

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030215

天然碳材之炭化及修飾-極簡勁爆空氣電池之研究

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者： 國三 莊荃華 國一 孫敏皓	指導老師： 賴月琴
---------------------------------	------------------

關鍵詞：乾餾、桂竹炭化電極、空氣電池

天然碳材之炭化及修飾－極簡勁爆空氣電池之研究

摘要

竹子是臺灣最寶貴的綠能資產，從竹子的光合作用、竹筍、竹器具到加工整型後的廢料可做紙漿造紙外，我們發現，採集三~四年生的桂竹，自然風乾再經初級乾餾收集竹醋液(達290~330°C時餾出物最多)，初級乾餾後的竹材，還可進行二級乾餾(至800°C)或三級乾餾(至1200°C)後，變成附加價值相當高的透氣電極！

本研究不僅證實這項說明且首創開發設計出「臺灣桂竹炭化」之二級或三級乾餾裝置，最後並成功的製造出「不須修飾任何昂貴觸媒的低電阻中空桂竹炭化電極」。

研究後發現，桂竹雙階段的乾餾裝置設計效能可製出高透氣供氧表層及電阻值變小的新碳極製法，而我們第二代、第三代金屬-空氣電池的創新容器設計，可完全配合採集桂竹口徑大小而製備出各種尺寸的空氣電池。

壹、研究動機

能源短缺及綠能當道，輕巧、便宜、高效能的空氣電池將是我們替代能源的首選！

目前兩大電池技術「氫氣燃料電池」和「鋰離子電池」已遇到瓶頸，前者原因是電極白金觸媒成本太高、燃料儲存空間太大及氫氣的安全性疑慮，使得大家開始將注意力集中在普及性高的鋰離子電池上，但是，昂貴的鋰電池，其續航力和驅動力讓不少使用鋰電池的電動車愛好者擔心受里程的限制...。⁸⁽⁵⁾

現在，讓全球視為明日之星的鋰空氣電池，一般預估還須花上十年才能夠商品化，其中存在的最大瓶頸是「水」，與鈉、鉀同族的鋰金屬易和水反應而氧化，使其穩定度變差...。所以，究竟有沒有效能不錯、比較容易推廣及製作的金屬空氣電池可以研究？以負極金屬活性大、容易取得原物料或資源垃圾廢鋁罐等而言，鋁空氣電池是我們研究的首選。

我們在研究廢鋁空氣電池時，負極鋁金屬表面的氧化層須先磨除，使其與電解液能繼續進行氧化反應而放出電子；而正極還原層所遇到的瓶頸是如何做出只讓氧氣通過而阻絕水穿透的石墨薄膜？因為，一面防水而另一面透氣的低電阻石墨薄膜不僅價格昂貴、不易購得；我們經過很多次的材質塗佈石墨粉等碳膜製造，仍未突破製造高效能碳膜的瓶頸，最後，我們決定跳脫所有傳統塗佈及修飾碳膜的製造，轉而想辦法製作出最簡單、最原始、最便宜、最直接的正極碳材——「桂竹炭化電極」，希望做出比備長炭電阻還小、設計組裝輕巧方便、容易推廣的空氣電池。

貳、研究目的

1. 電化學先備知識的探究與整理
2. 以自製廢鋁鐵雙金屬電池進行電解水或硫酸銅、電鍍銅的電化學實驗
3. 自製第一代單金屬空氣電池的研究
4. 臺灣桂竹的乾餾密封陶罐設計製作與炭化後表層放大圖示及電阻值測定
5. 以趣味實驗比較第一~第三代單金屬空氣電池容器設計及負載放電效能測定
6. 自製旋轉臺製作修飾桂竹炭化電極的可行性

參、研究設備及器材

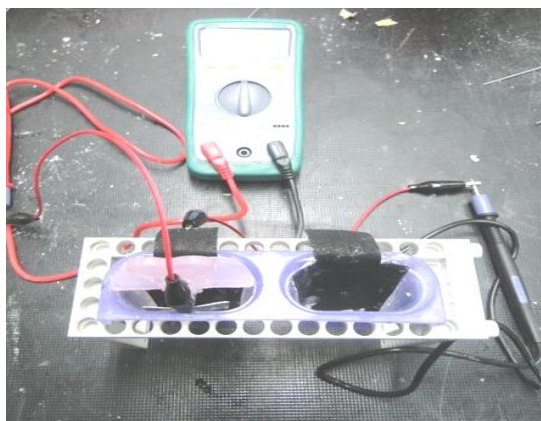
【研究所需器材及藥品】

電動天平、光度計、三用電錶、計時器、安培計、伏特計、小馬達、小風扇、Dino-Lite 顯微鏡頭、硫酸銅、氫氧化鉀、氫氧化鈉、雙氧水、硫酸銅廢液、碳粉、食鹽、回收鋁罐、回收鋁箔、回收鐵罐、回收布丁盒、回收果凍盒、回收保特瓶、回收保麗龍、回收廢塑膠尺、市售石墨薄膜、乾淨試管、比色管、投影片、酒精燈、鉗鍋夾、小注射針筒槽、橡皮筋、NO2 號塑膠袋、熱熔槍及熔膠、鑷子、漏斗、橡皮筋、濾紙、玻璃紙、碼錶、鉗鍋夾、燒杯、鐵架、量瓶、吸管、砂紙、漏斗架、鐵架、剪刀、廚房清潔專用抹布、廚房紙巾、量筒、金屬剪、玻棒、小刀、清潔劑、溫度計、手套、量瓶、鱷魚夾線、銅箔、冰棒模型槽、鎂片、銅片、鋅片、碳棒、石墨薄膜、Teflon 塗料、中性矽膠、矽膠注射器、自製微形電解裝置、自製廢鐵鋁雙金屬電池、自製第一代空氣電池、自製第二代至第三代桂竹炭化空氣電池

【研究相關設備及自製儀器設計】



以注射針筒電鍍槽電鍍銅(正極銅箔、負極碳棒) 第三代廢鋁鐵電池可同時電解水及電鍍銅



自製第一代廢鋁空氣電池實驗模組



桂竹初級蒸餾炭化竹大型裝置



新鮮採集三~四年生桂竹(墨綠及草綠色)



低溫炭化後的桂竹材呈茶褐色



桂竹二次乾餾密封陶罐製作成品



桂竹二次乾餾密封陶罐內部同心圓形凸紋及溝槽設計



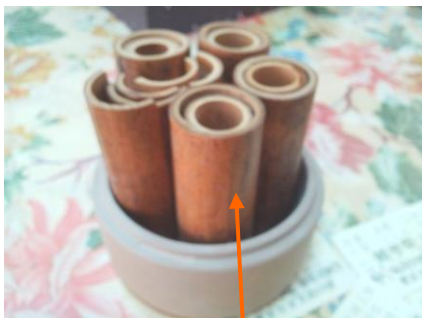
小型電窯裝置內部



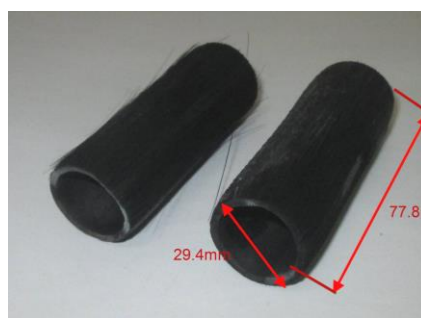
桂竹二次乾餾密封陶罐設計尺寸
恰好可置入小型電窯中



小型電窯裝置外部正視圖
設定 1200°C 需加熱 47 分鐘



10cm 段的褐色低溫炭化桂竹



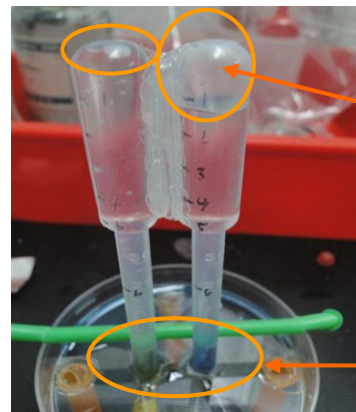
1000°C 中空桂竹炭化後的電極尺寸



1000°C 55x 放大炭柱外部
(無膜)



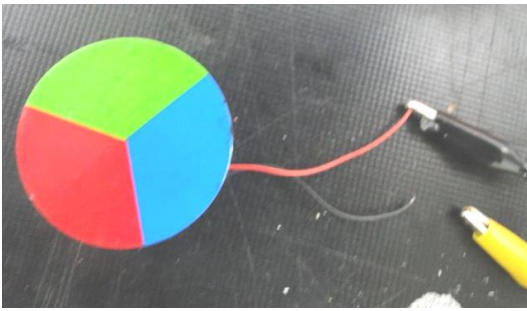
自製光度衰減比色儀



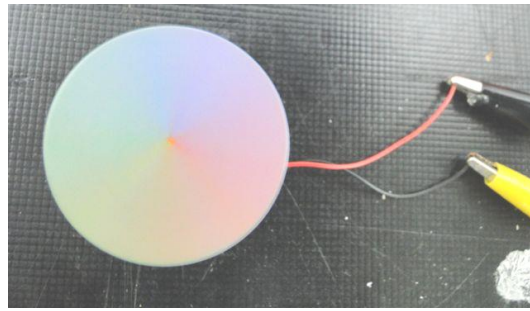
自製簡易小型電解集氣裝置

集氣

加廣用試紙
的色水可看
到變酸鹼色



自製紅、藍、綠三分天下的圓形轉盤



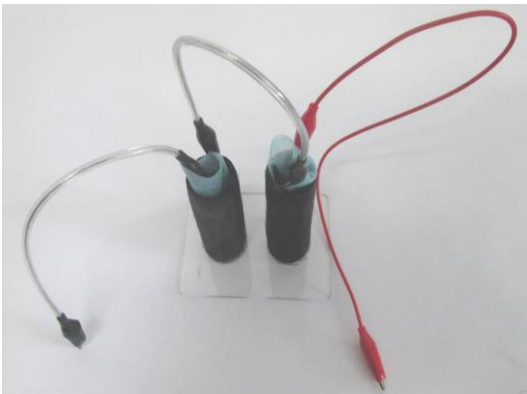
自製的廢鋁空氣電池旋轉轉盤呈現混合色光



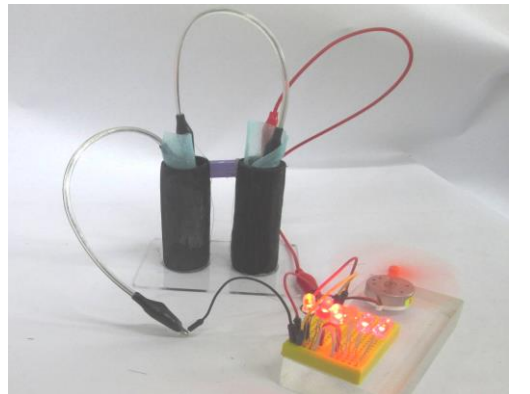
半片桂竹炭化後的電極直接設計組裝在冰盒上



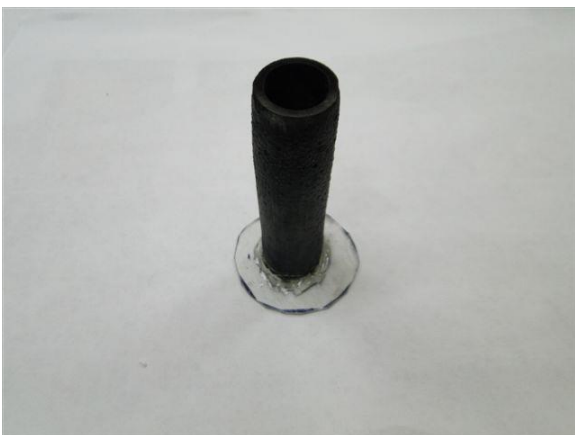
自製的第二代廢鋁空氣電池



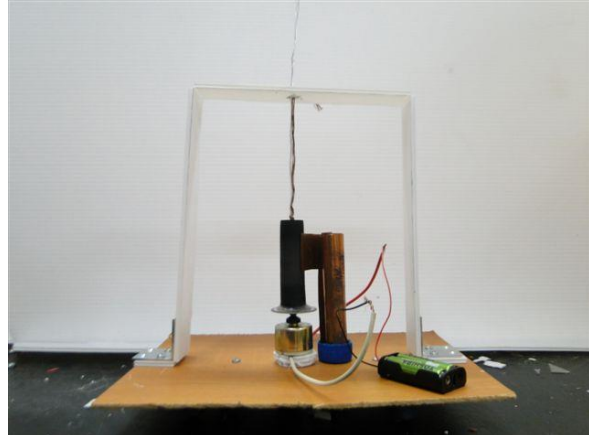
中空圓筒狀桂竹炭化後的電極直接黏貼在壓克力板上，可用電源線串接的第三代廢鋁空氣電池



自製第三代廢鋁空氣電池性能測試，可同時讓 6 個 LED 發亮及 1 個馬達風扇運轉



將炭化後的桂竹黏在刮除光碟膜的塑膠板上當作負極的待鍍物



自製旋轉臺製作修飾桂竹炭化電極的正面圖

肆、研究過程及方法

【研究一】電化學先備知識的探究與整理

(一)氧化還原反應：凡涉及電子移轉的化學反應即為氧化還原反應，所以在反應的過程中，有一方進行氧化半反應(其本身當還原劑)而另一方則進行還原半反應(其本身當氧化劑)，兩者可說是同時相伴發生，缺一不可！

我們以康軒自然第四冊第五章酸的性質所舉的鋅與代表酸的 H^+ 離子反應來說明如下

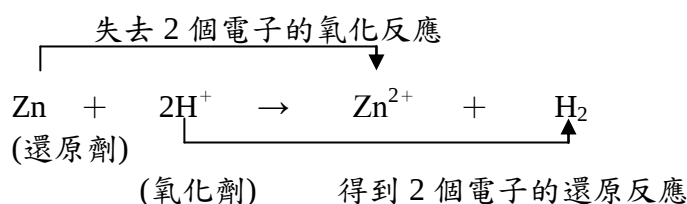
1.氧化：失去電子的變化，反應後氧化數增加。

例如其中鋅進行氧化的半反應： $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 鋅原子失去 2 個電子成為 +2 價的鋅離子。

2.還原：得到電子的變化，反應後氧化數減少。

例如與鋅反應的酸進行還原半反應： $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ 氫離子得到 2 個電子成為 0 價的氫氣。

3.兩者總反應為：



4.為什麼會這樣呢？因為當氧化劑或還原劑是有條件的，氧化數能增加的才能當還原劑。

例如：Al、Fe、HCl；而氧化數能減少的才能當氧化劑。例如： H_2SO_4 、 Fe^{3+} ...。所以，可以查標準還原電位

(1)反應 例 $A + B^{C+} \rightleftharpoons A^{C+} + B$

(例如 A：Zn，B：Cu)

活性 $A > B$ ，A、B 競爭放電子，結果 A 傾向大於 B

反之 A^{C+} ， B^{C+} 競爭獲得電子，結果 $B^{C+} > A^{C+}$

(2)失電子傾向大者氧化電位高，例如鹼金屬 Li Na K...

得電子傾向大者還原電位高，例如鹵素族 F_2, Cl_2 ...

(3)常見金屬失去電子傾向大小(大→小)依序為：

$K > Ca > Na > Mg > Al > C > Zn > Cr > Fe > Pb > H > Cu > Hg > Ag > Pt > Au$ 由此可知一些依據。

(二)電池反應：因自發性的氧化還原化學反應而產生電流，輸出電能的裝置，稱為電池反應。

1.電池原理以丹尼爾電池(Zn-Cu cell 為例)

(-)極 陽極 氧化反應 $Zn^0 \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 鋅極發生氧化失去電子(電子經由導線流出)

(+)極 陰極 還原反應 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu^0$ 銅極表面佈滿電子，吸引電解液中的銅離子發生還原反應而得到電子

2.陽極由氧化電位較高(釋放電子趨勢較強)的活性大的金屬；陰極由氧化電位較低(釋放電子趨勢較弱)的金屬及其鹽溶液組成。

3.半電池的電位意義及電池電位計算

(1)半電池電位的測定(E^0)：因氧化電位隨物質的種類，壓力，濃度的變化及溫度而異，所以在下列條件下測出氧化還原標準電位，以 E^0 表示。

a.對氣體而言：1atm，25°C。

b.對離子而言：1M，25°C。

c.對固體而言：25°C 的最穩定狀態。

(2)還原半反應：氧化劑₁ + ne⁻ → 共軛還原劑₁，E⁰：還原電位。

(3)氧化半反應：還原劑₂ → 共軛氧化劑₂ + ne⁻，E⁰：氧化電位。

【電池電位及放電容量計算公式】

$$\begin{aligned}\text{電池全反應：} E^0(\text{電池}) &= E^0(\text{陽極氧化電位}) + E^0(\text{陰極還原電位}) \\ &= E^0(\text{陽極氧化電位}) - E^0(\text{陰極氧化電位}) \\ &= -E^0(\text{陽極還原電位}) + E^0(\text{陰極還原電位})\end{aligned}$$

(4)電池的電動勢受主反應物質的活性影響，且受副反應之速率及生成物擴散速率影響。

(三)電化學電池 electrochemical cell 功用：

- 1.為將電能轉變為化學能，如通電流產生電鍍、電解、蓄電池之充電、電解精煉。
- 2.為將化學能轉變為電能，如一次電池之錳乾電池、鹼性電池、氧化銀電池、水銀電池、有機電解質電池(各種鋰電池)、(鋅、鎂或鋁)空氣電池等；如二次電池之鉛蓄電池、鎳鎘電池、鎳氫電池、有機電解質二次電池(鋰二次電池、鋰離子二次電池、鋰空氣電池)等。
- 3.電化學電池優點是將化學能轉變為功的效率特高，可達 90%以上，且不產生空污及噪音。

(四)空氣電池 air cell 或空氣去極電池 air-depolarized cell³：以前設計和乾電池構造相似，只是利用氧作為氫之去極劑 depolarizer 的化學電池。空氣電池具有一半燃料電池正極的性能，而無負極電極白金觸媒成本太高、燃料儲存空間太大及氫氣的安全性等疑慮。

- 1.目前以鋅空氣電池而言，電池內的添加物真是多！石墨浸於 20%氫氧化鈉為正極、鋅罐為負極、電解液為氯化銨、氯化鋅、水及澱粉之糊狀物、以空氣中氧為去極劑，放電時，電解液中的氫氧化鈉之濃度逐漸降低，為免內部電阻增加，常加入氫氧化鈣固體於電解質中，使其與負極鋅酸根離子 ZnO_2^{2-} 產生鋅酸鈣沉澱及氫氧根離子，反應為：

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{ZnO}_2^{2-} \rightarrow \text{CaZnO}_2 + 2\text{OH}^-$ ，開路電壓(open-circuit voltage)為 1.45V，常溫時，每 cm^2 之負極面積約放出 5mA 為最大負荷，平均電壓為 1.1V，可做通信或鐵路信號設備。

鋅空氣電池

(-) 極反應： $\text{Zn} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn(OH)}_4^{2-} + 2\text{e}^-$ 或 $\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

(+) 極反應： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

總反應： $2\text{Zn} + 4\text{OH}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ 放電 $2F \times 2$

- 2.鋁空氣電池——鋁與空氣為電池負極與正極的電池材料，查資料顯示，目前的鋁空氣電池的實際比能量只達到 350 瓦時/公斤，為鉛酸電池的 7~8 倍、鎳氫電池的 5.8 倍、鋰電池的 2.3 倍。這種空氣電池較無污染且長效。可用於動力電池、信號電池，甚至發展成海洋電池而用於深海。

(-) 極反應： $\text{Al} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al(OH)}_3 + 3\text{e}^-$

$4\text{Al} + 12\text{OH}^- \rightarrow 4\text{Al(OH)}_3 + 12\text{e}^-$

(+) 極反應： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

$3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 12\text{e}^- \rightarrow 12\text{OH}^-$

總反應： $4\text{Al} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Al(OH)}_3$ 放電 $3F \times 4$

鋁是地殼中含量最豐富的金屬元素，目前已具有大規模的鍊鋁工廠，不僅生產成本低，回收及再生也很方便。且原物料鋁對人體較不會造成傷害，又可回收循環使用，是一種對環境相當良好的電池材料。以上這些，就是讓我們鎖定想繼續研發鋁空氣電池的主要原因。

【研究二】以自製廢鋁鐵雙金屬電池進行電解水或硫酸銅、電鍍銅的電化學實驗

電解或電鍍反應：電流的化學效應就是通電流使物質產生氧化還原的化學反應，這種輸入電能的反應稱為電解或電鍍，而其裝置叫做電解或電鍍槽。

根據電離說的觀念「電解質供應直流電時，因外加電能使電解槽中，正離子移向負極，而負離子移向正極」。

【電解水的反應】

(－) 極反應： $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2$ 氫離子移向負極得到電子而還原產生氫氣。

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

(＋) 極反應： $4\text{OH}^{-} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-}$ 氫氧根離子移向正極失去電子而氧化

或 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-}$ 產生氧氣。

總反應： $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} 2\text{H}_2(\text{負極}) + \text{O}_2(\text{正極})$

【電解硫酸銅的反應】

(－) 極反應： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$ (Cu^{2+} 還原電位比 H^{+} 高，優先得到電子而還原)

(＋) 極反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-}$

總反應： $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{電解}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 + 4\text{H}^{+}$

【電鍍銅的反應】

(－) 極反應： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$ (Cu^{2+} 在負極得到電子而還原)

(＋) 極反應： $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ (Cu 在正極失去電子而氧化)

總反應： $\text{Cu}(\text{正極}) \rightarrow \text{Cu}(\text{負極})$

實驗一、【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。

實驗二、【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。

實驗三、【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。



小果凍杯第三代鐵鋁電池

實驗四、【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。



實驗五、【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、一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。

實驗六、【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。

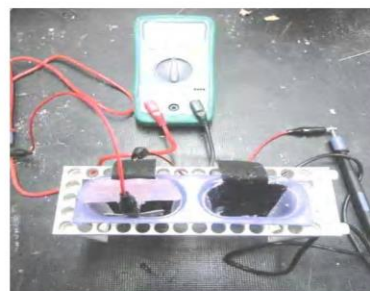
【研究三】自製第一代單金屬空氣電池的研究

實驗想法：

- 1.除了學校課本實驗雙金屬電極的伏打電池外，還有常在新聞專題報導的空氣電池。經過查資料發現「氫-氧燃料電池」的氫氣有儲存安全性的考量，而且設備費用不低。但是，「金屬空氣電池」經過許多科學家不斷的研究發展，只需用一種金屬加上空氣中的氧，就可以讓它的氧化還原反應產生電力，真是新奇啊！
- 2.或許我們可以將廢鋁罐來個大變身，變成高功率的實驗用空氣電池，這就太好了。

實驗七、【廢鋁罐或其它金屬空氣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，再倒入逆滲透水至 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。
- 6.配製 0.25 M~ 4 M 氫氧化鈉水溶液當電池的電解液備用。
- 7.剪下以砂紙磨光後的鋁罐面積大小為 1.5×4 、 3×4 、 $4 \times 6 \text{ cm}^2$ 。
- 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 $1.5 \times 4 \text{ cm}^2$ 、 $3 \times 4 \text{ cm}^2$ 或 $4 \times 6 \text{ cm}^2$ 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。



第一代空氣電池

【研究四】臺灣桂竹的乾餾密封陶罐設計製作與炭化後表層放大圖示及電阻值測定

桂竹第一次蒸氣蒸餾(製程溫度 180°C)的炭化製程



以貨櫃車載送採集竹山之新鮮桂竹 新鮮桂竹由墨綠至草綠色 於蒸餾槽外卸下的桂竹



鐵製的大蒸餾槽



新鮮桂竹送入大蒸餾槽



以熱蒸氣蒸餾 180°C 炭化後的桂竹



以托板車載走整捆已低溫炭化後的桂竹材



桂竹材呈茶褐色

實驗八、【臺灣桂竹的第二次電窯乾餾製作及實驗步驟】(製程溫度 800~1200°C)

1. 先量測電窯的長、寬、高，再以手拉胚的方式製作出小於電窯容積的最適大小陶罐，為便於電燒冷卻後取出炭化後的桂竹材，陶罐設計為上、下套接的方式，並於上蓋處設一小孔以適度排氣並阻絕外部空氣進入。
2. 估算陶罐收縮率(水分逸出約 20%)，竹材以機器定位裁切為 10cm 段，再剖半後排入陶罐中，盡可能的排列出最適量，以減少陶罐內的空氣量及高溫乾餾下桂竹材表面氧化的程度。
3. 將裝有桂竹材的陶罐(雙手夾緊上下罐交接處)，小心置入電窯中，電窯上蓋先以陶磚支撐一個高度以利排氣，溫度調至 800°C 後，開始電燒。
4. 電燒結束後，讓電窯自然冷卻至隔日再小心取出陶罐(雙手夾緊上下罐交接處)。
5. 小心打開陶罐上蓋，取出此二級乾餾後的炭化桂竹。
6. 再置入一批 10cm 段中空桂竹材，為免陶罐內空隙太多，可採用內徑不同的雙中空桂竹材及剖半片的桂竹材做最適排列，同步驟 3~5，電窯溫度改調至 1000°C 後，開始電燒。
7. 同前步驟，再乾餾電燒一批 1200°C 的炭化桂竹。

實驗九、【桂竹炭化後表層放大圖示測定步驟】

1. 筆電腦先輸入 Dino-Lite 顯微鏡頭使用的驅動程式，開啟 Dino-Lite 鏡頭，小心置放在經 800~1200°C 下乾餾電燒後的桂竹炭片或炭柱表面上。
2. 調整 Dino-Lite 顯微鏡頭的放大倍率至影像清晰為止(放大倍率為 50~60 倍之間)。
3. 電燒後，有些桂竹材表面竹膜與桂竹主體有剝落及分離的現象，所以，影像拍攝時應在每張相片上註解清楚後存檔之。

實驗十、【桂竹炭化後表層電阻值測定步驟】

1. 將每批電窯燒製出來的桂竹炭化電極以游標尺量測長度後依序記錄至表十五。
2. 以三用電錶量測每支桂竹炭化電極長度兩端的電阻大小後依序記錄至表十五。
3. 將報廢紙箱改裝成掀蓋式的，並製作符合電極長度的隔板大小。
4. 最後，將每次電窯燒製出來的桂竹炭化電極小心置放到隔板內備用。

【研究五】以趣味實驗比較第一~第三代單金屬空氣電池容器設計及負載放電效能測定

實驗十一、【以自製第一代廢鋁空氣電池進行自製電解水微量裝置的趣味化學實驗步驟】

1. 在塑膠培養皿底部畫出四個角的定位點及兩個導電針孔位置。
2. 培養皿底部朝上，在四個角的定位點各固定 1 支相同高度的粗吸管。
3. 以鑽子在兩個導電針孔位置鑽出小洞，各穿 1 支大頭針當導電電極，並於培養皿底部下方留有鱷魚夾可接頭的位置，再以熱熔膠固定及防漏液。
4. 將兩支 3mL 塑膠滴管的前端剪掉，校正每支滴管頭的刻度，每 0.5mL 用奇異筆畫一條刻度線，讓刻度均朝正面後以熱熔膠黏結兩支滴管頭的位置，做為正負兩極集氣管。
5. 將一支中吸管的一面開 2 個圓孔，圓孔的間距恰為可固定在培養皿上，以熱熔膠固定後作為滴管頭集氣排水至培養皿的溢水管，如此即完成自製的簡易電解水槽。
6. 將廣用試劑滴入逆滲透水中，再將兩集氣管填滿此水後，以直尺固定管口後，倒插在裝有廣用試劑色水的培養皿之兩大頭針電極針端上備用。
7. 分別以鱷魚夾夾住培養皿下兩大頭針電極，以第一代廢鋁空氣電池進行電解水實驗。
8. 觀察此空氣電池能否將廣用試劑分成黃藍兩部分；兩滴管頭上是否能產生不同刻度的排水集氣結果。

實驗十二、【以自製第一代廢鋁空氣電池進行驗證白光三顏色的趣味物理實驗步驟】

1. 剪下一截管口恰可插入小馬達的無水原子筆心，將管口與小馬達以熱熔膠固定後，小馬達正負極接口接上紅、黑兩截導線備用。
2. 以圓規在墊板上畫圓後剪紅、黑兩截導線下，並在圓心處用熱熔膠黏貼已插有小馬達的原子筆心管口的一端。
3. 將馬達固定在比圓墊板直徑更小的基座上。
4. 在紅、藍、綠三色紙上，以圓規畫出比圓墊板半徑略大的圓，畫出直徑後，再量測 120° 角的弧形面積後剪下，將此各 120° 角弧形面積的三色紙黏貼在圓墊板上，成為自製紅、藍、綠三分天下的圓形轉盤。
5. 將馬達紅、黑兩截導線端，以鱷魚夾接上自製的廢鋁空氣電池後，觀測是否可呈現混合三原色反射的光而形成複合的近似白光。

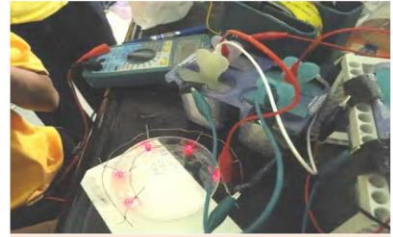
實驗十三、【以自製第一代廢鋁空氣電池進行驗證電能互相轉換的趣味物理實驗步驟】

1. 將市售小馬達風扇插好固定後，馬達正負極接口接上紅、黑兩截導線備用。
2. 撕一長條形衛生紙，在風扇未通電前，觀察衛生紙是否呈下垂狀？
3. 以鱷魚夾夾住馬達正負極導線，接上自製第一代廢鋁空氣電池的正負極後，觀察馬達風扇能否啟動？長條形衛生紙是否能受風能而飄起？

實驗十四、【以自製第一代廢鋁空氣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步驟及放電效能測定】

1. 將製冰棒盒 6 槽第一代廢鋁空氣電池進行電路串聯後備用。
2. 在培養皿上放置 5 個 LED 燈，將每個 LED 燈的正負極接腳拉開一些(長腳為正極、略短腳為負極)，依序將 LED 燈的正腳接下一個 LED 燈的負腳，焊槍接電後，以焊錫將各正負極焊接成串聯電路備用。
3. 在培養皿上放置 5 個 LED 燈，依序將各 LED 燈的正腳接下一個 LED 燈的正腳，負腳接負腳，焊槍接電後，以焊錫將各正、負極焊接成並聯電路備用。
4. 將串聯電池連接一個 LED 燈，觀察記錄燈是否可亮，並以三用電錶測試一個 LED 燈的負載電流及負載電壓。

- 5.同前，將串聯電池連接二個串聯、三個串聯、四個串聯的 LED 燈，觀察記錄燈是否可亮，並以三用電錶測試二~四個 LED 燈的負載電流及負載電壓，將結果記錄於表十六。
- 6 同步驟 4 及 5，只是將 LED 燈由串聯改為並聯二個、三個、四個、五個，觀察記錄燈是否可亮，並以三用電錶測試一~五個 LED 燈的負載電流及負載電壓。將結果記錄於表十七。

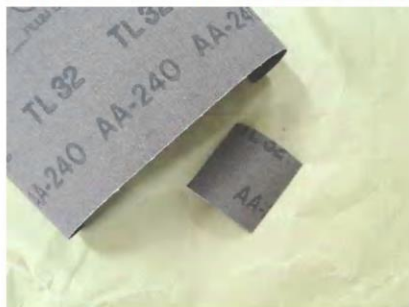


負載電流 39.0mA、電壓 2.04V
6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯連接
並聯五個 LED 燈還是全亮！

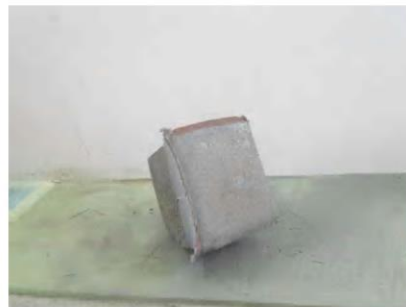
實驗十五、【自製第二代廢鋁空氣電池的裝置設計步驟與放電效能測定】

- 1.將 240 號砂紙剪下一個方型大小，粗糙面向下，布面處則黏貼一塊泡棉，方便手握砂紙將鋁罐表面的印刷漆及氧化物磨掉。
- 2.將鋁罐飲料上、下面剪掉，使鋁罐側面展開後，以砂紙施力，將表面的印刷漆及氧化物磨掉，剪下 $3 \times 4 \text{ cm}^2$ 面積大小的廢鋁片備用。
- 3.一般鱷魚夾接線過長，可購買鱷魚夾及導線自組長度適宜的鱷魚夾線。
- 4.將市售製冰棒盒外側剪掉適合黏貼半片桂竹炭化電極的長寬 俯視組合一槽半片炭化電極，冰棒盒底部與桂竹炭化電極呈現圓弧形中空現象。
- 5.研究實作後，發現半片炭化電極要加在上寬下窄冰棒盒上密接的方法是修正一級乾餾的桂竹材底部，使用熱熔膠將半片桂竹炭化後的電極左右兩側先與冰棒盒接合。
- 6.護貝膠膜直接通過已熱機的護貝機器，以剪刀減出略大於冰棒盒底部與桂竹炭化電極間的中空圓弧形面積，以奇異筆拷貝畫出圓弧形雙層膠膜面積幾個備用。
- 7.使用熱熔膠將步驟 6 減下的圓弧形雙層膠膜黏貼在冰棒盒底部與桂竹炭化電極的圓弧形中空位置。
- 8.半片桂竹炭化後的電極直接設計組裝在冰盒上，所以有四個凹槽的冰棒盒可做四組空氣電池的正極，卻只需經二級乾餾的 2 段 10cm 剖半桂竹材料即可。
- 9.在 1 槽內插入 $3 \times 4 \text{ cm}^2$ 鋁片，並加入 30mL2M 氯化鈉水溶液即為第二代鋁空氣電池，直接連接三用電錶，以持續無負載的放電方式，每 5~ 300 秒測量一次無負載電流及電壓一次，將結果記錄至表二十。
- 10.將 2 槽串聯以提高鋁空氣電池電壓(A 槽的炭化電極接另一 B 槽的負極金屬；A 槽負極金屬接一條導線出來為電池負極端；B 槽的炭化電極上接一條導線出來為電池正極端，即為 2 組第二代鋁空氣電池串聯方式)，每槽均加入 30mL2M 氯化鈉水溶液即為第二代鋁空氣電池 2 組串聯，直接連接三用電錶，以持續無負載的放電方式，每 5~ 600 秒測量一次無負載電流及電壓一次，將結果記錄至表二十一。

實作流程及圖示相片如下所示：



將 240 號砂紙剪下一個方型大小 砂紙布面處黏貼一塊泡棉



泡棉大小以方便手握砂紙施力



將鋁罐飲料上、下面剪掉



鋁罐側面展開後以砂紙施力 將表面的印刷漆及氧化物磨掉



一般鱷魚夾接線過長，可購買夾子及導線自組長度適宜的鱷魚夾線



將市售製冰棒盒外側剪掉適合黏貼半片桂竹炭化電極的長寬



俯視組合一槽半片炭化電極



半片炭化電極要加在上寬下窄冰棒盒的方法是修正底部再黏貼



半片桂竹炭化後的電極直接設計組裝在冰盒上
四組的空氣電池的正極只需 2 段 10cm 剖半經二級乾餾的桂竹材料即可



自製的第二代廢鋁空氣電池

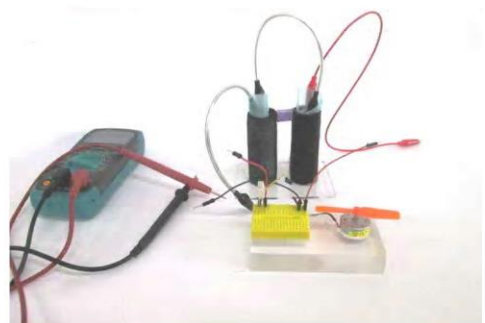
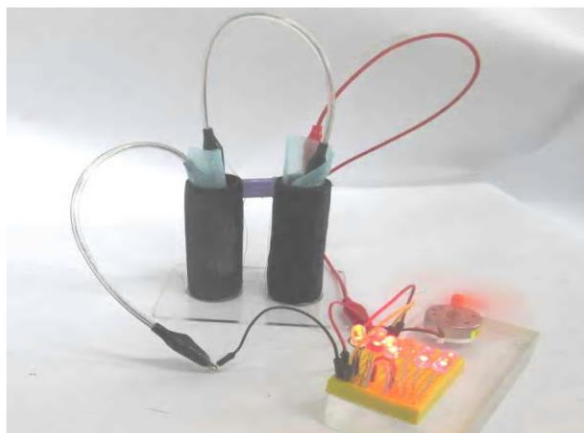
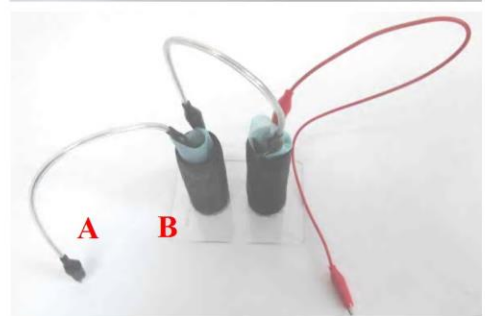
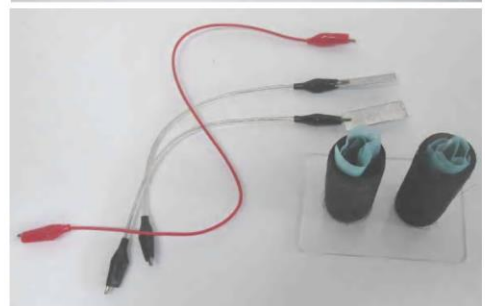
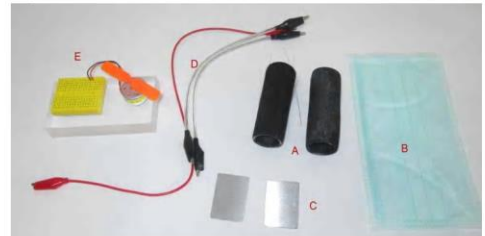


2 組第二代廢鋁空氣電池以自組裝的鱷魚夾線串接後接電器



實驗十六、【自製第三代空氣電池的裝置設計步驟及圖示與放電效能測試】

1. 量測 1000℃ 燒製乾餾完成的桂竹竹炭尺寸如右圖所示 (總長度由未處理前鋸切長度 100mm, 縮短為 77.8mm)。
2. 製作竹炭作為透氣(正極)與反應層的金屬(負極)第三代空氣電池材料如下:
 - A. 試負載的小馬達竹炭管
 - B. 不織布口罩，取用作為隔離金屬極與石墨炭極作用，並且可以阻隔反應的生成物阻塞竹炭表面
 - C. 金屬燃料片，使用鎂鋁片以及鋁罐經過磨除表面塗層的鋁片
 - D. 鱷魚夾導線
 - E. 測與麵包版，插 LED 等負載
3. 將長度適宜的導線與鱷魚夾自組成適當長度的鱷魚夾線，如黑色鱷魚夾線兩條。
4. 將竹炭管以熱熔膠固定在壓克力板上與封底，再套入不織布隔層以阻絕負極金屬氧化後的膠狀物沉積附著在正極的竹炭管上而影響放電的效能(套入技巧是將不織布順時鐘捲繞在原子筆管上，放入竹炭管後，以反時鐘方向旋出)。
5. 若要提高空氣電池電壓則將 2 槽空氣電池串聯(A 槽的炭化電極接另一 B 槽的負極金屬；A 槽負極金屬接一條導線出來為電池負極端；B 槽的炭化電極上接一條導線出來為電池正極端)，即為 2 組第三代廢鋁空氣電池串聯方式。
6. 在壓克力板上固定一個扇葉馬達及已焊接好並聯線路的插槽，準備測試兩個串聯竹炭管的第三代空氣電池能否讓一顆 LED 燈亮及扇葉轉動。
7. 注入 2M 濃度的食鹽水，竹炭管的第三代空氣電池開始發電，記錄初始電壓及最大電流。
8. 繼續再並聯一顆 LED 燈電器，直到共插入 6 顆 LED 燈與小馬達風扇為止，量測負載電流，並使其連續運轉。
9. 每 30 分量測竹炭管的第三代空氣電池的負載電流及負載電壓之放電效能，也注意觀察竹炭管是否有漏液現象。

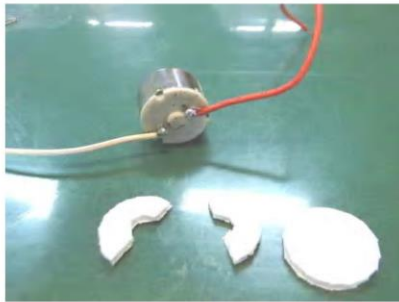


【研究六】自製旋轉臺製作修飾桂竹炭化電極的可行性

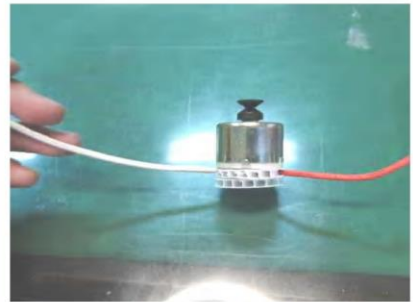
實作流程及圖示相片如下所示：



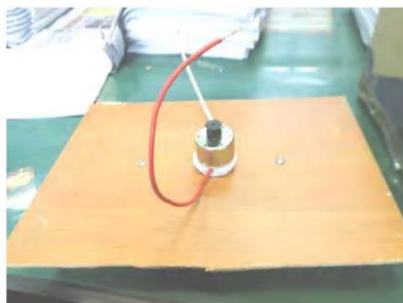
1 將報廢倒帶機的馬達拆下並以焊錫焊接兩條導線



2 將冷氣封板塑材剪成兩片半月形



3 將半月形塑材補平焊接點，使馬達接線部位呈水平狀



4 馬達黏在補強重量並架高的木板上



5 將炭化後的桂竹黏在刮除光碟膜的塑膠板上



6 將條狀的冷氣封板彎折成倒 U 型的平面



7 將廢電線的外皮膠膜去除當正極欲鍍物材料



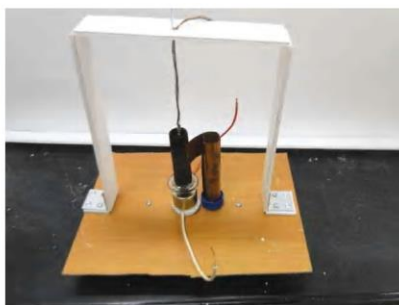
8 鐵絲纏繞膠帶當銅線支撐桿纏繞緊密螺旋的銅線為正極



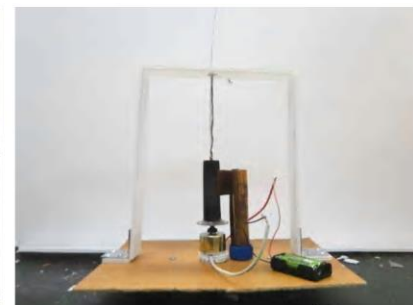
9 將炭化桂竹座固定在可旋轉的馬達上



10 銅箔捲成筒狀後留一小段突出物為炭化桂竹的電刷



11 將正極銅線懸定在倒 U 型的支架上



12 自製旋轉修飾電極台正面圖
銅箔電刷則固定在瓶蓋上

伍、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

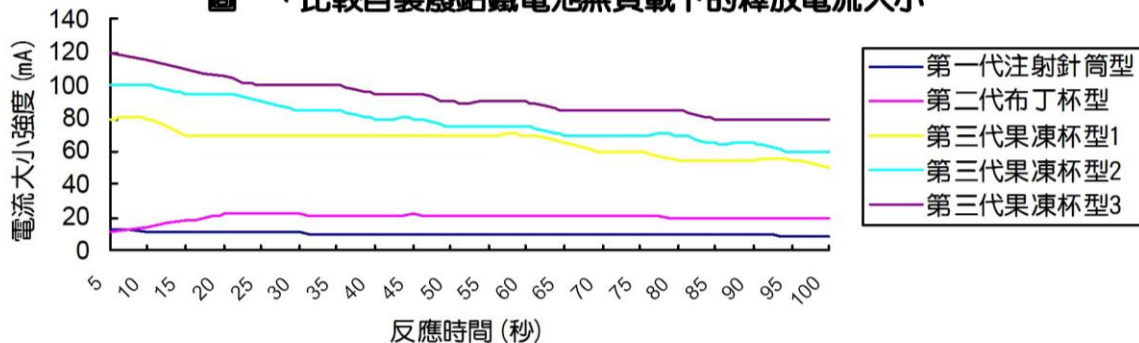
表四、自製小型果凍杯第三代廢鋁鐵電池的放電過程(回收鋁片 $5 \times 10 \text{cm}^2$ 當負極、氧化鐵片 $5 \times 10 \text{cm}^2$ 當正極、3M4ml 氫氧化鈉為電解液)【中間有玻璃紙夾層，上層以手加壓】

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

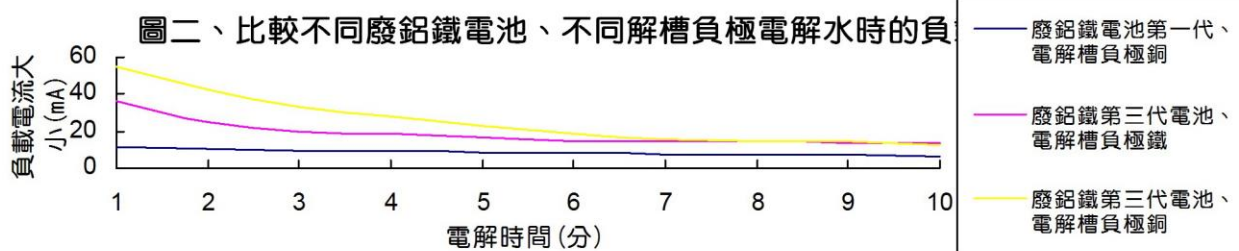
(電解槽中碳棒當正極、鐵片當負極)

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		



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)

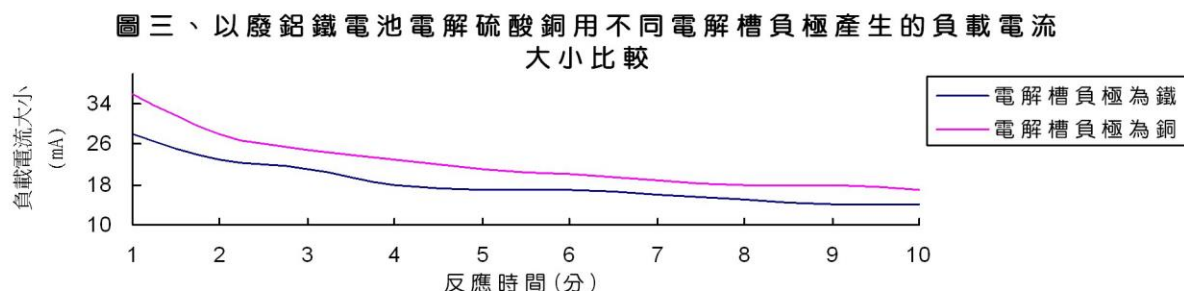
反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	正極氣泡檢驗	負極氣泡檢驗
電流 mA	36	28	25	23	21	20	19	18	18	17	有氣泡生成，可使加清潔劑起泡很明顯	無氣泡生成，但碳棒上可看到明顯的金屬銅析出
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.4	0.4	0.4		

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。



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)

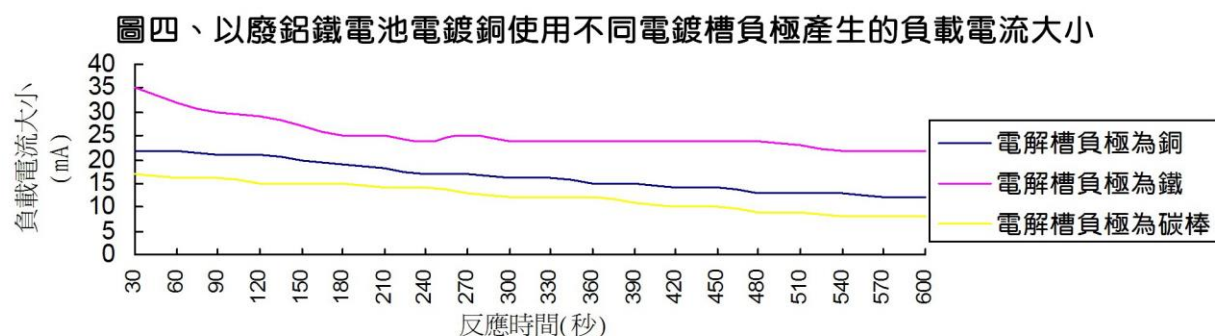
反應時間(秒)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
電流 mA	35	32	30	29	27	25	25	24	25	24	24	24	24	24	24	24	23	22	22	22
電壓 V	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45

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

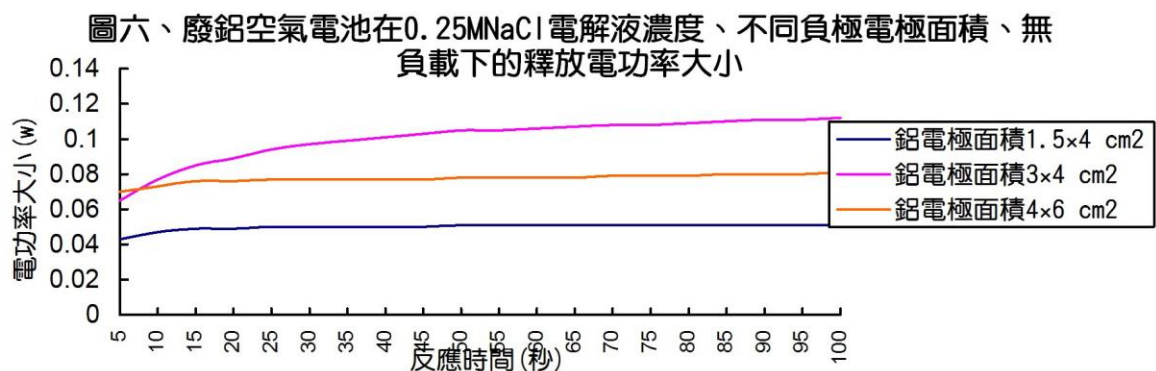
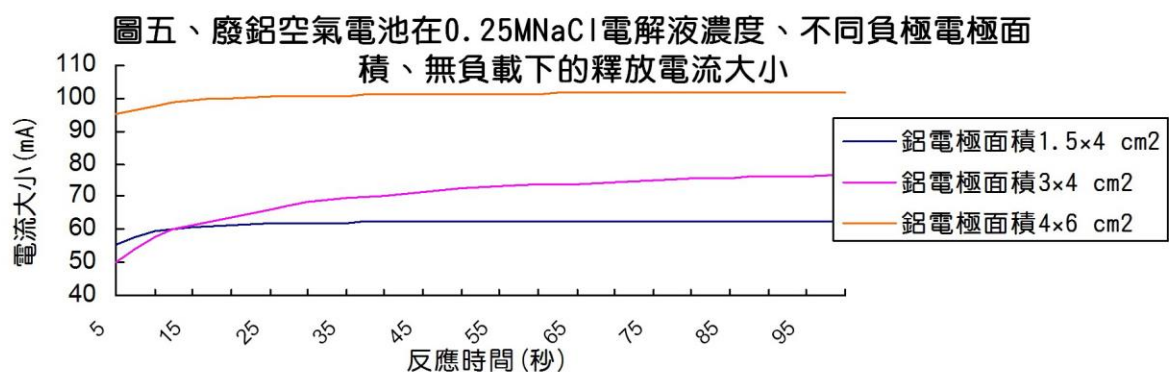
硫酸銅電解液的顏色維持不變色。



五、廢鋁罐或其它金屬空氣電池製作及實驗

表十四、自製鋁空氣電池【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 ²	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	0.051	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 ²	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	1.450	1.451
	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	0.112
鋁電極 面積 4×6 cm	電流 mA	95.0	97.5	99.6	100.0	100.4	100.5	100.8	100.9	101.0	101.2	101.2	101.3	101.4	101.5	101.7	101.7	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	0.081



六、臺灣桂竹的炭化製程

1.【臺灣桂竹的第二次電窯乾餾】(製程溫度 800~1200℃)



桂竹二次乾餾密封陶罐製作成品



10cm 段的褐色低溫炭化桂竹



小型電窯裝置內部



俯視未加蓋的陶罐內待乾餾的桂竹



桂竹二次乾餾密封陶罐設計尺寸
恰好可置入小型電窯中



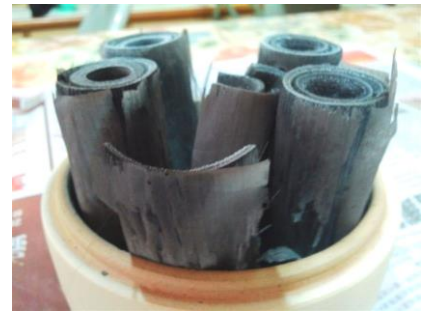
小型電窯裝置外部正視圖
設定 1200℃需加熱 47 分鐘



10cm 段的褐色低溫炭化桂竹



1000℃乾餾後表面竹膜剝落及氧化



1200℃乾餾後表面竹膜也剝落



桂竹二次乾餾密封陶罐內部同心圓形凸紋及溝槽設計



1200℃乾餾桂竹前後的長度變化
量測最多的減少為 25%，相當於體
積最多減少為約 0.75^3 =不到五成

2.【臺灣桂竹炭化後表層放大 50~60 倍圖示】

以 Dino-Lite 顯微鏡頭拍攝 800~1200℃電窯乾餾桂竹的炭片或炭柱內外部有無竹膜之相片



800 度 50x 炭片內部(無膜)



800 度 50x 炭片外部(有膜)



800 度 55x 炭片內部(有膜)



800 度 60x 放大炭片外部(無膜)



1000 度 55x 炭片內部(有膜)



1000 度 55x 炭片內部(無膜)



1000度 55x 炭片外部(有膜)



1000度 55x 炭片外部(無膜)



1000度 55x 放大炭柱外部(有膜)



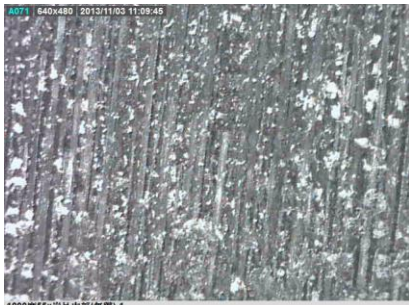
1000度 55x 放大炭柱外部(無膜)



1200度 55x 炭片内部(有膜)-1



1200度 50x 炭片内部(有膜)-2



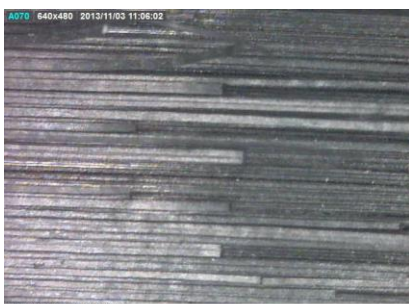
1200度 55x 炭片内部(無膜)-1



1200度 50x 炭片外部(有膜)-1



1200度 50x 炭片外部(有膜)-2



1200度 55x 炭片外部(無膜)-1



1200度 55x 炭片外部(無膜)-2



1200度 60x 炭片内部(無膜)-2



1200度 60x 炭柱外部(有膜)-2



1200度 60x 炭柱外部(無膜)-2

3.實驗十、【桂竹炭化後表層電阻值測定】

表十五、桂竹炭化 800℃半片形正極長度尺寸及電阻大小

乾餾電燒 溫度℃	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	平均
形狀	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	
長度尺寸 cm	7.95	8.09	7.95	8.05	7.90	8.03	8.10	8.00	7.90	7.90	7.99
電阻 Ω	27.5	22.6	31.5	27.5	34.4	25.2	33.3	22.0	25.0	24.9	27.39

表十六、桂竹炭化 1000℃半片形及柱狀形正極長度尺寸及電阻大小

乾餾電燒 溫度℃	1000	1000	1000	1000	1000	1000	平均
形狀	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	
長度尺寸 cm	7.75	7.78	7.82	7.79	7.70	7.75	7.77
電阻 Ω	12.2	11.1	10.7	12.6	11.7	10.9	11.53
乾餾電燒 溫度℃	1000	1000	1000	1000	1000	1000	平均
形狀	半片	半片	半片	半片	半片	半片	
長度尺寸 cm	7.70	7.80	7.75	7.75	7.75	7.71	7.74
電阻 Ω	15.0	13.7	15.8	11.3	15.0	14.6	14.23

表十七、桂竹炭化 1200℃半片形及柱狀形正極長度尺寸及電阻大小

乾餾電燒 溫度℃	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	平均
形狀	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	半片	
長度尺寸 cm	7.60	7.50	7.50	7.45	7.60	7.40	7.56	7.55	7.50	7.50	7.52
電阻 Ω	6.5	6.8	8.0	8.0	8.0	7.5	6.6	7.7	6.8	4.5	7.04
乾餾電燒 溫度℃	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	平均
形狀	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	圓柱	
長度尺寸 cm	7.50	7.65	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.60	7.40	7.60	7.53
電阻 Ω	6.5	5.8	4.1	3.5	7.1	5.7	9.2	9.3	9.9	10.9	7.20

七、以趣味實驗比較第一~第三代單金屬空氣電池容器設計及負載放電效能測定

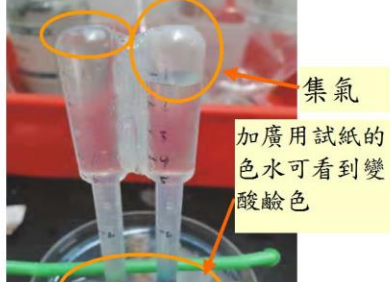
1. 實驗十一、【以自製第一代廢鋁空氣電池進行自製電解水微量裝置的趣味化學實驗】



逆滲透水只加廣用試紙的色水，電阻不小，居然用我們自製的廢鋁空氣電池就可電解水分出酸鹼性

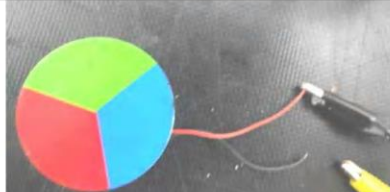


一段時間後，果然正極生氣的水呈弱酸性的黃綠色而負極生氣的水呈弱鹼性的藍色



集氣
加廣用試紙的色水可看到變酸鹼色
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！

2. 實驗十二、【以自製第一代廢鋁空氣電池進行驗證白光三顏色的趣味物理實驗】



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



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

3. 實驗十三、【以自製第一代廢鋁空氣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



接通廢鋁空氣電池後，啟動風扇而將衛生紙明顯的吹飄了起來

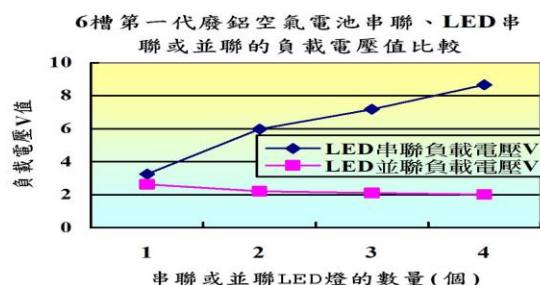
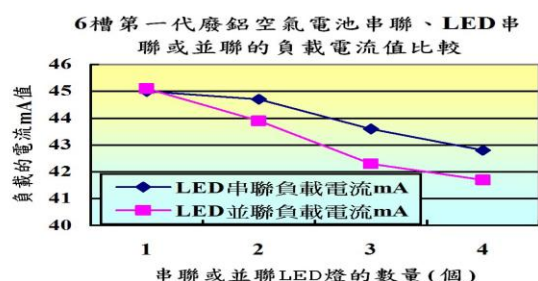
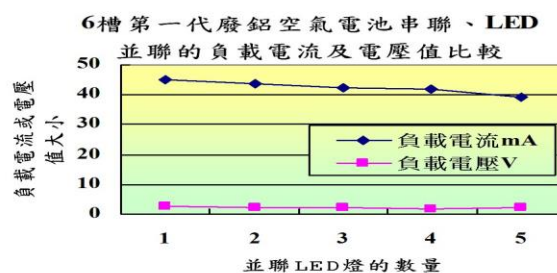
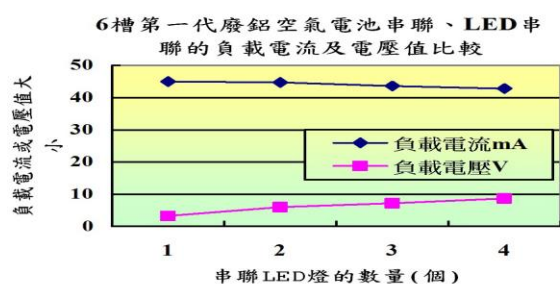
4. 實驗十四、以自製第一代廢鋁空氣電池進行驗證電能互相轉換及進階至電池串聯及燈泡串聯、並聯電路的趣味物理實驗及放電效能測定

表十八、6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯、LED 燈串聯的負載電流及負載電壓測量

串聯 LED 燈數	1	2	3	4
負載電流 mA	45.0	44.7	43.6	42.8
負載電壓 V	3.26	5.99	7.18	8.67
LED 燈可亮否	亮	全亮	全亮	不亮

表十九、6 槽廢鋁空氣燃料電池串聯、LED 燈並聯的負載電流及負載電壓測量

並聯 LED 燈數	1	2	3	4	5
負載電流 mA	45.1	43.9	42.3	41.7	39.0
負載電壓 V	2.63	2.22	2.11	2.02	2.04
LED 燈可亮否	亮	全亮	全亮	全亮	全亮



5.實驗十五、自製第二代鋁空氣電池的放電效能測定

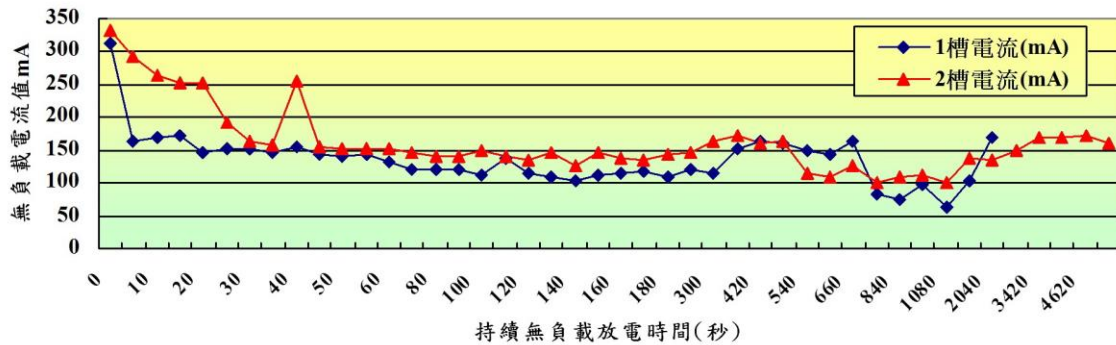
表二十、使用一個第二代竹炭片空氣電池(30mL 2M 的氯化鈉為電解液，鋁片電極面積 $3 \times 4 \text{ cm}^2$)，持續放電，每 5~300 秒測量一次無負載電流及電壓一次

反應時間(秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
電流(mA)	314.0	163.6	170.4	173.3	145.6	152.6	152.7	146.5	154.9	142.6	141.8
電壓(V)	1.125	0.526	0.576	0.566	0.620	0.480	0.494	0.488	0.485	0.487	0.467
反應時間(秒)	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
電流(mA)	142.6	132.4	121.7	120.6	120.8	112.0	137.6	113.5	107.6	103.0	113.1
電壓(V)	0.462	0.437	0.411	0.411	0.469	0.443	0.413	0.390	0.382	0.372	0.362
反應時間(秒)	160	170	180	240	300	360	420	480	540	600	660
電流(mA)	114.6	118.6	108.8	121.0	115.8	150.8	164.8	160.6	149.3	142.4	162.3
電壓(V)	0.383	0.382	0.382	0.387	0.383	0.481	0.498	0.539	0.513	0.489	0.531
反應時間(秒)	720	780	840	900	960	1080	1200	1320	1620	1920	2220
電流(mA)	87.4	82.0	74.4	104.3	98.1	63.3	83.8	102.2	151.2	175.7	169.3
電壓(V)	0.359	0.323	0.293	0.393	0.376	0.281	0.329	0.406	0.535	0.633	0.621

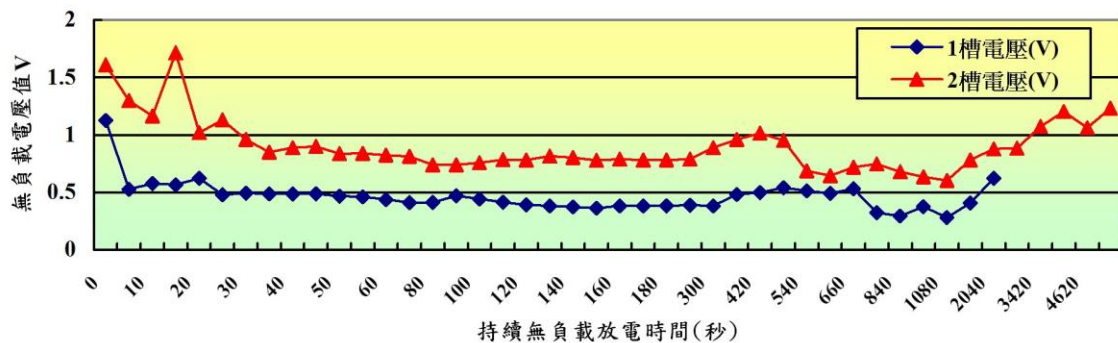
表二十一、使用二個第二代竹炭片空氣電池串聯(每槽注入 30mL 2M 的氯化鈉為電解液，鋁片電極面積 $3 \times 4 \text{ cm}^2$)，持續放電，每 5~600 秒測量一次無負載電流及電壓一次

反應時間(秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
電流(mA)	333	293	264	252	252	191.5	162.4	158.5	254.0	156	152.1
電壓(V)	1.61	1.298	1.164	1.714	1.02	1.13	0.96	0.85	0.888	0.900	0.835
反應時間(秒)	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
電流(mA)	152.1	152.3	145.9	141.3	141.6	148.4	140.4	134.9	147.2	127.3	145.8
電壓(V)	0.839	0.823	0.812	0.738	0.738	0.758	0.785	0.780	0.814	0.802	0.779
反應時間(秒)	160	170	180	240	300	360	420	480	540	600	660
電流(mA)	136.8	135.9	144.8	146.9	162.5	170.8	159.4	164.6	113.4	110.0	127.4
電壓(V)	0.788	0.781	0.780	0.788	0.888	0.960	1.015	0.951	0.686	0.646	0.719
反應時間(秒)	780	840	960	1080	1500	2040	2520	3420	4020	4620	5220
電流(mA)	100.6	108.9	112.4	100.9	136.3	134.1	149.4	170.4	168.6	171.5	161.6
電壓(V)	0.748	0.679	0.635	0.603	0.780	0.878	0.884	1.073	1.204	1.062	1.233

1槽及2槽串聯第二代鋁空氣電池持續放電並量測無負載電流值的變化



1槽及2槽串聯第二代鋁空氣電池持續放電並量測無負載電壓值的變化



實驗十六、【自製第三代空氣電池的裝置設計步驟及圖示與放電效能測試】

表二十二、二個 1200°C 桂竹炭化柱形正極串聯的廢鋁空氣電池負載 6 個 LED 燈及一個馬達風扇的放電效能測試

放電時間(分)	30	60	90	120
負載電流(mA)	296	194.4	78.4	45.8
負載電壓(V)	2.27	2.15	1.50	1.68

表二十三、二個 1000°C 桂竹炭化柱形正極串聯的 3×4 公分 cm² 鎂鋁合金空氣電池負載 6 個 LED 燈及一個馬達風扇的放電效能測試

放電時間(分)	0	30	60	90	120	180
負載電流(mA)	> 612	612	410	315	280	220
負載電壓(V)	3.1	2.4	2.2	2.0	2.0	1.89

陸、討論

一、第一代~第三代廢鋁鐵電池實驗 (正極鐵、負極鋁的電極面積均為 5cm^2 、電解液均為 3MNaOH 的體積為 4mL)

1. 檢測學長們測試結果是小型注射針筒型第一代電池無負載下 100 秒的放電電流約為 9mA (電極捲為筒狀)、第二代布丁杯電池無負載放電電流約為 20mA (電極捲為平板狀)、第三代果凍杯電池【上層加瓶子加壓】無負載放電電流約為 50mA (電極捲為平板狀)、第三代果凍杯電池【上層以手加壓】無負載放電電流約為 $60\sim 80\text{mA}$ (電極捲為平板狀)，由此可知，電池內電阻愈小，無負載放電電流可大大地增加。

二、電解水實驗

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

1. 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。
2. 我們在雙層布丁杯的正、負極的洞內加一點清潔劑，發現只要 5mL 的溶液量、低電壓及低電流(10mA 左右即可)，就可以比較兩電極吹泡泡的能力大小(比較兩者氣泡所佔體積的多寡)，也可以直接從布丁盒外就可以清楚看到負極金屬析出的情形。

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、第一代廢鋁罐或其它金屬空氣電池製作及實驗

1. 第一代空氣電池可驗證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，且比較其所製造出的空氣電池產生的電流強度及電功率大小均為：鎂 > 鋁 > 鋅 > 銅。
2. 我們以像本校製作第三代布丁杯廢鋁鐵電池的方式「將回收用砂紙磨光後的鋁箔平鋪於最下層的布丁杯中，放一張玻璃紙後，再放一片廚房清潔專用抹布，加 2M 食鹽水溶液 5mL 後，由布丁杯已預先鑽孔處插入碳棒，再以上層的布丁杯壓緊後，二層布丁杯以可撕貼膠帶固定兩側。最後，以鱷魚夾線分別夾住碳棒(當正極)、鋁片負極，以三用電錶測出電壓、電流及電阻大小，結果不如預期的高電流、高功率效果！
3. 我們曾利用松脂加溫熔化後，添加極細的石墨粉塗佈在不織布上製成碳膜；也曾在不織布上一面修飾墨汁，經幾次的燒烤及修飾墨汁，另一面利用松脂加溫熔化後混合二氧化錳等，希望能營造出防水穿透卻可透氣的導電碳膜，可惜製出的廢鋁空氣電池的負載電流約只有 10mA 而已。換言之，我們嘗試製作鋁空氣電池的過程並不順利，也參考了很多資料，又試做了不少方法，終於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，才突破製造空氣電池的瓶頸，試出電壓及電流還不錯的空氣電池。

- 4.為了讓空氣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.除此之外，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，例如：中性的強電解質食鹽、鹼性的強電解質氫氧化鈉，但是不宜選酸性的強電解質，因為負極金屬活性若不小，會與酸反應產生氫氣。

六、第二代、第三代廢鋁罐空氣電池製作歷程及實驗

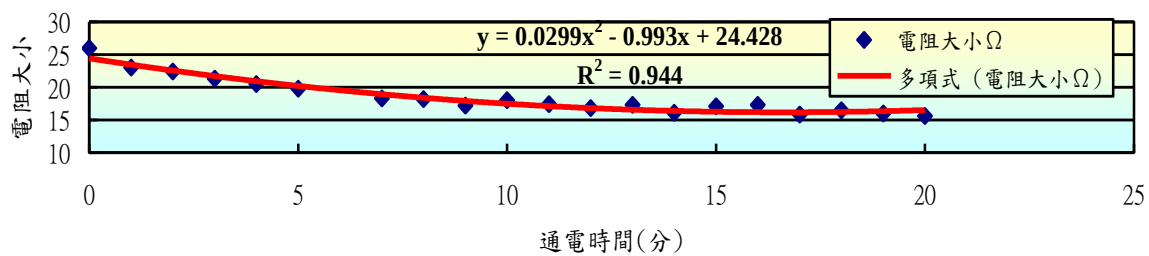
- 1.由第一代空氣電池製作經驗，體會出正極碳膜的製造是影響空氣電池放電效能極為重要的關鍵。我們查資料了解「黑木炭」是將木頭放進窯中加溫至攝氏 600 至 800 度左右，然後熄火冷卻在密閉的窯中逐漸炭化，結果質地較濕較軟，易著火但溫度不穩定。「備長炭」的製作方式是將木頭放在加溫達攝氏 1000 至 1300 度左右高溫下烘燒，再澆上「消火粉」來降溫，結果是質地十分堅硬，重量只有原來的十分之一，導電性較好。
- 2.我們於是想到臺灣盛產的竹子，臺灣竹子種類不少，究竟選擇那種竹子為佳？孟宗竹、箭竹、桂竹？我們在比較各種竹子的用途後，知道桂竹材質堅韌，不僅適合建築用材做屋頂或編織器物的上等材料，北部、中部家具也多利用桂竹材料，因此，我們決定走訪竹山，探尋及了解桂竹材及備材，準備和碳電極做長期的奮戰！
- 3.我們採集臺灣三~四年生的桂竹，先在竹山經第一次製程溫度 180°C 的機械窯燒蒸氣蒸餾。而經低溫炭化後的桂竹材將由綠色轉成茶褐色。
- 4.我們設計乾餾密封陶罐的想法，請陶藝家以手拉胚及修胚的方式製作出密封陶罐(只留一個壓力平衡孔的小洞)，將臺灣桂竹經第二次電窯製程溫度 800~1200°C 乾餾，結果在 290~320°C 乾餾時會冒出嗆鼻濃霧狀，顯示 180°C 的機械窯燒蒸氣蒸餾並無法將竹醋液全部餾出所致。
- 5.以 Dino-Lite 顯微鏡頭調至放大倍率 50~60 倍拍攝 800~1200°C 電窯乾餾桂竹的炭片或炭柱相片，除了乾餾溫度愈高，其體積愈小、長度愈短外，電阻值也愈低(以機械切割器調 10cm 切段，使各竹材的原長相同，電窯乾餾桂竹後，800°C 桂竹炭化半片型電極平均長為 7.99cm、平均電阻為 27.39Ω；1000°C 桂竹炭化圓柱形中空電極平均長為 7.77cm、平均電阻為 11.53Ω，1000°C 半片形平均長為 7.74cm、平均電阻為 14.23Ω；1200°C 桂竹炭化半片型電極平均長為 7.52cm、平均電阻為 7.04Ω；1200°C 桂竹炭化圓柱型中空電極平均長為 7.53cm、平均電阻為 7.20Ω。
- 6.桂竹炭化後表層電阻值測定顯示溫度愈高，竹材間的空隙愈小，由顯微放大 50~60 倍即可看出竹材間的空隙縮密至表面呈平面的層狀條紋結構，由桂竹炭化 800°C~1200°C 的平均電阻為 27.39Ω~7.20Ω 或者更低，可見一斑。
- 7.我們做出桂竹炭化半片型的碳電極為第二代空氣電池的正極；為增加空氣電池正極接觸反應的面積，我們想到桂竹炭化中空圓柱型的碳電極為第三代空氣電池的正極，結果加不織布隔離負極氧化與電解液產生的膠狀物沉積在正極電極上而提高空氣電池的效能及壽命。
- 8.經實測「二個 1200°C 桂竹炭化柱形正極串聯的廢鋁空氣電池負載 6 個 LED 燈及一個馬達風扇」的放電效能可達負載電流還有 296mA、負載電壓為 2.27 V，直到 2 小時後，負載電流還有 40 mA 以上、負載電壓有 1.68 V，LED 燈已經不亮了，但馬達風扇仍持續不斷轉動。
- 9.實驗到最後，1200°C 桂竹炭化柱形電極已不夠實驗用，所以，我們決定用 1000°C 桂竹炭化柱形電極來進行放電效能的實驗，同時，我們想知道經工業處理後的金屬片是否放電效能更佳，因此，選擇了 3×4 公分 cm^2 鎂鋁合金當第三代空氣電池的負極。實驗發電效果，初始電壓 3.1V，最大電流 612mA，可以同時點亮 6 顆 LED 燈與小馬達風扇(負載約 120mA)，

且可連續運轉超過 5 小時。顯示竹炭管作為透氣電極效果十分優良，不但透氣性極佳，也不會滲漏食鹽水，並且發揮 SP^2 平面結構可導電的特性，促進空氣中的氧與活性金屬負極產生電化學反應。

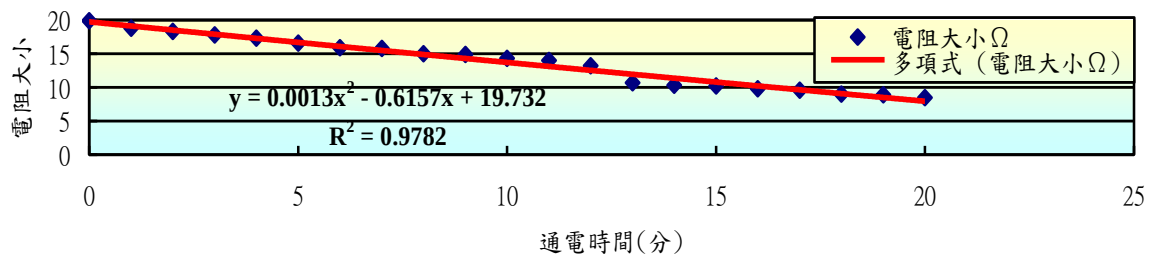
七、自製旋轉臺製作修飾桂竹炭化電極的可行性實驗

1. 我們以 0.25M 的硫酸銅溶液，旋轉台電壓只有一個乾電池的電壓大小，正負極電解反應的供電電壓為 3V，以 800°C 乾餾的炭化電極進行銅離子的還原修飾，由初電阻為 26Ω，每分鐘記錄電阻均有下降，修飾 20 分後，下降為 15.6Ω；1000°C 乾餾的炭化電極進行銅離子的還原修飾，由初電阻為 19.9Ω，修飾 20 分後，下降為 8.5Ω；1200°C 乾餾的炭化電極進行銅離子的還原修飾，由初電阻為 12.9Ω，修飾 20 分後，下降為 4.9Ω。

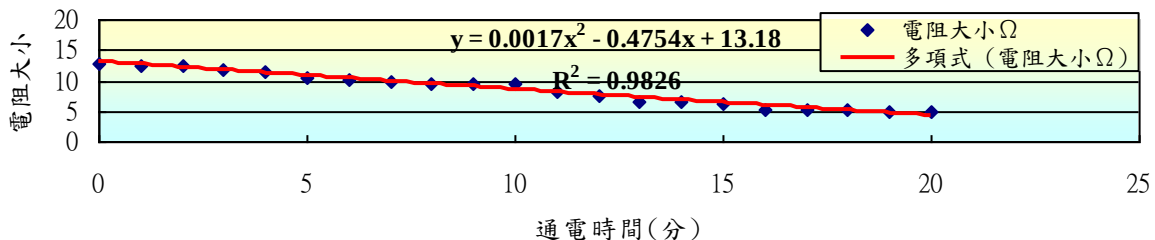
乾餾800°C炭化電極以0.25M的硫酸銅電解還原修飾銅的電阻比較



乾餾1000°C炭化電極以0.25M的硫酸銅電解還原修飾銅的電阻比較



乾餾1200°C炭化電極以0.25M的硫酸銅電解還原修飾銅的電阻比較



2. 800°C~1200°C的炭化電極，以創新自製的電解旋轉臺在炭化電極的內部表面進行修飾銅的結果，每分鐘實測，共測 20 分鐘，發現電阻均有呈現下降的趨勢，而且趨勢線的相關係數均可達 0.9 以上，由此可知，本研究成功地自製旋轉臺製作修飾桂竹炭化電極的可行性。

柒、結論

1. 在研究自製廢鋁鐵雙金屬電池進行電解水或硫酸銅、電鍍銅的電化學實驗上：
 - (1). 我們在不斷的腦力激盪、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。

- (2).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。
 - (3).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。
 - (4).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。
 - (5).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 在研究自製廢鋁空氣電池的設計及效能實驗上：
- (1) 第一代鋁空氣電池在找到了一面防水而另一面透氣的低電阻石墨薄膜及膠合只讓氧氣通過而阻絕水穿透的 Teflon 膜後(價格昂貴、不易購得)，才突破製造空氣電池的瓶頸，做出輸出電壓及電流還不錯的空氣電池。
 - (2)我們跳脫所有傳統塗佈及修飾碳膜的製造，轉而想辦法製作出最簡單、最原始、最便宜、最直接的正極碳材——「桂竹炭化電極」，我們發現，採集三~四年生的桂竹，自然風乾再經初級乾餾收集竹醋液(達 290~330℃時餾出物最多)，初級乾餾後的竹材，還可進行二級乾餾(至 800℃)或三級乾餾(至 1200℃)後，變成附加價值相當高的透氣電極！
 - (3)我們首創開發設計出「臺灣桂竹炭化」之二級或三級乾餾裝置，最後並成功的製造出「不須修飾任何昂貴觸媒的低電阻中空桂竹炭化電極」。
 - (4)我們研究後發現，桂竹雙階段的乾餾裝置設計效能可製出高透氣供氧表層及電阻值變小的新碳極製法，而我們第二代、第三代金屬-空氣電池的創新容器設計，可完全配合採集桂竹口徑大小而製備出各種尺寸的空氣電池。
 - (5).我們以自製第一代至第三代廢鋁空氣電池，配合進行趣味的物理及化學實驗設計，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——實現時，那種智慧大躍進的感覺與成就感油然而生！

捌、參考資料

- 1.本校歷屆科展作品
- 2.康軒自然第四冊第一~第五章 康軒文教事業
- 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.郁仁貽，「實用理論電化學」，徐氏基金會，1993
- 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(p70)
- 7.衣寶廉(2005)。燃料電池-原理與應用。台北市：五南。
8. 網路資源
 - (1)<http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/85/8523045/鋁寶寶再利用.htm>
 - (2)Fuel Cells 2000 <http://216.51.18.233/fcbenefi.html>
 - (3)燃料電池-維基百科-自由的百科全書
 - (4)張雲朋(民92)。由空氣產生電能的新能源—鋅空氣燃料電池，P12~15，科學發展367期
 - (5) <http://www.ctimes.com.tw/DispNews/tw/1209272322NE.shtml>後鋰電池時代的突破點(上)
會呼吸的鋰空氣電池 CTIMES丁于珊20120927報導
 - (6) <http://baike.baidu.com/view/2155011.htm>鋁空氣電池

【評語】 030215

本作品係利用桂竹炭化電極製成空氣電池並逐代改進且有實驗結果。若能加以探討證明桂竹炭化表面積影響結果將更好。