

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第二名

032906

「稻」出「鋁」想「充」能力

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國二 陳俞禎 國二 黃宣穎	指導老師： 黃怡綸 黃吉楠
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：炭化稻殼、鋁電池、可撓式

摘要

本研究利用農業廢棄物再加工後的-炭化稻殼，經食用醋處理後搭配環保防水明膠配方製成**碳紙電極**，作為可充式鋁電池的正極材料；負極則是在鋁箔上塗一層較環保無毒的PVA；電解液使用 2M 氯化鋁/0.1M 食鹽水/5g 醋酸鈉，吸附在濾紙上，成功製作出**可充式「炭化稻殼紙/鋁電池」**，充放電循環 3 次後，放電的初始開路電壓最高可達 1.296V，初始短路電流可達 137.1mA，串聯兩個電池後，成功使 LED 燈發光持續至少 72 天，亦可推動風扇在約 4mA 的工作電流下維持 215 分鐘。

本作品多使用**食品級的環保材料**，較以往作品具有**低汙染、低成本、超輕薄、可充電、可彎曲**等多項優勢，充電後的穩定性更優於市售石墨片電極，可連續充放電至少 5 次，期待能為大型儲能系統添加一股永續環保的新契機。

壹、前言

一、研究動機

「稻米」為台灣人最主要的食物，需求高導致廢棄稻殼越來越多，每 100 公斤的稻田收穫中，約有 20 公斤的稻殼廢棄物，即使經過 2 年以上也不會腐爛，雖露天燃燒可成為肥料，但造成的空氣汙染是我們不樂見且違法的，因此若未妥善處理稻殼，則會產生相當大的環境負荷。而稻殼在經過 900°C 以上炭化後，會形成富含鉀與矽的「炭化稻殼」，不易受病蟲害，且可增加土壤的營養元素，因此常作為土壤改良劑，近幾年也有公司嘗試用炭化稻殼製作電池材料，我們希望透過這個研究，**能將「炭化稻殼」加以改質處理，期待能將導電度提升。**

人們對電的需求越來越多，火力發電帶來的環境汙染、氣候變遷也愈來愈嚴重，綠能已成為國家未來發展目標，而低成本的儲能裝置能在用電需要時轉回電能，更是補足用電缺口一大利器。近 30 年，工研院對「鋁電池」有許多研究，成功與美國史丹佛大學研發出鋁離子電池，研究成果也成為再生能源使用之助力，具有成本低、可燃性低、蘊藏量高等優勢。

一般「鋁電池」的正極材料為石墨，為「碳」的同素異形體，而電解液是氯化鋁/咪唑基離子($\text{AlCl}_3/[\text{EMIm}]\text{Cl}$)，單位成本較高，因此我們決定改質「炭化稻殼」，並搭配較具可塑性的「明膠」為載體，嘗試使用「食鹽」來取代咪唑基離子，期盼以結合**食品級**材料，研發簡易型「**可充式**」「**可繞式**」的「鋁電池」，藉以降低環境被汙染，為地球盡一份心力。

二、研究目的

- (一) 利用炭化稻殼製作正極材料，找到最佳載體。
- (二) 找到鋁電池的最佳電解液。
- (三) 找到負極改質的最佳方式。
- (四) 自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池，並評估其放電效益。

三、文獻回顧

(一) 鋁離子二次電池

鋁離子二次電池是針對再生能源儲能而設計，使用蘊藏豐富、價格低廉的鋁金屬及石墨為主要材料，採用安全難燃的離子液體電解液，使得鋁電池同時滿足安全性、高充放電效率、逾萬次耐久壽命及高倍數的電流耐受能力，具有低可燃性、低成本、礦物存量多及高理論能量密度等優點。

參考資料(二)的負極材料為鋁(Aluminum)、正極材料為石墨(graphite)，圖 1-3-1 為鋁離子電池放電反應示意圖，目前正極材料採用 3D 的石墨泡沫(graphitic-foam)型態，如圖 1-3-2 所示，其厚度很薄(~17um)能維持整體的可撓性，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。

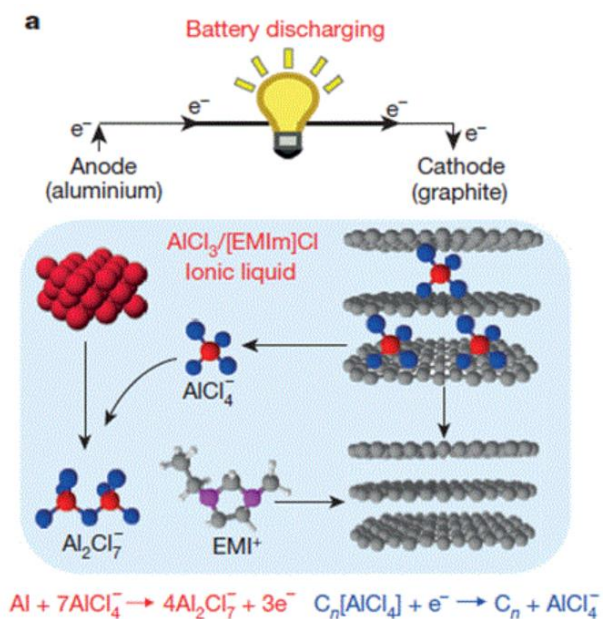


圖 1-3-1 鋁離子電池放電反應示意圖

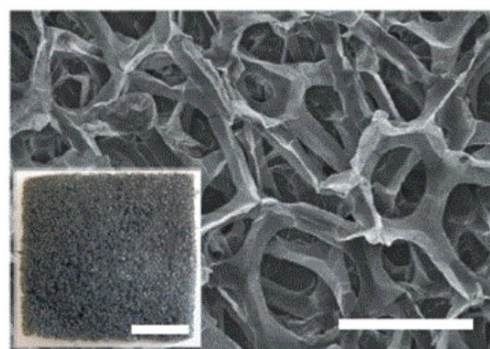


圖 1-3-2 3D 石墨泡沫型態

兩張圖片皆取自：科技政策研究與資訊中心-科技產業資訊室(未來的電池特輯)

我們參考了中華科技大學的碩士論文-[低成本鋁離子二次電池研製](#)，該作品連接石墨電極內電阻過高而造成電池自放電，且連接石墨電極的導電銅片易氧化，鋁電極有侵蝕沉積的痕跡，而產生充放電失敗，且該電池屬於硬式的平板式電池，應用面較沒有那麼廣泛。

另外，我們還參考了第 59 屆全國科展作品：[「鋁」戰「鋁」勝 -- 可撓式鋁電池的研究](#)，此作品旨在製作可撓式鋁電池因應可撓式電子產品的發展，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。但電池製作較缺乏環保性，且電流過於小，因此我們想以炭化稻殼來對充電式鋁電池做進一步研究。

(二) 炭化稻殼

稻殼是碾米後剩下的廢棄物，一般稱為粗糠，每 100 公斤的稻田收穫中，約有 20 公斤的稻殼廢棄物，如未妥善處理，則會產生相當大的環境負荷。但將稻殼經過 900°C 以上的炭化，形成表面有光澤、黑色的炭化稻殼，含大量二氧化矽，且有 2-4% 的鉀肥，是天然性鉀離子來源，其他成份中的礦物質和微量元素，有許多實例可證明其能增加作物產量。查詢歷屆科展作品，發現利用炭化稻殼多做為「農業改良劑(肥料)」或「吸附材料」，整理如下：

表 1-3-1 炭化稻殼在歷屆科展中的研究方向

屆次	作品名稱	作品內容摘要	炭化稻殼用途
57	黃金變黑金-炭化稻殼對農作的效益	炭化稻殼對土壤的導電率、含水量有影響，但對氮磷鉀、pH 值影響不明顯，且發現炭化稻殼在適當比例的調配下，對植物的生長有明顯的幫助	炭化稻殼做為肥料，與取代化學肥料，讓植物生長更好。
58	名偵「炭」「殼」南—炭化稻殼的秘密	炭化稻殼的電導度及 pH 值均高於稻殼，發現炭化稻殼可以改善紅土缺鉀及 pH 值偏酸的問題。	提供植物在紅土貧脊的生長環境下，所需的肥料以及中和紅土的酸性。
60	稻殼矽·再利用-複合性吸附淨水大作戰	使用廢棄稻殼製作吸附劑，並結合光觸媒，能同時吸附並分解染料。使用自製檸檬酸鈦製作光觸媒並與稻殼氧化矽結合，發現 TiO ₂ /SiO ₂ =1：5 時具有較佳的褪色效果但復原時間長。	利用稻殼燃燒後，餘下大量的二氧化矽，來做為吸附淨水的作用。

本作品嘗試以廢棄稻殼製作鋁離子電池中的正極電極，查詢資料發現目前鋁電池使用的正極材料為 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，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**，因此參考歷屆科展作品中，有關製作**碳孔材**的方法，整理如下：

表 1-3-2 有關碳孔材的歷屆科展作品統整

屆次	作品名稱	作品內容摘要	參考重點
59	以 top-down 方法合成孔洞碳材應用於 EDLC	本研究嘗試以植物軀幹為原料或是樹脂為原料發展孔洞碳材，並應用於電雙層電容器充電，本研究除了探討不同植物碳的電性差異並改良，也致力於尋找樹脂碳的最佳合成參數。	使用鷹架式的方式，將各式植物軀幹製作出中孔性碳材，作為電容器的電極材料。 本研究未採用此法。
61	碳為觀止-回收式生物炭吸附光解膠囊	本研究建立具再現性之碳化程序，將花生菱殼、雞骨龍蝦等製成生物炭，並建立吸附 SOP 來探討最佳處理參數，最後將其製成回收式生物炭球。	參考此作品中，利用 酸洗來增加生物炭的多孔性。
58	一步合成碳奈米複合材料與奈米碳管應用於超級電容電極修飾	本研究以高溫鍛燒的褐藻酸鈉鹽與亞硫酸銨混合粉末作為電極修飾材料，並與多層奈米碳管(CNT)混合後，附著於碳紙極電板上。期待未來能實際運用於電能儲存裝置上，或搭配電池應用於可撓式電子產品。	參考此作品中， 利用浸潤方式 ，將修飾材料填入碳管中，來提高效能。

本研究嘗試將炭化稻殼改質，或利用酸處理，以提高其導電性，並利用其多孔特性，嘗試讓四氯合鋁酸根離子嵌入其中，藉以做為鋁電池中的正極材料。

(三) 紙電池或薄膜電池

紙電池(註 3)，是用紙張作為載體的電池。紙電池是由銀和碳納米材料製成的特殊墨水，塗在紙張上製成“紙電池”，為輕型、高效的新型能源存儲帶來希望之光。



圖 1-3-3 紙電池(來源：百度百科-紙電池)

表 1-3-3 有關紙電池的歷屆科展作品統整

屆次	作品名稱	作品內容摘要	參考重點
57	利用摺紙藝術製作發電裝置	本研究利用噴蠟印表機印製特定圖樣製備隔膜型紙電池，此電池的開路電壓能夠達到 0.915 伏特。	可在電解液 乾掉時補充電解液 ，來延長電池的壽命 缺點： 無法充電
58	「紙」能生電?!—自製薄膜電池效能分析	本研究利用自製輕薄且方便的薄膜電池，以鋅粉及鋅膠帶為負極、二氧化錳為正極，探討影響電池電流及電壓的因素，並製備可串聯的薄膜電池。串聯五顆電池之電壓平均更可達 7.3V，效益與市售電池相仿，但所占體積卻輕薄許多。	將碳材溶液利用水彩筆塗抹在紙上 ，形成紙電池。 缺點： 電流較小 ，僅 2.5mA，較無實用性，且無法充電
60	只(紙)是(式)電池	藉由探討鋅銅紙電池反應環境，彙整所有適合放電的條件，得到一個優化鋅銅紙電池。之後將陽極改為鋁片提升電位，製得一次性鋁紙電池，並藉由密封測試探討一次鋁紙電池真正的反應機制。最後將電解液改為離子液體，試著將一次鋁紙電池改良成二次鋁紙電池，並探討不同反應環境來提升電壓，得到一個較佳的二次鋁紙電池。	主要製作鋅銅紙電池，無法充電。後嘗試製作可充式鋁電池。 缺點： 鋁二次電池充電之電能轉換效率不佳 。

以上三篇參考作品，主要皆以電壓呈現電池的發電效益，**多未提及電流的實測狀況**，且皆未能**充電或效益太差**，本作品嘗試製作可充電的紙碳電池，增加其可撓性，用於更多薄膜式的電子產品，讓電池更能發揮其效益。

(四) 正極材料-碳改質與電極的載體

為了讓導電度極差的炭化稻殼，我們參考了第 63 屆科展作品「呷二氧化碳ㄟ電池」來進行改質，以提升其導電度；另外為了要製作可撓式電極，我們參考了「「織」來變「膜」術」作品中的防水明膠層，來當作碳電極的載體，整理如下：

表 1-3-4 有關炭改質和載體的歷屆科展作品統整

屆次	作品名稱	作品摘要	參考重點
63	呷二氧化碳ㄟ電池	本研究探討二氧化碳可以取代氧氣，當作空氣電池運作的氣體，並透過碳粉改質增加吸附二氧化碳的效果，提高發電效能，以研發鋁/二氧化碳電池。	參考該作品的 微波膨脹脫層法 ，嘗試將炭化稻殼用此法來提升其導電度。
63	「織」來變「膜」術	改變明膠配方，製作出能取代紙杯上塑膠淋膜的材料，或是可以防水的保鮮噴劑，達到環保、減量的目標。	利用此 明膠配方 ， 做為碳電極的載體 ，將其緊密附著於濾紙上，形成可撓式電極

(五) 負極材料-鋁塗層

鋰樹枝狀結晶

鋰樹枝狀結晶，又稱鋰枝晶現象，是一個發生在陽極上的問題，當陽極為金屬且行放電反應時，陽極上的鋰會丟出一個電子到外電路，自己變成鋰離子進入到電解液中；充電時便是鋰離子接收一個外

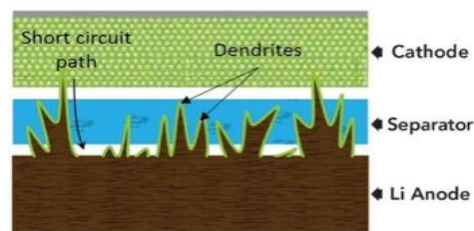


圖 1-3-4 鋰金屬樹枝狀結構造成短路示意圖
(圖片來源：CASE 報科學(國立台灣大學)-
材料科技-鋰電池樹枝狀結晶的難題)

電路進來的電子變回金屬鋰。電池不斷充電放電，金屬鋰便會重複生成、游離。在這個過程中，電極與電解質之間會形成一個介面 SEI (solid-electrolyte interphase)，在 SEI 內若鋰濃度不完全均勻，充電時鋰就不會均勻地在電極上形成，而會形成像樹枝狀一般的結構。充放電次數越多這個問題就越嚴重，當樹枝狀結構越伸越長碰到對面的陰極時就會形成短路，如圖 1-2-4 所示，推測鋁離子二次電池也可能會有類似的情形。

鋁的氧化

許多文獻中也提到，鋁電池常會因負極氧化而失去充放電功能。

藉由上述，本研究嘗試將陽極(負極)的鋁，進行不同材料的塗層，防止電池短路或氧化而失去作用。

(六) 電解質

由文獻(王泰翔 2022)可知，大多鋁電池中的電解液，幾乎使用氯化鋁/咪唑基離子($\text{AlCl}_3/[\text{EMIm}]\text{Cl}$)，該電解液存在一系列問題，如對空氣中濕度敏感，而須於手套箱中使用惰性氣體保護、單位成本高昂，對金屬導體及電池外殼腐蝕相當高性、介面不穩定等，因此文獻作品利用 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的離子液體(幾乎飽和)，製作出的電池較之前電解液，也相對安全及提高環境穩定性。由林宇亮(2019)的報告中可看到，該作品使用鹽酸來調配氯鋁酸根離子(AlCl_4^-)，於是本研究嘗試利用較安全的食品-食鹽水來配製電解液，期待能找到電解液的最佳條件。

貳、研究設備及器材

一、研究材料：

表 2-1-1 各項研究材料

							
炭化稻殼	吉利丁粉 (明膠)	市售 石墨片	氯化鋁 (含結晶水)	乙醇 (酒精)	丙三醇 (甘油)	檸檬酸	食用醋
							
食鹽	鹽酸	醋酸鈉	石墨粉	市售膠水	二氧化錳	亮光漆	PVA

(以上照片皆由第二作者拍攝)

二、研究器材：量筒、滴管、燒杯、針筒、漏斗、酒精燈、陶瓷纖維網、實驗用濾紙(圓形、長條形、正方形)、三腳架、溫度計、培養皿、研磨機、研鉢、三用電表、安培計、控溫攪拌器、筆電、相機、烘烤箱刮勺、鋁箔、銅片、鋁片、電動抽濾機、電源供應器、爆米香裝置、針筒、蓋玻片盒蓋、電極支架(石墨棒+鋁棒)、錶玻璃、護貝機、護貝膜、絕緣膠帶。

參、研究過程與方法

一、研究流程圖

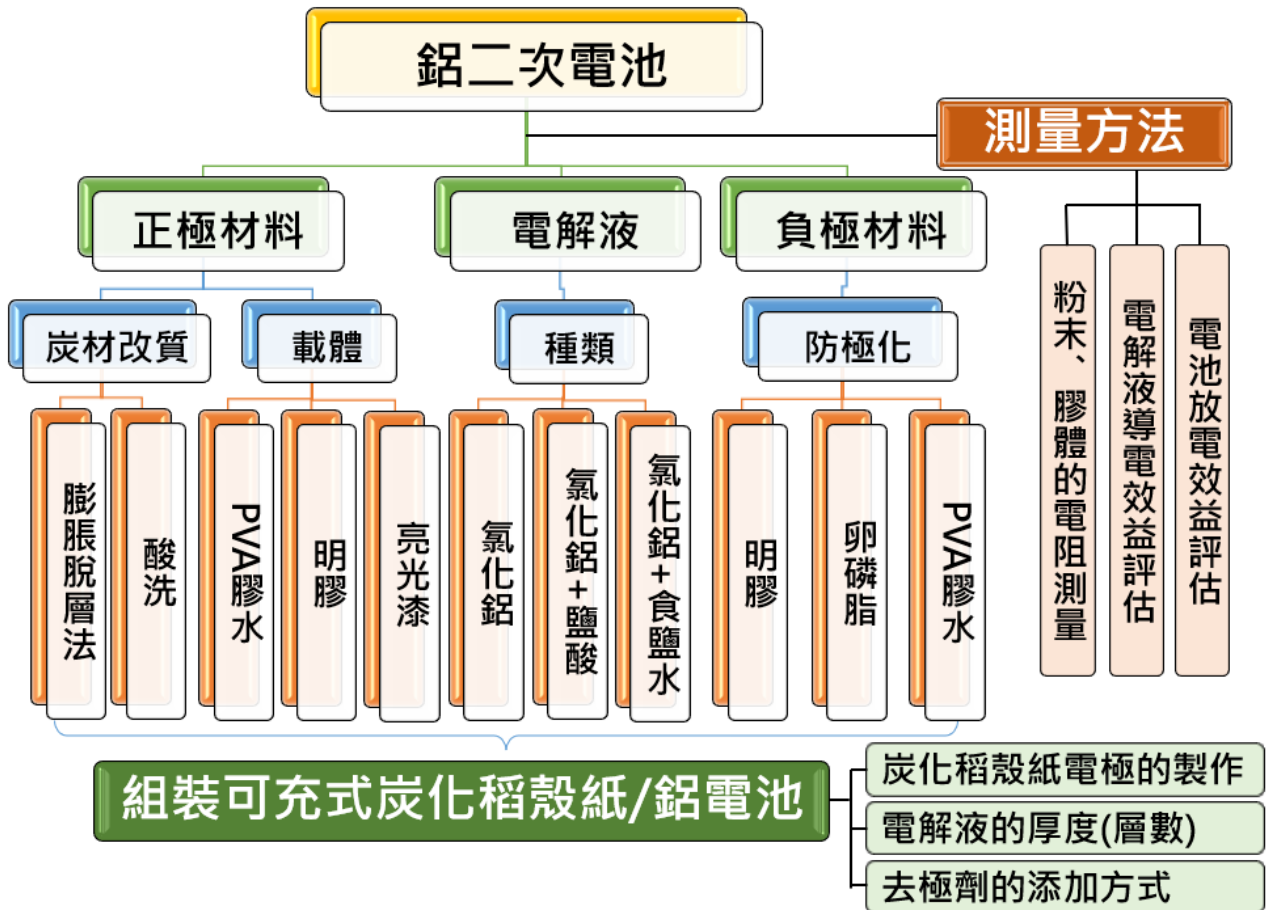



圖 3-1-1 研究流程圖

二、研究測量方法

(一) 各項電阻量測方法

【膠體電阻量測器】

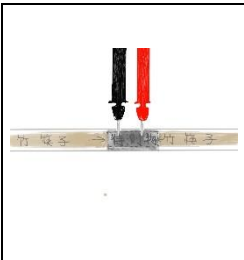

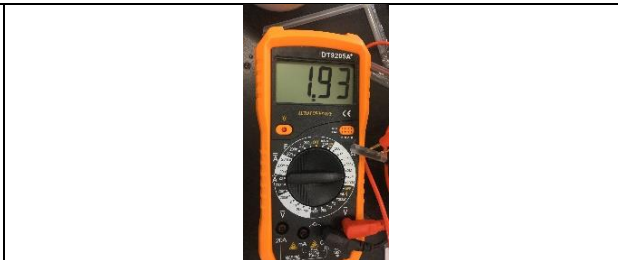
表 3-2-1 膠體電阻量測器的裝置與使用步驟

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 礙於電極本身有寬度，因此設定電極尖端間距為 2 公分。 2. 利用此裝置搭配三用電表，來測量膠體的電阻。
---	--

【粉末電阻量測】

第一代：吸管式粉末電阻量測器

表 3-2-2 吸管式粉末電阻量測器的裝置與使用步驟

		
<p>裝置示意圖</p>	<p>減一小段吸管，在吸管上戳兩個距離 1 公分的小洞。</p>	<p>取 0.5 克的粉末樣本填充其間，並將兩端用竹筷壓緊後，利用三用電表測量電阻。</p>

缺點：當三用電表的探針插入時，兩邊竹筷不好持續壓實，因此粉末容易散掉，且無法計算其所施的力量為何。

第二代：針筒式粉末電阻量測器

表 3-2-3 針筒式粉末電阻量測器的裝置與使用步驟





		
<p>裝置示意圖</p>	<p>取 10mL 的針筒，在其上戳兩個距離 1 公分的小洞。</p>	<p>將 0.5 克的粉末樣本填充其間，並將針筒活塞壓緊，利用三用電表測量電阻。</p>

缺點：針筒活塞仍舊有彈開的情形，導致測量時諸多不便。

(本頁表 3-2-1、3-2-2、3-2-3 中的照片皆由第二作者拍攝或繪製)

第三代：漢堡式粉末電阻量測器

表 3-2-4 漢堡式粉末電阻量測器的裝置與使用步驟

			
<p>裝置示意圖-取一蓋玻片盒蓋，底層放置一個 2cm*2cm 的銅片，並將留有測量用的銅極端纏上絕緣膠布。</p>	<p>將 0.5g 粉末樣本放入後，蓋上另一個 2cm*2cm 的銅片，並將兩銅極端向外折出，方便測量。</p>	<p>將前述物品置於電子天平上歸零，放上纏有絕緣膠布的鋁塊，並在上方添加不同質量的砝碼。</p>	<p>共加了 1050gw 重物的實測情形。</p>

(以上照片皆由第二作者拍攝)

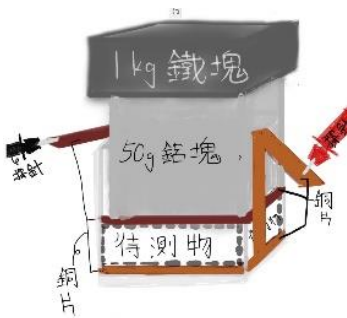


圖 3-2-1 裝置示意圖
(圖片由第二作者繪製)

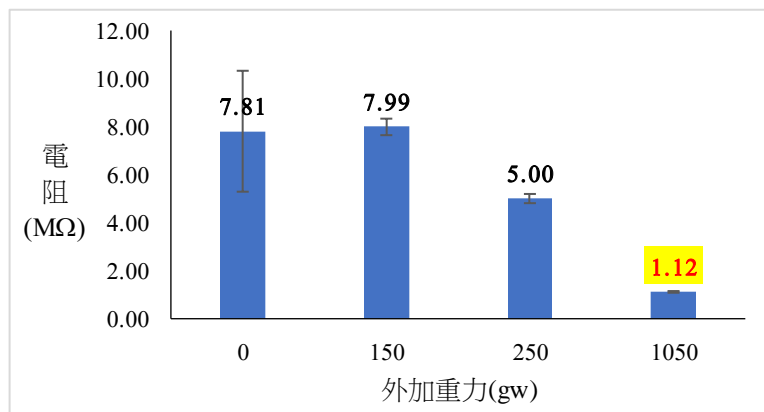


圖 3-2-2 外加重力對漢堡式測量粉末電阻的實驗結果

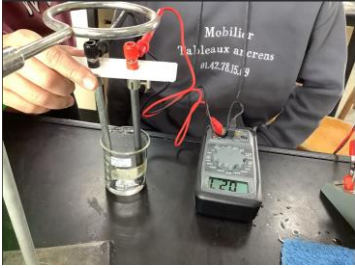
【結果與分析】：

1. 不外加重力時，粉末間隙存有太多空氣，導致電阻較大，且測量結果差異太大，顯示在無外加重力時，效果較差。
2. 施加 1050gw 的外力後，電阻明顯變小，故以此來進行後續的實驗。

總結：不管是粉末或膠體，測量出的電阻愈小，顯示粉末的導電性愈高。

(二) 電解液導電效益評估

表 3-2-5 電解液導電效益評估裝置與操作步驟

	<ol style="list-style-type: none">1. 利用電解實驗中的電極裝置，固定石墨棒和鋁棒，以模擬鋁電池中的正、負極。2. 利用三用電表測量電壓、電流，並計算其 P 值。3. 當 P 值愈大，表示電解液導電較好。 <p>(本表照片由第二作者拍攝)</p>
---	---

(三) 電池放電效益評估

【開路電壓的量測】

開路電壓(V_{oc})(註 4)是指當電池在無外部負載狀況下(負載無限大)，電池兩端的電壓。於是我們利用三用電表，直接量測電池的開路電壓。

【短路電流的量測】

短路電流(I_{sc})是指當電池短路時(即無外接電阻時)，電池流出的電流。於是我們利用三用電表，直接量測電池的短路電流。

【放電效益評估】

我們以 P 值作為放電效益的評估，其定義如下：**P 值=開路電壓 × 短路電流**，**P 值愈大，表示電池的放電效果愈好。**

【電容量計算評估】

將電池接上風扇，記錄其工作電流與運轉時間，將**平均工作電流 × 運轉時間**，即為**電容量**。

三、研究過程與方法

實驗一：找出最佳化的正極材料載體

【實驗一之 1】不同載體對電極電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 取市售膠水 5g、水 2g 以及石墨粉 7.5g，均勻混和成石墨膠水膠體。
2. 取亮光漆 5g、石墨粉 5g，均勻混和成石墨亮光漆膠體。
3. 參考第 63 屆科展作品-纖來變膜術，我們配製 4%明膠 20g、酒精 1.5mL、甘油 0.5mL 以及 20%檸檬酸 2.0mL，取明膠配方 5g 和石墨粉 5g，均勻混和成石墨明膠膠體。
4. 將上述步驟中的膠體，分別塗在 2cm*3cm 的濾紙上，每種共三片，待其自然乾燥。
5. 利用膠體電阻量測器，測量電阻共三次，紀錄並計算其平均值。
6. 隔了 14 小時後再重新測量三種石墨膠體的電阻。

(二) 實驗結果

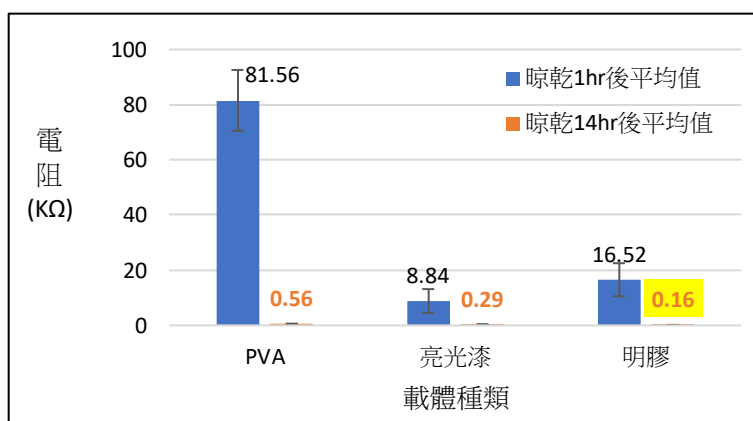


圖 3-3-1-1 各種載體的石墨膠體，其電阻的實驗結果

(三) 分析與討論

1. 自然晾乾 1hr 後，三種載體的電阻值大小關係為 PVA>明膠>亮光漆，使用亮光漆當石墨的載體有較好的導電性。
2. 自然晾乾 14hr 後，三種載體的電阻都明顯下降，推測讓石墨粉能更緊密地靠在一起，使導電性提升。
3. 雖然一開始亮光漆有較好效果，但晾乾 14hr 後，以明膠做為載體的石墨明膠，電阻值最小，且明膠較環保，也沒有亮光漆有機溶劑的臭味，因此爾後實驗皆以明膠做為正極碳材的載體。

【實驗一之 2】石墨明膠的質量對電極電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 配製實驗一之 1 的石墨明膠。
2. 分別取 0.3g、0.4g、0.5g、0.6g 均勻塗抹在濾紙上，每種各三片，待其自然晾乾。
3. 利用膠體電阻量測器，測量電阻共三次，紀錄並計算其平均值。
4. 隔了 14 小時後再重新測量三種石墨膠體的電阻。

(二) 實驗結果

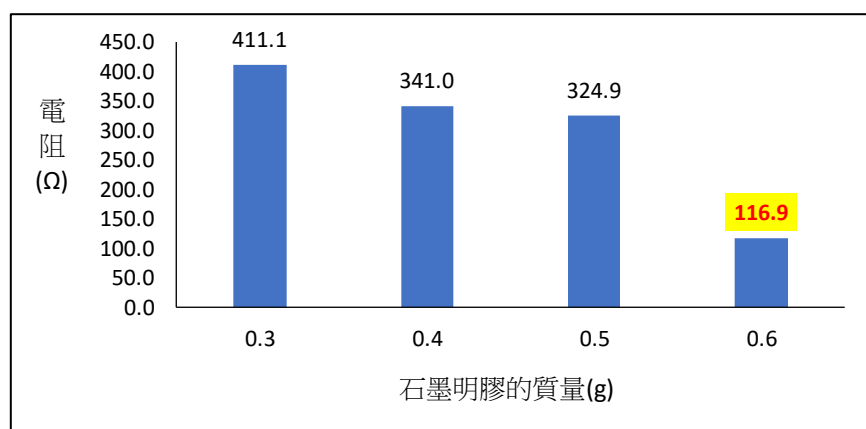


圖 3-3-1-2 各種載體的石墨膠體，其電阻的實驗結果

(三) 分析與討論

1. 在塗抹 0.6g 時，已經不太好均勻塗抹，遂只做到 0.6g。
2. 塗上 0.5g、0.6g 石墨明膠電極，在測量電阻時，當探針一壓下便直接碎掉，因此在 2cm*3cm 上塗抹 0.6g 的石墨明膠，雖然有較好的導電效果，但終究不方便操作。

【實驗一之 3】石墨與明膠的質量比對電極電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 取實驗一之 1 的明膠配方 1g，分別加入 0.5g、1.0g、1.5g、2.0g、2.5g 均勻混和後，塗抹在濾紙上，每種各三片，待其自然晾乾。
2. 利用膠體電阻量測器，測量電阻共三次，紀錄並計算其平均值。

(二) 實驗結果

表 3-3-1-1 各種不同比例製成的石墨明膠，測出的電阻結果(單位： Ω)

石墨 質量(g)	質量 比例 明膠:石墨	第 1 片			第 2 片			第 3 片			平均值
		第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次	
0.5	1:0.5	912	871	652	836	654	591	774	888	770	772
1.0	1:1.0	313	256	231	396	443	333	285	292	351	322
1.5	1:1.5	太乾了，無法塗上去									
2.0	1:2.0	太乾了，無法塗上去									
2.5	1:2.5	太乾了，無法塗上去									

(三) 分析與討論

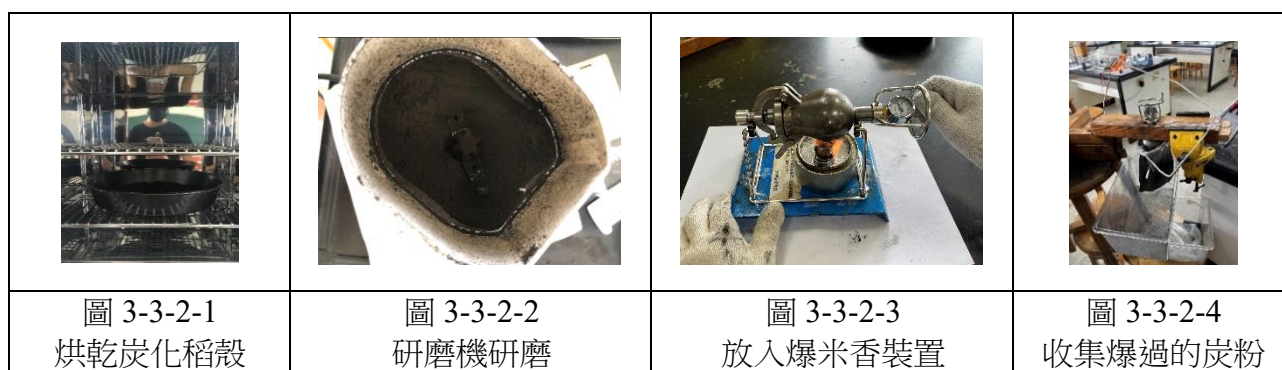
1. 石墨佔膠體的比例愈高，導電性應該較好，但當石墨比例太大時，會太乾像分散的粉末，無法成膠體樣態，不能塗抹在濾紙上。
2. 明膠與石墨的比例為 1:1 時，電阻較小，有較佳的導電效果。

實驗二：找出正極碳材最佳化的改質方式

【實驗二之 1】爆米香膨脹脫層法

(一) 實驗步驟

1. 將炭化稻殼放入 100°C 的烤箱中，烘乾 1 小時後，如圖 3-3-2-1，取出後利用研磨機將烘完的稻殼磨 1 分鐘，如圖 3-3-2-2。
2. 再取 5 公克磨好的炭化稻殼粉，倒進爆米香裝置中，加入 2mL 的水。
3. 將上述步驟的裝置加熱至壓力 1.0Mpa(約 10 大氣壓)，如圖 3-3-2-3，再將炭化稻殼粉爆入我們設計的碳粉收集袋中，如圖 3-3-2-4。
4. 取出 0.5 公克爆完的碳粉，利用自製漢堡式電阻量測器，測量電阻共三次，紀錄並計算其平均值。



(以上照片皆由第二作者拍攝)

(二) 實驗結果

表 3-3-2-1 炭化稻殼在膨脹脫層法前後，測出的電阻結果

電阻值	第一次	第二次	第三次	平均	標準差
未爆(百萬歐姆 MΩ)	1.08	1.15	1.12	1.12	0.04
有爆(千歐姆 KΩ)	7.11	6.28	6.18	6.52	0.51

(三) 分析與討論

1. 由實驗結果可看出，在經過爆米香膨脹脫層後，炭化稻殼的電阻，明顯從百萬歐姆減少至千歐姆，證實此法可提升炭化稻殼的導電性。
2. 此法雖然可提高導電性，但實驗操作時需要找到合適的網袋來盛裝，且因炭粉太細亂飛而導致最後產量極低，時屬此法的一大缺點。

【實驗二之 2】爆米香膨脹脫層添加的水量對炭化稻殼電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 將炭化稻殼放入 100°C 的烤箱中，烘乾 1 小時後，將烘完的稻殼磨 1 分鐘。
2. 再取 5 公克磨好的炭化稻殼粉，分別加入 0.5mL、1mL、1.5mL、2mL 及 2.5mL 不同的水量。
3. 另取 5 公克磨好的炭化稻殼粉，加適量的水浸潤，並利用自製的裝置進行過濾，如圖 3-3-2-5 所示。
4. 將步驟 2、3 的炭化稻殼粉和水倒進爆米香裝置中，加熱至壓力為 1.0 MPa，再將炭化稻殼粉爆入我們設計的碳粉收集袋中。
5. 取出 0.5 公克爆完的碳粉，利用自製漢堡式電阻量測器，測量電阻共三次，紀錄並計算其平均值。

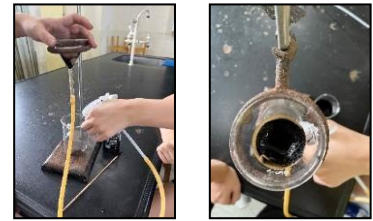


圖 3-3-2-5 利用自製裝置將浸潤水的炭化稻殼進行過濾。
(本頁照片皆由第二作者拍攝)

(二) 實驗結果

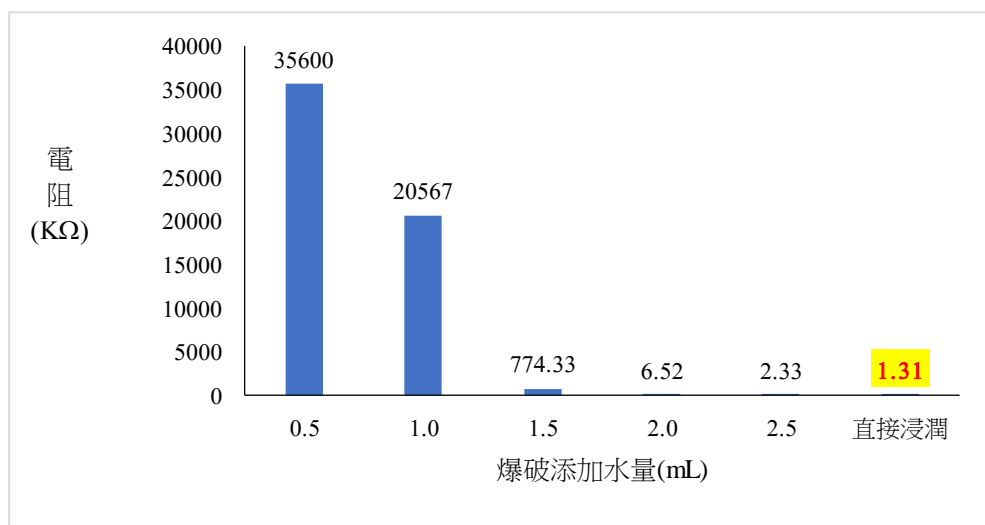


圖 3-3-2-6 添加的水量對炭化稻殼電阻的實驗結果

(三) 分析與討論

1. 加入水量愈多，炭化稻殼脫層後的電阻愈小。
2. 加過量水來浸潤並過濾後，有最佳的表現。

【實驗二之 3】炭化稻殼酸洗後對其電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 將烘乾、研磨後的炭化稻殼，放到 pH=1 的鹽酸溶液中，放入 100°C 的烘箱 1 小時。
2. 取出後將溶液過濾，並用少量水清洗。
3. 刮取濾紙上方碳材至烘箱中 40 分鐘，取出後測量其電阻值。

(二) 實驗結果

表 3-3-2-2 不同處理方式後的炭化稻殼，測出的電阻結果

樣本名 \ 電阻(Ω)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	標準差
純炭化稻殼	5510.0	8070.0	7480.0	7020.0	1340.6
烘+磨+研磨	2820.0	4120.0	3530.0	3490.0	650.9
酸洗+過濾(未烘)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.1
酸洗+過濾(烘乾後)	71.2	42.1	25.3	46.2	23.2

(三) 分析與討論

1. 由實驗結果可看出，炭化稻殼在酸洗後，電阻明顯變小。
2. 酸洗炭化稻殼烘乾後成硬塊，測量電阻的方式改為兩碳針間距 1 公分來直接量測，理應比漢堡式電阻的測量方式較大。後續實驗要再評估。

【實驗二之 4】酸的種類對炭化稻殼酸洗後電阻的影響

(一) 實驗步驟

1. 將烘乾、研磨後的炭化稻殼，分別放到 pH=1 的鹽酸溶液、食用醋、20%的檸檬酸中，並放入 100°C 的烘箱中 1 小時。
2. 取出後將溶液過濾，並用少量水清洗。
3. 刮取濾紙上方碳材至烘箱中烘乾 40 分鐘，取出後測量其電阻值。

(二) 實驗結果

表 3-3-2-3 炭化稻殼在不同種類的酸中酸洗後，測得的電阻結果

樣本名 \ 電阻(Ω)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
鹽酸	0.6	0.5	0.7	0.6±0.1
食用醋	68.8	68.2	68.6	68.5±0.3
檸檬酸	152.7	153.2	154.7	153.5±1.0

(三) 分析與討論

1. 由實驗結果可看出，炭化稻殼利用三種酸酸洗後，電阻值鹽酸 < 食用醋 < 檸檬酸。

分析總結：炭化稻殼在酸洗後電阻明顯比脫層法更小，但因鹽酸為強酸，考慮使用食用醋來進行以下實驗。

實驗三：負極鋁片上的塗層種類對電池開路電壓的影響

(一) 實驗步驟

1. 用砂紙將 1cm*10cm 的鋁片磨到光亮。
2. 在鋁片上分別塗上卵磷脂、冷凍卵磷脂、PVA、明膠配方、明膠配方+PVA。
3. 以石墨片做為正極，前述鋁片做為負極，中間夾著滴上 40% 氯化鋁水溶液的餐巾紙，製作簡易的鋁電池。
4. 將電池上方重壓 1kg 的鐵塊，測量電池的開路電壓和短路電流，並計算兩者乘積 P。

(二) 實驗結果

表 3-3-3-1 負極鋁片在各種塗層後，測得電壓與時間的結果

塗層種類 \ 開路電壓(V)	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	平均
不塗(對照組)	0.97	0.90	0.87	0.84	0.82	0.79	0.79	0.76	0.77	0.75	0.83
卵磷脂(未凍)	1.01	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.67	0.65	0.65	0.66	0.71
卵磷脂(冷凍)	0.96	0.88	0.84	0.86	0.86	0.84	0.82	0.82	0.82	0.81	0.85
明膠	0.89	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.71
PVA	0.96	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.85	0.88
明膠+PVA	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.67	0.68	0.67	0.67	0.67	0.68

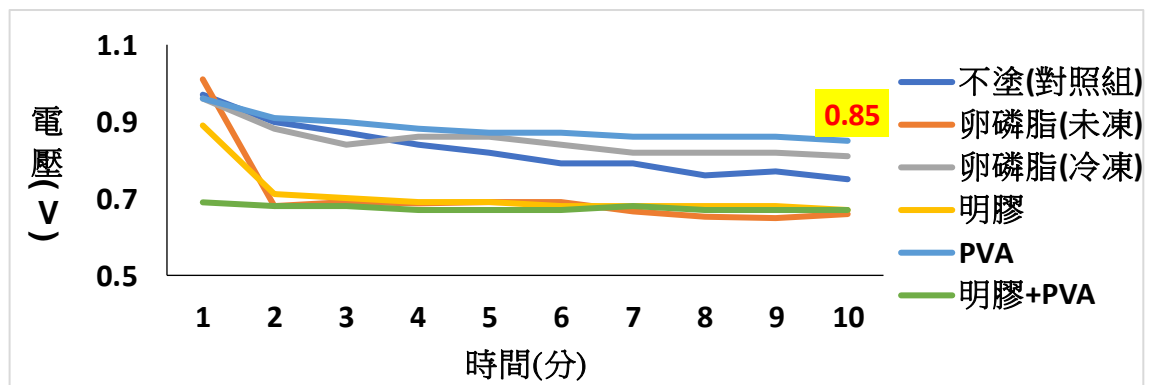


圖 3-3-3-1 鋁片塗上各式材料後的電壓趨勢圖

(三) 分析與討論

1. 不塗上任何物質的對照組，電壓慢慢下降，十分鐘後效果不好。
2. 整體來說，以塗上 PVA 的鋁片，電壓的穩定性較高，效果最好。
3. 卵磷脂雖然一開始有較高的電壓，但一分鐘後急速下降，推測其為液體，附著力較差，於是再做一次冷凍的實驗，而結凍卵磷脂雖有不錯效果，但卵磷脂的單位成本較高，且十分鐘後效果仍沒有 PVA 好，因此爾後實驗皆使用 PVA。

實驗四：找出電解質的最佳配方

(一) 實驗步驟

1. 將氯化鋁烘乾後，利用 1M、0.1M、0.01M 鹽酸配製 2M 的氯化鋁/鹽酸水溶液 50mL，再加入 1 克醋酸鈉，攪拌溶解均勻形成【甲~丙溶液】。
2. 將氯化鋁烘乾後，利用 1M、0.1M、0.01M 食鹽水配製 2M 的氯化鋁/食鹽水水溶液 50mL，再加入 1 克醋酸鈉，攪拌溶解均勻形成【丁~己溶液】。
3. 將上述溶液利用電解質導電效益裝置，評估導電情形。

(二) 實驗結果

表 3-3-4-1 不同種類與濃度的電解液，測得的各項結果

編號	電解液種類	電壓(V)	電流(mA)	P 值
甲	1M 鹽酸	0.86±0.01	6.5±0.2	5.78±0.05
乙	0.1M 鹽酸	0.80±0.01	4.9±0.3	3.87±0.25
丙	0.01M 鹽酸	0.82±0.00	5.1±0.4	4.21±0.34
丁	1M 食鹽水	無法測量		X
戊	0.1M 食鹽水	0.99±0.01	6.5±0.4	6.42±0.32
己	0.01M 食鹽水	0.81±0.01	5.5±0.1	4.48±0.10

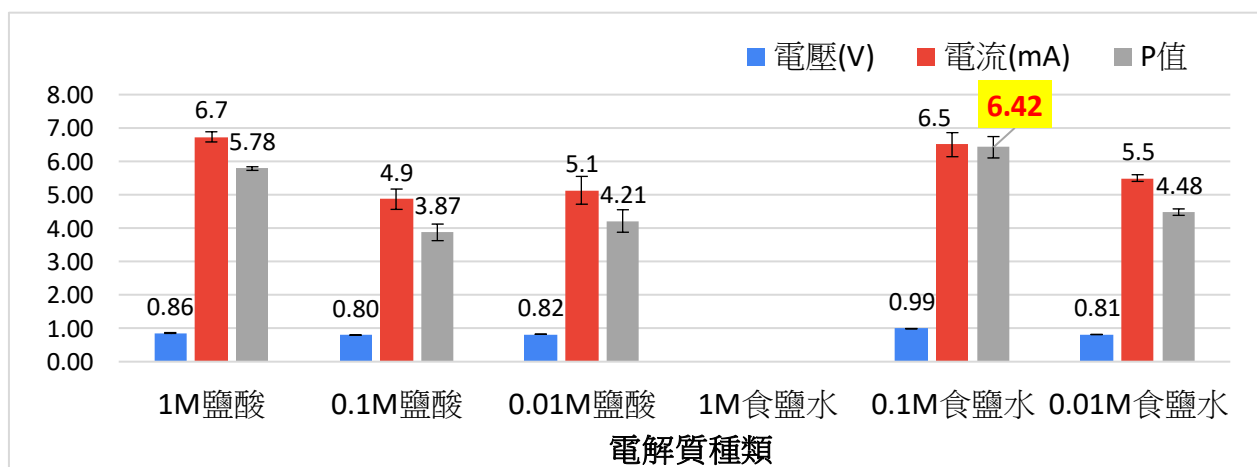


圖 3-3-4-1 負極鋁片在各種塗層後，測得電壓、電流與 P 值的結果比較

(三) 結果與分析

1. 鋁離子的電解液需要有氯鋁酸根離子($AlCl_4^-$)，即氯化鋁溶液須與氯離子反應使得而成，因此選擇鹽酸和食鹽水來配製電解液。
2. 以 1M 食鹽水配製時，產生大量沉澱，無法測量，推測是鈉離子的加入，產生氯鋁酸鈉的沉澱，降低氯鋁酸根的濃度。
3. 本實驗發現利用 0.1M 食鹽水配製的電解液，有較高的 P 值，發電效益最佳。

實驗五：製作正極材料-炭化稻殼紙

由前述實驗一和二的結果可看出，正極最佳載體為明膠，最佳碳材為酸洗後的炭化稻殼，並搭配銅片作為電流導出材料，以此為主進行以下實驗。

【實驗五之 1】將碳材浸潤不同溶液對充電效益的影響

由實驗四的結果，得知戊溶液的導電效果最好，查看鋁離子電池的反應機制，充電時會將四氯化鋁離子嵌入碳材中，因此思考若事先浸泡，或使用微波處理，會不會有更好的結果，於是進行以下實驗。

(一) 實驗步驟

1. 分別依照下列方式製作碳膠配方

表 3-3-5-1 碳膠的製作方式

碳膠編號	碳膠製作方式
1 號膠	3g 酸洗炭化稻殼/1g 0.1M NaCl _(aq) /5g 明膠，混和均勻
2 號膠	5g 酸洗炭化稻殼/20g 戊溶液/浸泡 3 分鐘→過濾後取 3g 碳材+5g 明膠混和均勻
3 號膠	5g 酸洗炭化稻殼/20g 戊溶液/微波 30 秒→過濾後取 3g 碳材+5g 明膠混和均勻

2. 使用刮刀將上述碳膠，分別均勻塗抹在 8.4cm*16.8cm 的濾紙上，碳膠朝外反摺後，其中一面接觸銅片，一面接觸電解液。

3. 在 8.4cm*8.4cm 的鋁箔上塗上 PVA 晾乾。


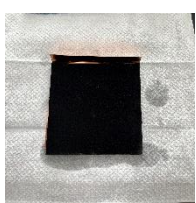
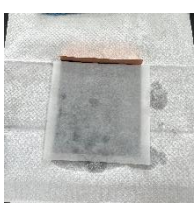



4. 將電池依下列步驟組裝好，進行未充電前的測試，

如圖 3-3-5-1。



圖 3-3-5-1 測試自製電池的放電效益
(此照片由第二作者拍攝)

表 3-3-5-2 自製炭化稻殼紙/鋁電池的組裝過程

					
放置磨亮的銅片	鋪上反摺碳紙	鋪上含電解液的濾紙	鋪上塗好 PVA 的鋁箔	蓋上玻璃片	押上 1kg 重物

(照片由第二作者拍攝)

5. 將其以 5V 直流電源進行充電，並用手机錄影，紀錄實測結果。

(二) 實驗結果

表 3-3-5-3 各種碳膠在充電後的放電效益(碳膠塗一面後反摺)

碳膠編號	1 號膠		2 號膠		3 號膠	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電取三次平均	0.655	0.844	0.603	0.710	0.607	0.360
充電 1 分後放電初始	0.735	67.400	0.667	64.700	0.626	55.600
充電 1 分後放電 1.5 分後	0.739	52.300	0.697	13.100	0.662	5.300
再充電 1 分後放電初始	0.748	78.900	0.663	52.300	0.612	61.200
再充電 1 分後放電 1.5 分後	0.737	62.900	0.695	11.000	0.655	5.100

(三) 結果與分析

1. 三種碳膠在充電後電壓均提高，但幅度並不大。
2. 三種碳膠在充電後電流均大幅提高，放電 1.5 分鐘後，電流值：1 號膠>2 號膠>3 號膠，且 1 號膠高於其他兩種許多。
3. 整體表現為 1 號膠最好，3 號膠最差；但 1 號膠在充電時產生大量的氣體與刺鼻味，推測為氯氣，且非鋁電池的反應機制，因此捨棄不用。
4. 此實驗在充電後，電壓並未升高，推測是將濾紙反摺後，中間簍空部分與濾紙厚度增加影響其導電度，使四氯化鋁離子未能嵌入碳材中，因此電壓未能提高。

【實驗五之 2】碳紙材填塗的方式對充電效益的影響

上述實驗發現 1 號膠在充電時會產生大量氣體，因此捨棄不用，且為了增加導電性，我們把填塗的方式改成一張紙塗兩面。

(一) 實驗步驟

1. 取 3g 的石墨粉+ 5g 明膠，混和均勻成石墨膠。
2. 分別在 8.4cm*8.4cm 的濾紙上，均勻塗抹石墨膠、2 號膠、3 號膠，一面塗完後烘乾，再塗另外一面，再依實驗五之 1 方式，紀錄充放電的實測結果

(二) 實驗結果

表 3-3-5-4 將一張紙兩面填塗各式碳膠在充電後的放電效益

碳膠編號	石墨膠		2 號膠		3 號膠	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電取三次平均	0.629	13.333	0.601	4.600	0.564	4.420
充電 1 分後放電初始	0.618	116.6	0.573	110.0	0.751	101.5
充電 1 分後放電 1.5 分後	0.614	63.5	0.531	72.7	0.612	15.3
再充電 1 分後放電初始	0.618	81.1	0.531	109.8	0.583	116.8
再充電 1 分後放電 1.5 分後	0.618	47.3	0.668	52.5	0.619	38.8
最後的 P 值	29.231		35.070		24.017	

(三) 結果與分析

1. 未充電前以石墨膠的效果最好，充電後石墨膠的電流一開始升很高，但下降速度太快，最終效果反而沒 2 號膠好。
2. 在充放電後，2 號膠的電壓電流仍能維持，且 P 值最高，整體表現最優。

【實驗五之 3】加入二氧化錳對充電效益的影響

由實驗五之 1 發現，碳紙電池充電後的電壓並未提升許多，且有些許的氣體產生，致使最後電池效能降低，因此嘗試加入二氧化錳作為去極劑，希望藉此能提升充電效益。

由前述實驗結果也發現，未充電前石墨膠的各項表現較好，但充電後反而較差，推測其擁有較好的導電性，但在充電時較無法讓四氯化鋁離子嵌入，於是碳紙的塗抹方式改採成一面塗上石墨膠(面向銅片)，烘乾後再塗上炭化稻殼膠，觀察其充電效益。

(一) 實驗步驟

1. 電池組裝的負極皆為鋁箔塗上 PVA，正極導出物皆為銅片。
2. 碳紙面向銅片為烘乾石墨膠，一面塗上自製碳膠成分配方，如表 3-3-5-5 所示。

表 3-3-5-5 各式電池中，添加二氧化錳的方式

	負極鋁箔上的 PVA 與電解質間是否灑二氧化錳	電解質與碳紙間是否灑二氧化錳	濾紙塗上自製碳膠成分
電池 1	無	無	2 號膠
電池 2	是	是	2 號膠
電池 3	是	無	2 號膠中加入二氧化錳均勻混和
電池 4	是	無	2 號膠烘乾後，再塗一層電池 3 中的膠

3. 再依實驗五之 1-1 方式，另外再充電 5 分鐘，紀錄充放電的實測結果

(二) 實驗結果

表 3-3-5-6 各電池(不同添加二氧化錳的方式)其充電效益的結果

電池編號	1		2		3		4	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電平均	0.753	5.597	0.782	5.380	1.026	26.400	0.724	2.937
充電 1 分後放電初始	1.183	100.4	0.904	52.7	1.010	82.4	0.772	16.000
充電 1 分後放電 1.5 分後	0.754	9.9	0.765	12.4	0.900	37.9	0.733	3.640
再充電 1 分後放電初始	1.162	99.0	1.259	65.1	1.286	82.4	0.869	18.200
再充電 1 分後放電 1.5 分後	0.765	10.5	0.901	16.9	0.943	40.7	0.781	4.500
再充電 5 分後放電初始	1.199	96.4	1.369	74.0	1.382	98.8	0.968	25.400
再充電 5 分後放電 1.5 分後	0.952	19.4	1.169	34.2	1.089	80.6	0.846	6.900
最後的 P 值	18.469		39.980		87.773		5.837	

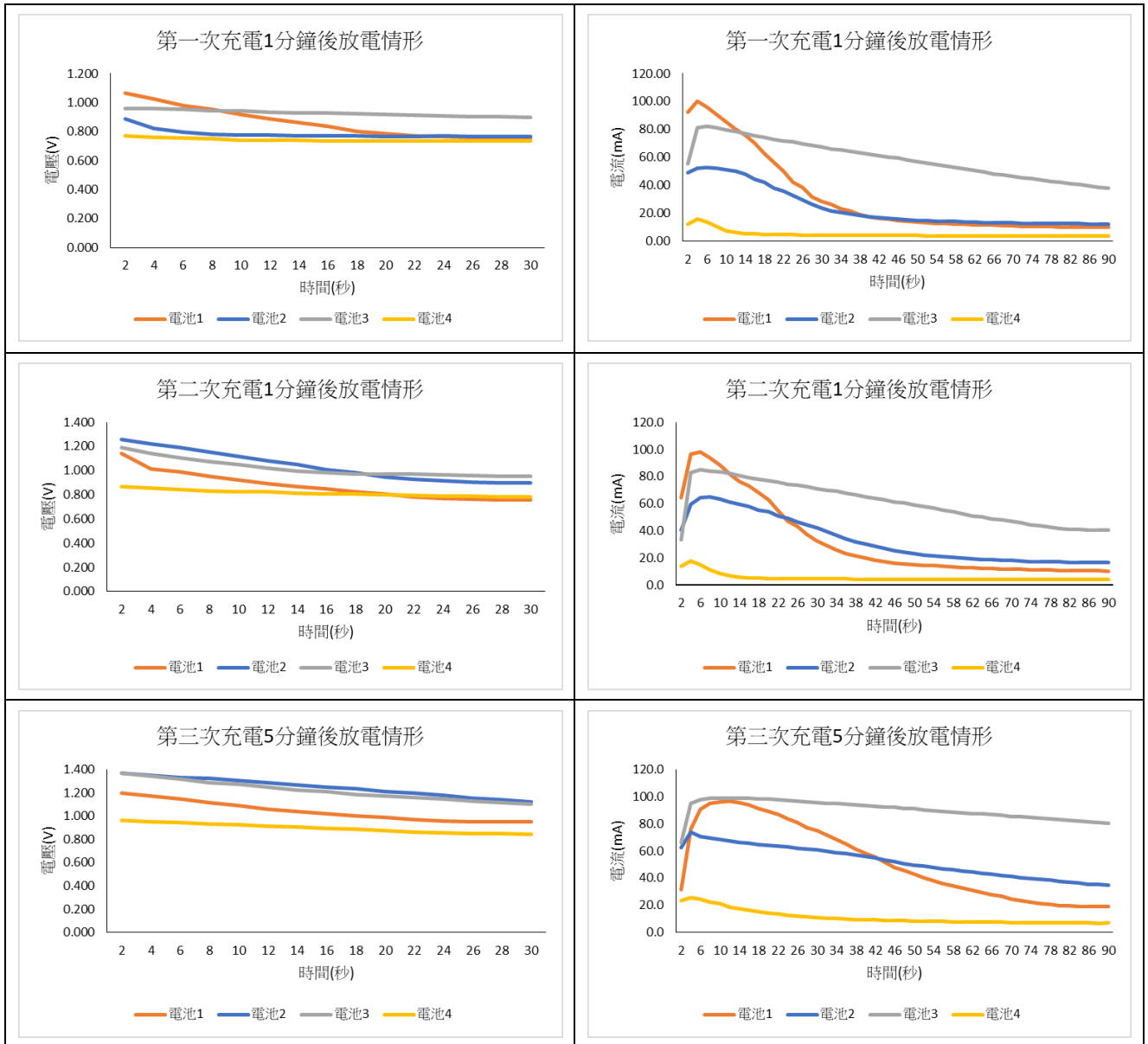


圖 3-3-5-2 各電池在充電後進行放電的實驗結果

(三) 結果與分析

1. 不加二氧化錳的電池 1，電壓、電流的穩定性均較差(下降趨勢較大)。
2. 雙層膠的電池 4 是一開始的電壓、電流都較其他電池低，推測是其雙層厚度與間隙影響其導電性。
3. 添加二氧化錳電池 2 和電池 3 均有較優表現，但添加方式以混入碳膠中的電池 3，較撒在隔層中的電池 2 要好，以電池 3 擁有最好的實測結果。

【實驗五之 4】炭化稻殼膠的填塗質量對充電效益的影響

(一) 實驗步驟

1. 依照實驗五之 3 中的電池 3 配方。
2. 將碳紙上的碳膠分別塗上 0.75g、1.5g、2.25g、3.00g、3.75g。
3. 充電 5 分鐘後，觀察其放電結果。

(二) 實驗結果

表 3-3-5-7 不同炭化稻殼膠的填塗質量所製得的電池，其充電效益的實驗結果

碳膠質量(g)	0.75		1.50		2.25		3.00		3.75	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電取三次平均	1.026	26.4	0.747	17.4	0.739	21.6	0.753	44.5	0.752	33.5
充電 5 分後放電初始	1.312	56.0	1.314	97.0	1.268	95.7	1.239	112.5	1.267	117.2
充電 5 分後放電 1.5 分後	0.955	31.2	0.937	53.3	0.959	84.0	0.952	108.2	0.973	110.9
最後的 P 值	87.773		49.942		80.556		103.006		107.906	

(三) 結果與分析

1. 以填塗 3.75 克的碳紙，表現效果最好，但其塗抹時已很難塗抹均勻，且當玻璃片壓下後會跑出來，因此我們決定採用效果差異不大的 3.00 克炭化稻殼膠，作為碳紙電極的填塗質量。

分析總結

濾紙一面塗上石墨明膠，另一面塗上 3.00 克參有二氧化錳的炭化稻殼(浸泡電解液 3 分鐘)明膠，並在塗有 PVA 的鋁箔與電解液間灑上二氧化錳，所製得的電池發電效益最高。

實驗六：電解質環境的再研究

(一) 實驗步驟

1. 依照實驗五之 4 電池組裝最佳效益的 3.00 g 碳膠，將電解質的濾紙增為 2、3 層。
2. 分別充電 5 分鐘，記錄其放電結果。

(二) 實驗結果

表 3-3-6-1 電解質的不同層數所製得的電池，其充電效益的實驗結果

碳膠編號	1 層		2 層		3 層	
	電壓(V)	電流(mA)	電壓(V)	電流(mA)	電壓(V)	電流(mA)
未充電取三次平均	0.753	44.5	0.739	73.8	0.762	27.7
充電 5 分後放電初始	1.239	112.5	1.296	137.1	1.306	97.7
充電 5 分後放電 1.5 分後	0.952	108.2	1.022	129.0	0.872	79.0
最後的 P 值	103.006		131.838		68.888	

(三) 結果與分析

1. 充電後，三者的初始電壓值差異不大，但經過 1.5 分後，3 層的電壓下降最多，2 層表現最好。
2. 充電後，初始電流值為 2 層>1 層>3 層，1.5 分後排序一樣如此。


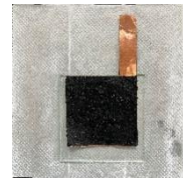
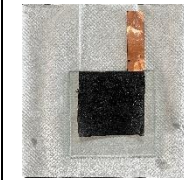
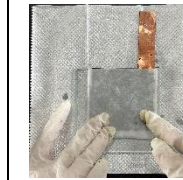
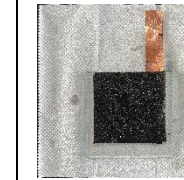
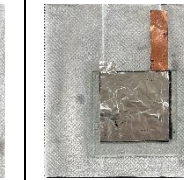
實驗七：自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池

【實驗七之 1】組裝電池

(一) 組裝步驟

按照上述實驗結果中的最佳裝置，如下步驟製作可充式炭化稻殼紙/鋁電池：

表 3-3-7-1 自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池的組裝過程(本表照片皆由第一作者拍攝)

					
放上集電銅片	放上最佳配方碳紙	修剪成適當尺寸(小於電解質濾紙大小)	鋪上兩層含電解液的濾紙，並壓出氣泡	撒上二氧化錳	放上塗有 PVA 的鋁箔

(二) 電池示意圖，如下所示：

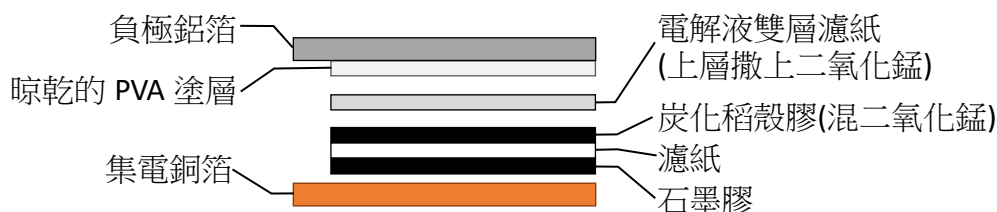


圖 3-3-7-1 自製炭化稻殼紙/鋁電池的示意圖(此圖由第一作者繪製)

(三) 實測結果

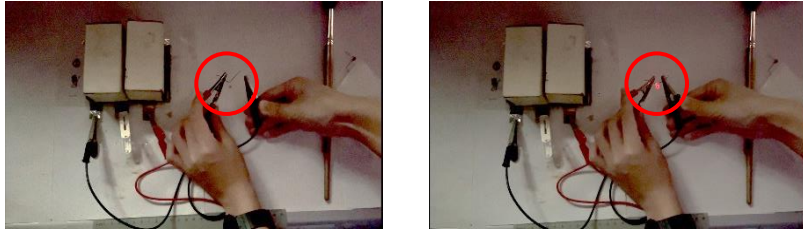


圖 3-3-7-2 將兩個電池分別充電 5 分鐘，串聯後成功點亮 LED 燈，並持續至少 72 天 (截至 113/06/12) (照片皆由第一作者拍攝)。

【實驗七之 2】充電時間對電池長時間放電的測試實驗

(一) 組裝步驟

1. 將自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池，分別充電 5、10、15 分鐘。
2. 利用 i-Pad 錄影紀錄，測試其 2 小時間的放電情形，如圖 3-3-7-3。



圖 3-3-7-3 自製電池在充電後放電的實測錄影(由左至右依序為充電 5、10、15 分鐘) (照片皆由第一作者拍攝)

(二) 實測結果

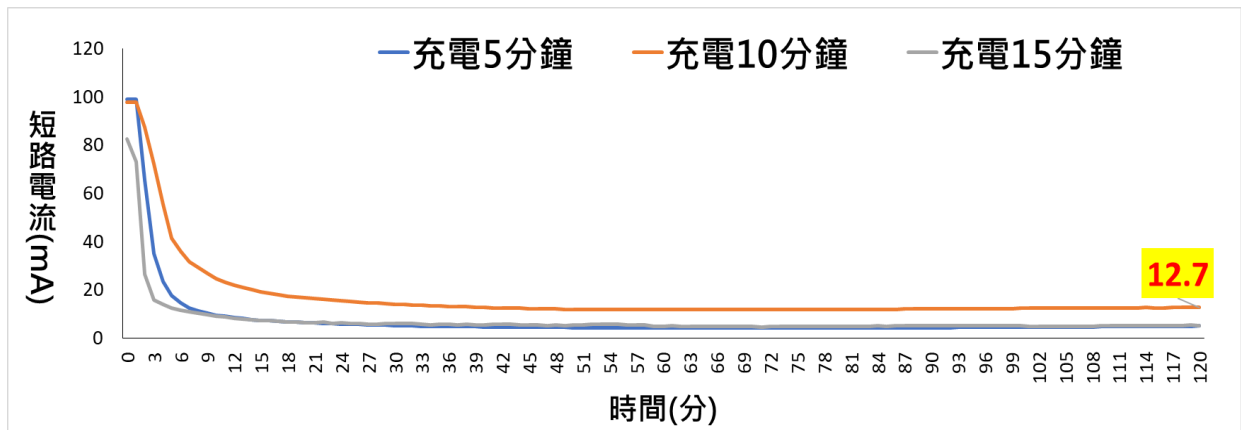


圖 3-3-7-4 自製電池在充電不同時間後，其 2 小時間的放電電流值

(三) 結果與分析

1. 開始放電後，前五分鐘電流下降較快速，經過 10 分鐘後趨於穩定，
2. 充電時間以 10 分鐘的表現最好，也最穩定。

【實驗七之 3】自製電池電容量的評估實驗

(一) 組裝步驟

1. 將兩顆自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池，分別充電 10 分鐘。
2. 串聯後接上小型風扇，觀察風扇運轉的情形，如圖 3-3-7-5，記錄其工作電流。



圖 3-3-7-5 自製電池的實測過程
(照片由第二作者拍攝)

(二) 實測結果

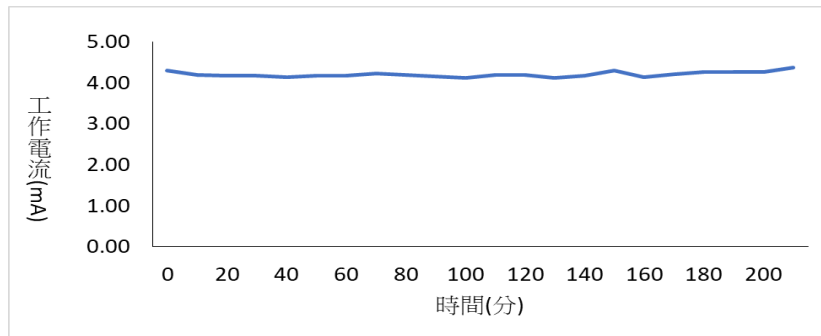


圖 3-3-7-6 自製電池在接上風扇後，其 3.5 小時的工作電流值

(三) 結果與分析

1. 風扇開始運轉後，電流維持在 4.11mA 到 4.37mA 間，持續達 215 分鐘。
2. 期間平均電流為 4.20mA，計算出其電容量為 $4.2 \times 3.5 = 14.7 \text{mAh}$ 。
3. 工研院於 2020 年研發出的鋁電池，其電容量為 100 mAh/g，顯示我們利用炭化稻殼紙/鋁電池，仍有一大段改良的空間。

【實驗七之 4】自製電池充放電的評估實驗

(一) 實驗步驟

1. 接續上述實驗，待風扇不運轉時，再充電 10 分鐘，觀察風扇運轉情形。
2. 重複充放電 4 次，並記錄運轉期間的平均工作電流。

(二) 實驗結果

表 3-3-7-2 自製電池循環充放電的實驗結果

充電次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
運轉時間(分)	215	35	34	30	42
運轉時的平均工作電流(mA)	4.20	4.16	4.15	4.22	4.20

(三) 分析討論

1. 風扇開始運轉後，平均工作電流大約在 4.15mA 到 4.20mA 間，若小於 4mA，風扇即停止運轉，但仍有 3 點多 mA 的工作電流。
2. 重複充電 4 次，皆可使風扇運轉約 30~40 分鐘，顯示此電池可重複充放電。

肆、結果與討論

- 一、我們一開始使用探針式的三用電表，測量時電壓和電流均不穩定，且探針會將膠體戳洞。後來改使用鱷魚夾式夾住電極，且搭配銅片的使用，結果電壓和電流之數值便較穩定，推測以手操作容易產生誤差而影響測量。
- 二、我們嘗試利用市售的石墨片來與本作品自製的正極碳紙進行比較，所得結果如下：

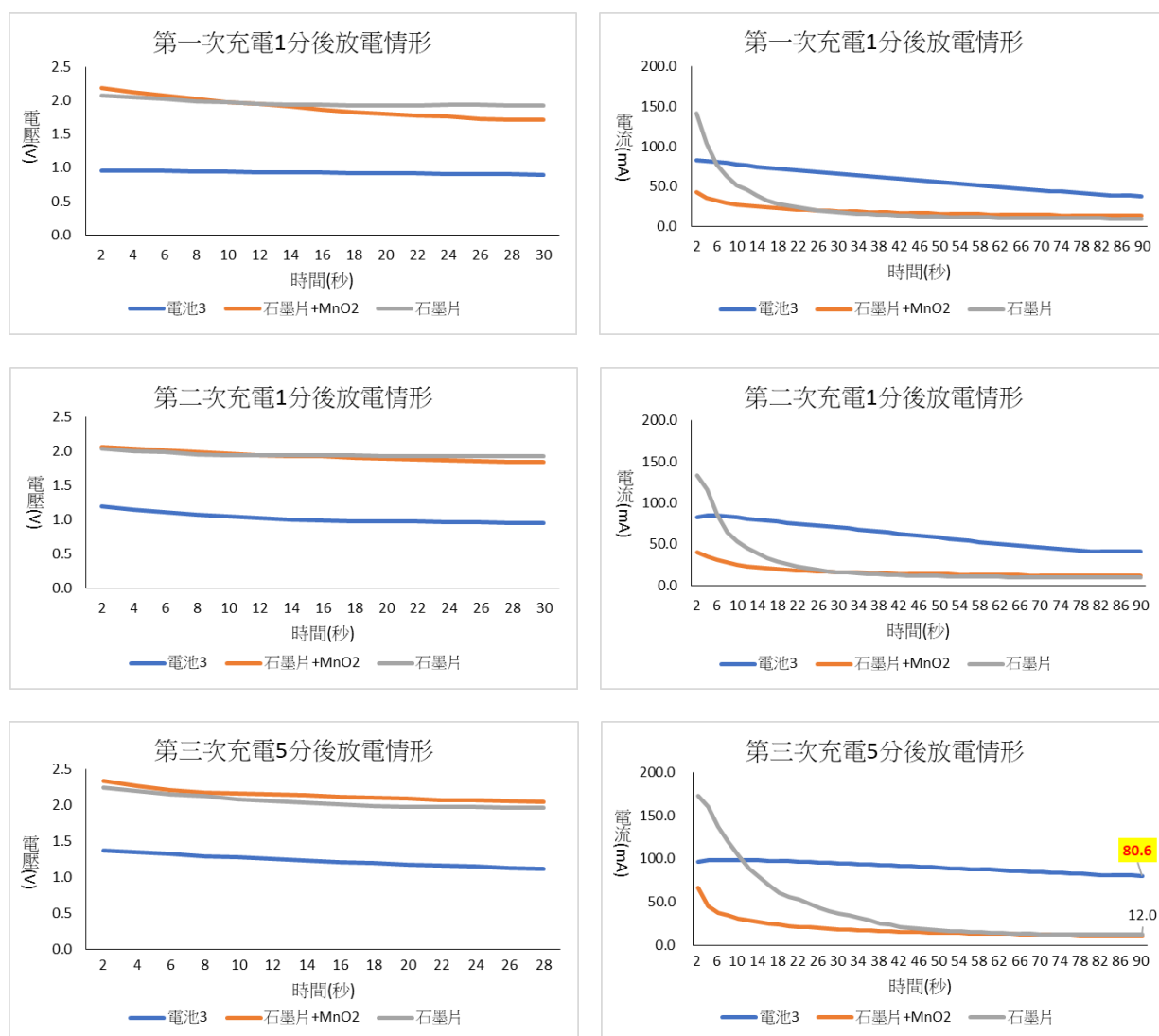


圖 4-2-1 自製碳紙電極與市售石墨片電極所製成的電池在充電後，其放電電壓、電流對時間的曲線圖

在充電後，「石墨片/鋁電池」電壓較自製「碳紙/鋁電池」高，但電流表現一開始衝很高，不管是否添加二氧化錳，摔降幅度均很大，不論第幾次充電後，在放電達 1.5 分鐘時，電流值皆較自製電池小很多，整體的 P 值以自製的「炭化稻殼紙/鋁電池」，表現優於「市售石墨片/鋁電池」。

伍、結論

- 一、正極最佳材料-食用醋處理後的炭化稻殼，載體為環保明膠，材料與載體質量比例 3:5，並加入 0.8g 二氧化錳，以取 3.0g 的碳膠均勻塗抹在濾紙上，另一面為石墨膠，組合成碳紙/鋁電池的正極材料-碳紙電極。
- 二、在負極鋁片塗上 PVA 晾乾，是最佳的塗層方法，。
- 三、最佳電解液 2M AlCl₃ /0.1M 食鹽水/5 克 CH₃COONa，並使用兩層濾紙，每張濾紙滴上 3mL 電解液。
- 四、串聯兩顆自製「可充式炭化稻殼紙/鋁電池」能成功點亮 LED 燈，並持續 72 天；並可使風扇運轉 215 分鐘，並重複至少 4 次循環。
- 五、本電池可運用在彎曲式表面的電子器材，相對於其他鋁電池，本作品多採用食品級材料，且為薄型，期盼爾後可用於幼兒玩具的電池，可避免幼兒吞食而發生危險。
- 六、本研究自製的炭化稻殼紙/鋁電池，使用銅箔、碳紙、鋁箔等材料，厚度僅 0.7mm，計算成本約為 20 元，具有低汙染、低成本、超輕薄、可充電、可彎曲等多項優勢，與第 59 屆科展作品進行比較如表 4-1。

表 4-3-1：本作品與歷屆科展作品優劣比較

	「鋁」戰「鋁」勝-G4 代鋁電池	本作品
正極材料	碳煙	使用廢棄稻殼製成的炭化稻殼
正極載體	透明漆	使用較環保無毒的防水明膠配方
電解質	AlCl ₃ /鹽酸/醋酸鈉緩衝溶液	AlCl ₃ /食鹽水/醋酸鈉溶液
電解質載體	澱粉/宣紙	無/濾紙
負極材料	鋁片	鋁箔
負極改質	卵磷脂	環保、好塗抹的 PVA
開路電壓	充電後最高 1.14V	充電後最高 1.296V
短路電流	充電後最高 1.57mA	充電後最高 137.1mA
成本	未提及	20 元/8cm*8cm

陸、參考文獻資料

- 一、 陳德怡(2015)。未來儲能應用-鋁離子電池潛力無窮。工業技術與資訊月刊/工業技術研究院。
- 二、 未來的電池特輯：(三) 鋁離子電池。科技產業資訊室 (iKnow) - 陳姿穎 發表於 2015 年 10 月 1 日 <https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=11618>
- 三、 紙電池介紹。百科知識中文網
<https://www.jendow.com.tw/wiki/%E7%B4%99%E9%9B%BB%E6%B1%A0>
- 四、 東海應物網路課程-開路電壓與短路電流 <https://physcourse.thu.edu.tw>
- 五、 廖彥森、李耕宇等(2017)。利用摺紙藝術製作發電裝置。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會化學科。
- 六、 林黃媛、黃品淳等(2018)。一步合成碳奈米複合材料與奈米碳管應用於超級電容電極修飾。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會化學科。
- 七、 李欣穎等(2018)。「紙」能生電?!—自製薄膜電池效能分析。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會化學科。
- 八、 林宇亮、黃爾亮、李沛誼等(2019)。「鋁」戰「鋁」勝 --- 可撓式鋁電池的研究。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會化學科。
- 九、 陳庠宇、鄭宇廷、林沅宥等(2019)。以 top-down 方法合成孔洞碳材應用於 EDLC。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會化學科。
- 十、 楊詠綦、薛宜珊、陳育堂等(2020)。只(紙)是(式)電池。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會化學科。
- 十一、高苡瑄、楊俐玟、莊杰叡等(2021)。碳為觀止-回收式生物炭吸附光解膠囊。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會化學科。
- 十二、王泰翔(2022)。低成本鋁離子二次電池研製。中華科技大學機械工程系機電光碩士班碩士學位論文。
- 十三、姚奕丞、陳韻淇、陳宥甄等(2023)。呷二氧化碳ㄟ電池。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會化學科。

【評語】 032906

本作品利用炭化稻殼，製作碳紙作為鋁二次電池的正極，並重複了數次的充放電循環。在碳電極的製作上，探討了不同的膨脹脫層條件、酸洗等，同時也探討了正極的載體、負極上的塗層以及電解質配方的影響，解析不同變因對電池效能的影響，最終展示了對環境友善及材料再利用的創新應用，可望對持續發展和環境保護做出了積極貢獻。研究的進行有清楚的目的，後續仍有繼續研究發展的潛力。以下建議供同學參考：

1. 漢堡式電阻量測中，若持續增加重物，是否電阻能繼續下降？建議可以持續增加重物，直到量測到的電阻值不再有顯著變化。
2. 單純的「開路電壓×短路電流」不是一個理想的指標，若無法量測完整的 IV 圖，建議量測並報導“最大功率”下的 P 值。
3. 雖然製成的電池能提供一定的電壓，且相較於歷屆相關科展議題的成果，有明顯推進。然而，初始短路電流仍僅有為 137.1 mA，恐離實際應用尚有進步的空間，建議能思考如何提高電流。

4. 電池儲存電量的效率為何？或許可以量測在一定電壓範圍內，充電過程累計的電量值，並比較在相同電壓範圍內放電的總電量值，評估充放電的效率與能量損耗。
5. 作品說明書第 26 頁圖 3-3-7-4 中，為何充電 10 分鐘後放電的電流值較高，且似乎穩定在 12.7 mA，即最終短路電流不是 0？相似的，第 28 頁圖 4-2-1 中，為何電池 3 的電壓較低但電流較高，且電流下降的幅度較石墨片與石墨片+MnO₂ 不顯著？若換算為放電期間的總電量或總功率（宜避免目前簡化的 P 值），何者較高？
6. 在「可彎曲」的論述上，建議能提供對應的實驗數據，例如彎曲到何種區率半徑仍能正常運作、彎曲次數對電池效能的影響等量化實驗，以支持此結論。
7. 建議可以用顯微鏡觀察不同條件製備的炭化稻殼，或許可以得到更多資訊。
8. 本作品以表格充分匯整歷屆科展得獎作品，從中萃取所需的元素，發想出本作品的主架構是一件好事，但回顧內容應以自己的文字撰寫，或需要明確標註為引用他人文字，不應直接使用他人撰寫的文句。

作品簡報

「稻」出「鋁」想



「充」能力



摘要

本研究利用農業廢棄物再加工後的-炭化稻殼，經食用醋處理後搭配環保防水明膠配方製成炭紙電極，作為可充式鋁電池的正極材料；負極則是在鋁箔上塗一層環保無毒的PVA；電解液使用2M氯化鋁/0.1M食鹽水/5g醋酸鈉，吸附在濾紙上，成功製作出可充式「炭化稻殼紙/鋁電池」，充放電循環3次後，放電的初始開路電壓最高可達1.296V，初始短路電流可達137.1mA，串聯兩個電池後，成功使LED燈發光持續達100天以上，亦可推動風扇在約4mA的工作電流下維持215分鐘。本作品多使用食品級的環保材料，較以往作品具有低汙染、低成本、超輕薄、可充電、可彎曲等多項優勢，充電後的穩定性更優於市售石墨片電極，可連續多次充放電，期待能為綠能發電的儲能系統，增添一股永續環保的新契機。

壹、研究動機

稻米的需求逐漸升高導致廢棄稻殼越來越多；再加上人們對電的需求越來越多，火力發電帶來的環境污染氣候變遷也愈來愈嚴重，綠能儲能已成為國家未來發展目標。

貳、研究目的

- (一) 利用炭化稻殼找到最佳正極材料載體。
- (二) 找到鋁電池的最佳電解液。
- (三) 找到負極改質的最佳方式。
- (四) 自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池。

參、研究過程與方法

一、研究流程圖

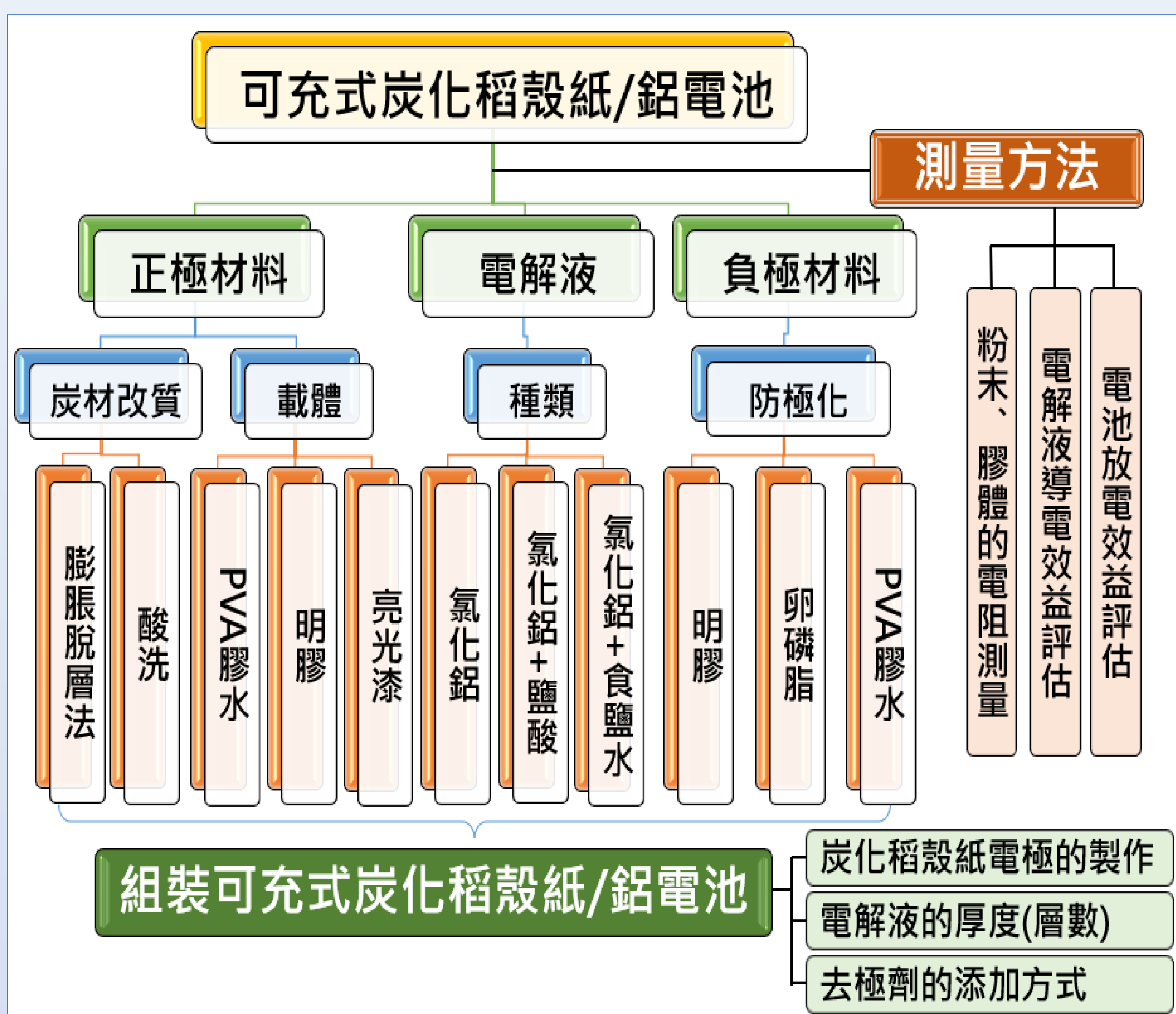


圖1 實驗架構圖

二、粉末電阻量測

◎ 漢堡式粉末電阻量測器

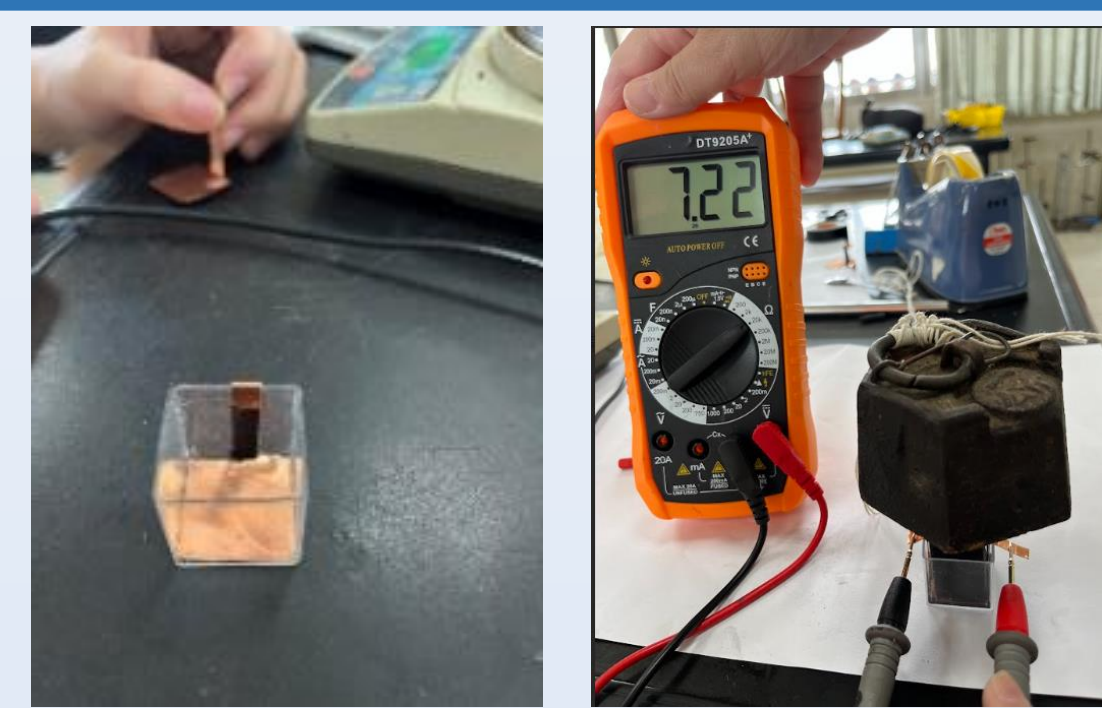
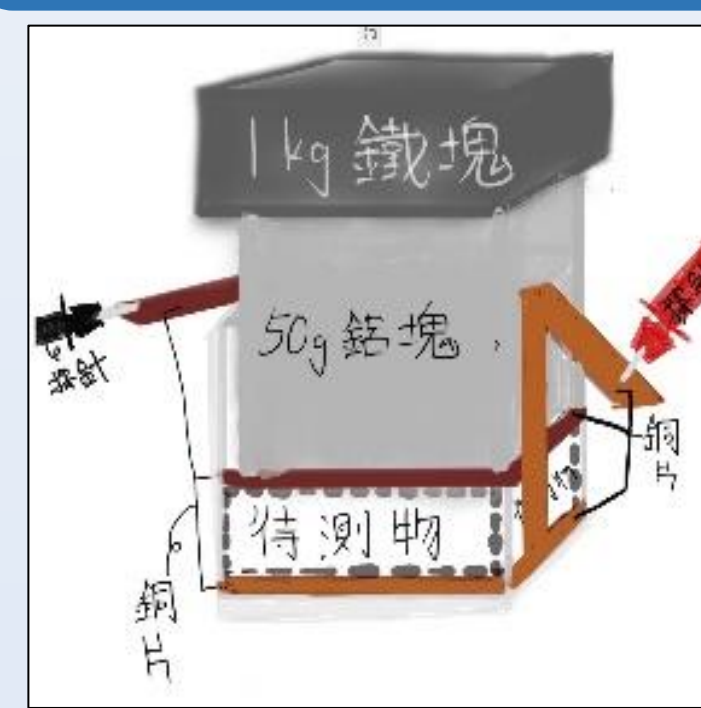


圖2 裝置示意圖

圖3 裝置實際測量圖

外加重物(gw)	第一次	第二次	第三次	平均值
0	4.90	9.30	9.22	7.81±2.52
150	7.60	8.10	8.26	7.99±0.34
250	4.80	5.03	5.18	5.00±0.19
1050	1.08	1.15	1.12	1.12±0.04

圖4 外加重物後的電阻值(單位：MΩ)

三、電池放電效益評估

$$P值 = 開路電壓 \times 短路電流$$

肆、研究結果

實驗一：找出最佳化的正極材料載體

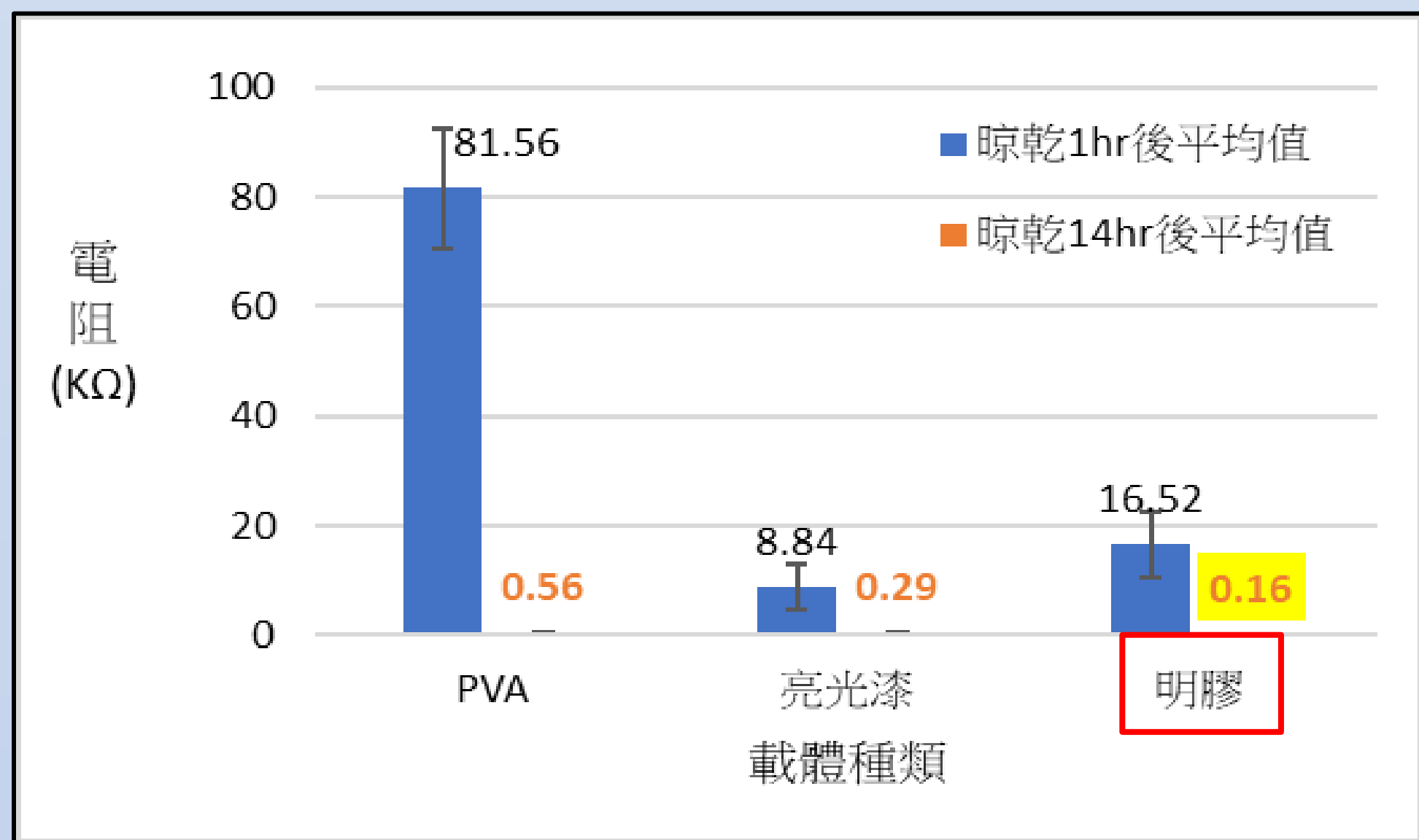


圖5 各種石墨膠體晾乾後的電阻值

表1 不同比例的石墨明膠的電阻(單位：Ω)

石墨質量(g)	質量比例 明膠:石墨	第1片			第2片			第3片			平均值
		第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次	
0.5	1:0.5	912	871	652	836	654	591	774	888	770	772
1.0	1:1.0	313	256	231	396	443	333	285	292	351	322
1.5	1:1.5	太乾了，無法塗上去									
2.0	1:2.0	太乾了，無法塗上去									
2.5	1:2.5	太乾了，無法塗上去									

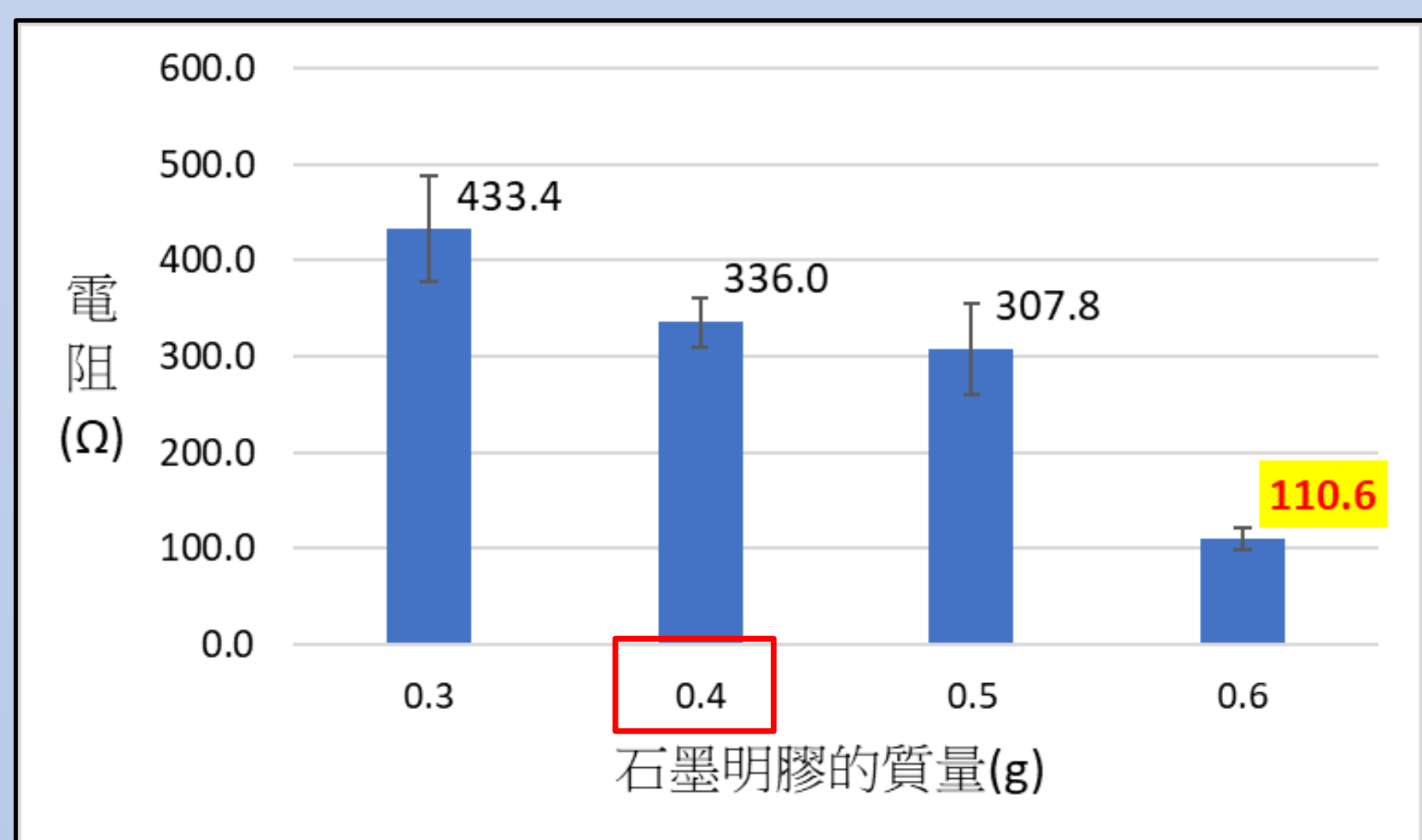


圖6 不同質量石墨明膠的電阻值

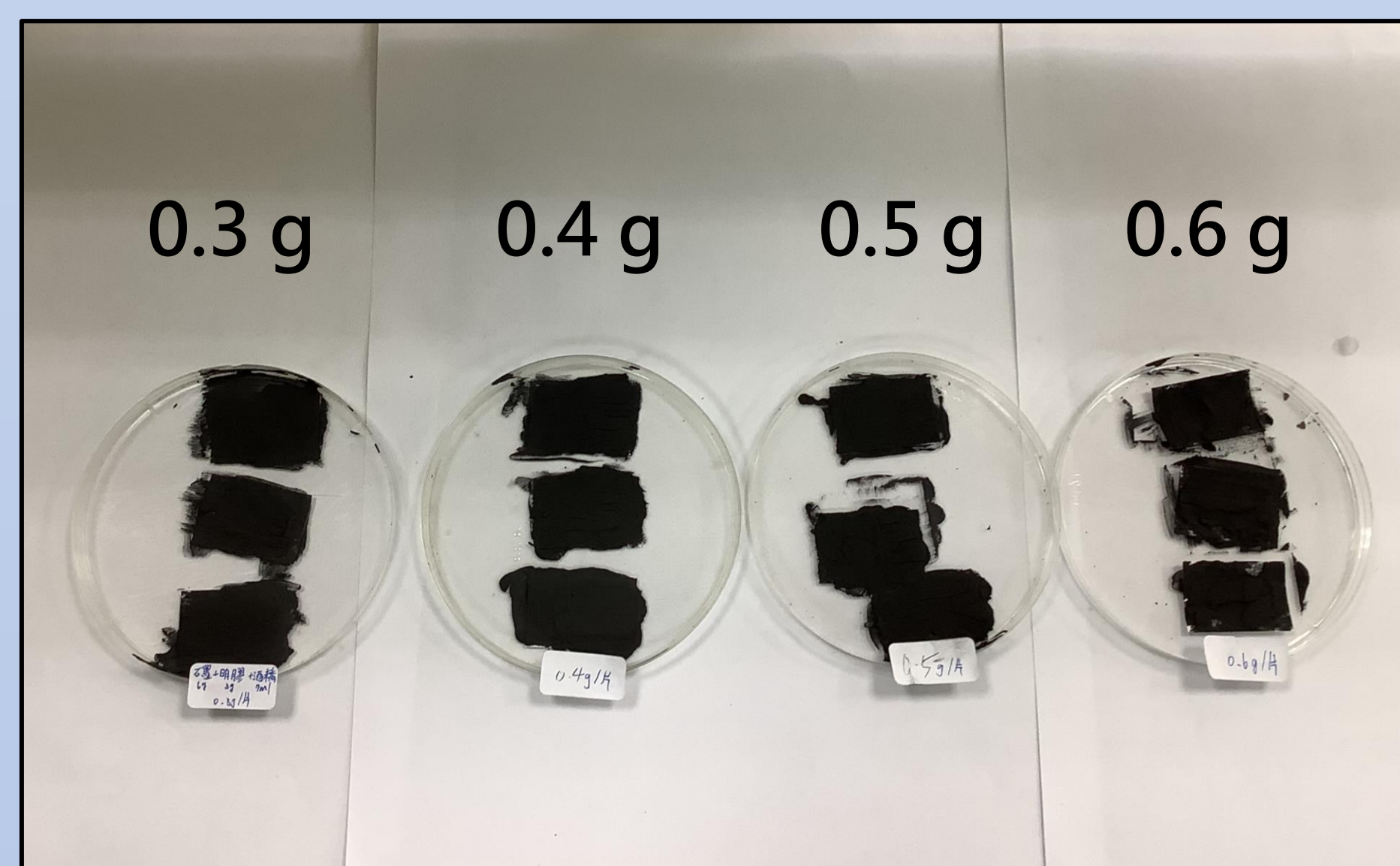


圖7 不同質量石墨明膠的實品

實驗二：找出正極炭材最佳化的改質方式

表2 炭化稻殼進行**爆米香脫層**實驗後的電阻

電阻值	樣品1	樣品2	樣品3	平均	標準差
是否有爆					
未爆(MΩ)	1.08	1.15	1.12	1.12	0.04
有爆(KΩ)	7.11	6.28	6.18	6.52	0.51

表3 添加**不同水量**在爆破後的炭化稻殼之電阻值

電阻(kΩ)	樣品1	樣品2	樣品3	平均	標準差
添加水量					
0.5 mL	34800	36800	35200	35600	1058
1.0 mL	19700	20400	21600	20567	961
1.5 mL	759	788	776	774	15
2.0 mL	7.11	6.28	6.18	6.52	0.51
2.5 mL	2.36	2.34	2.29	2.33	0.04
直接浸潤	1.97	1.05	0.91	1.31	0.58

表4 炭化稻殼經**不同方式處理**後之電阻值

電阻(Ω)	樣品1	樣品2	樣品3	平均	標準差
樣本名					
純炭化稻殼	5510.0	8070.0	7480.0	7020.0	1340.6
烘+磨+研磨	2820.0	4120.0	3530.0	3490.0	650.9
酸洗+過濾(未烘)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.1
酸洗+過濾(烘乾)	71.2	42.1	25.3	46.2	23.2

表5 不同**酸洗種類**處理炭化稻殼後之電阻值

電阻(Ω)	樣品1	樣品2	樣品3	平均	標準差
酸種類					
鹽酸	0.6	0.5	0.7	0.6	0.1
食用醋	68.8	68.2	68.6	68.5	0.3
檸檬酸	152.7	153.2	154.7	153.5	1.0

實驗三：負極塗層的種類對電壓的影響

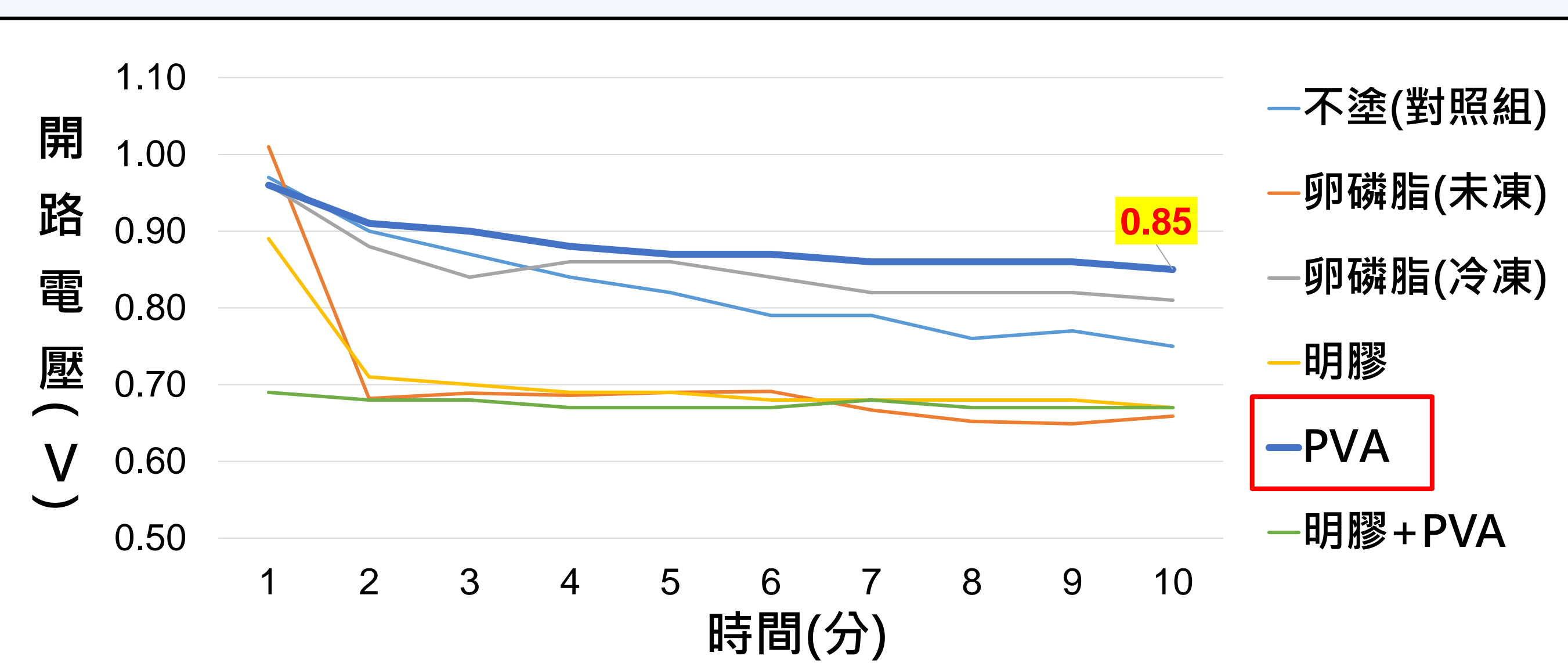


圖8 不同材料塗抹於**鋁片**上後之電壓變化

實驗四：找出電解液的最佳配方

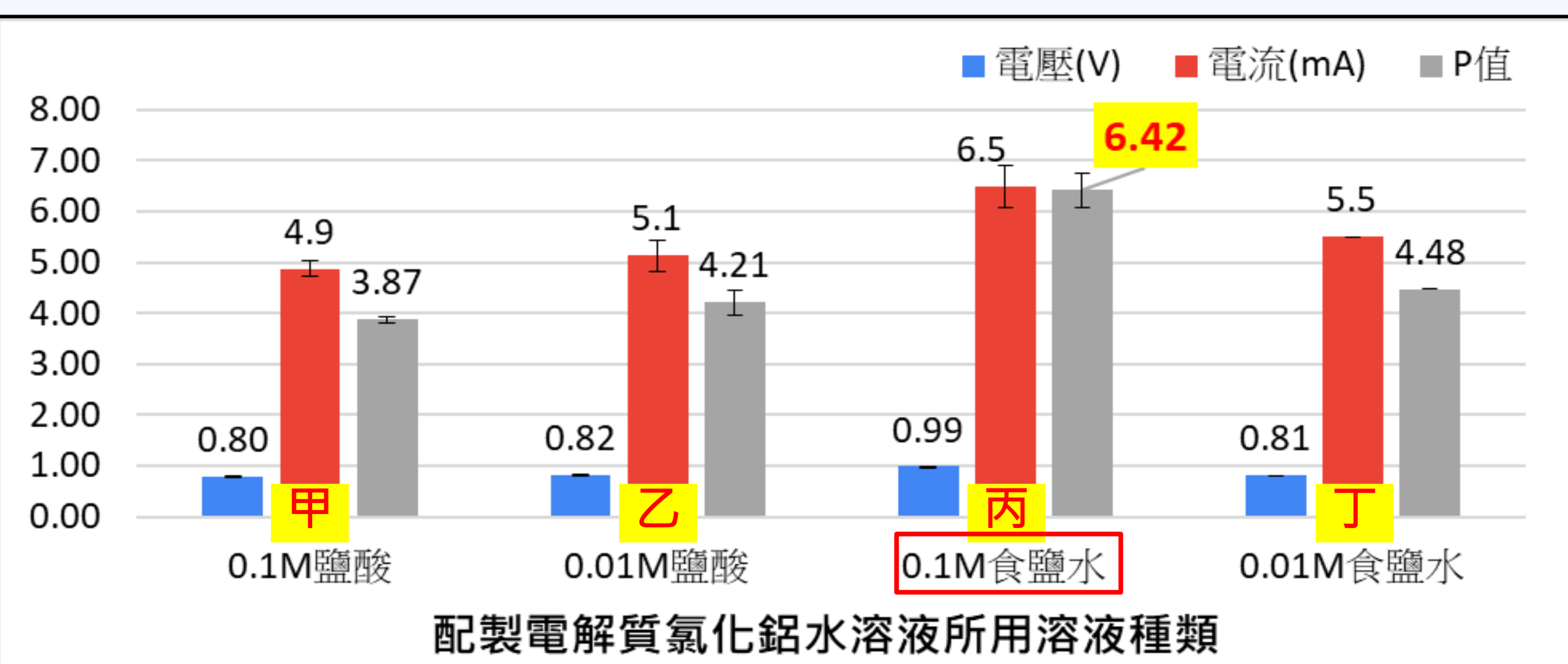


圖9 利用**不同溶液配製氯化鋁電解液**所得的導電效益

實驗五：製作可充式炭化稻殼紙/鋁電池

表6 酸洗**炭材**於**不同處理方式**製作炭膠之充放電變化

炭膠編號 (炭材處理方式)	1號膠 (浸泡鹽酸)		2號膠 (浸泡丙溶液)		3號膠 (與丙溶液微波)	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
測量結果						
未充電取三次平均	0.655	0.844	0.603	0.710	0.607	0.360
充電1分後放電初始	0.735	67.400	0.667	64.700	0.626	55.600
充電1分放電1.5分後	0.739	52.300	0.697	13.100	0.662	5.300
再充電1分後放電初始	0.748	78.900	0.663	52.300	0.612	61.200
再充電1分放電1.5分後	0.737	62.900	0.695	11.000	0.655	5.100
最後的P值	46.357		7.645		3.341	

表7 酸洗炭材**雙面填塗**後之充放電變化

炭膠編號	石墨膠		2號膠		3號膠	
	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
測量結果						
未充電取三次平均	0.629	13.333	0.601	4.600	0.564	4.420
充電1分後放電初始	0.618	116.6	0.573	110.0	0.751	101.5
充電1分後放電1.5分後	0.614	63.5	0.531	72.7	0.612	15.3
再充電1分後放電初始	0.618	81.1	0.531	109.8	0.583	116.8
再充電1分後放電1.5分後	0.618	47.3	0.668	52.5	0.619	38.8
最後的P值	29.231		35.070		24.017	

表8 不同添加**MnO₂**方式之充放電變化

電池編號	1		2		3		4	
正極MnO ₂ 添加方式	不加		撒在電解質與炭紙間		直接混在炭膠中		在炭膠上再塗一層二氧化錳膠	
負極MnO ₂ 添加方式	不加		添加		添加		添加	
測量結果	電壓(V)	電流(mA)	電壓(V)	電流(mA)	電壓(V)	電流(mA)	電壓(V)	電流(mA)
未充電取三次平均	0.753	5.597	0.782	5.380	1.026	26.40	0.724	2.937
再充電5分後放電初始	1.199	96.4	1.369	74.0	1.382	98.8	0.968	25.40
再充電5分放電1.5分後	0.952	19.4	1.169	34.2	1.100	80.6	0.846	6.900
最後的P值	18.469		39.980		88.660		5.837	

表9 炭膠不同**填塗質量**之充放電變化

炭膠質量(g)	0.75		1.50		2.25		3.00		3.75	
測量結果	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電取 三次平均	1.026	26.4	0.747	17.4	0.739	21.6	0.753	44.5	0.752	33.5
充電5分後 放電初始	1.312	56.0	1.314	97.0	1.268	95.7	1.239	112.5	1.267	117.2
充電5分後 放電1.5分後	0.955	31.2	0.937	53.3	0.959	84.0	0.952	108.2	0.973	110.9
最後的P值	87.773		49.942		80.556		103.006		107.906	

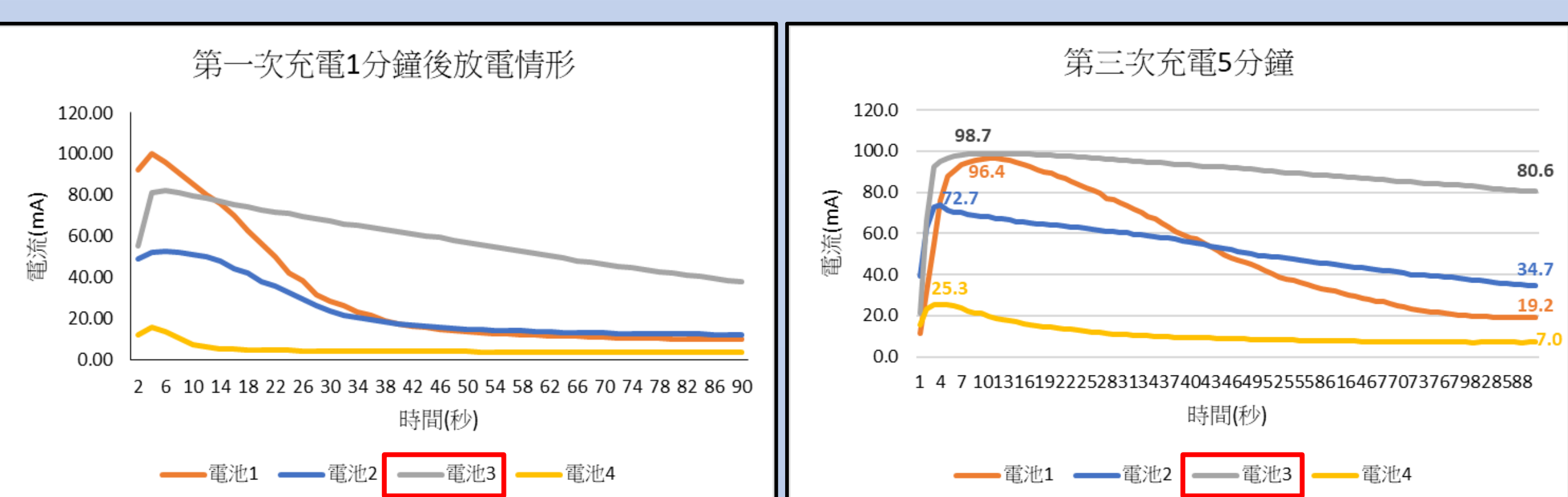


圖10 不同添加**MnO₂**方式製成的**電池1~4**在**第一次和第三次充電**後，放電的電流變化

實驗六：電解液的效益評估

表10 含電解液的不同濾紙層數之充放電變化

濾紙層數	1層		2層		3層	
測量結果	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)	電壓 (V)	電流 (mA)
未充電取三次平均	0.753	44.5	0.739	73.8	0.762	27.7
充電5分後放電初始	1.239	112.5	1.296	137.1	1.306	97.7
充電5分後放電1.5分後	0.952	108.2	1.022	129.0	0.872	79.0
最後的P值	103.006		131.838		68.888	

實驗七：自製可充式炭化稻殼紙/鋁電池的充放電效益評估

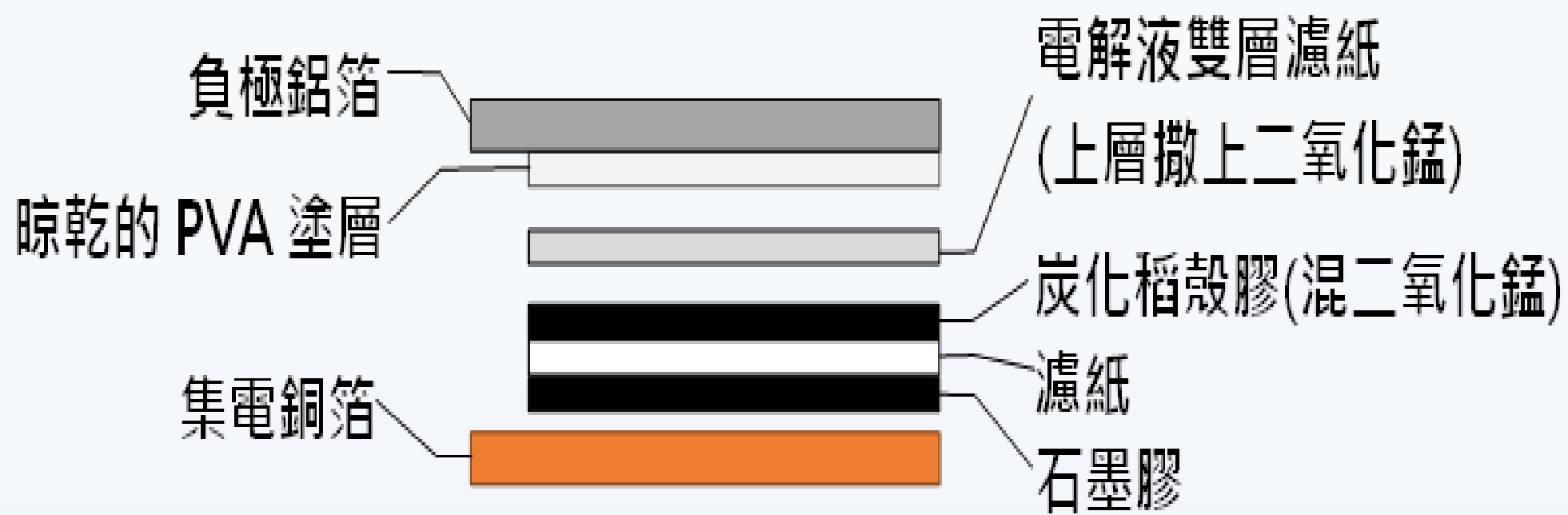


圖11 自製電池的分層示意圖

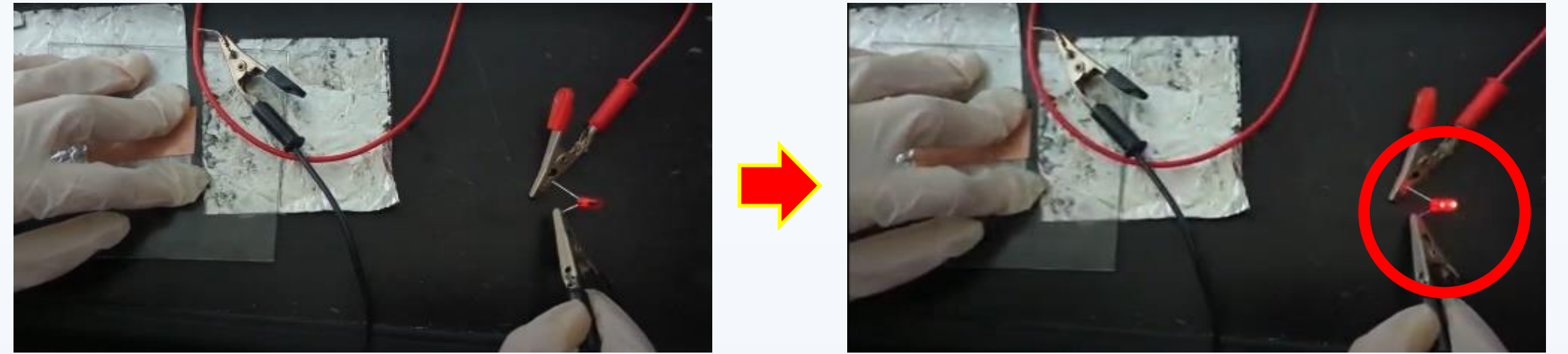


圖12 自製電池成功點亮LED燈



圖13 自製電池在充電不同時間後，放電2小時的實測錄影及電流變化

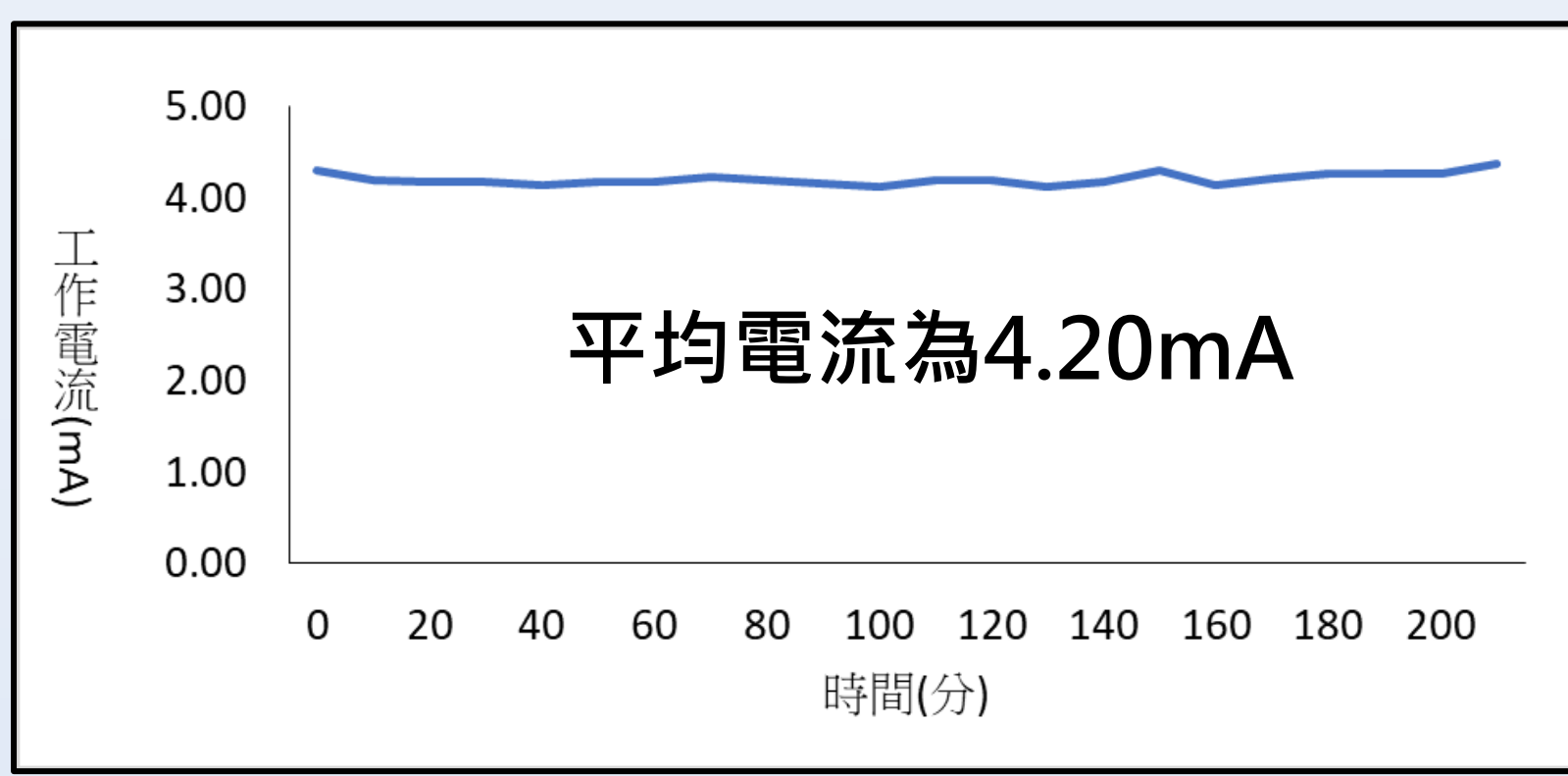
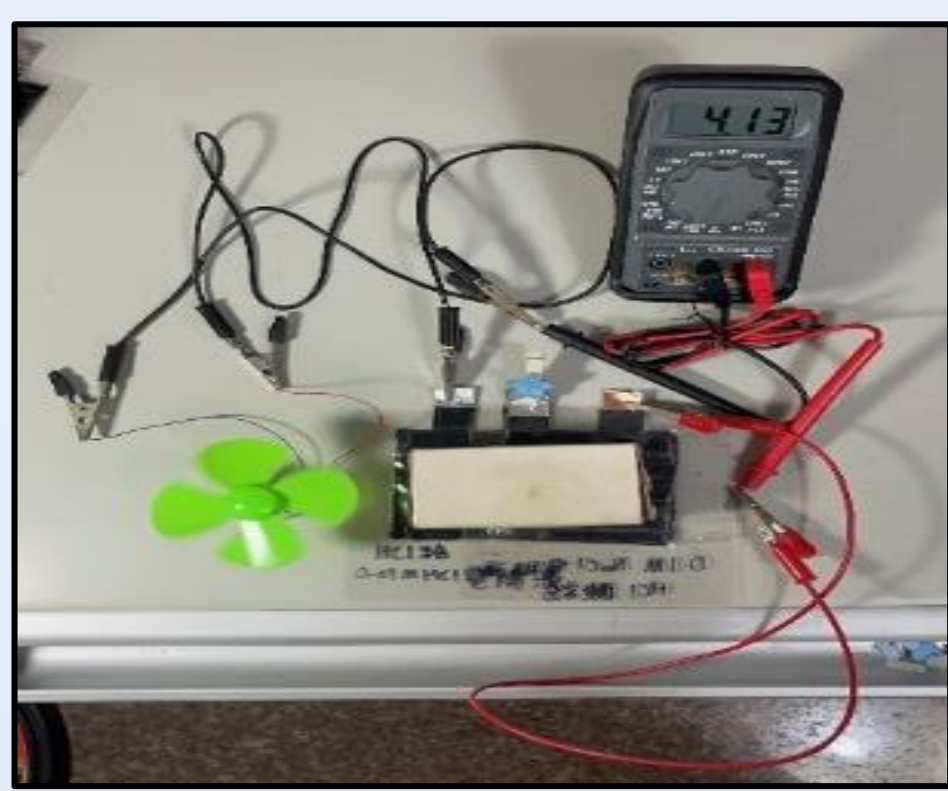
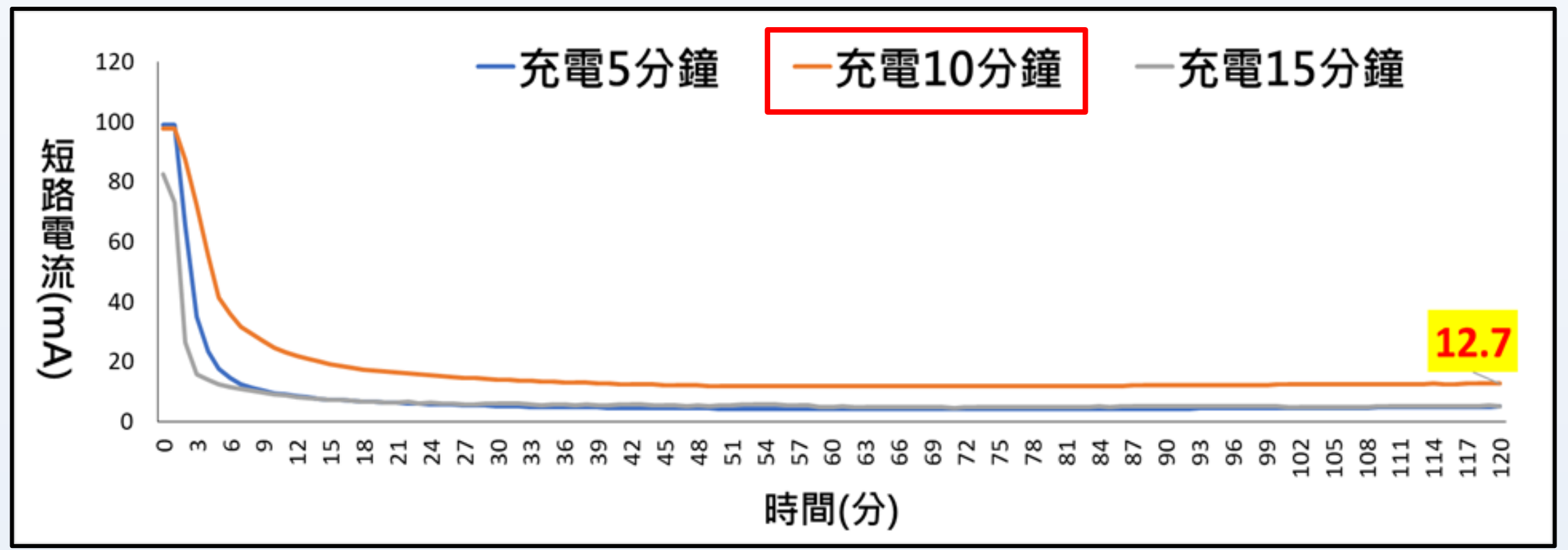


圖14 自製電池電容量的評估實驗實測錄影及電流變化

表11 自製電池循環充放電的運轉時間及平均電流

充電次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
運轉時間(分)	215	35	34	30	42
運轉時的平均工作電流(mA)	4.20	4.16	4.15	4.22	4.20

圖12、13、14照片皆由第一作者和第二作者拍攝

伍、討論

- 我們使用鱷魚夾式夾住電極，且搭配銅片的使用，結果電壓和電流之數值便較穩定，推測以手操作容易產生誤差而影響測量。
- 我們嘗試利用市售的石墨片來與本作品自製的正極炭紙進行比較，所得結果如圖15。

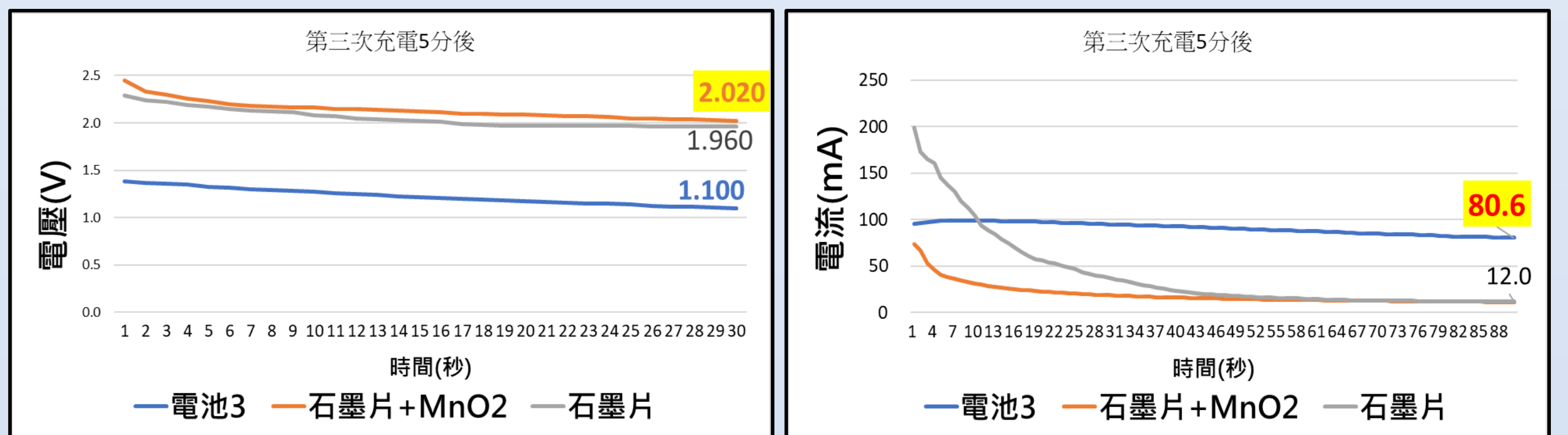


圖15 市售的石墨片與自製正極炭紙充電後之電壓與電流變化

陸、結論

- 正極最佳材料-酸洗後的炭化稻殼；最佳載體為明膠；炭材與明膠的質量比為3:5，並加入0.8g二氧化錳，組合成炭紙/鋁電池的正極材料-炭紙電極。
- 最佳電解液2M $AlCl_3$ /0.1M 食鹽水 /5克 CH_3COONa ，並搭配滴3mL的兩層濾紙。
- 負極鋁片塗上PVA晾乾，有最佳的發電效益。
- 自製「可充式炭化稻殼紙/鋁電池」能成功點亮LED燈並持續達100天；並可使風扇運轉215分鐘，且能重複多次充放電循環。

表12 本作品與歷屆科展作品優劣比較

	「鋁」戰「鋁」勝-G4代鋁電池	本作品
正極材料	炭煙	使用廢棄稻殼製成的炭化稻殼
正極載體	透明漆	使用較環保無毒的防水明膠配方
電解質	$AlCl_3$ /HCl/醋酸鈉緩衝溶液	$AlCl_3$ /0.1M食鹽水/醋酸鈉溶液
電解質載體	澱粉/宣紙	無/濾紙
負極材料	鋁片	鋁箔
負極改質	卵磷脂	環保、好塗抹的PVA
開路電壓	充電後最高1.14V	充電後最高1.296V
短路電流	充電後最高1.57mA	充電後最高137.1mA
成本	未提及	20元/8cm*8cm

- 五. 期盼爾後可用於幼兒玩具的電池，可避免幼兒吞食。
- 六. 本研究自製的炭化稻殼紙/鋁電池，厚度僅0.7mm，計算成本約為20元，具有低汙染、低成本、超輕薄、可充電、可彎曲等多項優勢。

柒、參考文獻資料

- 林宇亮、黃爾亮、李沛誼等(2019)。「鋁」戰「鋁」勝 --- 可撓式鋁電池的研究。
- 姚奕丞、陳韻淇、陳宥甄等(2023)。呷二氧化碳ㄟ電池。