

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030214

「鋁」戰「鋁」勝 --- 可撓式鋁電池的研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者：  國二 林宇亮  國一 黃爾亮  國一 李沛誼	指導老師：  蔡明致  潘瑾卿
---	-----------------------------

關鍵詞：石墨、鋁電池、電解質

## 摘要

本研究旨在製作可撓式鋁電池因應可撓式電子產品的發展。我們 G1(第一代)電解液配方為 pH=3 氯化鋁-醋酸與醋酸鈉緩衝溶液，在 G2(第二代)加上澱粉製成乾式電池，在電解液中加入石墨，但研究顯示電解液中的石墨粉不具夾層效果，鋁電池充電電壓 2~5V，以最高 5V 進行充放電實驗。取碳粉與各種膠體製作可撓式導電布取代正極固體石墨棒，最佳正極改質配方為 75%炭煙導電(紗)布，溶劑為透明漆。在負極鋁片上塗卵磷脂，藉由疏水性降低電極短路，可提高電壓並延長放電時間。電池在 G3~G4 代模組中發現單層宣紙隔離層效果最好，正極添加二氧化錳去極劑隔絕層可使電流提高 2.3~4 倍左右，目前 G4 模組可穩定放電 8 天以上，平均功率有 2.5mw，估計電量有 192mAh。

### 壹、研究動機

在氣候變遷的議題下，國家以綠能做為未來的發電來源，太陽能板電池的能量密度 (mAh/kg) 低、鋰電池容易爆炸，不可彎折，故我們希望開發其他種類的二次電池。

目前技術最成熟的電池為鉛酸電池與鋰電池，但鉛酸電池的缺點是不環保，無論是生產或回收過程都有可能造成污染；而鋰電池的安全性向來備受質疑，且鋰的蘊藏量有限，地殼中僅 0.002%，日後可能面臨材料短缺的危機(陳婉箏，2017)。長久以來，台灣工研院對於「鋁電池」的研究不少，偶有引人振奮的新聞標題，如：鋁離子開發躍進進入量產準備階段(2017)，但至 2018 年，市面上二次電池仍是以鋰電池為多，其中必然有難解之處，文獻中提到鋁電池能量密度低，負極材料「鋁」易腐蝕為其缺點。思考至深處，我想要深入研究這個議題，因為以礦產分布而言，鋁的蘊藏量極為豐富，約占地殼 8%，可大幅降低生產成本，以電解液來說，亦可以減少含大量鋰離子的廢液排放，鋁電池對於環境比較友善。

可撓式的面板現今已發展成熟，而手機大廠三星近期也推出折疊式手機(蘋果即時，2018)，可撓式電子產品正是趨勢，許多配套零件也要跟進，鈕扣型的鋰電池體積雖然很小，但依然無法隨意的曲撓變形且價格越來越高，所以使用便宜的鋁來製作可撓式電池，乃本實驗的嘗試方案。







本研究先以石墨為正極、金屬鋁為負極，氯化鋁( $\text{AlCl}_3$ )為電解液，測試哪一種電解液配方(濃度與酸鹼性)能具有最高電壓，接著測定石墨-鋁電池的充放電規格，將其當作對照組；第二部分，模仿乾電池的電解液配方，在電解液氯化鋁，醋酸-醋酸鈉的緩衝溶液中加入等比例的澱粉黏著正極石墨粉與電解液配方；並測試隔離材料變因，試圖試驗出最佳效能的可撓式鋁電池，由於文獻中指出鋁碰到水後會腐蝕，會生成氧化鋁及氫氣( $2\text{Al}+3\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{Al}_2\text{O}_3+3\text{H}_2$ )，所以我們將負極鋁片浸泡在不同種類的油脂，測量改良後的電壓大小與充放電情況，並與基本規格(石磨-鋁電池)進行探討。期望了解鋁電池的特性與成功製造出可撓式的鋁電池。

## 貳、研究目的

- 一、電解質配方對電池效能的影響
- 二、充電電壓與時間對石墨棒鋁電池電壓變化
- 三、不同膠體種類改質正極石墨對鋁電池電壓的影響
- 四、隔絕層設計對於鋁電池電壓與電流的影響
- 五、半透油膜種類改質負極對鋁電池電壓的影響
- 六、改質鋁電池模組(G3)之時間與電壓、電流關係

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材與藥品

研究器材與規格 9 格零件盒 電解液測量容器 	研究器材與規格 固定測量器 固定測量電壓 電阻 電流的面積和長度 	研究器材與規格 電源供應器 充電用具 	研究器材與規格 三用電表 測量電壓 電阻 電流 
研究器材與規格	圖片	研究器材與規格	圖片
PH 計 測量 ph 值 		烘碗機 烘乾石磨正極 	

<p>藥品與規格</p> <p>氯化鋁(<math>AlCl_3</math>) 電解液材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>石墨棒 取自市售乾電池 規格:長 2.5cm</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>石磨粉 正極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>噴膠 正極改質黏合劑</p> 
<p>藥品與規格</p> <p>鋁片 規格:長 2.5cm 寬:1cm 兩層</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>卵磷脂 負極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>嬰兒油 負極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>沙拉油 負極改質材料</p> 
<p>藥品與規格</p> <p>奶油 負極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>宣紙 正極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>玻璃紙 正極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>投影片 正極改質材料</p> 
<p>藥品與規格</p> <p>發泡膠 正極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>鹽酸(HCl) 電解液材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>膠水 正極改質材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>白膠 正極改質材料</p> 
<p>藥品與規格</p> <p>導電布 正極改質材料 代替石墨正極</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>導電銀膠 正極改質材料 塗抹在導電布上的膠體</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>導電透明膠 正極改質材料 塗抹在導電布上的膠體</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>二氧化錳 在電池中作為去極劑 使用</p> 
<p>藥品與規格</p> <p>紗布 作為可饒式基材</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>澱粉 製作乾式電池之材料</p> 	<p>藥品與規格</p> <p>碳煙(炭黑) 為在空氣不足的情況下 燃燒碳氫化合物得到極 細微碳黑粉。</p> 	

## 肆、研究過程或方法

### 一、重要名詞解釋

#### (一) 鋁電池

鋁離子電池是可充電二次電池，當放電時  $\text{AlCl}_4^-$  移向負極(鋁)生成二氧化鋁離子，充電時  $\text{AlCl}_4^-$  移向正極(石墨)插入夾層中，整體反應式為  $\text{Al} + 7\text{AlCl}_4^- + 3\text{C}_n[\text{AlCl}_4] \rightleftharpoons 4\text{Al}_2\text{Cl}_7^- + 3\text{C}_n + 3\text{AlCl}_4^-$ ，鋁電池的電解液通常含有氯鋁酸鹽陰離子

( $\text{AlCl}_4^-$ )與二烷基咪唑陽離子( $\text{EMI}^+$ )之組合物。本實驗電池設計有正極(石墨)、負極(鋁片)與氯化鋁和鹽酸溶液(電解液)並進行以上配方改質研究。

#### (二) 導電膠帶

電布膠帶具有良好的導電性、抗摩擦性與金屬結合力，因為其質地柔軟經過抗氧化處理。所以可以用來連結石墨膠體形成鋁電池的正極。



圖 4-1-2-1 金色部分為導電膠帶

#### (三) 導電布

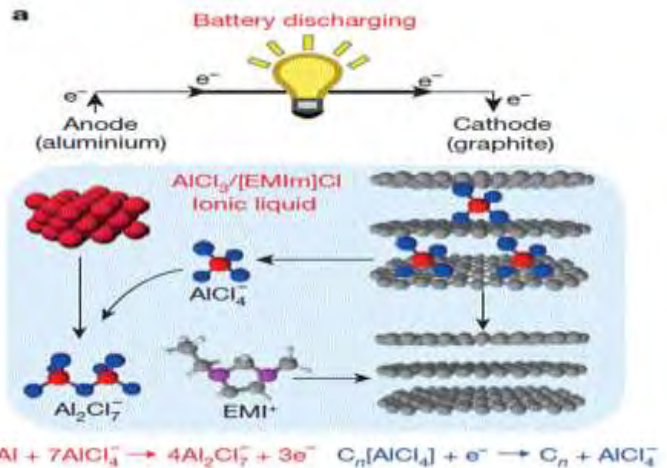
本實驗實驗目的之一為改質石墨棒成為可撓式裝置，過程中嘗試使用投影片、市售導電膠帶兩種材料，發現投影片有石墨粉容易脫落、導電膠帶泡到水會生鹼式碳酸銅之問題，故改良固體石墨棒為導電紗布，作法為 75%石墨粉混合 25%透明漆均勻塗抹在紗布上，待透明漆揮發完畢即成。



圖 4-1-3-1 導電布

#### (四) 鋁電池改質模組編號(generation1~ generation4 ; G1-G4)

本實驗研究鋁電池改質的過程如下，經歷了第一代到第四代(G1-G4)，第一代的問題為 PVA-石墨可撓性低差且電壓過低，隔絕層數越多電功率效果越差(圖 4-1-4-1)但由第一代測試中可以知道宣紙為最佳的隔層材料，第二代問題為導電膠帶使用後會產生鹼式碳酸銅沉澱造成電阻過高(圖 4-1-4-2)，只能做到一次的充放電循環(圖 4-1-4-3)，第三代(G3)與第四代(G3)電池為良好的電池模組，第四代加入雙層去極劑布的電解液作法有最佳電池功率產出，G4 為最佳電池改質模組。G1-G4 配方紀錄如下圖 4-1-4-4



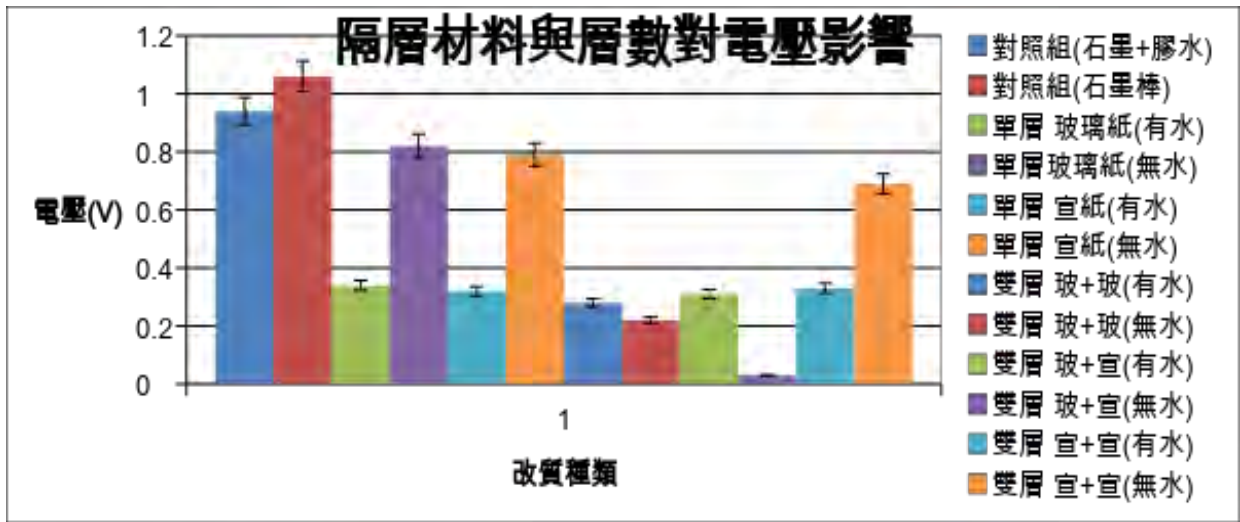


圖 4-1-4-1 G1 隔離層數與材料測試, 但層設計與宣紙隔離最佳



圖 4-1-4-2 G2 中導電膠布中的銅參與變化生成鹼式碳酸銅 (綠色) 生成

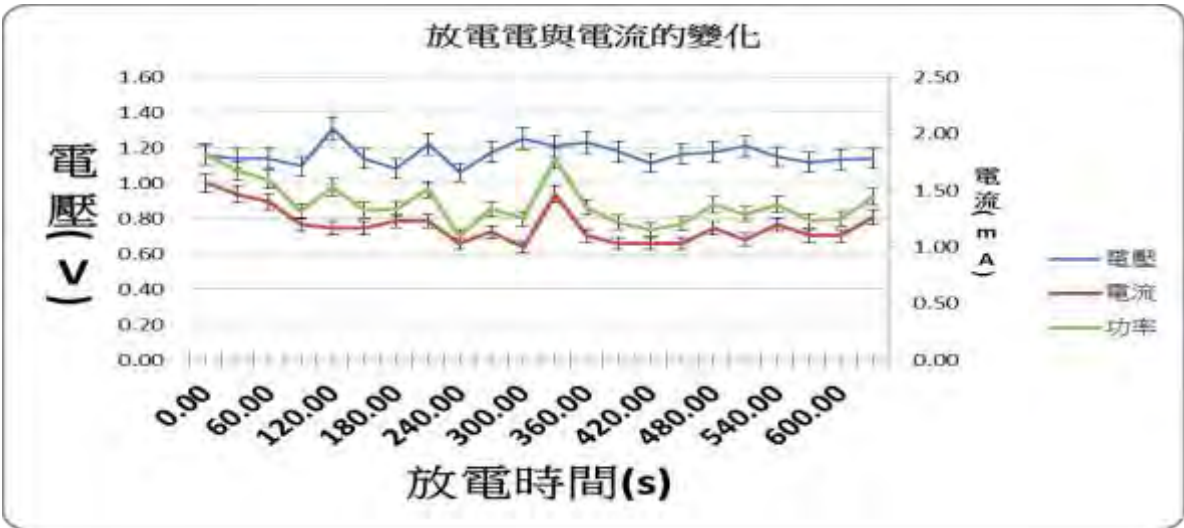


圖 4-1-4-3 G2 模組第一次充放電圖

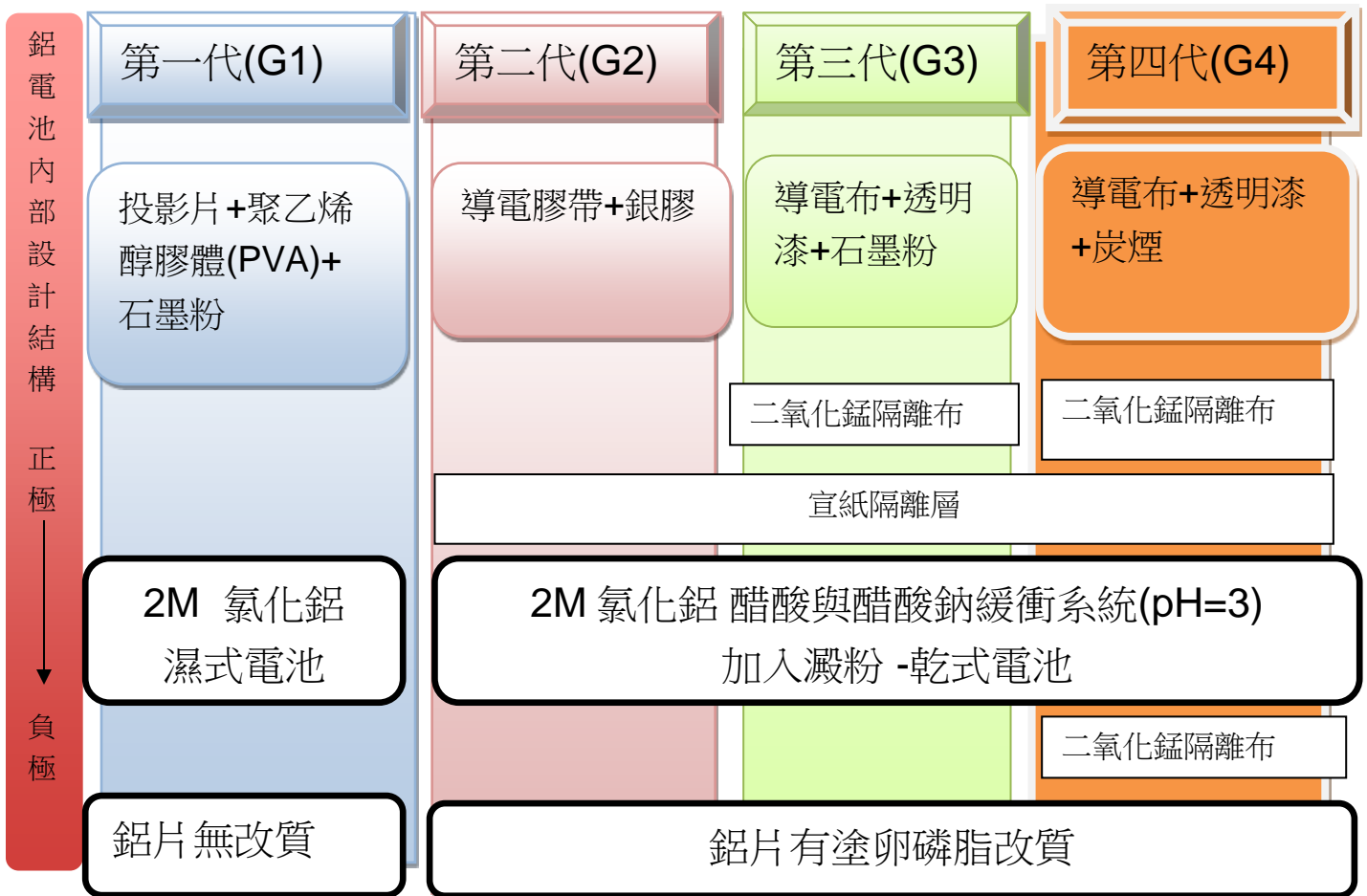


圖 4-1-4-4 電池改質模組演變(G1-G4)

二、實驗流程圖

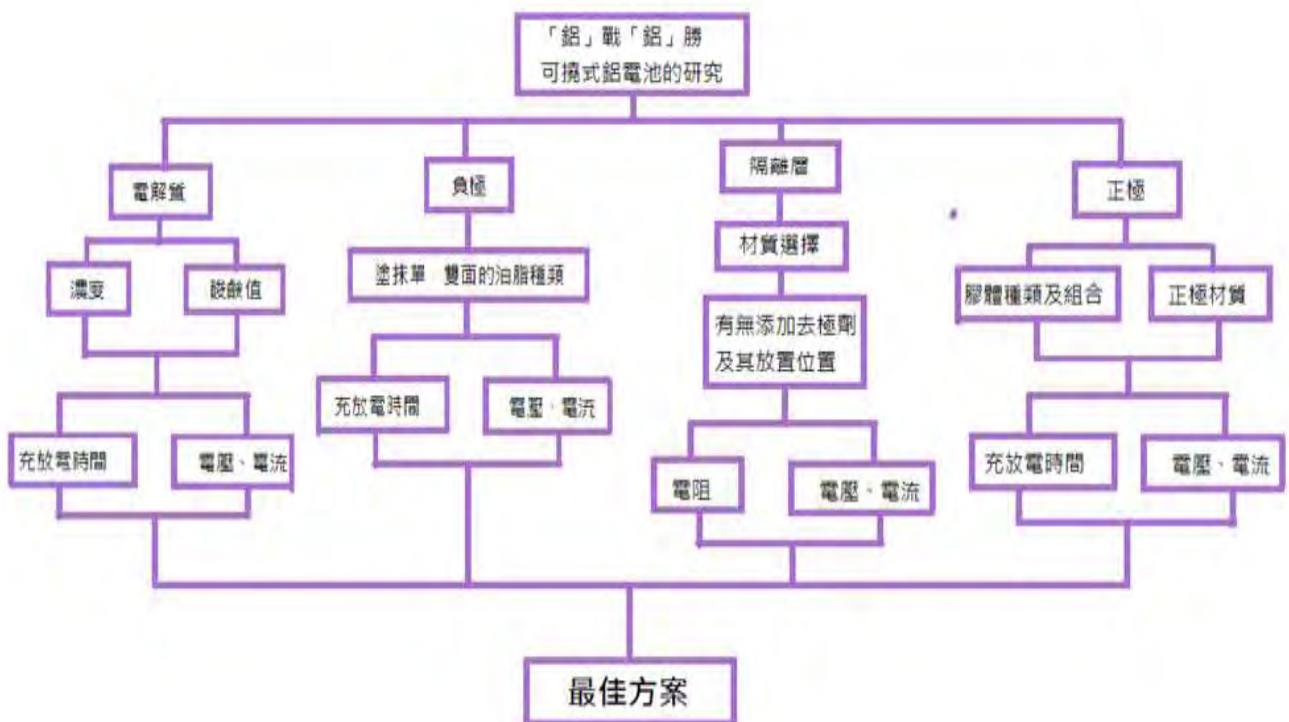


圖 4-2-1-1 實驗流程架構圖

### 三、研究步驟

#### 實驗一 電解質配方對電池效能的影響

##### (一)、電解質濃度對電壓的影響

- 1.取 10ml 的水混合定量的  $\text{AlCl}_3$  攪拌均勻(調製 4M,2M,1M,0.1M,0.01M,0.001M,0.0001M)
- 2.將電解液置入 9 格零件盒
- 3.使用鋁片(長 2.5cm 寬 1cm),石墨棒(長 2.5cm)以固定測量器,接上三用電表後進行測量
- 4.記錄電壓、電流之數據

##### (二)、電解質酸鹼性對電壓和電流的影響

- 1.取適量鹽酸混合 4.82 克的  $\text{AlCl}_3$  攪拌均勻,配成 2M 之  $\text{AlCl}_3\text{-HCl}$  溶液
- 2.加入氫氧化鈣至 pH1,2,3,5,7,9,11(使用 pH 計測量 pH 值)
- 3.將電解液置入 9 格零件盒
- 4.使用鋁片(長 2.5cm 寬 1cm),石墨棒(長 2.5cm)以固定測量器,接上三用電表後進行測量
- 5.記錄電壓、電流之數據

##### (三) 電解液中炭煙與澱粉比例對電池電流的影響

###### 1. 石墨棒枝數對鋁電池電壓與電流的影響

自乾電池上拆下多根石墨棒與等面積鋁箔組裝成 G1 模組進行電壓電流測量

- 2.取定量氯酸鋁醋酸鈉緩衝系統溶液 6ml\*5 杯
  - 3.配置碳煙 1.72g(20%)、2.58g(30%)、3.44g(40%)、4.3g(50%)、6.45g(75%)與澱粉 2.6g\*5 匙,電解液取 6ml\*5 份後,配置完畢各取 10 公克電解質進行實驗
- 碳煙濃度算法為  $\% = \frac{\text{碳煙重量}}{(\text{澱粉} + \text{電解液})} * 100\%$

###### 4.裁切紗布\*2、濾紙\*1(17\*7.5cm)

###### 5.紗布\*2、鋁片\*1(12.3\*5cm)

###### 6.將鋁片塗抹卵磷脂冷藏至凝固

###### 7.將 1、2 的材料混和,並加熱 90 度至成團狀

###### 8.將 2 張布(17\*7.5cm)抹上二氧化錳、透明漆(各站 50%)

###### 9.將 1 張布(12.3\*5cm)抹上碳煙、透明漆(比例 3:1)

###### 10.將以上配方組合成 G4 構造

###### 11.充電 150 秒後,測量電壓與電流變化

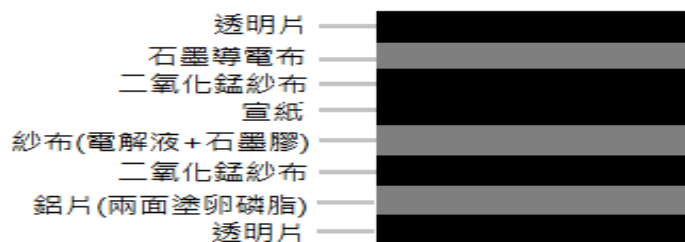


圖 4-1-3-1 G4 構造

#### 實驗二 充電電壓與時間對石墨棒鋁電池電壓的變化

##### (一)、充電電壓與充電時間對石墨棒鋁電池電壓的影響

- 1.使用固定測量器+石墨棒+鋁片+電源供應器對 2M 氯化鋁進行充電
- 2.以電源供應器改變充電電壓為 2V-6V



- 3.使用鋁片(長 2.5cm 寬:1cm),石墨棒(長 2.5cm)以固定測量器,接上三用電表後進行測量
- 4.記錄電壓、電流之數據
- 5.以充電 30 秒,60 秒,90 秒,...300,重複步驟 1 和步驟 2

#### (二)、充電電壓對石墨棒鋁電池的電壓變化曲線

- 1.使用固定測量器+石墨棒+鋁片+電源供應器對 2M 氧化鋁進行充電 120 秒
- 2.使用鋁片(長 2.5cm 寬 1cm),石墨棒(長 2.5cm)以固定測量器,接上三用電表後進行測量
- 3.記錄電壓、電流之數據
- 4.以放電 30 秒,60 秒,90 秒,...300,重複步驟 1 和步驟 2

### 實驗三 不同膠體種類改質正極石墨對鋁電池電壓的影響

#### (一). 膠體種類(改質 G1)

- 1.以投影片塗上膠水並灑上石墨
- 2.等待固定時間
- 3.使用三用電表後進行測量電阻
- 4.使用白膠,噴膠重複 1 至 3 步驟



圖 4-3-3-1 G1 中將 PVA 混合石墨粉

#### (二). 膠體種類(改質 G2)

- 1.將石墨、電解液、澱粉混和(石墨:電解液:澱粉=4g:6ml:0.8g)
- 2.將混和物加熱直到成團狀為止
- 3.裁切 12.3\*5cm 的投影片\*2、鋁箔\*1、紗布\*2、宣紙\*1
- 4.由下至上為投影片鋁箔、紗布、宣紙、藥、紗布、投影片+導電膠帶組裝
- 5.用絕緣膠布黏和(圖 5-1)
- 6.欲使用時充電 5V 150 秒,測量其電流和電壓



圖 4-3-3-2 G2 裝置圖

#### (三). 石墨濃度(改質 G3)

- 1 將石墨粉與指甲油膠體按比例 10%、20%、30%、50%、75% 混和

- 2 將步驟 1 的成品等面積的塗在紗布上
- 3 待其乾燥後用三用電表測量電流和電阻



圖 4-3-3-3 G3 裝置

#### (四). 膠體種類(改質 G3)

- 1.30%石墨粉加上 70%之各式膠體
- 2 將步驟 1 的成品等面積的塗在紗布上
- 3 待其乾燥後用三用電表測量電流和電阻



圖 4-3-3-4 膠體種類(改質 G3)

#### (五) 石墨粉與炭煙的比較(改質 G4)

- 1 將石墨與碳煙等比例 75 與透明漆進行調配
- 2 將以上兩種負極組合為 G4 構造,進行電壓與電流測量



圖 4-3-3-5 碳煙導電布(改質 G4)

#### 實驗四 隔絕層設計對於 G3 鋁電池電壓與電流的影響

1. 裁切鋁片\*1、紗布\*2、宣紙\*1
2. 將 4g 石墨粉、6ml 電解液、1.6g 澱粉
3. 加熱步驟 2 製麵糰狀
4. 將鋁片塗抹卵磷脂冷藏至凝固
5. 將 1 片紗布塗上(50%的  $MnO_2$ 、50%的透明漆)
6. 將 1 片紗布塗上(25%的透明漆、75%的石墨粉)
7. 組裝(由底至高為鋁片、紗布( $MnO_2$ )、紗布、藥、宣紙、藥布、正極導電布)
8. 充電 150 秒 5V 測電壓電流

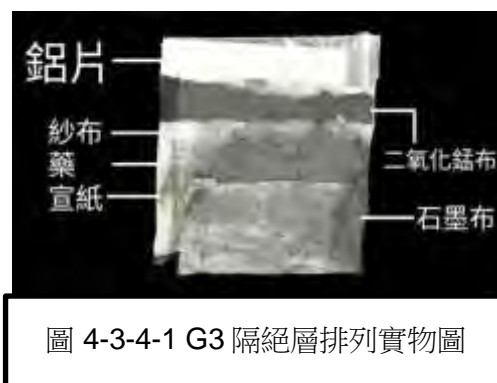


圖 4-3-4-1 G3 隔絕層排列實物圖

#### 實驗五 半透油膜種類]改質負極對 G1 電池電壓的影響

##### (一)、半透油膜種類對鋁電池電壓的影響

1. 將 0.2ml 各式酯類(嬰兒油、卵磷脂、沙拉油、安佳奶油)改質鋁片
2. 使用固定測量器對 G1 電池系統進行充電
3. 改變不同油脂改質的鋁片(長 2.5cm 寬 1cm) 接上三用電表進行電壓與電流測量
4. 以充電 30 秒,60 秒,90 秒,...300,重複步驟 1 和步驟 2

##### (二) 充電電壓對 G1 電池充放電曲線的影響

1. 裁剪鋁片(長 2.5cm 寬 1cm)數片
2. 勻塗抹最佳油脂種類於鋁片正反面上
3. 置於冰箱一天使其乾燥硬化
4. 將改質鋁片與石墨棒，2M 氯化鋁溶液裝置成電池(G1 系統裝置)
5. 將步驟 4 裝置以固定測量器,接三用電表後進行測量
6. 記錄電壓、電流之數據與測量放電時間

#### 實驗六 改質 G3 模組之時間與電壓、電流關係

1. 裁切鋁片\*1、紗布\*3、宣紙\*1
2. 將 4g 石墨粉、6ml 電解液、1.6g 澱粉
3. 加熱步驟 2 製麵糰狀
4. 將鋁片塗抹卵磷脂冷藏至凝固
5. 將 1 片紗布塗上(50%的  $MnO_2$ 、50%的透明漆)
6. 將 1 片紗布塗上(25%的透明漆、75%的石墨粉)
7. 組裝(由底至高為鋁片、紗布( $MnO_2$ )、紗布、藥、宣紙、藥布、正極導電布)
8. 充電 150 秒 5V 測電壓電流直到電流至 0 秒的 1/2



圖 4-3-6-1 G3 實驗測量圖

## 伍、研究結果與討論

### 實驗一 電解質配方對電池效能的影響

#### 一、電解質濃度對電壓的影響

表 5-1-1-1 電解質濃度對電壓的影響

濃度(M)	電壓(v)					平均值	標準差	標準誤差
4	1.52	1.53	1.58	1.57	1.55	1.55	0.0255	0.0114
2	1.47	1.43	1.46	1.48	1.42	1.452	0.0259	0.0116
1	1.38	1.38	1.38	1.41	1.37	1.384	0.0152	0.0068
0.1	1.3	1.3	1.34	1.32	1.28	1.308	0.0228	0.0102
0.01	1.08	1.13	1.18	1.14	1.12	1.13	0.0361	0.0161
0.001	1.02	0.98	1.01	0.96	0.99	0.992	0.0239	0.0107
0.0001	0.89	0.91	0.88	0.87	0.85	0.88	0.0224	0.01

表 5-1-1-2 電解質濃度對電流的影響

濃度(M)	$\sqrt{\text{濃度}} (M^{1/2})$	電流(I)					平均值	標準差	標準誤差
4	2	0.17	0.16	0.12	0.16	0.15	0.152	0.4266	0.1908
2	1.414214	0.15	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.5057	0.2261
1	1	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12	0.124	0.5307	0.2374
0.1	0.316228	0.09	0.1	0.1	0.09	0.09	0.094	0.5289	0.2365

續表 5-1-1-2 電解質濃度對電流的影響

0.01	0.1	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.084	0.4952	0.2215
0.001	0.031623	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.4302	0.1924
0.0001	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.014	0.3545	0.1585

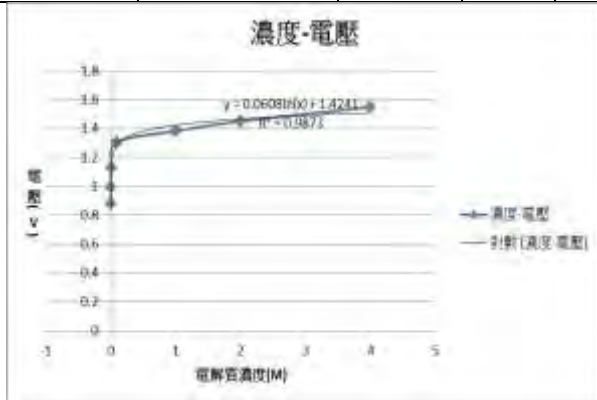


圖 5-1-1-1 濃度對電壓的影響

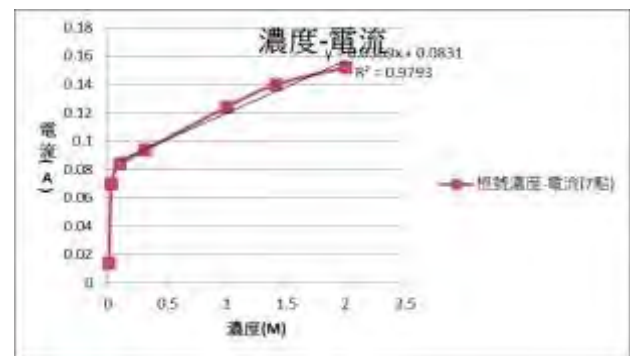


圖 5-1-1-2 濃度對電流的影響

#### (1) 實驗結果與討論

- 實驗結果為當電解質濃度越高時，電池的電流與電壓均會越大，考量氯化鋁在室溫下(20°C)溶解度為 45.8g，相當於 1.9M 左右，所以取最大濃度為 2M 進行以下實驗。
- 依照能斯特方程式(The Nernst Equation)  $E = E^{\circ} - (RT/nF) \ln(Q)$ ，將電解質濃度與電化電池電壓取對數關係，得  $R^2=0.9873$ 。
- 依照柯爾勞希離子獨立遷移定律(Kohlrausch's Law of Independent Migration of Ions)，在稀薄強電解質下，溶液的電導率符合式子  $\Lambda_c = \Lambda_c^{\infty} - a\sqrt{c}$  電導率( $\Lambda_c$ )與電阻成反比，可謂正比於電流( $R=V/I$ )，故將電解質濃度開根號與電流(I)取正比關係，得  $R^2=0.9793$
- 綜合以上，本實驗將 G1 電池模組之電解液配成氯化鋁與鹽酸混合液為可行方案。

## 二、電解質酸鹼性對電壓的影響

表 5-1-2-1 電解質酸鹼性對電壓、電流與功率的影響

	pH0	PH1	PH2	pH3	PH5	PH7	PH9	PH11
電壓(V)	1.23	1.43	1.12	1.23	1.01	0.97	0.98	1.34
	1.24	1.45	1.1	1.22	1.03	0.96	0.96	1.28
	1.25	1.12	1.06	1.22	1.08	0.92	1.01	1.22
	1.02	1.38	1.05	1.24	1.02	0.91	0.97	1.32
	0.9	1.01	1.04	1.25	1.03	0.95	0.94	1.3
平均電壓(V)	1.12	1.27	1.07	1.23	1.03	0.94	0.97	1.29
續表 5-1-2-1	PH0	PH1	PH2	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11
電流(A)	0	0	0	0.1	0.06	0.02	0.03	0.04
	0	0	0	0.09	0.06	0.02	0.03	0.04
	0	0	0	0.08	0.06	0.02	0.03	0.03
	0	0	0	0.07	0.06	0.02	0.03	0.04
	0	0	0	0.08	0.06	0.02	0.03	0.04
平均電流(A)	0	0	0	0.08	0.06	0.02	0.03	0.04
平均功率(w)	0	0	0	0.103	0.062	0.018	0.029	0.049

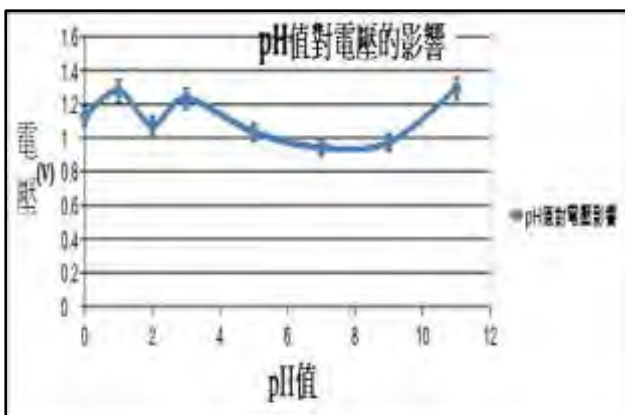


圖 5-1-2-1 電解質酸鹼性對電壓的影響

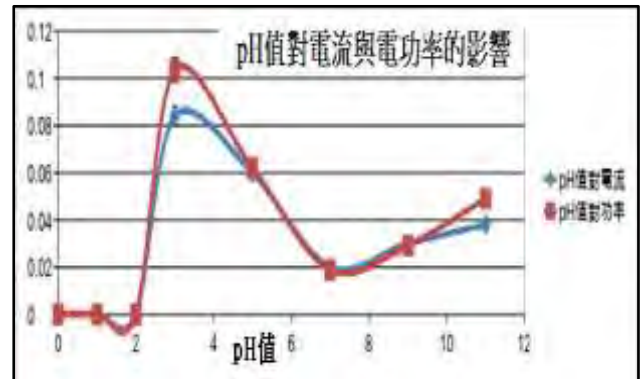


圖 5-1-2-2 pH 值對電流與電功率

### (一)、實驗結果與討論

1. 以電壓而言，酸性電解液(pH=0~pH=5)與鹼性電解液(pH=11)有較高表現，中性電解液最差效果(0.94V)，可能是鋁為兩性元素，於強酸與強鹼中溶解性較大所致。
2. 以電流而言，pH=0~pH=2之間電流低致無法量測(可能分子間引力太大，一般而言，電解質濃度越高，解離率越小)，測量區間以pH=3具較高電流(0.103A)
3. 綜合以上，以pH=3時具有最高電池功率。張乃奎(2013)指出若鋁電池中的電解液呈現路易斯酸性，則氯化鋁 $AlCl_3$ 會形成 $Al_2Cl_7^-$ 離子，能進行鋁的氧化還原反應，反應式如下： $4Al_2Cl_7^- + 3e^- \rightarrow Al + 7AlCl_4^-$ ，若 $Al^{+3}$ 在鹼性溶液中可能生成 $Al(OH)_3$ 沉澱，反應式如下表示，本實驗確定酸性電解質為較佳選擇。  
 $AlCl_3(aq) + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3(s) + 3Cl^-$
4. 圖 5-2-2 中電流與電功率曲線之相關係數為 0.985，代表電流大小是提升鋁電池電功率大小的主要關鍵。
5. 酸鹼性會影響電池電流大小，以下鋁電池改質實驗使用 HCl、CH<sub>3</sub>COONa 為緩衝系統，配置 pH=3 之氯化鋁緩衝溶液。

### 三 電解液中炭煙與澱粉比例對電池電流的影響

表 5-1-3 -1 石墨棒支數與 G1 模組電流大小

時間(秒)		0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	平均電流(mA)
1 支石墨棒	電流(mA)	1.6	1.2	0.6	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5
	2	1.7	1.1	0.7	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	
	3	1.6	1.2	0.6	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	
	平均電流	1.6	1.2	0.6	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	
2 支石墨棒	電流(mA)	7.0	4.9	4.8	4.2	3.8	2.5	2.6	2.2	1.8	3.6
	2	6.9	5.1	4.4	3.8	3.6	2.4	2.4	2.1	1.9	
	3	6.9	4.8	4.6	3.6	3.2	2.5	2.8	2.0	1.7	
	平均電流	6.9	4.9	4.6	3.9	3.5	2.5	2.6	2.1	1.8	
3 支石墨棒	電流(mA)	9.1	6.3	9.4	5.2	4.4	5.3	4.2	4.1	3.8	5.6
	2	9.3	5.8	9.6	5.3	4.3	4.9	3.8	3.8	3.1	
	3	8.6	5.9	8.8	5.1	4.1	4.8	4.1	3.7	3.8	
	平均電流	9.0	6.0	9.3	5.2	4.3	5.0	4.0	3.9	3.6	
4 支石墨棒	電流(mA)	10.3	7.7	5.3	4.7	3.8	3.3	3.8	3.6	3.0	4.9
	2	9.3	6.9	4.9	4.6	3.6	3.8	3.3	3.8	3.2	
	3	9.6	7.3	4.7	4.3	3.7	3.4	3.6	3.4	3.3	
	平均電流	9.7	7.3	5.0	4.5	3.7	3.5	3.6	3.6	3.2	

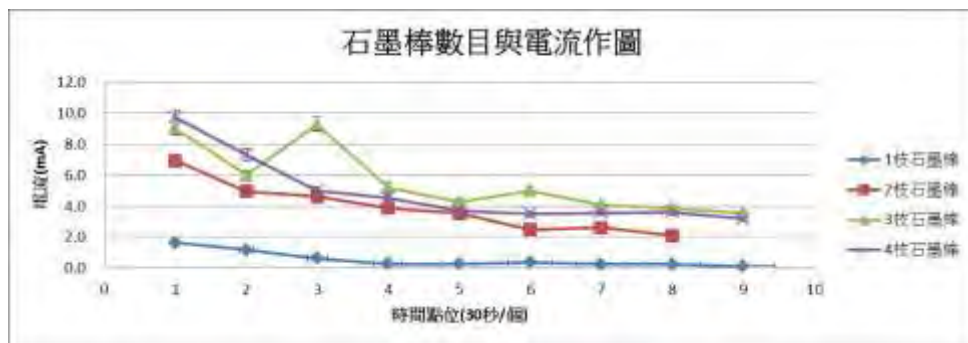


圖 5-1-3-1 石墨棒數目與電流作圖 (註:誤差線取 5%)

#### (1) 實驗結果與討論

1. 本實驗假設石墨棒中  $C_n$  的夾層數與電流有正比關係，由平均電流可以知道，一根到三根石墨棒的電流分別為 7.2 倍 ( $3.6/0.5=7.2$ ) 與 11.2 倍 ( $5.6/0.5=11.2$ ) 之變化，的確石墨夾層數越多電流越大，但並非正比關係，夾層數與電流應該是大幅度的躍近關係。
2. 四根石墨棒時電流回落於 9.8 倍 ( $4.9/0.5=9.8$ )，可能是  $AlCl_4^-$  離子，嵌入  $C_n$  時過於分散使得電流反而下降。

表 5-1-3-2 G3 模組中炭煙與澱粉比例對炭煙夾層數目影響

炭煙濃度(%)	20%	30%	40%	50%	75%
電流(mA)1	1.08	1.5	1.6	1	1.4
2	1.06	1.5	1.5	1.3	1.3
3	1.04	1	1.4	1.2	1.1
平均電流(mA)	1.1	1.3	1.5	1.2	1.3
電壓(V)1	1.2	0.93	0.89	1.06	1.3
2	1.1	0.92	0.88	1.05	1.35
3	1	0.94	0.86	1.06	1.34
平均電壓	1.10	0.93	0.88	1.06	1.33
平均功率(mw)	1.166	1.240	1.315	1.233	1.685



圖 5-1-3-2 電解質中不同濃度碳煙對電池功率的影響

### (1) 實驗結果與討論

- 從研究結果可得知，20%-50%之炭煙比例對電流不具有提升效果，與石墨棒在 G1 模組下實驗結果不符。在固定  $AlCl_4^-$  之莫耳數下，當炭煙佔溶劑( $AlCl_4^-$ -緩衝系統與澱粉總和)濃度 75% 為最佳比例。
- 綜合以上可以知道，G3 模組中的炭煙與澱粉混合物應該不具有夾四氯化鋁離子的功能，甚至可能影響  $Al_2Cl_7^-$  生成(科技政策研究與資訊中心，2015)，當 75% 炭煙導電度最好，是因為炭煙本身具有導電性。炭煙本身較石墨多層狀結構，以下實驗將繼續測試炭煙是否為優良的正極材料

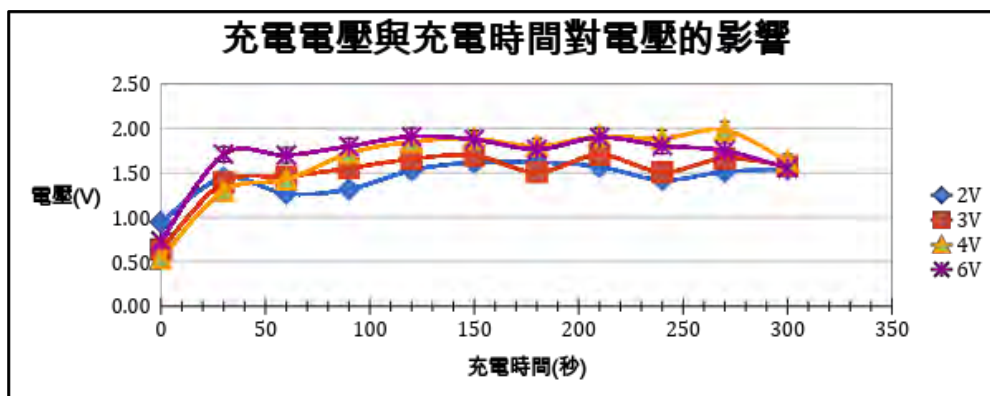
## 實驗二 充電電壓與時間對石墨棒鋁電池電壓的變化(對照規格)

### 1、 充電電壓與充電時間對石墨棒鋁電池電壓的影響

表 5-2-1-1 充電時間對電壓的影響電壓

充電時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
2V	0.94	1.55	1.32	1.35	1.58	1.67	1.66	1.62	1.47	1.63	1.59
	0.93	1.44	1.26	1.32	1.53	1.64	1.63	1.56	1.41	1.55	1.53
	0.97	1.35	1.22	1.28	1.48	1.57	1.57	1.53	1.38	1.36	1.5
平均值	0.95	1.44	1.27	1.31	1.53	1.62	1.62	1.57	1.42	1.513	1.54
3V	0.61	1.48	1.53	1.59	1.71	1.78	1.5	1.82	1.53	1.71	1.61
	0.65	1.37	1.45	1.55	1.66	1.69	1.49	1.63	1.52	1.66	1.58
	0.66	1.33	1.4	1.52	1.6	1.62	1.53	1.66	1.48	1.62	1.54
平均值	0.64	1.39	1.46	1.55	1.66	1.70	1.51	1.70	1.51	1.66	1.57
4V	0.56	1.39	1.59	1.95	2.37	2.37	2.18	2.42	2.37	2.51	1.89
	0.5	1.29	1.39	1.68	1.6	1.73	1.7	1.68	1.65	1.82	1.66
	0.55	1.22	1.3	1.53	1.58	1.55	1.52	1.64	1.64	1.61	1.34
平均值	0.53	1.30	1.42	1.72	1.85	1.88	1.80	1.91	1.89	1.98	1.63
5V	0.81	1.45	1.55	1.6	1.71	1.87	1.58	1.42	1.52	1.37	1.4
	0.87	1.47	1.53	1.58	1.65	1.73	1.44	1.33	1.45	1.35	1.43
	0.83	1.45	1.48	1.57	1.62	1.72	1.42	1.34	1.43	1.32	1.4
平均值	0.84	1.46	1.52	1.58	1.66	1.77	1.48	1.36	1.47	1.35	1.41
6V	0.74	2.01	1.8	2.04	2.26	2.21	1.9	2.32	2.2	1.75	1.57
	0.76	1.64	1.68	1.7	1.78	1.73	1.7	1.75	1.62	1.77	1.54
	0.7	1.48	1.62	1.66	1.69	1.69	1.7	1.63	1.6	1.73	1.55
平均值	0.733	1.71	1.7	1.8	1.91	1.877	1.767	1.9	1.807	1.75	1.553

註:紅色數字為最高電壓

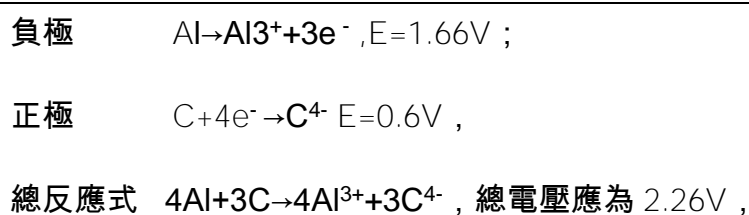


註:誤差線為 5%

圖 5-2-1-1 充電時間對電壓的影響

## (1) 實驗結果與討論

1. 鋁電池不論充電電壓(2V-6V)，充電 120 秒後達到穩定且高的電壓，充飽電的速度快。
2. 實驗結果顯示，4V 為最佳充電電壓，可使鋁電池最高電壓值 1.98V。
3. 實驗結果顯示鋁電池充電電壓達極大值後電壓會下降。至 300 秒時之下降變化率( $\Delta V/\Delta t$ ) 為  $4V > 6V > 5V > 3V > 2V$ ，所以充電電壓 2V 時，放電電壓最為穩定。
4. 查閱資料發現鋁的氧化電位為 1.66V，利用鋰電池電壓 3.6V 與鹼性電池電壓約 1.5V 來看，石墨的還原電位約為 0.6V，若不考慮電解質參與變化的影響，計算電位如下：



2.26V 與實驗數據不符，代表正極石墨不參與化學變化之可能性較高，因為實驗電壓為 1.6V-1.7V 之間，與元素鋁之氧化電位 1.66V 相符。但鋁電池實際發生的化學反應，有待後續研究了解。

5. 建議可設計實驗與標準氫電極相對，得到上半反應式之標準電位。
6. 鋁電池不論以哪一種電壓(2V-6V)進行充電，均能使電壓高出原值，原值指的是實驗二結論:在 pH=3 之鹽酸-氯化鋁溶液下，鋁電池電壓為 1.23V，代表鋁電池能當作二次電池，能往復充電且電壓能夠提升至 1.5V 左右。



## 二、充電電壓對石墨棒鋁電池的放電曲線影響

表 5-2-2-1 充電電壓與時間對鋁電池放電電壓的影響

放電時間	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
2V	1.51	1.5	1.47	1.39	1.34	1.34	1.32	1.29	1.27	1.25	1.24
	1.53	1.49	1.46	1.36	1.32	1.33	1.31	1.28	1.26	1.24	1.24
	1.5	1.47	1.42	1.34	1.32	1.35	1.29	1.28	1.24	1.23	1.22
平均值	1.513	1.486	1.45	1.363	1.326	1.34	1.306	1.283	1.256	1.24	1.233
3V	1.68	1.59	1.57	1.49	1.48	1.46	1.42	1.41	1.37	1.35	1.29
	1.63	1.57	1.54	1.48	1.46	1.44	1.43	1.4	1.34	1.33	1.3
	1.62	1.56	1.52	1.48	1.45	1.42	1.42	1.41	1.35	1.36	1.29
平均值	1.643	1.573	1.543	1.483	1.463	1.44	1.423	1.406	1.353	1.346	1.293
4V	1.62	1.55	1.51	1.49	1.48	1.46	1.39	1.38	1.35	1.33	1.14
	1.59	1.53	1.52	1.47	1.46	1.45	1.38	1.35	1.34	1.3	1.15
	1.57	1.54	1.49	1.48	1.47	1.44	1.39	1.37	1.33	1.28	1.16
平均值	1.593	1.54	1.506	1.48	1.47	1.45	1.386	1.366	1.34	1.303	1.15
5V	1.4	1.35	1.33	1.35	1.27	1.34	1.25	1.28	1.24	1.22	1.16
	1.43	1.39	1.3	1.32	1.3	1.32	1.24	1.26	1.23	1.18	1.14
	1.4	1.37	1.32	1.3	1.29	1.3	1.26	1.28	1.21	1.18	1.15
平均值	1.41	1.37	1.316	1.323	1.286	1.32	1.25	1.273	1.226	1.193	1.15
6V	1.57	1.39	1.37	1.37	1.34	1.19	1.16	1.09	1.13	1.11	1.1
	1.54	1.42	1.4	1.36	1.32	1.15	1.13	1.12	1.11	1.11	1.09
	1.55	1.41	1.41	1.37	1.32	1.13	1.147	1.11	1.09	1.09	1.05
平均值	1.553	1.406	1.393	1.366	1.326	1.156	1.145	1.106	1.11	1.103	1.08

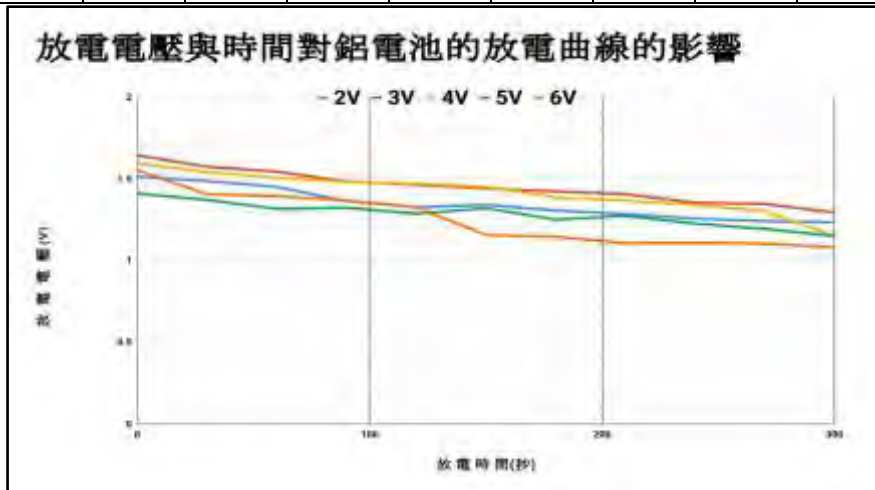


圖 5-2-2-1 充電電壓與時間對鋁電池放電電壓的影響

### (一) 實驗結果

1. 充電電壓 4V、5V、6V 在 300 秒後所剩電壓最少(1.15V、1.15V、1.08V)，而 2V、3V 之充電電壓在 300 秒後剩餘電壓為 1.23V、1.29V；所以就剩餘電壓而言 2V 或 3V 為較合的電壓。

2. 斜率可以代表每秒鐘之電壓下降情況，將時間點令為 0-9，以電壓對時間序位求斜率如下表可知被 6V 充電後的鋁電池，其放電電壓最不穩定(斜率為-0.046)，過高的充電電壓會引發電池內部劇烈的熱效應，又 5V 電壓充電的電壓釋放最穩定。穩定程度大到小為 5V>2V>3V>4V>6V。

表 5-2-2-2 時間序位-放電電壓斜率整理

充電電壓(V)	2	3	4	5	6
斜率( $\Delta V/\Delta t$ )	-0.028	-0.031	-0.036	-0.021	-0.046

3 以充電最高電壓(圖 5-2-1-1)與本實驗電壓隨時間下降斜率的結果而言，4V 與 6V 電壓穩定度最低，2V、3V 與 5V 電壓較為穩定，所以放寬而言，2V-5V 均可為的鋁電池充電電壓。

### 實驗三 不同膠體種類改質正極石墨對鋁電池電壓的影響

#### 一、膠體種類選擇(改質 G1)

表 5-3-1-1 水溶性膠體(樹脂、膠水、噴膠)對改質正極電阻影響

種類 電阻值(K 歐姆)	樹脂	膠水	噴膠	樹脂+膠水	膠水+噴膠	樹脂+噴膠
5 分鐘(未乾燥)	19.8	3.8	65.1	17	68	88
10 分鐘(未乾燥)	31.5	3.8	97.3	13.3	20	33.8
15 分鐘(未乾燥)	31.4	3.1	78.3	7.2	16.7	34.5
40 分鐘(完全乾燥)	73.6	3.1	2000	7.1	15.3	188

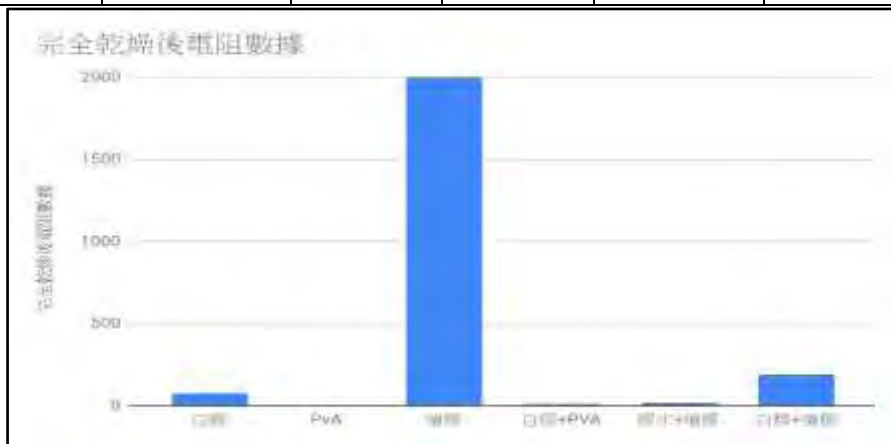


圖 5-3-1-1 膠體種類改質 G1

#### (一). 實驗結果與討論

1. 在膠體改質部分，膠水(PVA)不論乾燥與否，均具有較低的電阻值，噴膠在乾燥後電阻大。膠體電阻率而言 噴膠>白膠>膠水
2. 膠水具有最低的電阻值，因為其成分為聚乙醇醇(PVA)，可能烯鍵的斷裂產生較能自由移動的電子，當供以電壓後導電性較強。
3. 噴膠在乾燥與否之電阻最大，可能是水分太少使得無法導電。
4. G1 模組的最佳膠體 PVA 易溶於水，接下來實驗要嘗試脂溶性膠體。

#### 二、膠體種類選擇(改質 G2)

表 5-3-2-1 導電膠體選擇對導電膠帶基材電壓、電流影響

配方	PVA	導電膠	銀膠	PVA+導電膠	PVA+銀膠	導電膠+銀膠	對照組 (只有導電膠帶)
電壓 1	0.6	0.6	1.15	0.05	1.03	0.07	0.01
電壓 2	0.61	0.61	1.14	0.05	0.06	0.08	0.01
電壓 3	0.61	0.6	1.13	0.05	0.08	0.14	0.02
平均電壓(V)	0.61	0.60	1.14	0.05	0.39	0.10	0.01
電流 1	35.1	28.7	6.4	41.9	40.3	50	8.7
電流 2	36	25.7	6.5	43.9	46.3	61.1	8.6
電流 3	35.4	25.6	6.5	44.1	55.4	90	11.1
平均電流(mA)	35.5	26.7	6.5	43.3	47.3	67.0	9.5
平均功率(P)	21.54	16.09	7.37	2.17	18.46	6.48	0.13

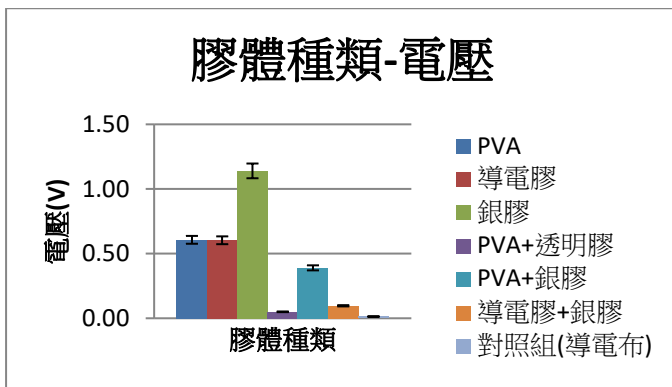


圖 5-3-2-1 脂溶性膠體選擇對電壓影響

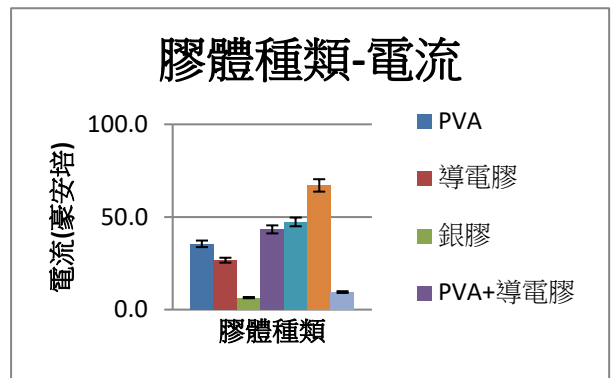


圖 5-3-2-2 脂溶性膠體選擇對電流影響

(1) 實驗結果與討論

1. 當導電布黏附銀膠當作電極時具有最高的電壓 1.14V。
2. 當導電布黏附導電膠與銀膠時具有最高的電流 67.0mA。
3. 當導電布黏附 PVA 時具有最佳的功率 21.54mW，排名第二為 PVA+銀膠之功率為 18.46mW。
4. 膠水為本實驗中功率最佳的膠體，但以 PVA 電池膜片進行充放電實驗時發現：在第二次充放電後該電池的電流均為 0，
5. 承上，因為導電膠帶上產生銅綠沉澱( $Cu_2(OH)_2CO_3$ ) 該化合物顏色翠綠，在自然界中銅通常以此種化合物的形式存在，它是銅與空氣中的氧氣、二氧化碳和水等物質反應產生的物質。不溶於水，所以使得電阻大為提高，且不可以重複充放電。
6. 所以導電膠帶基材內的銅箔參與化學變化，不符合本實驗石墨為電極的假設，又因為 PVA 膠水溶於水，不耐多次充放電，故以下正極改質實驗採用脂溶性膠體與紗布進行。
7. 水加銀膠的電壓不高，但電流卻是最高的，本實驗研究發現電流高低與電池功率最為相關(在多個小實驗中均獲得  $R^2 > 0.95$ )。



5-3-2-3 導電布生鏽情況(圈起來為銅綠發生處)

三、石墨濃度對導電紗布之電流與電壓影響 (G3 改質)

表 5-3-3-1 指甲油與石墨混合比例對電阻的影響

石墨濃度	10%	20%	30%	50%	75%
電阻 1	200	200	1.3	0.09	0.09
電阻 2	200	200	1.3	0.09	0.09
電阻 3	200	200	1.3	0.09	0.09
平均電阻(KΩ)	200	200	1.3	0.09	0.09

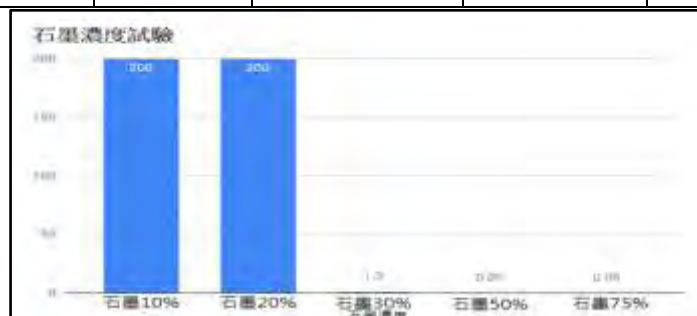


圖 5-3-3-1 石墨濃度之電阻影響

(一). 實驗結果與討論

- 1 石墨濃度 30%以上，在供應 5V 電源下具有電流。
- 2 石墨濃度 50%與 75%時具有較小電阻值為 0.9KΩ 。

四、膠體種類對導電紗布電阻的影響(G3 改質)

表 5-3-4-1 脂溶性膠體對導電紗布電阻影響

次數/膠體	指甲油	保麗龍	PU 膠	矽利康	透明漆
第 1 次	0.33	54.1	123.2	200	0.06
第 2 次	0.25	63.5	128.3	200	0.04
第 3 次	0.27	55.2	195.8	200	0.05
電阻(K 歐姆)	0.28	57.60	149.10	200	0.05

膠體種類對導電紗布電阻的影響

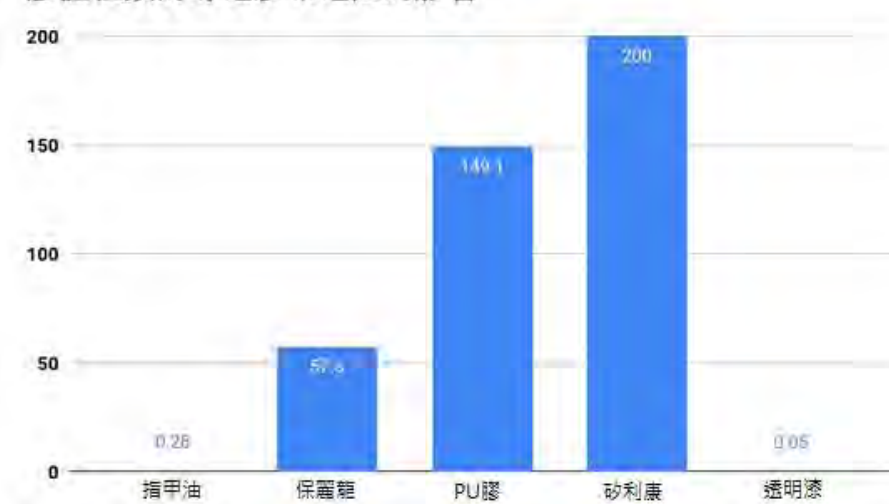


圖 5-3-4-1 脂溶性膠體種類對導電布電阻影響

(1) 實驗結果與討論

1. 當膠體濃度達 70%之時，導電紗布電阻最小為透明漆，最大為矽利康，所以，以下實驗取紗布當基材，透明漆當膠體溶劑混合成 75%之石墨粉為正極導電布
2. 結果顯示透明漆的效果最好，原因也許是透明漆中含有硝化棉具有良好的導電性，故能使透明漆的效果較佳。
3. 建議後續研究者可以對於負極石墨之分子結構設計進行著墨，由外再添加材料，可能都會使四氯化鋁離子攀附石墨不易，張仍奎(2013)研究結果顯示  $Al_2Cl_7^-$  離子在鈮氧化物電極內沒有明顯的遷入遷出反應，原因在於  $Al_2Cl_7^-$  離子的尺寸過大，電極材料需有特殊結構才能提供  $Al_2Cl_7^-$  離子遷入遷出。謝育儒(2016)提到文獻內容石墨的結晶性、缺陷多寡以及粒徑尺寸都會影響到鋁離子電池的電化學表現。

五、石墨粉與炭煙的比較(改質 G4)

表 5-3-5-1 正極導電布材料測驗(炭煙與石墨)

	A 75%炭煙	B75%石墨	G3 模組對照組
電流(mA)	2.01	0.17	0.1
	2.02	0.2	0.8
	2.01	0.1	0.4
平均電流	2.01	0.15	0.43
電壓(V)	1	0.7	1.6
	0.9	0.76	1.75
	1.1	1.09	1.36
平均電壓	1	0.85	1.57
平均功率	2.01	0.13	0.68

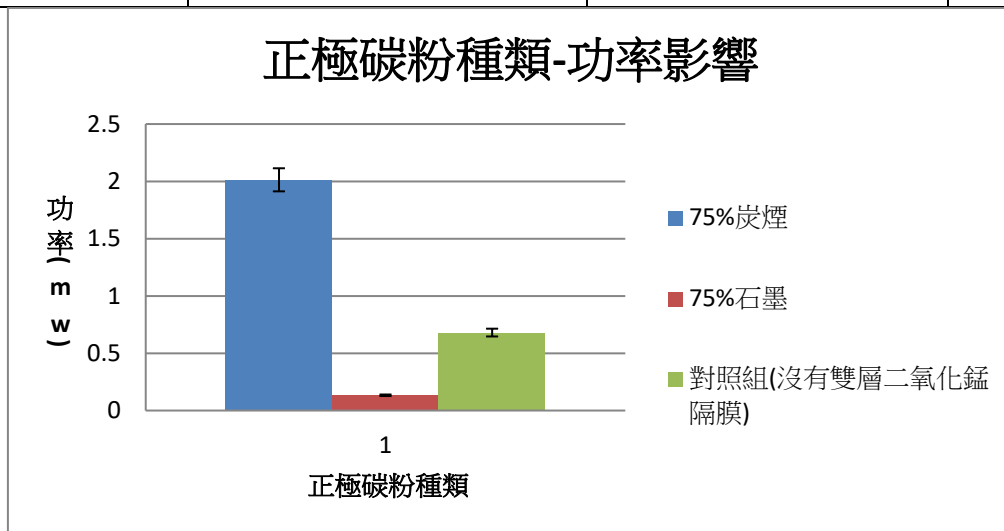


圖 5-3-5-1 正極碳粉種類對功率的影響

(一) 實驗結果與討論

1. 75%炭煙的電功率遠高於對照組，適合做為正極導電布
2. 查閱資料所知，目前鋁電池的正極材料為 3D 的石墨泡沫(graphitic-foam)型態，且厚度很薄(~17um)能維持整體的可撓性，結構如圖 5-3-5-2，此結構具有足夠且均勻的孔隙利於離子通過，並加快鋁離子在正負極之間往來的速度，提升反應速率、降低電池內阻，此正極材料正是使鋁離子電池能追上鋰離子電池的重要因素(科技政策與資訊中心，2015)。炭煙兩石墨結構何者與石墨泡沫相似，有待後續研究者探索。

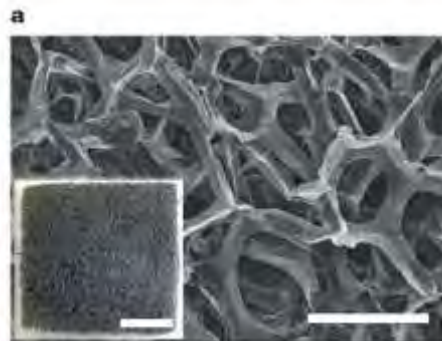


圖 5-3-5-2 正極材料為 3D 的石墨泡沫(graphitic-foam)型態

## 實驗四 隔絕層種類與添加去極劑與否對於鋁電池電壓與電流的影響

### 一、單層隔離層添加去極劑對鋁電池電壓的影響(改質 G3)

表 5-4-1-1 隔離層添加去極劑對於電池功率(P)的影響

隔離材料	宣紙	紗布	醋膜	玻璃紙	濾紙	50%MnO2 放在負 極上， 面對電 解液	50%MnO2 面對鋁 片	50%MnO2 面對正 極導電 紗布	50%MnO2 放在正 極下， 面對電 解液	G3 對照 組(無隔 離層)
電壓 1	1.7	1.23	1.59	1.55	1.48	1.26	1.08	0.86	1.05	1.6
電壓 2	1.2	1.31	1.52	1.55	1.61	1.04	1.2	1.05	0.93	1.75
電壓 3	1.52	1.66	1.46	1.26	1.59	1.06	1.15	0.91	1.05	1.36
平均電壓(V)	1.47	1.40	1.52	1.45	1.56	1.12	1.14	0.94	1.01	1.57
電流 1	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	1	1.7	1	1.3	0.1
電流 2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.3	1	1.4	1.3	2.2	0.8
電流 3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.4	1	1.5	1.5	1.7	0.4
平均電流(mA)	0.37	0.40	0.20	0.20	0.30	1.00	1.53	1.27	1.73	0.43
功率(mw)	0.54	0.56	0.30	0.29	0.47	1.12	1.75	1.19	1.75	0.68

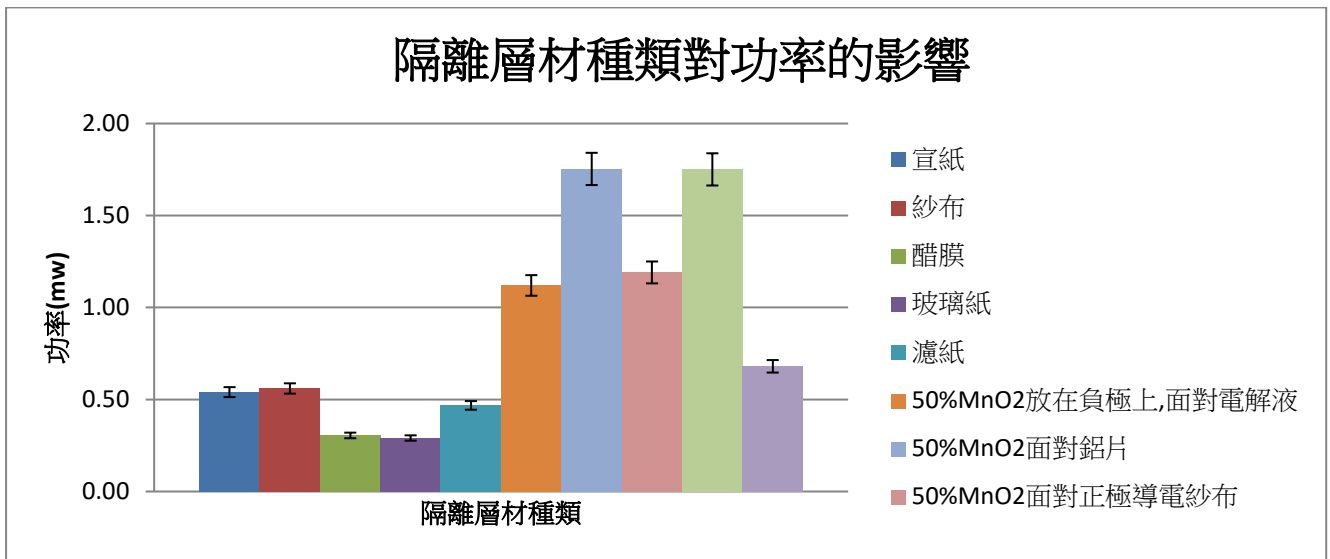
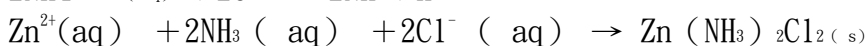
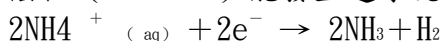


圖 5-4-1-1 隔離層材對於功率的影響

#### (1) 實驗結果與討論

1. 實驗結果得知，添加宣紙、紗布、醋膜與玻璃紙等隔離層材在乾式電解質中依然會造成電流、電壓下降，與 G1 模組結果相符(圖 4-1-4-2)。
2. 在隔離層中添加去極劑二氧化錳會使電壓相較對照組微降：1.54V>1.14V>1.12V>1.01V>0.94V
3. 在隔離層中添加去極劑二氧化錳能使得電流大幅提升至 2.3 到 4 倍之高；(1.00/0.43=2.3~1.73/0.43=4.02) 推測是因為碳鋅乾電池中，「二氧化錳」的主要功能是氧化劑，因為它擔任了將「氯化銨」獲得電子後產生出來的「氫氣」(位在碳棒四周)能氧化為「水」，有避免產生「極化作用」的功能，所以又稱為「去極劑/去極化劑」

陰極(cathode)能發生還原現象，反應如下：



4. 當二氧化錳面對負極鋁片與正極時時，電池膜片具有最佳的電流表現，推測是二氧化錳中錳離子  $\text{Mn}^{4+}$  能在負極行氧化作用形成  $\text{Mn}^{+7}$ 、能在正極去除氫氣形成  $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{Mn}^{+3})$ 。

## 實驗五 半透油膜種類]改質負極對鋁電池電壓的影響

### 一、半透油膜種類對 G1 電池電壓的影響

表 5-5-1-1 半透油膜種類選擇

選擇考量	飽合烴類油酯	不飽和烴類油酯	植物性油酯	動物性油酯
油酯種類 電壓測試(V)	嬰兒油	卵磷脂	大豆沙拉油	奶油
第 1 次測試	0	1.63	0	1.40
第 2 次測試	0	1.64	0	1.41
第 3 次測試	0	1.65	0	1.42
平均值	0	1.64	0	1.41



圖 5-5-1-1 油脂種類對電壓

#### (1) 實驗結果

1. 卵磷脂具有最高電壓(1.64V)，故建議使用卵磷脂改質鋁片進行充放電實驗。
2. 嬰兒油與沙拉油無法冷卻硬化，導致一泡水就溶解於氯化鋁溶液中，油類溶解於水中後結果阻礙導電。
- 3 實驗結果推論，不飽和有機酸形成且冷凍後能凝固的酯類，當碰觸電解液時尚能形成保護膜保護鋁片，並且微微解離產生有機酸增加導電性又增加鋁片的疏水性，可以減緩鋁片的消耗速度。卵磷脂（英語：lecithin）屬於一種混合物，是存在於植物組織以及卵黃之中的一組黃褐色的油脂性物質，其構成成分包括磷酸、膽鹼、脂肪酸、甘油、糖脂、三酸甘油酯以及磷脂，可能是卵磷脂中含有可解離的氫離子(H<sup>+</sup>)可以提高導電度。
4. 由實驗結果發現，讓鋁片浸泡於軟磷脂中能提高電壓約 1.64V，且能延長電池反應時間。可能是卵磷脂硬化後能產生空隙讓部分鋁片仍可以與電解液接觸，但延緩鋁片氧化。
5. 酯類能適當的保護鋁表面降低鋁的親水性，每日頭條(2018)報導鋁電池低輸出功率與鋁金屬的腐蝕反應阻礙電池反應，鋁具有親水性（吸水，hydrophilic），研究人員的新方案是使用油類來沖洗電解質，本實驗初步試驗幾種油品，發現能低溫凝固且具有些微有機酸的酯類為較佳選擇。



圖 5-5-1-2 G3 靜置後的無塗油酯的鋁片變化(圈起來部分為鋁片破裂處，代表鋁被反應)

二、改質負極鋁電池(G1)的放電曲線

表 5-5-2-1 改質負極鋁電池充的放電曲線

時間(分)	電壓(V)						平均電壓
	第 1 次測試	第 2 次測試	第 3 次測試	第 4 次測試	第 5 次測試	第 6 次測試	
0 分鐘	1.63	1.63	1.62	1.61	1.62	1.64	1.618
5 分鐘	1.6	1.6	1.6	1.6	1.58	1.59	1.598
10 分鐘	1.6	1.61	1.58	1.6	1.61	1.58	1.600
15 分鐘	1.59	1.6	1.61	1.6	1.59	1.6	1.607
20 分鐘	1.59	1.58	1.59	1.59	1.58	1.56	1.596
25 分鐘	1.6	1.6	1.59	1.61	1.61	1.61	1.613
30 分鐘	1.6	1.6	1.58	1.6	1.59	1.6	1.612

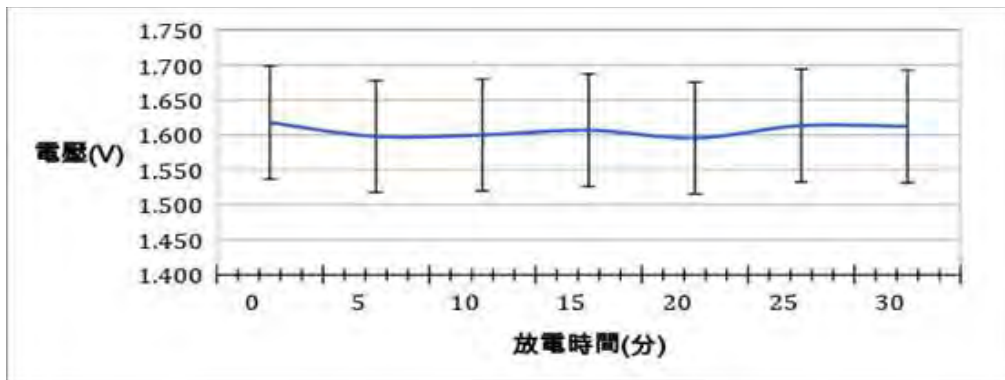


圖 5-5-2-1 電壓與放電時間作圖

(1) 實驗結果與討論

1. 卵磷脂放電後電壓不易下降，持續時間達 30 分鐘以上，幾天後，再進行測量電壓依然高達 1.6V，代表改質成功，因為對照表 5-2-21 結果(放電 300 秒後電壓為 1.0V-1.2V)，將鋁片覆蓋卵磷脂後，放電電壓不會驟降。

2. 將未塗抹卵凝脂的鋁片組合為 G1 模式檢測放電曲線，先讓電池充電 11 分鐘得到電壓極大值(約 1.6V)，再進行放電；發現該鋁電池 1 分鐘內放電完畢，遠低於本實驗結果可放電 30 分鐘以上。

表 5-5-2-2 未塗抹卵磷脂之 G1 模組充放電電壓與時間關係

充電時間(分)	電壓 1	電壓 2
0	0.54	0.5
11	0.7	0.68
放電 1 分鐘	0.48	0.44



實驗六

G3 鋁電池模組之時間與電壓、電流關係

表 5-6-1-1 第一次放電之電壓、電流時間變化

放電時間	電壓	電壓	電壓	平均電壓(V)	電流	電流	電流	平均電流(mA)
0.00	1.19	1.18	1.11	1.16	1.10	1.70	1.90	1.57
30.00	1.15	1.17	1.10	1.14	1.50	1.70	1.20	1.47
60.00	1.17	1.13	1.12	1.14	1.70	1.50	1.00	1.40
90.00	1.14	1.08	1.07	1.10	1.30	1.20	1.10	1.20
120.00	1.31	1.30	1.32	1.31	1.40	1.10	1.00	1.17
150.00	1.16	1.14	1.12	1.14	1.20	1.30	1.00	1.17
180.00	1.04	1.14	1.07	1.08	1.40	1.20	1.10	1.23
210.00	1.22	1.21	1.24	1.22	1.40	1.30	1.00	1.23
240.00	1.12	1.05	1.02	1.06	1.00	1.00	1.10	1.03
270.00	1.18	1.19	1.16	1.18	1.10	1.30	1.00	1.13
300.00	1.25	1.26	1.25	1.25	1.00	1.10	0.90	1.00
330.00	1.21	1.22	1.21	1.21	1.00	1.80	1.60	1.47
360.00	1.23	1.22	1.24	1.23	1.10	0.90	1.30	1.10
390.00	1.19	1.18	1.17	1.18	0.90	1.00	1.20	1.03
420.00	1.12	1.12	1.11	1.12	1.00	1.10	1.00	1.03
450.00	1.15	1.15	1.20	1.17	1.00	1.10	1.00	1.03
480.00	1.18	1.19	1.16	1.18	1.30	1.00	1.20	1.17
510.00	1.22	1.20	1.21	1.21	1.10	1.00	1.10	1.07
540.00	1.16	1.14	1.15	1.15	1.30	1.20	1.10	1.20
570.00	1.11	1.12	1.13	1.12	1.20	1.00	1.10	1.10
600.00	1.16	1.10	1.15	1.14	1.20	1.00	1.10	1.10
630.00	1.13	1.16	1.13	1.14	1.10	1.30	1.40	1.27
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
8 天	1.60	1.50	1.60	1.56	1.60	1.50	1.60	1.55

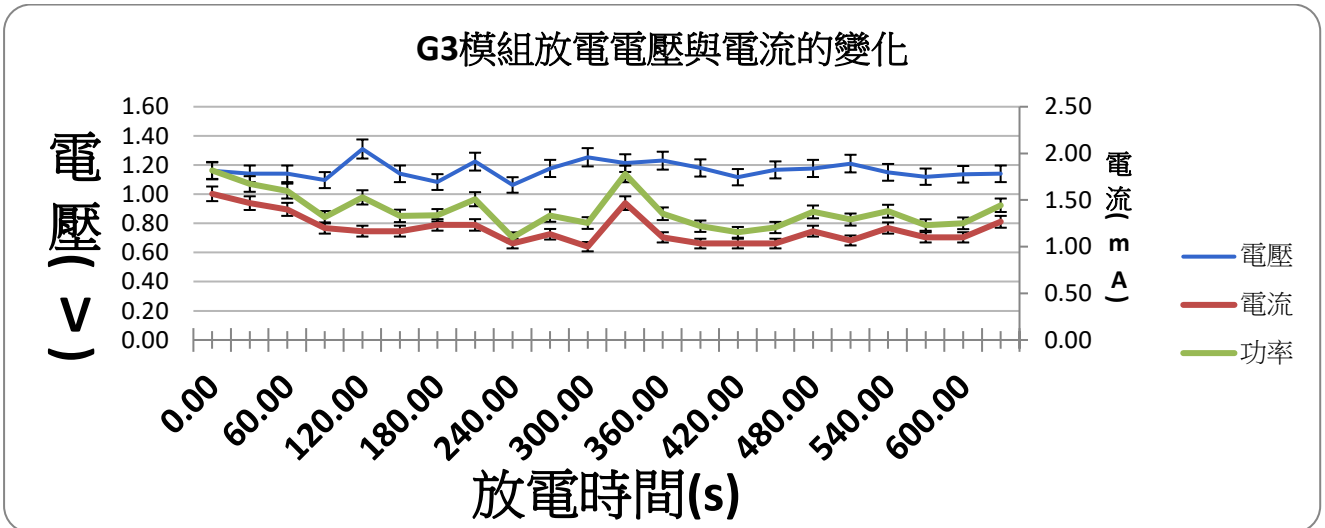


圖 5-6-1-1 G3 模組電壓與電流-時間變化圖

(一) 實驗結果與討論

1. 與 G1 模組對照, G3 模組電壓為其 7 成(1.16/1.6=0.72)
2. 與 G1 模組充放電規格比較(表 5-5-2-2), G3 配方使得電壓與電流變化較為穩定, 為較理想配方模組, 進一步作法改善電流表現, 以提升功率。
3. 在 8 天後仍放電穩定, 滴入些許電解液後, 電池功率反而升高至 2.5mw 左右。可以推測在充電後(還原電解液成分)仍可以使用多次

## 陸、結論

### 一、正極改質方面

(一) 炭煙濃度 75%混合透明光漆的電阻最低

(二) 導電膠帶中的銅(Cu)參與「石墨-鋁電池變化」並生成碳酸銅沉澱( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ )，使充放電在第二次即失敗，導電膠帶為不適合的材料。

(3) 本實驗採紗布為正極導電布基材，並且證實能夠導電，該創意想法可供紡織業參考。

### 二、電解液改質方面

(一) 本實驗結果顯示，pH 質會影響導電性，但礙於經費限制無法取得離子液體進行實驗，本實驗配置 2M 的氯化鋁( $\text{AlCl}_3$ )與鹽酸(HCl)溶液生成四氯化鋁離子( $\text{AlCl}_4^-$ )，pH=3 之醋酸與醋酸钠緩衝溶液系統為鋁電池最佳電解質配方。

(二) 本實驗將電解液加入澱粉變為乾式電解液配方，當炭煙與澱粉混合時，不具有夾層效果。

### 三、隔離層設計方面

(一) 單層之宣紙隔離層具有最佳導電效果。

(二) 在正極與負極二處加入去極劑( $\text{MnO}_2$ )隔絕紙能提高電流至 2mA，提高電池功率至 2mw，雙層去極劑隔離有為最好的效果

### 四、負極改質方面

(一) 讓鋁片浸泡於軟磷脂中能提高電壓至 1.6V，且能延長電池反應時間至 30 分鐘以上。

(二) 油脂改質鋁片能有效降低親水性，實驗發現具有些許可解離之有機油脂類為好的選則

五、本實驗中的 G4 模組為最佳電池方案，配方為 75%石墨粉+25%透明漆塗在紗布上，負極為鋁片抹上卵磷脂冰至凝固，電解液為 2M、pH=3 之醋酸與醋酸钠緩衝系統混和石墨和澱粉並加熱至團狀，隔離層為宣紙、二氧化錳加紗布。

六、可撓式 G1、G4 鋁電池模組與標準「石墨棒-鋁電池」的比較

表 6-5-1-1 可撓式鋁電池與石墨棒鋁電池比較

	可撓式 G4 模組	可撓式 G1 模組	石墨棒-鋁電池
充電電壓	5V	2V-5V	2V-5V
充電時間	150 秒	11 分鐘	180 秒
放電時間(最高紀錄)	8 天以上 可撓式 G4 模組	1 分鐘 可撓式 G1 模組	30 分鐘 石墨棒-鋁電池
最高電壓	1.1V	1.0V	1.6V
最高電流	2.02mA	0.3mA	8mA
優缺點	可彎曲 能承受應力	可彎曲	不可以彎曲 不能承受應力

七、本實驗之 G4 模組鋁電池最高功率為 2.5mw，以平均電流 1mA 來看，能放電 8 天，代表其電量(Q) 為 192mAh 以上，可以用並聯的方式提高電容量，留待後續研究。

## 柒、參考資料及其他

張仍奎(2013)。離子液體於鋁離子電池電解質之應用。國立中央大學材料科學與工程研究所。桃園市:未出版

陳婉箏(2017)。可高速充放電鋁電池 勇奪 2017 年愛迪生獎-開啟能源產業新商機。工業技術與資訊月刊。第 307 期。取自: <https://www.itri.org.tw/chi/Content/Publications/>

謝育儒(2016)。多種不同結構微米級石墨對鋁離子電池電化學表現之影響研究。國立師範大學化學研究所。台北市:未出版

研究人員大幅降低鋁-空氣電池的電量流失率 訣竅在於油類沖洗鋁材(2018 年 11 月 14 日)。每日頭條。2019 年 2 月 10 日,取自: <https://kknews.cc/zh-tw/science/vyla4b2.html>。

台灣鋁電池 驚艷英國能源展(2017 年 5 月 10 日)。工商時報。2019 年 2 月 10 日,取自: <https://www.chinatimes.com/newspapers>

鋁電池開發躍進 進入量產準備階段(2017 年 1 月 19 日)。電池技術專題。2019 年 2 月 10 日,取自: <https://www.digitimes.com.tw/tw>

張巧宜(2018)。未來儲能新星 鋁離子電池。喀報第 294 期。取自: <http://castnet.nctu.edu.tw/castnet>

【2019 機皇大戰 3】台面板廠進度跟不上 材料廠積極布局(2018 年 11 月 18 日)。蘋果即時。2019 年 6 月 3 日,取自: <https://tw.appledaily.com/new/realtime/20181118/1465809/>

未來的電池特輯:(三) 鋁離子電池(2015 年 10 月 1 日)。科技政策與資訊中心。2019 年 6 月 8 日,取自: <http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=11618>

## 【評語】 030214

作者步步改善實驗條件優化結果，成功自製可撓式鋁電池，是本作品的亮點。卵磷脂保護鋁電極之方法至為關鍵，其原理與處理方式宜更清楚闡述。作者也成功地利用可撓式鋁電池，推動 LED，從 30 分鐘提升到 8 天的使用壽命，但小電流的實用性仍待改進。認真開發研究的精神，繼續維持。

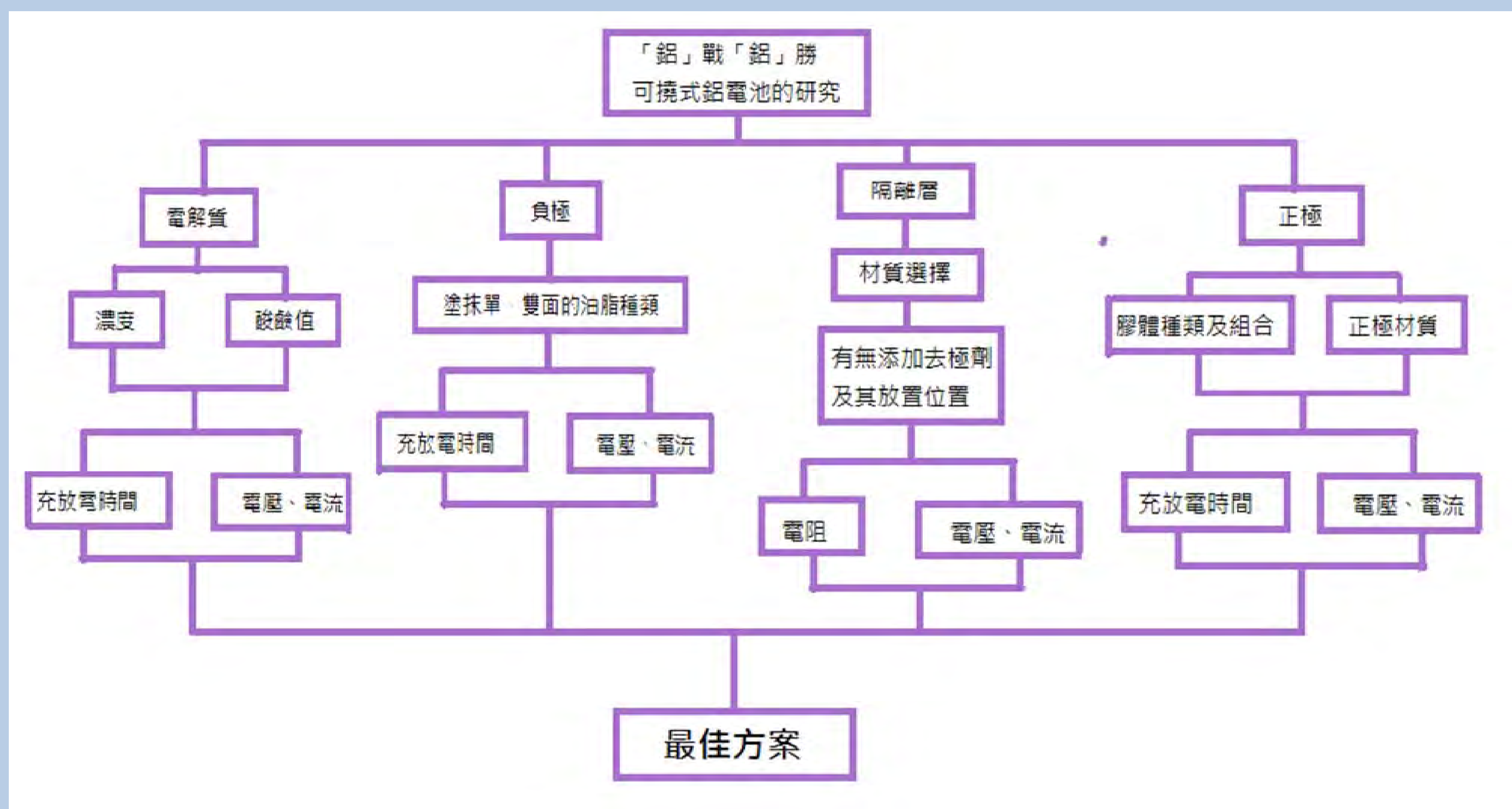
# 壹、研究動機

在氣候變遷的議題下，國家以綠能做為未來的發電來源，但太陽能板電池的能量密度(mAh/kg)低、鋰電池容易爆炸，不可彎折，且鋰礦的含量稀少，故我們希望開發其他種類的二次電池。因為「鋁」的蘊藏量豐富，可降低生產成本，鋁電池也較重金屬「鋰」來的環保。而可撓式的面板(OLED、AMOLED)發展如火如荼，可撓式電子產品正是趨勢，許多配套零件也要跟進，所以便嘗試用「鋁」來製作「可撓式電池」。

# 貳、研究目的

- 一、電解質配方對電池效能的影響
- 二、充電電壓與時間對石墨棒鋁電池電壓變化
- 三、不同膠體種類改質正極石墨對鋁電池電壓的影響
- 四、隔絕層設計對於鋁電池電壓與電流的影響
- 五、半透油膜種類改質負極對鋁電池電壓的影響
- 六、改質鋁電池模組(G3)之時間與電壓、電流關係

# 參、研究方法與架構圖

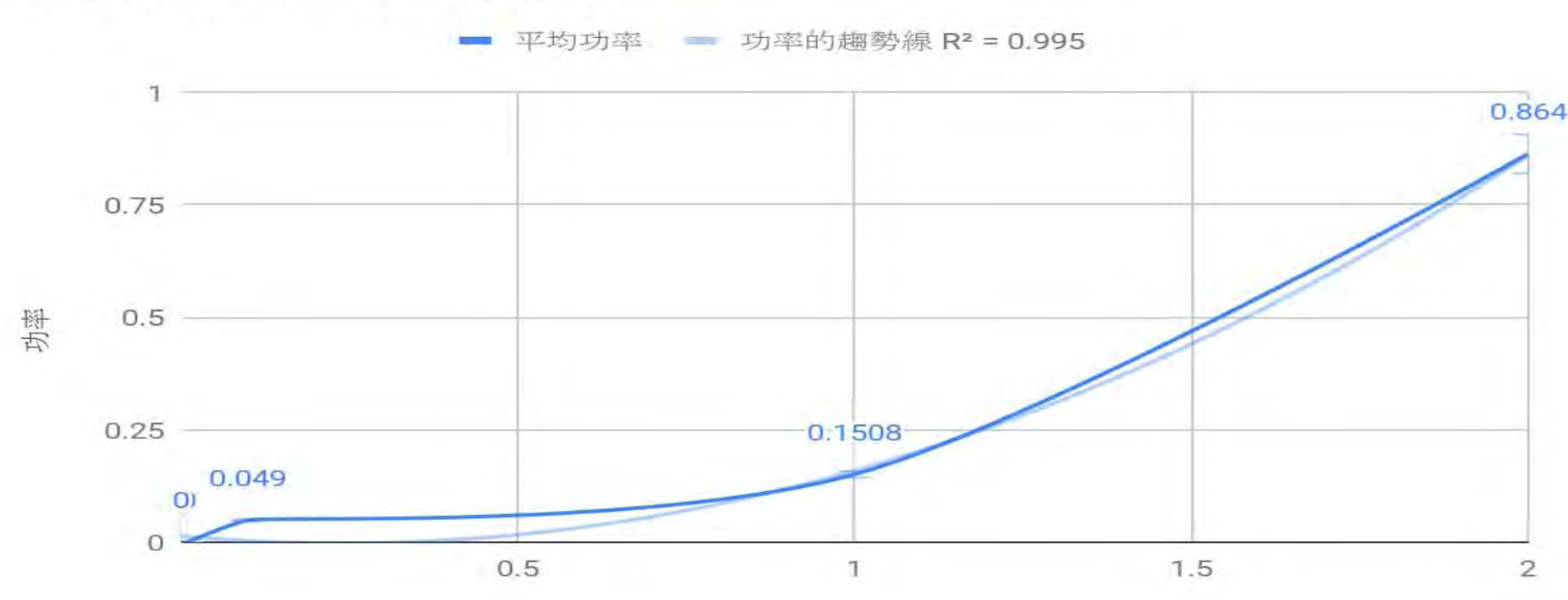


# 肆、研究結果與討論

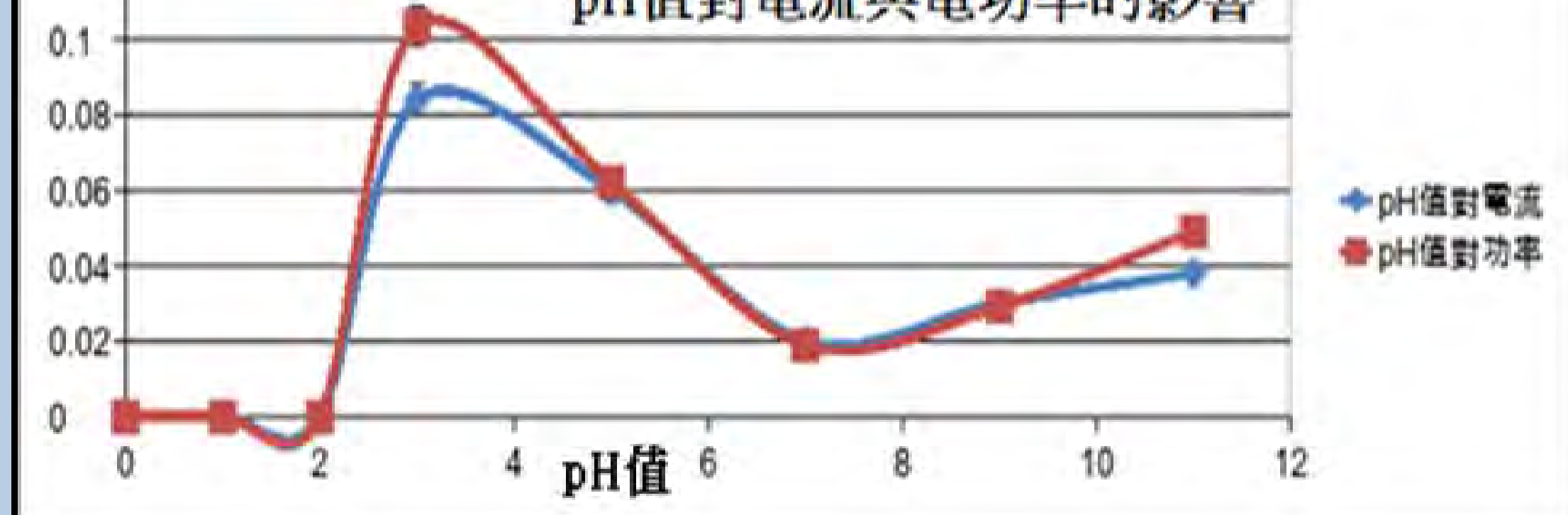
## 一、電解質配方與酸鹼性對電池效能的影響(G1改質成G2-G4+)

本實驗結果顯示，pH質會影響導電性，但礙於經費限制無法取得離子液體進行實驗，本實驗配置2M的氯化鋁( $AlCl_3$ )與鹽酸(HCl)溶液生成四氯化鋁離子( $AlCl_4^-$ )，pH=3之醋酸與醋酸钠緩衝溶液系統為鋁電池最佳電解質配方。

濃度對電功率的影響



pH值對電流與電功率的影響

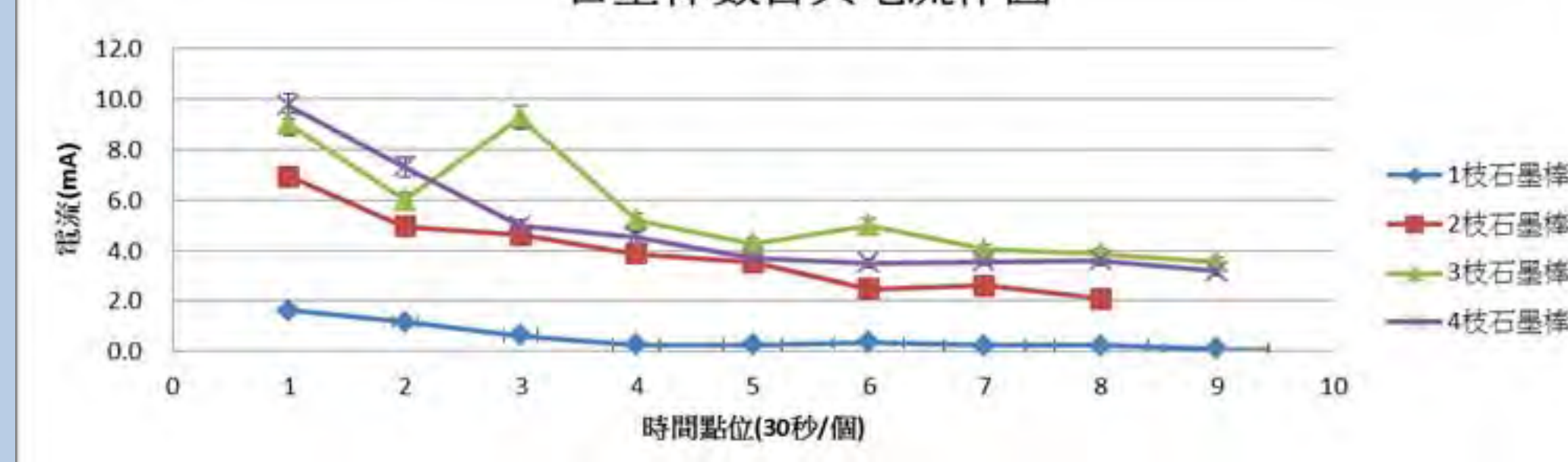


## 二、電解液中炭煙與澱粉比例對炭煙夾層數目影響(G3改質成G4+)

### (一) 石墨棒支數與G1模組電流大小

本實驗用意為驗證假設「石墨棒中的夾層數與電流有正比關係」，由平均電流可以知道，一根到三根石墨棒的電流分別為 7.2倍( $3.6/0.5=7.2$ )與11.2倍( $5.6/0.5=11.2$ )之變化，的確石墨夾層數越多電流越大，但並非正比關係，夾層數與電流應該是大跨度的躍近關係。

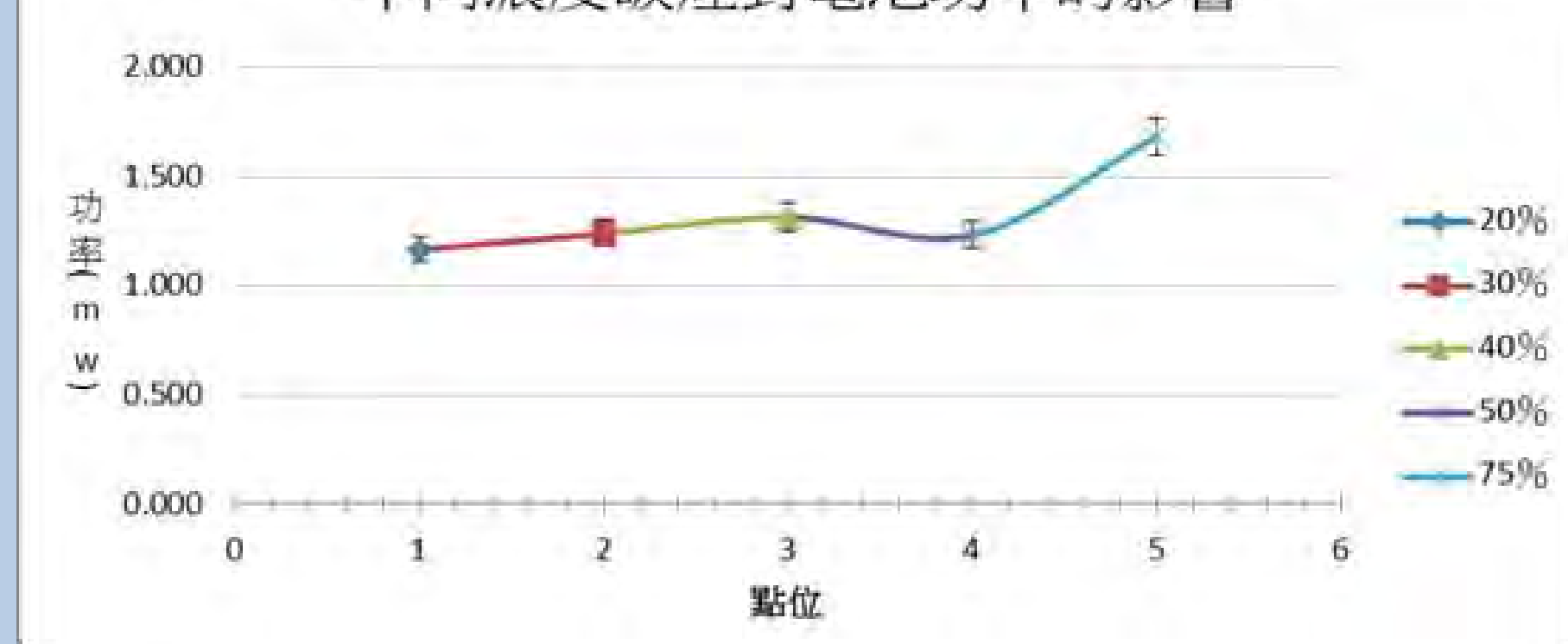
石墨棒數目與電流作圖



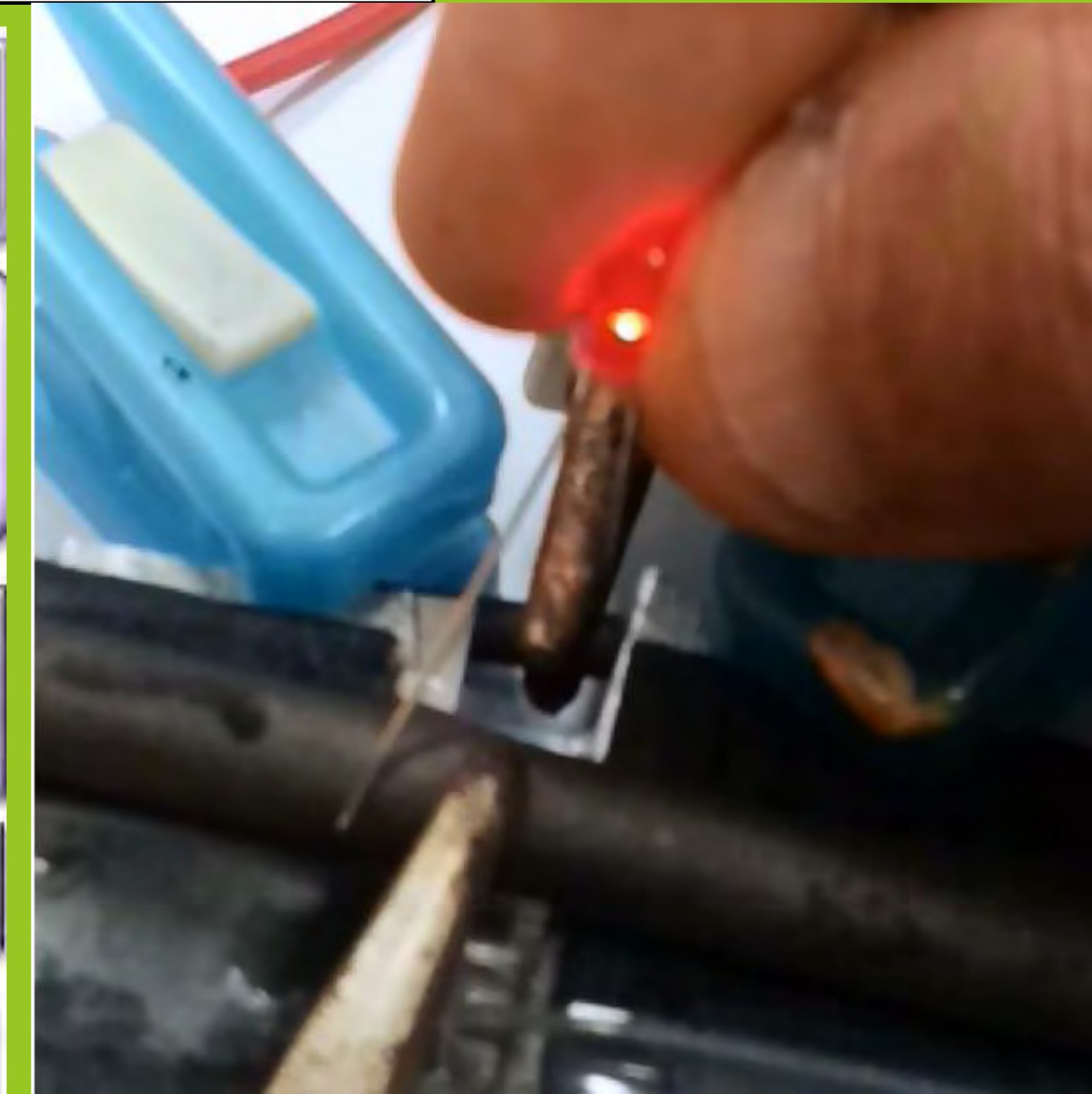
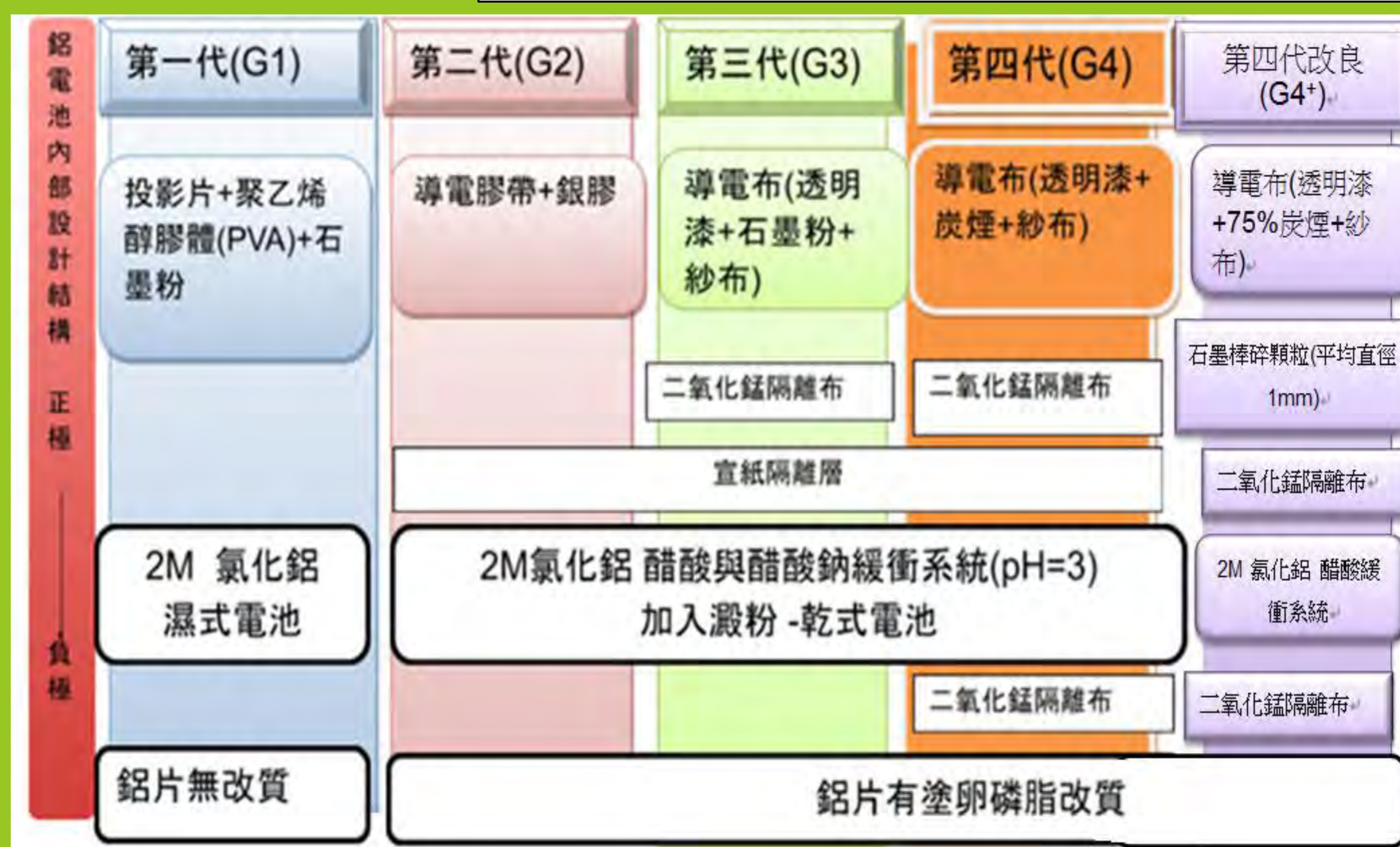
### (二) G3模組中炭煙與澱粉比例對炭煙夾層數目影響

從研究結果可得知，G3模組中的炭煙與澱粉混合物應該不具有夾四氯化鋁離子的功能，甚至可能影響 $Al_2Cl_7^-$ 生成(科技政策研究與資訊中心，2015)。在固定 $AlCl_4^-$ 之莫耳數下，當炭煙佔溶劑( $AlCl_4^-$ 緩衝系統與澱粉總和)濃度75%為最佳比例。

不同濃度炭煙對電池功率的影響



## 可撓式鋁電池代落演變(G1-G4+)

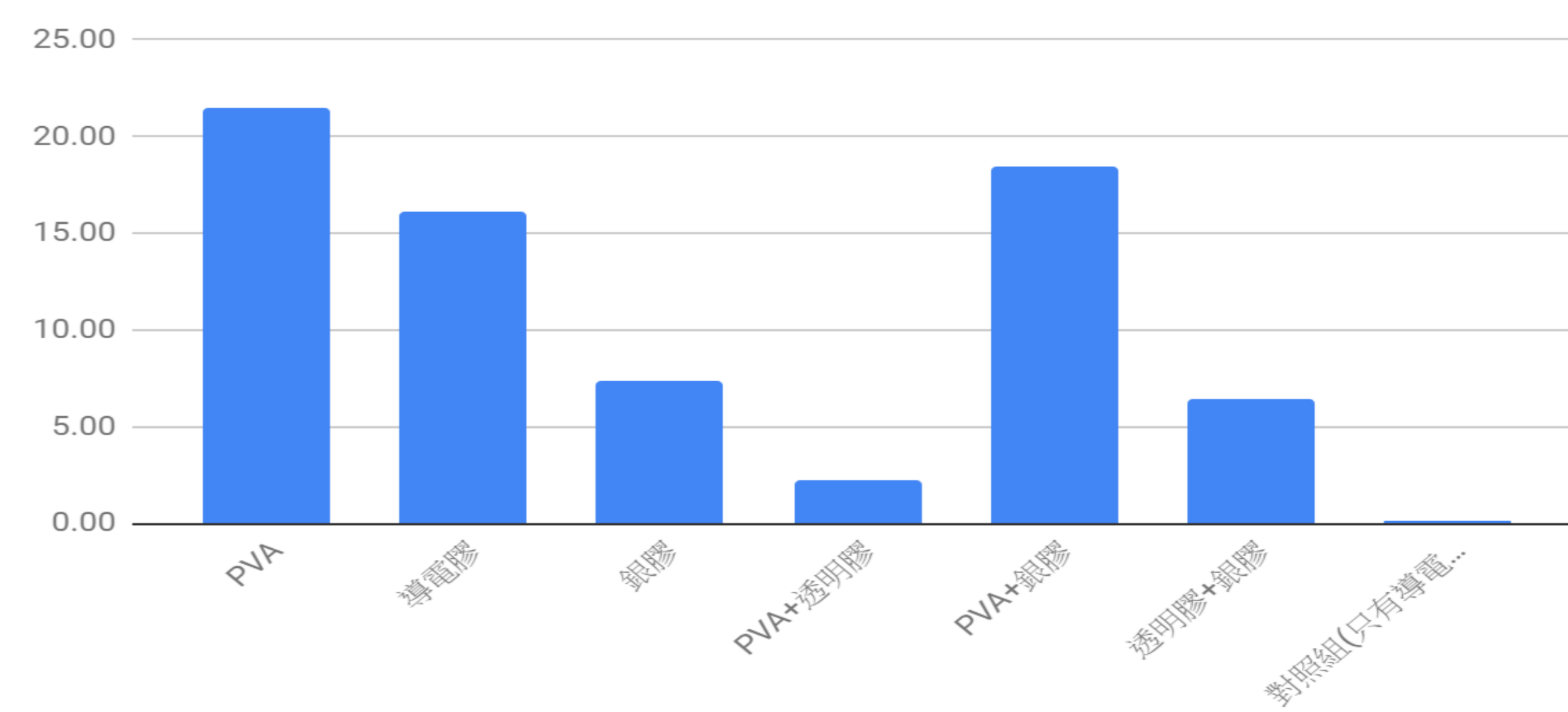


**G4+鋁電池模組兩顆並聯，可以使LED燈發光**

### 三、導電膠體選擇對導電膠帶基材電功率的影響(G2改質成G3)

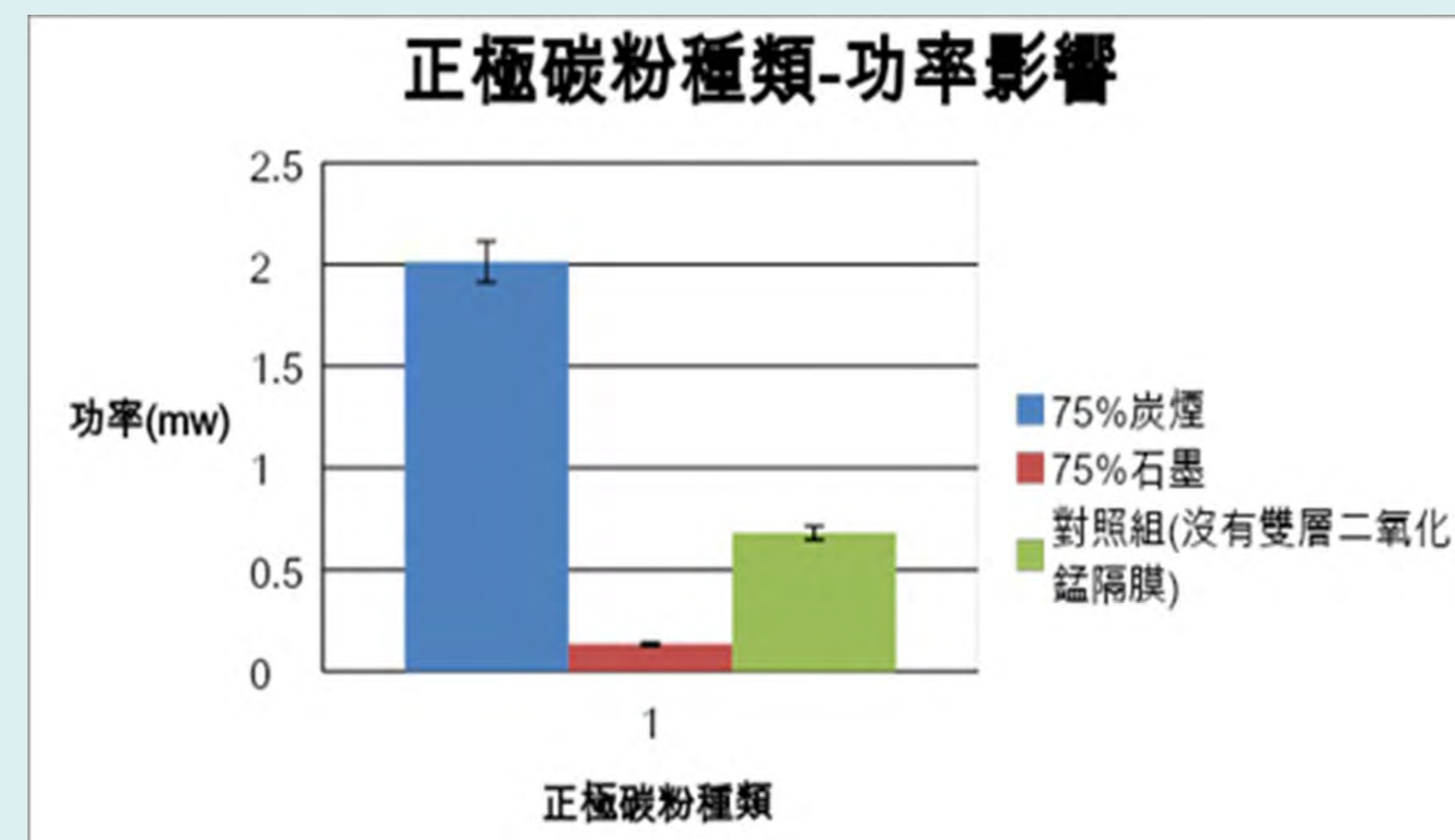
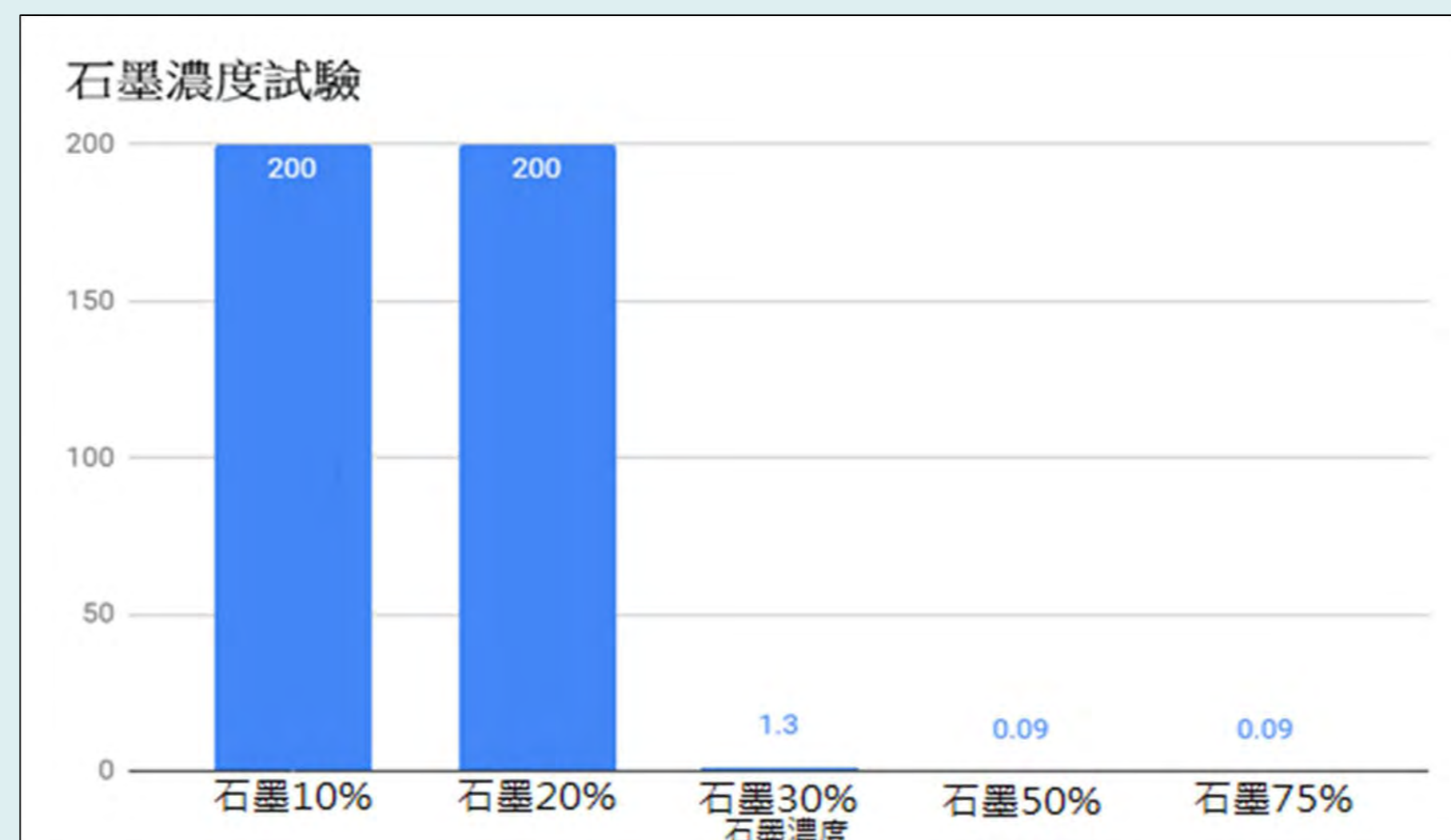
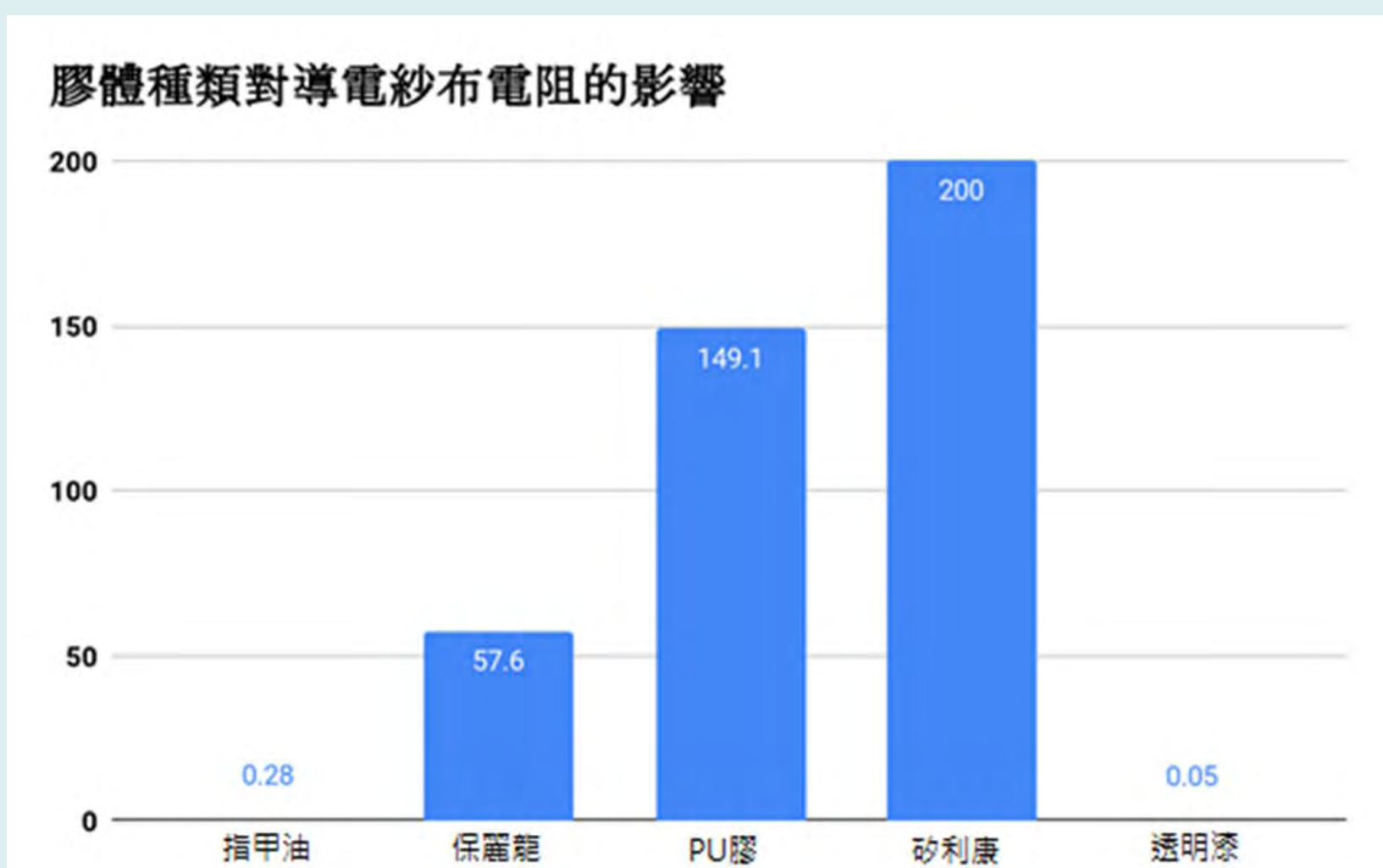
- 當導電布黏附PVA時具有最佳的功率 21.54mW，排名第二為PVA+銀膠之功率為18.46mW。
- 膠水為本實驗中功率最佳的膠體但為水溶性，且因為導電膠帶上產生銅綠沉澱( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ )，此沉澱使得電阻大為提高，使G2模組不可以重複充放電(第二次充放電後該電池的電流均為0)。
- G3模組後以紗布為正極基材

導電膠體選擇對導電膠帶基材電功率的影響(G2改質)



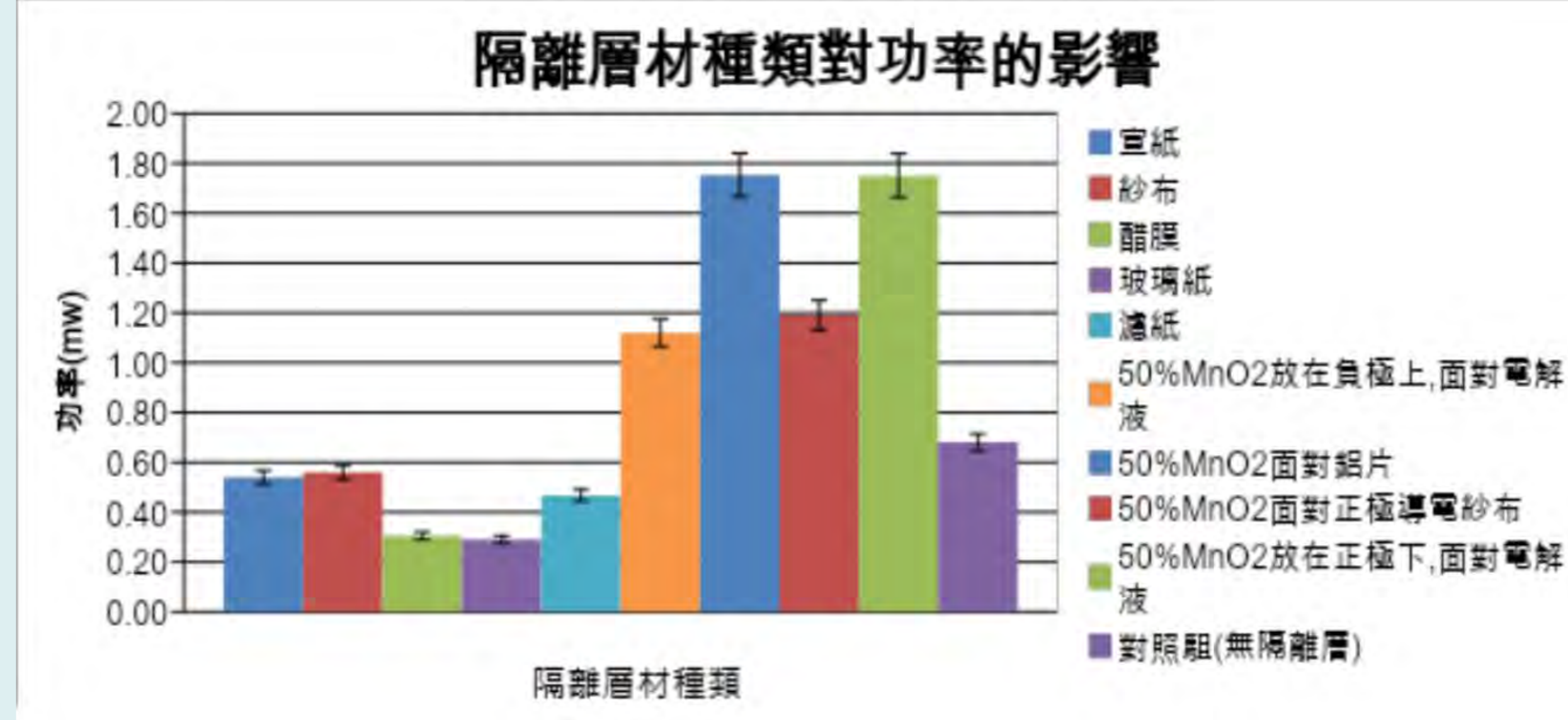
### 四、脂溶性膠體和石墨、碳煙濃度對導電紗布電阻影響 (G3改質成G4+)

- 透明漆的效果最好，也許是因為透明漆中含有的硝化棉具有良好的導電性，故能使透明漆的效果較佳。
- 石墨濃度50%與75%時具有較小電阻值為0.9KΩ。
- 75%炭煙的電功率遠高於對照組，適合做為正極導電布。
- 炭煙與石墨結構何者與石墨泡沫相似(科技政策與資訊中心，2015)，有待後續研究者探索。



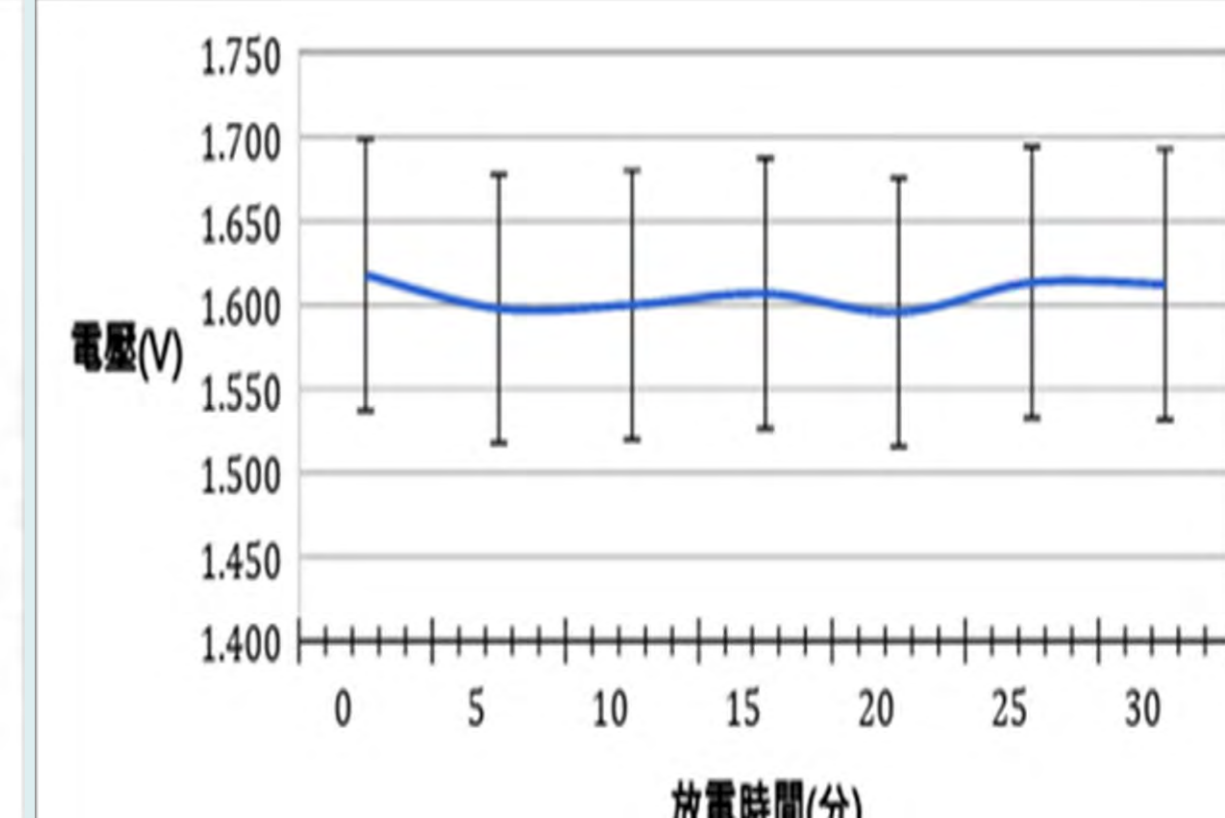
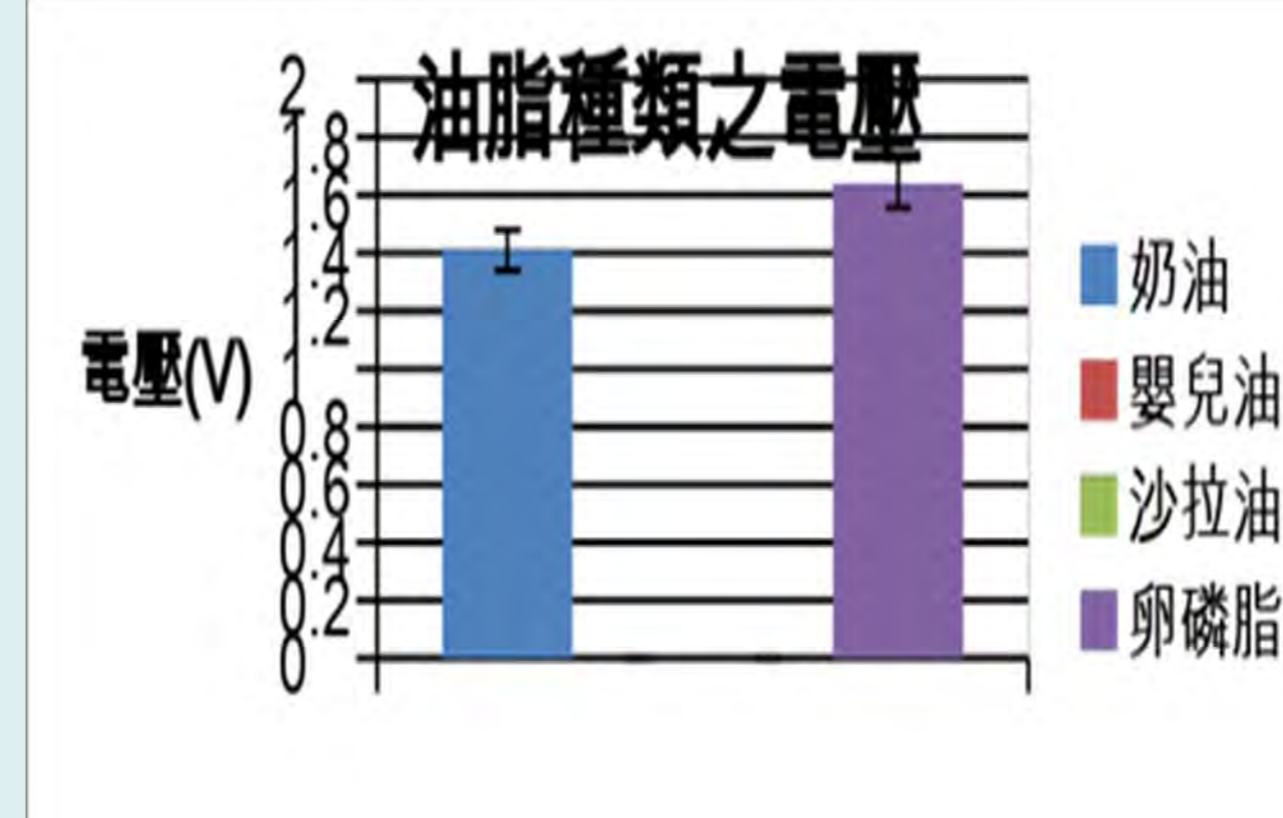
### 五、隔離層種類與添加去極劑與否對於鋁電池電壓與電流的影響(G2改質為G3-G4+)

- 實驗結果得知，添加宣紙、紗布、醋膜與玻璃紙等隔離層材在乾式電解質中依然會造成電流、電壓下降，與G1模組結果相符。
- 當二氧化錳面對負極鋁片與正極時時，電池膜片具有最佳的電流表現，推測是二氧化錳中錳離子 $\text{Mn}^{4+}$ 能在負極行氧化作用形成 $\text{Mn}^{7+}$ 、能在正極去除氫氣形成 $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{Mn}^{3+})$ 。



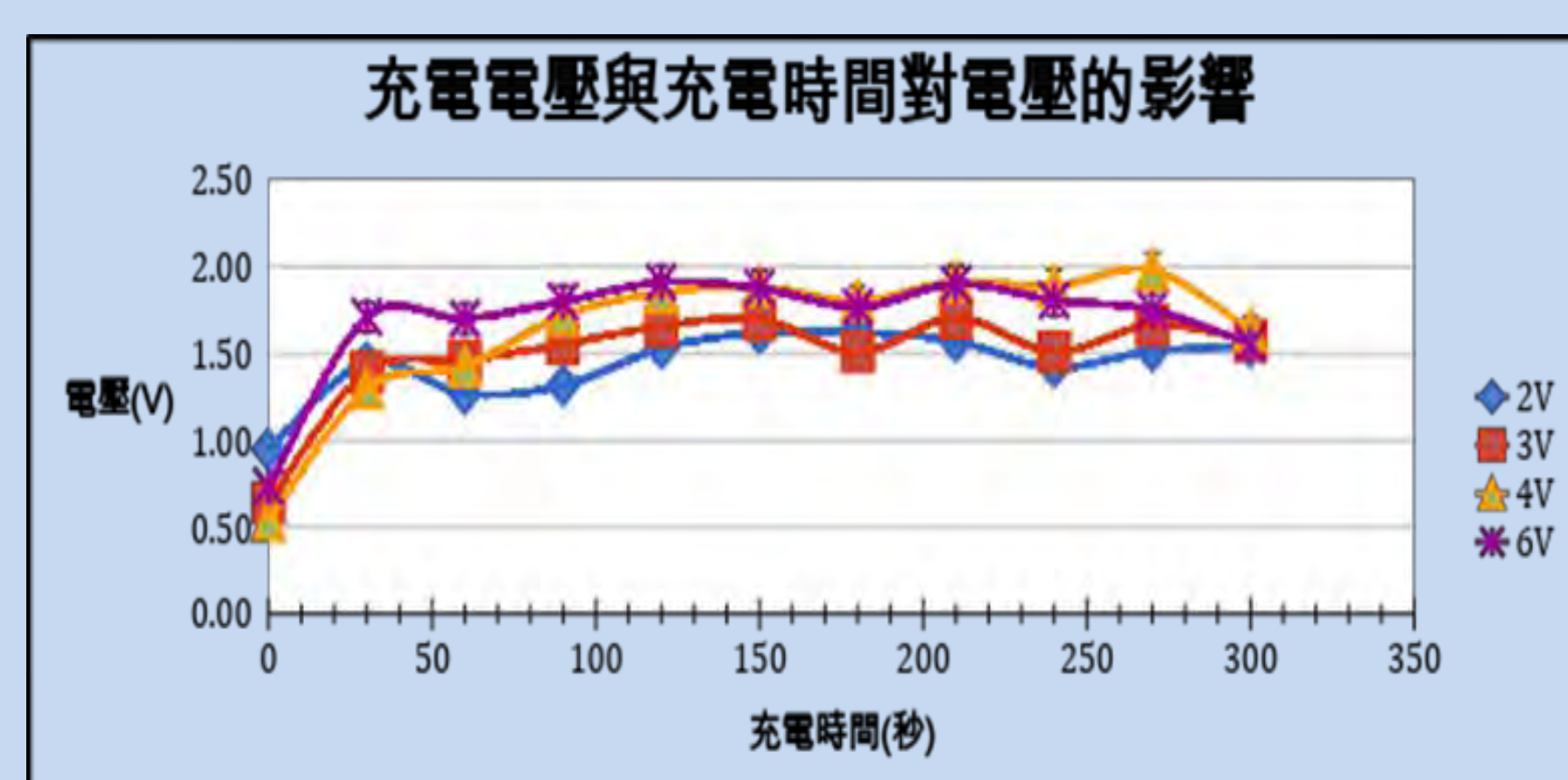
### 六、半透油膜種類改質負極對鋁電池電壓的影響(G1改質為G2-G4+)

- 卵磷脂具有最高電壓(1.64V)，而嬰兒油與沙拉油一泡到水就溶於氯化鋁溶液中，阻礙導電進行。
- 卵磷脂放電後電壓維持恆定，持續時間達 30 分鐘以上，代表改質成功。
- 鋁片浸泡於卵磷脂中能提高電壓約1.64V，且卵磷脂能延長電池反應時間至幾天以上。



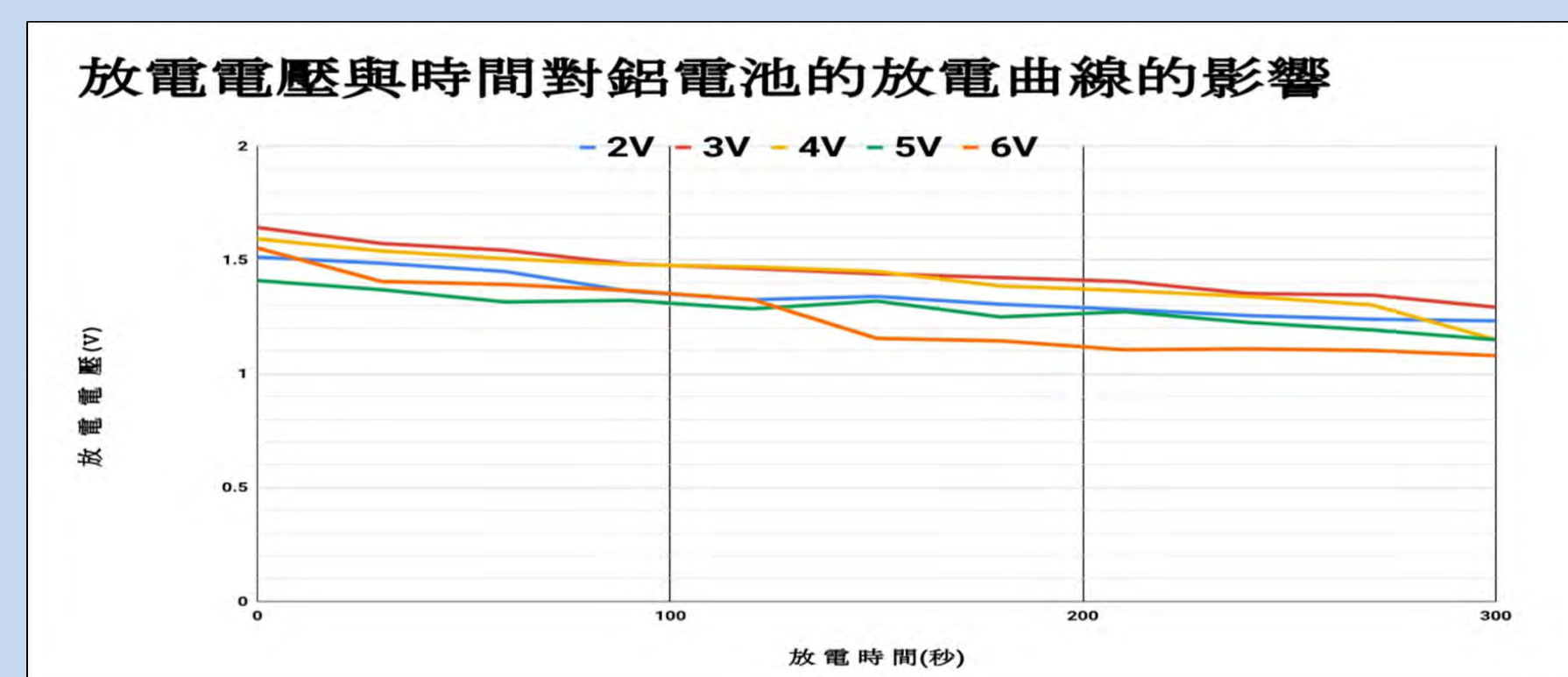
## 七、充電電壓對鋁電池放電曲線的影響(G1模組)

1. 6V充電後，其放電電壓最不穩定，過高的充電電壓會引發電池內部劇烈的熱效應。5V電壓充電的電壓釋放最穩定。穩定程度大到小為5V>2V>3V>4V>6V。
2. 以充電最高電壓與實驗電壓隨時間下降斜率而言，2V、3V與5V電壓較為穩定，以下G2到G4模組，均設定5V均為最佳充電電壓，150秒為最佳出充電時間。



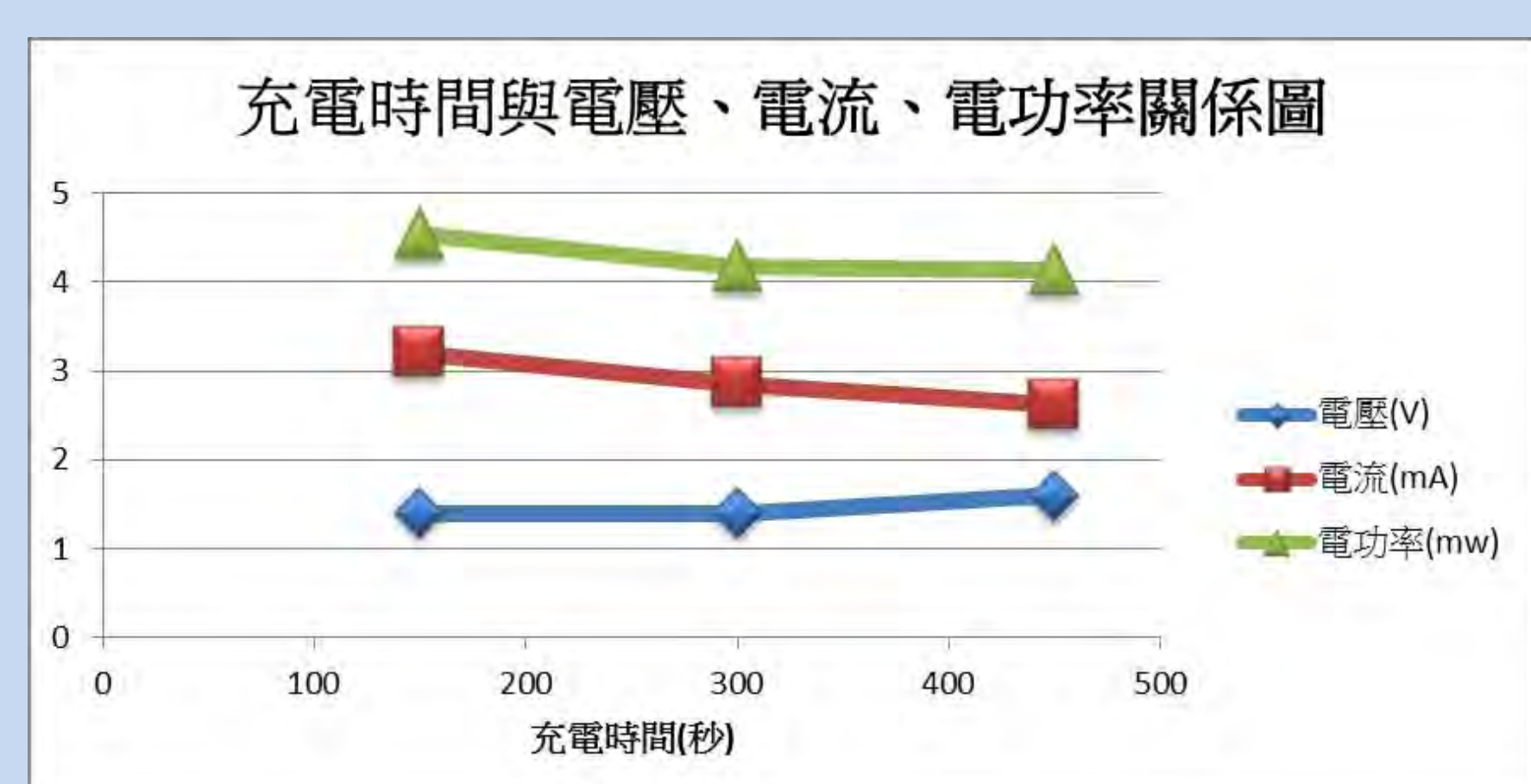
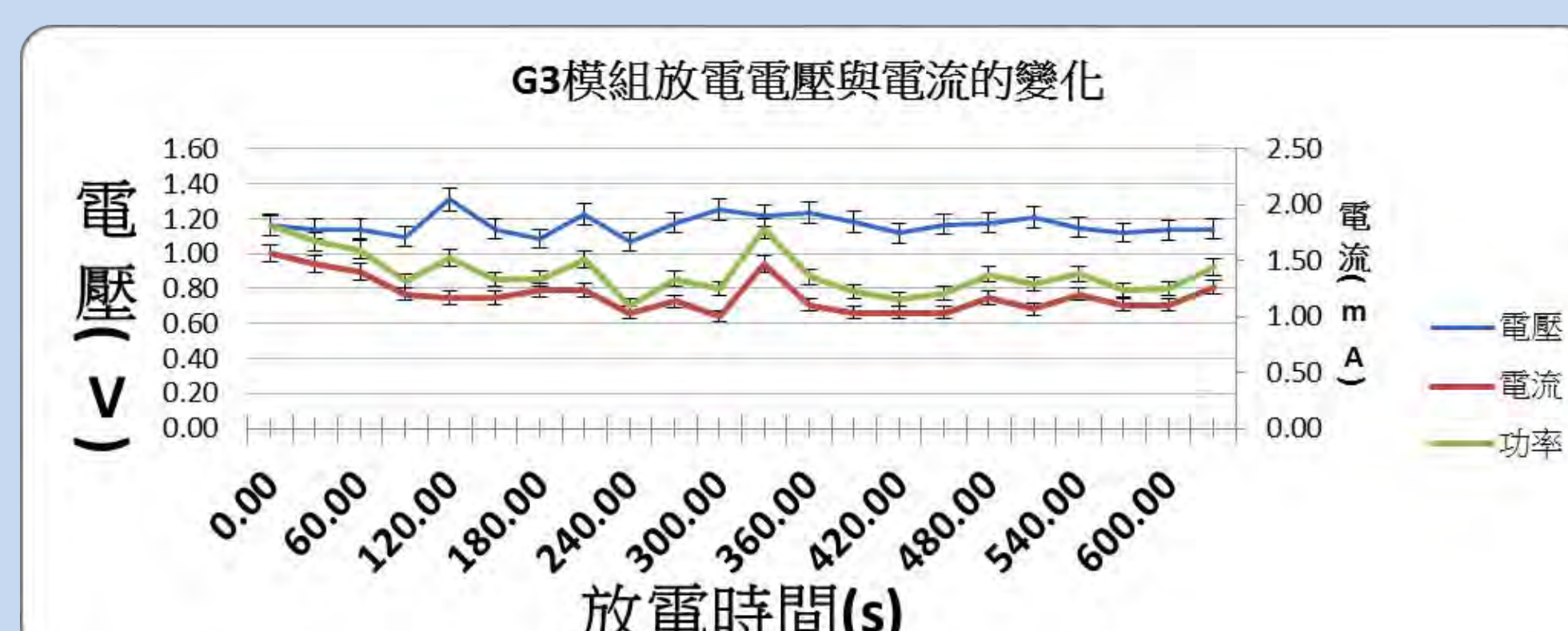
## 八、G3鋁電池模組之時間與電壓、電流關係

1. 與G1模組對照, G3模組電壓為其7成 $1.16/1.6=0.72$
2. G3配方的電壓與電流變化較G1為穩定，為較理想配方模組，進一步作法改善電流表現，以提升功率。



## 九、G4+鋁電池模組之充電時間與電壓、電流關係

1. 本實驗將G4正極添加約0.5g的石墨棒顆粒(平均直徑為1mm)，可得最佳效能，平均電壓為1.42V，平均電流為3.2mA，電功率為4.5mw。平均電壓較G3模組多出0.26V，平均電流提高2.5倍(2.3/1.27)
2. 並聯兩顆G4+模組可得電壓約1.5V，電流約為5mA，可使紅色LED燈發亮。
3. 充電150秒亦為G4+模組的最佳充電方案。



## 伍、結論

### 一、正極改質方面

- (一) 炭煙濃度75%混合透明光漆電阻最低
- (二) 導電膠帶中的銅(Cu)參與「石墨-鋁電池變化」並生成碳酸銅沉澱(Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)，故市售導電膠帶不為適合的材料。
- (三) 本實驗採紗布為正極導電布基材，並且證實能夠導電，該創意想法可供紡織業參考

### 二、電解液改質方面

本實驗配置2M的氯化鋁(AlCl<sub>3</sub>)與鹽酸(HCl)溶液生成四氯化鋁離子(AlCl<sub>4</sub><sup>-</sup>)，pH=3之醋酸與醋酸鈉緩衝溶液系統為鋁電池最佳電解質配方。若將電解液加入澱粉變為乾式電解液，當炭煙與澱粉混合時，不具有夾層效果

### 三、隔離層設計方面

單層之宣紙與雙層去極劑隔離紙片具有最好的效果。在正極與負極二處加入去極劑(MnO<sub>2</sub>)隔絕紙能提高電流至2mA，提高電池功率至2mw，雙層去極劑有為最好的效果

### 四、負極改質方面

- (一) 讓鋁片浸泡於卵磷脂中能提高電壓至1.6V，且能延長電池反應時間至30分鐘以上。
- (二) 油脂改質鋁片能有效降低親水性，實驗發現具有些許可解離之有機油脂類為好的選擇

### 五、本實驗中的G4+模組為最佳電池方案

配方為75%碳煙粉+25%透明漆塗在紗布上，間隔石墨棒粉碎顆粒，負極為鋁片抹上卵磷脂冰至凝固，電解液為2M、pH=3緩衝溶液，隔離層為宣紙、二氧化錳加紗布。

	可攜式 G4+ 模組	可攜式 G1 模組	石墨棒 鋁電池
充電電壓	5V	2V-5V	2V-5V
充電時間	150 秒	11 分鐘	180 秒
放電時間(最高紀錄)	8 天以上	1 分鐘	30 分鐘
最高電壓	1.5V	1.0V	1.6V
最高電流	3.3mA	0.3mA	8mA
優缺點	可彎曲 能承受應力	可彎曲	不可以彎曲 不能承受應力

G4+與G1規格比較

## 陸、參考文獻

- 張仍奎(2013)。離子液體於鋁離子電池電解質之應用。國立中央大學材料科學與工程研究所。桃園市:未出版
- 陳婉箏(2017)。可高速充放電鋁電池 勇奪2017年愛迪生獎-開啟能源產業新商機。工業技術與資訊月刊。第307期。取自:  
<https://www.itri.org.tw/chi/Content/Publications/>
- 謝育儒(2016)。多種不同結構微米級石墨對鋁離子電池電化學表現之影響研究。國立師範大學化學研究所。台北市:未出版
- 研究人員大幅降低鋁-空氣電池的電量流失率 訣竅在於油類沖洗鋁材(2018年11月14日)。每日頭條。2019年2月10日，取自:  
<https://kknews.cc/zh-tw/science/vyla4b2.html>
- 台灣鋁電池 驚艷英國能源展(2017年5月10日)。工商時報。2019年2月10日，取自: <https://www.chinatimes.com/newspapers>
- 鋁電池開發躍進 進入量產準備階段(2017年1月19日)。電池技術專題。2019年2月10日，取自: <https://www.digitimes.com.tw/tw>
- 張巧宜(2018)。未來儲能新星 鋁離子電池。喀報第294期。取自: <http://castnet.nctu.edu.tw/castnet>
- 【2019機皇大戰3】台面板廠進度跟不上 材料廠積極布局(2018年11月18日)。蘋果即時。2019年6月3日，取自:  
<https://tw.appledaily.com/new/realtime/20181118/1465809/>
- 未來的電池特輯：(三) 鋁離子電池(2015年10月1日)。科技政策與資訊中心。2019年6月8日，取自:  
<http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=11618>