

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080204

鋅鋁奇緣 Let it go

學校名稱：新北市三重區集美國民小學

作者：	指導老師：
小六 蕭瑋漢	劉昱辰
小六 黃家芯	歐育瑄
小六 溫心妤	
小六 林庭安	
小五 倪芷榆	

關鍵詞：鋅空氣電池、鋁空氣電池、氧化還原

摘要

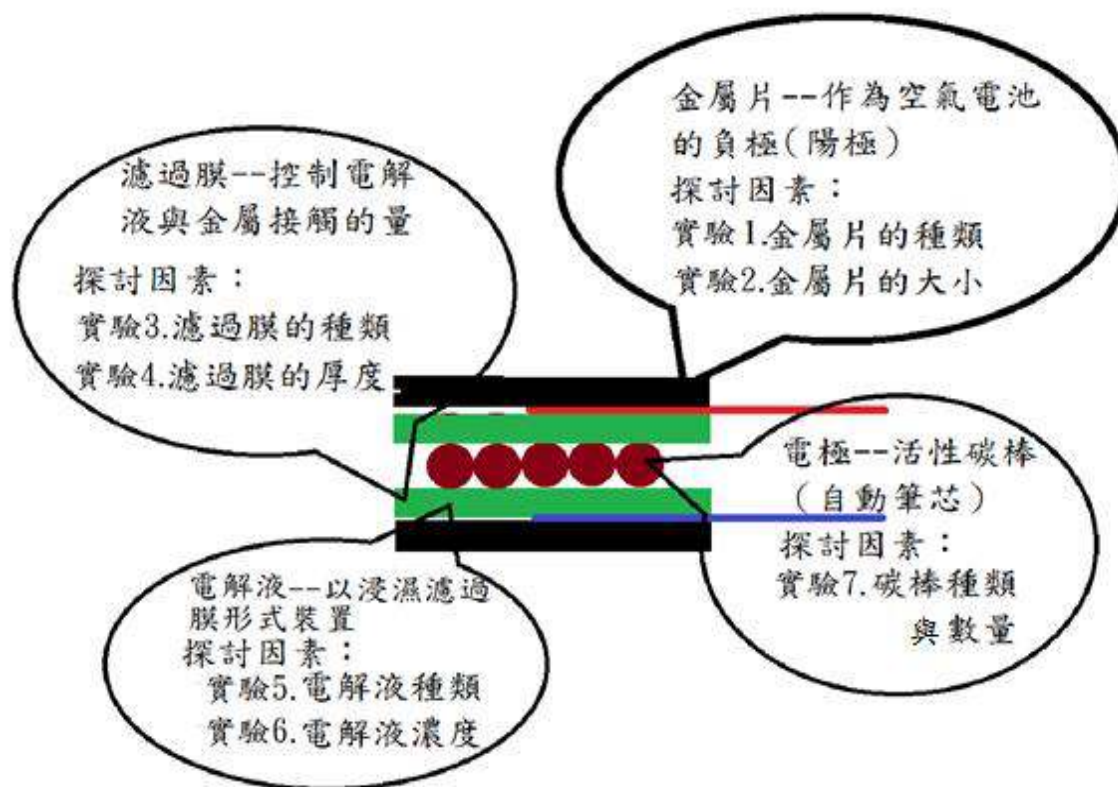
本實驗目的在討論空氣電池中不同的組成與構造，能達到最佳的發電效能之研究。課本上提到在形成通路的電路中，電池本身提供電力讓燈泡發亮，若用其他材料做成空氣電池，是否也有普通電池的發電效能？首先，選擇不同種類的金屬片做為空氣電池的負極，究竟哪種比例與種類的金屬片能有最佳的發電效能？在找到最佳種類與比例金屬片的同時，也探討濾過膜的種類對於發電效能的影響。再者，不同酸鹼性的電解液，是否會影響發電效能？最後，我們選擇了5種自動筆芯當作電極，觀察不同的活性碳棒，對於空氣電池的發電效能是否有不同程度的效果。

壹、研究動機

每當夜晚來臨，家家戶戶總是燈火通明，能讓每一個燈泡亮起來的幕後功臣，當然要歸功於電力的產生。在生活當中，電池是我們垂手可得的電力來源，當我們需要讓手電筒亮起來或是讓電玩具車動起來，都需要電池的幫忙。而課堂中奇妙的電路讓我們想對於電池這個小功臣構造上有進一步的了解，若能利用生活中的材料做成與電池一樣能有電力的空氣電池，試著顛覆電池一定要是圓柱狀的概念，於是我們想運用易取得的材料去研究製作具有電力的空氣電池。

貳、研究目的

本研究旨在探討如何在空氣電池的組成構造中，讓發電效能（最大電壓、電流）達到最佳效果，研究架構圖如下：



<研究架構圖>

參、研究設備與器材

一、酸性、中性與鹼性水溶液的溶液成分：

				
鹽酸	醋酸	蘋果酸	食鹽	磷酸鉀
				
檸檬酸鈉	小蘇打粉	氫氧化鉀	氫氧化鈉	

二、材料：鹽酸、醋酸、蘋果酸、食鹽、磷酸鉀、檸檬酸鈉、小蘇打粉、氫氧化鉀、氫氧化鈉、濾紙、宣紙、餐巾紙、面紙、紗布、5 種筆芯 (HB、B、2B、3B、4B)、金屬片 (鋁、鋅、鐵、銅)



三、器材：電子秤、三用電表、安培計、數位相機、LED 燈泡、50ml 燒杯、250ml 燒杯、500 ml 燒杯、10ml 量筒、玻璃攪拌棒、塑膠攪拌棒、塑膠量匙、鑷子、塑膠手套、培養皿、滴管、標籤紙、碼錶、剪刀、美工刀、塑膠量匙、滴管、透明膠帶、黑色膠帶、膠帶台、保鮮膜、紅色電線、黑色電線、塑膠淺盤、A4 紙數張、直尺、抹布、廚房用紙巾、黑色簽字筆



肆、研究過程與方法

【實驗一】選擇不同種類的金屬作為空氣電池的負極，分析其電流與電壓大小

※方法：

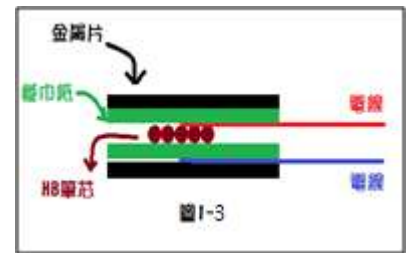
(一) 將鋁片、鋅片、鐵片和銅片四種金屬各裁成 5cm X5cm 大小，分別取一條黑色電線以膠帶固定在金屬片一邊 2cm 處，如表 1-1

表 1-1	鋁	鋅	鐵	銅
金屬種類				

(二) 取餐巾紙裁成 5 cm X 5cm 大小，平鋪在培養皿中，以 5%食鹽水將濾紙完全浸濕。

(三) 取出步驟(二)的餐巾紙分別平鋪對齊放在步驟(一) 鋁片、鋅片、鐵片和銅片四種金屬片，將 10 根 HB 筆芯以膠帶使其平鋪其上，如圖 1-1

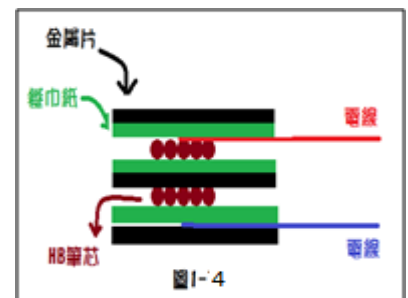
(四) 取一條紅色電線以膠帶固定在步驟 (三) 的 HB 筆芯上，再取出一張步驟 (二) 的濾紙平鋪其上，如圖 1-2



(五) 另取 5cm X5cm 大小的鋁片、鋅片、鐵片和銅片各一片覆蓋在步驟(四)的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成空氣電池，如圖 1-3

(六) 將步驟(五)製成的空氣金屬電池分別三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

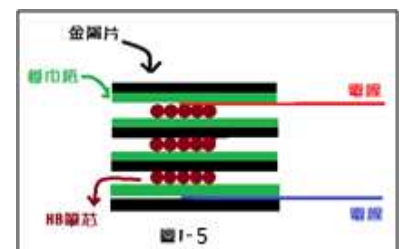
(七) 重複步驟 (一) 至步驟 (三)，再分別於 HB 筆芯上依序覆蓋一片步驟(一)的金屬片、一層步驟(二)的餐巾紙和 10 根 HB 筆芯。



(八) 分別取一條紅色電線以膠帶固定於步驟(七)的 10 根 HB 筆芯上後，再覆蓋一層步驟(二)的餐巾紙，最後再取一片步驟(一)的金屬覆蓋後，以保鮮膜與膠帶密封，製成串聯層數為 1 層的空气電池(如圖 1-4)，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

(九) 重複步驟(七)，再分別於 HB 筆芯上依序覆蓋一片步驟(一)的金屬片、一層步驟(二)的餐巾紙和 10 根 HB 筆芯。

(十) 分別取一條紅色電線以膠帶固定於步驟(九)的 10 根 HB 筆芯上後，再覆蓋一層步驟(二)的餐巾紙，最後再取一片步



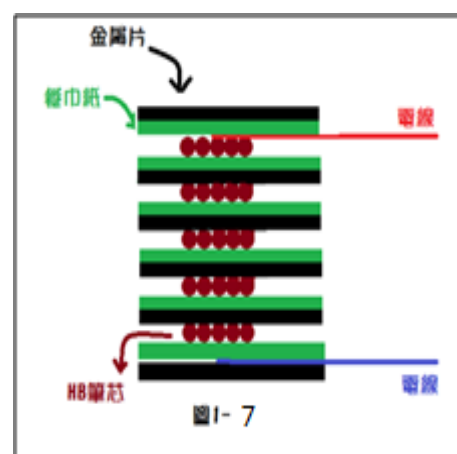
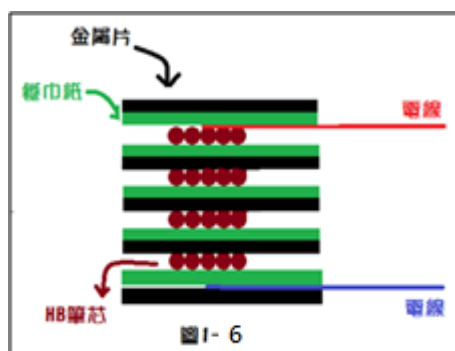
驟(一)的金屬覆蓋後，以保鮮膜與膠帶密封，製成串聯層數為 2 層的空氣電池(如圖 1-5)，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

(十一) 重複步驟(九)，再分別於 HB 筆芯上依序覆蓋一片步驟(一)的金屬片、一層步驟(二)的餐巾紙和 10 根 HB 筆芯。

(十二) 分別取一條紅色電線以膠帶固定於步驟(十一)的 10 根 HB 筆芯上後，再覆蓋一層步驟(二)的餐巾紙，最後再取一片步驟(一)的金屬覆蓋後，以保鮮膜與膠帶密封，製成串聯層數為 3 層的空氣電池(如圖 1-6)，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

(十三) 重複步驟(十一)，再分別於 HB 筆芯上依序覆蓋一片步驟(一)的金屬片、一層步驟(二)的餐巾紙和 10 根 HB 筆芯。

(十四) 分別取一條紅色電線以膠帶固定於步驟(十三)的 10 根 HB 筆芯上後，再覆蓋一層步驟(二)的餐巾紙，最後再取一片步驟(一)的金屬覆蓋後，以保鮮膜與膠帶密封，製成串聯層數為 4 層的空氣電池(如圖 1-7)，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。



※結果：

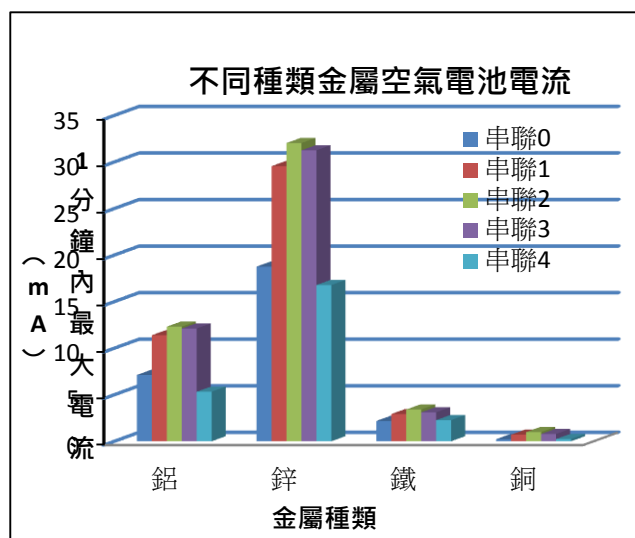
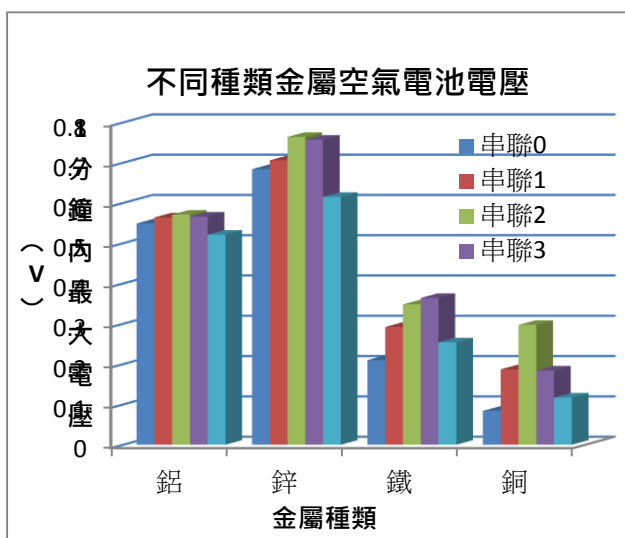
(一)

金屬種類 \ 串聯層數	金屬空氣電池 (V)				
	串聯 0	串聯 1	串聯 2	串聯 3	串聯 4
鋁	0.549	0.564	0.571	0.566	0.521
鋅	0.684	0.706	0.764	0.757	0.615
鐵	0.210	0.292	0.348	0.364	0.254
銅	0.084	0.187	0.297	0.184	0.117

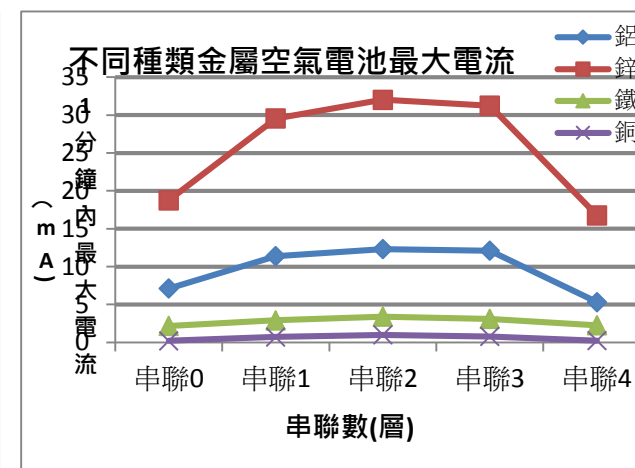
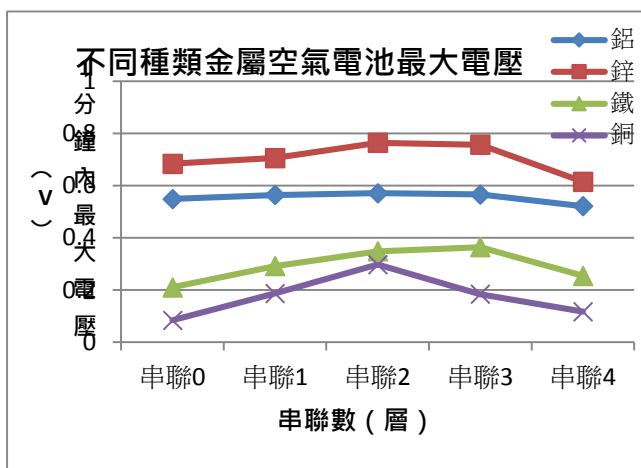
(二)

金屬種類 \ 串聯層數	金屬空氣電池 (mA)				
	串聯 0	串聯 1	串聯 2	串聯 3	串聯 4
鋁	7.12	11.39	12.31	12.11	5.32
鋅	18.76	29.55	32.03	31.25	16.78
鐵	2.18	2.92	3.41	3.11	2.27
銅	0.22	0.71	0.99	0.78	0.24

(三)



(四)



※發現與討論：

- (一) 在鋁、鋅、鐵、銅四種金屬製成的金屬空氣電池中，1 分鐘鐘內釋放出的最大電壓依序為鋅>鋁>鐵>銅。
- (二) 在鋁、鋅、鐵、銅四種金屬製成的金屬空氣電池中，1 分鐘鐘內釋放出的最大電流依序為鋅>鋁>鐵>銅。
- (三) 由實驗可知以鋅、鋁兩種金屬製成的金屬空氣電池，電壓可達之發電效能遠大於以鐵、銅兩種金屬製成的空氣電池。且經測量放電時間 1 分鐘，鋅空氣電池的最大電壓可達到 0.684V，鋁空氣電池的最大電壓亦可達到 0.549V，將近市售電壓 1.5V 乾電池電壓的 1/2。
- (四) 測量放電 1 分鐘，鋅空氣電池的最大電流可達到 18.76mA，鋁電池的最大電流亦可達到 0.712mA，由實驗可知以鋅、鋁兩種金屬製成的金屬空氣電池，電流可達之發電效能遠大於以鐵、銅兩種金屬製成的空氣電池。
- (五) 拆解放電後的金屬空氣電池後，發現金屬片表面顏色改變的情形如下表，鋅片部分表面顏色變黑和鋁片部分表面顏色白色，鐵片與銅片表面顏色變化則不明顯，連接電池與燈泡後發現反應後的金屬片，顏色為改變的部分依舊維持導電可以使燈泡發亮，顏色有改

變的部分則不導電無法使燈泡發亮。

金屬種類	鋅	鋁	鐵	銅
反應前				
反應後				

(六) 以串聯方式裝置金屬空氣電池內部，發現鋁、鋅、鐵、銅四種金屬製成的金屬空氣電池電壓電流隨著內部串聯至層數 2，數據皆有上升趨勢，串聯至層數 3 數據開始下降，電壓數據變化不大，電流數據變化較為明顯。推測是電池內部電阻增加導致電流數據下降。

(七) 由實驗結果推論，

- 1.選用鋅片或鋁片製作之金屬空氣電池，發電效能(電壓、電流)較佳。
- 2.金屬空氣電池屬於一次性使用之電池，透過化學反應產生電能的同時其生成物
- 3.金屬空氣電池之發電效能(電壓、電流)可以透過將內部串聯層數增加的方式增加，但因化學生成物的限制，無法增加無限制增加。

【實驗二】不同面積大小的金屬，對於空氣電池電壓電流大小的分析

※方法：

(一) 分別取 5 片鋅片與鋁片裁剪成規格如下：

規格	5cm X5cm	5 cm X10cm	5 cm X15cm	5 cm X20cm	5 cm X25cm
鋅片					



- (二) 各取 5 條黑色電線分別以膠帶固定在步驟(一)中鋅片及鋁片一邊分別為 2cm、4cm、7cm、9cm 以及 12cm 處。
- (三) 取餐巾紙裁成 5cm X5cm、5cm X10cm、5cm X15cm、5cm X20cm 和 5cm X25cm 大小，分別平鋪對齊放在步驟(二)五種規格的鋅片上，以 2.5ml 5%食鹽水將濾紙完全滴濕。
- (四) 將 10 根 HB 筆芯以膠帶使其平鋪於步驟(三)的濾紙上後，再分別放置一條紅色電線，以膠帶固定。
- (五) 於步驟(四)的紅色電線上，再取出一張步驟(三)的濾紙平鋪其上。
- (六) 另取 5cm X5cm、5cm X10cm、5cm X15cm、5cm X20cm 和 5cm X25cm 大小的鋅片與鋁片

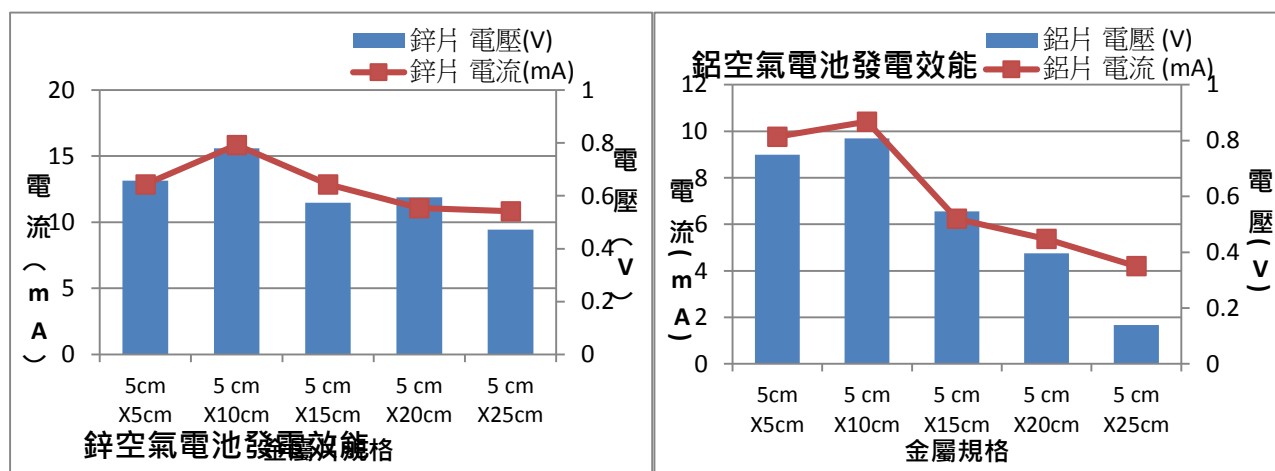
規格		5cm X5cm	5 cm X10cm	5 cm X15cm	5 cm X20cm	5 cm X25cm
金屬空氣電池						
鋅片	電壓(V)	0.5718	0.5731	0.5947	0.6576	0.7799
	電流(mA)	1.0752	1.1064	1.5832	1.2864	1.0832
鋁片	電壓 (V)	0.5462	0.3961	0.1391	0.7496	0.8074
	電流 (mA)	0.9761	1.0411	0.6232	0.5370	0.4202

分別覆蓋在步驟(五)的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成空氣電池。

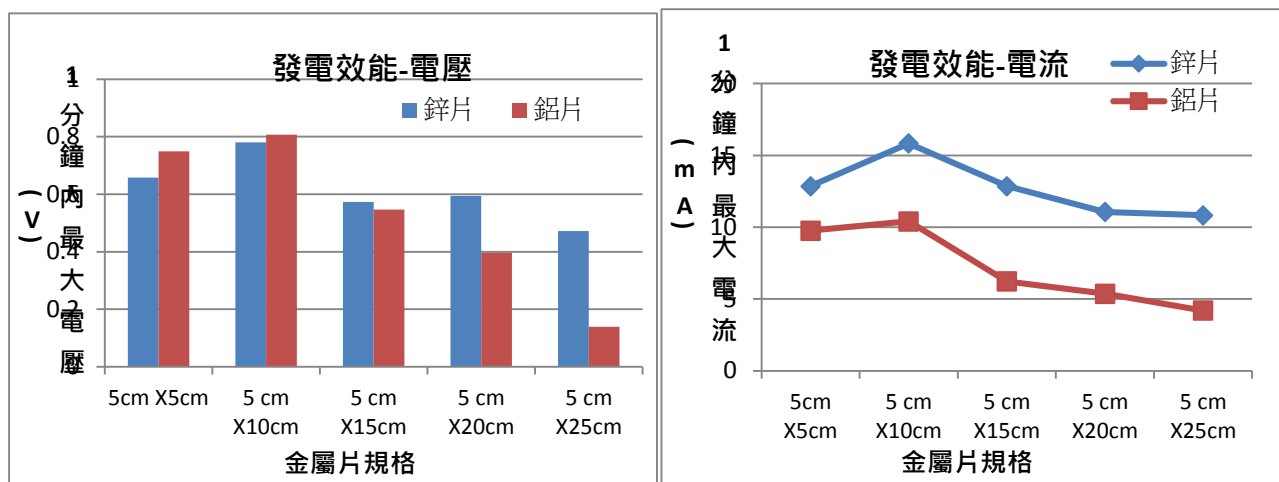
- (七) 將步驟(六)製成的鋅空氣金屬電池和鋁空氣電池分別用三用電表測量其 1 分鐘內最大電流、電壓，並記錄之。

※結果：

(一)



(二)



※發現與討論：

- (一) 鋅空氣電池的鋅片面積等倍增加時，
 1. 電壓變化順序為 5cmX10cm > 5cmX5cm > 5cmX20cm > 5cmX15cm > 5cmX25cm
 2. 電流變化順序為 5cmX10cm > 5cmX5cm > 5cmX20cm > 5cmX15cm > 5cmX25cm
- (二) 鋁空氣電池的鋁片面積等倍增加時，
 1. 電壓變化順序為 5cmX10cm > 5cmX5cm > 5cmX15cm > 5cmX20cm > 5cmX25cm
 2. 電流變化順序為 5cmX10cm > 5cmX5cm > 5cmX15cm > 5cmX20cm > 5cmX25cm
- (三) 實驗結果顯示，金屬片面積增加為 2 倍時(5cmX10cm)，金屬空氣電池的電壓及電流數據最大，但增加差異不大，但當面積繼續增加為 3 倍、4 倍和 5 倍時，電壓及電流量有下降的趨勢。
- (四) 由實驗數據推論，
 1. 金屬空氣電池之電壓與電流應會隨金屬片面積增加，化學反應面積增加而增加，但增加幅度有限。
 2. 金屬片面積增加時，化學反應所產生的反應物(鋅片上的黑色物質、鋁片上的白色物質)可能讓電池內部電阻增加，反而使電壓及電流減少。
 3. 在金屬空氣電池控制食鹽水為 2.5ml 5%的限制下，金屬片面積為 5cmX10cm 時，發電效能最佳，但與面積為 5cmX5cm 差異不大，在成本及整體外觀考量下，本實驗選用面積為 5cmX5cm 之金屬片製作金屬空氣電池。

【實驗三】濾過膜種類對於空氣電池電壓電流大小的分析

方法：

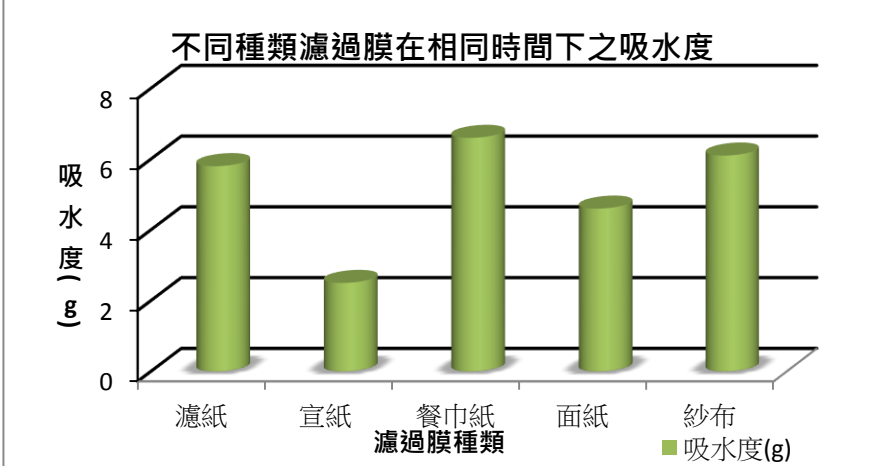
- (一) 將濾紙、宣紙、餐巾紙、衛生紙和紗布分別裁成 5 cm X 5cm 大小各 10 張，以電子秤秤其重量後，再分別置入裝有水的培養皿放置 1 分鐘後取出秤重，觀察其吸水量，計算前後重量差異。
吸水度(g)=吸水後重量(g)-吸水前重量(g)
- (二) 取 8 片鋅片分別裁成 5cm X 5cm 大小，取 5 條黑色電線以膠帶分別固定在鋅片一邊 2cm

處。

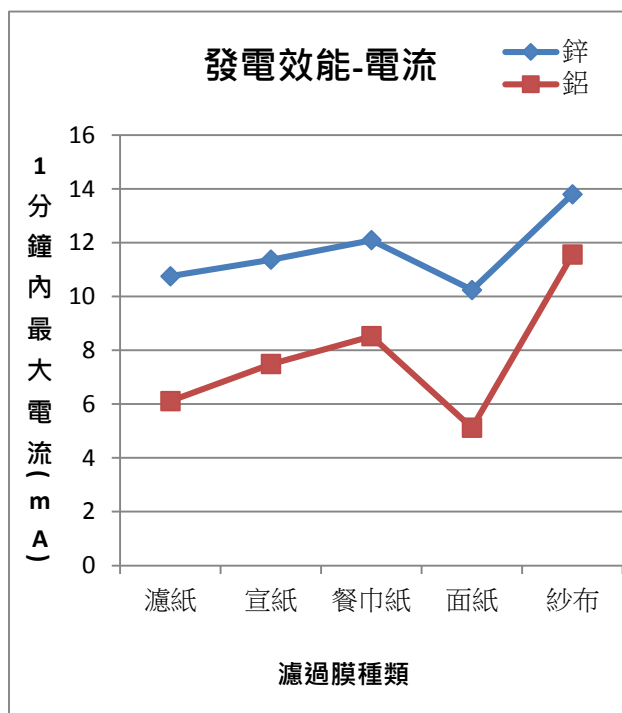
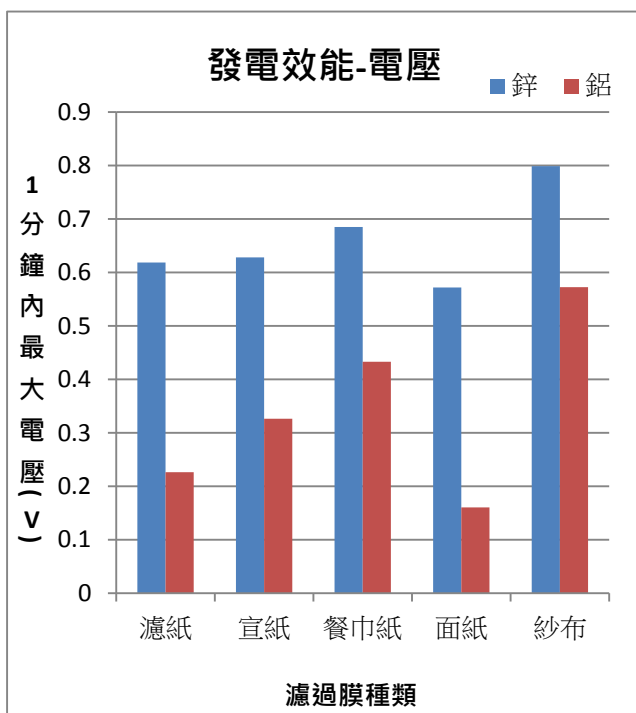
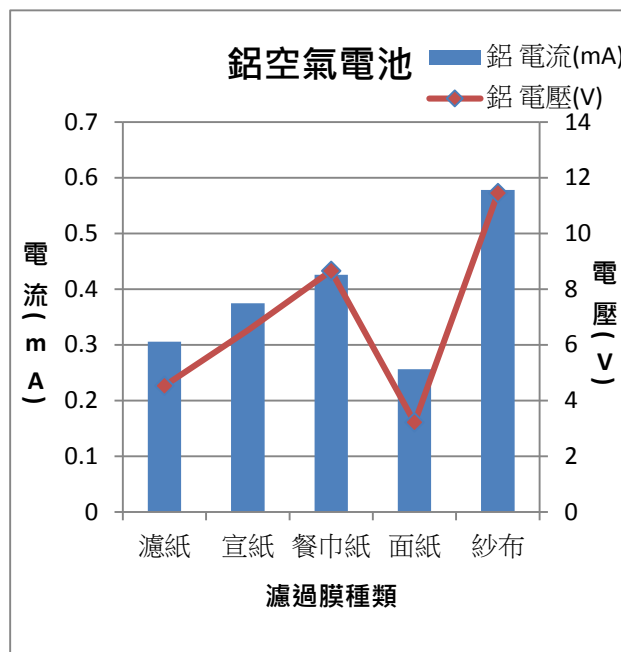
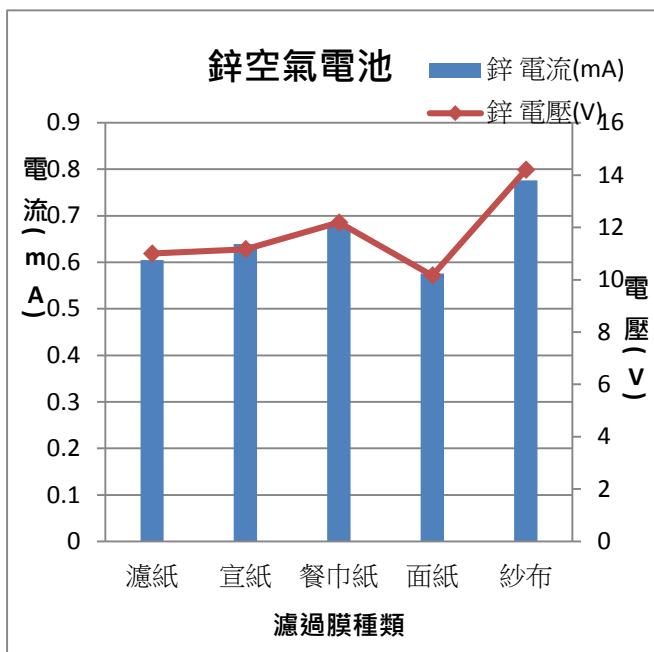
- (三) 取濾紙、宣紙、餐巾紙、衛生紙和紗布分別裁成 5 cm X 5cm 大小，平鋪在培養皿中，以 2.5ml 5% 食鹽水將濾紙完全浸濕。
- (四) 將 10 根 HB 筆芯以膠帶使其分別平鋪於步驟(三)的濾紙、餐巾紙、衛生紙和紗布上後，再分別放置一條紅色電線，以膠帶固定
- (五) 在步驟(五)的筆芯上，於鋅片一邊 3cm 處分別放置一條紅色電線，再各取出一張步驟(二)的濾紙、餐巾紙、衛生紙和紗布平鋪其上。
- (六) 另取 5cm X 5cm 大小的鋅片 8 片，分別覆蓋在步驟(五)上的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成鋅空氣電池。
- (七) 將步驟(五)製成的鋅空氣金屬電池以三用電表測量其 1 分鐘內最大電流、電壓，並記錄之。
- (八) 將鋅片以鋁片替代，重複步驟(一)至步驟(六)，測量並記錄鋁空氣電池 1 分鐘內最大電流、電壓。

※結果：

(一)

濾過膜種類		濾紙	宣紙	餐巾紙	面紙	紗布												
吸水度	吸水測量																	
	吸水度(g)=吸水後重量(g)-吸水前重量(g)	不同種類濾過膜在相同時間下之吸水度 <table><caption>不同種類濾過膜在相同時間下之吸水度數據</caption><thead><tr><th>濾過膜種類</th><th>吸水度(g)</th></tr></thead><tbody><tr><td>濾紙</td><td>6.1</td></tr><tr><td>宣紙</td><td>2.5</td></tr><tr><td>餐巾紙</td><td>6.6</td></tr><tr><td>面紙</td><td>4.6</td></tr><tr><td>紗布</td><td>6.1</td></tr></tbody></table>					濾過膜種類	吸水度(g)	濾紙	6.1	宣紙	2.5	餐巾紙	6.6	面紙	4.6	紗布	6.1
	濾過膜種類	吸水度(g)																
	濾紙	6.1																
	宣紙	2.5																
餐巾紙	6.6																	
面紙	4.6																	
紗布	6.1																	
吸水前重量(g)	2.5	1.3	0.9	0.5	0.9													
吸水後重量(g)	8.3	3.8	7.5	5.1	7.0													
吸水度(g)	5.8	2.5	6.6	4.6	6.1													
鋅	電壓(V)	0.6189	0.628	0.6854	0.5718	0.7987												
	電流(mA)	10.752	11.364	12.091	10.244	13.802												
鋁	電壓(V)	0.2264	0.3261	0.4327	0.1607	0.5723												
	電流(mA)	6.113	7.489	8.521	5.123	11.56												

(二)



※發現與討論：

- (一) 吸水度即水份吸收度，是對於液體的吸收度或附著力。濾過膜在金屬空氣電池中，作為具有空氣擴散與保存電解液的功能。
- (二) 在本實驗由於單張濾過膜重量過輕不易測量，故各以 10 張為單位，計算其吸水度，計算方式以「吸水度(g)=吸水後重量(g)-吸水前重量(g)」呈現。
- (三) 吸水度比較:餐巾紙>紗布>濾紙>面紙>宣紙
- (四) 不同種類濾過膜製作之鋅空氣電池，發電效率(電壓、電流)大小如下:
 電壓:紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
 電流:紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙

(五) 不同種類濾過膜製作之鋁空氣電池，發電效率(電壓、電流)大小如下:

電壓:紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙

電流:紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙

(六) 由實驗結果顯示:

1. 濾過膜中吸水度最大為餐巾紙，最小為宣紙

2. 發電效率最大為以紗布製作之空氣電池，最小為以面紙製作之空氣電池

但紗布吸水度並非濾過膜種類(紗布、餐巾紙、宣紙、濾紙、面紙)中最大的
→推論濾過膜之吸水度與製成之空氣電池的發電效率沒有相關。

3. 以找出最大發電效率之空氣電池為目的，濾過膜採用紗布材質。

【實驗四】濾過膜厚度對於空氣電池電壓電流大小的分析

※方法：

(一) 取5片鋅片分別裁成5cm X5cm大小，取5條黑色電線以膠帶分別固定在鋅片一邊2cm處。

(二) 取濾紙、餐巾紙、衛生紙和紗布分別裁成5cm X 5cm大小，平鋪在培養皿中，以5%食鹽水將濾紙完全浸濕。

(三) 取出步驟(二)的濾紙、餐巾紙、衛生紙和紗布分別平鋪對齊放在步驟(一)鋅片上，將10根HB筆芯以膠帶使其平鋪其上。

(四) 在步驟(三)的HB筆芯上，於鋅片一邊3cm處分別放置一條紅色電線，再取出一張步驟(二)的濾紙平鋪其上。

(五) 重複步驟(一)至步驟(四)，分別取出步驟(二)的濾紙2片、3片、4片、5片分別平鋪對齊放在步驟(一)鋅片上，將10根HB筆芯以膠帶使其平鋪其上。

(六) 在HB筆芯上，於鋅片一邊3cm處分別放置一條紅色電線，再分別取出2片、3片、4片、5片步驟(二)的濾紙平鋪其上。

(七) 取出5cm X5cm大小的鋅片分別覆蓋在步驟(六)的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成空氣電池，如圖4-1。

(八) 將步驟(七)製成的鋅空氣金屬電池以三用電表測量其1分鐘內最大電流、電壓，並記錄之。

(九) 將鋅片以鋁片替代，重複步驟(一)至步驟(八)，測量並記錄鋁空氣電池1分鐘內最大電流、電壓。



圖 4-1

※結果：

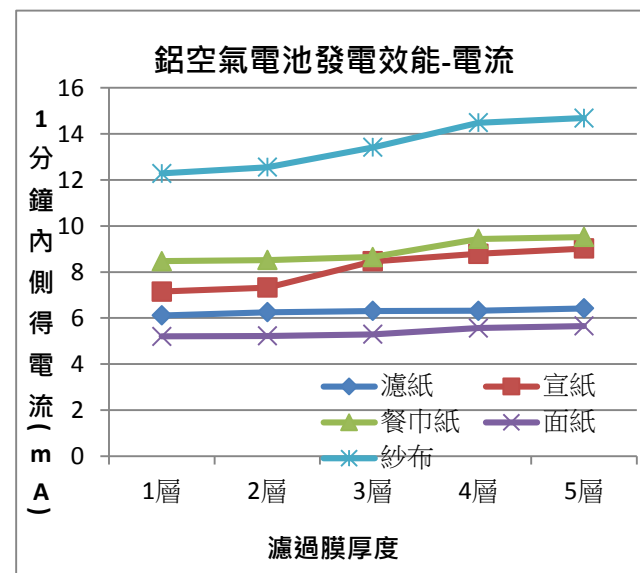
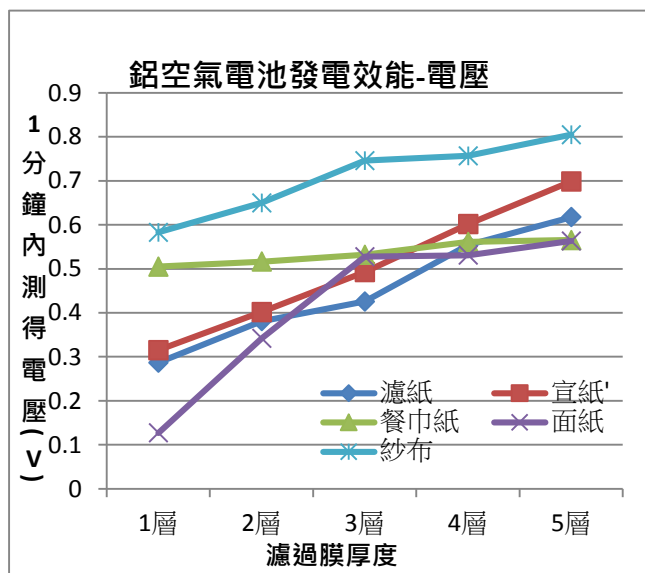
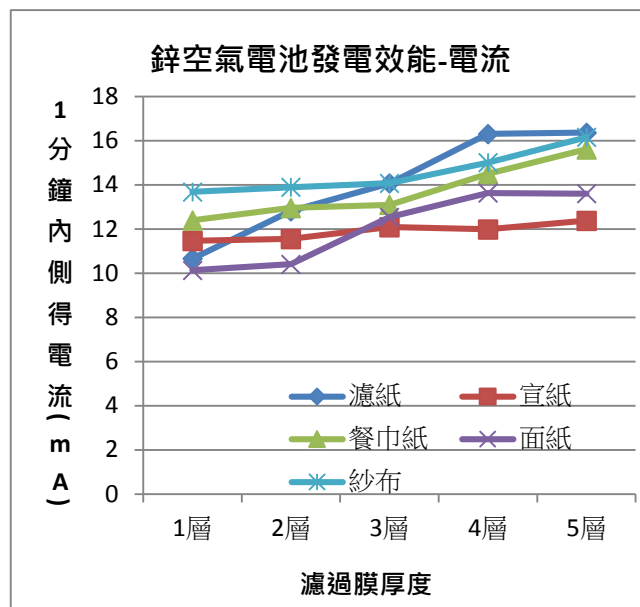
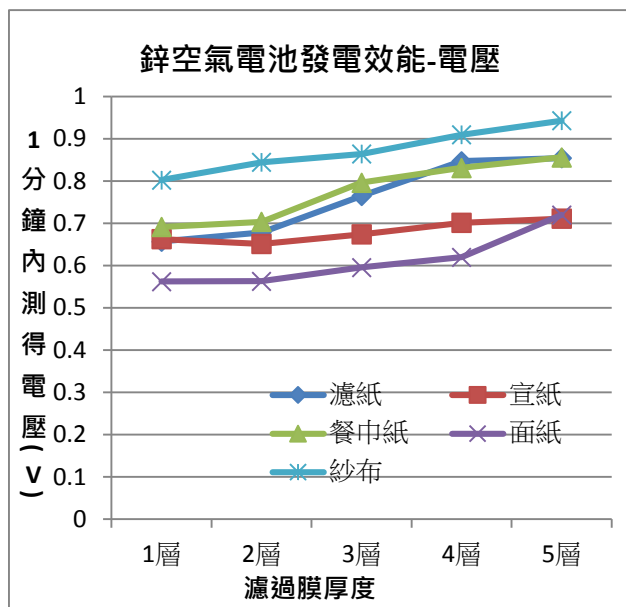
(一)

濾過膜厚度			1 層	2 層	3 層	4 層	5 層
鋅空氣電池	濾紙	電壓(V)	0.6571	0.6784	0.7647	0.8472	0.8544
		電流(mA)	10.654	12.81	14.063	16.302	16.362

	宣紙	電壓(V)	0.6628	0.6514	0.6739	0.7013	0.7111
		電流(mA)	11.462	11.546	12.087	11.982	12.376
	餐巾紙	電壓(V)	0.6914	0.7034	0.7963	0.8312	0.856
		電流(mA)	12.392	12.954	13.092	14.501	15.604
	面紙	電壓(V)	0.5625	0.5631	0.5958	0.6198	0.7198
		電流(mA)	10.132	10.404	12.537	13.629	13.601
	紗布	電壓(V)	0.8024	0.8445	0.8642	0.9095	0.9428
		電流(mA)	13.682	13.892	14.071	15.003	16.151

濾過膜厚度			1 層	2 層	3 層	4 層	5 層
鋁空氣電池	濾紙	電壓(V)	0.2867	0.381	0.4255	0.554	0.6174
		電流(mA)	6.1162	6.2514	6.3113	6.3141	6.4193
	宣紙	電壓(V)	0.3149	0.4017	0.4925	0.6012	0.6984
		電流(mA)	7.148	7.325	8.463	8.791	9.023
	餐巾紙	電壓(V)	0.5051	0.5161	0.5318	0.5611	0.5655
		電流(mA)	8.472	8.5203	8.651	9.4354	9.5211
	面紙	電壓(V)	0.1269	0.3416	0.5274	0.5306	0.5632
		電流(mA)	5.2062	5.2254	5.2933	5.5662	5.6582
	紗布	電壓(V)	0.5828	0.6496	0.7457	0.7567	0.8049
		電流(mA)	12.284	12.552	13.414	14.488	14.686

(二)



※發現與討論：

- (一) 濾過膜層數不同製成的金屬(鋅、鋁)空氣電池，其發電效能(電壓、電流):5 層>4 層>3 層>2 層>1 層，層數越多，發電效能越佳，但並未呈現正比關係。
- (二) 本實驗結果中，以不同濾過膜種類製成之金屬(鋅、鋁)空氣電池，各層數之發電效能如下:

1.鋅空氣電池

層數	發電效能-電壓	發電效能-電流
1 層→	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
2 層→	紗布>餐巾紙>濾紙>宣紙>面紙	紗布>餐巾紙>濾紙>宣紙>面紙
3 層→	紗布>餐巾紙>濾紙>宣紙>面紙	紗布>濾紙>餐巾紙>面紙>宣紙

4 層→	紗布>餐巾紙>濾紙>宣紙>面紙	濾紙>紗布 >餐巾紙>面紙>宣紙
5 層→	紗布>餐巾紙>濾紙>面紙>宣紙	濾紙>紗布 >餐巾紙>面紙>宣紙

2.鋁空氣電池

層數	發電效能-電壓	發電效能-電流
1 層→	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
2 層→	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
3 層→	紗布>餐巾紙>面紙>宣紙>濾紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
4 層→	紗布>宣紙>餐巾紙>濾紙>面紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙
5 層→	紗布>宣紙>濾紙>餐巾紙>面紙	紗布>餐巾紙>宣紙>濾紙>面紙

- 鋅空氣電池之發電效能，電壓部分最佳為紗布，最差為面紙。電流部分最佳為紗布，最差為面紙或宣紙。
- 鋁空氣電池之發電效能，電壓部分最佳為紗布，最差為面紙或濾紙。電流部分最佳為紗布，最差為面紙。
- 大致和實驗三實驗結果相同，發電效果最佳為紗布，最差為面紙。

- (三) 綜合實驗三與實驗四實驗結果發現，濾過膜在金屬空氣電池中扮演的主要功能角色為吸收與保存電解液的介面物質，因此在考量電池發電效能發揮效果下，選用 5 層紗布作為濾過膜之材料。

【實驗五】電解液種類對於空氣電池電壓電流大小的分析

※方法：

- (一) 分別取 5 片鋅片分別裁成 5cm X 5cm 大小，取 5 條黑色電線以膠帶分別固定在鋅片一邊 2cm 處。
- (二) 取 5 個 100ml 燒杯，分別調配重量百分濃度為 1% 的鹽酸水溶液、醋酸水溶液、蘋果酸水溶液、氯化鈉水溶液、磷酸鉀水溶液、檸檬酸鈉水溶液、小蘇打水溶液、氫氧化鉀與氫氧化鈉水溶液。
- (三) 將紗布裁成 5 cm X 5cm 大小，平鋪在培養皿中，以滴管將步驟(二)中重量濃度為 1% 的鹽酸水溶液、醋酸水溶液、蘋果酸水溶液、氯化鈉水溶液、磷酸鉀水溶液、檸檬酸鈉水溶液、小蘇打水溶液、氫氧化鉀與氫氧化鈉水溶液滴入培養皿中，將紗布完全浸濕。。
- (四) 取出步驟(三)的紗布，分別平鋪 5 張對齊放在步驟(一)鋅片上，將 10 根 HB 筆芯以膠帶使其平鋪於步驟(三)的紗布上後，再分別放置一條紅色電線，以膠帶固定。

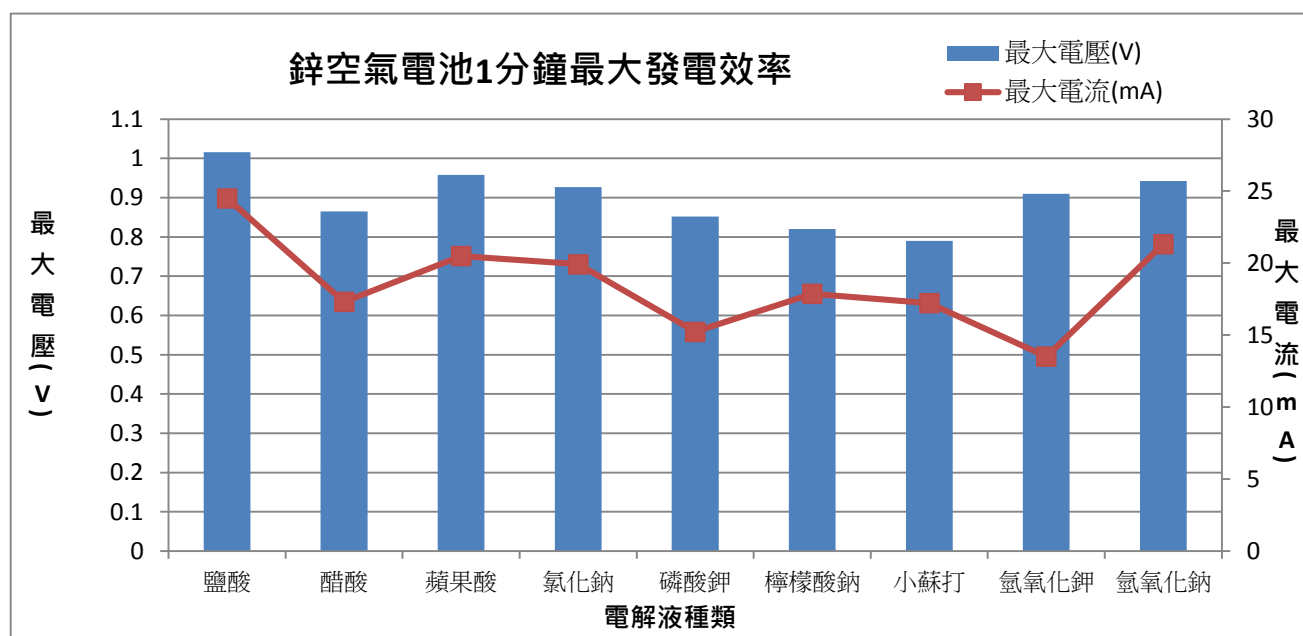
- (五) 於步驟(四)的紅色電線上，再取出 5 張步驟(三)的紗布平鋪其上。
- (六) 另取 5cm X5cm 大小的鋅片分別覆蓋在步驟(五)的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成鋅空氣電池。
- (七) 將步驟(六)製成的鋅空氣電池以三用電表每隔 10 秒鐘測量一次電流，持續 1 分鐘，並記錄其 1 分鐘內最大電壓、電流。
- (八) 以鋁片取代鋅片，重複步驟(一)至步驟(七)製作鋁空氣電池，並以三用電表每隔 10 秒鐘測量一次電流，持續 1 分鐘，並記錄其 1 分鐘內最大電壓、電流。

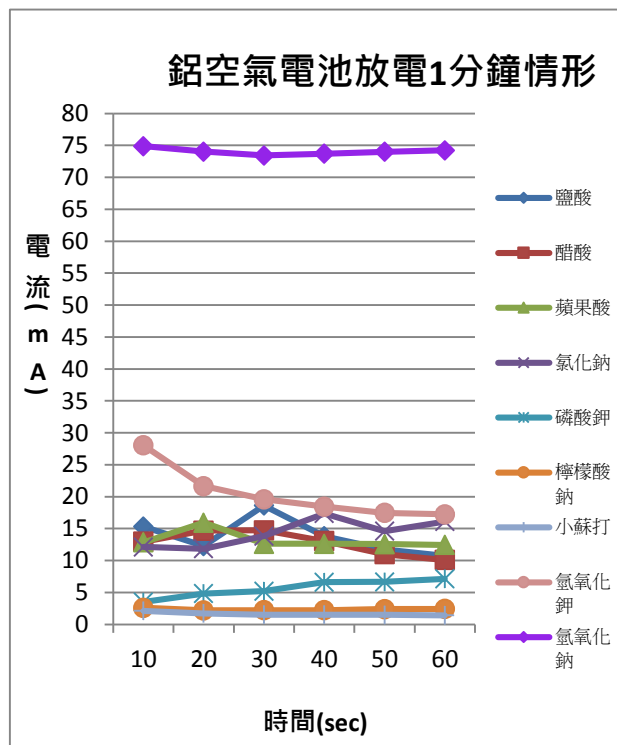
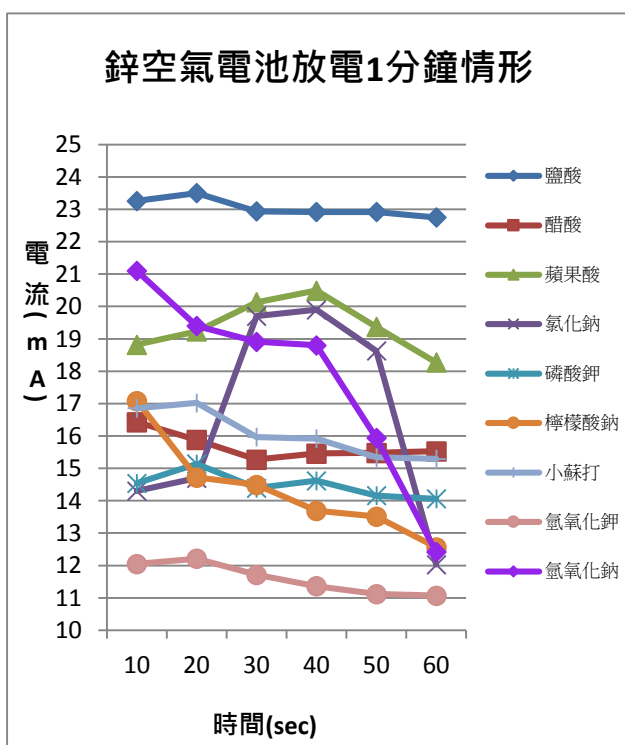
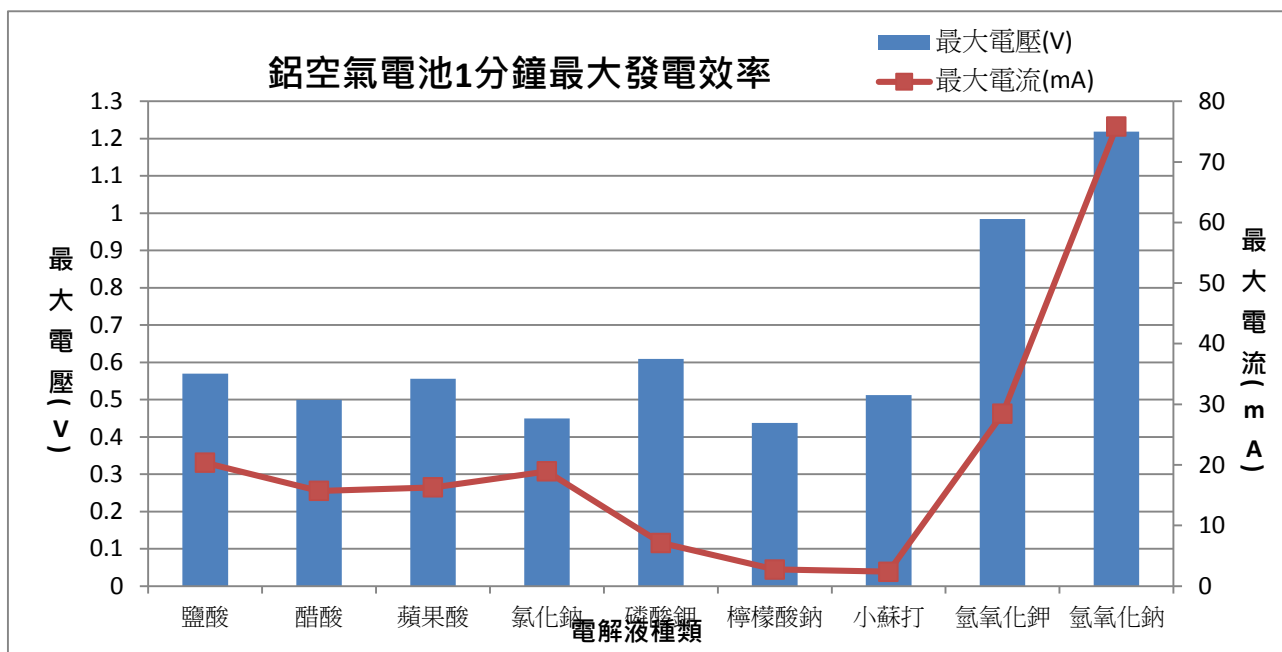
※結果

(一)鋅空氣電池

鋅空氣電池	電解液種類	鹽酸	醋酸	蘋果酸	氯化鈉	磷酸鉀	檸檬酸鈉	小蘇打	氫氧化鉀	氫氧化鈉
	最大電壓(V)	1.016	0.8645	0.9575	0.9269	0.8518	0.8201	0.7901	0.9098	0.9421
	最大電流(mA)	24.5	17.31	20.49	19.93	15.24	17.87	17.22	13.51	21.31
	時間(sec)	電流(mA)								
	10 秒	23.26	16.43	18.82	14.3	14.54	17.08	16.86	12.05	21.1
	20 秒	23.5	15.88	19.23	14.7	15.14	14.72	17.02	12.21	19.4
	30 秒	22.94	15.27	20.13	19.7	14.39	14.49	15.97	11.71	18.91
	40 秒	22.92	15.46	20.49	19.9	14.62	13.69	15.92	11.36	18.8
	50 秒	22.92	15.48	19.37	18.63	14.16	13.51		11.12	15.94
	60 秒	22.75	15.53	18.27	12.03	14.06	12.56	15.29	11.07	12.42

鋁空氣電池	電解液種類	鹽酸	醋酸	蘋果酸	氯化鈉	磷酸鉀	檸檬酸鈉	小蘇打	氫氧化鉀	氫氧化鈉
	最大電壓(V)	0.5701	0.499	0.5559	0.4499	0.6089	0.4375	0.5122	0.9845	1.2187
	最大電流(mA)	20.37	15.71	16.3	18.94	7.13	2.73	2.36	28.45	75.87
	時間(sec)	電流(mA)								
	10 秒	15.31	12.94	12.84	12.13	3.51	2.61	2.13	28.05	74.87
	20 秒	12.27	14.67	15.94	11.84	4.83	2.21	1.72	21.64	74.02
	30 秒	18.62	14.73	12.62	13.82	5.21	2.22	1.53	19.59	73.42
	40 秒	13.81	13.05	12.62	17.36	6.61	2.23	1.53	18.43	73.7
	50 秒	11.73	11.01	12.57	14.61	6.67	2.41	1.5	17.47	73.99
	60 秒	10.72	10.09	12.45	16.1	7.13	2.43	1.43	17.23	74.22





※發現與討論：

(一) 由實驗結果發現，使用不同種類的電解液製作金屬空氣電池，金屬空氣電池產生的發電效率也不同。

1. 鋅空氣電池的發電效率

(1) 1分鐘內最大電壓:

鹽酸>蘋果酸>氫氧化鈉>氯化鈉>氫氧化鉀>醋酸>磷酸鉀>檸檬酸鈉>小蘇打

(2) 1分鐘內最大電流:

鹽酸>氫氧化鈉>蘋果酸>氯化鈉>檸檬酸鈉>醋酸>小蘇打>磷酸鉀>氫氧化鉀

2. 鋁空氣電池的發電效率

(1) 1 分鐘內最大電壓:

氫氧化鈉>氫氧化鉀>磷酸鉀>鹽酸>蘋果酸>小蘇打>醋酸>氯化鈉>檸檬酸鈉

(2) 1 分鐘內最大電流:

氫氧化鈉>氫氧化鉀>鹽酸>氯化鈉>蘋果酸>醋酸>磷酸鉀>檸檬酸鈉>小蘇打

- (二) 考量找尋最大發電效能的實驗目的下，以鹽酸、氫氧化鈉作為電解液搭配鋅片與鋁片，製作金屬空氣電池，值得注意的是鹽酸、氫氧化鈉水溶液為強酸強鹼性質的水溶液，製作時必須特別注意製作安全。
- (三) 空氣電池之電流大致會隨著放電時間增加而遞減，但是因為電解液成分不同之關係而有不同程度之差異，推測是因為電解液化學反應需要時間不同所導致，建議可另外延伸研究主題探究。

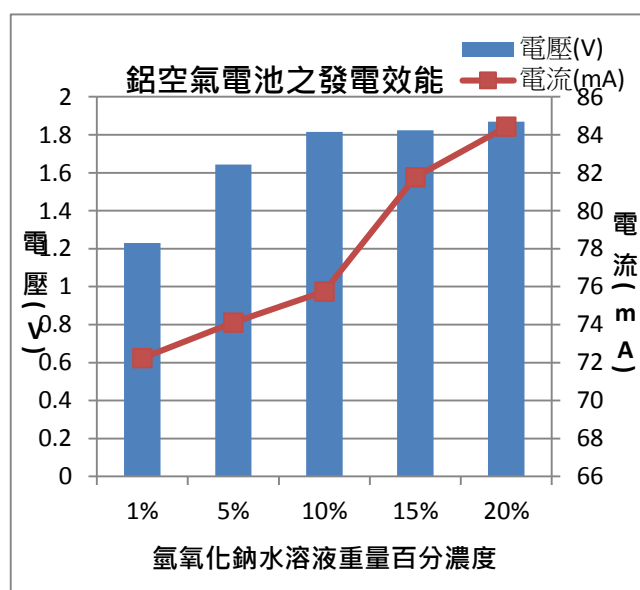
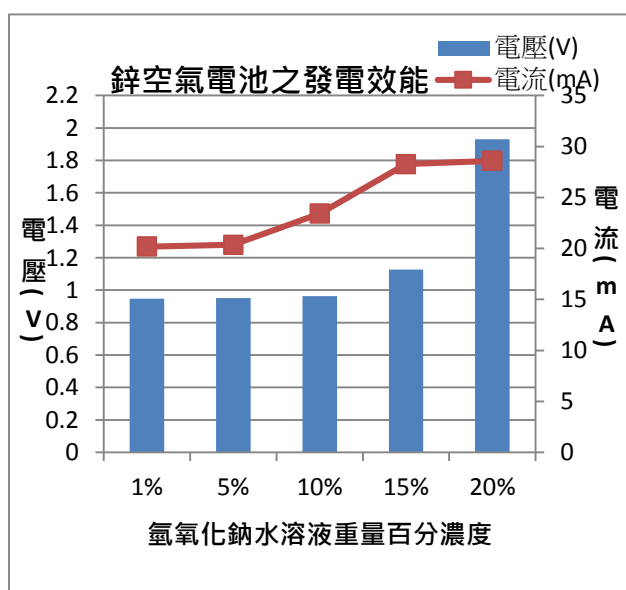
【實驗六】電解液濃度對於空氣電池電壓電流大小的分析

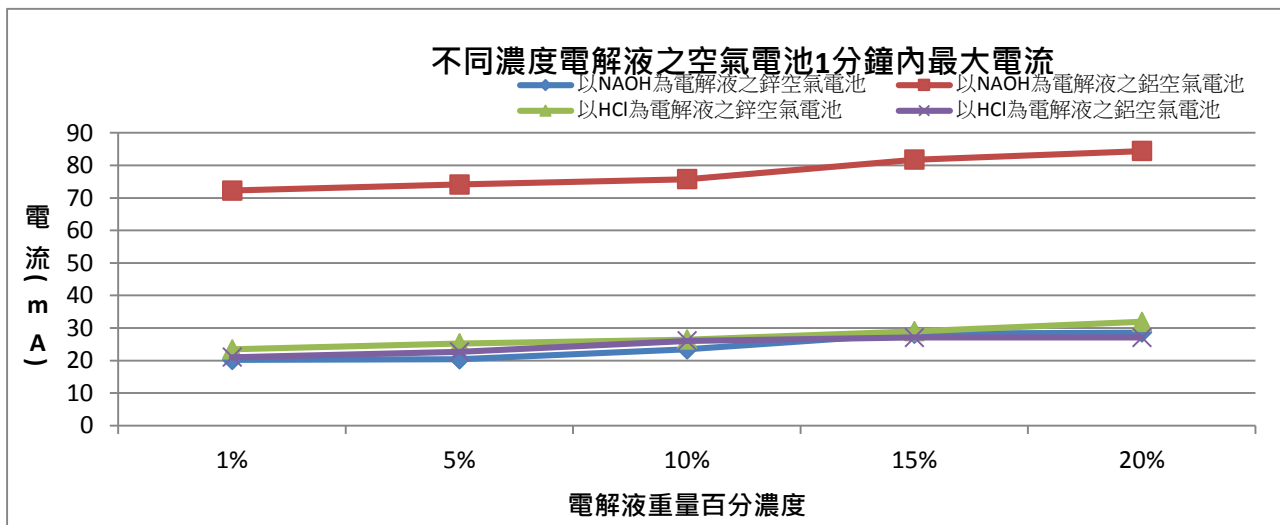
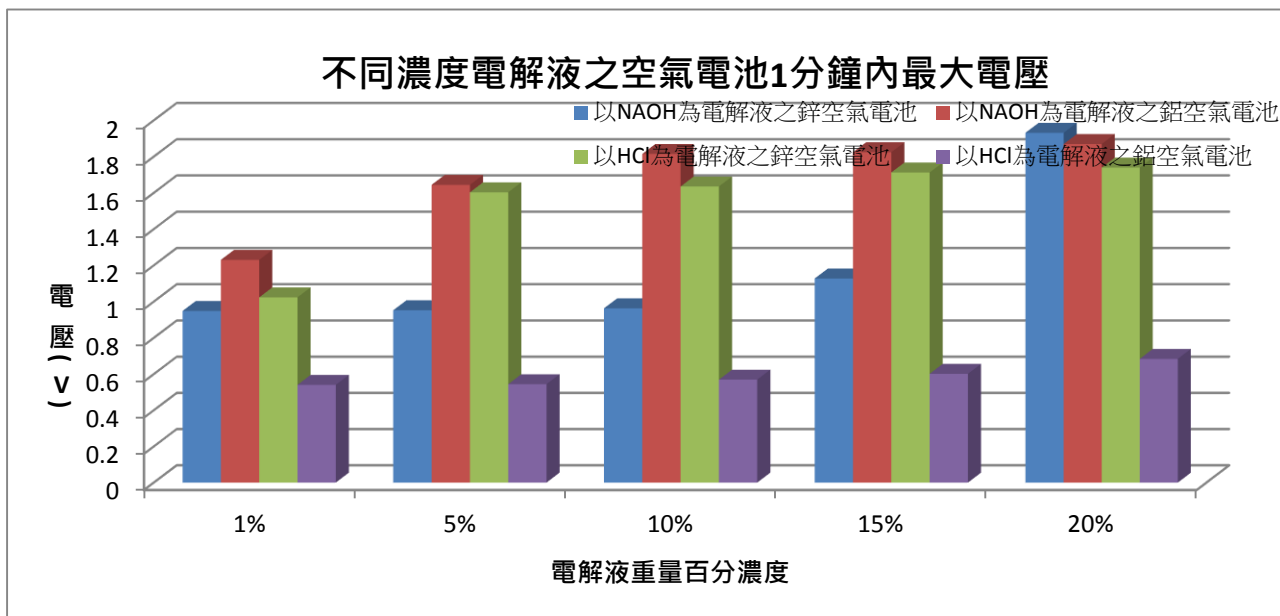
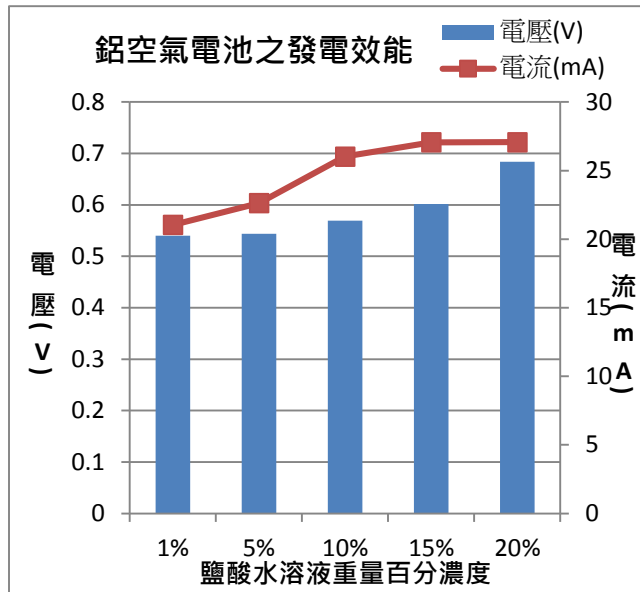
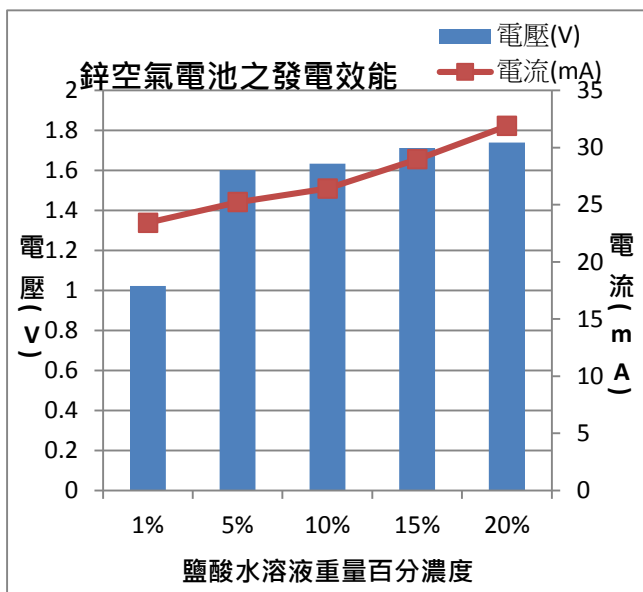
※方法：

- (一) 取 5 片鋅片分別裁成 5cm X5cm 大小，取 5 條黑色電線以膠帶分別固定在鋅片一邊 2cm 處，如圖 4-1。
- (二) 取 5 個 100ml 燒杯，分別調配重量濃度為的 1%、5%、10%、15%、20%的鹽酸水溶液。
- (三) 將濾紙裁成 5cm X5cm 大小，平舖在培養皿中，浸濕在步驟(二)中調配的鹽酸水溶液中備用。
- (四) 取出步驟(三)的紗布，分別平舖 5 張對齊放在步驟(一)鋅片上，將 10 根 HB 筆芯以膠帶使其平舖於步驟(三)的濾紙上後，再分別放置一條紅色電線，以膠帶固定。
- (五) 於步驟(四)的紅色電線上，再取出 5 張步驟(三)的紗布平舖其上。
- (六) 另取 5cm X5cm 大小的鋅片分別覆蓋在步驟(五)的濾紙上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成鋅空氣電池。
- (七) 將步驟(六)製成以鹽酸為電解液之鋅空氣電池以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電壓、電流。
- (八) 以氫氧化鈉水溶液取代鹽酸水溶液，重複步驟(一)至步驟(七)製作以氫氧化鈉為電解液之鋅空氣電池，並以三用電表測量記錄其 1 分鐘內最大電壓、電流。
- (九) 將鋅片以鋁片替代，重複步驟(一)至步驟(七)製作以鹽酸為電解液之鋁空氣電池，測量並記錄鋁空氣電池 1 分鐘內最大電流、電壓。
- (十) 將鋅片以鋁片替代，以氫氧化鈉取代鹽酸，重複步驟(一)至步驟(七)製作以氫氧化鈉水溶液為電解液之鋁空氣電池，測量並記錄鋁空氣電池 1 分鐘內最大電流、電壓。

※結果：

氫氧化鈉水溶液濃度		1%	5%	10%	15%	20%
鋅空氣電池	電壓(V)	0.9483	0.9524	0.9628	1.1273	1.9311
	電流(mA)	20.182	20.361	23.412	28.261	28.591
鋁空氣電池	電壓(V)	1.2301	1.6439	1.8146	1.8242	1.8693
	電流(mA)	72.231	74.103	75.742	81.76	84.416
鹽酸水溶液濃度		1%	5%	10%	15%	20%
鋅空氣電池	電壓(V)	1.0233	1.6029	1.635	1.7123	1.7392
	電流(mA)	23.42	25.235	26.424	28.981	31.892
鋁空氣電池	電壓(V)	0.5402	0.5441	0.5692	0.6015	0.6839
	電流(mA)	21.042	22.623	26.022	27.063	27.074



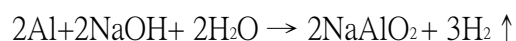
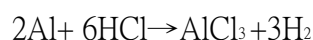
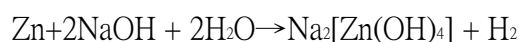
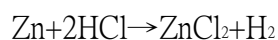


※發現與討論：

- (一) 當濃度越高，金屬空氣電池的電壓與電流皆跟著增加，證明電解液濃度可以影響空氣金屬電池的發電效能。



- (二) 以鹽酸、氫氧化鈉作為電解液製作金屬空氣電池過程中，由於鹽酸、氫氧化鈉為強酸強鹼性質的水溶液，和金屬接觸時便會產生化學反應產生無色、無味、無臭的氣體，如圖 6-1 所示，尤其濃度愈高，產生氣體越多，經查詢資料發現其化學反應式如下：



產生的氣體為無色、無味、無臭、無毒的氫氣。

- (三)

發電效能	電壓
1%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+HCl)>(鋅片+NaOH)
5%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+NaOH)>(鋁片+HCl)
10%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+NaOH)>(鋁片+HCl)
15%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+NaOH)>(鋁片+HCl)
20%	(鋅片+NaOH)>(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+HCl)

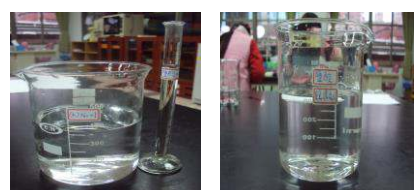
發電效能	電流
1%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+HCl)>(鋅片+NaOH)
5%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+HCl)>(鋅片+NaOH)
10%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+HCl)>(鋅片+NaOH)
15%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+NaOH)>(鋁片+HCl)
20%	(鋁片+NaOH)>(鋅片+HCl)>(鋁片+NaOH)>(鋁片+HCl)

→ 相同濃度電解液條件下，以鋁片+NaOH 與鋅片+HCl 製作而成的金屬空氣電池的發電效能(電壓、電流)可以達到最大。

→ 當濃度大於 15%時，發電效能的順序有所不同，推測也許是因為濃度高的關係，在製作過程中先發生別的化學反應(如討論(二)所示)，導致發電效能順序改變。

- (四) 實驗注意事項:

1. 鹽酸與氫氧化鈉水溶液皆為強酸強鹼的水溶液，製作時必須戴手套以避免危險。



2. 在本實驗中調配鹽酸水溶液，採取將水緩緩加入濃鹽酸中，稀釋重量百分濃度為 36% 的濃鹽酸方式，調配比例如下：

鹽酸濃度	1%	5%	10%	15%	20%
36%濃鹽酸(ml)	10	10	10	10	10
水(ml)	350	62	26	14	8

【實驗七】電極種類與數量對於空氣電池電壓電流大小的分析

※方法：

- (一) 將鋅片裁成 5cm X5cm 大小，各取一條黑色電線以膠帶固定在金屬片一邊 2cm 處。
- (二) 取紗布裁成 5 cm X 5cm 大小，平鋪在培養皿中，以滴管吸取重量百分濃度 10%鹽酸溶液將紗布完全浸濕。。
- (三) 分別取 HB、B、2B、3B、4B，如下圖 7-1，五種筆芯各 10 根以膠帶固定備用。

筆芯種類	HB	B	2B	3B	4B
圖 7-1					

- (四) 取出步驟(二)的紗布，分別平鋪 5 張對齊放在步驟(一)鋅片上，並分別將步驟(三)中的 HB、B、2B、3B、4B 筆芯以膠帶使其平鋪其上。
- (五) 在步驟(四)的筆芯上，再分別放置一條紅色電線，以膠帶固定。
- (六) 於步驟(五)的紅色電線上，再各取出 5 張步驟(三)的紗布平鋪其上。
- (七) 另取 5cm X5cm 大小的鋅片分別覆蓋在步驟(六)的紗布上，並以保鮮膜與膠帶密封，製成鋅空氣電池。
- (八) 將步驟(七)製成的空氣金屬電池分別三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。
- (九) 將步驟(三)的筆芯增加至 20 根、30 根、40 根、50 根、60 根、70 根和 80 根，如圖 7-2，重複步驟(一)至步驟(八)，製成鋅空氣電池，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

筆芯數量	20 根	30 根	40 根	50 根	60 根	70 根	80 根
圖 7-2							

- (十) 將步驟(三)的筆芯增加至 80 根 X1 層、80 根 X2 層、80 根 X3 層、80 根 X4 層和 80 根 X5 層，如圖 7-3，重複步驟(一)至步驟(八)，製成鋅空氣電池，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

筆芯數量 與層數	80 根 X1 層	80 根 X2 層	80 根 X3 層	80 根 X4 層	80 根 X5 層
圖 7-3					

(十一) 以鋁片取代鋅片，以氫氧化鈉水溶液取代鹽酸水溶液，重複步驟(一)至步驟(十)，製成鋁空氣電池，以三用電表測量並記錄其 1 分鐘內最大電流、電壓。

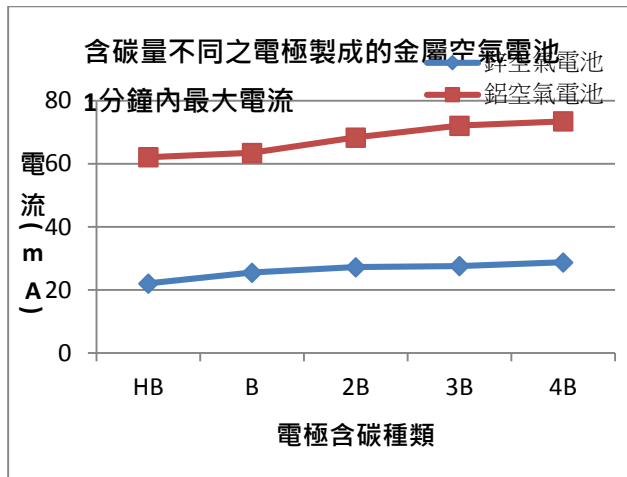
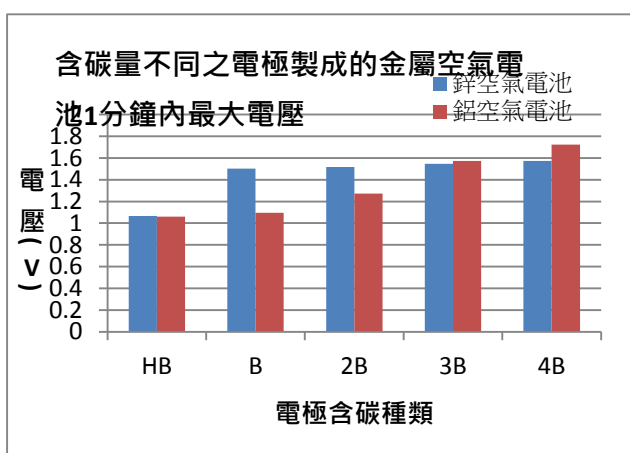
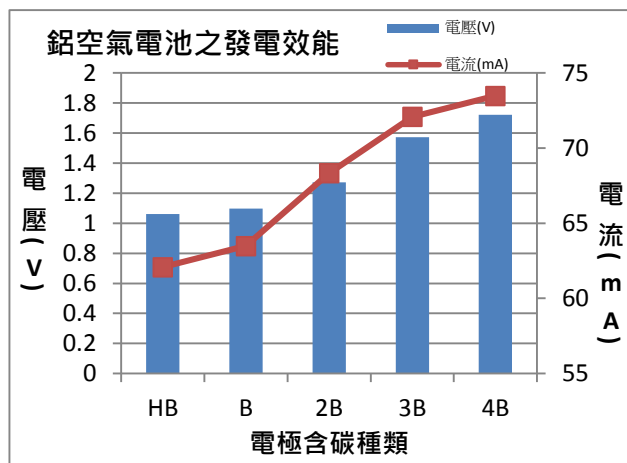
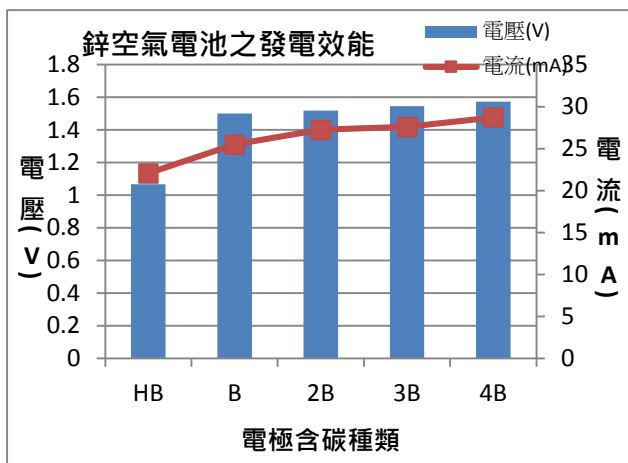
※結果：

(一)

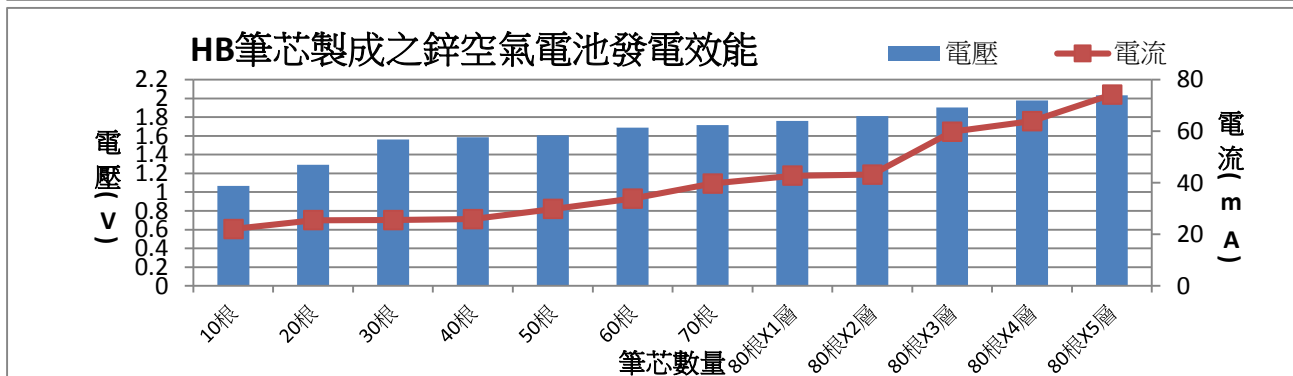
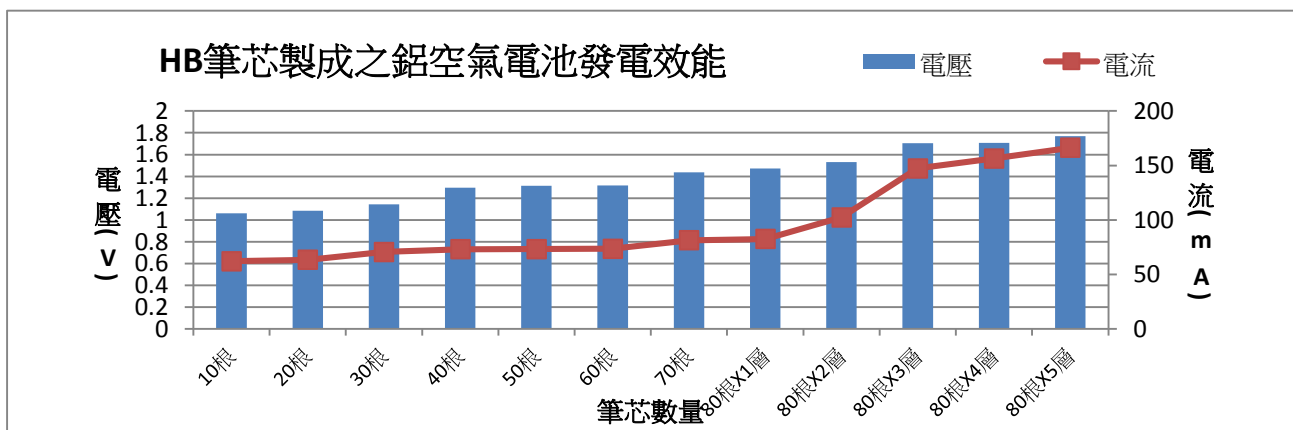
鋅+HCl	電極含量	HB	B	2B	3B	4B
10 根	電壓(V)	1.0671	1.5016	1.5186	1.5461	1.5743
	電流(mA)	22.061	25.498	27.241	27.589	28.724
20 根	電壓(V)	1.2913	1.5063	1.5242	1.5646	1.5803
	電流(mA)	25.441	25.791	27.577	27.674	29.664
30 根	電壓(V)	1.5628	1.5641	1.6007	1.6732	1.6868
	電流(mA)	25.528	25.883	28.858	29.504	30.602
40 根	電壓(V)	1.5863	1.5903	1.6035	1.7181	1.7481
	電流(mA)	25.876	30.004	39.745	40.161	47.187
50 根	電壓(V)	1.6048	1.6195	1.7083	1.7314	1.7536
	電流(mA)	29.817	31.113	44.273	54.297	55.058
60 根	電壓(V)	1.6867	1.6834	1.7126	1.7486	1.7609
	電流(mA)	33.866	40.326	54.273	56.607	60.058
70 根	電壓(V)	1.7136	1.7602	1.7879	1.7985	1.8006
	電流(mA)	39.66	52.775	61.113	67.513	72.375
80 根 X1 層	電壓(V)	1.7583	1.7623	1.7886	1.8057	1.8541
	電流(mA)	42.724	60.093	62.775	68.432	73.952
80 根 X2 層	電壓(V)	1.8117	1.8243	1.8474	1.8882	1.8904
	電流(mA)	43.169	69.745	73.173	74.821	80.071
80 根 X3 層	電壓(V)	1.9024	1.9079	1.9189	1.9158	1.9872
	電流(mA)	59.817	87.216	91.043	95.118	100.296

80 根 X4 層	電壓(V)	1.9779	1.9781	1.9809	1.9853	1.9872
	電流(mA)	63.866	89.426	92.166	98.361	127.43
80 根 X5 層	電壓(V)	2.0314	2.0509	2.0853	2.0836	2.1253
	電流(mA)	74.169	92.768	93.156	124.12	145.51
鋁+NaOH	電極含量	HB	B	2B	3B	4B
10 根	電壓(V)	1.0609	1.0967	1.2732	1.5735	1.7226
	電流(mA)	62.086	63.486	68.341	72.086	73.485
20 根	電壓(V)	1.0837	1.0876	1.2854	1.6031	1.7487
	電流(mA)	63.386	65.053	69.831	72.943	73.829
30 根	電壓(V)	1.1424	1.0919	1.2964	1.6549	1.7898
	電流(mA)	70.673	71.975	73.608	75.139	76.397
40 根	電壓(V)	1.2948	1.3195	1.4241	1.6989	1.7961
	電流(mA)	73.157	73.578	75.003	77.729	80.002
50 根	電壓(V)	1.3131	1.3915	1.4738	1.5846	1.8032
	電流(mA)	73.299	74.675	81.858	82.506	90.085
60 根	電壓(V)	1.3162	1.4421	1.5364	1.6305	1.8221
	電流(mA)	73.583	80.58	84.961	87.7	100.85
70 根	電壓(V)	1.4365	1.4621	1.7553	1.7864	1.8551
	電流(mA)	81.316	82.394	90.678	97.975	106.79
80 根	電壓(V)	1.4726	1.5832	1.8118	1.8206	1.9053
	電流(mA)	82.506	83.294	90.796	98.654	114.36
80 根 X2	電壓(V)	1.5313	1.8233	1.8336	1.8449	1.9133
	電流(mA)	102.34	108.39	109.33	113.574	129.13
80 根 X3	電壓(V)	1.7057	1.927	1.9876	1.9964	1.9964
	電流(mA)	147.33	149.57	161.09	166.69	167.94
80 根 X4	電壓(V)	1.7082	2.0157	2.0442	2.0764	2.0766
	電流(mA)	156.35	157.23	164.96	167.75	170.84
80 根 X5	電壓(V)	1.7684	2.0362	2.0668	2.0909	2.1105
	電流(mA)	166.23	166.58	170.03	172.923	173.299

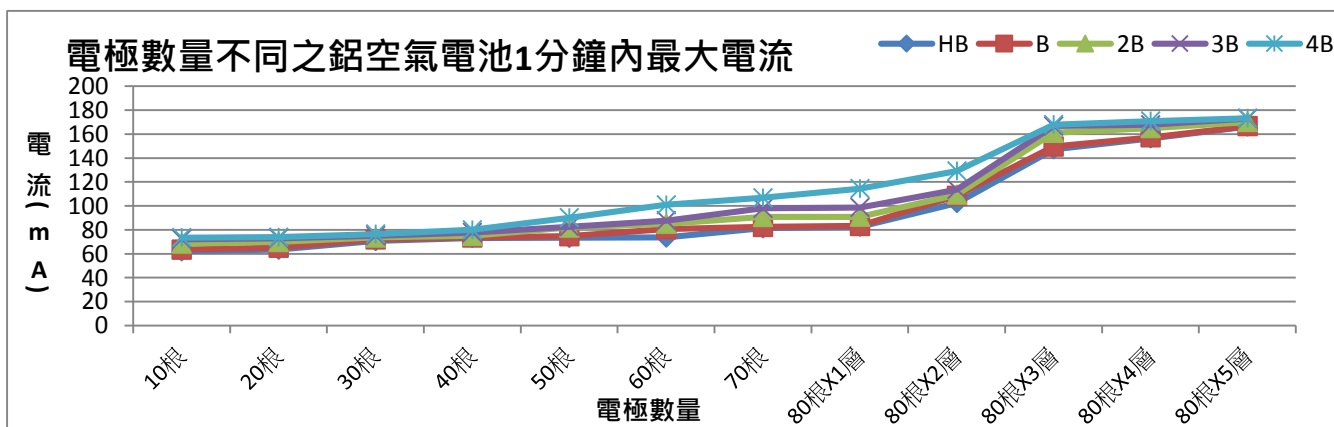
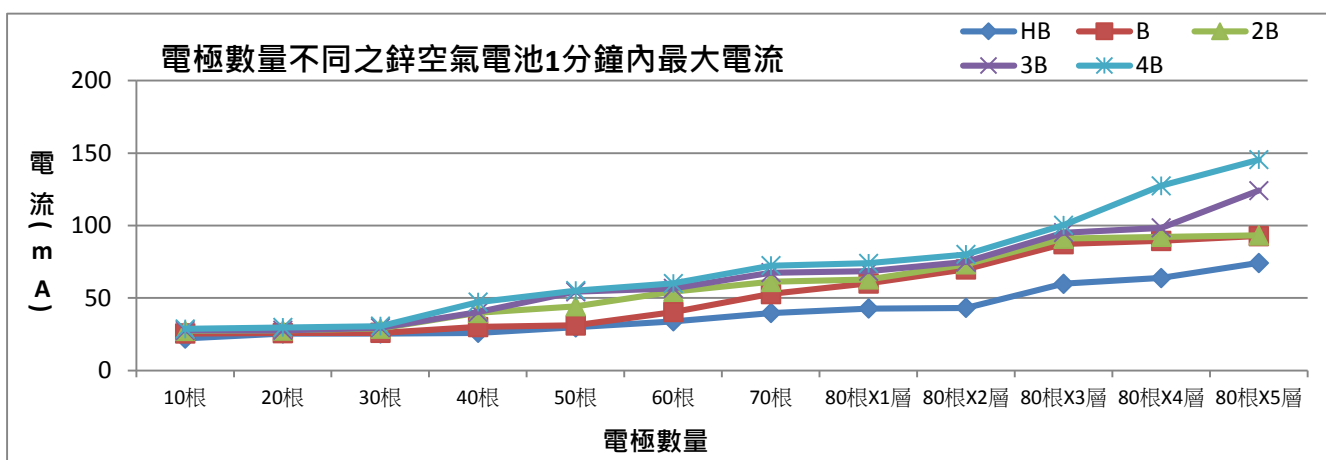
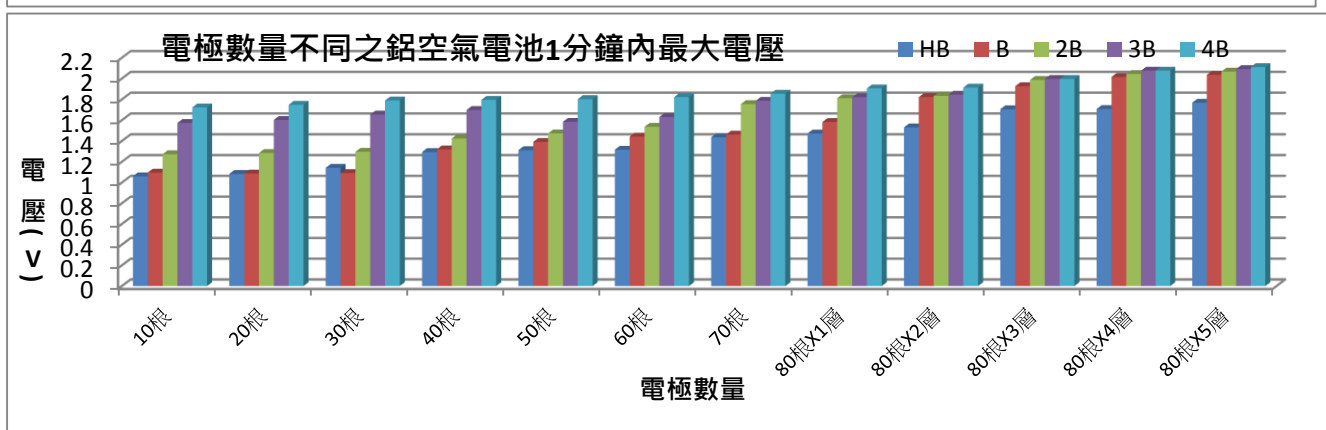
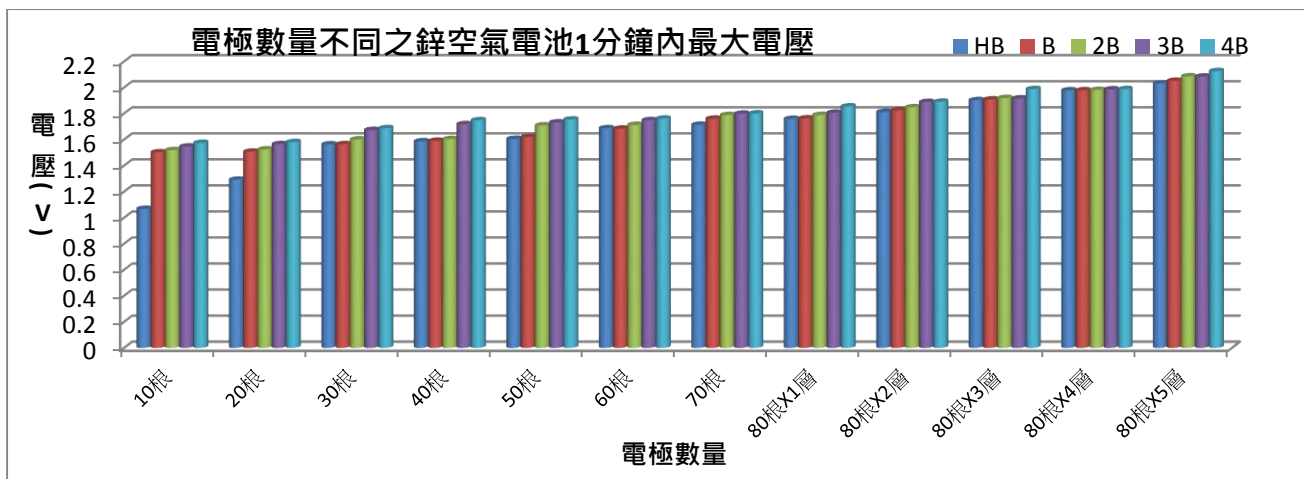
(二)相同數量(以 10 根筆芯為例)



(三)

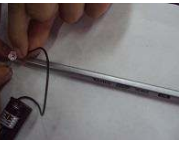


(四)



※發現與討論：

- (一) 電極是指與電解質溶液發生氧化還原反應的位置，可以是金屬或非金屬，只要能夠與電解質溶液交換電子，便可用來作為電極的材料。本實驗考量取材的便利性與碳的導電性質，先以鉛筆筆芯測試導電性作為電極的材料之參考依據，如圖 7-4。

筆芯種類	HB	B	2B	3B	4B
圖 7-4					

- (二) 自動鉛筆筆芯的製作材料主要以石墨和合成樹脂為原料加工製作而成，結構如圖 7-5 所示，本實驗利用空氣中的氧氣作為電池的正極參與氧化還原反應，認為空氣保存的來源有二，一在筆芯的氣孔之內(如圖 7-5)，一則在筆芯與筆芯之間。

- (三) 實驗結果發現，在相同筆芯數量下(如結果(二)所示，以 10 根筆芯為例)，金屬空氣電池之發電效能 $HB < B < 2B < 3B < 4B$ ，以含碳成分越高的筆芯製成的金屬空氣電池發電效能越佳。

- (四) 實驗結果發現，在相同含碳成分筆芯下(如結果(三)所示，以 HB 筆芯為例)，

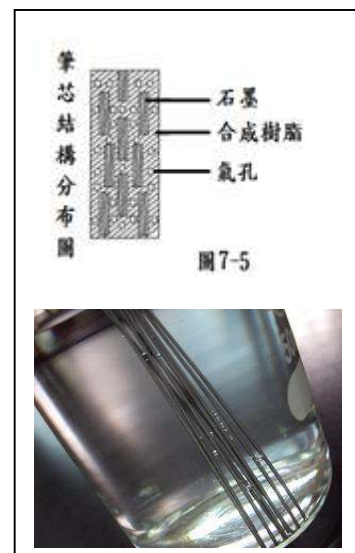
1. 金屬空氣電池之發電效能 10 根 < 20 根 < 30 根 < 40 根 < 50 根 < 60 根 < 70 根 < 80 根 (80 根 X1 層) < 80 根 X2 層 < 80 根 X3 層 < 80 根 X4 層 < 80 根 X5 層

→ 推測碳棒數量越多，金屬空氣電池的發電效能越佳。

2. 在 80 根 X1 層 → 80 根 X2 層之間，發電效能大幅增加

→ 推測碳棒層數越高，參與反應的空氣量越多，導致金屬空氣電池的發電效能越佳。

- (五) 我們發現將使用過後的鉛筆筆芯曬乾以後，可以再次循環製作電池，但是發電效能將大幅減弱，推測應該是反應過後產生的生成物阻塞筆芯的氣孔與筆芯之間的空隙所導致。



伍、結論

(一) 金屬空氣電池之發電原理

金屬空氣電池主要以空氣中的氧氣作為電池中的氧化物，並且使用活性金屬作為負極(陽極)，參與電池中的化學反應，在反應過程中透過電子(e^-)的移動產生電能。

1. 鋅空氣電池

陽極： $Zn + 2OH^- \rightarrow ZnO + H_2O + 2e^-$

陰極： $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

綜合： $2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO$

2. 鋁空氣電池

陽極： $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$

$Al + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 3e^-$

陰極： $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

綜合： $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$

(二) **實驗(一)與實驗(二)**，我們討論影響金屬空氣電池陽極反應的金屬：

1. 發現金屬活性越大，越容易釋放出電子，因此製作出的電池效能越佳。
2. 金屬面積影響參與反應的金屬數量，面積越大，電池效能理論上越佳，但因為參與反應過程，會有化學合成物產生，阻礙電子傳送，使得電池效能下降，正負消長之下，因為面積增加而產生的發電效能便顯得有限。

(三) **實驗(三)與實驗(四)**，我們討論在金屬空氣電池中控制反應效能的濾過膜：

1. 發現在我們用來試驗的濾過膜種類中以紗布效果最佳，面紙最差，濾過膜的孔隙大小雖然控制吸水(電解質)程度，但與發電效能沒有太大關係。
2. 濾過膜層數越多，電池的發電效能越佳

(四) **實驗(五)與實驗(六)**，我們討論在金屬空氣電池中控制反應效能的電解液：

1. 電解液是可以產生自由離子而導電的化合物，透過濾過膜傳遞電子，使金屬空氣電池產生電能。
2. 由實驗結果，我們發現以強酸強鹼類的水溶液(如鹽酸、氫氧化鈉)作為電解液所產生的發電效能都還不錯，若是搭配金屬特性效能更佳，例鋅+鹽酸、鋁+氫氧化鈉。
3. 電解液濃度越高，金屬空氣電池的發電效能越佳，但若使用強酸強鹼類作為電解質，需特別注意實驗安全。

(五) **實驗(七)**，我們討論在金屬空氣電池中陰極反應的碳棒(鉛筆筆芯)：

1. 由實驗結果發現筆芯的含碳量越高，導電效能越佳。
2. 當作電極的筆芯，堆疊高度增加時，一方面因含碳總量增加，一方面在製作過程中空氣量也因為空間增加，參與反應數增加，使得金屬空氣電池發電效能增加。

(六) **未來研究發展方向**

1. 重複循環利用：
我們製作的金屬空氣電池，經測試發現發電效能有所增加，但是金屬空氣電池屬於一次消耗性電池，若能發展重複循環利用的方式(例如電解液的循環再利用、氣孔阻塞的解決方案)，可以更符合環境保護方向。
2. 延長發電效能：
金屬空氣電池的發電效能除了展現在電壓電流上，電池的持續力也是重要項目之一，我們發現這次研究的電池雖然在電壓電流上有所增加，但發電持續力不足，未來或許往增加催化物的研究方向發展。

陸、參考資料

- (一) 陳昱如、黃莉娟、張建和、陳楷濬(2002)。用空氣發電-鋅空氣電池性質探討。中華民國第42屆中小學科學展覽會
- (二) 趙芝穎、黃任佑、吳宛庭(2009)。電從哪裡來?鋁空氣電池的製作與探討。中華民國第49屆中小學展覽會
- (三) 藤瀧和弘 (2012)。3小時讀通能源。世茂出版社。
- (四) 鄭昌勳(2011)。資優科普王生活中的能量--先學先贏！進入國中理科課程的第一本書。美藝學苑。
- (五) 石井弘毅(2008)。圖解燃料電池。世茂出版社。

【評語】 080204

本展示說明鋅/空氣與鋁/空氣電池的構想。利用金屬鋅或鋁，配合 4B 鉛筆心作為電極，及利用紗布作為隔板與鹽酸或果酸作為電解液，構成電池。實驗報告書寫清晰詳細。惟電池輸出較低，且空氣是否參與電池過程尚未確認，有再改進的空間。