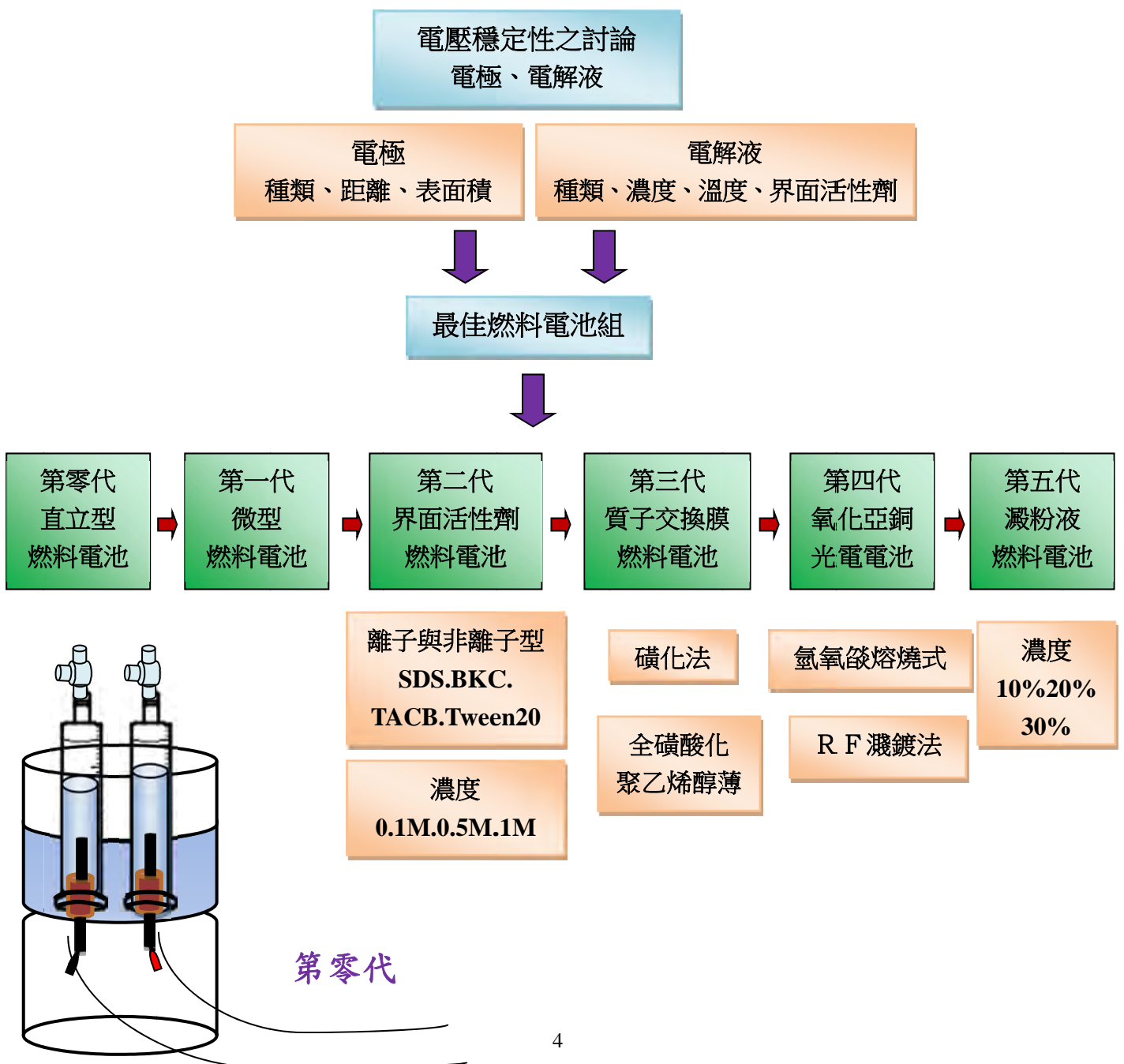
一、電極及電解液對氫氧燃料電池之電壓影響一

探討電極種類、距離、表面積、及電解液種類、濃度、溫度、界面活性劑對電壓的影響

二、自製微型燃料電池之應用

以自製質子交換膜、漿糊水及包裹氧化亞銅進行改良，並實際應用在生活中

實驗架構



參、器材及藥品

〈一〉器材

名稱	規格	數量
熱熔膠槍	小型	一支
超音波震盪機	Delta 400H	一台
恆溫槽	WISDOM-20°C ~ 100°C	一台
PASCO 電流電壓測定器	-10V~ +10V ; -1A~ +1A	一台
電源供應器	PS-305DF	兩部
塑膠瓶	長度 20mm、內徑 8mm	數個
注射針筒	12ml	數支
活化後石墨棒	直徑為 4、6、8mm	數支
304 不鏽鋼	直徑為 4、6、8mm	數支
307 鍍鐵	直徑為 4、6、8mm	數支
高碳鋼	直徑為 4、6、8mm	數支
中碳鋼	直徑為 4、6、8mm	數支
銅	直徑為 4、6、8mm	數支

〈二〉藥品

藥品名稱	廠牌
正己烷(C ₆ H ₁₄)	島久藥品株式會社
硝酸(HNO ₃)	聯工化學股份有限公司
硫酸(H ₂ SO ₄)	聯工化學股份有限公司
硝酸鉀(KNO ₃)	博堂儀器股份有限公司
氫氧化鉀(KOH)	島久藥品株式會社
硫酸鉀(K ₂ SO ₄)	博堂儀器股份有限公司
氫氧化鈉(NaOH)	島久藥品株式會社
硫酸鈉(Na ₂ SO ₄)	博堂儀器股份有限公司
十二烷基硫酸鈉(Sodium dodecyl sulfate)	博堂儀器股份有限公司
聚乙二醇(Tween20)	博堂儀器股份有限公司
氯化苯二甲銨(Benzalkonium chloride)	博堂儀器股份有限公司
十六烷基溴化銨(Cetyltrimethylammonium bromide)	博堂儀器股份有限公司

肆、研究方法

一、電極對氫氧燃料電池之電壓影響

(一) 探討「電極種類」對電壓影響

1. 操縱變因：種類→304 不鏽鋼釘、307A 鍍鐵釘、12.9 高碳鋼釘、8.8 中碳鋼釘、銅釘、石墨棒等，直徑 6mm 的電極

註：石墨棒之活化

【理由】由於我們需要使用乾淨無雜質的石墨棒，因此將其以高溫活化。

【步驟】

- (1) 從廢棄乾電池中取出石墨棒。
- (2) 將石墨棒浸泡於正己烷中，並以超音波震盪機清洗數次。
- (3) 將石墨棒以瓦斯槍均勻加熱至紅熱(溫度約為 1300°C)，再迅速放入冷水，使其急速冷卻。
- (4) 重複步驟(3)約五次，使石墨棒充分活化，表面出現細微孔洞以增加接觸面積。



石墨棒之活化

2. 實驗步驟：

(1) 以 304 不鏽鋼作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 1.0 M

NaOH_(aq) 電解液 150.0 ml。

(2) 以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 NaOH_(aq) 電解產生氫氣及氧氣。

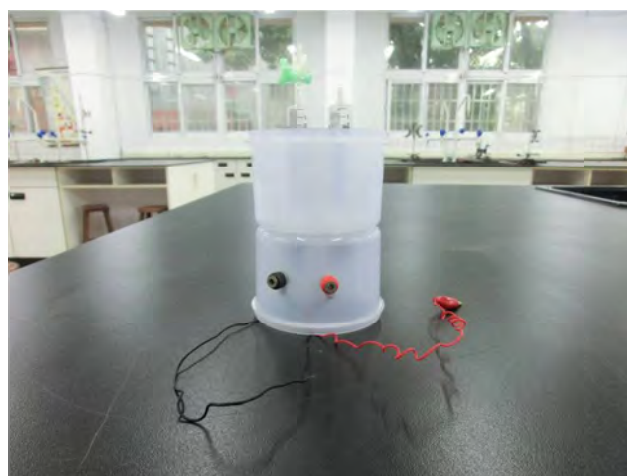
反應式為： $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

(3) 停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。

反應式為： $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

(4) 以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5) 更換電極 307A 鍍鐵釘、12.9 高碳鋼釘、8.8 中碳鋼釘、銅釘、石墨棒等，直徑 6mm 的電極，重複步驟(1)~(4)。



實驗裝置圖

(二) 探討「電極距離」對電壓影響

1. 操縱變因：電極距離→2cm、3cm、4 cm、5 cm

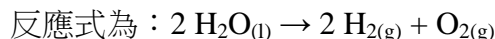
2. 控制變因：電極種類→石墨棒

3. 實驗步驟：

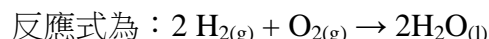
(1) 製作四個不同的簡易燃料電池組，其電極距離分別為 2cm、3cm、4 cm、5 cm。

(2) 使用石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 2.0 cm，加入 1.0 M NaOH_(aq) 電解液 150.0 ml。

(3)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 電解產生氫氣及氧氣。



(4)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(5)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(6)改以 3cm、4 cm、5 cm 的電極距離，重複步驟(2)~(5)。

(三) 探討「電極表面積」對電壓影響

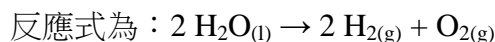
1.操縱變因：表面積 →不同直徑(4、6、8mm)的石墨棒

2.控制變因：石墨棒

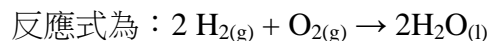
3.實驗步驟：

(1)以直徑 4 mm 的石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 1.0 M $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 電解液 150.0 ml。

(2)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 電解產生氫氣及氧氣。



(3)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(4)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5)改以直徑分別為 4、6、8mm 的石墨棒為電極，重複步驟(1)~(4)。

二、電解液對氫氧燃料電池之電壓影響

(一) 探討「電解液種類」對電壓影響

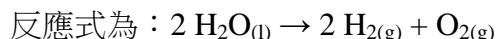
1.操縱變因：電解質種類 →0.1M 的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$

2.控制變因：石墨棒

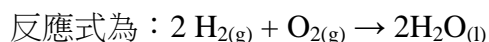
3.實驗步驟：

(1)以石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 0.1M 電解液 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 150.0 ml。

(2)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 電解產生氫氣及氧氣。



(3)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(4)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5)分別以 0.1M 的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$ 為電解液，重複步驟(1)~(4)。

(二) 探討「電解液濃度」對電壓影響

1.操縱變因：濃度 →4.0M、2.0M、1.0M、0.1M 的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 及飽和、0.25M、0.1M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$

2.控制變因：NaOH_(aq)、KOH_(aq)、H₂SO_{4(aq)}、Na₂SO_{4(aq)}、K₂SO_{4(aq)}、KNO_{3(aq)}

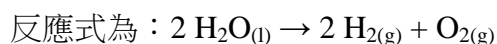
易溶解之電解質：NaOH、KOH、H₂SO₄

不易溶解之電解質：Na₂SO₄、K₂SO₄、KNO₃

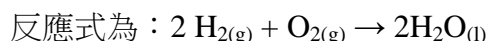
3.實驗步驟：

(1)以石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 0.1 M 電解液 NaOH_(aq) 150.0 ml。

(2)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 NaOH_(aq) 電解產生氫氣及氧氣。



(3)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(4)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5)更換其他濃度電解質溶液，重複步驟(1)~(4)。

(三) 探討「電解液溫度」對電壓影響

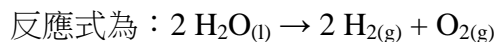
1.操縱變因：溫度→10°C、20°C、30°C、40°C、50°C

2.控制變因：石墨棒

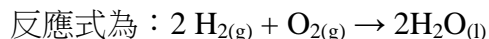
3.實驗步驟：

(1)以石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 0.1 M 10°C 的電解液 NaOH_(aq) 150.0 ml。

(2)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 NaOH_(aq) 電解產生氫氣及氧氣。



(3)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(4)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5)再更換 20°C、30°C、40°C、50°C 的電解液，重複步驟(1)~(4)。

(四) 探討「界面活性劑」對電壓影響

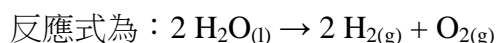
1.操縱變因：陰離子型十二烷基硫酸鈉 SDS、陽離子型氯化苯二甲銜銨 BKC、
陽離子型十六烷基溴化銨 TCAB、非離子型聚乙二醇 Tween20

2.控制變因：石墨棒電極、Na₂SO_{4(aq)} 電解液

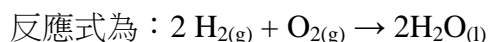
3.實驗步驟：

(1)以石墨棒作為自製燃料電池組之電極，使之距離 3.0 cm，加入 Na₂SO_{4(aq)} 作為電解液，再加入陰離子型界面活性劑 SDS。

(2)以直流電源供應器提供 10.0V 的電壓，使 Na₂SO_{4(aq)} 電解產生氫氣及氧氣。



(3)停止電解後，檢測氫氣及氧氣在電解液中放電的情形。



(4)以 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓變化。

(5)再更換陽離子型氯化苄二甲銜銨 BKC、陽離子型十六烷基溴化銨 TCAB、非離子型聚乙二醇 Tween20，重複步驟(1)~(4)。

四、自行設計一組簡易的「燃料電池」

(一) 自製簡易燃料電池

【理由】藉由上述研究找出各個變因最好的條件，再將其組合，測量電壓值。

<第零代> 自製簡易直立型燃料電池

【理由】

為達到氫氧燃料電池的最高效能，所以討論不同電極和電解液對自製氫氧燃料電池的效能。

【方法】

- 1.取兩支 5 mL 之透明塑膠試管(內徑 8mm)，將其底部磨掉成一個約 2 mm 直徑的小圓孔。
- 2.將直徑 2mm 的活化石墨棒插入塑膠試管之管口，使石墨棒一端露出試管口約 5 mm。
- 3.用熱熔膠將石墨棒上方固定在塑膠試管之管口，使其與管口密閉。
- 4.取一底片盒，在其蓋子中心相距 1 cm 處各挖一個約 2mm 直徑的小孔。
- 5.將兩支燃料電池電解管之側邊用熱熔膠接合，作為此燃料電池的電解管。
- 6.將石墨棒穿過小孔固定在底片盒的蓋子上。
- 7.分別在兩支電解管內加滿 0.1M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 並在底片盒(電解槽)內放入約 2 mL 0.1M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 。
- 8.將電解管上方的蓋子蓋上底片盒，並使電解管的底部浸入底片盒中之電解液，便完成一套「直立型氫氧燃料電池」。



直立型燃料電池

<第一代> 自製簡易微型燃料電池

【方法】

- 1.取兩個透明塑膠瓶子(長度 15、內徑 8mm)，將其底部鑽出一個直徑為 2 mm 的小圓孔。
- 2.將直徑 2mm 的活化石墨棒插入透明塑膠瓶子之管口，再蓋上廢棄乾電池之墊片，使石墨棒一端露出墊片約 3 mm 長。
- 3.將石墨棒上方用熱熔膠固定於墊片和瓶口上，使其與管口密閉。
- 4.取一 10mL 塑膠試管，切成長度約 4cm。
- 5.將兩支燃料電池之電解管裝填 0.1M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 。

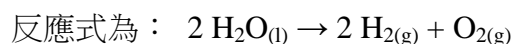


微型燃料電池

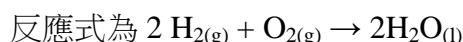
- 6.將一支電解管固定在試管的一端，再裝填適量的 $0.1\text{M Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ，裝上另一支電解管。
- 7.取廢棄乾電池之正負極金屬墊片各固定在露出石墨棒一端，便完成一套「微型氫氧燃料電池」。

【操作步驟】

- 1.以 10.0V 電解水溶液，充電 3 分鐘。



- 2.停止電解後，氫氣和氧氣在電解液中行逆反應放電。



- 3.接上 $22.1 \times 10^3 \Omega$ 電阻，再利用 PASC0 測量連續 10 分鐘的電壓、電流變化。

<第二代> 微型界面活性劑燃料電池

【理由】

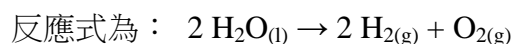
為使電解產生的氣體能更有效地在電極上反應，因此加入界面活性劑，期望界面活性劑的氣泡能包覆氫氣及氧氣於電極上，使氫氧更有效率的進行反應。

【方法】

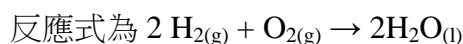
調配 1.0M 的陽離子型氯化苯二甲烴銨 **BKC** 界面活性劑，加入第一代的簡易微型燃料電池中。

【操作步驟】

- 1.以 10.0V 電解水溶液，充電 3 分鐘。



- 2.停止電解後，氫氣和氧氣在電解液中行逆反應放電。



- 3.接上 $22.1 \times 10^3 \Omega$ 電阻，再利用 PASC0 測量連續 10 分鐘的電壓、電流變化。

<第三代> 質子交換膜燃料電池

【理由】

第二代的電極石墨棒、電解液 Na_2SO_4 及界面活性劑 陽離子型氯化苯二甲烴銨 **BKC** 提供第二代燃料電池最佳環境，但希望能再提高它的效能。

【方法】

- 1.以 95% 的濃 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 浸泡保鮮膜，再加熱約 24 小時。

- 2.將自製質子交換膜放入簡易燃料電池組，便完成一套「第三代微型氫氧燃料電池」。

<第四代> 氧化亞銅光電電池

【理由】

為提升此燃料電池的實用性，並加強綠色環保的概念，所以使用氧化亞銅纏繞於電極，使之於太陽光下即可自行進行水的電解，省去電解水的電。

【方法一】電鍍法

- 1.將石墨棒鍍上銅。
- 2.將鍍上銅的石墨棒洗乾淨並用丙酮擦拭。
- 3.將上述石墨棒放在本生燈上高溫加熱。
- 4.當鍍上銅的石墨棒加熱至呈現粉紅色時〈約一分半鐘〉，瞬間泡入冰水中急速冷卻〈約三分鐘〉，即製成裹著氧化亞銅的石墨棒。
- 5.將此鍍上銅的石墨棒置入簡易燃料電池中做為電極，便完成一套「第四代微型氫氧燃料電池」。

【方法二】RF 濺鍍法

- 1.將石磨棒置於射頻濺射鍍膜系統中，以真空抽氣設備將真空室抽至高真空環境中。
- 2.通入工作氣體氫氣、氮氣、氧氣，同時將系統升溫至 200°C。
- 3.等待約 30 分鐘後，即可將系統降溫。
- 4.將石磨棒轉向，重複步驟 1~3，直到整隻石磨棒都濺鍍上氧化亞銅。
- 5.將濺鍍上氧化亞銅的石磨棒置入簡易燃料電池組，便完成一套「第四代微型氫氧燃料電池」。

【操作步驟】

將第四代微型氫氧燃料電池放於太陽光下，使氧化亞銅促使水溶液電解產生電壓，接上 $22.1 \times 10^3 \Omega$ 電阻，再利用 PASCO 測量連續 10 分鐘的電壓、電流變化。

<第五代> 加入漿糊水於微型燃料電池

【理由】

到第四代的燃料電池確實提高了電池的功率、電壓的穩定性及綠色能源的概念，但水溶液容易在電解的過程中溢出。因此將澱粉溶於水中，再加入電解液，使溶液呈糊狀，而不易溢出容器外。

【方法】

調製澱粉水溶液，加入第四代自製簡易微型燃料電池的電解液中，便完成一套「第五代微型氫氧燃料電池」。

【操作步驟】

將第五代微型氫氧燃料電池放於太陽光下，觀察電解水溶液的過程中是否有液體溢出。

(二) 接上不同負載之影響

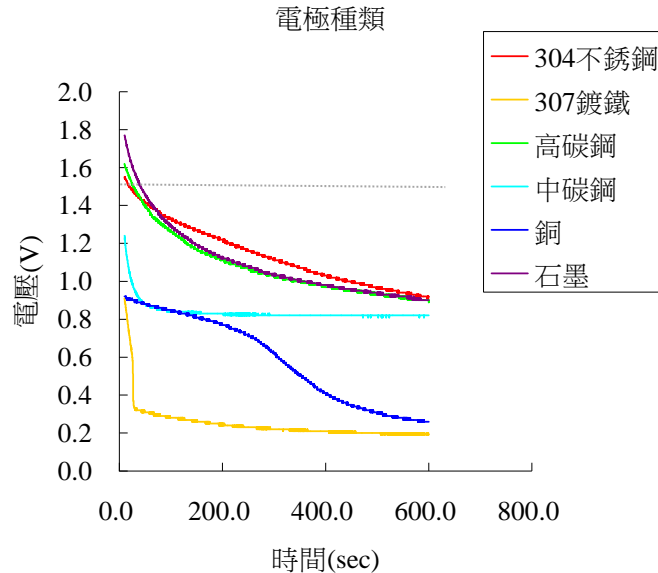
設計與日常生活結合的物品，例如燃料電池鬧鐘、LED、閃爍燈...等。

伍、結果與討論

一、電極對氫氧燃料電池之電壓影響

(一) 探討「電極種類」對電壓影響

[結果]



(圖二)：電極材質種類對電壓圖

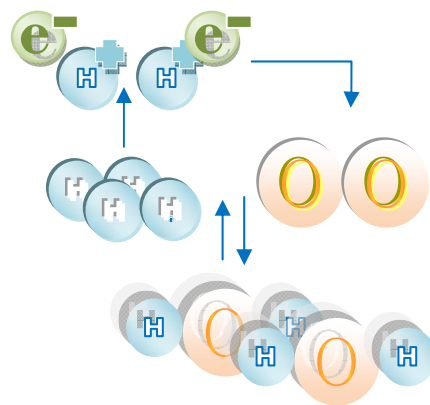
註：304 不鏽鋼：18:8 鉻鎳比的非磁性奧氏體不鏽鋼

高碳鋼：含碳量 0.55-2.0%，

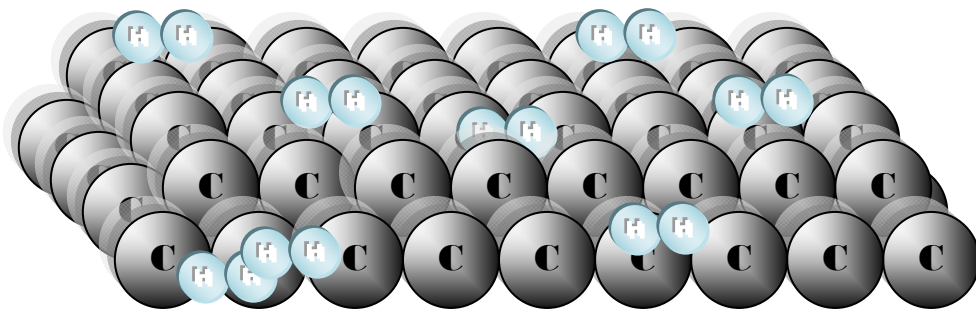
中碳鋼：含碳量 0.25-0.55%

[討論]

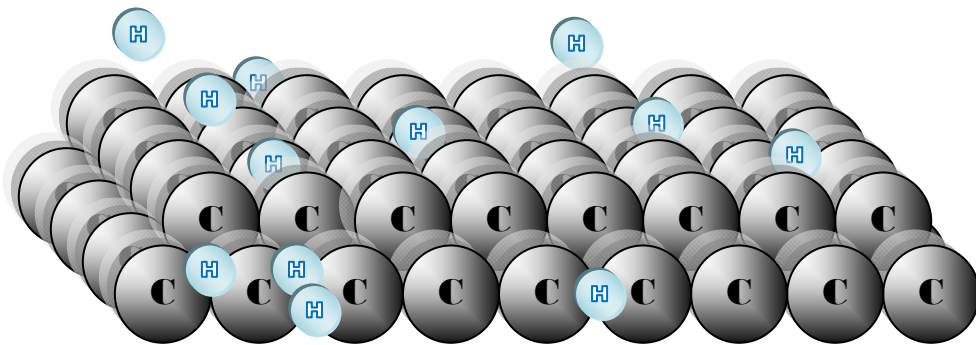
- 1.開路電壓：開路電壓大於 1.5v 者為石墨與不鏽鋼電極。此二材質之導電率以及對氫氣、氧氣的吸力為各材質中較佳者。基於此二特性，當我們停止對水供給電能時，石墨與不鏽鋼材便能對電極附近產生的氣體行異相催化反應。此項催化包含物理催化與化學催化反應。首先，利用物理表面吸附(Physisorption)進行催化反應，此時氣體分子並不游離；接下來進行化學表面吸附(Chemisorption)，此時電子從氣體中游離出，並藉由電極的導電性將電子傳入外電路，放出位能後與另一極之氧氣與質子結合成為水。



水解的正逆反應



碳電極的物理催化



碳電極的化學催化

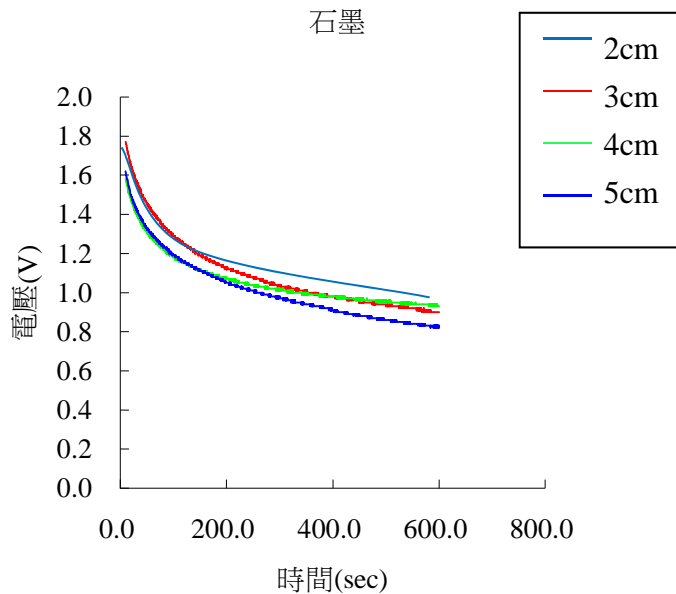
2.電壓穩定性：各電極達到穩定電壓時與開路電壓相較的變化率分別為：

石墨(0.612)<中碳鋼(0.630)<高碳鋼(0.632)<304 不鏽鋼(0.642)<307 鍍鐵(2.51)<銅(3.50)

3.綜合上述實驗結果，我們選擇兩項檢測質皆較優良的 304 不鏽鋼、高碳鋼與石墨做為主要的研究電極材料。

(二) 探討「電極距離」對電壓影響

[結果]



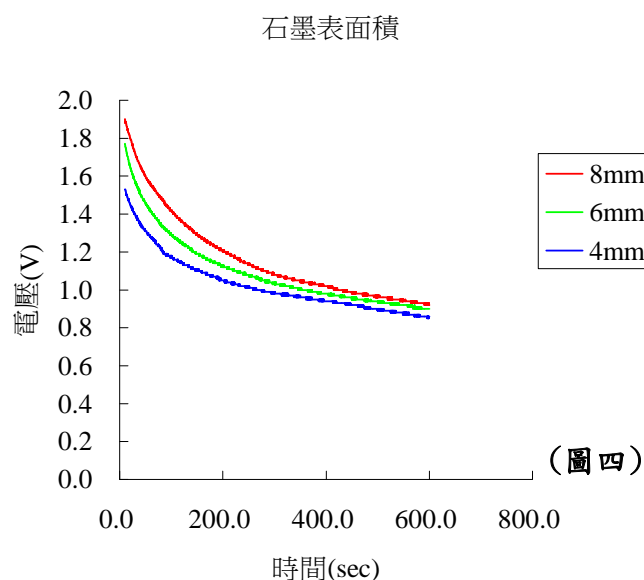
(圖三)：電極距離對電壓圖

[討論]

- 1.開路電壓：兩極距離 3、4 公分時的開路電壓皆較距離 5 公分的高。主要原因在於電極距近時，單位極距的離子數較高，且內電路的電子傳導是經由離子的搭載，離子在溶液中現自由分布的狀態時，陽離子會與電子產生引力，電子向陽離子方向移動，二者結合達電荷平衡。而當電極距離越遠，內電阻就越大(電子流動時，受到其他粒子的影響造成電阻)。所以，在電動勢固定的情況下，電阻越大，端電壓就會越小。
- 2.然而極距對電壓的影響亦有限制，我們發現兩極距離 2 公分較距離 3、4 公分時的開路電壓低。其主因是電極間距太小時，氫氣和氧氣會使電池的內電阻增加而產生電極歐姆極化(ohmic polarization)，進而使反應電流減低。
- 3.穩定性：由實驗推之極距對電極的電壓變化率差在 0.1 之內，因此我們推測：極距對電壓穩定性沒有直接的影響。
- 4.結論：極距 3cm 的效果最佳，因此選用兩極距離 3cm 的燃料電池裝置做為我們針對其他變因研究的極距。

(三) 探討「電極表面積」對電壓影響

[結果]



(圖四)：電極表面積對電壓圖

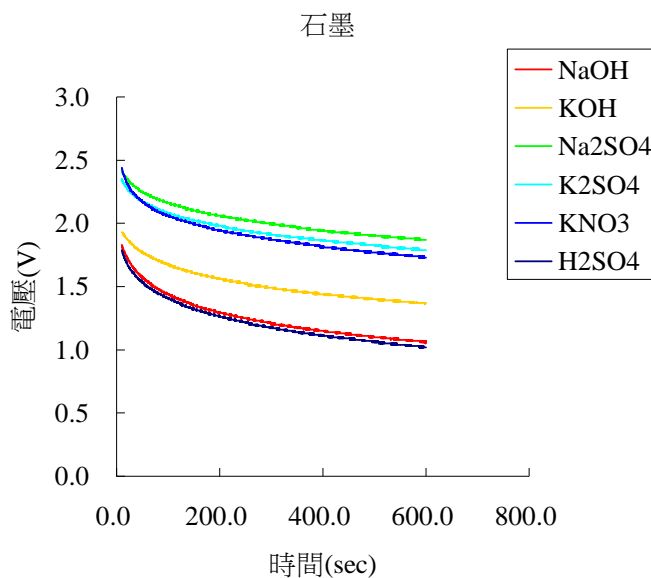
[討論]

- 1.開路電壓：因表面積的增加對正負極的電位影響力較小，因此以上表面積對石墨棒的開路電壓影響亦不大，但仍大致呈正相關。
- 2.電壓穩定性：十分鐘後，8mm 的電極電壓變化率皆較小。我們認為，表面積主要影響的是電壓的穩定性。究其原因為表面積與吸附氣體量的正相關性。增加氣體的吸附量即提高電極的催化性(此點由石墨電極的高穩定性亦可應證)，降低反應的活化能，達成促進反應速率的目的。此外，增加吸附量亦可減少活化極化(activation polarization)帶來的影響，因此表面積對電壓穩定性的確有正相關。
3. 結論：由此實驗，我們發現表面積對開路電壓較不具影響力。但由於與氣體吸附量有一定關係，因此表面積與電壓穩定性呈正相關。

二、電解液對氫氧燃料電池之電壓影響

(一) 探討「電解液種類」對電壓影響

[結果]



(圖六)：電解液種類對電壓圖

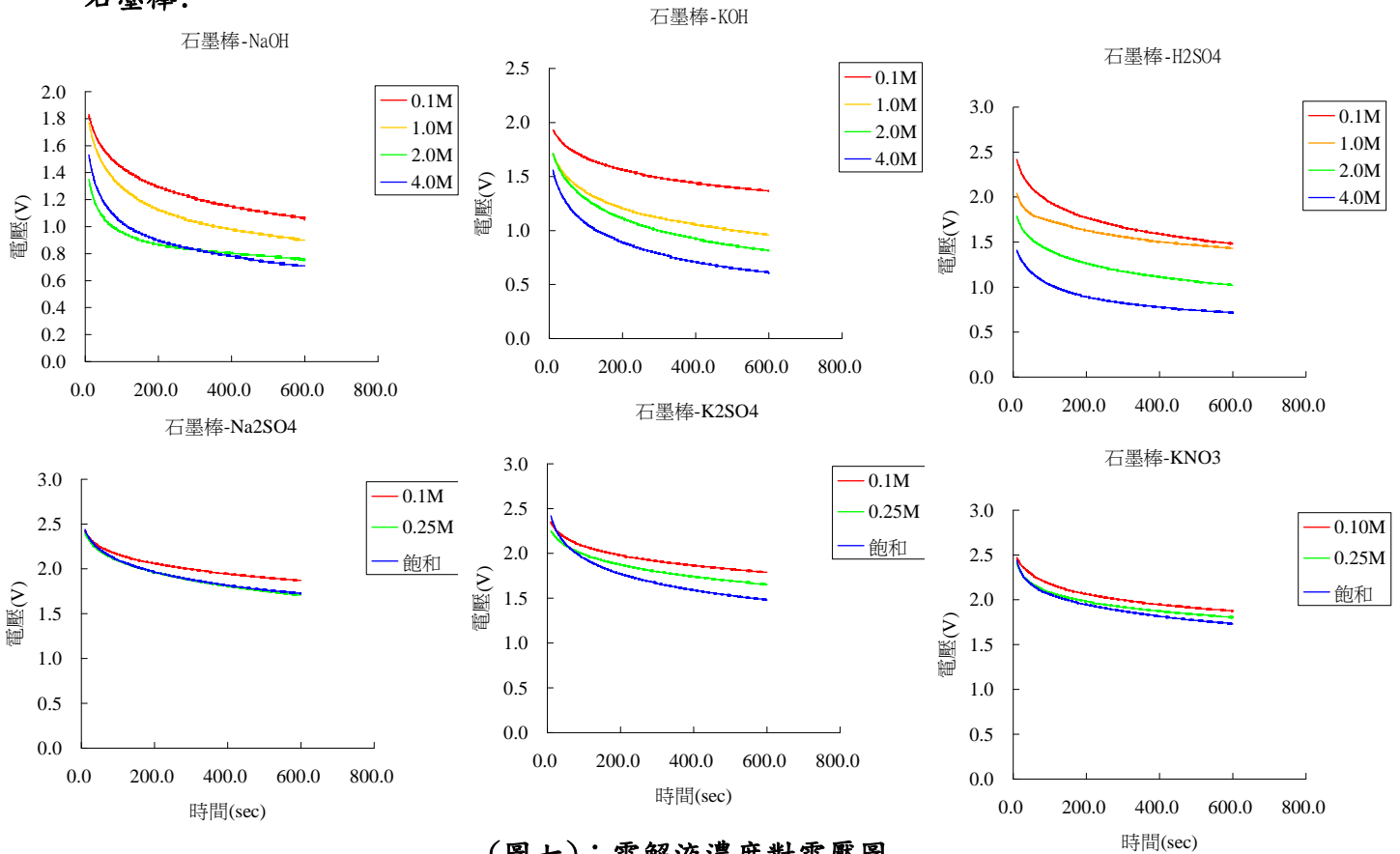
[討論]

1. 石墨棒搭配各種電解液都有 1.5~2.0V 以上的開路電壓，且在 10 分鐘後趨於穩定。搭配鹽類電解液時，電壓均較搭配鹼性電解液時高，其中又以硝酸鉀為電解液時最佳。
 - 2.電壓穩定性：根據上述實驗，電壓的穩定性提升。其電壓變化率甚至低於 0.1。
 - 3.結論：綜合以上實驗，我們發現選擇鹽類作為電解質時，不但能產生較高且穩定的電壓，而且鹽類電解質安全性高，沒有腐蝕的危險，適合作為燃料電池的電解液。我們也發現不同的鹽類，若其可解離的電荷數愈高，電壓也會越穩定。
- * 實驗時，發現酸會與電極產生氧化還原，有腐蝕材料的可能性，不能控制，因此我們不對硫酸進行之後的討論。

(二) 探討「電解液濃度」對電壓影響

[結果]

石墨棒：



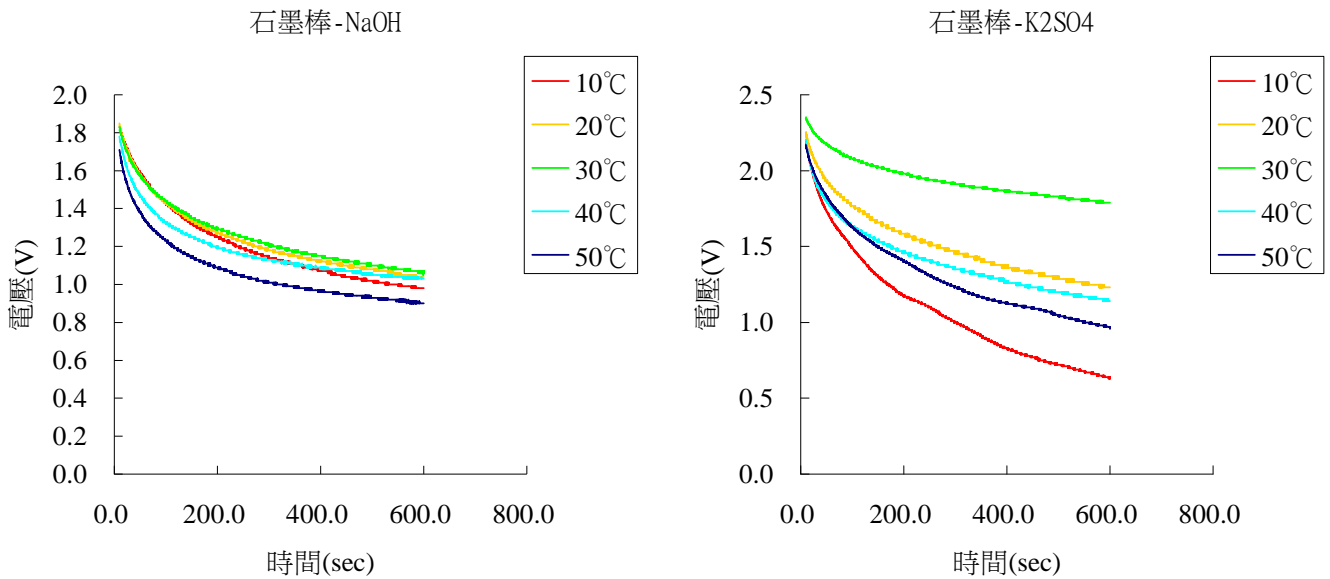
(圖七)：電解液濃度對電壓圖

[討論]

1. 開路電壓：不同電解液對開路電壓都有一最佳濃度。對於各電極而言，其反應最佳的濃度接在 0.1M。此濃度實為稀薄，因此電解時間需較長。然而由於氣體產生的速率較慢，電極能夠充分接觸進行催化，因此反應產生的開路電壓較高。雖然由實驗指出最佳濃度與氣體反應速率達成平衡時方能達到最佳效果，然而實際應用時，在濃度的選用上仍需考量電解的效率，因此對於不同應用目的應進行專一設計以提高實用性。
2. 電壓穩定性：由前一實驗得知，電解液的添加與電壓的穩定性有正相關性，然而，值得討論的是：其濃度提高時，內電流的傳導率雖亦提升，但氣體對電極的吸附程度仍是主要影響因素。此效應在對飽和與 0.25M 的電解液進行實驗時變可見著。高濃度的電解液通電後氣體生成的反應速率太快造成吸附催化性降低，反而加強了濃度極化(concentration polarization)效應的影響，降低電壓的穩定性。
3. $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 電解液因飽和濃度介於 0.25 與 0.5M 之間，所以我們針對飽和、0.25M、0.1M 三種濃度進行探究；濃度為 0.01M 及以下的電解液，因為電解時間過久，不符合經濟效益，所以我們不對它進行討論。
4. 結果：綜觀開路電壓與電壓穩定性，以石墨棒與 0.1M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 的搭配效果最佳，所以我們選擇它作為之後自製微型燃料電池的主要探討對象。

(三) 探討「電解液溫度」對電壓影響

[結果]

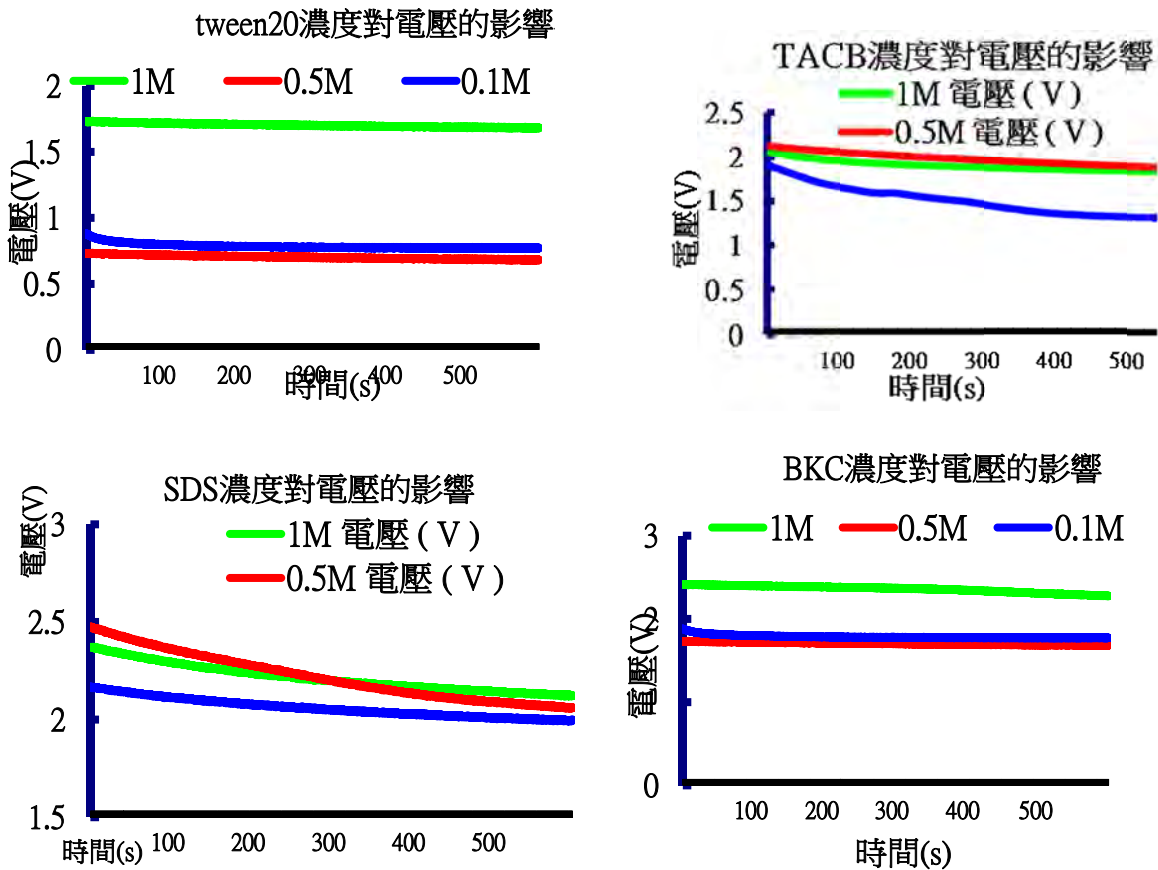


(圖八)：電解液溫度對電壓圖

[討論]

- 1.開路電壓：在各溫度中，石墨棒電極以搭配 30°C（接近室溫）的電解液時的開路電壓較高。由前一實驗得知，最佳離子的濃度與氣體反應速率有關，而本實驗亦指出由溫度所決定的最佳離子動能亦須考慮由電子傳導率影響的氣體生成速率。
- 2.電壓穩定性：電壓之穩定性與開路電壓大致呈現相同的走向，在 30°C 可以得到最佳的穩定性。其影響原因亦與電極之濃度極化(concentration polarization)效應有關。
- 3.結論：本實驗之價值在於指出電解液與氣體反應速率達成最佳平衡時之溫度為 30°C。而此一溫度接近室溫，因此在實際應用時並不用對裝置進行加溫催化，此一特性大幅提高了燃料電池的經濟效應。

(四) 探討「界面活性劑」對電壓影響



(圖九)：界面活性劑對電壓圖

[討論]

- 1.開路電壓：三種界面活性劑,在電解時均能產生氣泡。然而對於開路電壓的影響大致上可分為三種：〈1〉陰離子型界面活性劑 SLS 的正催化性〈2〉非離子型界面活性劑 Tween20 的逆催化性〈3〉陽離子型界面活性劑 BKC 的低催化性。其原因主要為離子的存在對內電導的增加有一定效果,氣泡的存在雖然降低了電極的活化極化,欲獲得最佳電壓卻仍需考慮整體的導電性。另一方面,SLS 的正催化性,亦有其最佳反應濃度。約在 30% 上下。其原因則需以界面活性劑之 CMC 質解釋。當界面活性劑到達 CMC 值時,便會自發縮合形成膠束 (micelle),如此一來便大幅降低了電池的電導,造成逆向催化性。
- 2.電壓穩定性：加入界面活性劑後,可以發現,電壓穩定性大致維持相同趨勢。因此推知界面活性劑與電壓變化率並無太大影響。

四、自製微型燃料電池

1. <第一代> 直立型燃料電池

【理由】

綜合以上最佳電極與電解液製成直立型電池

電極:C 棒

電解液: $0.1MNa_2SO_4$

電壓值:1.5V~2V

電池外殼:底片盒



直立型燃料電池

2. <第一代> 自製簡易微型燃料電池

【理由】

為了使電池能實際運用,於是將電池微型化

【系統優點】

改善第零代的直立型燃料電池，使燃料電池規格化。

電極:C 棒

電解液: $0.1MNa_2SO_4$

電壓值:1.5V~2V

電池外殼:塑膠試管



第一代微型燃料電池

3. <第二代> 加入界面活性劑

【理由】

為了改良電壓不穩定性

【系統優點】

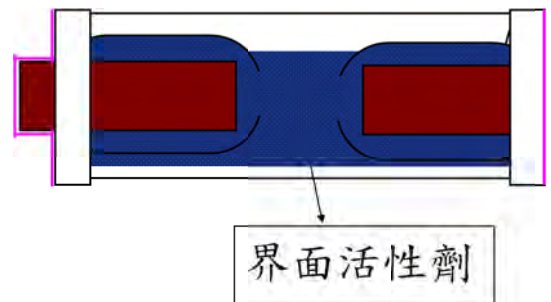
改善第一代的微型燃料電池，使燃料電池電壓穩定。

電極:C 棒

電解液: $Na_2SO_4+1MBKC$

電壓值:2V~2.5V

電池外殼:塑膠試管



第二代微型燃料電池

3. <第三代>加入質子交換膜

【理由】

為了增加離子交換效率

【系統優點】

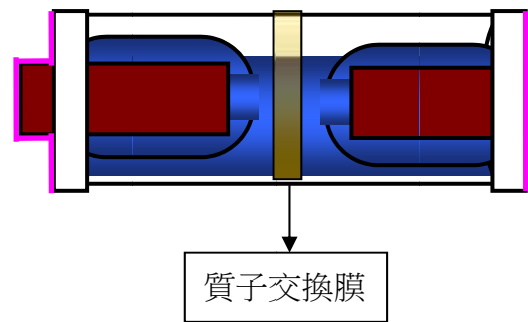
改善第二代的微型燃料電池，使離子交換效率提高，提升電壓。

電極:C 棒

電解液: $\text{Na}_2\text{SO}_4+1\text{MBKC}+$ 質子交換膜

電壓值: $2\text{V}\sim 3\text{V}$

電池外殼:塑膠試管



第三代微型燃料電池

3. <第四代>氧化亞銅燃料電池

【理由】

為提升此燃料電池的實用性，並加強綠色環保的概念，所以使用氧化亞銅包裹於電極，使之於太陽光下即可自行進行水的電解，省去電解水的電。

【系統優點】

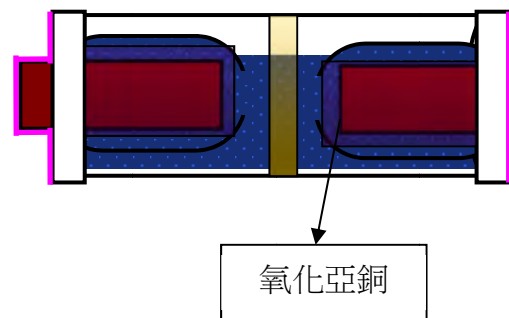
改善第三代的微型燃料電池，使燃料電池的電解能源來自光能。

電極:C 棒+氧化亞銅

電解液: $\text{Na}_2\text{SO}_4+1\text{MBKC}+$ 質子交換膜

電壓值: $2\text{V}\sim 2.5\text{V}$

電池外殼:塑膠試管



第四代微型燃料電池

[討論]

- 1.開路電壓:「光解」之鍍氧化亞銅電極大於 2.5v 的開路電壓,達到近似電解碳棒的效能。雖略差於「電解」鍍氧化亞銅碳棒之效果,然而差異度小於 20% ,未來極具發展潛能。
- 2.電壓穩定性:光解之鍍氧化亞銅碳棒電極雖然電壓穩定性略遜於電解者,然而電壓變化率仍是控制在 0.5 以內,仍被認為是高性能之選擇。

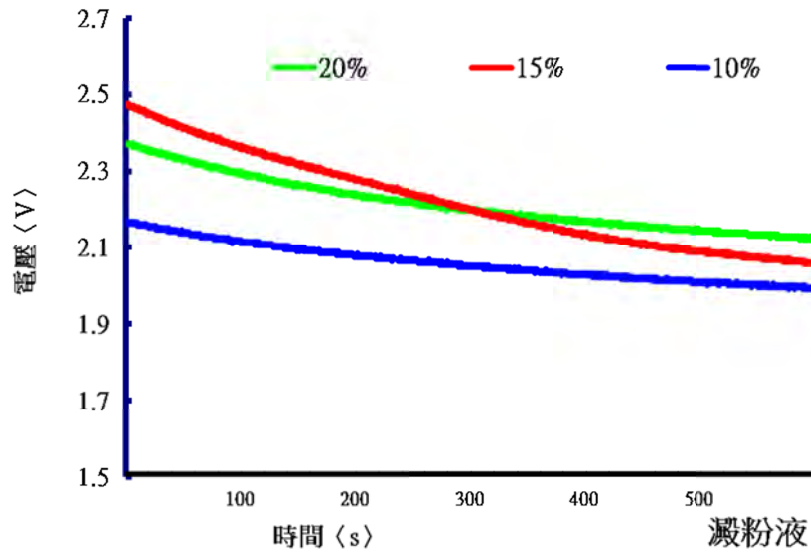
【系統優點】

- (1) 提升此燃料電池的實用性，並加強綠色環保的概念，達到綠色環保實踐。
- (2) 本系統使用的材料都是便宜且容易取得的元件，整套系統成本低廉，可廣為推廣。

3. <第五代>澱粉液

【理由】

為了是電解液膠著不外漏,必須探討最佳濃度的澱粉液



[討論]

由圖中可之,澱粉液最高濃度可達 15%,大於此濃度則對電壓產生影響。

陸、結論

1.能源的使用廣布在生活中，隨著社會的進步，人們對生活品質的要求日漸提高。因此我們對低污染的氫氧燃料電池進行研究。

2. 電極以石墨棒、極距 3cm、表面積 8mm 為最佳。

電極種類	以 304 不鏽鋼、高碳鋼及石磨棒的電壓較高。
電極距離	電極距離對電壓的影響不大，但仍有 3cm 電壓較高的趨勢。
電極表面積	石磨棒在直徑 4mm、6mm、8mm 時的電壓差遠大於 304 不鏽鋼及高碳鋼，其原因為石磨棒的孔隙率>>不鏽鋼、高碳鋼的孔隙率。

3.電解液以硫酸鈉 0.1M 在 30 °C 〈室溫下〉為最佳。

濃度	各種電解液在 0.1M 時電壓都最高，其中又以 Na ₂ SO ₄ (aq)及 K ₂ SO ₄ (aq)偏高。
溫度	Na ₂ SO ₄ (aq)及 K ₂ SO ₄ (aq)在 30°C 〈室溫〉時都有最高電壓，其中又以 Na ₂ SO ₄ (aq)較高。

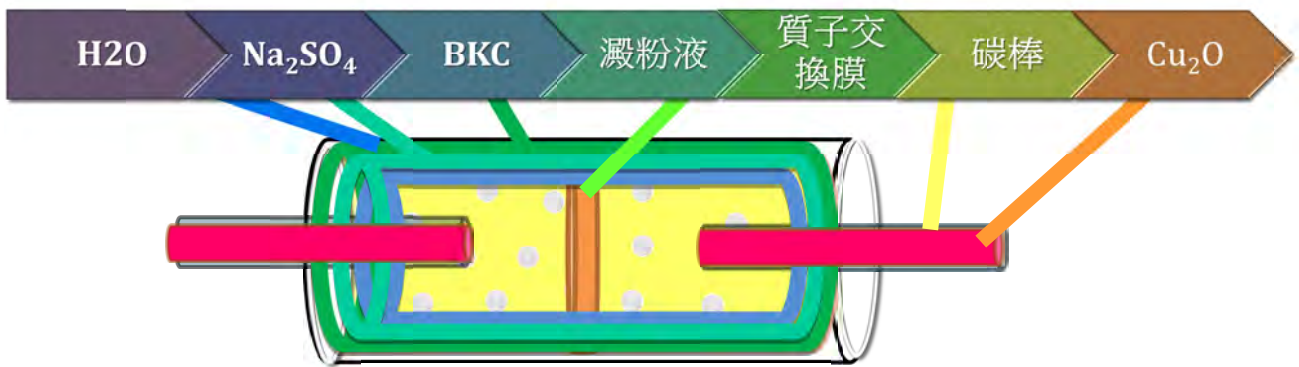
4.界面活性劑以陽離子型氯化苯二甲烴銨 BKC 在 1M 時為最佳，不但初始穩定電壓提高，電壓穩定性亦增加。

種類	電壓以離子型介面活性劑 >非離子型介面活性劑，種類分別是 BKC>SDS>TACB>Tween20。
濃度	根據厄司特方程式，濃度越大，電壓將愈高。因此各類型的界面活性劑皆以 1.0M>0.5M>0.1M。

5.質子交換膜以全磺酸化聚乙烯醇薄膜氣體交換效率效果最佳。

6.氧化亞銅以 R F 濺鍍法製成的放電效果最佳。

7.成品示意圖：



柒、未來展望

在現今高度工業化的社會中，人們生活的便利性提高，生活環境的品質卻大幅降低。本研究成功地自製出簡易微型氫氧燃料電池，此裝置的原理極為簡單，材料也極易取得。此氫氧燃料電池，不但效率高、成本低，對環境更是零污染。未來結合壓電材、熱電材，將更能使之全面充塞在人們的生活中，大幅降低環境的 PSI 值，使消耗能源產生污染不再成為人們生活的隱憂。

捌、參考資料

- 1.方金祥、游苑平 (民93)。氫氧燃料電池之微型化設計及在電化學教學應用之研究。化學，62 (4)，547-554。
- 2.衣寶廉 (2005)。燃料電池-應用與原理 (初版)。台北市：五南
- 3.王曉紅、黃宏 (民 97)。燃料電池基礎。台北縣：全華圖書股份有限公司
- 4.王中衛(2007)。聚偏二氟乙烯/二氧化矽之有機/無機混成質子交換膜的製備與特性之研究。國立雲林科技大學化學工程研究所碩士論文。
- 5.王佳田(2007)。新穎環烯烴共聚物/陽離子型光起始劑質子交換膜之物性及電學性質研究。國立台灣科技大學高分子工程研究所碩士論文。
- 6.Handbook of Fuel Cell, 6th Edition. EG&G Technical Services Inc., Virginia, USA (2002).
7. Bard, Faulkner (2003). Electrochemical Methods, 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc., NY, USA.
8. W.J. Zhou, S.Q. Song, W.Z. Li, Z.H. Zhou, G.Q. Sun, Q. Xin, S. Douvartzides, P. Tsiakaras. Direct ethanol fuel cells based on PtSn anodes: the effect of Sn content on the fuel cell performance. Journal of Power Sources 140 (2005) 50–58.
- 9.Luhua Jiang, Gongquan Sun, Zhenhua Zhou, Weijiang Zhou, Qin Xin. Preparation and characterization of PtSn/C anode electrocatalysts for direct ethanol fuel cell. Catalysis Today 93–95 (2004) 665–670
10. Weijiang Zhou, Zhenhua Zhou, Shuqin Song, Wenzhen Li, Gongquan Sun, Panagiotis Tsiakaras, Qin Xin. Pt based anode catalysts for direct ethanol fuel cells. Applied Catalysis B:Environmental 46 (2003) 273–285
- 11.Luhua Jiang, Gongquan Sun, Shiguo Sun, Jianguo Liu, Shuihua Tang, Huanqiao Li, Bing Zhou, Qin Xin. Structure and chemical composition of supported Pt–Sn electrocatalysts for ethanol oxidation. Electrochimica Acta 50 (2005) 5384–5389

【評語】 030002

研究題目為開發使用太陽能的微型燃料電池，有相當的創意及潛在的應用價值，若能更了解反應的機構及展示研究成果，會是一篇高水平的研究報告。