

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中甲組

作品名稱：鋁空氣電池—電極因素對電池效能影響之
研究

關 鍵 字：電極、空氣電池、有機溶劑

編 號：

目錄

摘要.....	1
壹、前言.....	2
一、 研究動機.....	2
二、 研究目的.....	2
三、 文獻探討.....	3
貳、研究設備與器材.....	4
一、 實驗器材.....	4
參、研究過程及方法.....	6
一、 實驗步驟.....	6
二、 (實驗一)電極的成分比較.....	7
三、 (實驗二)改變電極大小對電壓的影響.....	17
四、 (實驗三)電池溫度對效能的影響.....	18
五、 (實驗四)電池串聯對電壓的影響.....	19
肆、研究結果.....	21
伍、結論.....	24
陸、參考文獻.....	25

摘要

金屬空氣電池具備能源成本相對便宜與高電壓的優勢，相較一般電池，四片鋁片就可提供相同電壓且無環境汙染隱憂。因此我們以鋁作為金屬電極，想做出高電壓的空氣電池。而鋁空氣電池的實驗在歷屆科展中也有不少作品，不過在閱讀時我們發現大多實驗都將重心擺在電解液或整體電池上，並沒有專門研究電極，因此我們決定要在電極上展開研究。

本次研究透過改變電極比例、電極重量、使用環境，測量電壓大小的實驗，嘗試製作高電壓的鋁空氣電池。並在電池的基礎上改變黏著劑的比例使電池續航能力可以更加持久，我們面臨電壓太小、電極無法成型…等問題，不過在日以繼夜的實驗中，我們克服了重重難關，一步步的向成果邁進。

壹、 前言

一、研究動機

電池在市面上的存在越來越普及，許多電器都需要它才能使用，但是在使用時我們會發現，不論是傳統電池或者是後來居上的充電電池，時常會有充電速度太慢的感覺，所以我們想製作一種電壓更高，而且成本低廉的電池，來解決目前生活上的問題。

二、研究目的

(一) 有機溶劑成分的選擇

1. 選取有機溶劑丙酮，觀察它和保麗龍的溶解情況
2. 選取有機溶劑松香水，觀察它和保麗龍的溶解情況
3. 調整丙酮和松香水的比例

(二) 聚苯乙烯的最佳比例

(三) 碳元素混合效果之比較

1. 石磨占比對電壓的影響
2. 活性炭和石磨比例對電壓的影響

(四) 不同材質和密度的電極集流網對電壓的影響

(五) 改變電池體積討論它對電池電壓大小的影響，

(六) 討論改變環境溫度對電池效能的影響

(七) 電池串聯對電壓的影響

三、文獻探討

鋁空氣電池以空氣作為介質，透過電子間的移動產生電子流，進而形成電流。空氣中的氧氣容易奪走其他物質的電子，當氧氣滲透進碳極裡面時，就會試圖佔有碳原子的電子。

常溫下碳是不會和氧共享電子的，但是如果碳極用導線連接到活潑金屬電極時(例如:鋁)，氧氣便可以取得鋁的電子，而電子的移動就形成了電子流，也就是所謂的【有電】。

鋁金屬碰到鹽水會氧化成為鋁離子放出電子，而氧氣得到電子與水反應生成氫氧根，然後再與鋁離子反應生成氫氧化鋁，接著再與氫氧化鈉反應生成偏鋁酸鈉。

這樣就完成了一個循環。

因為鋁空氣電池發電僅依靠電子和離子移動產生電流，並沒有涉及高危險的反應。因此鋁空氣電池較為穩定，也不太容易發生電池爆炸等現象。

化學式:

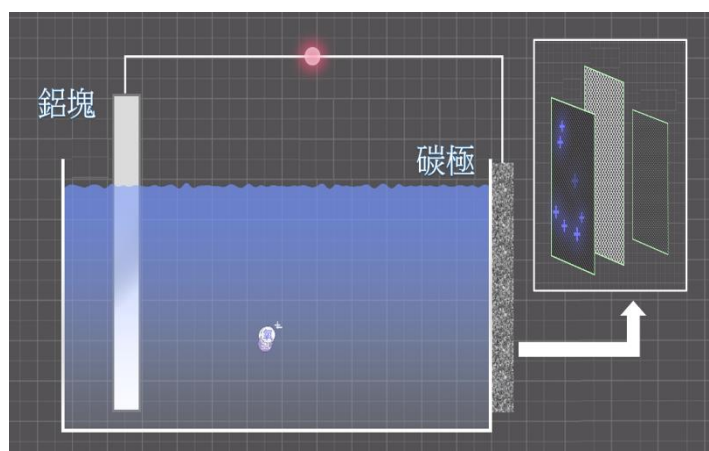
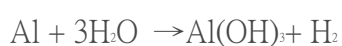


圖 1 空氣電池通電原理

貳、 研究設備與器材

(表一)

<p>活性炭</p> 	<p>丙酮</p> 	<p>尼龍網</p> 
<p>松香水</p> 	<p>石墨</p> 	<p>保麗龍</p> 
<p>食鹽</p> 	<p>多功能電表</p> 	<p>鱷魚夾</p> 

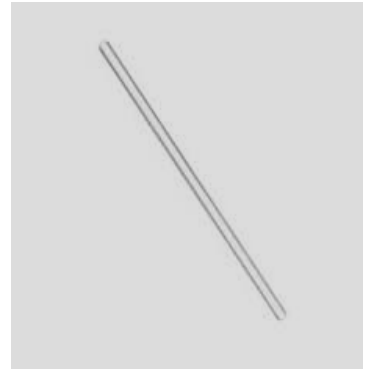
燒杯



試管



玻棒



剪刀



電火布



鑷子



鋁棒



夾具



尺



參、 研究過程

一、 實驗步驟

1. 調配有機溶劑的重量和比例
2. 加入不同重量的聚苯乙烯
3. 混和攪拌至溶液呈黏稠狀
4. 加入不同結構的碳元素
5. 混和攪拌至碳元素和有機溶劑完全融合
6. 將漿體倒至集流網上並塗抹平整
7. 放置風乾
8. 電壓測試

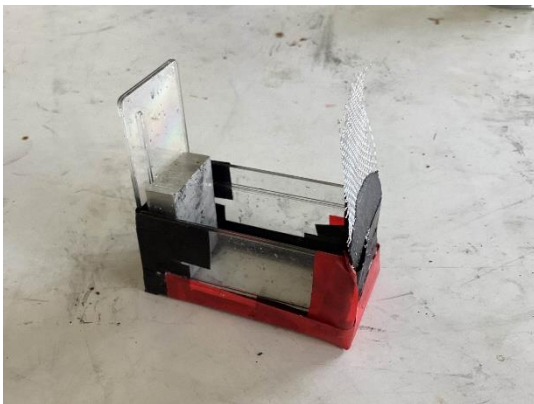


圖 2 測試電壓之裝置



圖 3 放置風乾

二、電極的成分比較

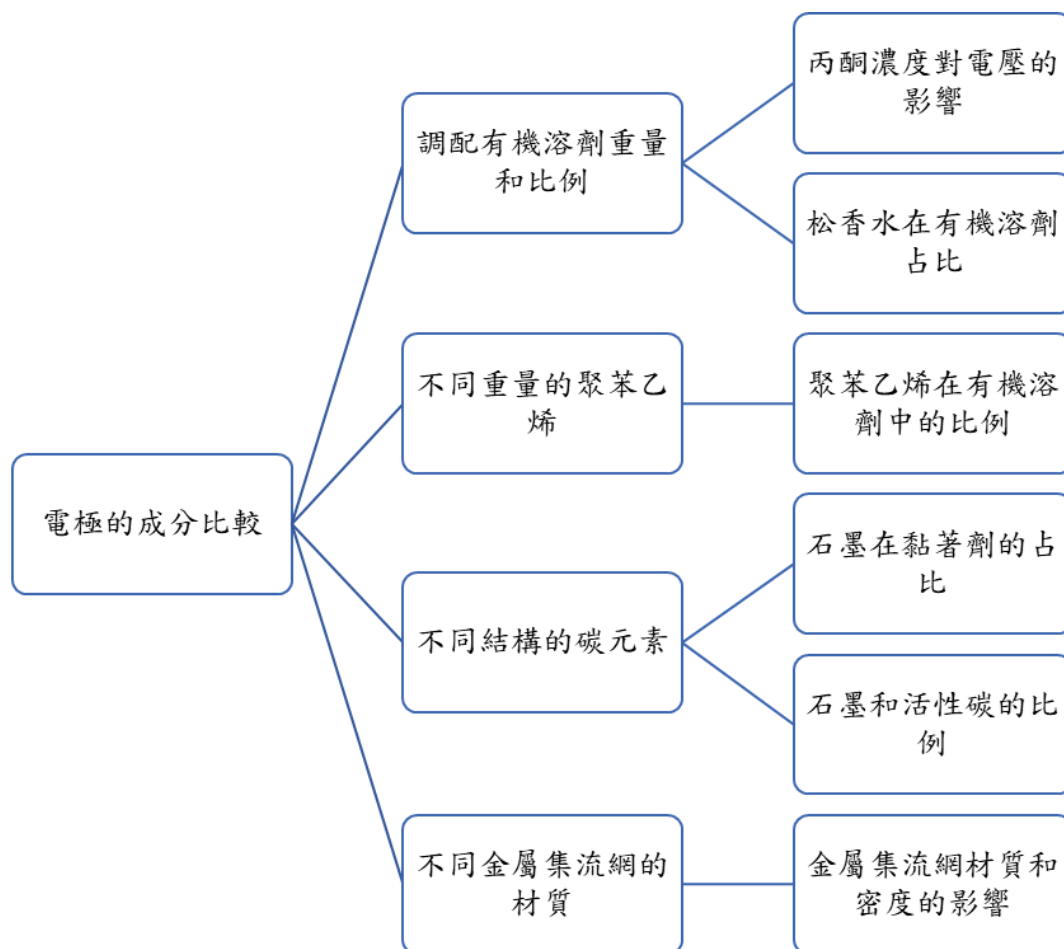


圖 4 電極的成分比較流程圖

(一) 有機溶劑溶解效果之比較

首先，我們測試不同有機溶劑的溶解效果，因為保麗龍是由聚苯乙烯發泡後所形成的結構，所以當保麗龍固體碰到有機溶劑時，由於有機溶劑具有可以奪走氧原子基的電子，而和保麗龍每一個苯環旁的氫原子結合成氫鍵結構，導致固體結構立即潰散。喪失了固體結構，撐起來的固體體積也就完全消失了，剩下少許的有機溶劑。而在溶解反應之後產生的黏稠液體便可以與碳粉結合緊密使其不會掉落，綜合以上結論，本次實驗將使用有機溶劑+保麗龍作為實驗中的黏著劑。並

調整有機溶劑的濃度，使保麗龍達到最佳的分解狀態。

測試的有機溶劑我們則是從生活中選取常見的材料，包含松香水、丙酮和保麗龍的作用，固定溶液總量，改變單項濃度以觀察保麗龍的溶解情況。以下分項介紹:

第一種有機溶劑我們是挑選實驗室中常見的丙酮作為材料，它是鋁空氣電池中常用的材料。因為丙酮是高揮發性有機溶劑，蒸發容易造成誤差，所以我們固定每次都先加入 3g 的保麗龍後，再改變蒸餾水和丙酮的比例，3 分鐘後，觀察保麗龍被丙酮溶解的情況。

表 2 保麗龍被丙酮溶解後的殘餘重量數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	NO.11	NO.12
丙酮的濃度(%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
保麗龍未被溶解之殘餘重量(g)	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.1	1.8	1.3

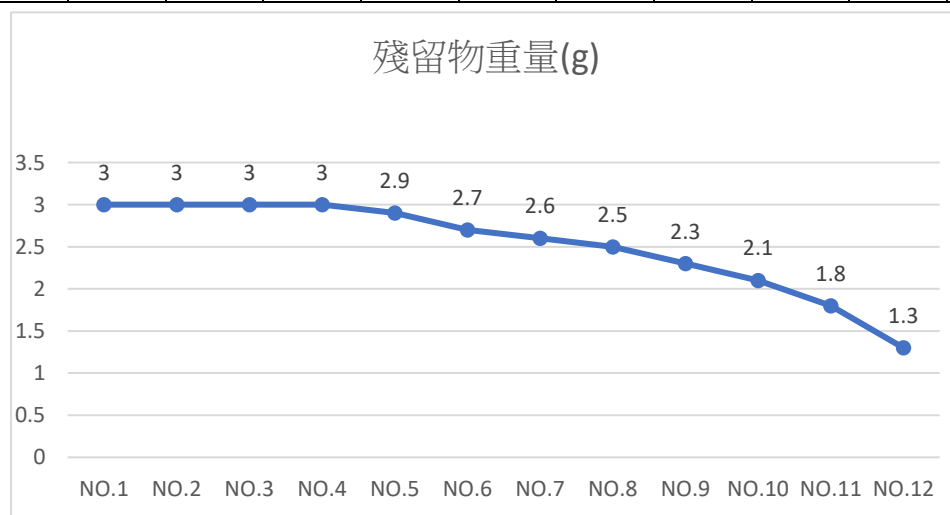


圖 5 保麗龍被丙酮溶解後的殘餘重量折線圖

我們在實驗中觀察到，丙酮只能破壞聚苯乙烯的結構，讓發泡氣體逃逸，使得保麗龍的結構軟化潰散，並無法完整溶解，單獨作為有機溶劑的溶解效果並不好。

第二種我們選用了常作為油漆稀釋劑的松香水，它在丙酮和大多數其他常用有機溶劑中有很好的溶解性。我們比照丙酮的做法，先加入保麗龍 3g，再加入松香水 20g，3 分鐘後觀察保麗龍被松香水溶解的情況。

表 3 保麗龍被松香水溶解後的殘餘重量數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	NO.11	NO.12
松香水的濃度 (%)	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
殘留物重量(g)	3.0	3.0	3.0	2.8	2.7	2.5	2.2	1.8	1.5	1.0	0.5	0.2

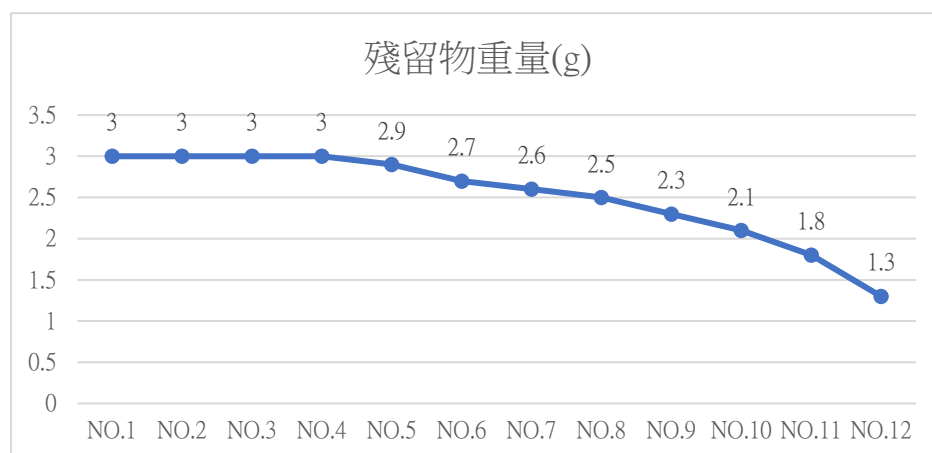


圖 6 保麗龍被松香水溶解後的殘餘重量折線圖

經測試後，高濃度的松香水雖然可以溶解大部分物質，但仍有少許的保麗龍殘渣未被溶解，因此松香水也無法單獨作為溶劑。

測試完畢後，我們得知丙酮和松香水都無法單獨溶解保麗龍，但上文提及松香水在丙酮中有很好的溶解性，而且在實驗中我們也發現，兩種溶液無法溶解的部分似乎並不相同，於是我們同時使用兩種溶液，一樣先加入保麗龍 3g，再同時加入丙酮和松香水，調整兩者的比例，3 分鐘後觀察保麗龍被溶解的情況。

表 4 保麗龍被不同比例的丙酮和松香水溶解後的殘餘重量數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9
丙酮： 松香水	1:9	1:4	3:7	2:3	1:1	3:2	7:3	4:1	9:1
殘留物 重量	0.2	<0.1	<0.1	0.0	<0.1	0.1	0.4	0.5	0.7

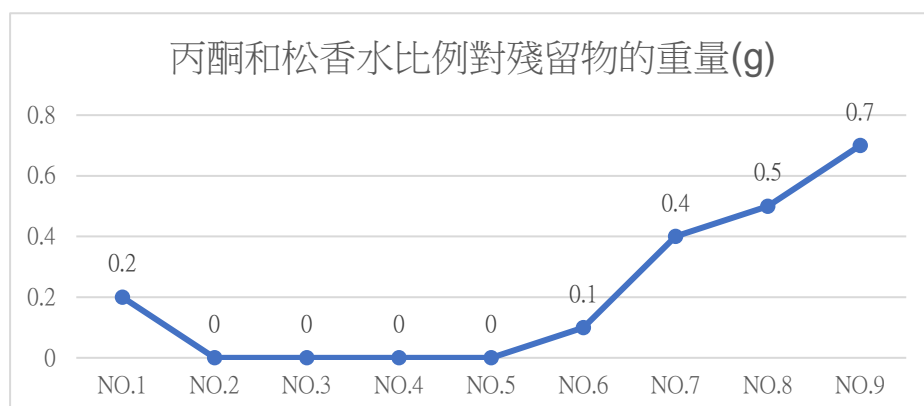


圖 7 保麗龍被不同比例的丙酮和松香水溶解後的殘餘重量數據表

註:小於 1g 均視為 0

經過此實驗我們得知，丙酮和松香水的比例在 1:4、3:7、2:3、1:1 時能幾乎將所有保麗龍溶解，其中比例在 4:6 時，完全沒有看見任何殘留物，因此接下來都固定使用丙酮:松香水，2:3 的比例來做實驗。

(二) 聚苯乙炔的最佳比例

聚苯乙炔作為黏合電極的材料，若是不足會導致電極無法成行，但過量又會因為電流遭到阻隔導致電壓下降，因此精算聚苯乙炔的使用也是鋁空氣電池中十分重要的步驟。

本次實驗使用的是日常生活中常見且鬆散保麗龍，保麗龍的高發泡可以有效地使其溶解於有機溶劑中以減少溶解後的殘留物。

表 5 保麗龍在黏著劑中的占比造成脫落程度數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10
保麗龍(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
脫落程度(%)	100	73	48	12	0	0	0	0	0	0

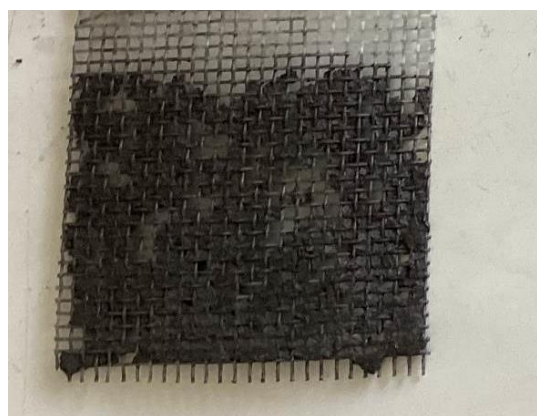


圖 8、9 漿體脫落導致電極不完整

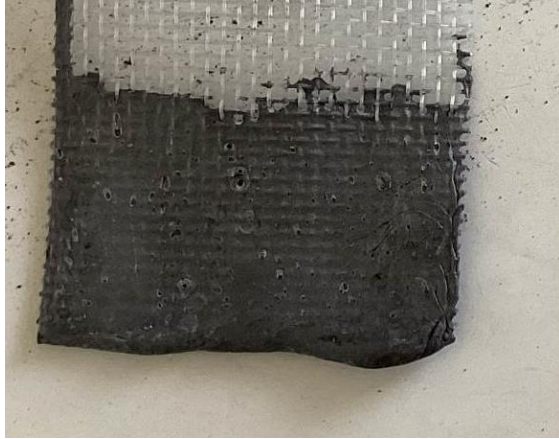


圖 10 未脫落漿體

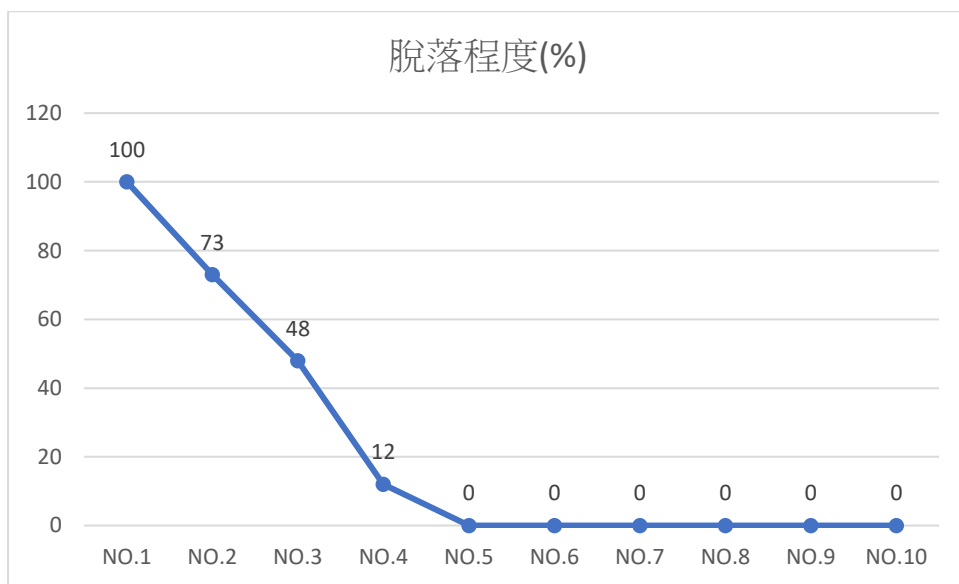


圖 11 保麗龍在黏著劑中的占比造成脫落程度折線圖

經過測試，保麗龍含量在 50%以上便可達到完整黏合碳極的作用，不過考慮到高含量會導致電壓降低，我們最終決定使用最低的 50%，在確保電極不會脫落的狀況下，盡可能的提高電壓。

(三) 碳元素混合效果之比較

碳元素為電極中主要的成分，是影響電極電壓的重要因素。但因其同素異形體不同的分子結構，對電壓也會有所影響。像是常見於導電材質的石墨，層狀的平面中碳原子都排列成蜂窩狀晶體結構，由於每個碳原子均會放出一個電子，那些電子能夠在單層中自由移動，使石墨具有良好的導電性。本次實驗使用先前實驗的最佳比例，丙酮 20cc、松香水 30cc、保麗龍 25g 作為實驗的控制變因，測試石墨與黏著劑的最佳比例。

表 6 不同的石墨占比電壓數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10
石墨占比(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
電壓(v)	0.12	0.31	0.46	0.54	0.67	0.70	0.72	無法成形	無法成形	無法成形

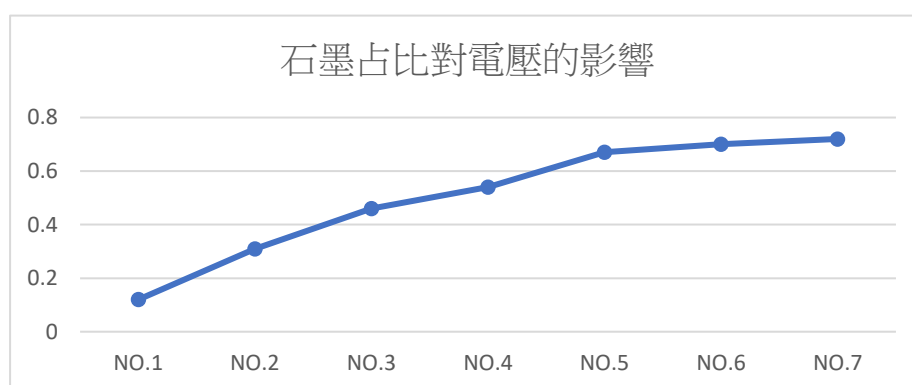


圖 12 不同的石墨占比電壓折線圖

註:無法成型的列入表格

經過測試，石墨占比在 70%時，可以達到最高電壓，並且不會出現無法成型的情況。

不過這樣的電壓明顯不符合我們的期望，於是我們將目標放到其他元素上面。透過對石墨的解析，我們發現了問題所在.....

石墨是層狀結構，單層和單層之間為封閉狀態互不相通，電流也無法導向別層，這就導致了電壓的下降。針對上述問題我們提出了加入活性碳的解決方法。

表 7 活性碳在碳元素中占比對電壓影響數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	NO.11
活性炭在碳元素中的占比 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
電壓(v)	0.72	0.76	0.79	0.86	0.88	0.89	0.85	0.81	0.78	0.62	0.45

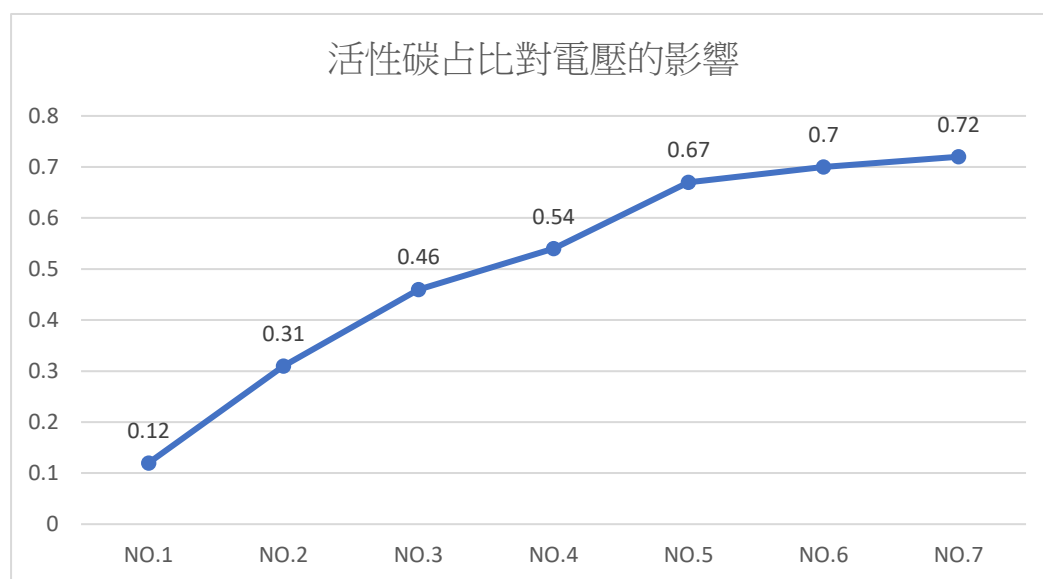


圖 13 活性碳在碳元素中占比對電壓影響折線圖

目前的理論普遍都認為石墨的導電性良好，而活性碳的導電性極低，但經實際製作後得知，當活性碳和石墨比接近 1:1 時，電壓最大。我們推測是因為石墨的單層與單層之間為封閉狀態互不相通，導致電流會因為被阻隔而有所下降，而活性碳的多孔結構可以使電流透過其中的空間導向其他單層，促使電壓增長。

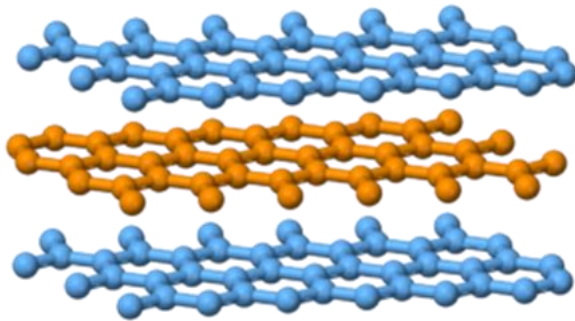


圖 14 石墨層狀結構側視圖

(四) 不同材質和密度的電極集流網對電壓的影響

完成以上實驗後，我們著手研究另一個影響碩大的因素，從始至終我們都是使用尼龍材質的集流網，而集流網不但是撐起電極的重要物件，更是所有電流的交會處，不適當的材料會加大電阻，造成不必要的損耗。

"目"是指一英吋*一英吋內的孔洞數量，例如 200 目表示一英吋*一英吋中有 200 個洞。這次測試我們使用不同材質、密度的集流網，測試其對電壓的影響和牢固性，本次測試中使用丙酮 20g、松香水 30g、保麗龍 25g、石墨和活性碳各 26.5g 做為控制變因。

編號	1	2	3	4	5
材質	無	鐵	鐵	鐵	鐵
密度(目)		10	12	16	20
電壓(v)	1.06	1.00	1.02	1.03	1.03

表 8-1 不同材質和密度的集流網對電壓的影響

編號	6	7	8	9	10	11	12	13
材質	不鏽鋼	不鏽鋼	不鏽鋼	不鏽鋼	尼龍	尼龍	尼龍	尼龍
密度(目)	10	12	16	20	10	12	16	20
電壓(v)	0.98	1.00	1.01	1.02	0.89	0.89	0.90	0.90

表 8-2 不同材質和密度的集流網對電壓的影響

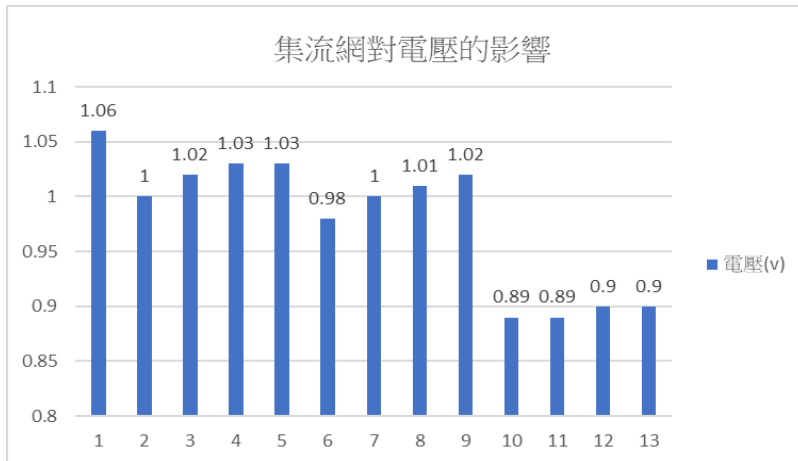


圖 15 集流網對電壓的影響



圖 16 無集流網



圖 17 十目不鏽鋼集流網



圖 18 十目不鏽鋼集流網



圖 19 十目尼龍集流網

根據以上實驗，我們得出的結論為不使用網子為最佳選擇，其原因是因為任何種類之集流網都會附帶些許電壓，而全碳極則不會有此類狀況發生，至於脫落或無法成型的問題，只要將漿體分兩次倒入，使其中一層替代集流網，便可以將其解決。

三、改變電極大小對電壓的影響

根據以上成果，我們已經研究出了不同成分比例對電壓影響，但是電極的體積也是影響電壓的因素之一。依照已經確定的比例，我們製作了不同大小的電極，再加以測試。

表 9 電極大小對電壓影響數據表

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9
丙酮(g)	4	8	20	30	40	50	60	70	80
松香水(g)	6	12	30	45	60	75	90	105	120
保麗龍(g)	5	10	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100
石墨(g)	5.25	10.5	26.25	39.38	52.25	65.63	78.75	91.88	105
活性炭(g)	5.25	10.5	26.25	39.38	52.25	65.63	78.75	91.88	105
總重(g)	25.5	51	127.5	191.25	255	318.75	382.5	446.25	510
電壓(v)	0.94	0.99	1.06	1.12	1.18	1.23	1.26	1.26	1.27

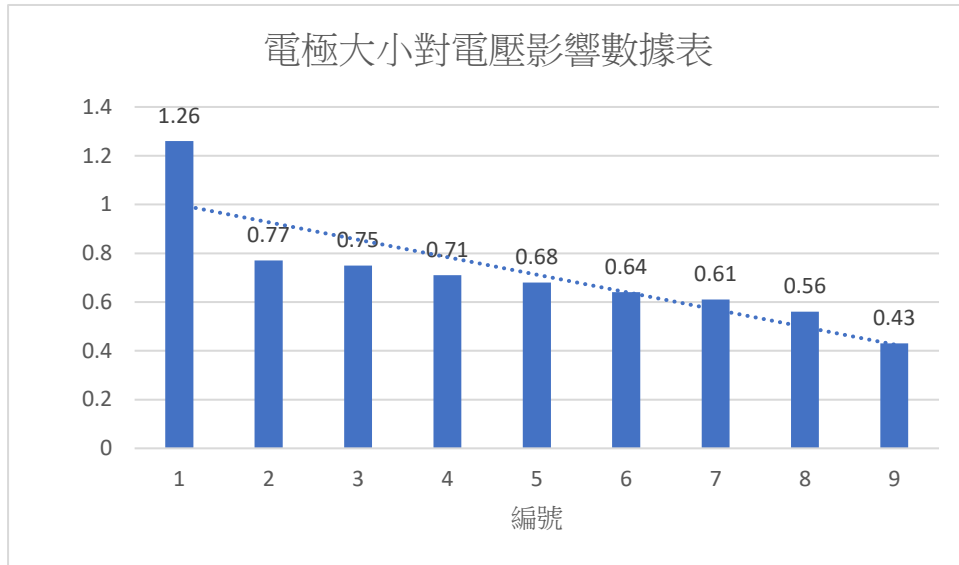


圖 20 電極大小對電壓影響長條圖

經由上述實驗我們得知加大電極體積能夠增加電壓的，不過當電極重量達到約 400g 時，增長的幅度便會降低許多。而當電極太重，對空氣電池也會有影響，所以以下實驗我們均使用編號 7(總重 382.5g)的電極測試。

四、環境溫度對效能的影響

電池的製作固然重要，但電池對於保存和使用更是注重，電池需要適應高、低溫地區，以便使用

我們透過模擬出不同的環境溫度，測試鋁空氣電池是否會產生無法使用，或效能低落之類似情況。

表 10 電池放置地點對電壓的影響數據表

平均溫度	-20	5	25	35	45
模擬地區	寒帶	溫帶	副熱帶	熱帶	沙漠
放置地點	冷凍櫃	冰箱	室溫	保溫箱	保溫箱
原電壓(v)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
放置後電壓(v)	無法測量	0.36	1.01	1.00	0.94
差異值	無法測量	0.62	0.00	0.01	0.06

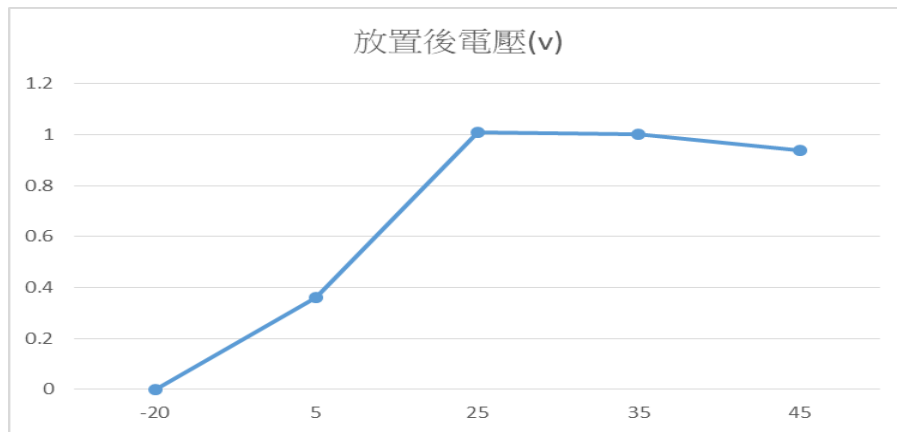


圖 21 電池放置地點對電壓的影響折線圖

根據實驗結果我們發現到，鋁空氣電池雖然在高溫環境下效能會有所降低，但依然可以正常使用。而在低溫環境下容易結冰，造成無法使用之情況。不過只要將電解液的液體密度控制在 1.25~1.35 之間便不會有這項問題。

五、電池串聯對電壓的影響

在完成所有材料比例之測試後，我們將電極的數據固定(如下)

材料	丙酮	松香水	聚苯乙烯	石磨	活性炭	集流網	總重
使用量	60	90	75	78.75	78.75	無	382.5

表 11 電極材料比例之最終數據

依照上述條件我們測試電池在串聯時的電壓增加值

附:每單元為一塊電極、一塊鋁、100cc 電解液

單元數	1	2	3	4	5	6
電壓(v)	1.26	2.03	2.78	3.49	4.17	4.81
增加值(v)	1.26	0.77	0.75	0.71	0.68	0.64

表 12 每單元增加值數據表

單元數	7	8	9	10	11	12
電壓(v)	5.42	5.98	6.41	6.73	6.98	7.20
增加值(v)	0.61	0.56	0.43	0.32	0.25	0.22

表 13 每單元增加值數據表

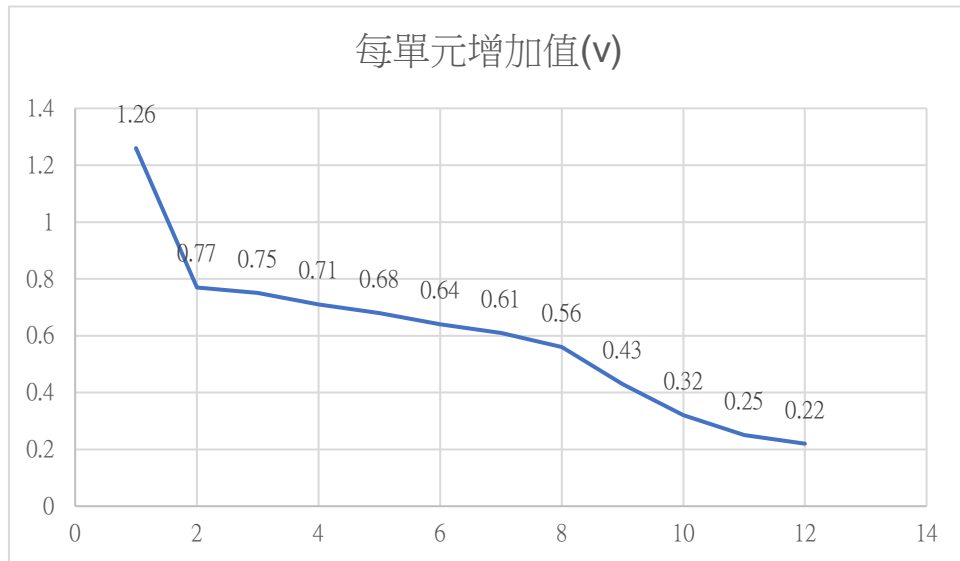


圖 22 每單元增加值折線圖



圖 23 電池含 10 個單元(正面)



圖 24 電池含 10 個單元(側面)

由於單顆電池中單元數大於 11 後，增加一單元之電壓已小於正常電池的 1/4，所以我們選擇使用 10 個單元為一組的方式組合電池，並製成最終成果。

肆、 研究結果

一、根據實驗我們得出下表(表 14 不同有機溶劑的溶解情況)

	優點與缺點	溶解效果
丙酮(圖 22)	化學藥劑，只能夠破壞較完整的結構，無法溶解聚苯乙烯。	★☆☆☆☆
松香水(圖 23)	油漆稀釋劑，油性物質，溶解後較粗的結構會有殘留。	★★★☆☆
2:3 混合溶液	兩者之混和，可以在解決無法破壞較粗結構的同時，溶解聚苯乙烯。	★★★★★



圖 22 丙酮溶解情形



圖 23 松香水溶解情形

二、藉由實驗我們整理出以下表格(表 15 聚苯乙烯的最佳比例)

保麗龍 (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
脫落程 度(%)	100	73	48	12	0	0	0	0	0	0
牢固性	☆	☆	★	★	★	★	★	★	★	★
	☆	☆	☆	☆	★	★	★	★	★	★
	☆	☆	☆	☆	★	★	★	★	★	★

從實驗內得知，保麗龍在 50(%)以上時，可以完整牢固電極，不過考慮到加入聚苯乙烯會增加電阻，我們選用有機溶液：聚苯乙烯 2：1 的方式製作電極。

三、我們在黏著劑中加入石墨，測試不同石墨占比所製作之電極的電壓。

(表 16 不同的石墨占比電壓數據表)

編號	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10
石墨占比(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
電壓(v)	0.12	0.31	0.46	0.54	0.67	0.70	0.72	無法 成形	無法 成形	無法成 形

但因為石墨是層狀結構，單層和單層之間為封閉狀態互不相通，就間接

造成了電阻。經測試後後我們決定使用石墨加活性碳的方法，使電子可以在各層之間穿梭。

四、不同集流網材質和密度對電壓之影響(表 16 有無集流網之優缺點)

	最高電壓	優缺點
使用鐵製集流網	1.03	電極可依附於媒介之上，製作步驟較為簡潔，但電阻也會因此提高。
不使用集流網	1.06	電阻較低，且不會有電極脫落集流網之問題。

以分兩次加入的方法替代集流網不但可以減少電阻的產生，更可以免脫落的問題，大大提高應用於載具的可能性，不過製作過程較為繁瑣，且容易有不成形的問題。

五、經過測試後使用上述方法製作之電極在 400g 時是所有不同體積中性價比最高的。在後續實驗中也會使用此比例進行製作。

六、測試中可以確定，在高溫環境下電池依然可以正常運行，而在 0°C 以下時，只要可以將電解液的液體密度控制在 1.25~1.35 之間，便可以正常使用。

七、從實驗數據中可以知道，單元數在 10 以下時，電壓的增加可以 1/4 個普通鋰電池以上，而一單元的鋁空氣電池之體積為普通鋰電池的 1/4，因此 10 個單元一顆電池是最有效的方法。

伍、 結論

根據本次實驗結果，我們得知當丙酮和松香水為 2:3 時，保麗龍溶解後的殘留物最少，並且有機溶劑與保麗龍達到 2:1 時，電極的牢固性和電壓比值最為適當。碳元素的部分只要在石墨中加入活性碳便可以解決石墨單層與單層不互通的情況，促使電流可以相通、減少電阻。而使用以上材料和比例製作的電極在約 400g 時的電壓增加比例最高。

另外，為了能使電池普及於日常生活中，且能廣泛運用於世界各國，我們製造不同溫度的環境，觀察電池的效能影響，雖然 0°C 以下的環境會使電池失效，但只要使電解液的液體密度在 1.25 至 1.35 之間便可以有效的解決這項問題，使電池能夠正常運作。

經本次實驗我們得知，電極材料的選擇和比例對電壓有很大的影響，些微的誤差都會影響電池的品質和效率。而我們製作的鋁空氣電池相較面上的鋰電池，它擁有較高的電壓，同時擁有約為鋰電池 2-3 倍多的電能，且電池總質量輕。但因其發電需要和氧氣進行氧化還原，放電過程會使鋁塊被腐蝕，產生氫氣，也容易使裝置過熱，需要散熱系統緩和。但未來若使用於汽車電池方面，或許能和鋰電池並用，除了減輕重量，也能彌補續航力不足的問題。相信高電壓的鋁空氣電池必能成為發展的趨勢!

陸、 參考文獻

閒人 Time – 使用金屬來發電，鋁空氣電池是如何工作的？

<https://www.youtube.com/watch?v=ENxA4bZg2fY>

維基百科—石墨

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%9F%B3%E5%A2%A8>

末日電池--自製影片

<https://www.youtube.com/watch?v=2S3PHbnGwX4>

中視新聞(科學補給線—木炭變電池

<https://www.youtube.com/watch?v=ultqeAbP15c>

未來的電池特輯：(二) 鋁-空氣電池

<https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=11618>

中小學科展第六十屆-揭開自製鋁空氣電池讓風扇連續轉動十個小時的秘密--電池效能提升之研究

<https://www.ntsec.edu.tw/Science->

<Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=16606>

中小學科展第六十一屆-鋁空氣電池

<https://www.ntsec.edu.tw/Science->

<Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=19077>

中小學科展第四十九屆-電從哪裡來？鋁－空氣電池的製作與探討

<https://www.ntsec.edu.tw/Science->

[Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=5033](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=5033)

中小學科展第五十一屆-『未來電池之星』：鋁－空氣電池

<https://www.ntsec.edu.tw/Science->

[Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=9038](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=9038)