

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030212

自製高功率的廢鋁燃料電池

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者：  國三 賴柏儒  國二 趙栢証  國三 陳彥勳	指導老師：  賴月琴
---	------------------

關鍵詞：氧化還原反應、伏打電池、燃料電池

# 自製高功率的廢鋁燃料電池

## 壹、摘要

我們剪下廢鋁罐碎片與硫酸銅廢液進行氧化還原反應，使重金屬離子  $\text{Cu}^{2+}$  被鋁還原出金屬銅，即可過濾將固形物集中減廢處理。

我們也利用廢鋁罐、廢鐵罐自製出第一代注射針筒式、第二代布丁盒式，發展到第三代果凍杯式的廢鋁鐵電池，雖可當成微形電解電鍍的電源，但要讓 LED 燈亮或風扇轉動卻很困難。

我們接著製作廢鋁空氣燃料電池，過程並不順利，一直到找到了只讓氧氣通過而阻絕水穿透的石墨薄膜，才突破製造燃料電池的瓶頸，製作出具有價值且高功率的實用電池。

我們還突破性的發現，以氯化鈉為電解液的鋁燃料電池放電後的分層膠狀物有類似鉀鋁礬膠體功能，其與硫酸銅溶液以 2:1 體積比的比例，可濾除銅離子，而達到以廢減廢的目的。

## 貳、研究動機

別班的資源垃圾是保特瓶當道，我們這一班卻是鋁罐當道！

因為老師上課講到「千面人下毒事件」，籃球狂人阿富超怕死的，從此班上常有「xx」鋁罐飲料罐，這是千面人用針孔不易刺下去灌毒的罐裝飲料啊！

這學期我抽到垃圾分類回收及倒垃圾的整潔工作，每次踏扁保特瓶時感覺還好，踏扁鋁罐時，就不那麼順利了。只要一踏歪，腳踝也跟著拐了一下，有時真痛啊！我常想，這些金屬罐的命運就是回收再製造，那也要再製造的成本啊！而且學校垃圾也開始要徵收費用，難道我們不能再拿來做有效的利用嗎？

這學期的第二章剛好老師教到氧化還原反應，老師補充的說，氧化還原反應說穿了就是「進行電子交換的化學反應」，像我們常用的電池反應、你們最愛的亮晶晶獎牌、獎座的電鍍反應都是。我對於老師補充的氧化還原反應深感興趣，尤其是看了本校歷屆科研社的得獎報告後，更加堅定了我們要努力付予鋁罐的新使命……。

## 參、研究目的

1. 回收廢鋁罐與重金屬離子的氧化還原反應
2. 自製環保的廢鋁鐵電池的研究
3. 以自製環保的廢鋁鐵電池進行電解水、電解硫酸銅、電鍍銅的實驗
4. 自製高功率金屬空氣燃料電池的研究
5. 自製廢鋁空氣燃料電池放電後廢棄物的減廢研究
6. 以自製廢鋁空氣燃料電池進行趣味的物理化學實驗

## 肆、研究設備器材

硫酸銅廢液	回收保特瓶	自製廢鋁鐵電池	乾淨試管	電動天平	投影片	安培計
雙氧水	回收布丁盒果凍盒	NO2 號塑膠袋	光度計	漏斗	橡皮筋	伏特計
硫酸銅	回收保麗龍	小注射針筒槽	酒精燈	濾紙	玻璃紙	碼錶
氫氧化鉀	回收廢塑膠尺	熱熔槍及熔膠	鉗鍋夾	燒杯	鐵架	量瓶
氫氧化鈉	自製雙層布丁盒電解槽	吸管	砂紙	漏斗架	剪刀	廚房紙巾
回收鋁罐	石墨薄膜	量筒	金屬剪	玻棒	小刀	清潔劑
回收鐵罐	自製光度衰減比色儀	溫度計	手套	量瓶	鱷魚夾線	銅箔
塑膠製冰盒	自製廢鋁燃料電池	鎂片	銅片	鋅片	小馬達	小風扇

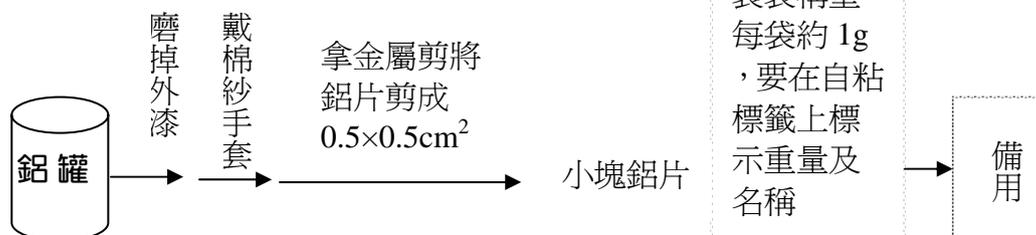
## 伍、研究過程及方法

### 【研究一】回收廢鋁罐與重金屬離子的氧化還原反應

#### 【實驗一、由氧化還原反應了解金屬元素間活性大小的比較】

- 步驟 1.以砂紙將鋁罐的外漆磨掉，戴上手套，再以金屬剪將罐子剪開成細長條塊狀。(小心注意切口的鋒利)
- 2.將各金屬條以電動天平秤重，裝袋標示後備用。
- 3.精稱定量的硫酸銅固體配製成 0.1M~0.5M 的溶液備用，測量各溶液的初溫。
- 4.將處理好已知重量的一袋鋁罐長條塊狀物分別放入步驟 3 中，以溫度計每 10 分鐘量測溫度及溶液顏色的變化並記錄之。
- 5.特別要記錄硫銅溶液藍色消失的時間。

#### (一) 鋁罐的回收處理



#### (二) 鋁罐與硫酸銅溶液的氧化還原反應



以金屬剪小心剪開罐身 剪成 0.5×0.5cm<sup>2</sup> 的小碎片 依預定劑量搭配比例反應 藍色消失不見表示反應已完成

## **【研究二】自製環保的廢鋁鐵電池的研究**

### **實驗二、【5ml 注射針筒第一代廢鋁鐵電池製作及實驗步驟】**

- 1.將 5ml 注射針筒槽以小刀切掉出口細的一端，以熱熔膠黏在薄夾板上，即為電池槽了。
- 2.一鐵片以酒精燈燒成氧化鐵後，放置室溫使之變冷後備用。
- 3.剪一段投影片，長超過注射針筒身、寬能插入筒身而且比捲成壓扁筒狀鋁或氧化鐵片直徑大，這樣以投影片做夾層且用橡皮筋綁在一起時，才不會互相接觸到而形成短路。
- 4.配製 3M 氫氧化鈉溶液，精稱 12.0g 的氫氧化鈉於小燒杯中，加少量的水使之溶解後，倒入量瓶，再加水沖洗入量瓶中，最後稀釋至 100 ml 標線備用。
- 5.注射針筒槽中加入 3M 4ml 的氫氧化鈉溶液，插入已綁好的鋁-投影片-氧化鐵電極，兩電極接上鱷魚夾線、安培計、數字型電錶後，以碼錶計時並量測此自製電池的電壓及電流大小。將結果記錄於表一中。

### **實驗三、【小布丁杯第二代廢鋁鐵電池製作及實驗步驟】**

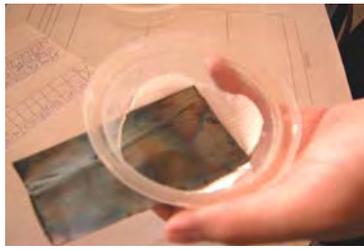
- 1.將一個布丁盒底部凸起的塑膠以剪刀剪平，外面套上另一個已黏上一小截折成小 L 型投影片的布丁盒，形成雙層的容器，以熱熔槍打兩個電極的洞，然後將兩布丁盒以熱熔膠黏好，使此容器不漏液，如此自製小型電池槽就算完成了。
- 2.與前注射針筒電池的步驟 2~3 相同。
- 3.取 5ml 0.1M 氫氧化鈉溶液加入自製小型電池槽中，將鋁片捲成筒狀插入洞中當負極，另一洞也小心將已燒過的鐵片捲成筒狀插入當正極。
- 5.兩電極接上鱷魚夾線、安培計、數字型電錶後，以碼錶計時並量測此自製電池的電壓及電流大小。將結果記錄於表二中。

### **實驗四、【小果凍杯第三代廢鋁鐵電池製作及實驗步驟】**

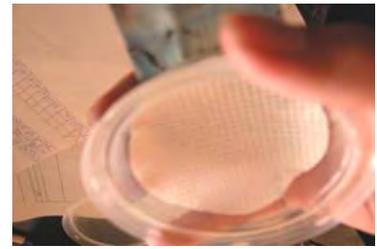
- 1.將一個果凍杯下圍兩側各以小刀小心的切開約比 5cm 略大的切口，兩者相距不宜超過 0.5cm 的高度。
  - 2.與前注射針筒電池的步驟 2~3 相同。
  - 3.(1)先放一張廚房紙巾在果凍杯內、滴入 3M 1ml 的氫氧化鈉溶液。  
(2)然後將燒過的氧化鐵小心插入果凍杯一側的切口內。  
(3)再放一張廚房紙巾、滴入 3M 1ml 的氫氧化鈉溶液。  
(4)繼續放入比廚房紙巾略大的玻璃紙。  
(5)放一張廚房紙巾、再滴入 3M 1ml 的氫氧化鈉溶液。  
(6)在果凍杯另一側的切口內，小心插入鋁片。  
(7)放一張廚房紙巾、再滴入 3M 1ml 的氫氧化鈉溶液。  
(8)最後加上同規格的上蓋即已完成第三代電池。
  - 4.兩電極接上鱷魚夾線、安培計、數字型電錶後(使用時以瓶子或手部加壓以減少電阻)，以碼錶計時並量測此自製電池的電壓及電流大小。將結果記錄於表三~四中。
  - 5.步驟同上，只是少掉玻璃紙而其餘則相同。將結果記錄於表五中。
- 示範以先不加電解液的小果凍杯第三代電池製作流程相片如下：



先放一張廚房紙巾在果凍杯內



燒過的氧化鐵小心插入果凍杯其中一側的切口內



再放一張廚房紙巾



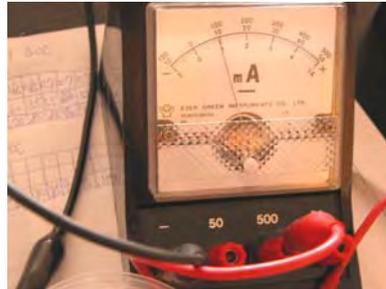
放入比廚房紙巾略大的玻璃紙



將鋁片小心插入果凍杯另一側的切口內、再放一張廚房紙巾



最後加上同規格的上蓋，使用時加壓以減少電阻



使用時以手部加壓以減少電阻 電流電壓可以達到 100mA 左右

### 【研究三】以自製環保的廢鋁鐵電池進行電解水、電解硫酸銅、電鍍銅的實驗

#### 實驗五、【電解水實驗步驟】

- 1.將回收保麗龍切割成可放置布丁盒的杯座，放入自製雙層布丁盒電解槽，使兩電極孔朝上備用。
- 2.從雙層布丁盒電解槽洞內加入 5 ml 的 0.1M 氫氧化鈉水溶液，在標示+極的洞口插入碳棒、負極的洞口插入捲好的鐵片或銅片後，接著就在洞內加一些清潔劑。
- 3.將自製鐵鋁電池接上鱷魚夾線、安培計，再與步驟 2 的電解槽串聯後，開始以碼錶依預定時間記錄此負載電流，並以數字型電錶量測電壓，觀察氣泡的生成量等，將結果記錄於表六~八中。

#### 實驗六、【電解硫酸銅溶液實驗步驟】

- 1.同上。
- 2.從雙層布丁盒電解槽洞內加入 5 ml 的 0.5M 硫酸銅水溶液，在標示+極的洞口插入碳棒、-極的洞口插入卷筒狀鐵或銅箔後，接著就在洞口加入一些清潔劑。
- 3.將自製廢鐵鋁電池接上鱷魚夾線、安培計，再與步驟 2 的電解槽串聯後，以碼錶依預定時間記錄此負載電流，並以數字型電錶量測電壓、觀察那一極可產生氣體...等，將結果記錄於表九~十中。

## 實驗七、【電鍍銅實驗步驟】

1. 同上。
2. 從雙層布丁盒電解槽洞內加入 5 ml 的 0.5M 硫酸銅水溶液，在標示 + 極的洞口插入捲成筒狀的銅箔、負極洞口插入碳棒、卷筒狀鐵或銅箔。
3. 將自製廢鐵鋁電池接上導線、安培計，再與步驟 2 的電解槽串聯後，以碼錶依預定時間記錄此負載電流，並以數字型電錶量測電壓等，將結果記錄於表十一~十三中。

示範以小布丁杯第二代廢鋁鐵電池電鍍銅可進行電解水及電鍍銅的雙重效果實驗相片圖示如下：



在布丁杯上打洞並黏上小 L 型投影片



用鉗子將鐵片成筒狀



將鐵片用酒精燈燒過當惰性正極



廢鋁鐵第二代電池中可看見負極處生成較多的氣泡 而正極處生成較少的氣泡



以注射針筒電鍍槽電鍍銅(正極銅箔、負極碳棒)



相當於可同時電解水及電鍍銅



電鍍後的碳棒上吸附還原後的銅



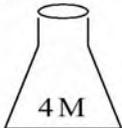
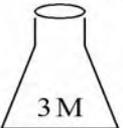
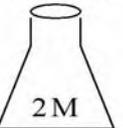
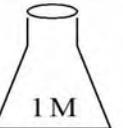
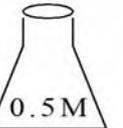
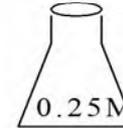
負極若為鐵片則銅析出會更多  
左為電鍍前、右為電鍍後

## 【研究四】自製高功率金屬空氣燃料電池的研究

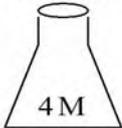
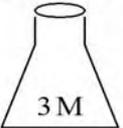
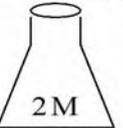
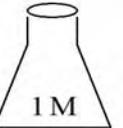
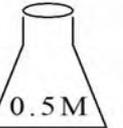
### 實驗八、【廢鋁罐或其它金屬空氣燃料電池製作及實驗步驟】

1. 將冰棒模型槽一側剪切開，預留可黏貼石墨紙的邊即可。
2. 先以矽膠注射器固定中性矽膠，用 Teflon 塗料塗在冰棒模型槽切開的邊上，再將石墨紙以矽膠固定在冰棒模型槽切開的一側上。
3. 貼上石墨紙的外側，用 Teflon 塗料塗滿，以免水由石墨層外滲。
4. 需等黏貼矽膠及 Teflon 塗料乾燥後才算正極空氣極完成。
5. 先配製 0.25 M~ 4 M 的食鹽水溶液當電池的電解液備用。配製方式如下：

- (1) 先精稱 23.4g 的氯化鈉於裝有一些逆滲透水的燒杯中，以乾淨的玻璃棒攪拌溶解之，再倒入逆滲透至 100mL 量瓶的刻度線，混合均勻後即為 4M 的 NaCl 水溶液。以此方式，配製出其它濃度所需的 4M 的 NaCl 水溶液量。
- (2) 分別於各標示的 100 mL 量瓶中，倒入所需 4M 的 NaCl 水溶液量及水量，混合均勻後即為 0.25~3M 的 NaCl 水溶液。

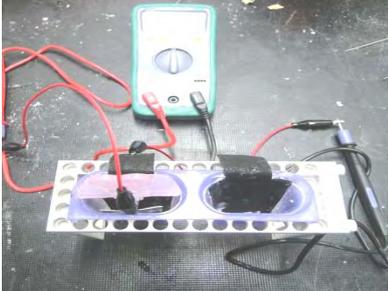
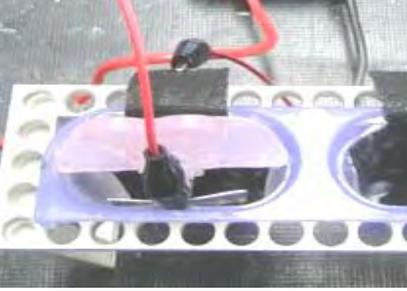
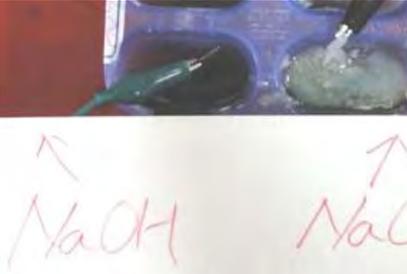
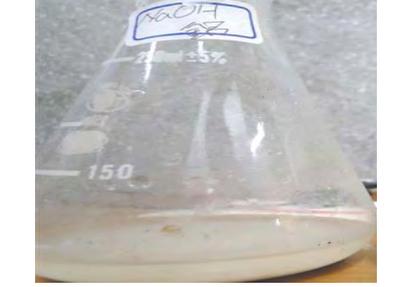
						NaCl 水溶液
4M NaCl (mL)	75	50	25	12.5	6.25	
逆滲透水 (mL)	25	50	75	87.5	93.75	

6. 配製 0.25 M~ 4 M 氫氧化鈉水溶液當電池的電解液備用。配製方式如下：
- (1) 精稱 16.0g 的氫氧化鈉於小燒杯中，加少量的水使之溶解後，倒入量瓶，再加水沖洗入量瓶中，最後稀釋至 100 ml 標線，此即為 4 M 氫氧化鈉溶液。以此方式，配製出其它濃度所需的 4M 的 NaOH 水溶液量。
- (2) 分別於各標示的 100 mL 量瓶中，倒入所需 4M 的 NaOH 水溶液量及水量，混合均勻後即為 0.25~3M 的 NaOH 水溶液。

						NaOH 水溶液
4M NaOH (mL)	75	50	25	12.5	6.25	
逆滲透水 (mL)	25	50	75	87.5	93.75	

7. 剪下以砂紙磨光後的鋁罐面積大小為 1.5×4、3×4、4×6 cm<sup>2</sup>。
  8. 將已製備好正極空氣極的塑膠盒內加入 0.25 M 50.0 ml 的氯化鈉水溶液，以切半的冰盒蓋當兩電極的間距。
  9. 插入 1.5×4 cm<sup>2</sup>、3×4 cm<sup>2</sup> 或 4×6 cm<sup>2</sup> 的鋁片當負極電極，兩電極接上鱷魚夾線、安培計、數字型電錶後，以碼錶計時並量測此自製電池的電壓及電流大小。將結果記錄於表十四中。
  10. 將步驟 8 氯化鈉水溶液濃度分別換成 0.5 M 或 1~4M 的氯化鈉水溶液，其餘步驟與前同。分別將結果記錄於表十五中，如附件一。
- 
11. 將電解液換成 0.25 M~ 4.0 M 的氫氧化鈉水溶液，其餘步驟與前同。分別將結果記錄於表十六，如附件一。
  12. 將負極材料鋁換為鎂金屬電極，電解液為 0.25 M~ 4.0M 的 NaCl 或 NaOH 水溶液，同上述步驟操作，以將結果記錄於表十七~十八，如附件二。
  13. 將負極材料鎂換為鋅金屬電極，電解液為 0.25 M~ 4.0M 的 NaCl 或 NaOH 水溶液，同上述步驟操作，以將結果記錄於表十九~二十，如附件三。
  14. 將負極材料鋅換為銅金屬電極，電解液為 0.25 M~ 4.0M 的 NaCl 或 NaOH 水溶液，同上述步驟操作，以將結果記錄於表二十一~二十二，如附件四。

自製不同負極金屬的空氣燃料電池實驗圖示如下：

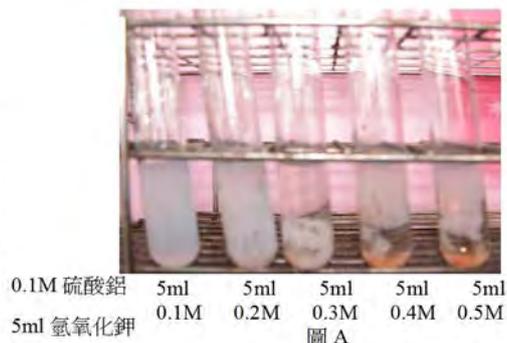
		
<p>以三用電表測量電池電壓及電流</p>	<p>以市售冰棒模具做為電解液槽</p>	<p>冰棒模加鱷魚夾固定金屬電極</p>
		
<p>分別製造出以 NaOH 和 NaCl 為電解液分別製造白色膠狀物質</p>	<p>由此可見，NaCl 為電解液所產生的膠狀物質較多</p>	<p>以 NaCl 為電解液，膠狀物質明顯多出許多</p>
		
<p>此二瓶為收集到的白色膠狀物質</p>	<p>以 NaOH 為電解液只產生白色固體沈澱物</p>	<p>以 NaCl 為電解液，黃、白兩層膠狀物在透明溶液的下層</p>

## 【研究五】自製鋁空氣燃料電池放電後廢棄物的減廢研究

### 實驗九、【讓鉀鋁礬的膠狀物吸附水中重金屬離子】

#### (一)【硫酸鋁與氫氧化鉀反應的少量比例測試步驟】

1. 以吸量管吸取過量鋁片與 0.1M 硫酸銅溶液完全反應後的硫酸鋁溶液各 10ml 於已標示的玻璃試管中。
2. 加入已配製好的 1M、2M、3M、4M、5M 氫氧化鉀溶液 1ml 於步驟 1 的試管內，觀察其有無形成膠態或白絨毛狀的沉澱物，結果如右圖 A 所示。



#### (二)【硫酸鋁與氫氧化鉀反應的稍多量比例反應步驟】

1. 以吸量管吸取約 0.1M 的硫酸鋁溶液 50ml 於小燒杯中。
2. 加入已配製好的 0.5M 氫氧化鉀溶液 20ml 於燒杯內，稍攪拌使其均勻混合形成膠態或白絨毛狀的沉澱物。
3. 將保特瓶切半，瓶蓋以熱熔槍熔出小洞來。然後蓋在瓶口上，倒置並固定在鐵架上備用。
4. 在已鑽好洞的瓶蓋上放上略小一些些的圓形濾紙後，將此倒置的半保特瓶放到燒杯上(效果不穩，改以放在有漏斗的錐形瓶上)，並以鐵架支撐。倒入步驟 2 的白絨毛狀沉澱物，去掉澄清液後，再倒入硫酸銅廢液，等待吸附廢液中的重金屬離子。
5. 配製 0.2~1.0M 的硫酸銅溶液為標準液，將經白絨毛狀沉澱物吸附前後的硫酸銅廢液與標準液分別一一插入光路徑箱預定槽的洞內，測量各光度值，並將結果記錄於表二十三中。

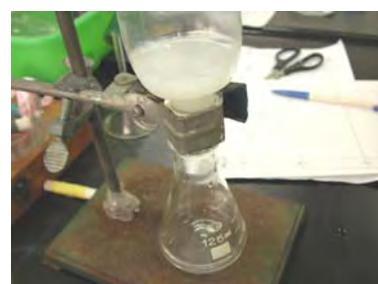
實驗圖示如下：



自製的光吸收衰減儀



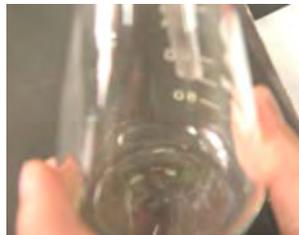
將承載毛絨狀沉澱物的保特瓶置於燒杯上但太不穩



改用錐形瓶使液滴沿壁面流入瓶內



開始將硫酸銅廢液倒入



剛濾出的液滴為無色的

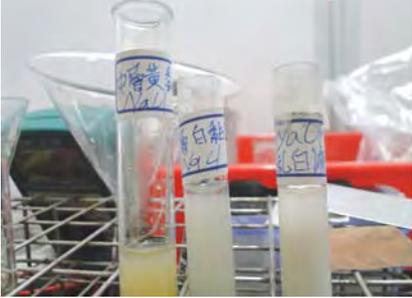


濾完後俯看保特瓶的情形



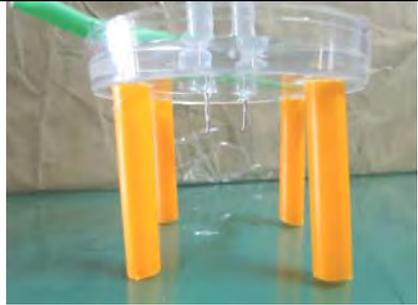
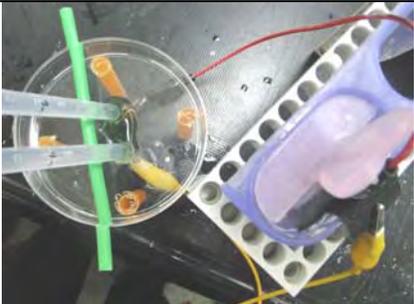
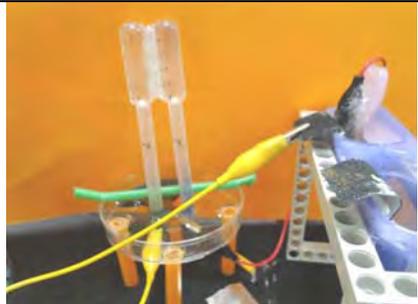
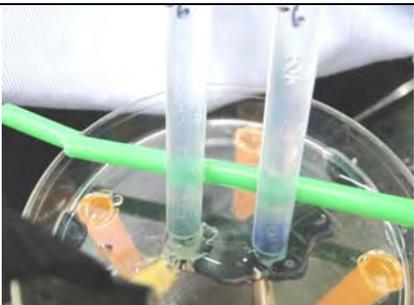
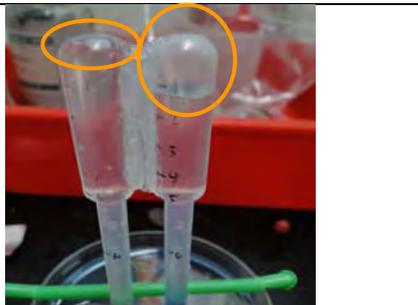
拿下瓶蓋的情形

(三) 廢鋁罐製做空氣燃料電池，放電後的膠狀廢棄物進行硫酸銅高濃度減廢實驗圖示如下：

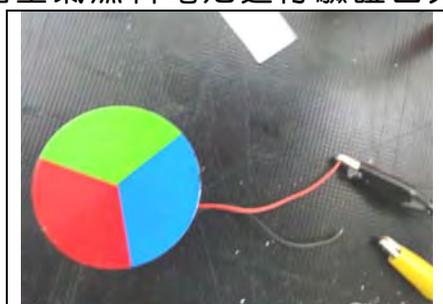
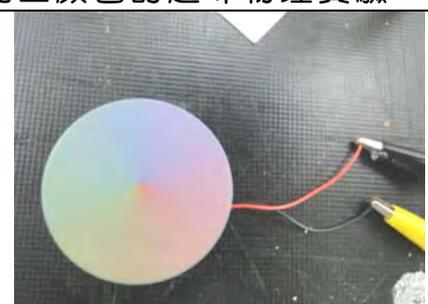
 <p>燃料電池以 NaCl 為電解液可分離出白色、黃膠狀物</p>	 <p>將廢寶特瓶蓋鑽出五孔</p>	 <p>並於內部加上濾紙以進行過濾測試</p>
 <p>漏斗下方放置試管可觀察白色黏液是否有吸附重金屬離子之效果</p>	 <p>此為燃料電池以不同電解液產生膠狀物吸附重金屬離子的圖示</p>	 <p>白色膠狀物正在吸附硫酸銅水溶液中</p>
 <p>1.0M 硫酸銅以燃料電池 NaCl 電解液之白色膠狀物，吸附硫酸銅過濾後之比較，左邊為吸附後</p>	 <p>1.0M 硫酸銅以燃料電池 NaCl 電解液之黃色膠狀物，吸附硫酸銅過濾後之比較，左邊為吸附後</p>	 <p>由此可見兩者皆有吸附重金屬離子吸附效果</p>

## 【研究六】以自製鋁空氣燃料電池進行趣味的物理化學實驗

### (一)以自製鋁空氣燃料電池進行自製電解水微量裝置的趣味化學實驗

		
<p>利用細鐵釘、粗吸管、培養皿做出 點解水槽</p>	<p>以兩枝半滴管及一支細吸管作為排 水集氣機構</p>	<p>由此圖可見以鐵釘作為電極，並於 下方留有電輸入接頭</p>
		
<p>以燃料電池進行電解水實驗</p>	<p>測驗電池能否將廣用試劑分成黃藍 兩部分</p>	<p>實驗進行中的全部裝置圖示</p>
		
<p>逆滲透水只加廣用試紙的色水，電 阻不小，居然用我們自製的鋁空氣 燃料電池就可電解水分出酸鹼性</p>	<p>一段時間後，果然正極生氧的水呈 弱酸性的黃綠色而負極生氫的水呈 弱鹼性的藍色</p>	<p>負極處產生的氣體量明顯多於正 極，可能因電解水量已減少，正極 處產生的氣體有逸散至空氣中吧！</p>

### (二)以自製鋁空氣燃料電池進行驗證白光三顏色的趣味物理實驗

	
<p>自製紅、藍、綠三分天下的圓形轉 盤，黏置於下方的小馬達上，馬達 呈現未旋轉前的三原色</p>	<p>接通我們自製的鋁空氣燃料電 池後，旋轉轉盤呈現混合三原色 反射的光而形成複合的近似白光</p>

(三)以自製鋁空氣燃料電池進行驗證電能互相轉換的趣味物理實驗



市售風扇組未通電前，沒有風能，衛生紙呈受地球重力拉引的下垂狀

接通燃料電池後，啟動風扇而將衛生紙明顯的吹飄了起來

(四)以自製鋁空氣燃料電池進行驗證電能互相轉換及進階至電池串聯及燈泡串聯、並聯電路的趣味物理實驗

<p>將 6 槽廢鋁空氣燃料電池進行串聯的電路設計及測試</p>	<p>連接一個 LED 燈可亮 負載電流 45mA、電壓 3.26V</p>	<p>連接串聯的二個 LED 燈也可亮 負載電流 44.7mA、電壓 5.99V</p>
<p>連接串聯的三個 LED 燈仍可亮 負載電流 43.6mA、電壓 7.18V</p>	<p>連接串聯的四個 LED 燈不亮了 負載電流 42.8mA、電壓 8.67V</p>	<p>電池串聯，連接一個 LED 燈可亮 負載電流 45.1mA、電壓 2.63V</p>
<p>燃料電池串聯 6 槽，連接二個並聯 LED 燈全亮，負載電流 43.9mA、電壓 2.22V</p>	<p>6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯 連接並聯三個 LED 燈全亮 負載電流 42.3mA、電壓 2.11V</p>	<p>6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯 連接並聯接四個 LED 燈仍全亮 負載電流 41.7mA、電壓 2.02V</p>
		<p>6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯連接並聯五個 LED 燈還是全亮！ 負載電流 39.0mA、電壓 2.04V</p>

## 陸、研究結果

### 一、第一代~第三代廢鋁鐵電池實驗

表一、自製小型注射針筒型第一代廢鋁鐵電池放電過程(回收鋁片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  捲成筒狀當負極、氧化鐵片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  捲成筒狀當正極、3M 4ml 氫氧化鈉為電解液)【中間有投影片夾層】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
電流 mA	12.5	12	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
電壓 V	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

表二、自製小布丁杯第二代廢鋁鐵電池的放電過程(回收鋁片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  捲成筒狀當負極、氧化鐵片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  捲成筒狀當正極、3M5ml 氫氧化鈉為電解液)【中間有投影片夾層】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
電流 mA	12	15	18	22	22	22	21	21	22	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20
電壓 V	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

註：1 小時後，電壓仍維持 0.7V、而電流仍有約 20mA 的大小。

表三、自製小型果凍杯第三代廢鋁鐵電池的放電過程(回收鋁片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當負極、氧化鐵片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當正極、3M4ml 氫氧化鈉為電解液)【中間有玻璃紙夾層，上層加瓶子加壓】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
電流 mA	80	80	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	65	60	60	55	55	55	55	50
電壓 V	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7

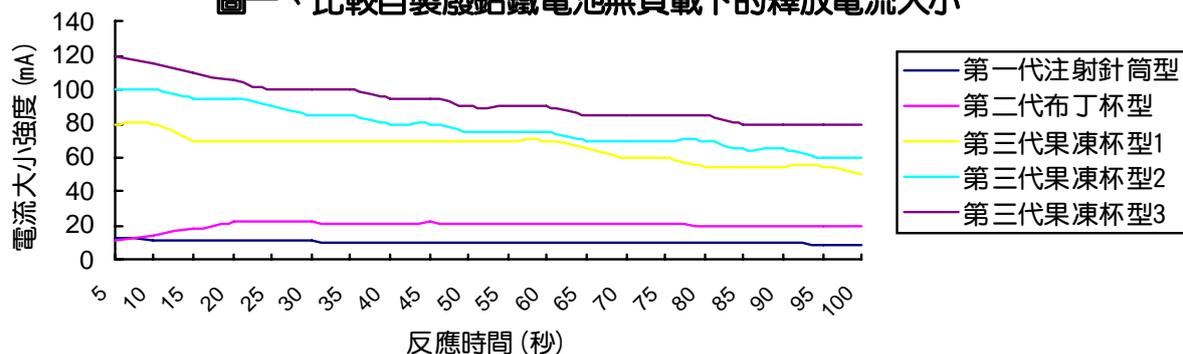
表四、自製小型果凍杯第三代廢鋁鐵電池的放電過程(回收鋁片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當負極、氧化鐵片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當正極、3M4ml 氫氧化鈉為電解液)【中間有玻璃紙夾層，上層以手加壓】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
電流 mA	100	100	95	95	90	85	85	80	80	75	75	75	70	70	70	70	65	65	60	60
電壓 V	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

表五、自製小型果凍杯第三代廢鋁鐵電池的放電過程(回收鋁片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當負極、氧化鐵片  $5 \times 10 \text{cm}^2$  當正極、3M4ml 氫氧化鈉為電解液)【中間沒有玻璃紙夾層，上層以手加壓】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
電流 mA	120	115	110	105	100	100	100	95	95	90	90	90	85	85	85	85	80	80	80	80
電壓 V	0.5	0.5	0.55	0.55	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.75	0.75

圖一、比較自製廢鋁鐵電池無負載下的釋放電流大小



## 二、電解水實驗

表六、自製果凍杯第三代廢鋁鐵電池電解水時的電池負載用電過程

(電解槽中碳棒當正極、銅箔當負極)

反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	70	60	50	40	33	24	23	15	14	12	有氣泡生成，可使清潔劑產生較少的氣泡	有氣泡生成，可使清潔劑產生較多的氣泡
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.4	0.4	0.35	0.3	0.25		

表七、自製果凍杯第三代廢鋁鐵電池電解水時的電池負載用電過程

(電解槽中碳棒當正極、鐵片當負極)

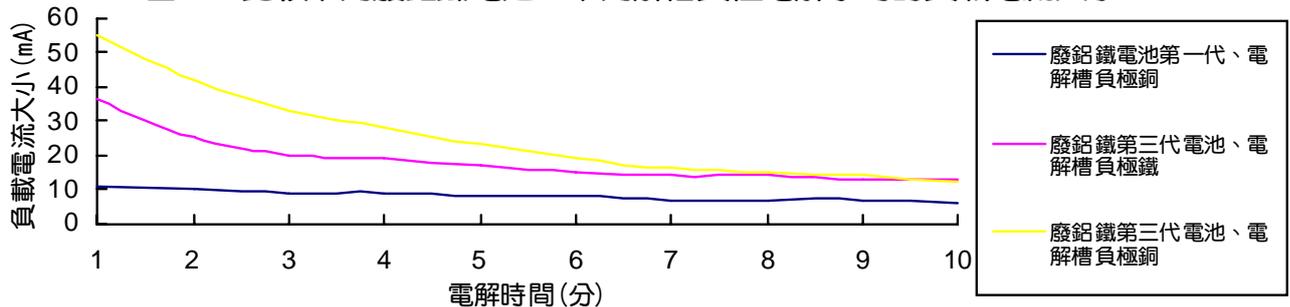
反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	36	25	20	19	17	15	14	14	13	13	有氣泡生成，可使加清潔劑起泡少	有氣泡生成，可使加清潔劑起泡多
電壓 V	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		

表八、自製 5ml 注射針筒型廢鋁鐵電池電解水時的電池負載用電過程

(電解槽中碳棒當正極、銅箔當負極)

反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	11	10	9	9	8	8	7	7	7	6	稍看到氣泡生成	不易看到氣泡生成
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		

圖二、比較不同廢鋁鐵電池、不同解槽負極電解水時的負載電流大小



## 三、電解硫酸銅溶液

表九、自製果凍杯第三代電池電解硫酸銅的用電過程(電解槽中碳棒當正極、銅箔當負極)

反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	36	28	25	23	21	20	19	18	18	17	有氣泡生成，可使加清潔劑起泡很明顯	無氣泡生成，但碳棒上可看到明顯的金屬銅析出
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.4	0.4	0.4		

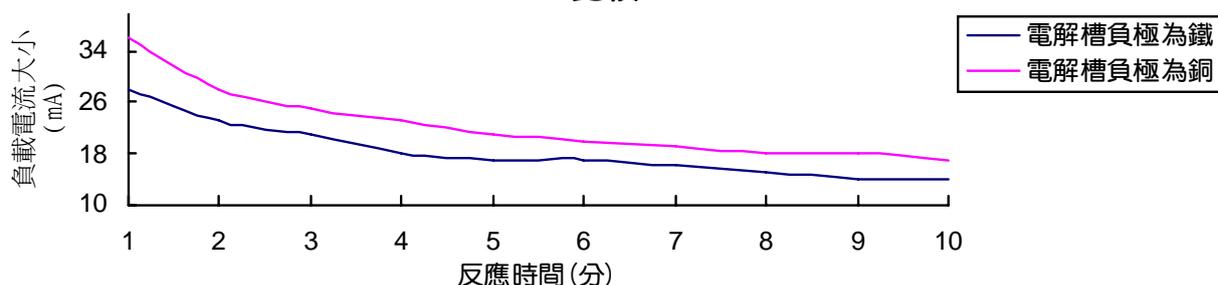
硫酸銅電解液的顏色明顯變淡。

表十、自製果凍杯第三代電池電解硫酸銅的用電過程(電解槽中碳棒當正極、鐵片當負極)

反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	28	23	21	18	17	17	16	15	14	14	有氣泡生成，可使加清潔劑起泡很明顯	無氣泡生成，但碳棒上可看到明顯的金屬銅析出
電壓 V	0.4	0.4	0.4	0.44	0.44	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		

硫酸銅電解液的顏色明顯變淡。

圖三、以廢鋁鐵電池電解硫酸銅用不同電解槽負極產生的負載電流大小比較



#### 四、電鍍銅

以下實驗結果則以廢鋁鐵第三代電池所實驗出來的結果

表十一、自製小型電鍍銅的用電過程(銅棒當正極、銅片當負極)

反應時間 (秒)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
電流 mA	22	22	21	21	20	19	18	17	17	16	16	15	15	14	14	13	13	13	12	12
電壓 V	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

硫酸銅電解液的顏色維持不變色。

表十二、自製小型電鍍銅的用電過程(銅棒當正極、鐵片當負極)

反應時間(秒)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
電流 mA	35	32	30	29	27	25	25	24	25	24	24	24	24	24	24	24	23	22	22	22
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45

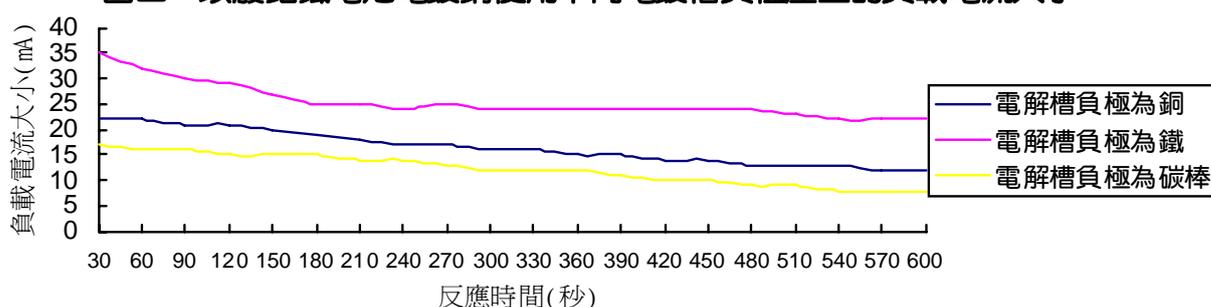
硫酸銅電解液的顏色維持不變色。

表十三、自製小型電鍍銅的用電過程(銅棒當正極、碳棒當負極)

反應時間 (秒)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
電流 mA	17	16	16	15	15	15	14	14	13	12	12	12	11	10	10	9	9	8	8	8
電壓 V	0.55	0.55	0.55	0.6	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

硫酸銅電解液的顏色維持不變色。

圖四、以廢鋁鐵電池電鍍銅使用不同電鍍槽負極產生的負載電流大小

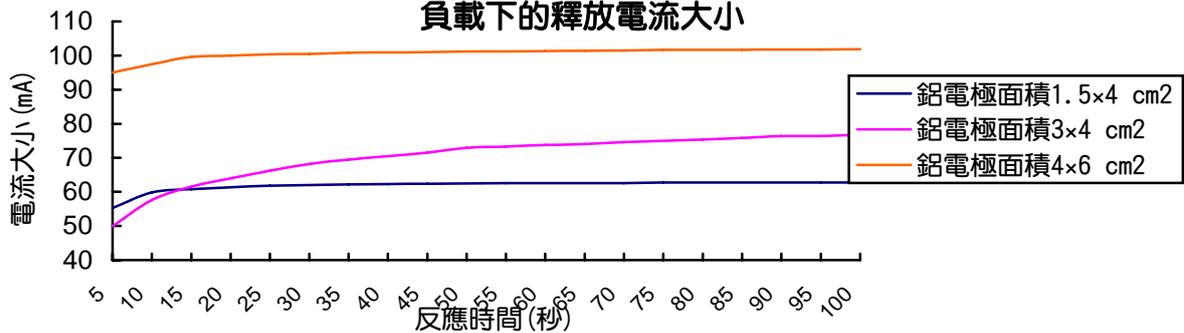


## 五、廢鋁罐或其它金屬空氣燃料電池製作及實驗

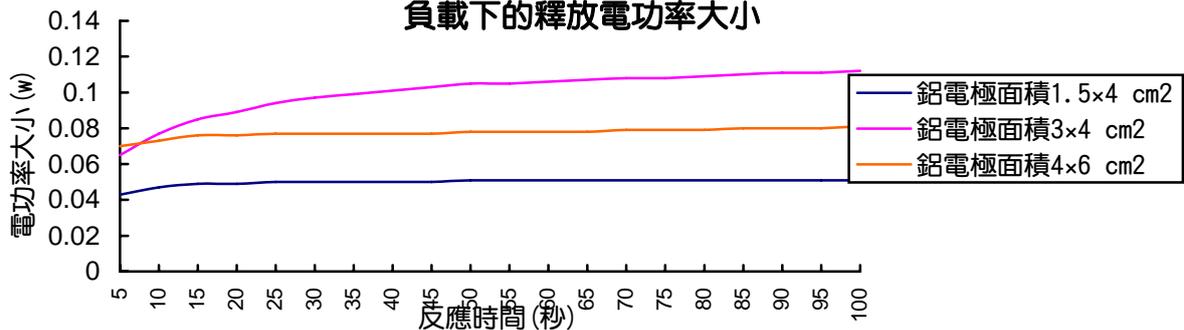
表十四、自製空氣鋁燃料電池【0.25 M 50.0 ml 的氯化鈉水溶液】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
鋁電極面積 1.5×4 cm <sup>2</sup>	電流 mA	55.3	59.8	60.8	61.3	61.8	62.0	62.2	62.3	62.4	62.5	62.6	62.6	62.6	62.7	62.7	62.7	62.7	62.7	62.7
	電壓 V	0.784	0.789	0.803	0.805	0.807	0.808	0.809	0.809	0.809	0.809	0.809	0.809	0.809	0.809	0.809	0.808	0.808	0.809	0.809
	功率 w	0.043	0.047	0.049	0.049	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
鋁電極面積 3×4 cm <sup>2</sup>	電流 mA	49.9	57.6	61.5	64.0	66.2	68.2	69.5	70.5	71.5	72.9	73.3	73.8	74.1	74.6	75.0	75.4	75.8	76.4	76.4
	電壓 V	1.295	1.340	1.374	1.397	1.416	1.425	1.430	1.434	1.435	1.437	1.438	1.439	1.441	1.443	1.446	1.447	1.448	1.448	1.450
	功率 w	0.065	0.077	0.085	0.089	0.094	0.097	0.099	0.101	0.103	0.105	0.105	0.106	0.107	0.108	0.108	0.109	0.110	0.111	0.111
鋁電極面積 4×6 cm <sup>2</sup>	電流 mA	95.0	97.5	99.6	100.0	100.4	100.5	100.8	100.9	101.0	101.2	101.3	101.4	101.5	101.7	101.7	101.8	101.8	101.8	101.9
	電壓 V	0.732	0.751	0.760	0.763	0.764	0.764	0.764	0.764	0.765	0.766	0.768	0.770	0.772	0.774	0.776	0.778	0.782	0.784	0.787
	功率 w	0.070	0.073	0.076	0.076	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.078	0.078	0.078	0.078	0.079	0.079	0.079	0.080	0.080	0.080

圖五、廢鋁空氣電池在0.25MNaCl電解液濃度、不同負極電極面積、無負載下的釋放電流大小



圖六、廢鋁空氣電池在0.25MNaCl電解液濃度、不同負極電極面積、無負載下的釋放電功率大小



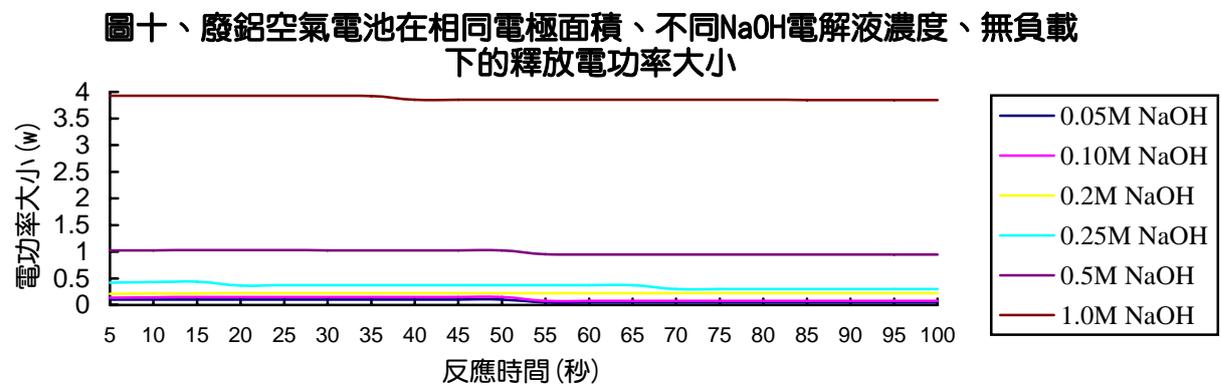
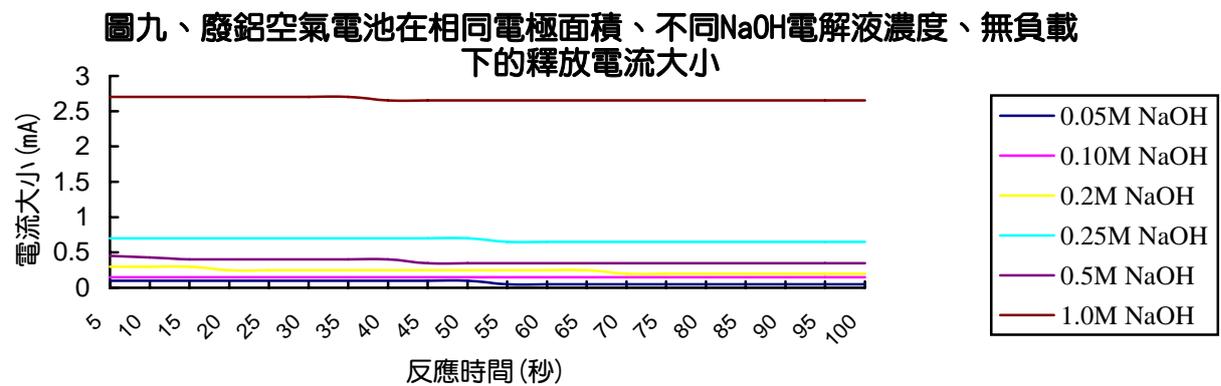
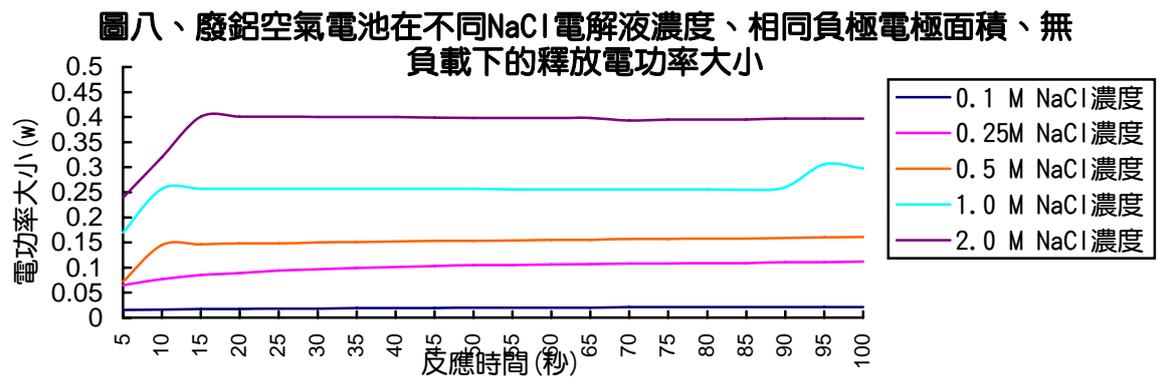
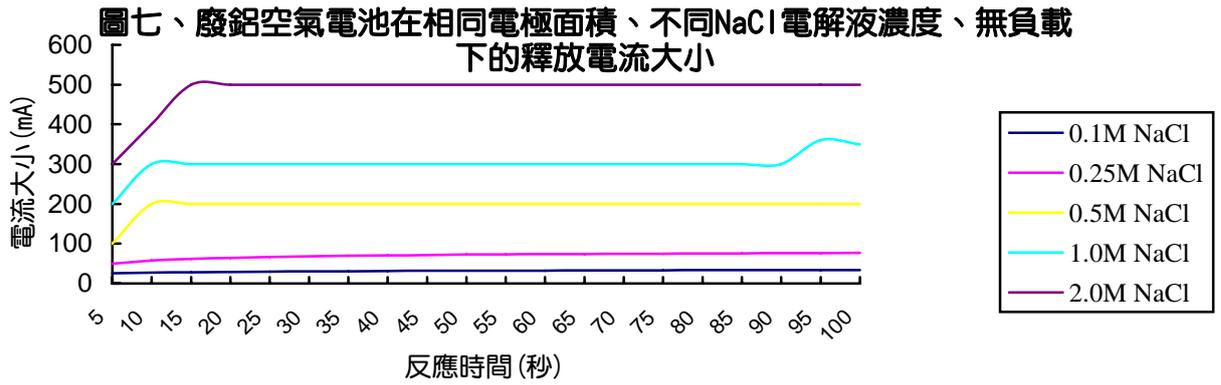
表十五~十六為自製空氣鋁燃料電池【鋁電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氯化鈉或氫氧化鈉水溶液濃度】如附件一、

表十七~十八為自製空氣鎂燃料電池【鎂電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氯化鈉或氫氧化鈉水溶液濃度】如附件二、

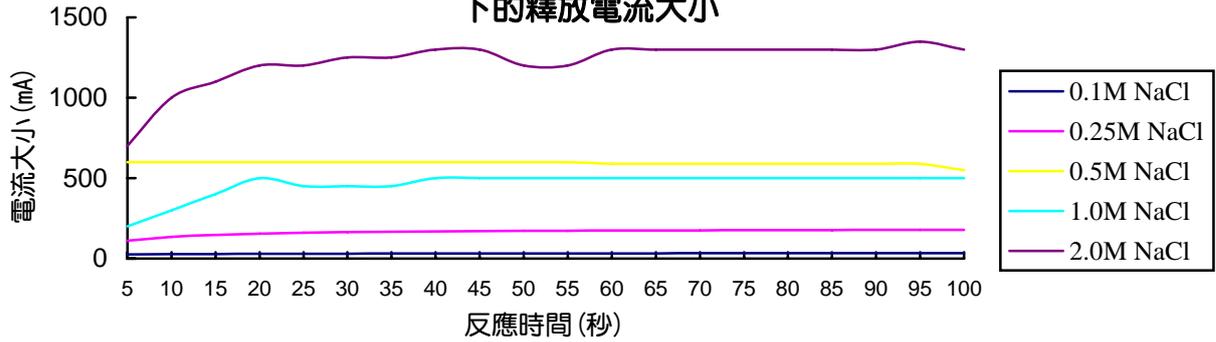
表十九~二十為自製空氣鋅燃料電池【鋅電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氯化鈉或氫氧化鈉水溶液濃度】如附件三、

表二十一~二十二為自製空氣銅燃料電池【銅電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氯化鈉或氫氧化鈉水溶液濃度】如附件四

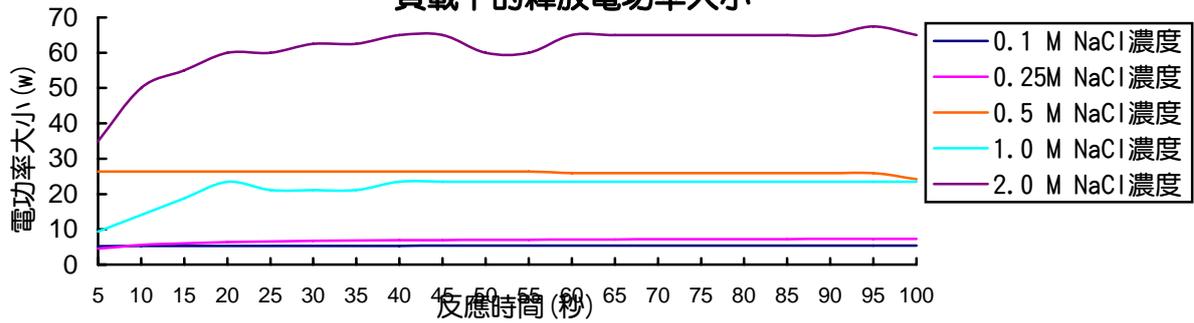
以上表十五~二十二實驗結果作圖如下圖七~圖二十六：



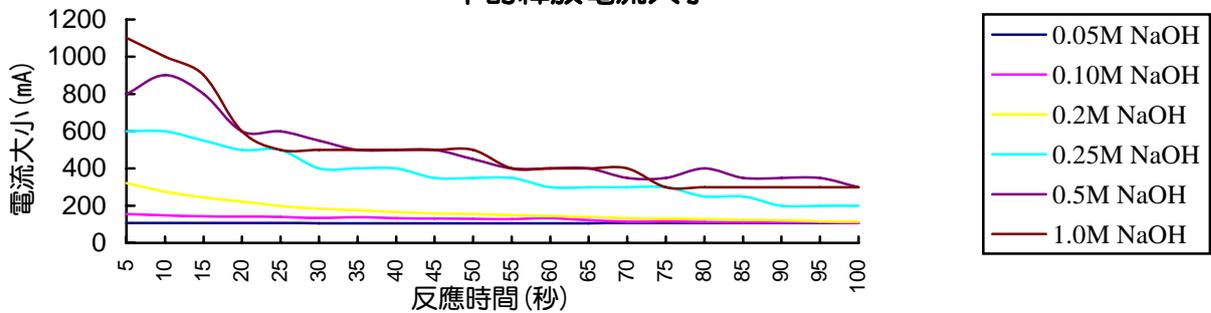
圖十一、鎂空氣電池在相同電極面積、不同NaCl電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



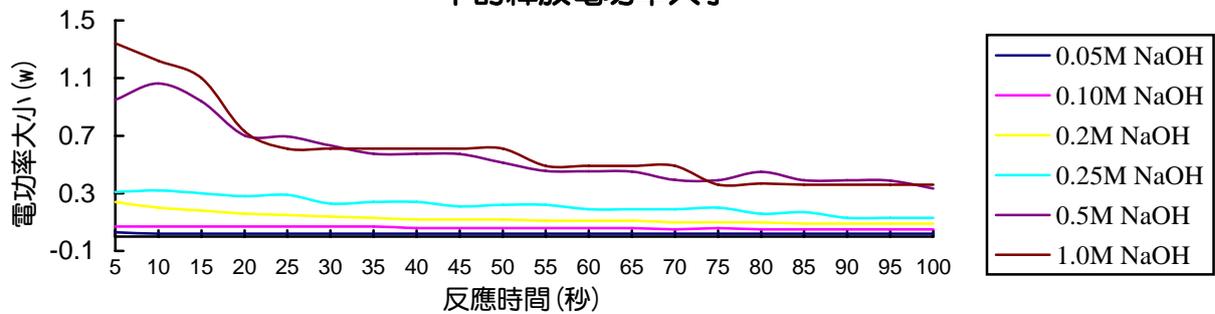
圖十二、鎂空氣電池在不同NaCl電解液濃度、相同負極電極面積、無負載下的釋放電功率大小



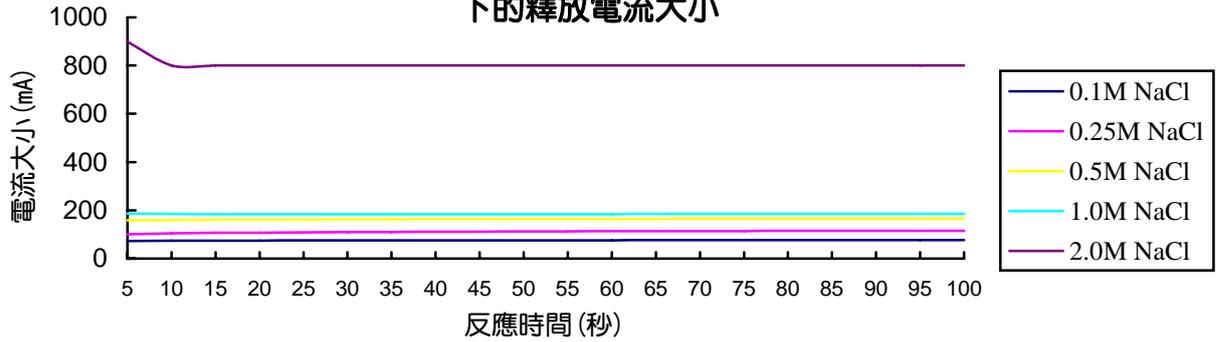
圖十三、鎂空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



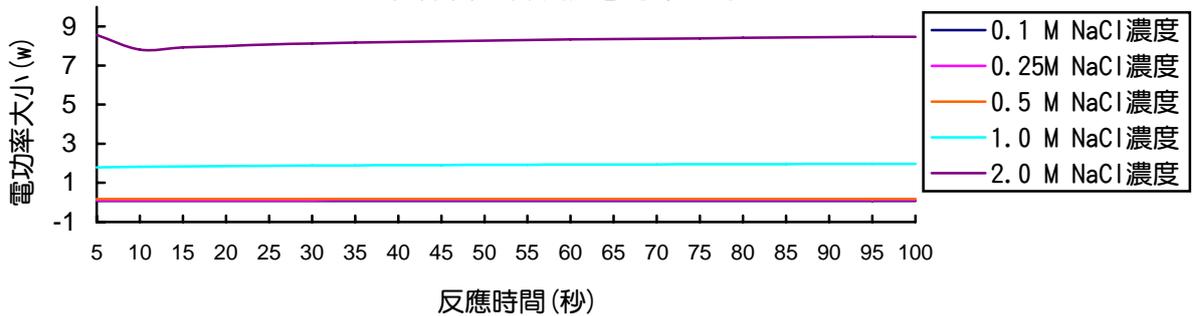
圖十四、鎂空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電功率大小



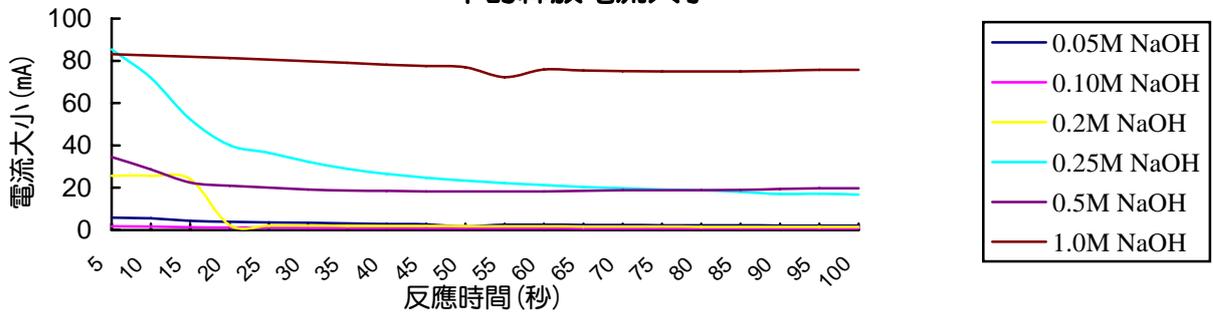
圖十五、鋅空氣電池在相同電極面積、不同NaCl電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



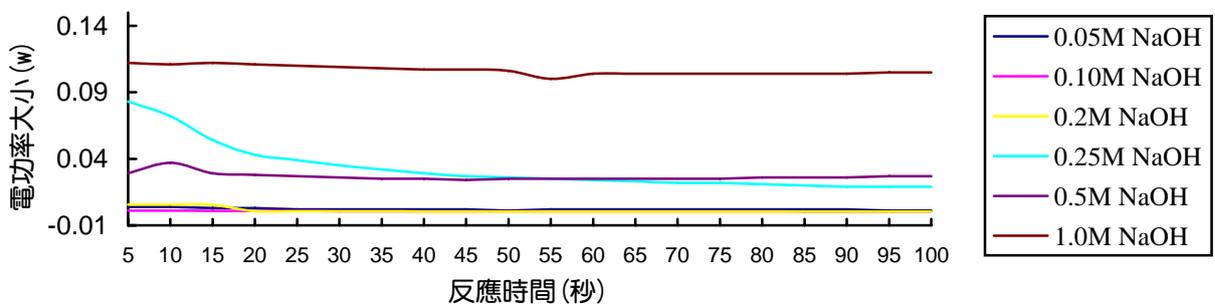
圖十六、鋅空氣電池在不同NaCl電解液濃度、相同負極電極面積、無負載下的釋放電功率大小



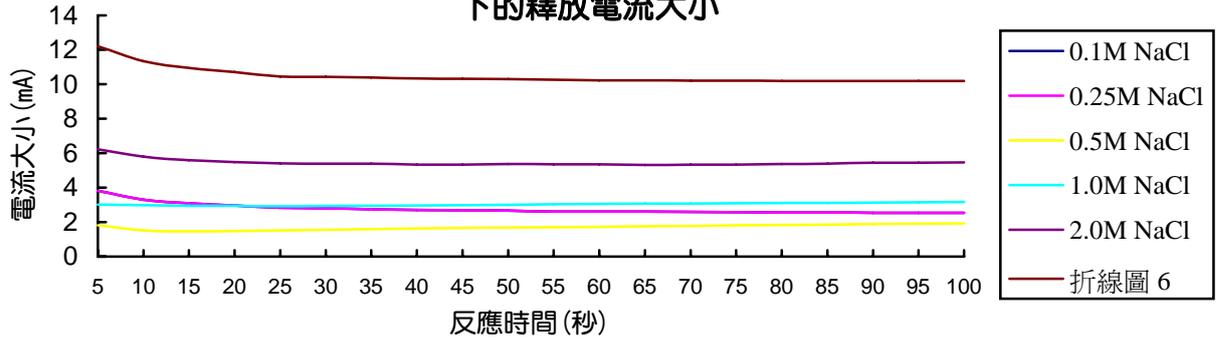
圖十七、鋅空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



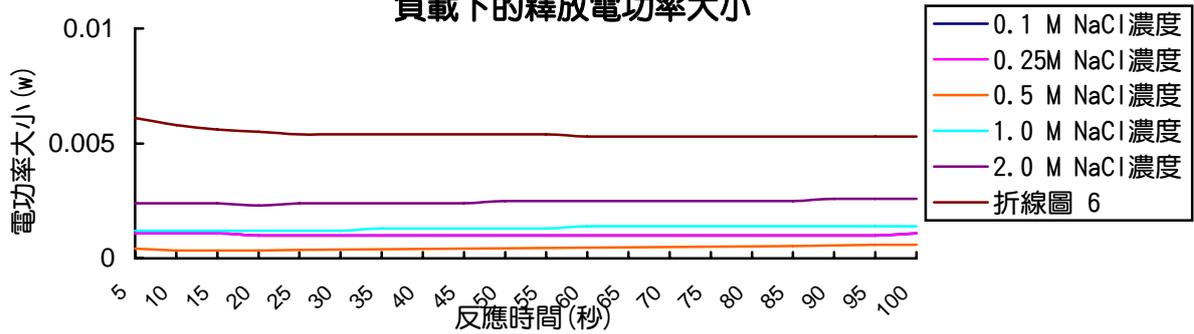
圖十八、鋅空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電功率大小



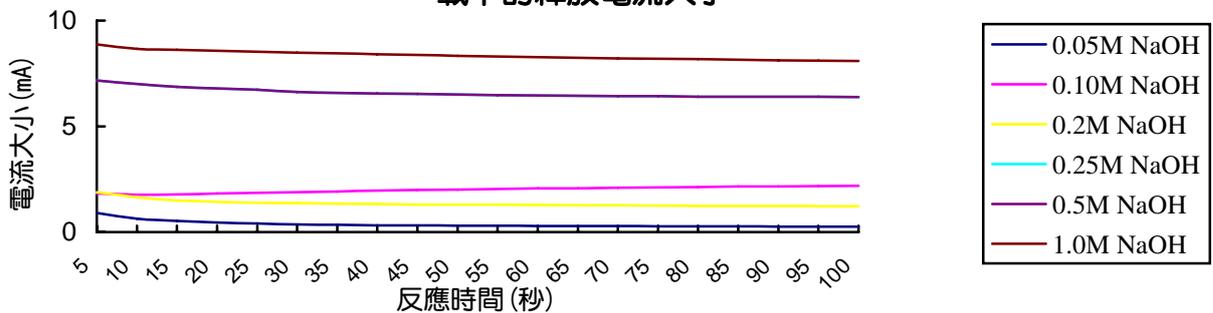
圖十九、銅空氣電池在相同電極面積、不同NaCl電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



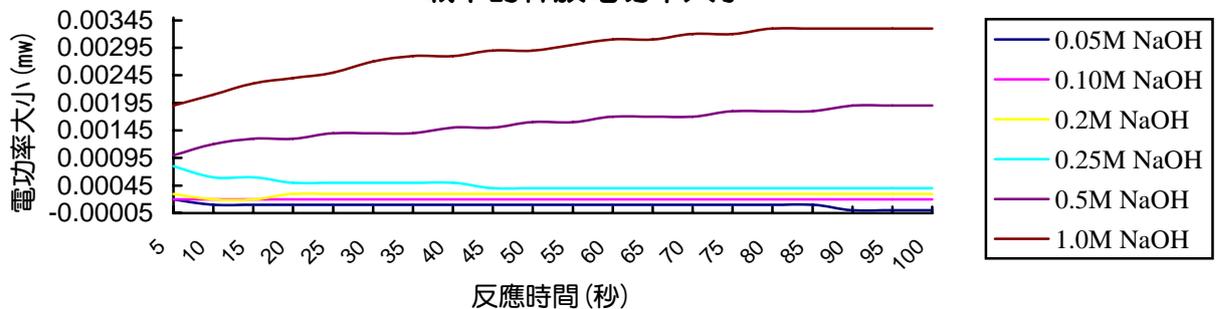
圖二十、銅空氣電池在不同NaCl電解液濃度、相同負極電極面積、無負載下的釋放電功率大小



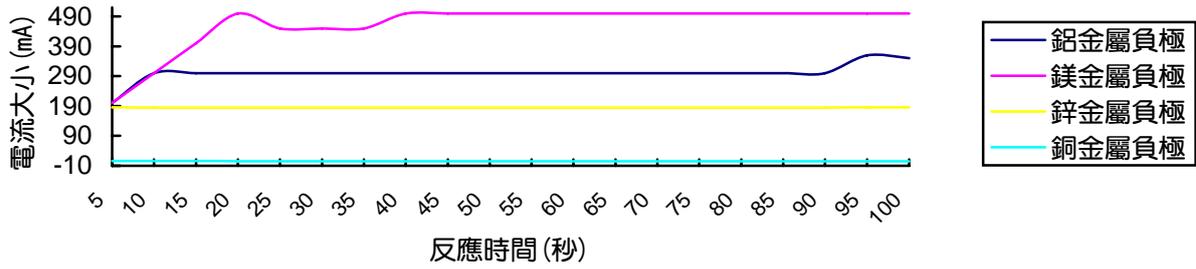
圖二十一、銅空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



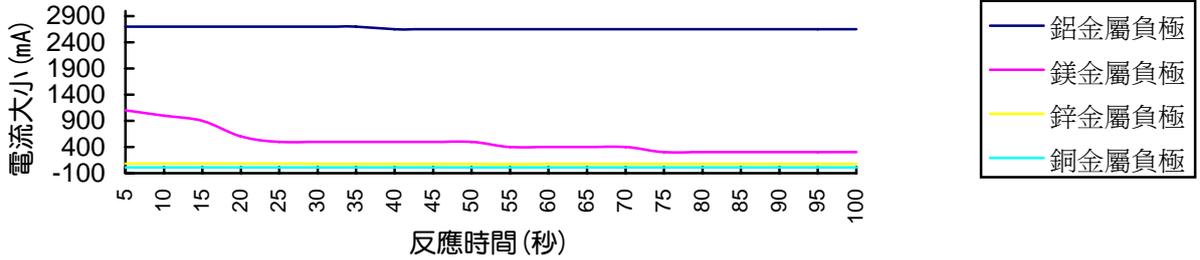
圖二十二、銅空氣電池在相同電極面積、不同NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電功率大小



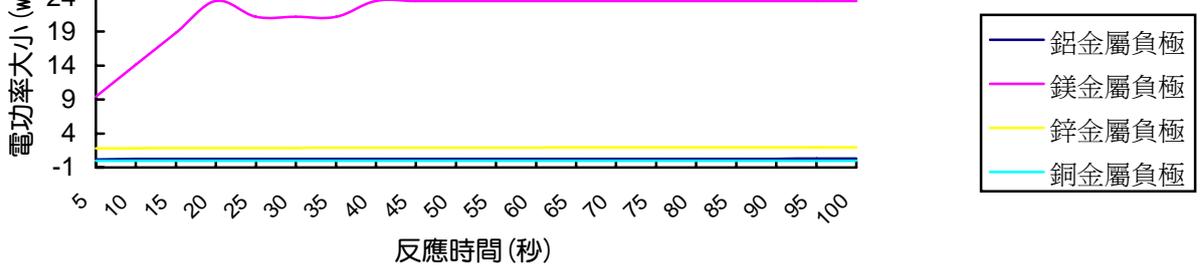
圖二十三、不同金屬負極的空氣燃料電池在相同電極面積、相同1.0M NaCl電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



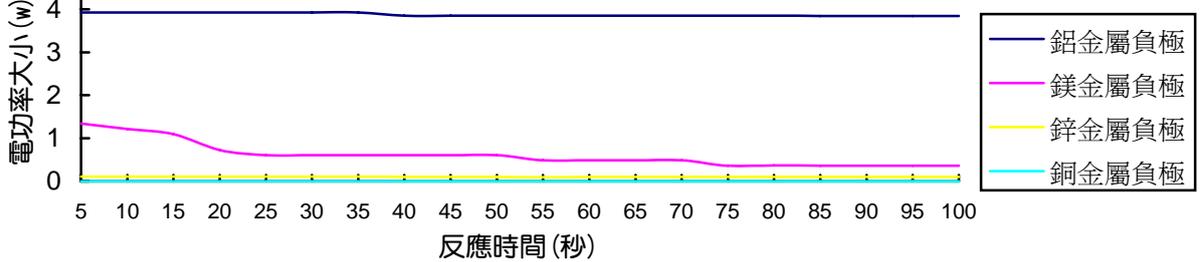
圖二十四、不同金屬負極的空氣燃料電池在相同電極面積、相同1M NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電流大小



圖二十五、不同金屬負極的空氣燃料電池在相同電極面積、相同1.0M NaCl電解液濃度、無負載下的釋放電功率大小



圖二十六、不同金屬負極的空氣燃料電池在相同電極面積、相同1M NaOH電解液濃度、無負載下的釋放電功率大小

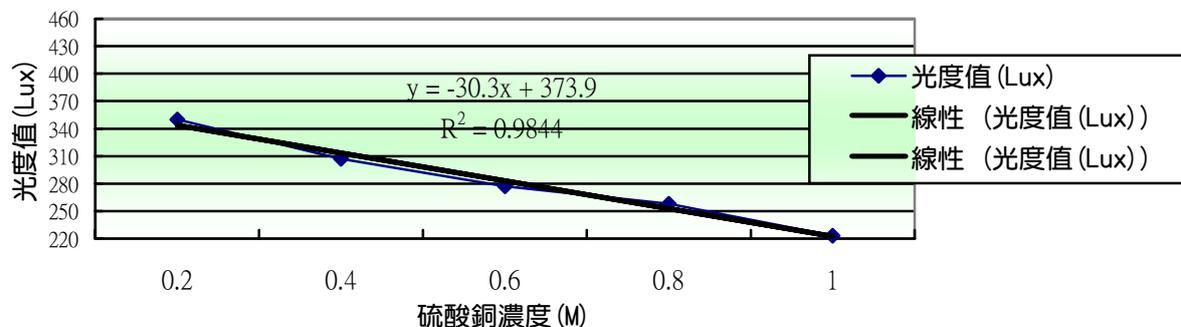


## 六、讓鉀鋁礬的膠狀物吸附水中重金屬離子的實驗

表二十三、硫酸銅標準液及硫酸銅廢液經鉀鋁礬毛絨狀物過濾前後的光度值測定

硫酸銅濃度 (M)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	硫酸銅廢液濾前	硫酸銅廢液濾後
光度值 (Lux)	425	350	307	277	258	223	245	288

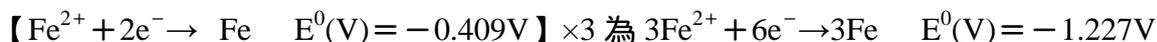
圖二十七、測定鉀鋁礬毛絨狀物吸附硫酸銅效果的硫酸銅檢量線製作



## 柒、討論

### 一、第一代~第三代廢鋁鐵電池

1.原以為用學校原鋅銅電池製作方式，兩金屬的周圍都有其金屬離子為電解液，中間則以玻璃紙當鹽橋，這樣讓鋁進行氧化反應而亞鐵離子進行還原反應，總電位可能有約 2V 左右？



結果根本看不到產生的電流有多少，後來再仔細看所有的標準還原電位時，才發現硫酸鋁是酸性的，硫酸亞鐵也是酸性的，會不會兩邊金屬都各直接與酸反應呢？還是...？

2.我們也曾想過是否可以像鉛電池這樣也做個鐵電池？所以燒過的鐵與鐵當正負電極，而氫氧化鈉溶液當電解液的結果是不行的。那如果改用硫酸為電解液？雖沒花時間去研究，但恰好可同時利用廢鋁罐和鐵罐的鋁鐵電池可行，就暫時不去研究它了。我們已為如原想法中去推測鋁鐵電池的電壓應該不小，但事實並非如此，反應似乎更形複雜而且不確定性。

3.由上表及圖示可知，以不同容器及方式製造的環保廢鐵鋁電池，結果是

廢鐵鋁電池種類	無負載下 100 秒的放電 I 比較(mA)	3MNaOH 電解液的體積 (ml)	正、負電極面積大小及特點強調	優點比較	缺點比較
自製小型注射針筒型第一代電池	9	4	Fe 為 5cm <sup>2</sup> 燒過，和鋁為 5cm <sup>2</sup> 皆捲成筒狀	體積小巧可愛，固定容易	雖比傳統好但放電 I 不大
自製小布丁杯第二代電池	20	5		造型漂亮但較不易固定	電解液多一些，放電後不易清理
自製小型果凍杯第三代電池 1【上層加瓶子加壓】	50	4	Fe 和鋁皆為 5cm <sup>2</sup> 的平板	帶著走的個性電池、手部不易受污染、事後免清洗，只要紙巾分類集中處理就可	操作方式可再改進
自製小型果凍杯第三代電池 2【上層以手加壓】	60	4	狀；且電極中間有玻璃紙夾層		有玻璃紙鹽橋，造成電池內部電阻仍大
自製小型果凍杯第三代電池 3【上層以手加壓】	80	4	Fe 和鋁皆為 5cm <sup>2</sup> 的平板狀；且電極中間沒有玻璃紙夾層	優點同上，產生的電流大小最理想，值得推廣應用	無上面所述的缺點，目前算是結果不錯的

### 二、電解水實驗

1.我們有用過電解槽正負電極均為碳棒而廢鋁鐵電池為第一代的，不但肉眼看不到正負電極的氣泡，甚至負載電流只有 1、2 毫安培而已。所以，我們才想說，用不同的正、負電極是否效果較好？結果是正如所想的！

2.電解槽正極行氧化反應、負極行還原反應；正極用碳棒只負責進行導電、不怕有金屬離子氧化溶出到溶液中；負極用鐵或銅造成正負電極的電位差而提高電解效率，因電解水中只

有氫氧化鈉當幫助導電的物質，鈉離子的還原電位比水中產生氫氣的還原電位低很多，所以只會產生氫氣而不怕有金屬還原析出到負極上，當然電解槽負極行還原作用而不會行氧化作用，所以電極金屬不怕它氧化變離子，而且實驗證明負極用活性愈小的電解效果愈好。

### 三、電解硫酸銅溶液

我們再次證明電解槽中使用不同電位的電極有利於產生較大的負載電流強度，而且避免正極行氧化反應的干擾，仍應用碳棒為佳；負極行還原反應則還是以還原電位較低、活性較小的銅優於鐵。

### 四、電鍍銅

電鍍銅電極仍是正負電極活性不同為佳，數據結果顯示(+)Cu-(-)Fe 的負載電流大小優於(+)Cu-(-)Cu 的；但(+)Cu-(-)Cu 的負載電流大小卻優於(+)Cu-(-)C 的。我們想是否碳棒為非金屬但可導電的電極，應比起金屬表面可任意帶自由電子所遜色多了吧！？

### 五、廢鋁罐或其它金屬空氣燃料電池製作及實驗

根據自然第四冊第二章氧化還原單元中，金屬元素對氧活性的比較，選了比鋁活性大的鎂及活性比鋁小的鋅及銅；我們不只想改變電解液的濃度，還想試試不同種類的電解液，想驗證化學物質本性對化學反應的影響。果然，四種金屬活性：鎂 > 鋁 > 鋅 > 銅，其所製造出的空氣燃料電池產生的電流強度及電功率大小均為：鎂 > 鋁 > 鋅 > 銅。

### 六、讓鉀鋁礬的膠狀物吸附水中重金屬離子的實驗

1. 由迴歸曲線公式得知  $y = -30.3x + 373.9$ ， $\therefore x = -(y - 373.9) / 30.3$  (其中  $x$  為硫酸銅濃度， $y$  為光度值)；硫酸銅廢液濾前濃度約為  $x = -(y - 373.9) / 30.3 = -(245 - 373.9) / 30.3 = 4.25$ ，即為 0.850M；硫酸銅廢液濾後濃度約為  $x = -(y - 373.9) / 30.3 = -(288 - 373.9) / 30.3 = 2.83$ ，即為 0.566M。
2. 實驗證明，廢鋁罐與硫酸銅反應後「硫酸鋁溶液」的出路可以用此種簡單製備鉀鋁礬白絨毛狀的沉澱物來吸附對水資源造成非常嚴重污染的重金屬離子問題。
3. 若用廢鋁罐直接磨光後做空氣燃料電池，放電後也有類似的膠狀廢棄物，或許可試著將影響水污染甚巨的硫酸銅廢液進行減廢？！

### 七、廢鋁罐製做空氣燃料電池，放電後的膠狀廢棄物進行硫酸銅高濃度減廢實驗

所有實驗後的鋁罐空氣燃料電池(以氯化鈉為電解液)放電後的有形成廢棄物的全部集中在一起，量測乳白色膠狀物 4.0 mL，經過濾後，濾液為 1.6 mL、直接留在廢寶特瓶蓋濾紙上的有 2.4 mL，我們以 2：1 的體積比，加入 1.2 mL 的 1.0M 硫酸銅溶液，進行膠狀物的吸附實驗。黃色膠狀物 4.0 mL，經過濾後，濾液為 1.8mL、直接留在廢寶特瓶蓋濾紙上的有 2.2 mL，我們以 2：1 的體積比，加入 1.1 mL 的 1.0M 硫酸銅溶液，進行膠狀物的吸附實驗結果的確可將硫酸銅廢液進行減廢！。

## 捌、結論

### 1.研究一：

- (1).過量的廢鋁罐的確可將硫酸銅溶液完全取代置換而由藍色變成無色。
- (2).我們看到鋁罐碎片或鐵罐碎片金屬與呈酸性的硫酸銅水溶液不止起氧化還原反應，也能生出氫氣的氣泡。這與我們二下康軒自然第四冊第三章酸的特性中提到：活性大的金屬會與酸性溶液產生氫氣。

### 2.研究二：

- (1).我們將重組廢鐵罐或廢鋁罐來個大，已能變成可用的實驗室電池，除了可以學會如何改變方法製造出不一樣的伏打電池而學以致用外，二來更可養成廢物利用、能減量環保且開源節流的好習慣！
- (2).在不斷的腦力激盪下，不斷的嘗試可能方便減量的自製回收容器或電極組合...等，終於試出以最省時方便、較無污染性、較無廢液回收、較無儀器清洗困擾的方式，去蕪存菁的延續到第三代的果凍盒廢鋁鐵電池，而且在操作上也以最簡單的方式減少電池內的電阻而達到增大電流的效果－「免鹽橋、手壓上層果凍盒方式」而「不會污染手又可帶著走」的個性電池。

### 3.研究三：

- (1).以二個回收的布丁盒就可以簡單製作改進電解水、電解硫酸銅溶液的電解槽裝置，也不怕會摔破；而氣體的生成量比較，就只要加一點清潔劑下去就行了，產生氣泡多者，表示生成氣體體積大；產生氣泡少者表示生成氣體體積小。
- (2).我們以不同的電極組合，已證明試出兩正負電極的活性、電位差愈大時，有利於產生較大的可得較佳的負載電流強度。
- (3).電鍍槽可以用 5ml 注射針筒稍加改裝並固定在板子上進行實驗，事後電鍍液也只需以回收的塑膠蓋加蓋，可以方便保留到下次再給別組做實驗而無需佔太大的空間存放或回收處理。最令人高興的是這些減量裝置設計不但環保，而且以目前我們所設計的廢鐵鋁電池去進行實驗是綽綽有餘的，完全可達自給自足的目標。
- (4).我們再次電解槽中使用不同電位的電極負載電流強度，而且避免正極行氧化反應的干擾，仍應用碳棒為佳；負極行還原反應則還是以還原電位較低、活性較小的銅優於鐵。用不同的正、負電極是否效果較好？結果是正如所想的！

### 4.研究四：

- (1)以回收的廢棄物鐵、鋁罐，自製出第三代的鋁鐵電池，比學校課本實驗雙金屬鋅銅電極的伏打電池效果好，且足以進行課本內的微形化學電解電鍍實驗，但負載後的電流下降得太快、功率也降低了很快，故應發展出更高功率的電池以進行更有趣的科學實驗。
- (2)一開始只嘗試用一種金屬鋁來製作鋁空氣燃料電池(因為鋁的活性比鐵大)。終於經過幾個月的努力，在找到了石墨薄膜及膠合只讓氧氣通過而阻絕水穿透的 Teflon 膜後，才突破製造燃料電池的瓶頸，試出電壓及電流還不錯的空氣燃料電池。
- (3)根據自然第四冊第四章影響化學反應速率的條件有：物質的本性、接觸面積、濃度、溫度及催化劑。為了讓空氣燃料電池產生更大的電流強度，我們找到了製冰棒的塑膠盒，容器扁且呈下窄上寬的梯形，這樣可以將更多的電極面積浸在電解溶液中，也就是「增加反應物的接觸面積以提高反應速率」。

## 5.研究五：

- (1).我們從教學網站中搜尋到可淨化水質明礬—鉀鋁礬的製造方法，但是敘述除了複雜之外，其製程內容是鋁先與過量的氫氧化鉀形成氫氣及可溶性的  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  膠體溶液，再和適量硫酸反應，以移去一個  $\text{OH}^-$  離子而形成白絨毛狀的沉澱，其中兩者劑量或比例都無說明。我們只好實作以廢鋁罐與硫酸銅反應產生的「硫酸鋁溶液」來著手。不過，我們的製程恰好相反，是利用廢鋁罐與硫酸銅反應後的硫酸鋁廢液再和試驗出與氫氧化鉀約 1：2 莫耳數的比例反應，結果也可以產生白絨毛狀的沉澱。
- (2).我們還特別自製光吸收衰減比色儀測試不同濃度硫酸銅溶液的檢量線，檢試其一次線性趨勢線的相關係數為 0.9844，證實此自製儀定量硫酸銅溶液可用，也定量出鉀鋁礬沉澱物拿來吸附硫酸銅藍色溶液，去除重金屬銅離子的效果確實有效。
- (3).最令人高興的是，我們設想的所有實驗後的鋁罐空氣燃料電池(以氯化鈉為電解液)放電後，所有形成乳白色或黃色的膠狀廢棄物全部集中在一起，去掉過濾後的濾液，膠狀廢棄物與高濃度 1.0M 硫酸銅溶液以 2：1 的體積比，進行膠狀物的吸附實驗。果真能吸附不少硫酸銅溶液中的重金屬離子，真的做到了以廢減廢的終極目標。

## 6.研究六：

- (1).我們以自製鋁空氣燃料電池，配合進行趣味的物理化學實驗設計，終於成功的展現我們所期望的目標，雖然辛苦，但想進行趣味實驗的動力來源是自製的電池！所希望達到的目標一一實現時，那種智慧大躍進的感覺與成就感油然而生！
- (2).經過了這段不少挫折、困難與長時間的努力，尤其對於其他同學不了解的氧化還原反應原理，更因此了解了不少。而這次的研究不但解決了我自己的問題、實驗室部份開源節流的減量省時環保問題、造成水資源造成非常嚴重污染的重金屬離子問題，都獲得一併的解決了。

## 玖、參考資料

- 1.康軒自然第四冊第一~第五章 康軒文教事業
- 2.郁仁貽，「實用理論電化學」，徐氏基金會，1993
- 3.高中化學第二冊第八章氧化還原反應 國立編輯館出版，1995
- 4.王忠茂、洪瑞和，「燃料電池參考資料」，1999
- 5.本校歷屆科展作品
- 6.電池組與能源系統 國立編譯館 張桐生譯 徐氏基金會  
Polapulse 電池構造圖(Polaroid 公司) (p70)
7. <http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/85/8523045/鋁寶寶再利用.htm>
8. Fuel Cells 2000 <http://216.51.18.233/fcbenefi.html>

附件一：表十五~十六

表十五、自製空氣鋁燃料電池【鋁電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氯化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.1 M 電流 mA	25.5	27.4	28.1	29.1	29.7	30.4	30.8	31.3	31.7	31.9	32.2	32.4	32.7	32.9	33.1	33.3	33.5	33.7	33.8	33.9
0.1 M 電壓 V	0.570	0.584	0.592	0.596	0.600	0.605	0.607	0.609	0.611	0.614	0.621	0.621	0.623	0.624	0.628	0.629	0.627	0.632	0.635	0.633
0.1 M 電功率 w	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.019	0.020	0.020	0.020	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
0.25 M 電流 mA	49.9	57.6	61.5	64.0	66.2	68.2	69.5	70.5	71.5	72.9	73.3	73.8	74.1	74.56	75.0	75.4	75.58	76.4	76.4	76.9
0.25 M 電壓 V	1.295	1.340	1.374	1.397	1.416	1.425	1.430	1.434	1.435	1.437	1.438	1.439	1.441	1.443	1.446	1.447	1.448	1.448	1.450	1.451
0.25M 電功率 w	0.065	0.077	0.085	0.089	0.094	0.097	0.099	0.101	0.103	0.105	0.105	0.106	0.107	0.108	0.108	0.109	0.109	0.111	0.111	0.112
0.5 M 電流 A	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.5 M 電壓 V	0.719	0.725	0.730	0.738	0.742	0.748	0.756	0.760	0.765	0.767	0.771	0.774	0.777	0.787	0.786	0.790	0.792	0.796	0.799	0.805
0.5M 電功率 w	0.072	0.145	0.146	0.148	0.148	0.150	0.151	0.152	0.153	0.153	0.154	0.155	0.155	0.157	0.157	0.158	0.158	0.159	0.160	0.161
1.0 M 電流 A	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.36	0.35
1.0 M 電壓 V	0.852	0.856	0.857	0.858	0.858	0.857	0.857	0.857	0.855	0.856	0.854	0.854	0.853	0.853	0.853	0.852	0.850	0.850	0.850	0.850
1.0M 電功率 w	0.170	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.255	0.260	0.306	0.298
2.0 M 電流 A	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2.0M 電壓 V	0.796	0.799	0.802	0.802	0.802	0.800	0.800	0.799	0.797	0.796	0.796	0.796	0.796	0.786	0.790	0.790	0.790	0.793	0.794	0.794
2.0M 電功率 w	0.239	0.320	0.401	0.401	0.401	0.400	0.400	0.400	0.399	0.398	0.398	0.398	0.398	0.393	0.395	0.395	0.395	0.397	0.397	0.397

表十六、自製空氣鋁燃料電池【鋁電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氫氧化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.05 M 電流 A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.05 M 電壓 V	1.36	1.45	1.466	1.488	1.495	1.5	1.507	1.509	1.511	1.513	1.513	1.513	1.514	1.514	1.514	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515
0.05M 電功率 w	0.136	0.145	0.147	0.149	0.150	0.150	0.151	0.151	0.151	0.151	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076
0.1 M 電流 A	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.1 M 電壓 V	1.39	1.426	1.45	1.46	1.464	1.466	1.469	1.471	1.473	1.474	1.476	1.477	1.478	1.479	1.48	1.48	1.481	1.481	1.482	1.482
0.1M 電功率 w	0.209	0.214	0.218	0.219	0.220	0.220	0.220	0.221	0.221	0.221	0.221	0.222	0.222	0.222	0.222	0.222	0.222	0.222	0.222	0.222
0.2 M 電流 mA	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.2 M 電壓 V	1.397	1.436	1.46	1.465	1.476	1.48	1.483	1.485	1.487	1.488	1.489	1.492	1.493	1.494	1.495	1.496	1.497	1.498	1.499	1.5
0.2M 電功率 w	0.419	0.431	0.438	0.366	0.369	0.370	0.371	0.371	0.372	0.372	0.372	0.373	0.373	0.299	0.299	0.299	0.299	0.300	0.300	0.300
0.25 M 電流 mA	0.45	0.43	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
0.25 M 電壓 V	1.487	1.492	1.493	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.495	1.495	1.495	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494	1.494
0.25M 電功率 w	0.669	0.642	0.597	0.598	0.598	0.598	0.598	0.598	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523
0.5 M 電流 A	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
0.5 M 電壓 V	1.463	1.466	1.467	1.467	1.467	1.466	1.466	1.464	1.463	1.462	1.461	1.46	1.459	1.458	1.457	1.456	1.455	1.454	1.454	1.453
0.5M 電功率 w	1.024	1.026	1.027	1.027	1.027	1.026	1.026	1.025	1.024	1.023	0.950	0.949	0.948	0.948	0.947	0.946	0.946	0.945	0.945	0.944
1.0 M 電流 A	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
1.0 M 電壓 V	1.454	1.454	1.454	1.454	1.454	1.454	1.453	1.452	1.452	1.452	1.452	1.452	1.452	1.452	1.452	1.452	1.451	1.451	1.45	1.45
1.0M 電功率 w	3.926	3.926	3.926	3.926	3.926	3.926	3.923	3.848	3.848	3.848	3.848	3.848	3.848	3.848	3.848	3.848	3.845	3.845	3.843	3.843

附件二：表十七~十八

表十七、自製空氣鎂燃料電池【鎂電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氯化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.1 M 電流 mA	138.1	139.2	139.4	139.6	140.3	140.9	141.2	141.4	142.2	142.3	142.6	142.8	142.7	142.8	142.8	143	143.1	143.1	143.1	143.3
0.1 M 電壓 V	1.505	1.506	1.507	1.508	1.51	1.511	1.513	1.514	1.515	1.516	1.517	1.518	1.519	1.52	1.521	1.522	1.523	1.523	1.525	1.525
0.1 M 電功率 w	5.25	5.29	5.30	5.30	5.33	5.35	5.37	5.37	5.40	5.41	5.42	5.43	5.42	5.43	5.43	5.43	5.44	5.44	5.44	5.45
0.25 M 電流 mA	111	135.5	147.2	155.4	160.6	164.3	166.7	168.8	170.2	171.8	172.7	174	174.7	175.4	175.8	176.5	177	177.7	178.1	178.6
0.25 M 電壓 V	1.445	1.467	1.472	1.477	1.481	1.486	1.489	1.492	1.495	1.495	1.497	1.5	1.501	1.502	1.504	1.505	1.505	1.506	1.507	1.509
0.25M 電功率 w	4.55	5.56	6.04	6.37	6.58	6.74	6.83	6.92	6.98	7.04	7.08	7.13	7.16	7.19	7.21	7.24	7.26	7.29	7.30	7.32
0.5 M 電流 A	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.55
0.5 M 電壓 V	1.447	1.459	1.466	1.473	1.477	1.482	1.487	1.49	1.493	1.497	1.501	1.503	1.507	1.51	1.511	1.51	1.512	1.514	1.513	1.515
0.5M 電功率 w	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	25.96	25.96	25.96	25.96	25.96	25.96	25.96	25.96	24.2
1.0 M 電流 A	0.2	0.3	0.4	0.5	0.45	0.45	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1.0 M 電壓 V	1.482	1.489	1.491	1.495	1.495	1.498	1.499	1.5	1.502	1.503	1.505	1.506	1.507	1.507	1.508	1.509	1.51	1.505	1.506	1.507
1.0M 電功率 w	9.4	14.1	18.8	23.5	21.15	21.15	21.15	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
2.0 M 電流 A	0.7	1	1.1	1.2	1.2	1.25	1.25	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.35	1.3
2.0M 電壓 V	1.651	1.656	1.659	1.658	1.66	1.661	1.66	1.662	1.66	1.658	1.66	1.659	1.661	1.659	1.657	1.659	1.657	1.659	1.659	1.657
2.0M 電功率 w	35	50	55	60	60	62.5	62.5	65	65	60	60	65	65	65	65	65	65	65	67.5	65

表十八、自製空氣鎂燃料電池【鎂電極面積 3×4 cm<sup>2</sup>，不同的氫氧化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.05 M 電流 mA	107	108	107.5	107.1	107	106.7	106.6	106.5	106.5	106.5	106.5	106.7	106.8	107	107	107.1	107.1	107.2	107.2	107.3
0.05 M 電壓 V	0.249	0.227	0.191	0.171	0.157	0.18	0.192	0.172	0.189	0.191	0.18	0.178	0.18	0.175	0.178	0.177	0.167	0.15	0.159	0.154
0.05M 電功率 w	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.1M 電流 mA	156	149	144	142	140	135	138	134	132	130	128	133	124	114	117	113	111	111	111	107
0.1 M 電壓 V	0.456	0.476	0.482	0.484	0.487	0.499	0.495	0.481	0.488	0.485	0.48	0.48	0.482	0.477	0.477	0.482	0.482	0.481	0.481	0.485
0.1M 電功率 w	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.2 M 電流 mA	321	275	244	222	199	185	177	166	160	156	150	145	140	133	130	128	124	121	117	115
0.2M 電壓 V	0.733	0.736	0.738	0.739	0.74	0.742	0.743	0.744	0.746	0.747	0.748	0.749	0.751	0.752	0.753	0.754	0.755	0.756	0.757	0.757
0.2M 電功率 w	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
0.25 M 電流 mA	600	600	550	500	500	400	400	400	350	350	350	300	300	300	300	250	250	200	200	200
0.25M 電壓 V	0.518	0.536	0.546	0.562	0.577	0.587	0.597	0.604	0.612	0.62	0.628	0.633	0.64	0.645	0.65	0.656	0.66	0.664	0.668	0.673
0.25M 電功率 w	0.31	0.32	0.30	0.28	0.29	0.23	0.24	0.24	0.21	0.22	0.22	0.19	0.19	0.19	0.20	0.16	0.17	0.13	0.13	0.13
0.5 M 電流 mA	800	900	800	600	600	550	500	500	500	450	400	400	400	350	350	400	350	350	350	300
0.5M 電壓 V	1.186	1.181	1.173	1.167	1.158	1.152	1.149	1.148	1.144	1.142	1.137	1.133	1.128	1.121	1.12	1.12	1.119	1.116	1.114	1.113
0.5M 電功率 w	0.9488	1.0629	0.9384	0.7002	0.6948	0.6336	0.5745	0.5740	0.5720	0.5139	0.4548	0.4532	0.4512	0.3924	0.3920	0.4480	0.3917	0.3906	0.3899	0.3339
1.0 M 電流 mA	1100	1000	900	600	500	500	500	500	500	500	400	400	400	400	300	300	300	300	300	300
1.0M 電壓 V	1.22	1.222	1.223	1.224	1.224	1.224	1.224	1.223	1.222	1.222	1.22	1.219	1.218	1.216	1.215	1.219	1.21	1.207	1.206	1.204
1.0M 電功率 w	1.34	1.22	1.10	0.73	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.49	0.49	0.49	0.49	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36

附件三、表十九~二十

表十九、自製空氣鋅燃料電池【鋅電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氯化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.1 M 電流 mA	72.5	73.8	74.4	74.6	74.8	75	75	75.3	75.5	75.5	75.8	75.9	76.1	76.2	76.2	76.3	76.4	76.5	76.6	76.6
0.1 M 電壓 V	1.067	1.068	1.069	1.07	1.072	1.073	1.074	1.074	1.075	1.076	1.077	1.078	1.078	1.079	1.08	1.08	1.081	1.082	1.082	1.083
0.1 M 電功率 w	0.077	0.079	0.080	0.080	0.080	0.080	0.081	0.081	0.081	0.081	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.083	0.083	0.083	0.083
0.25 M 電流 mA	100.8	104.5	107.4	107.5	108.5	109.5	110.2	111.1	111.7	112.3	112.8	113.3	113.7	114	114.4	114.8	115	115.2	115.4	115.7
0.25 M 電壓 V	1.04	1.048	1.053	1.057	1.061	1.064	1.068	1.069	1.071	1.073	1.075	1.076	1.077	1.078	1.08	1.082	1.082	1.083	1.083	1.085
0.25M 電功率 w	0.105	0.110	0.113	0.114	0.115	0.117	0.118	0.119	0.120	0.120	0.121	0.122	0.122	0.123	0.124	0.124	0.124	0.125	0.125	0.126
0.5 M 電流 mA	158.7	160.1	161.1	161.8	161.5	162.9	163.3	163.5	163.8	164.1	164.3	164.5	164.6	164.8	165	165.1	165.3	165.4	165.6	165.7
0.5 M 電壓 V	1.067	1.07	1.072	1.074	1.076	1.078	1.079	1.08	1.082	1.083	1.084	1.085	1.086	1.088	1.088	1.09	1.09	1.091	1.092	1.093
0.5M 電功率 w	0.169	0.171	0.173	0.174	0.174	0.176	0.176	0.177	0.177	0.178	0.178	0.178	0.179	0.179	0.180	0.180	0.180	0.180	0.181	0.181
1.0 M 電流 mA	186	184.6	184.5	184.4	184.3	184.3	184.3	184.3	184.4	184.4	184.5	184.5	184.6	184.7	184.7	184.8	184.9	185	185.1	185.2
1.0 M 電壓 V	0.966	0.984	0.999	1.008	1.016	1.021	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.046	1.049	1.051	1.054	1.057	1.06	1.061	1.063	1.065
1.0M 電功率 w	1.797	1.816	1.843	1.859	1.872	1.882	1.893	1.900	1.909	1.916	1.924	1.930	1.936	1.941	1.947	1.953	1.960	1.963	1.968	1.972
2.0 M 電流 mA	900	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
2.0M 電壓 V	0.952	0.977	0.991	0.999	1.009	1.015	1.021	1.026	1.03	1.034	1.038	1.041	1.044	1.046	1.049	1.052	1.054	1.056	1.058	1.059
2.0M 電功率 w	8.568	7.816	7.928	7.992	8.072	8.12	8.168	8.208	8.24	8.272	8.304	8.328	8.352	8.368	8.392	8.416	8.432	8.448	8.464	8.472

表二十、自製空氣鋅燃料電池【鋅電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氫氧化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.05 M 電流 mA	5.89	5.58	4.32	3.96	3.61	3.41	3.24	2.9	2.72	1.67	2.6	2.55	2.47	2.37	2.32	2.25	2.19	2.14	2.09	2.04
0.05 M 電壓 V	0.665	0.677	0.685	0.69	0.692	0.692	0.693	0.694	0.695	0.696	0.697	0.698	0.699	0.699	0.7	0.701	0.702	0.703	0.703	0.704
0.05M 電功率 w	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	1.537	1.504	1.469	1.436
0.1M 電流 mA	1.81	1.63	1.41	1.21	1.16	1.07	1.02	0.99	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82	0.8	0.78	0.77	0.75	0.73	0.72	0.71
0.1 M 電壓 V	0.623	0.611	0.601	0.597	0.595	0.594	0.593	0.598	0.592	0.592	0.592	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591
0.1M 電功率 w	0.0011	0.0010	0.0008	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
0.2 M 電流 mA	25.7	25.7	24.2	2.3	2.15	2.1	2.01	1.95	1.9	1.83	1.78	1.74	1.72	1.65	1.59	1.58	1.55	1.52	1.49	1.45
0.2M 電壓 V	0.221	0.221	0.223	0.226	0.211	0.22	0.226	0.222	0.222	0.214	0.222	0.231	0.22	0.208	0.209	0.22	0.223	0.228	0.222	0.222
0.2M 電功率 w	0.0057	0.0057	0.0054	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
0.25 M 電流 mA	85.4	72	52.4	40.1	36.5	32.3	28.9	26.5	24.8	23.4	22.1	21.3	20.3	19.8	19.2	18.8	18.1	17.1	17.2	16.8
0.25M 電壓 V	0.972	1.002	1.04	1.062	1.077	1.085	1.092	1.1	1.104	1.107	1.111	1.114	1.118	1.12	1.123	1.125	1.128	1.13	1.132	1.136
0.25M 電功率 w	0.083	0.072	0.054	0.043	0.039	0.035	0.032	0.029	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021	0.020	0.019	0.019	0.019
0.5 M 電流 mA	34.5	28.7	22.5	21	20.1	19.1	18.7	18.5	18.2	18.2	18.2	18.2	18.5	18.8	18.8	18.9	19	19.4	19.7	19.8
0.5M 電壓 V	0.85	1.274	1.31	1.334	1.335	1.337	1.341	1.343	1.345	1.347	1.348	1.35	1.351	1.352	1.354	1.355	1.356	1.357	1.358	1.359
0.5M 電功率 w	0.029	0.037	0.029	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.027
1.0 M 電流 mA	83.1	82.5	81.9	81.3	80.5	79.8	79	78.1	77.5	76.9	72.3	75.8	75.4	75.1	75	75	75	75.3	75.7	75.7
1.0M 電壓 V	1.35	1.351	1.362	1.365	1.368	1.37	1.372	1.373	1.375	1.376	1.377	1.378	1.379	1.38	1.381	1.382	1.383	1.383	1.384	1.385
1.0M 電功率 w	0.112	0.111	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.107	0.106	0.100	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.105	0.105

附件四、表二十一~二十二

表二十一、自製空氣銅燃料電池【銅電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氯化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.1 M 電流 mA	3.82	3.29	3.1	2.97	2.84	2.8	2.75	2.71	2.68	2.66	2.62	2.61	2.61	2.59	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.53
0.1 M 電壓 V	0.283	0.332	0.343	0.35	0.355	0.359	0.364	0.368	0.372	0.377	0.381	0.386	0.389	0.393	0.397	0.401	0.406	0.409	0.413	0.416
0.1 M 電功率 w	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011
0.25 M 電流 mA	1.81	1.51	1.46	1.48	1.52	1.56	1.6	1.63	1.66	1.68	1.71	1.73	1.76	1.78	1.81	1.83	1.86	1.88	1.9	1.92
0.25 M 電壓 V	0.235	0.233	0.233	0.233	0.241	0.25	0.253	0.256	0.26	0.264	0.268	0.273	0.277	0.28	0.284	0.287	0.291	0.302	0.308	0.309
0.25 M 電功率 w	0.00043	0.00035	0.00034	0.00034	0.00037	0.00039	0.00040	0.00042	0.00043	0.00044	0.00046	0.00047	0.00049	0.00050	0.00051	0.00053	0.00054	0.00057	0.00059	0.00059
0.5 M 電流 mA	3.02	2.98	2.95	2.94	2.93	2.94	2.95	2.96	2.98	3	3.04	3.06	3.07	3.07	3.09	3.11	3.12	3.13	3.15	3.16
0.5 M 電壓 V	0.385	0.401	0.41	0.416	0.422	0.425	0.429	0.432	0.435	0.439	0.441	0.443	0.445	0.447	0.448	0.45	0.451	0.452	0.452	0.453
0.5 M 電功率 w	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
1.0 M 電流 mA	6.23	5.8	5.6	5.49	5.41	5.38	5.38	5.33	5.34	5.37	5.36	5.35	5.32	5.34	5.34	5.37	5.38	5.44	5.45	5.46
1.0 M 電壓 V	0.38	0.408	0.421	0.428	0.436	0.443	0.447	0.452	0.456	0.458	0.46	0.462	0.464	0.465	0.467	0.469	0.47	0.472	0.474	0.473
1.0 M 電功率 w	0.0024	0.0024	0.0024	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026
2.0 M 電流 mA	12.2	11.33	10.95	10.7	10.45	10.43	10.38	10.33	10.31	10.29	10.26	10.23	10.22	10.21	10.2	10.19	10.18	10.18	10.18	10.18
2.0 M 電壓 V	0.501	0.51	0.514	0.516	0.517	0.518	0.519	0.52	0.52	0.521	0.522	0.522	0.523	0.523	0.524	0.524	0.524	0.525	0.525	0.525
2.0 M 電功率 w	0.0061	0.0058	0.0056	0.0055	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053

表二十二、自製空氣銅燃料電池【銅電極面積  $3 \times 4 \text{ cm}^2$ ，不同的氫氧化鈉水溶液濃度】

反應時間 s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0.05 M 電流 mA	0.91	0.64	0.53	0.45	0.4	0.36	0.34	0.32	0.31	0.3	0.3	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26
0.05 M 電壓 V	0.18	0.182	0.184	0.185	0.186	0.187	0.188	0.188	0.188	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
0.05 M 電功率 w	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
0.1 M 電流 mA	1.85	1.68	1.64	1.6	1.53	1.46	1.4	1.35	1.3	1.27	1.24	1.21	1.18	1.16	1.14	1.11	1.1	1.09	1.07	1.05
0.1 M 電壓 V	0.091	0.099	0.107	0.113	0.118	0.122	0.127	0.13	0.134	0.137	0.14	0.143	0.145	0.149	0.151	0.153	0.155	0.157	0.159	0.16
0.1 M 電功率 w	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
0.2 M 電流 mA	1.83	1.76	1.78	1.82	1.85	1.89	1.92	1.96	1.99	2.01	2.04	2.06	2.07	2.09	2.11	2.13	2.15	2.16	2.17	2.19
0.2 M 電壓 V	0.138	0.138	0.139	0.14	0.14	0.141	0.141	0.142	0.142	0.143	0.143	0.144	0.144	0.145	0.145	0.145	0.146	0.146	0.147	0.147
0.2 M 電功率 w	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
0.25 M 電流 mA	1.89	1.65	1.49	1.43	1.39	1.38	1.34	1.33	1.3	1.3	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22
0.25 M 電壓 V	0.407	0.382	0.372	0.36	0.353	0.346	0.34	0.339	0.339	0.34	0.341	0.343	0.346	0.347	0.348	0.35	0.352	0.353	0.353	0.355
0.25 M 電功率 w	0.0008	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
0.5 M 電流 mA	7.16	7	6.86	6.78	6.72	6.62	6.58	6.55	6.53	6.5	6.47	6.46	6.44	6.43	6.42	6.4	6.4	6.39	6.39	6.38
0.5 M 電壓 V	0.144	0.17	0.184	0.195	0.204	0.212	0.22	0.227	0.234	0.247	0.252	0.259	0.264	0.268	0.275	0.281	0.288	0.293	0.295	0.3
0.5 M 電功率 w	0.0010	0.0012	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019
1.0 M 電流 mA	8.87	8.66	8.61	8.56	8.52	8.48	8.44	8.4	8.37	8.33	8.3	8.27	8.24	8.21	8.19	8.17	8.14	8.12	8.1	8.08
1.0 M 電壓 V	0.215	0.241	0.263	0.284	0.299	0.317	0.326	0.337	0.347	0.351	0.366	0.372	0.38	0.388	0.393	0.399	0.403	0.407	0.41	0.414
1.0 M 電功率 w	0.0019	0.0021	0.0023	0.0024	0.0025	0.0027	0.0028	0.0028	0.0029	0.0029	0.0030	0.0031	0.0031	0.0032	0.0032	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033

## 【評語】 030212

本研究使用廢鋁片製作氫氧化鈉燃料電池，具有環保回收的概念，並針對碳膜作改良，獲得高轉換效率。此外，並針對產生的氫氧化鋁作處理，充分利用廢棄物。成果豐碩，給予第三名獎勵。建議改善處：此作品研究結果豐富，其中最重要的是碳膜電極的改良，但是作品報告及壁報上並未凸顯，期望改善成果報告的方法。