

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040803

掀池得點

學校名稱：國立陸軍專科學校

作者： 高二 楊竣翔 高二 周奕榜 高二 林家輝 高二 王孝文	指導老師： 黃靜怡
---	--------------

關鍵詞：乾電池 燃料電池 替代能源

掀池得點(電)—廢棄乾電池與燃料電池合作首部曲

壹、摘要

本研究主要分為兩大部分，原理主要是依照化學課本第六章「電池、電解、電鍍」。其一為拆解廢棄乾電池，取出其中的鋅殼、二氧化錳及碳粉等成分，分別製備出氫氣及氧氣。同時將中心碳棒研磨成細粉使用於燃料電池的電極製作上，再自行製作、組裝燃料電池，在陰陽兩極分別通入從廢棄乾電池而來的氧氣與氫氣，配合三用電表量測其電壓及電流，並觀察過程中各種參數對實驗結果的影響。研究發現鹽酸的濃度對氫氣的產生速率會造成影響，而二氧化錳也確實具有催化功能，可加速雙氧水分解使產生氧氣。若燃料電池的陰極通入氧氣，則電池電壓會比陰極通入空氣時為大，電流方面的數據顯示也是如此。

貳、研究動機

自 19 世紀工業革命以來，人類不斷利用能源進行各種工業活動，對文明產生巨大的影響。但在煤、石油等消耗性能源不斷減少的同時，伴隨而來的是對自然環境的破壞，如溫室效應及對空氣、水源、土地的污染，使我們的生活面臨了許多危機。因此近年來許多高效率而低污染的能源，陸續地被開發且重視，如：太陽能電池及燃料電池。

「燃料電池」發電技術是除太陽能電池外，目前最具發展前景的新能源技術，其利用氫氣（ H_2 ）及氧氣（ O_2 ）的化學反應，產生電流及水，只要添加燃料就可不斷放電，不但完全無污染，也解決了傳統電池（如：鉛酸電池、乾電池）充電耗時的問題。

隨著科技的不斷進步，人們的日常生活愈來愈離不開 3C 電子產品，而年輕學子生活中不可或缺的電子辭典、數位相機及 MP3 等更是使用了大量的乾電池。根據行政院環保署的統計資料，台灣每年乾電池的申報生產量，約有 1 萬噸左右，但廢棄乾電池的回收率，雖然從民國 92 年的 12%，成長至民國 95 年的 45%，至今每年仍有一半以上的廢棄乾電池進入焚化爐或掩埋場，而一顆一號乾電池埋入土裡，就能使 1 平方公尺的土壤永久失去利用價值，面對如此嚴重的問題，如何發揮廢棄乾電池的剩餘價值，並結合新興替代能源-燃料電池，發展出一種新的能源利用模式就成為我們此次研究的重點。

參、研究目的

- 一、拆解廢棄乾電池並了解其成分與構造。
- 二、利用廢棄乾電池中的物質當原料，製造出氫氣與氧氣。
- 三、了解燃料電池基本構造，並學習製作、組裝。
- 四、利用廢棄乾電池製造出之氫氣與氧氣，當作燃料電池的燃料，觀察其電性變化。
- 五、藉此研究體認環保及替代能源之重要性，並熟悉課堂所學之基本化學實驗操作技巧。

肆、研究藥品與器材

一、藥品:

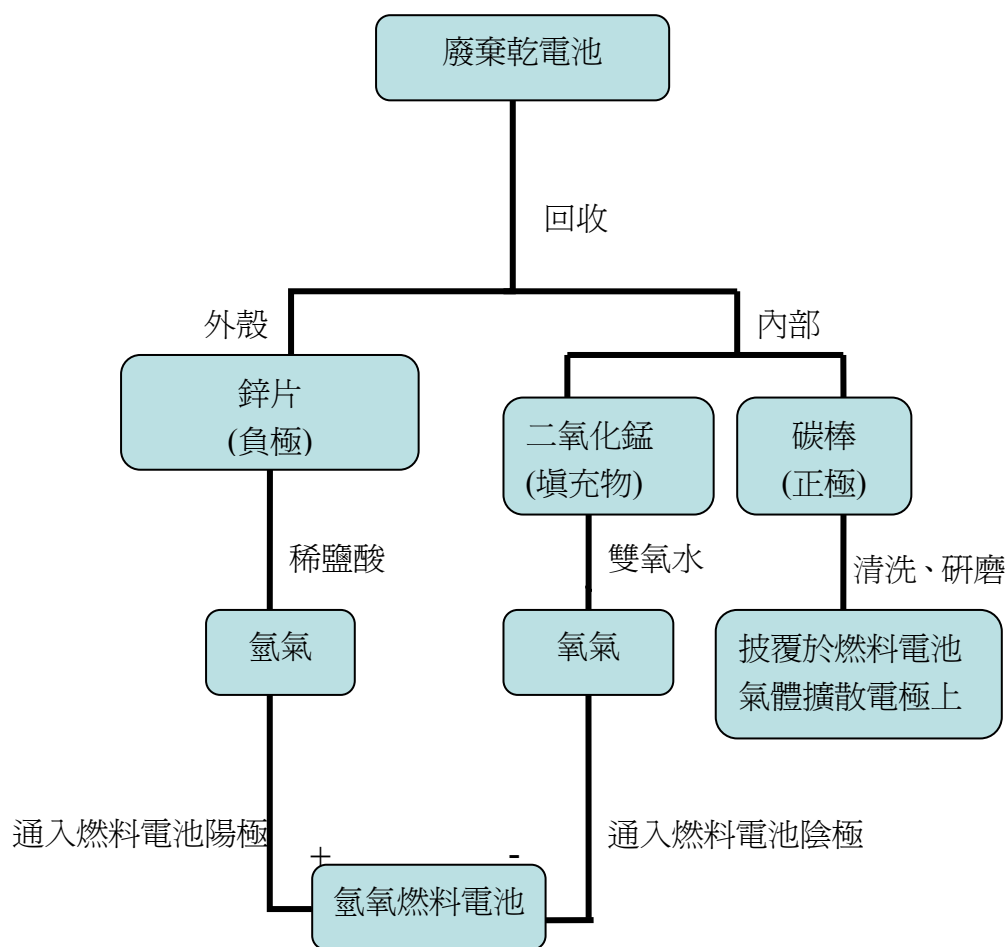
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. 廢棄乾電池 | 6. 雙氧水 |
| 2. 濃鹽酸 | 7. 濃硫酸 |
| 3. 乙醇 | 8. 異丙醇 |
| 4. Nafion 112 膜 | 9. 5wt.% Nafion 溶液 |
| 5. 20wt.% Pt/C 觸媒 | 10. 碳布 |

二、器材:

- | | |
|-----------|------------|
| 1. 燒杯 | 11. 3M 砂紙 |
| 2. 橡皮管 | 12. 3 用電表 |
| 3. 漏斗 | 13. 本生燈 |
| 4. 刮杓 | 14. 表玻璃 |
| 5. 塑膠滴管 | 15. 吸量管 |
| 6. 安全吸球 | 16. 檢診手套 |
| 7. 塑膠軟管 | 17. 水彩筆 |
| 8. 量筒 | 18. 血清塞 |
| 9. 濾紙 | 19. 抽氣過濾裝置 |
| 10. 磁石加熱器 | 20. 熱壓機 |

伍、研究過程

在實驗開始進行前，根據我們先前課堂所學及文獻查詢的結果，擬定了實驗流程圖如下。主要研究構想為利用回收廢棄乾電池，經拆解後取出其成分中的鋅外殼、二氧化錳及碳棒，分別加入鹽酸及雙氧水使產生氫氣及氧氣，再將氣體各自通入自行製造的氫氧燃料電池之陽極與陰極中當作燃料，使原本易造成環境污染的乾電池與再生能源結合再利用，發揮更大的價值。



實驗設計流程圖

整體研究分為下列二大部分，分別說明於下：

一、廢棄乾電池的拆解與分析

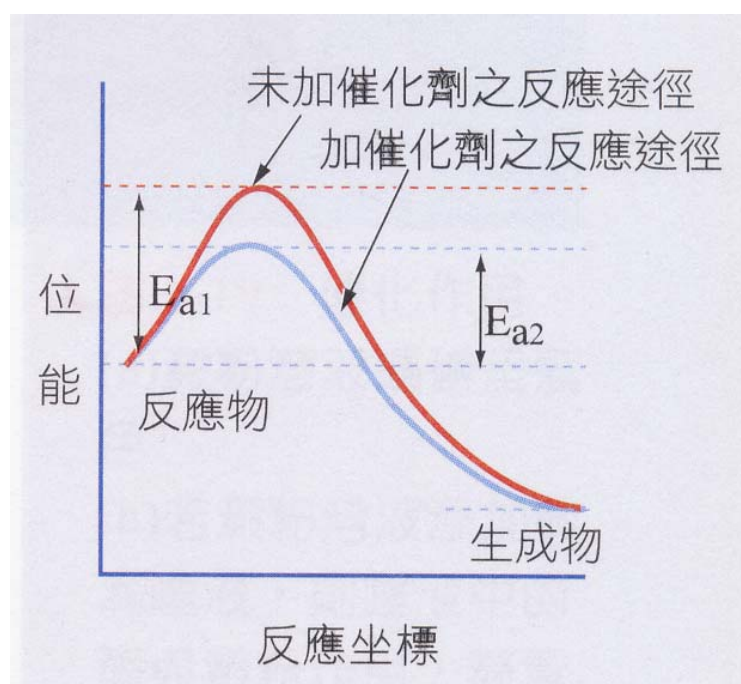
原理：

第一、根據化學課本下冊第6章「電池、電解、電鍍」中所學，我們知道一般市售乾電池外層金屬為鋅，中間黑色電極為碳棒，電池中電解質成分有二氧化錳、氯化銨、氯化鋅、澱粉及水等。

第二、我們的燃料電池所需要的能量是氫氣及氧氣，製造出這些燃料所需要的原料之一，就是從廢棄乾電池拆解而來的二氧化錳及鋅片。但我們以前常聽到電池爆炸的事件，為了安全我們找書籍和資料，來解答為什麼電池會爆炸呢？以乾電池為例，其實乾電池一般很穩定不會有什麼危險，不過如果真的爆炸的話並不會產生火焰，只是內部的電解液會流出來，然後外殼碎裂，不會有其他的化學物質出現。至於為什麼會爆炸呢？則是因為內部的電解液受熱或充電的關係使其分解產生氫氣，而把外殼膨脹裂開，接近火源或是照射陽光過久都會讓乾電池爆炸！在瞭解乾電池是一個安定的物品後，同時也留意上述注意事項，我們在拆解廢棄乾電池方面，就能安全且快速的取出我們要的物質了。

第三、根據高中物質科學化學篇第九章非金屬元素及其氧化物中所提到的，我們知道實驗室常用鋅、鐵等中等活性的金屬和稀鹽酸或稀硫酸，反應而製得氫氣，氫在水中的溶解度很小因此可用排水集氣法收集。

第四、根據高中物質科學化學篇下冊，知道 MnO_2 為 H_2O_2 的催化劑，使其更快產生氧氣與水，而催化劑能改變反應速率是因為能和反應物形成活化能較低的活化錯合物，提供另一種僅需較低能量的反應途徑，降低化學反應所需最低能量，亦即達到低限能的分子數增多，而使反應速率變快。如下圖為有無加入催化劑的途徑。因此可用廢棄乾電池中回收的二氧化錳當雙氧水的催化劑，來製造氧氣。



(一) 實驗步驟如下：

1. 先以螺絲起子將廢棄乾電池的外層包裝鋅金屬殼拆開後，再用剪刀將鋅金屬殼剪成小片備用。(如下圖 1)
2. 把中心碳棒取出後，倒出裡面的微濕黑色粉末，黑色粉末成分即包含中含有二氧化錳、氯化銨、氯化鋅、澱粉及水，因含微量水分故呈現潮濕態。
3. 將收集起來的黑色粉末倒入燒杯中加入蒸餾水浸泡 10 分鐘後，發現燒杯內分為上下兩層。
4. 以濾紙撈起浮在上層的油狀物，再使用抽氣過濾將水溶液濾掉，水溶液中含有氯化銨和氯化鋅。
5. 將留在濾紙上的黑色粉末和澱粉倒入蒸發皿中，放在陶瓷心網上以本生燈直接加熱乾燥，並將澱粉灰化。(如下圖 3)
6. 乾燥後將黑色粉末置於乾燥器內等待降溫，乾燥器底部需放入乾燥劑。
7. 將黑色粉末加入雙氧水中，發現數十秒後就有大量氣體產生，證實此黑色粉末為二氧化錳，再以排水集氣法收集產生之氣體(如下圖 4)，以針筒抽取此氣體，再將氣體擠壓至火柴的火焰上，發現火焰變大，至此確定此氣體為氧氣。
8. 將已剪成小片之鋅金屬片加入少量稀鹽酸，再以排水集氣法收集產生之氣體，以針筒抽取此氣體(如下圖 5)，再將氣體擠壓至洗碗精水溶液內，使其產生泡沫，在泡沫上方以火柴的火焰接近，即產生爆鳴聲，至此確定此氣體為氫氣。

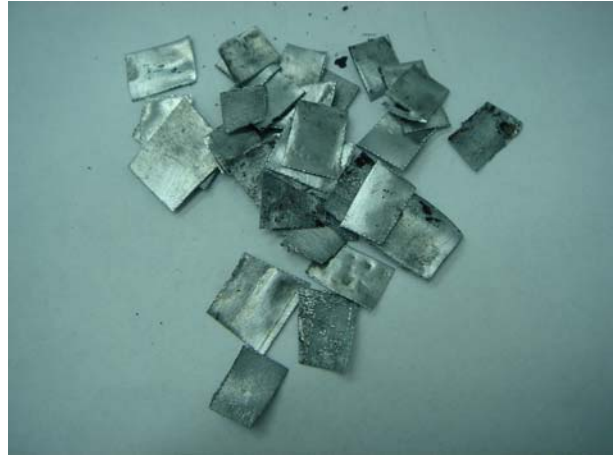


圖 1. 廢棄乾電池的外層包裝鋅金屬殼，左圖為剛拆解的樣子，右圖為清潔後使用剪刀剪成小片備用。



圖 2. 廢棄乾電池的中心碳棒，左圖為剛取出的樣子，未經任何處理，右圖為壓碎後的樣子。



圖 3. 以本生燈加熱、純化二氧化錳的情形。

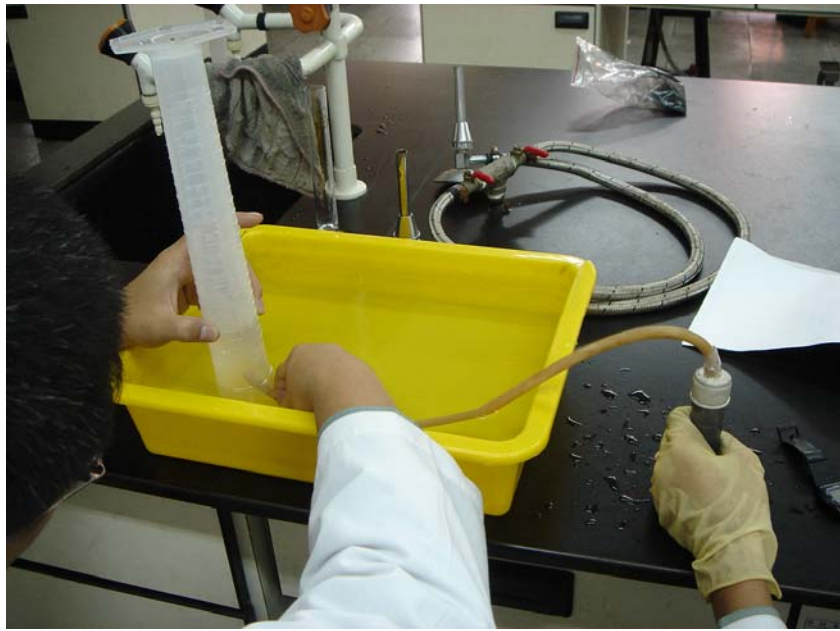


圖 4. 將二氧化錳加入雙氧水中，以排水集氣法收集產生之氧氣。



圖 5. 預備將鋅片加入少量稀鹽酸，再以排水集氣法收集產生之氣體。再將氣體擠壓至洗碗精水溶液內，使其產生泡沫，在泡沫上方以火柴棒的火焰接近，發現有爆鳴聲，至此確定此氣體為氫氣。

二、 燃料電池的製作

(一) 氫氧燃料電池工作原理

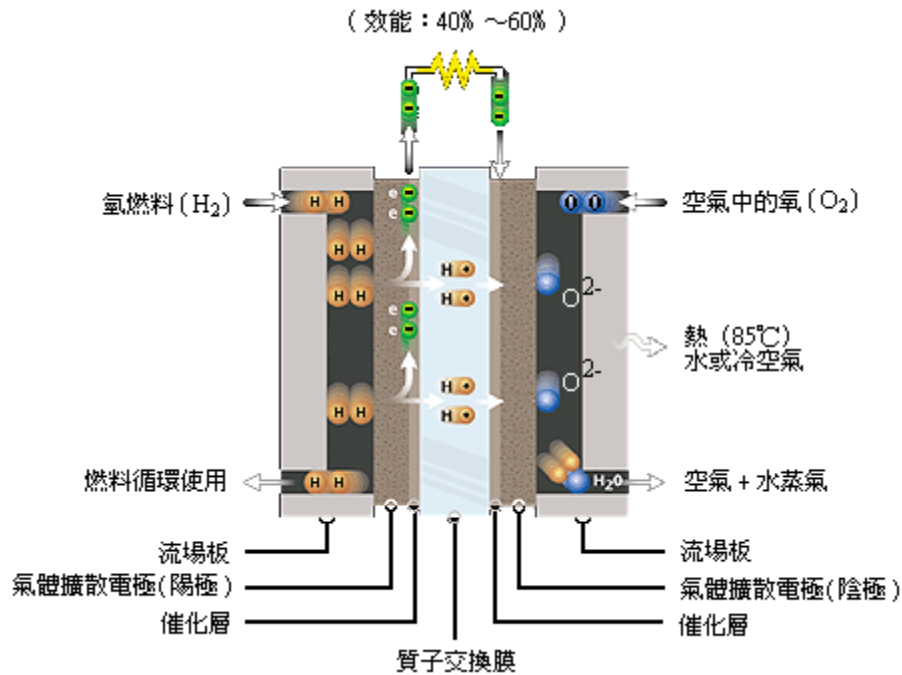
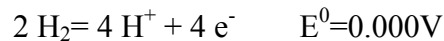
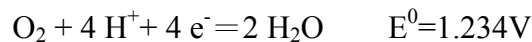


圖6. 氫氧燃料電池工作原理圖

氫氧燃料電池工作時，透過氣體擴散電極由雙極板上的氣體流道向膜電極組（MEA）供給氫氣（反應物）以及氧化劑（空氣或純氧）。反應物穿過多孔的碳電極載體進入白金催化層，氫氣在白金催化劑表面發生電化學反應解離成氫質子和電子：



產生的電子經過外電路後流過負載到達陰極，而產生的 H^+ 以水合質子 $\text{H}^+(\text{xH}_2\text{O})$ 的形式，在電解質膜中從一個磺酸基轉移到另一個磺酸基，透過質子交換膜傳遞到陰極；氧氣擴散透過氣體擴散層，傳遞到陰極電催化層，與電子和 H^+ 質子結合成水和少許熱量，生成的水不稀釋電解質，而是透過電極隨尾氣排出：



如此，氫氣和氧氣透過氫氧燃料電池結合產生電力，並生成副產物水和熱量：



因此，只要向燃料電池不斷供給燃料和氧化劑，它就會不斷地產生直流電。

(二) 實驗步驟如下：

1. 將 Nafion 112 膜裁成 5 cm× 5 cm 大小後，先以 35% 雙氧水於 80°C 下煮 30 分鐘，以去除表面的有機雜質，接著以蒸餾水稍微沖洗後，再以 1M 硫酸水溶液於 80°C 下煮 30 分鐘，以去除表面的無機氧化物，同樣以蒸餾水稍微沖洗後，置於蒸餾水中保存備用。
2. 取 0.1 g 的 20wt.% Pt/C 觸媒，加入 2 g 的乙醇水溶液及 0.21 g 的 5wt.% Nafion 溶液，將混和後的溶液以超音波震盪 5 分鐘，再以 80°C 加熱揮發部分溶劑，使成泥漿狀，方便稍後塗布。
3. 將廢棄乾電池的中心碳棒研磨成細粉，再將細碳粉披覆於碳布上。
4. 使用水彩筆將觸媒漿料反覆塗布於裁切好的 3.2 cm× 3.2 cm 碳布上，每塗布一次就先以吹風機吹乾一次，並放置天平上秤重，直至設定的重量為止。
5. 將製作好的電極與存放於蒸餾水中的 Nafion 112 膜，以 陽極/Nafion 112 膜/陰極 的順序疊合（白金面朝 Nafion 112 膜），以熱壓機壓合，壓合條件為 135°C，80 Kg/cm²，時間 120 秒。
6. 將壓合好的膜電極組置入壓克力模具中，等待通入氫氣與氧氣。

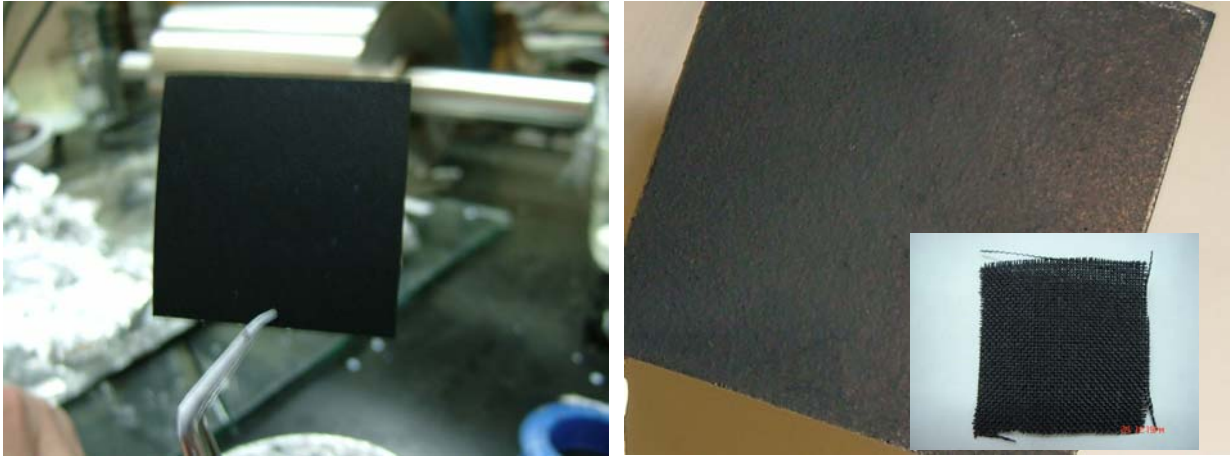


圖 7. 左圖為塗布白金觸媒後的碳布，作為燃料電池的陰陽兩極，右圖為靠近拍攝的結果，可發現原本碳布上的孔洞已被白金觸媒填滿。



圖 8. 將 Nafion 112 膜與塗布白金觸媒後的碳布以左圖的熱壓機熱壓成右圖的「膜電極組」，此為燃料電池的心臟。

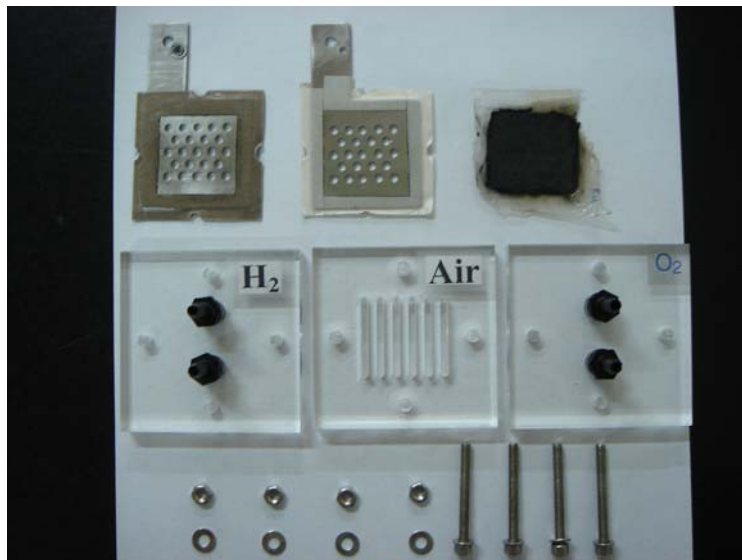


圖 9. 壓克力製燃料電池模具拆解圖

陸、研究結果與討論

- 一、 爲了得知不同濃度的鹽酸與鋅片反應的情形，我們將 1g 的鋅片分別加入 10mL 的不同濃度的鹽酸中，將量筒口接上軟管，使產生之氫氣通入至燃料電池的陽極，於不同的反應時間以三用電表記錄「氫/空氣燃料電池」其電壓的變化。結果記錄於下表。

鋅片與鹽酸反應如下： $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$

[表一] 不同濃度的鹽酸與鋅片反應的情形

電壓 (V) 鹽酸濃度	時間					
	30s	60s	90s	120s	150s	180s
4M	0.043	0.072	0.100	0.136	0.182	0.270
5M	0.685	0.675	0.668	0.662	0.660	0.658
6M	0.690	0.686	0.679	0.673	0.665	0.662
7M	0.693	0.676	0.672	0.669	0.666	0.662
8M	0.719	0.685	0.661	0.663	0.659	0.658

根據上表結果可知：

- (一) 鋅片與鹽酸反應需經一段時間，方可達成平衡。
- (二) 當反應時間超過 60 秒時，鹽酸濃度從 5M 到 8M 的結果差異極小，因此下列研究均選擇 5M 的鹽酸進行實驗。

爲方便比較，將上述表格繪圖於下：

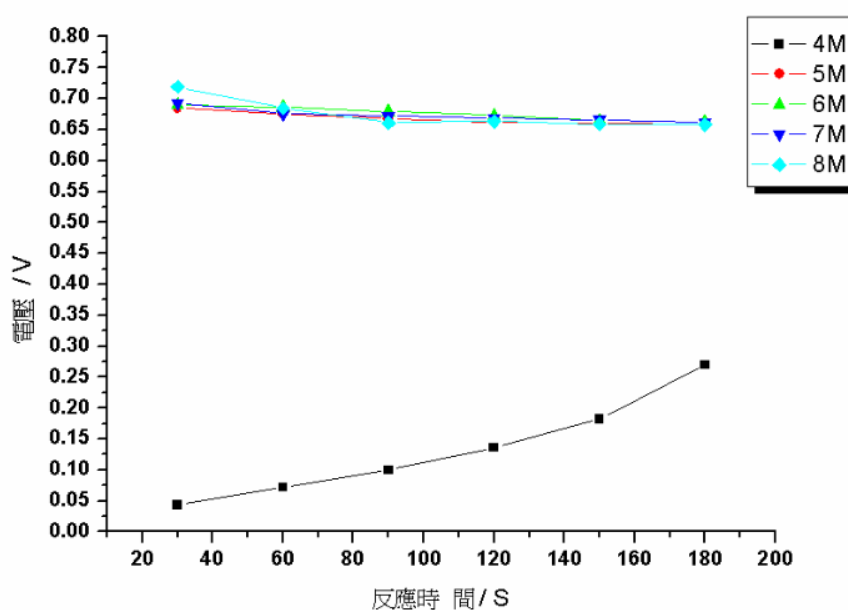


圖 10.不同反應時間下，不同濃度的鹽酸與鋅片反應，「氫/空氣燃料電池」的電壓。

二、我們將剪成小碎片的鋅片，以 3M 砂紙將表面磨粗糙，以增加與鹽酸反應時的表面積，並根據上表結果選用 10mL 的 5M 鹽酸分別與不同重量的鋅片進行反應，再將產生之氫氣通入至燃料電池的陽極，於不同的反應時間以三用電表記錄「氫/空氣燃料電池」其電壓的變化。結果記錄於下表。

[表二] 不同重量的鋅片與 5M 鹽酸反應的情形

電壓 (V) Zn	時間					
	30s	60s	90s	120s	150s	180s
1 g	0.056	0.172	0.672	0.699	0.701	0.704
1.5 g	0.253	0.703	0.703	0.702	0.702	0.703
2 g	0.681	0.703	0.706	0.705	0.703	0.705

根據上表結果可知：

- (一) 較大量的鋅片可於很短的反應時間內，產生較大量的氫氣。
- (二) 反應時間超過 90 秒時，似乎已達成平衡，至 180 秒時都是類似的結果。

為方便比較，將上述表格繪圖於下：

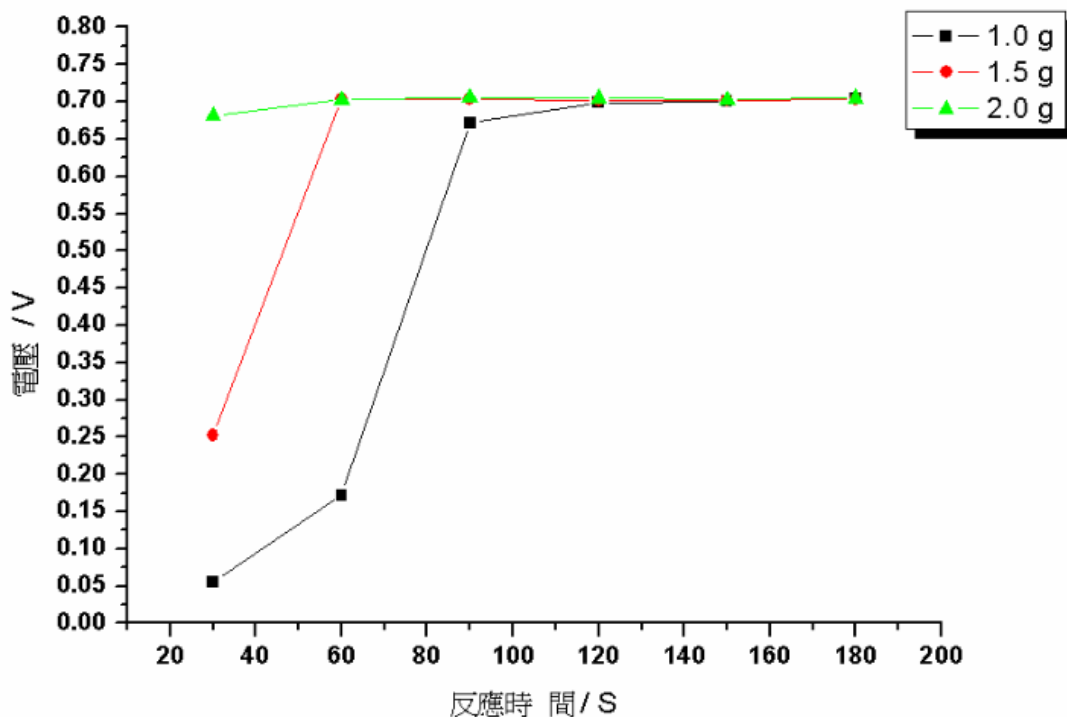
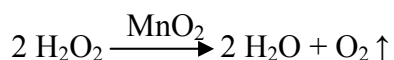


圖 11.不同反應時間，不同重量的鋅片與 5M 鹽酸反應下，「氫/空氣燃料電池」的電壓。

三、 接著我們將 0.02g~0.08g 的二氧化錳加入 25mL 不同濃度的雙氧水裡，探討在固定時間內（100 秒），催化劑使用量的不同對氧氣生成量的影響。反應方程式如下：



此反應為雙氧水的分解反應，以二氧化錳為催化劑產生氧氣與水。若是沒有二氧化錳存在，此反應仍會進行，但反應速率十分緩慢。

[表三] 不同添加量的二氧化錳（催化劑）對反應速率的影響

氧 氣 雙 氧 水 (ml)	二 氧 化 錳	0.02g	0.03g	0.04g	0.05g	0.06g	0.07g	0.08g
5 %		10	15	17	25	38	63	80
10%		34	63	94	107	116	123	130
15%		56	83	130	139	150	170	212
20%		100	136	166	260	350	390	421

根據上表結果可知：

- （一）廢電池中的黑色粉末，即二氧化錳，確實具有催化功能，可加速雙氧水分解使產生氧氣。
- （二）對同樣濃度的雙氧水而言，二氧化錳的添加量愈大，反應速率愈快，在相同時間內可產生的氧氣量愈多。
- （三）對同樣添加量的二氧化錳而言，雙氧水的濃度愈高，在相同時間內可產生的氧氣量愈多。

為方便比較，將上述表格繪圖於下：

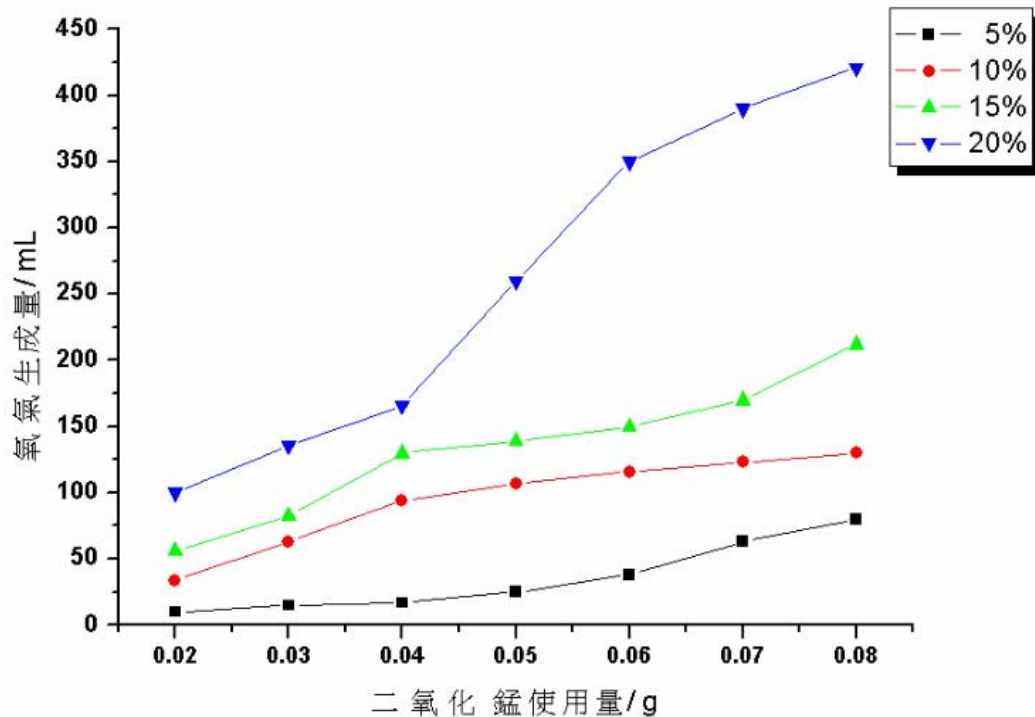
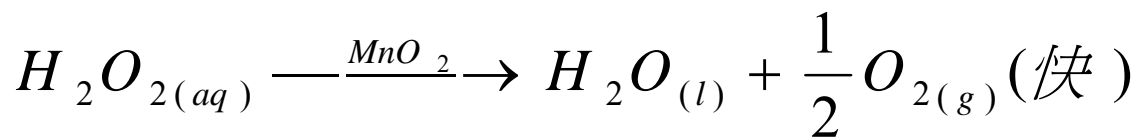
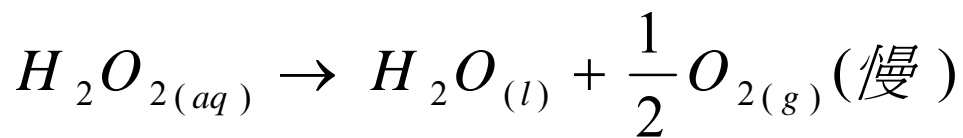


圖 12. 不同添加量的二氧化錳，不同雙氧水濃度下，氧氣生成的體積。



四、 我們以 5M 鹽酸加入 2g 的鋅片使產生氫氣，並配合濃度 20% 的雙氧水添加 0.08g 二氧化錳為催化劑使產生氧氣，分別通入「氫氧(H₂/O₂)燃料電池」的陰陽極，再與不使用氧氣而使用空氣的「氫/空氣(H₂/Air)燃料電池」所產生的電壓、電流做比較。

[表四] 不同反應時間下，「氫氧(H₂/O₂)燃料電池」及「氫/空氣(H₂/Air)燃料電池」的電壓及電流

電壓 (V) 氣體	時間	30s	60s	90s	120s	150s	180s
氫氣/氧氣 (H ₂ /O ₂)		0.691	0.697	0.731	0.729	0.723	0.727
氫氣/空氣 (H ₂ /Air)		0.681	0.673	0.668	0.663	0.661	0.658

電流 (mA) 氣體	時間	30s	60s	90s	120s	150s	180s
氫氣/氧氣 (H ₂ /O ₂)		324	335	351	352	348	349
氫氣/空氣 (H ₂ /Air)		255	266	274	272	273	269

根據上表結果可知：

- (一) 若燃料電池的陰極通入氧氣，則電池電壓會比陰極通入空氣時為大。因為空氣中的氧氣量僅占總成分的 1/5，故電池電壓會比使用氧氣時為低。
- (二) 電流方面的數據顯示也是如此，陰極通入氧氣所產生的電流值也比通入空氣時為高。

為方便比較，將上述表格繪圖於下：

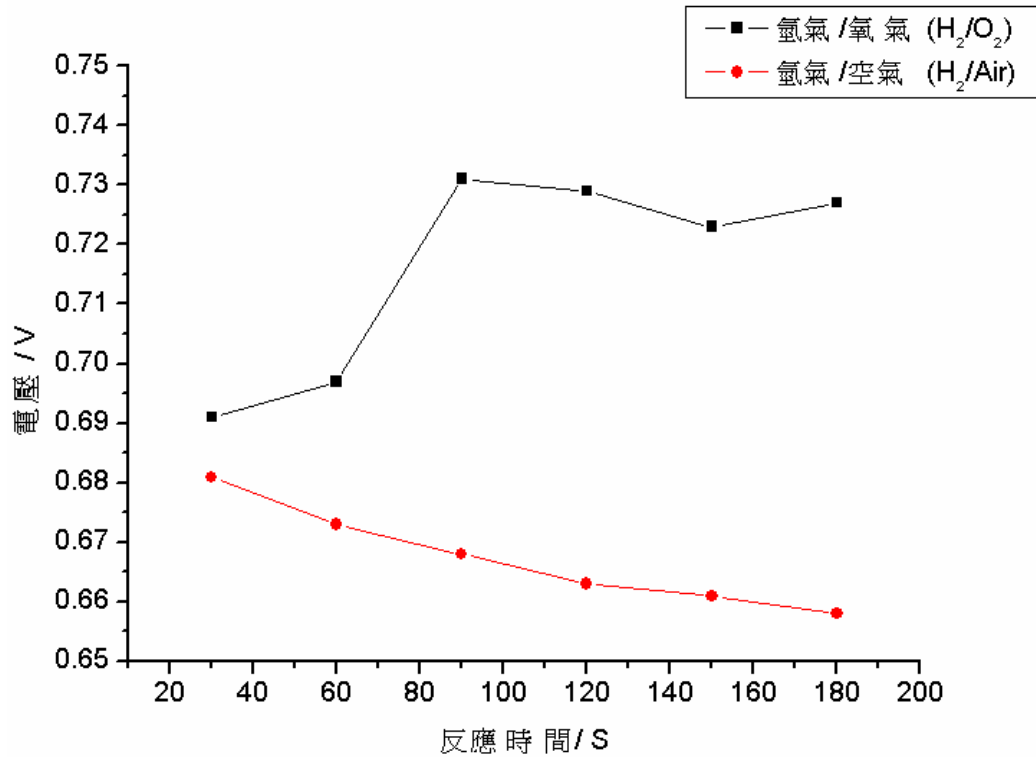


圖 13. 不同反應時間下，「氫氧(H₂/O₂)燃料電池」及「氫/空氣(H₂/Air)燃料電池」的電壓。

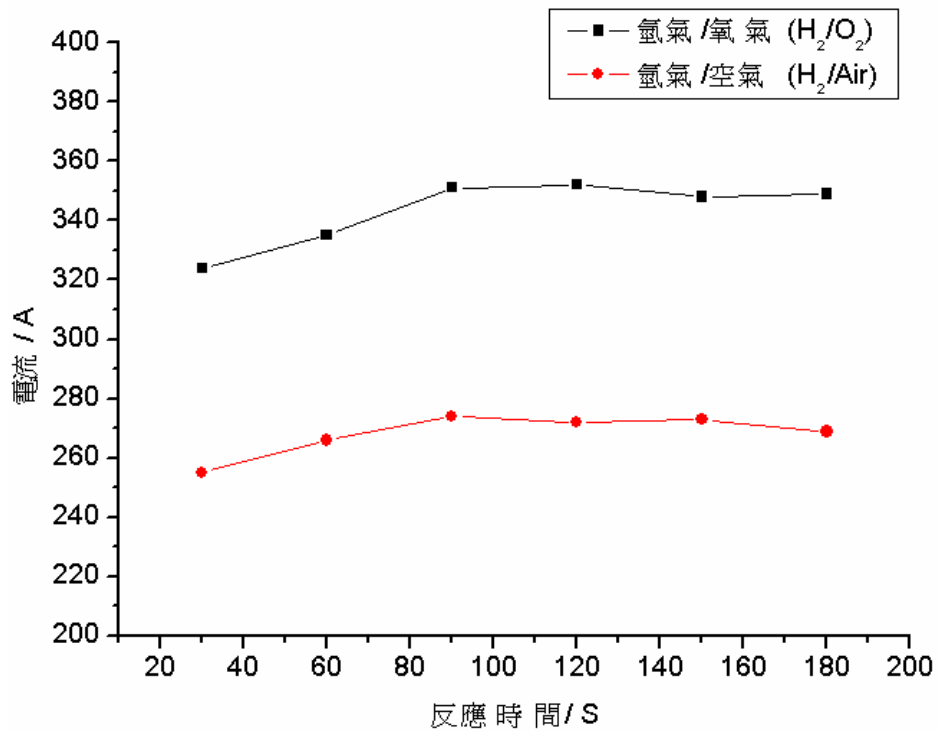


圖 14. 不同反應時間下，「氫氧(H₂/O₂)燃料電池」及「氫/空氣(H₂/Air)燃料電池」的電流。

五、 廢棄乾電池回收再利用與燃料電池結合發電

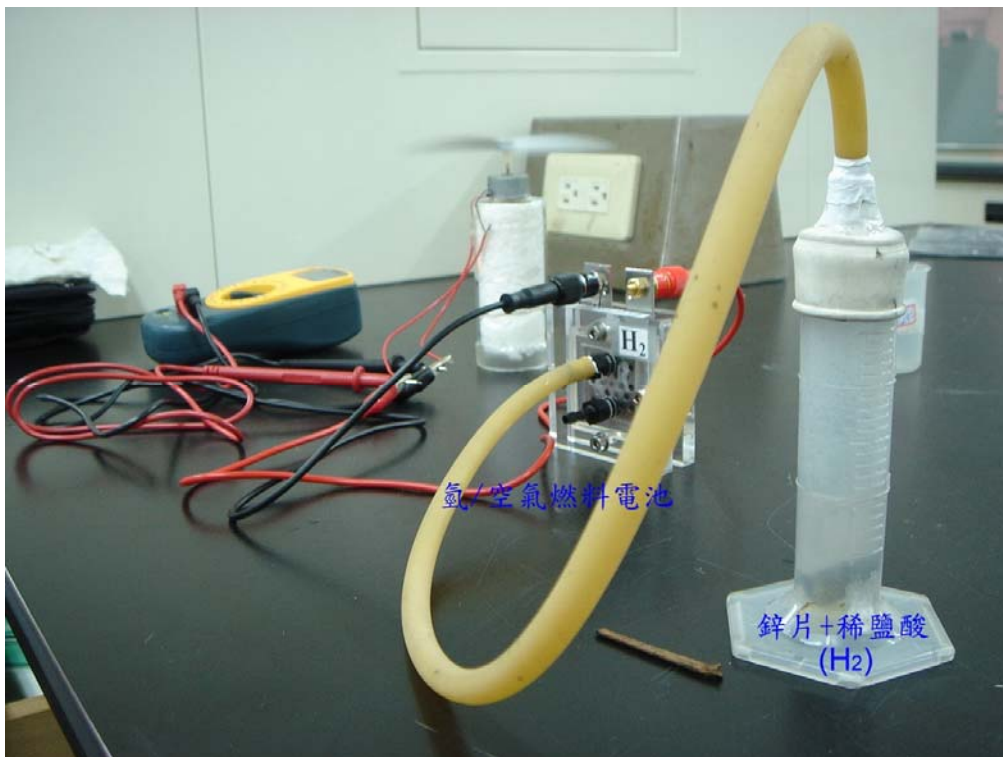


圖 15. 以廢棄乾電池的外殼鋅金屬產生的氫氣通入陽極，陰極則通入空氣，成功驅動自製的「氫/空氣燃料電池」。



圖 16. 續上圖，自製的「氫/空氣燃料電池」產生的電壓可達 0.687V。



圖 17. 以廢棄乾電池成分中的鋅金屬及二氧化錳，產生氫氣及氧氣，成功驅動自製的「氫氧燃料電池」。

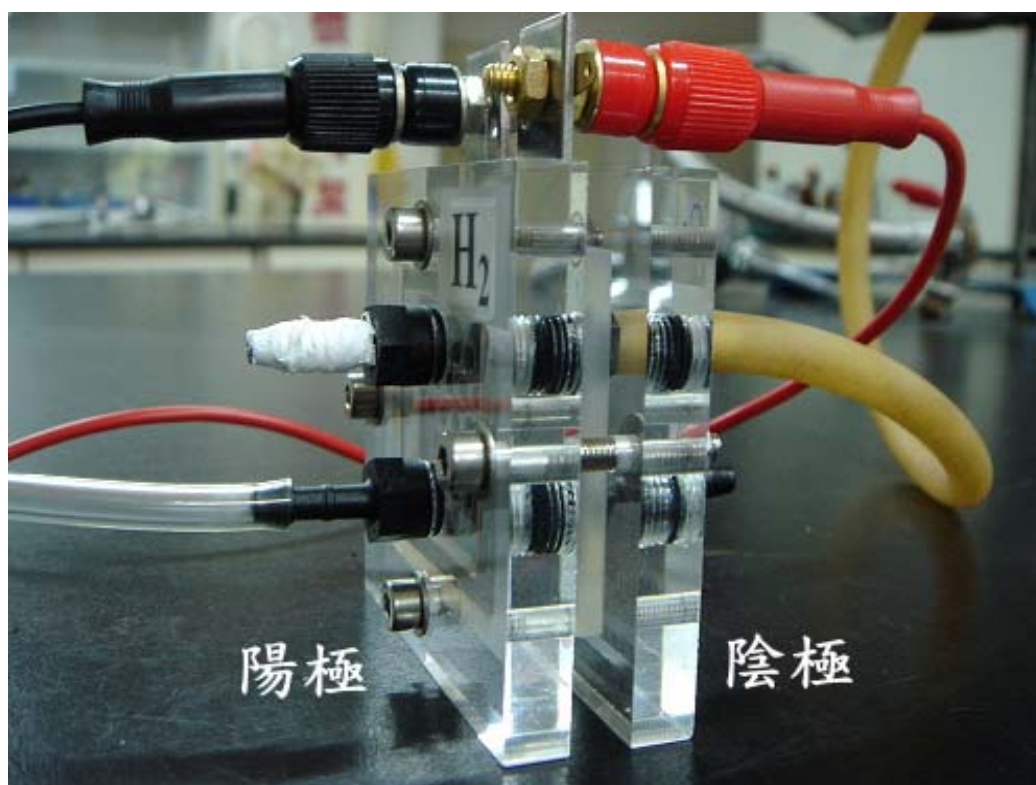


圖 18. 自製的氫氧燃料電池側面圖

六、 我們了解電池的性質和電壓電流後，也想知道各型號的廢棄乾電池其中物質的含量，所以我們將廢棄乾電池拆解開來，秤量乾電池內部各種物質的重量。

[表五] 各型號的廢棄乾電池中物質的含量

	總質量(克)	取出之碳棒重(克)	取出之鋅殼重(克)	取出之黑色固體粉末重(克)	處理後可用的二氧化錳重(克)
1號廢棄乾電池	34.4338	2.4318	7.5111	23.7131	5.4144
2號廢棄乾電池	22.6702	1.8730	5.7180	13.8433	2.7404
3號廢棄乾電池	13.1165	1.4352	4.6386	6.5368	1.0426
4號廢棄乾電池	9.2318	0.9841	3.2304	4.7922	0.9362

根據上表五結果可知：

- (一) 廢棄乾電池的外觀大小為：1號 > 2號 > 3號 > 4號。
- (二) 越大顆的廢棄乾電池，殘餘物的內容量就越多。例如表中的：碳棒、鋅殼、黑色固體粉末。

七、 將各型號廢棄乾電池的鋅片當成製作氫氣的材料，每次加入兩克的鋅片、5M 10mL 鹽酸，將產生出來的氫氣通入自行製作的燃料電池，讓自行組裝的風扇持續轉動（驅動電壓為 0.2 伏特），直到各型號廢棄乾電池的鋅片完全使用完，記錄時間如下表。

[表六] 各型號廢棄乾電池中，以鋅片當材料，使自製燃料電池做功的反應時間。

廢棄乾電池型號 (一顆)	一號	二號	三號	四號
反應時間	7小時 33分 52秒	5小時 45分 28秒	4小時 40分 18秒	3小時 15分 12秒

根據上表結果可知：

- (一) 從廢棄乾電池中回收的鋅片，的確能夠當作製作氫氣的材料。
- (二) 從 1~4 號廢棄乾電池中回收的鋅片，依據我們設定的條件，每次加入兩克的鋅片、5M 10mL 鹽酸，將產生出來的氫氣通入自行製作的燃料電池，讓自行組裝的風扇持續轉動，直到鋅片用完為止。使風扇持續轉動的反應時間長短為：1號 > 2號 > 3號 > 4號。其中可以看到一顆 1號廢棄乾電池，所回收的鋅片，即可讓我們的風扇，持續轉動約七個半小時，效果顯著。

柒、 結論

- 一、本研究成功地拆解廢棄乾電池，並將其中的鋅殼、二氧化錳，分別加入鹽酸及雙氧水製備出氫氣及氧氣，同時將中心碳棒研磨成細粉使用於燃料電池的電極製作上，並探討這些參數對實驗結果的影響。再將氫氣及氧氣分別通入自行製作、組裝的燃料電池中，以三用電表量測後發現氫氧燃料電池可發揮出最高 0.731V 的電壓及 351mA 的電流，而氫/空氣燃料電池則可發揮出最高 0.681V 的電壓及 274mA 的電流。
- 二、本實驗以生活化的題材切入，並以解決廢棄乾電池的「問題」為中心進行生活與應用科學的專題。
- 三、生活與應用科學之專題除了我們自己的創意外也具備應用價值。
- 四、本研究成功地實踐廢棄乾電池回收再利用，不但減少了對環境的污染，並將其結合目前最引人注意的燃料電池，用以提供此新興替代能源的燃料，達到了資源循環使用的最終目的。

捌、參考資料

- 1、行政院環境保護署網站 <http://ww2.epa.gov.tw/enews/newshistory.asp>
- 2、葉瑞銘（民 93）奈米科技導論。台北縣：高立。
- 3、楊寶旺（民 90）化學。台北縣：龍騰文化。
- 4、衣寶廉（民 92）燃料電池-高效、環保的發電方式。台北市：五南。
- 5、林維民。燃料電池系統。北京：化學工業出版社，1996。
- 6、張純，毛宗強，電源技術。1996，(5)：20。
- 7、閔恩澤、吳巍（民 92）綠色化學與化工。台北市：五南。
- 8、方金祥（民 95）回收乾電池設計校園綠色微型化學實驗之研究。化學，**64**，417-426。
- 9、楊寶旺 主編 物質科學化學篇(下)。龍騰文化。
- 10、Kinoshita K ,Mclarnon F R, Cairns E J. Fuel cell A handbook. U S Government Printing Office

玖、未來展望

在研究時我們的燃料電池的效能並沒有理論值那麼高，如電壓，我們的電壓為 0.731V，但目前全球性的大公司所作的電壓有到 0.999V，很接近 1V，我們希望能將燃料電池的效能提高到至少 0.9V，但因要提高電壓就需要將我們燃料電池的質子交換膜、觸媒等加以提升，相對地我們要花費的金錢與時間要更多，希望未來資源充足，可以將燃料電池發揚光大，如將燃料電池所生產的電用來電解水，再將電解水所得到的氫氣及氧氣再通入燃料電池，以達到一個循環，再將其餘的電能運用到其他地方，如此就能減少地球資源的使用與汙染。

【評 語】 040803 掀池得點

此研究回收勒克朗舍電池的 Zn 和 MnO_2 以製備氫氧燃料電池的 H_2 和 O_2 創意，具有初步環保的概念，然而後續產生的污染應有處理的辦法才不抵觸原有的創意。再者，尋求燃料電池穩定電壓的操作條件實驗中，應加入 H_2 、 O_2 定壓的設計才能使研究更具有說服力。