

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030207

利用摺紙藝術製作發電裝置

學校名稱：臺北市立龍門國民中學

作者： 國一 廖彥森 國一 李耕宇	指導老師： 林玉蘭
-------------------------	--------------

關鍵詞：紙電池、環保材料、蠟印

壹、摘要

本研究利用噴蠟印表機印製特定圖樣製備隔膜型紙電池。利用蠟本身具有疏水的特性，將可簡易的製作出紙流道。在紙電池中分別滴上硫酸銅、氯化鋁溶液，並利用玻璃紙當作隔膜，黏上銅片和鋁片，最後利用摺紙的方式將紙電池組裝起來。鋁片就會形成電池中的陽極，銅片將成為陰極，而玻璃紙就能取代鹽橋作為離子交換的介質。在紙電池的頂端，進水口的地方滴入幾滴水，水就能藉由紙流道進入電池內部，數秒鐘內即可測量到電壓，最後經過不斷的優化電池的設計，此電池的開路電壓能夠達到 0.915 伏特。

貳、研究動機

想為地球盡一份心力，因此想打破傳統的電池，利用較沒有汙染的材質做電池。

參、研究目的

研究如何製作較沒有汙染的電池並探究是否能夠取代一般電池。

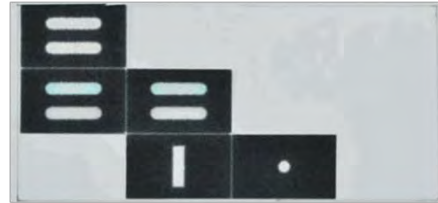
肆、研究設備及器材

1. 紙張	2. 鋁罐	3. 銅片	4. 噴蠟印表機	5. 連接線	6. led 燈	7. 鱷魚夾
8. 加熱板	9. 玻璃紙	10.口紅膠	11.三用電表	12.氯化鋁	13.硫酸銅	

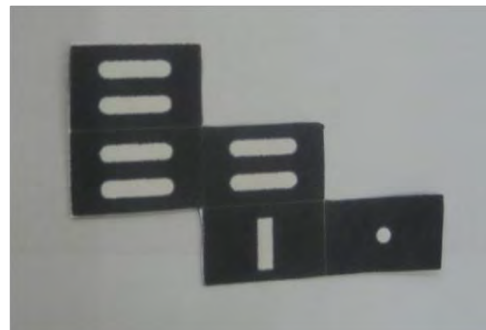
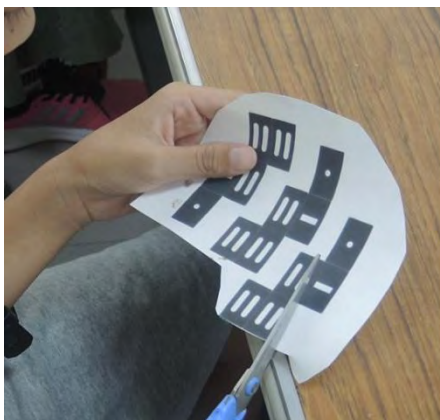


伍、研究過程或方法

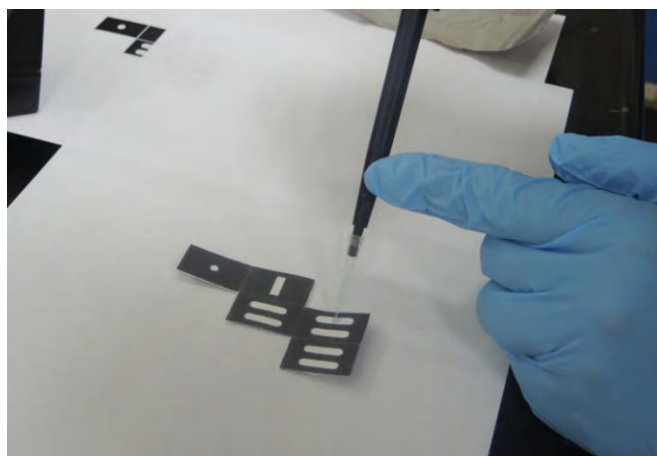
一、用噴蠟印表機噴出特定圖形，並將紙上有蠟印的圖形加熱，使蠟滲透入紙張內，以形成所需要的流道。



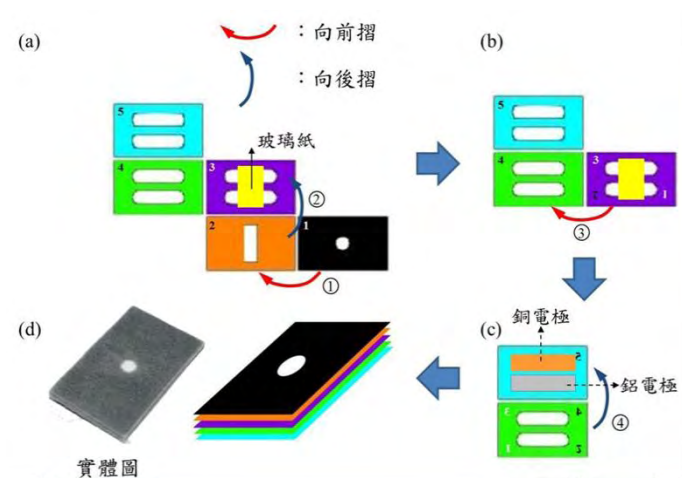
二、將需要的部分剪下



三、在特定圖形中滴硫酸銅、氯化鋁溶液，並等待五分鐘使之乾燥。



四、依照下圖將含有鹽類的紙張依序折疊，並用口紅膠塗抹黑色部分，將紙張與玻璃紙固定好。

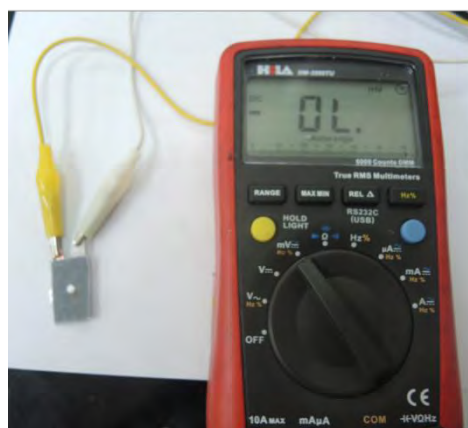


五、把紙摺起來並用口紅膠黏住，然後黏上銅片和鋁片，再摺成最後的形狀。

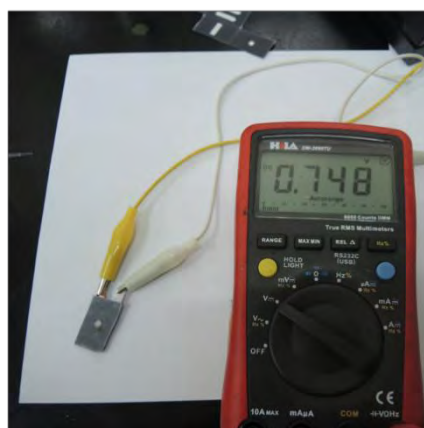


六、在未噴蠟的地方滴幾滴水，就會產生電，並且可以三用電表測量其電壓。

加水前



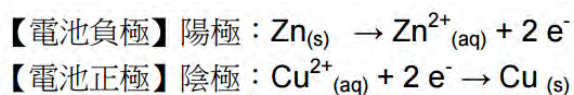
加水後

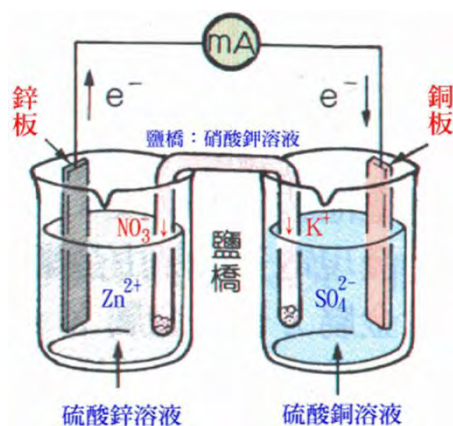


陸、研究結果與討論

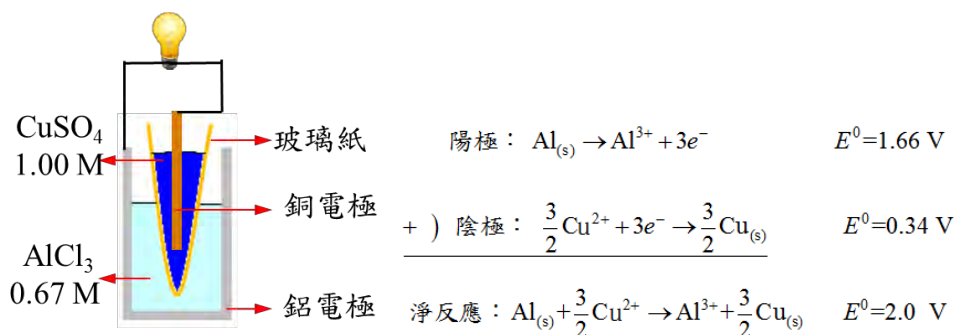
傳統電池使用鹽橋做離子的交換方法，但現在很多電池已經改良成隔膜型電池。本實驗也是使用隔膜型電池，但我們用更多環保材料，攜帶方便，也不會有一般電池放久之後電解液外漏而造成電器毀損的問題。本實驗所製作出來的電池只需要加入幾滴水就可以達到通電的效果。本實驗改變電解質的濃度、透析膜前處理之條件、透析膜材質以及簡化電池之設計，希望達到最佳的電池效能。

一般的鋅銅電池反應式如下：





本實驗裝置的簡圖如下，理論上最大的開路電壓可達到 2.0V。

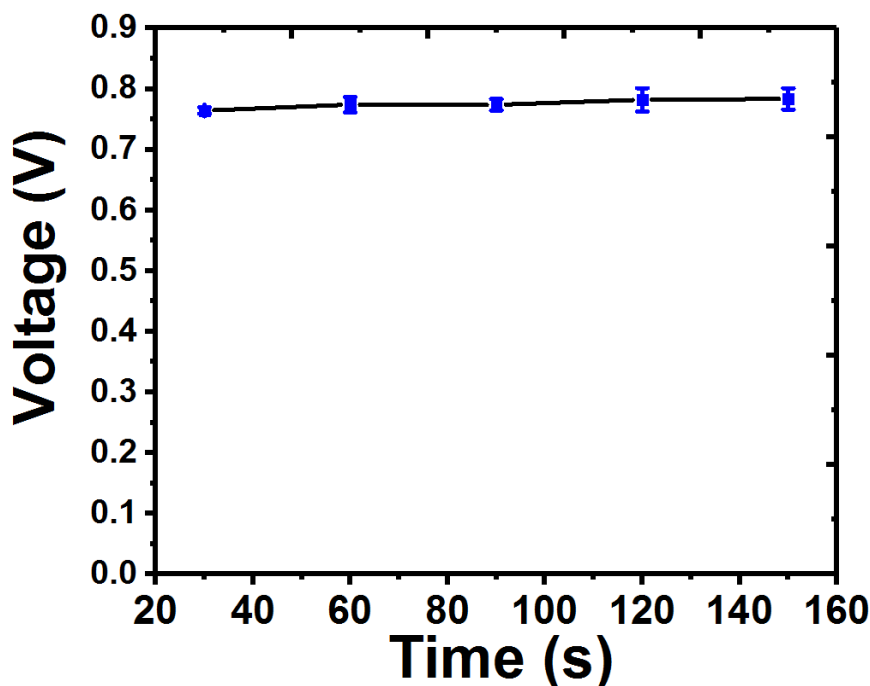


開路電壓是指電池無電流通過時正負極之間的電位差，在實際的電池體系中，電池兩極建立的電位多為穩定電位，所以，開路電壓實際上是兩極的穩定電位之差。

而本實驗利用摺紙技術製作的電池具有穩定的開路電壓，經測量可達到 0.7 伏特的電壓。陽極使用的鋁片是由回收的可口可樂罐上剪下來，並利用砂紙將表面塗料去除，以達到可導電之特性。紙張則是用濾紙，因濾紙相較於一般紙材，有較好的吸水性以及透水性，對於電池的組合有較好的效果。而組成電池的電解液，我們選用氯化鋁和硫酸銅，鋁金屬氧化電位較高，鋁原子會氧化為 3 價鋁離子(Al^{3+})並釋放三個電子，硫酸銅電解液中的銅離子(Cu^{2+})則接受電子於陰極析出銅原子。由於這兩個氧化還原半反應的電子得失比為 3:2，因此本實驗將氯化鋁水溶液配製為濃度 0.67 M；硫酸銅水溶液濃度為 1.00 M。

利用蠟印印表機噴印出來的圖形經加熱(150 °C, 90 秒)，讓表面的蠟充分滲透到背面後，依照順序將紙摺疊成簡易發電裝置，在沒有加入水的情況下測不到電壓，一滴入水後，數秒鐘內即可測量到 0.770 伏特的電壓。如圖一所示，此電池在水滴入後的 30 秒其開路電壓就已達 0.760 伏特，並且可觀察到其電壓相當穩定，在 150 秒後開路電壓還可達到 0.780 伏特，故

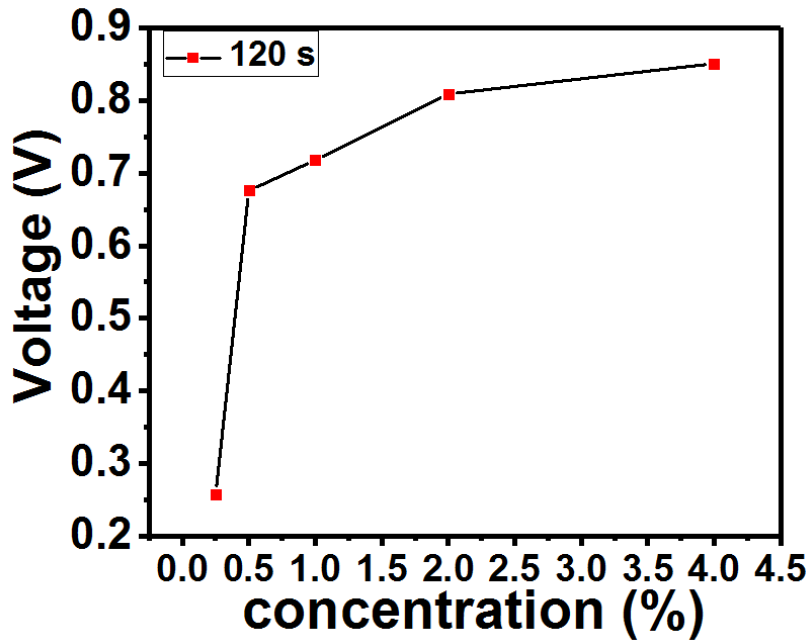
可證實此電池具有相當穩定的電位。而接下來的實驗我們將改變一些參數，看是否能提升電池的效能。



圖一:開路電壓隨時間變化的關係

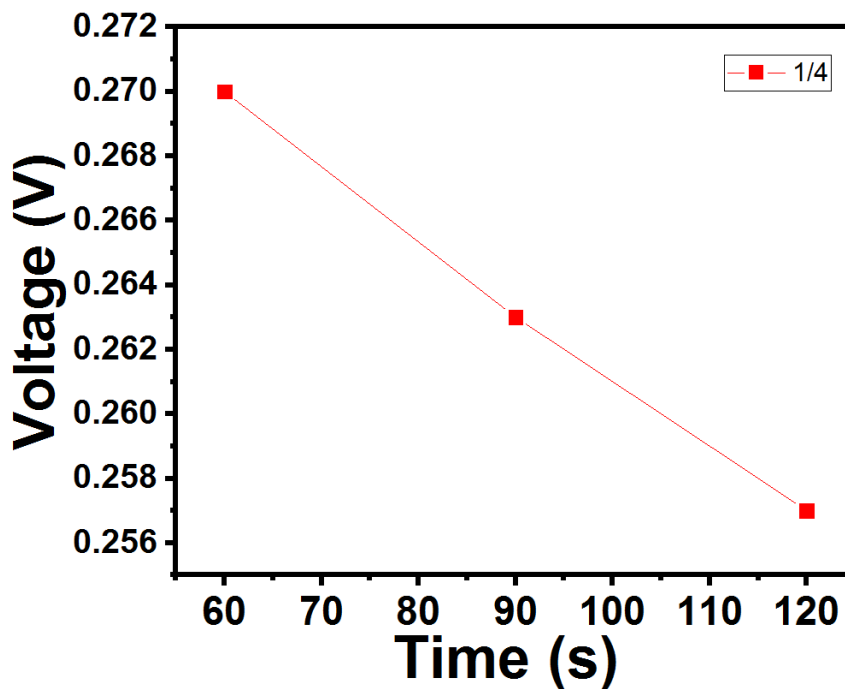
一、電解液濃度改變

首先，本研究探討電解液濃度對電壓的影響。將原本氯化鋁(0.67 M)和硫酸銅(1.00 M)濃度，同時稀釋成原本的 1/4 和 1/2，2 倍和 4 倍的濃度也一併列入探討。觀察這五種濃度對電池開路電壓的影響，我們發現電解質在電池當中佔了很重要的一環，必需有電解質的存在才能使正負電極產生氧化還原反應，進而產生電流。圖二為經由穩定 120 秒後不同濃度的電解質所測出來的開路電壓，由圖上可清楚觀察到，隨著電解質濃度的增加，開路電壓也隨之上升。在濃度為原本 1/4 時，開路電壓只有 0.260 V，而濃度 1/2 時電壓就達到了 0.680 V，然而當濃度再增加時，電壓雖增加，但沒有相對的倍數成長。推論其原因為，當電解質濃度太低時，能反應的銅離子和鋁離子有限，所以開路電壓會非常低，而隨著電解質的濃度增加，有足夠多的銅離子和鋁離子能夠參與化學反應，但能夠在電極表面化學反應的位子有限，所以雖然濃度增加到四倍，電壓成長的幅度不大。



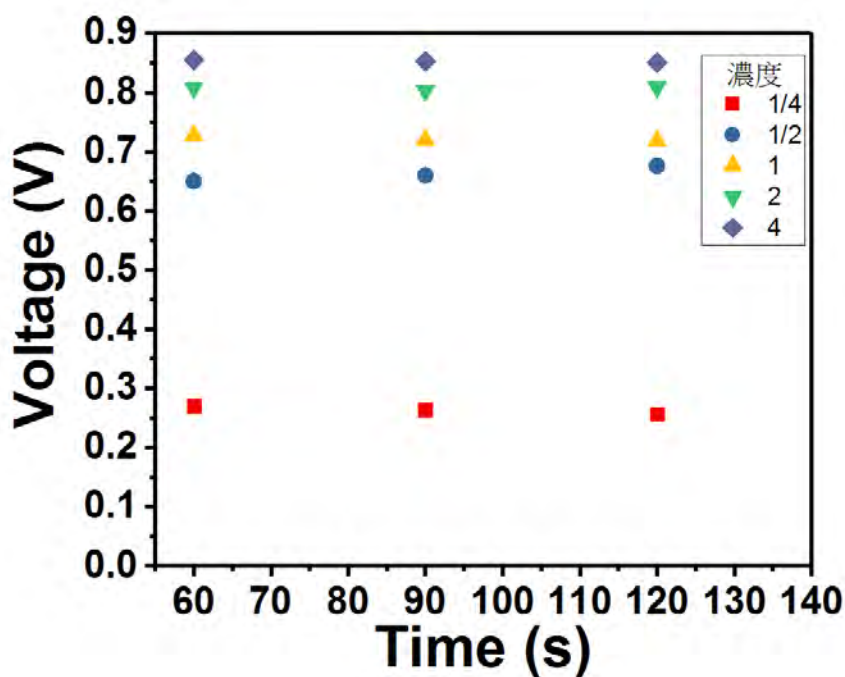
圖二:不同濃度下在穩定 120 秒後的開路電壓

接下來我們觀察不同濃度在電池電壓穩定過程中的變化。首先我們可從圖三觀察到，當濃度為原本的 1/4 時，其濃度在 60 秒的時候為 0.270 V，且隨著時間的增加電壓會一直下降，到 120 秒的時候，下降到 0.257 V，短短的 60 秒總共下降了 5%。推論原因為其濃度太低，銅離子和鋁離子在電池內的數量太少，導致消耗後離子數量越來越少，以致電壓一直往下掉。



圖三:在濃度稀釋為 1/4 的情況下，開路電壓與時間的關係

最後我們探討各種濃度下，開路電壓及時間的關係。從圖四以及表一可以很清楚地觀察到，不管在任何的時間點，濃度越高開路電壓越大。並且可以發現當濃度越高的時候，電壓相較於 1/4 濃度會比較穩定，不會隨時間增加而一直往下降，會略微升高或持平。推論其原因為：當濃度高時，就算電極表面已將離子反應掉，還有足夠的離子能夠補充，能夠不斷產生電子。然而雖然較高的濃度有比較好的開路電壓，但濃度的增加意味著成本也必須增加，而高濃度也沒有展現出成正比增加的開路電壓，所以接下來的實驗，還是保持原本濃度，氯化鋁和硫酸銅濃度分別為 0.67 M 和 1.00 M 進行後續實驗探討。



圖四:不同濃度下其開路電壓與時間的關係

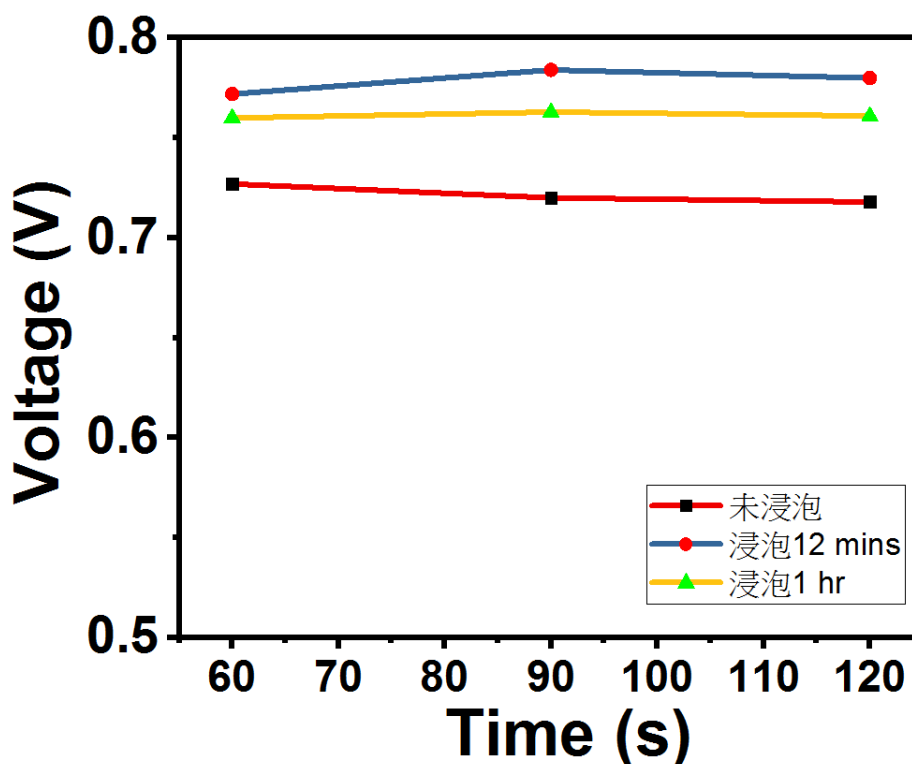
表一 不同濃度下其開路電壓與時間的關係

相對濃度	1/4	1/2	1	2	4
60s 時電壓:	0.270 V	0.650 V	0.727 V	0.808 V	0.855 V
90s 時電壓	0.263 V	0.660 V	0.720 V	0.803 V	0.853 V
120s 時電壓	0.257 V	0.676 V	0.718 V	0.809 V	0.851 V

二、透析膜前處理之比較

為了尋求提高電壓的可能性，我們改變透析膜的前處理條件，希望可以提升電池的開路電壓。透析膜在電池當中也扮演了非常重要的角色，能夠讓正負極的離子流動形成通路。本實驗的透析膜使用透明的玻璃紙，我們將玻璃紙分別預先浸泡在水裡 12 分鐘以及 1 小時，不同浸泡時間的開路電壓如圖五及表二所示。

原本玻璃紙在尚未浸泡的前處理下，所組出來的電池其開路電壓在經過 120 s 平衡後為 0.718 V，而玻璃紙浸泡 12 分鐘後，開路電壓在經過 120 s 平衡後為 0.780 V，成長了 8.6%。但浸泡 1 小時的玻璃紙所測出來的開路電壓只有 0.761 V，相較於未浸泡的開路電壓成長了 6%。可以發現浸泡過後的玻璃紙對於電池的開路電壓有明顯的幫助，推論其原因為玻璃紙本身具有孔洞，經過濕潤一段時間後，水分的膨潤效果可以把孔洞撐開，讓離子在玻璃紙中更有效地流動。所以，經過濕潤前處理的玻璃紙所組出來的電池，能夠更有效的傳遞離子，效果比沒浸泡的來的好。而玻璃紙的浸泡的時間超過 12 分鐘即可將玻璃紙的孔洞撐大到一定的程度，實驗結果顯示，浸泡一小時所做出來的開路電壓雖然比浸泡 12 分鐘來的略小，但是還是比未浸泡的高出許多。



圖五:不同透析膜前處理條件下其開路電壓與時間的關係

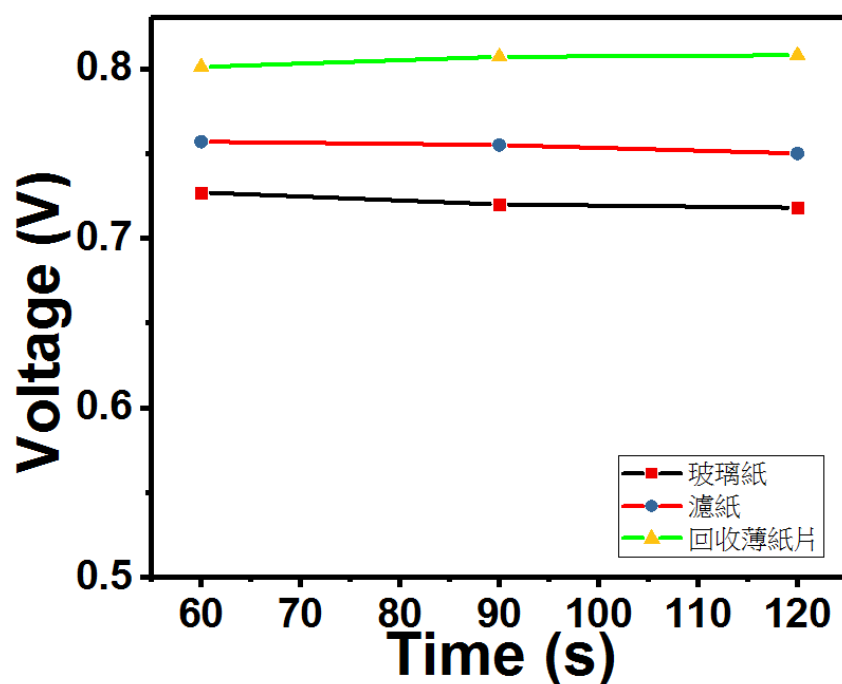
表二 不同透析膜前處理條件下其開路電壓與時間的關係

透析膜	玻璃紙 未泡水	玻璃紙 泡水 12 min	玻璃紙 泡水 1 hr
60s 時電壓	0.727 V	0.772 V	0.760 V
90s 時電壓	0.720 V	0.784 V	0.763 V
120s 時電壓	0.718 V	0.780 V	0.761 V

三、改變透析膜之材質

本實驗所使用的透析膜是玻璃紙，玻璃紙的一般工業製程使用由木頭、棉花、大麻屬植物等物質中提取出的纖維素，經過鹼和二硫化碳的處理之後形成黃酸纖維素。將其溶於稀氫氧化鈉溶液中，去除多餘的二硫化碳，並將黃酸纖維素水解成纖維膠，接著利用稀釋的硫酸和硫酸鈉溶液將纖維膠轉變為纖維素後才可以使用。製程中同時還需要除去其中的硫磺、漂白並添加甘油以防脆裂。由於玻璃紙的工業製程對於環境來說並不環保，所以我們尋找其他透析膜材料來取代它，希望能夠達到更環保也同時具有良好的電池性能。

我們使用印製此電池的濾紙以及夾在玻璃片當保護的回收薄紙片當作透析膜，其實驗結果如圖六及表三所示。利用濾紙以及回收的薄紙片，電壓表現結果都較玻璃紙好，其中薄紙片的開路電壓更比濾紙高。回收的薄紙片在平衡 120 秒後可達到 0.808 伏特，而濾紙只有 0.750 伏特。從此結果可以推論，紙的厚薄度可能會影響其開路電壓，濾紙的厚度為 0.2 mm，而回收的薄紙片的厚度遠小於濾紙，當紙的厚度太厚的時候，可能會讓離子所走的路徑過大，無法有效的限縮離子所走的路徑。再者濾紙在垂直方向的滲透性會較水平方向好，以方便過濾東西，但此電池必需透過水平方向讓離子移動，故濾紙在水平滲透這方面表現沒有一般薄紙片那麼好，所以回收的薄紙片具有較好的開路電壓。



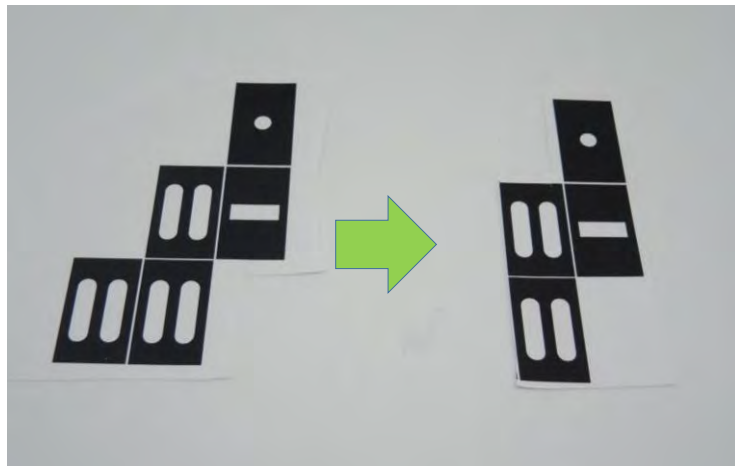
圖六:不同材質透析膜其開路電壓與時間的關係

表三 不同材質透析膜其開路電壓與時間的關係

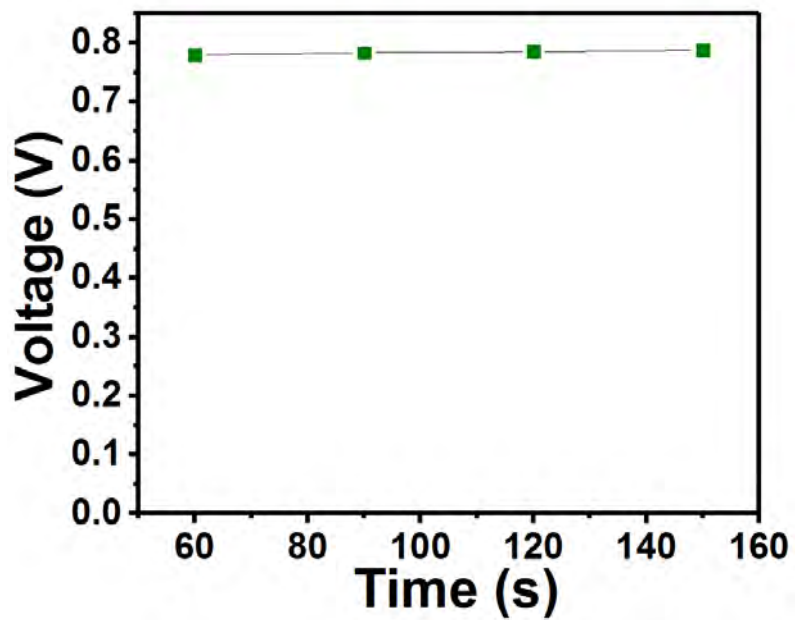
透析膜	玻璃紙 未泡水	濾紙	回收薄紙片
60s 時電壓	0.727 V	0.757 V	0.801 V
90s 時電壓	0.720 V	0.755 V	0.807 V
120s 時電壓	0.718 V	0.750 V	0.808 V

四、改變圖樣設計

本研究也試著精簡摺紙程序，簡化製程，未來如果有機會演進到實用的階段，希望可以降低生產成本。我們省略摺紙中的第四摺(電解液的第二層)，如圖七所示，並以回收的薄紙片作為透析膜。滴入水後，測到 0.790 V 的電壓，如圖八所示。與原來的電池(五層)相比，簡化電池(四層)測到的開路電壓與原結果非常的接近，透過此方法可以用更簡單的方式簡化電池，達到降低成本之目的。



圖七:簡化電池之設計

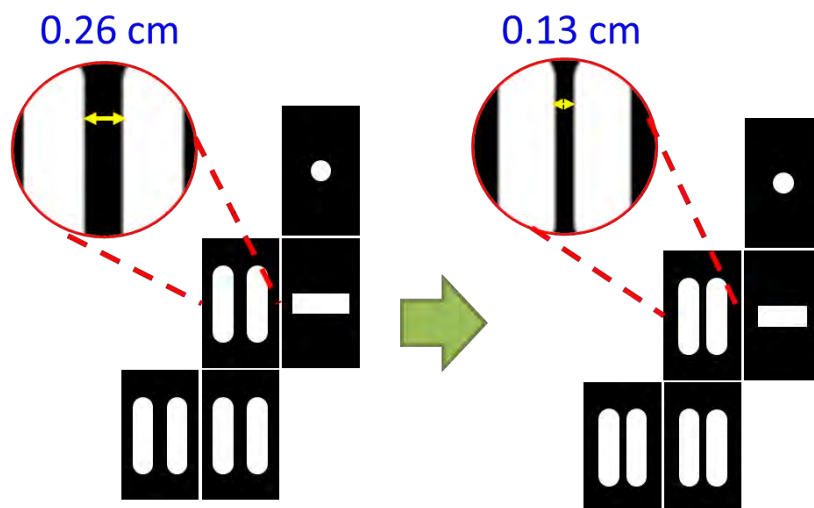


圖八: 簡化電池其開路電壓與時間的關係

表四 簡化電池其開路電壓與時間的關係

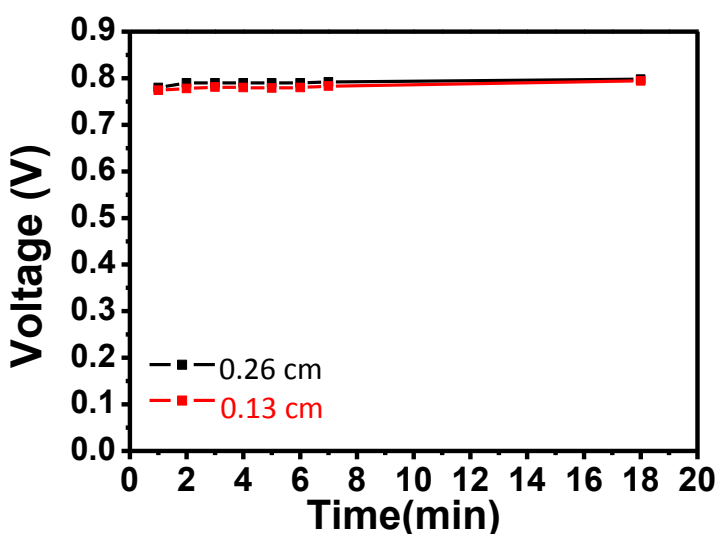
時間	60s	90s	120s	150s
電壓	0.780 V	0.783 V	0.785 V	0.788 V

除此之外，由於蠟印能夠快速且簡易的利用電腦修改圖式，以達到不同電池圖樣之設計。接下來，我們將改變電解液之間的距離，相對來說也就是改變鹽橋的長度，如圖九所示。從原本的 0.26 公分的距離縮短成 0.13 公分。觀察是否能夠透過縮短鹽橋的距離，使得離子所走的距離縮短，降低電池的內電阻，讓電池的電壓能夠有所提升。



圖九:改變電解液之間距離

這裡所使用的電解液和實驗一所使用的條件一樣，也就是電解液分別為氯化鋁(0.67 M)和硫酸銅(1.00 M)濃度，透析模的部分也是使用玻璃紙。唯一有改變的變因為電解質之間的距離。其實驗結果如圖十及表五所式。結果可觀察到其電壓幾乎沒有改變，相同的電壓在長時間底下也相當穩定，推論原因可能是縮短電解液之間間距可能無法從開路電壓看出，未來如果能夠測量電流，也許能看出差異。



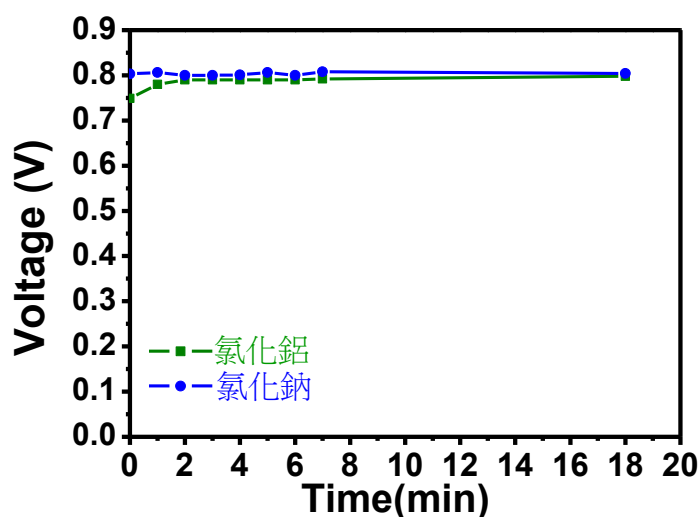
圖十:不同電解液之間距離其開路電壓與時間的關係

表五:不同電解液之間距離其開路電壓與時間的關係

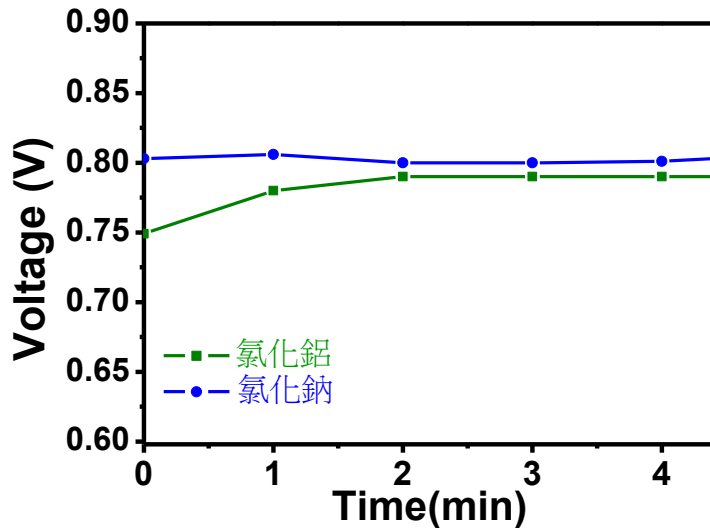
電壓 時間 電解液間距	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
	0.26 公分	0.780 V	0.790 V	0.790 V	0.790 V
0.13 公分	0.774 V	0.778 V	0.781 V	0.780 V	0.779 V
電壓 時間 電解液間距	6 分鐘	7 分鐘	18 分鐘		
	0.26 公分	0.790 V	0.792 V	0.798 V	
0.13 公分	0.780 V	0.783 V	0.794 V		

五、改變電解質

本研究接著探討在陰極電解質(硫酸銅)不改變的情況下，將陽極的電解質(氯化鋁, 0.67 M)改變，是否也能夠達到相同的電池效果。將原本實驗的氯化鋁改成氯化鈉(1.00 M)，氯化鈉相較於氯化鋁更容易從生活周遭取得，價格也相對的便宜也更加的安全，所以更符合經濟效益。其結果如圖十一及表六所示。陰極的電解液不管是氯化鋁和氯化鈉的開路電壓相當的接近。但從圖十二可以觀察到，氯化鈉在滴入水後極短的時間就達到了平衡並趨向穩定，而氯化鋁相較之下，必須花比較長的時間才能達到平衡。推論其原因為，鈉離子移動的速度比鋁離子快，所以才能很快的達到平衡。藉由此實驗可證明氯化鈉能夠取代氯化鋁的使用。



圖十一: 不同陽極電解質溶液其開路電壓與時間的關係



圖十二：初始時間之不同陽極電解質溶液的開路電壓

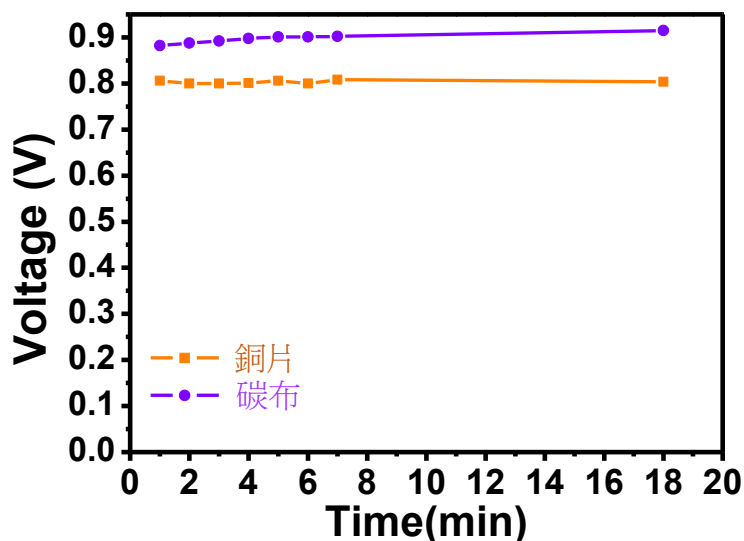
表六：不同陽極電解質溶液其開路電壓與時間的關係

電壓 陽極電解質	時間	剛滴水 (0 分鐘)	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘
	氯化鋁		0.749 V	0.780 V	0.790 V	0.790 V
氯化鈉		0.803 V	0.806 V	0.800 V	0.800 V	0.801 V
電壓 陽極電解質	時間	5 分鐘	6 分鐘	7 分鐘	18 分鐘	
	氯化鋁	0.790 V	0.790 V	0.792 V	0.798 V	
氯化鈉		0.806 V	0.800 V	0.808 V	0.804 V	

六、改變電極

本研究探討如果使用不同的陰極電極材質是否能達到相同的效果，或者能夠提升開路電壓。從實驗五可以得知氯化鈉具有與氯化鋁相同的良好效果，價格上卻相對便宜、安全又好取得，所以本實驗陽極的電解液使用氯化鈉 (1.00 M)，陰極電解液的部分還是使用硫酸銅 (1.00 M)。電池兩極的使用上，陽極仍然維持鋁片，陰極的部分本實驗改以碳布 (0.4 cm x 1.5 cm) 取代銅片 (0.4 cm x 1.5 cm)。從圖十三以及表七可以觀察到，陰極部分使用碳布所組出來的的

電池，從一開始其開路電壓就大過原本使用銅片的電壓。最後平衡後，碳布的開路電壓可達到 0.915 V，相較於銅片的 0.804 V 成長了 1.14 倍。推論其原因為碳布的表面積比較大，相較於銅片有更多的面積能夠進行反應，因此能產生更大的開路電壓。



圖十三: 不同陰極材質其開路電壓與時間的關係

表七: 不同陰極材質其開路電壓與時間的關係

電壓 時間 陰極材質	時間				
	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
銅片	0.806 V	0.800 V	0.800 V	0.801 V	0.806 V
碳布	0.882 V	0.888 V	0.892 V	0.898 V	0.901 V
電壓 時間 陰極材質	時間				
	6 分鐘	7 分鐘	18 分鐘		
銅片	0.800 V	0.808 V	0.804 V		
碳布	0.901 V	0.902 V	0.915 V		

整個實驗看起來不複雜，但實際上並沒有想像中的容易。如果以後可以運用其他回收紙來取代玻璃紙同時保持電池效能，那就會更符合環保的概念。此外，如果蠟印的方式及圖形的樣式、排列方式能更進一步改善，也許可以使這個簡易發電裝置的效用更上一層樓。

柒、結論

隔膜型紙基底電池為 3-D 元件，以蠟印法製作紙流道，並利用摺紙術迅速將紙流道由 2-D 轉換為 3-D。此種電池以隔膜取代鹽橋作為離子交換的介質，大幅降低電池的內電阻，有助提升輸出功率。欲使用電池時只需將水由入口滴入即可，可連續使用超過 30 分鐘。本實驗探討電解質的濃度、改變透析膜前處理之條件、透析膜材質的改變以及簡化電池之設計並改變陰極電極材料及陽極電解質。實驗觀察到當電解質的濃度上升時，開路電壓也會上升，但不會成正比的上升，再者透析膜藉由泡水的前處理可達到提升開路電壓的效果。我們也利用實驗室中容易取得的回收薄紙片當作透析膜，可取代玻璃紙的使用，讓實驗取材更加環保，其最大的開路電壓可達到 0.808 伏特，並且簡化過後的電池也可達到幾乎同等的開路電壓，能夠達到環保及節省製作成本的雙重目的。最後為了達到更安全也最環保的電池，我們改變陽極的電解質以及電極材料，經由實驗結果可得到當陽極的電解質使用氯化鈉並使用碳布當作陰極電極，這樣所組出來的電池的開路電壓可達到 0.915 V。未來希望能夠將此電池實際應用在各式設備上，對於地球的保護能夠更盡一份心力。

捌、參考資料

1. 陳崧昇， 2013 年，隔膜型紙基底電池之設計製作暨可攜式元件之應用，臺灣大學機械工程學研究所學位論文
2. 鋅銅電池: <http://140.128.56.123/~sciedu95/oxidation/lesson/ZnCu.htm>
3. 電池細說分明: http://pei.cjhh.tc.edu.tw/~pei/electricsafety/battery_explain.htm

【評語】 030207

本研究係利用簡易且易於取得之材料製成隔膜型紙電池，構思極具創意且饒富趣味，所使用之藥品與儀器也適合國中實驗室操作，有別於傳統研究電解液的電化學作品。選用製作材料時，可選用廢棄之生物性材料進行測試，如選用電解液時，可選用海水或是其他生物流體來和原本所使用之化學試劑進行比較，如此可提升作品之趣味性，且可符合本研究所構想之環保理念。另外進行實驗時宜注意各項操作變因使實驗比較基準點趨於一致，可使實驗觀測現象較為客觀及利於後續相關探討之比較。未來可朝向大面積的紙電池，製作成 3D 紙電池發展。

作品海報

壹、研究動機與目的

電池對環境的污染主要是指電池中的汞、鉛、鉻等金屬會在地表層積蓄，通過各種途徑進入人體，影響人類身體健康。電池在製造過程、使用過程、或在使用後廢棄的電池都會污染環境，因此我們想為地球盡一份心力，將打破傳統的電池，利用較沒有污染的材質做電池，探究是否能夠取代一般電池。因此本研究目的為：

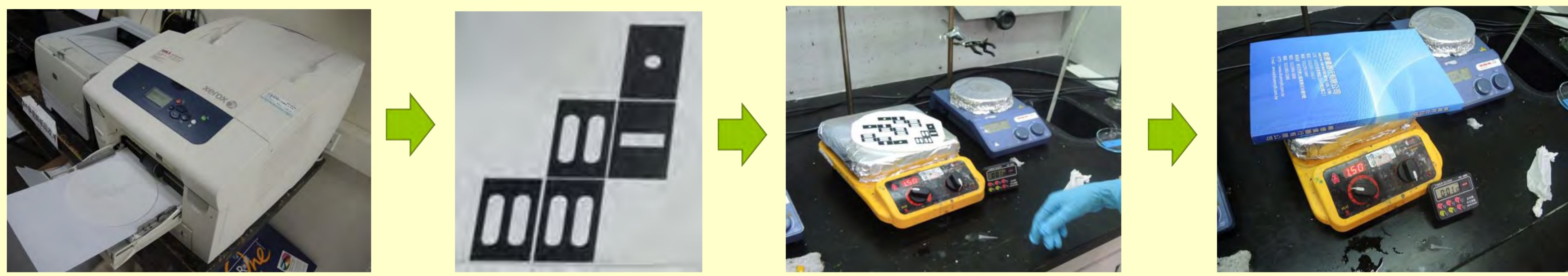
- 一、探討不同濃度之電解質對電池的開路電壓之影響。
- 二、探討不同時間去前處理透析模對電池的開路電壓之影響。
- 三、探討不同透析模之材質對於電池開路電壓之影響。
- 四、探討是否能更改變電池設計達到相同甚至更加的電池效果。
- 五、探討不同電解質之溶液對於電池開路電壓之影響。
- 六、探討不同材料之電極對於電池開路電壓之影響，並串聯使燈泡發亮。

貳、研究設備及器材

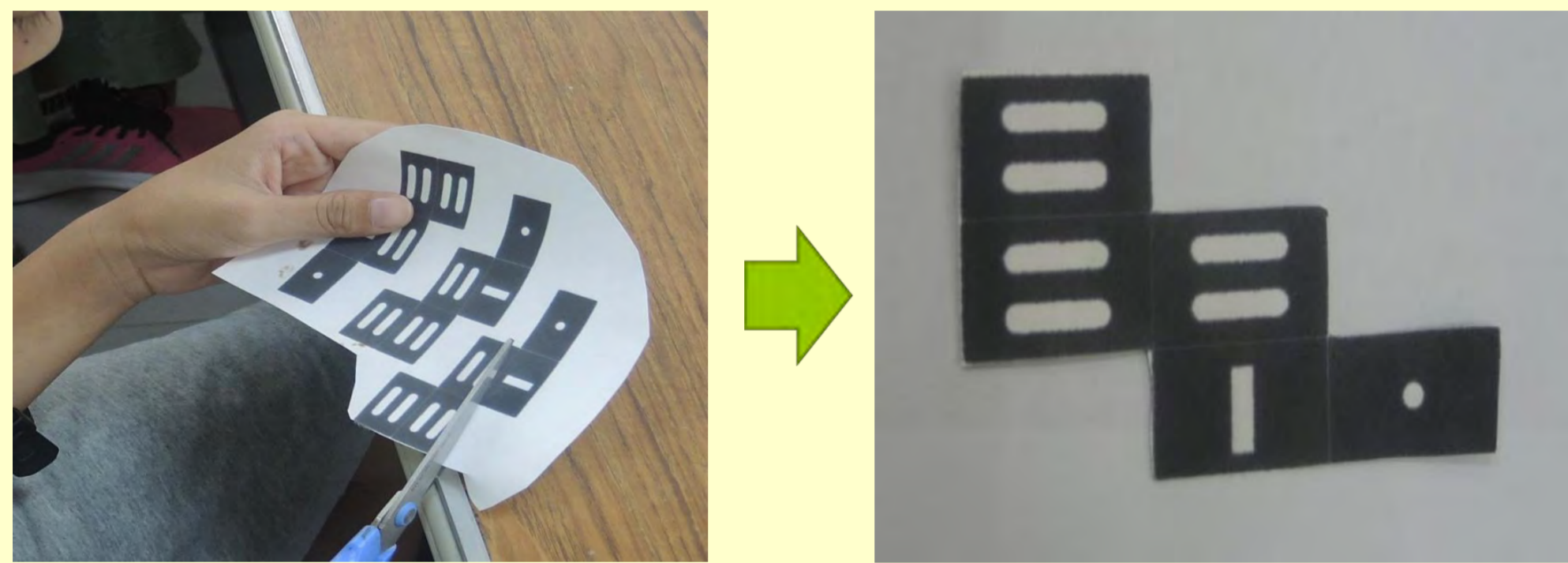


參、研究過程或方法

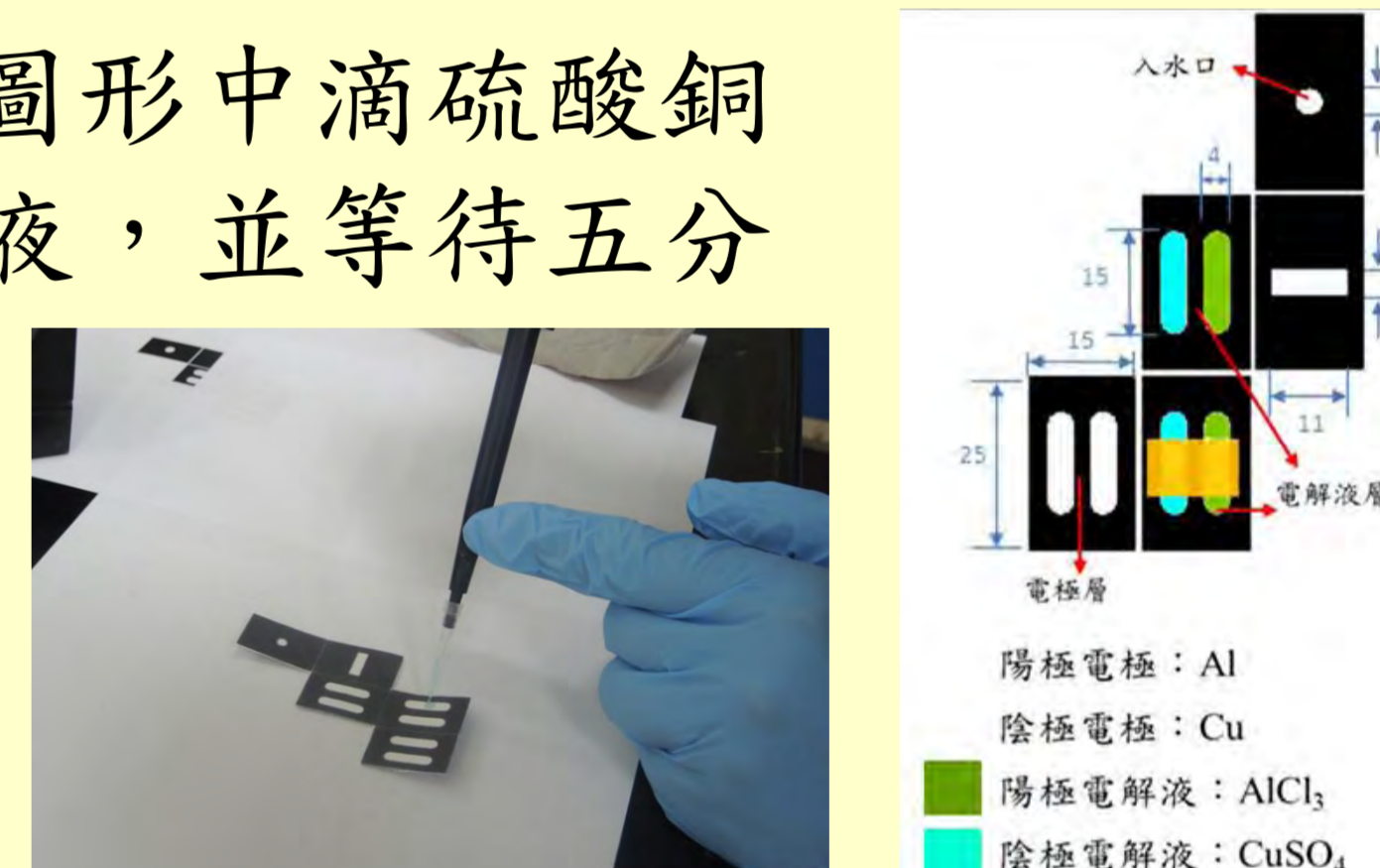
一、用噴蠟印表機噴出特定圖形，並將紙上有蠟印的圖形加熱，使蠟滲透入紙張內，以形成所需要的流道。



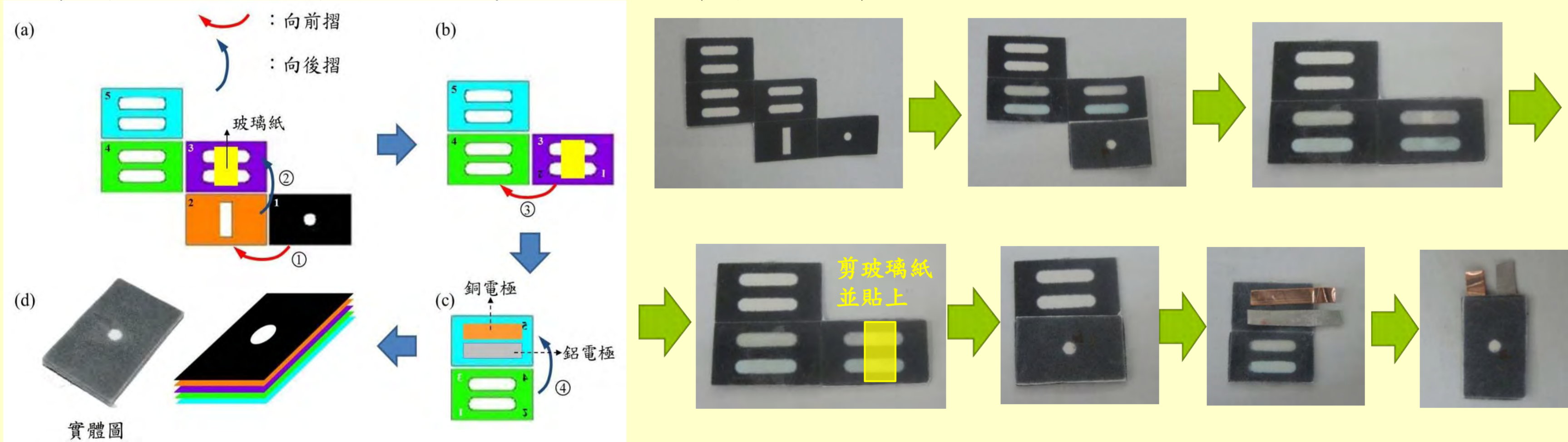
二、將需要的部分剪下。



三、在特定圖形中滴硫酸銅、氯化鋁溶液，並等待五分鐘使之乾燥



四、依照下圖將含有鹽類的紙張依序折疊，並用口紅膠塗抹黑色部分，將紙張、玻璃紙、銅片和鋁片固定好。

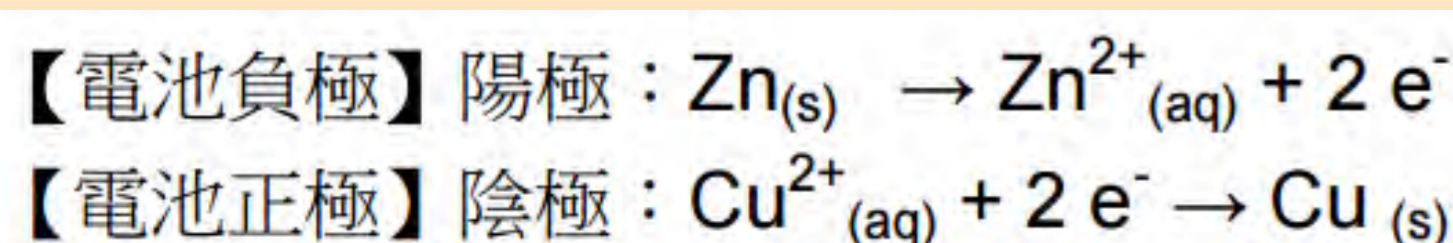


五、在未噴蠟的地方滴幾滴水，用三用電表測量其開路電壓。

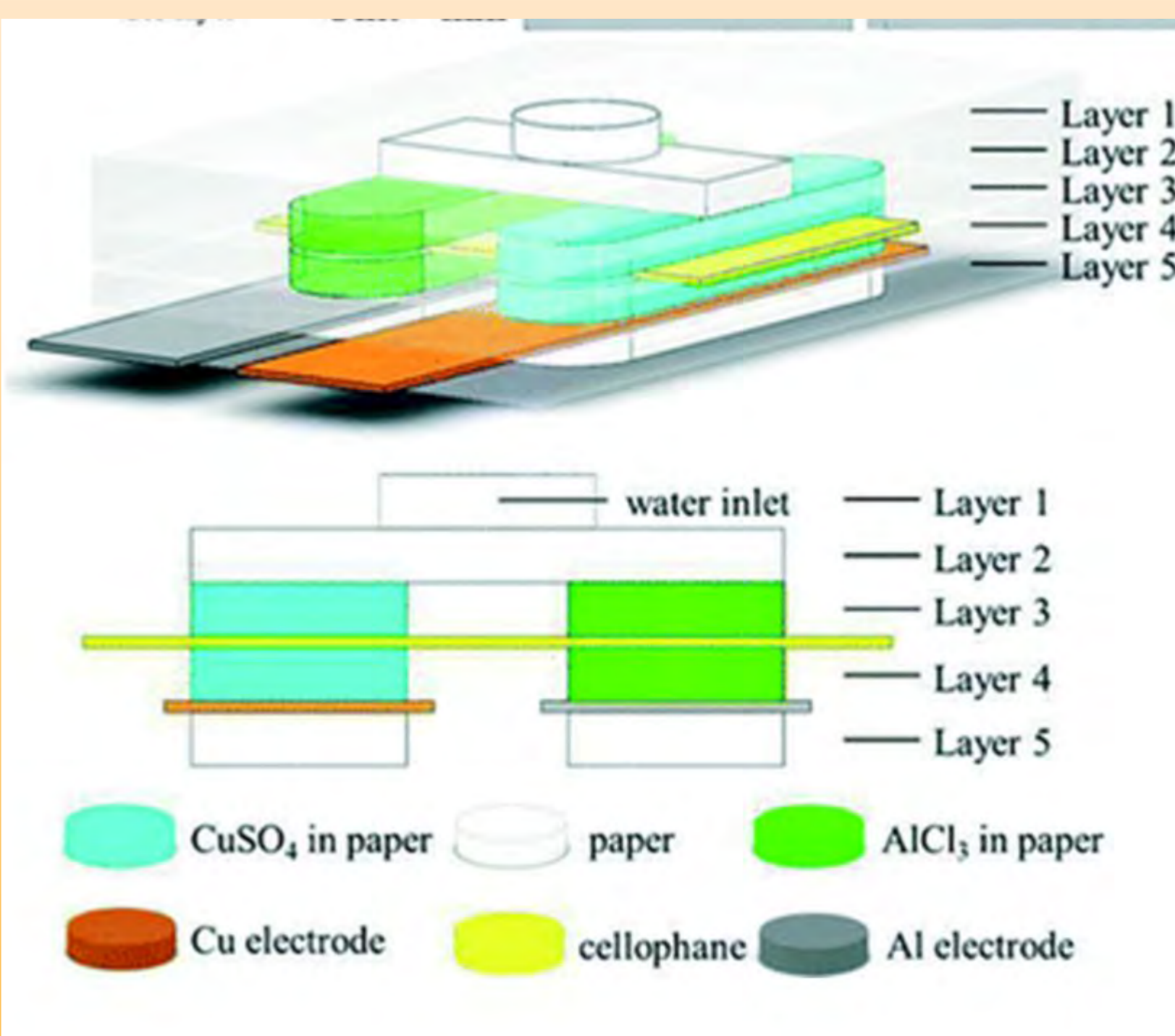
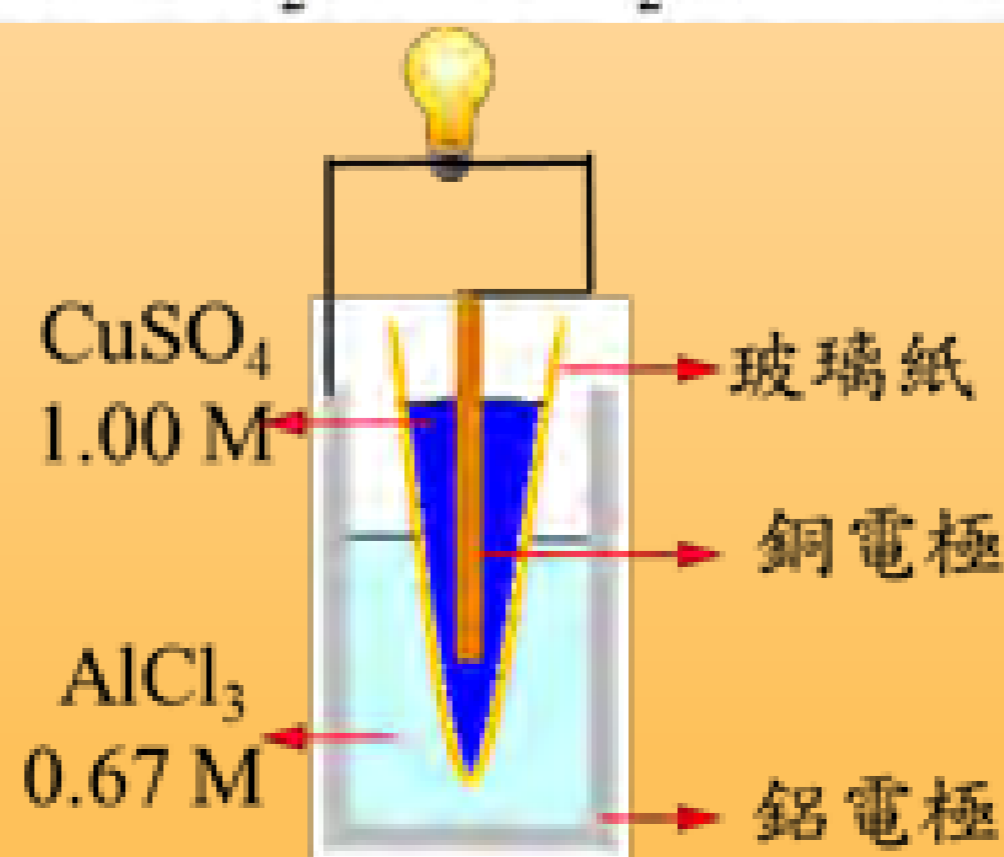
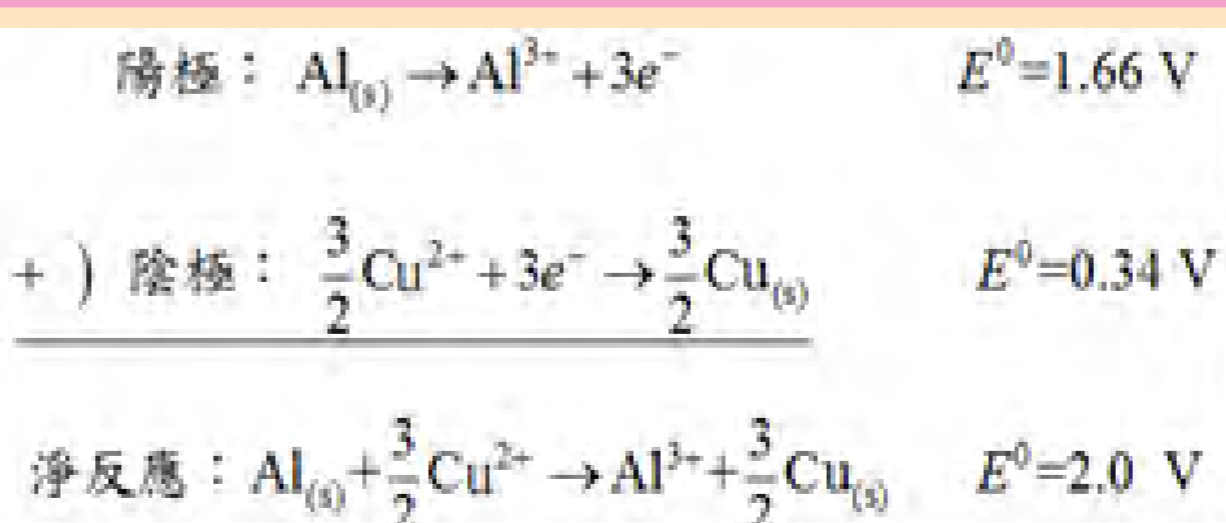


肆、理論與背景

一般的鋅銅電池反應式如下：



本實驗裝置的簡圖如下：



伍、研究結果與討論

一、初步測試

(一)前言

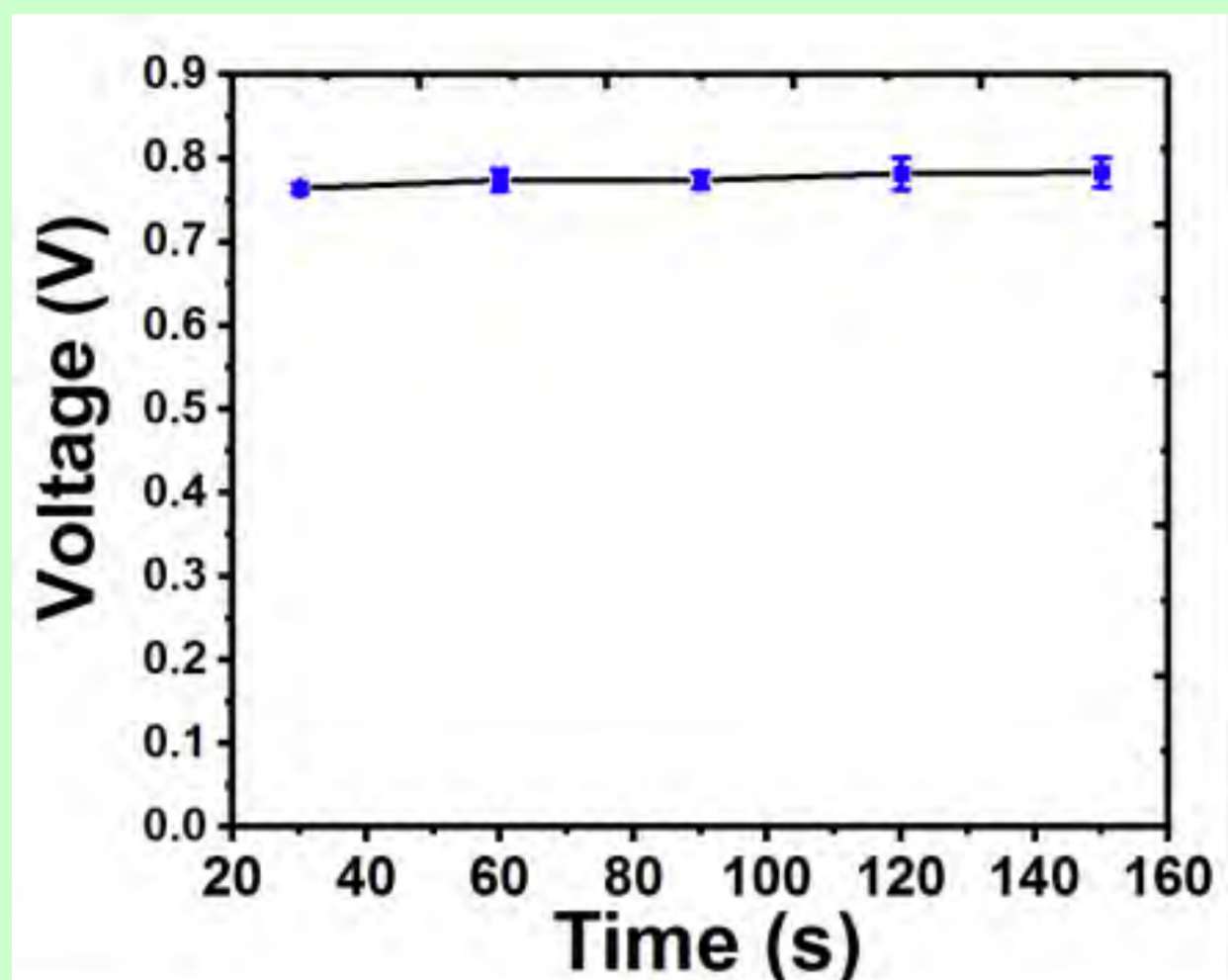
開路電壓是指電池無電流通過時正負極之間的電位差，在實際的電池體系中，電池兩極建立的電位多為穩定電位，所以，開路電壓實際上是兩極的穩定電位之差。組成電池的電解液，我們選用氯化鋁和硫酸銅，鋁金屬氧化電位較高，鋁原子會氧化為3價鋁離子(Al^{3+})並釋放三個電子，硫酸銅電解液中的銅離子(Cu^{2+})則接受電子於陰極析出銅原子。由於這兩個氧化還原半反應的電子得失比為3:2，因此本實驗將氯化鋁水溶液配製為濃度0.67 M；硫酸銅水溶液濃度為1 M，先初步測試此電池的開路電壓。

(二)實驗結果

利用蠟印印表機噴印出來的圖形經加熱(150°C,90秒)，讓表面的蠟充分滲透到背面後，依照順序將紙摺疊成簡易發電裝置，在沒有加入水的情況下測不到電壓，一滴入水後，數秒鐘內即可測量到0.77伏的電壓。如左圖所示，此電池在水滴入後的30秒其開路電壓就已達0.76伏，並且可觀察到其電壓相當穩定，在150秒後開路電壓還可達到0.78伏，故可證實此電池具有相當穩定的電位。

(三)實驗檢討

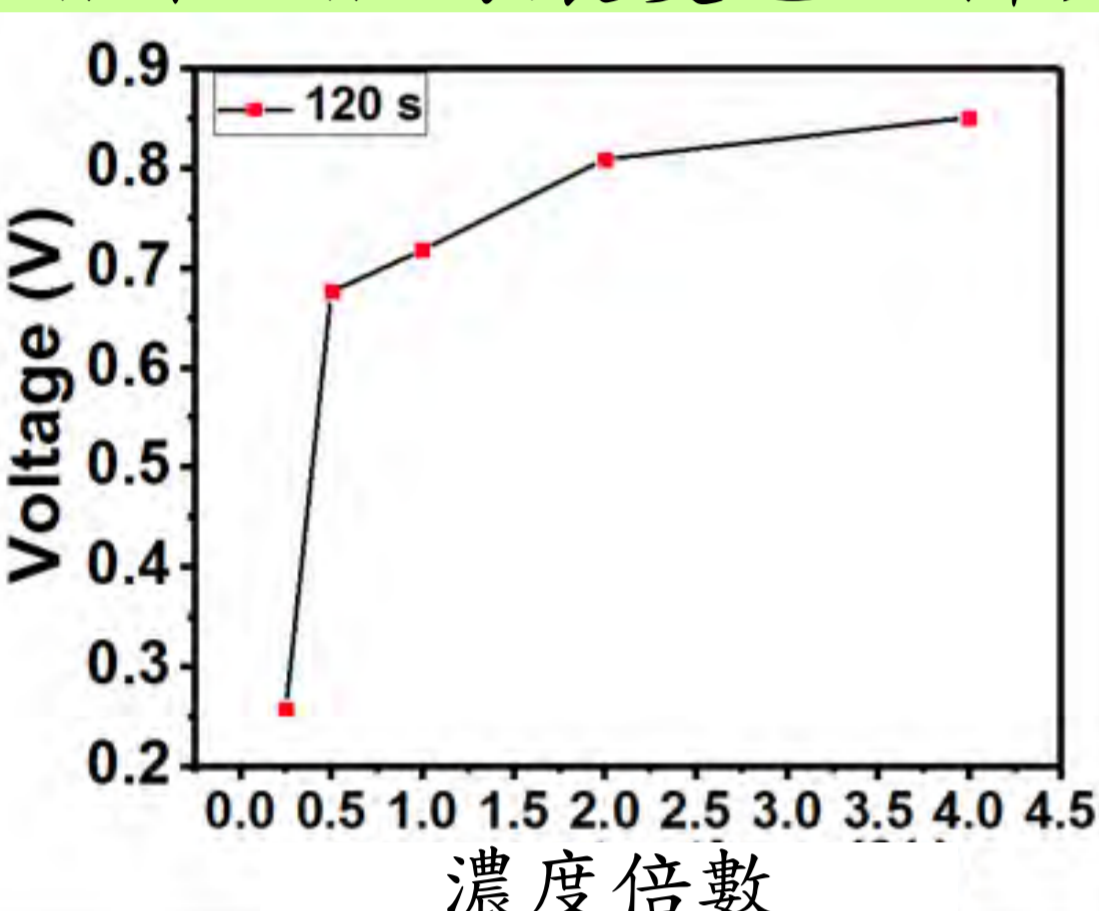
接下來的實驗我們將改變一些參數，看是否能提升電池的效能。



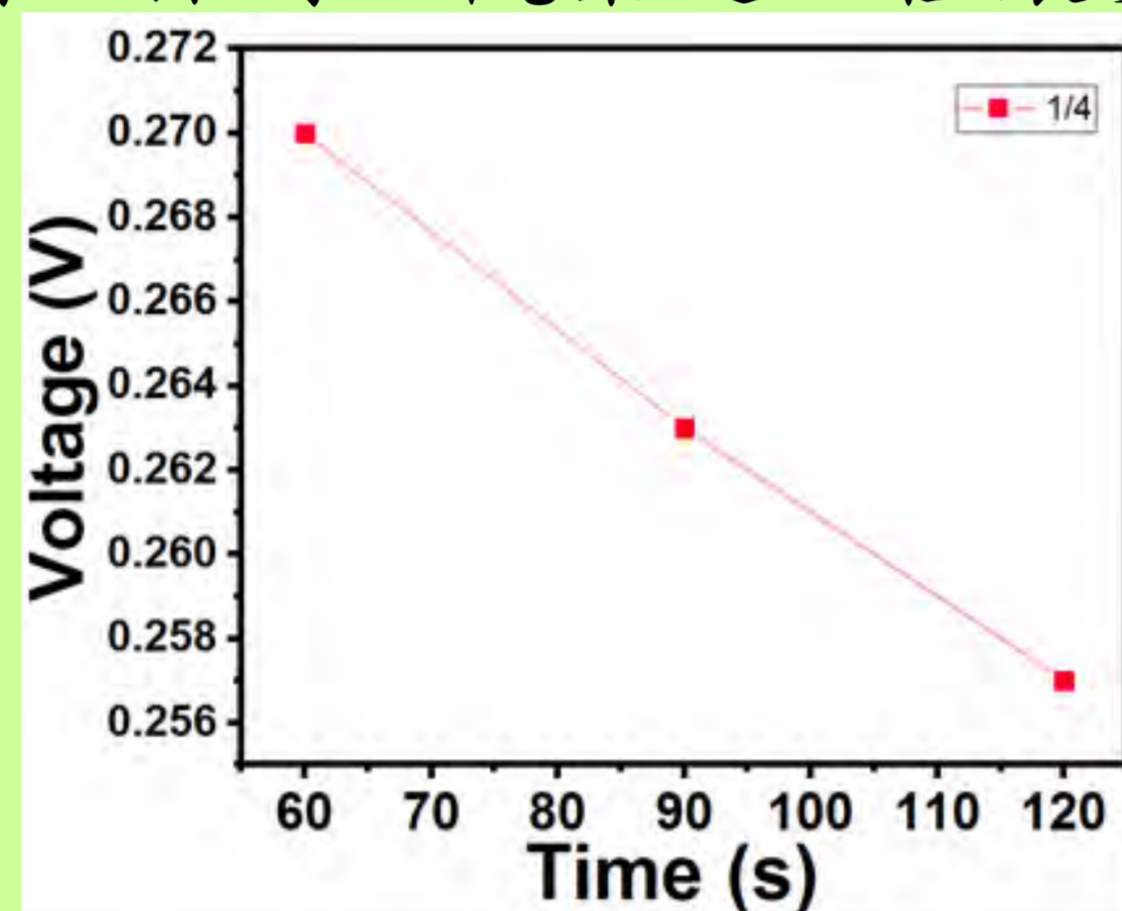
二、電解液濃度改變

(一)前言

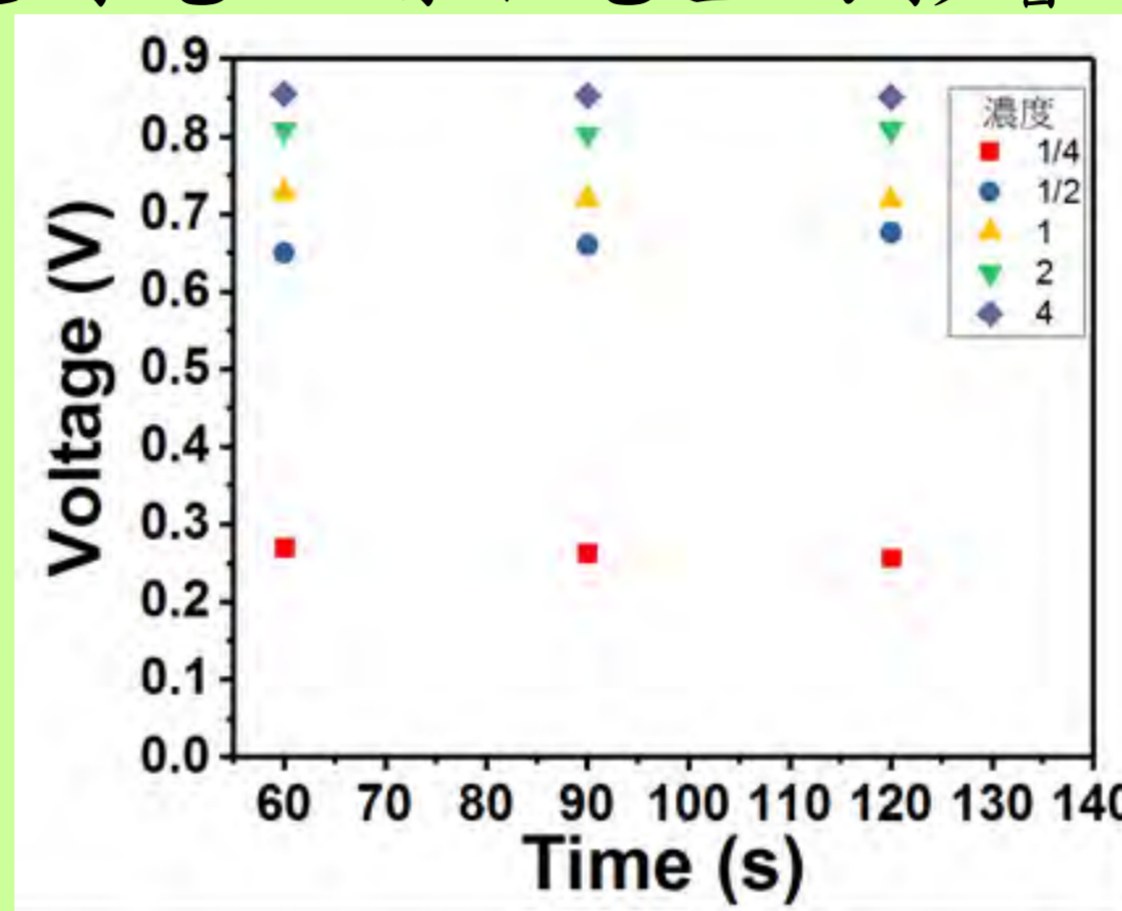
探討電解液濃度對電壓的影響。將原本氯化鋁(0.67M)和硫酸銅(1.00M)濃度，同時稀釋成原本的1/4和1/2，2倍和4倍的濃度也一併列入探討。觀察這五種濃度對電池開路電壓的影響。



不同濃度下在穩定120秒後的開路電壓



在濃度稀釋為1/4的情況下，開路電壓與時間的關係



不同濃度下其開路電壓與時間的關係

(二)實驗結果

- 從最左圖可觀察到著電解質濃度的增加，開路電壓也隨之上升，然而當濃度再增加時，電壓雖增加，但沒有相對的倍數成長。
- 從中間圖可觀察到其濃度太低，銅離子和鋁離子在電池內的數量太少，導致消耗後離子數量越來越少，以致電壓一直往下掉。
- 從右邊及表格可觀察到不管在任何的時間點，濃度越高開路電壓越大。並且可以發現當濃度越高的時候，電壓相較於1/4濃度會比較穩定，不會隨時間增加而一直往下降，會略微升高或持平。

相對濃度	1/4	1/2	1	2	4
60s 時電壓	0.270 V	0.650V	0.727 V	0.808 V	0.855 V
90s 時電壓	0.263 V	0.660 V	0.720 V	0.803 V	0.853 V
120s時電壓	0.257 V	0.676 V	0.718 V	0.809 V	0.851 V

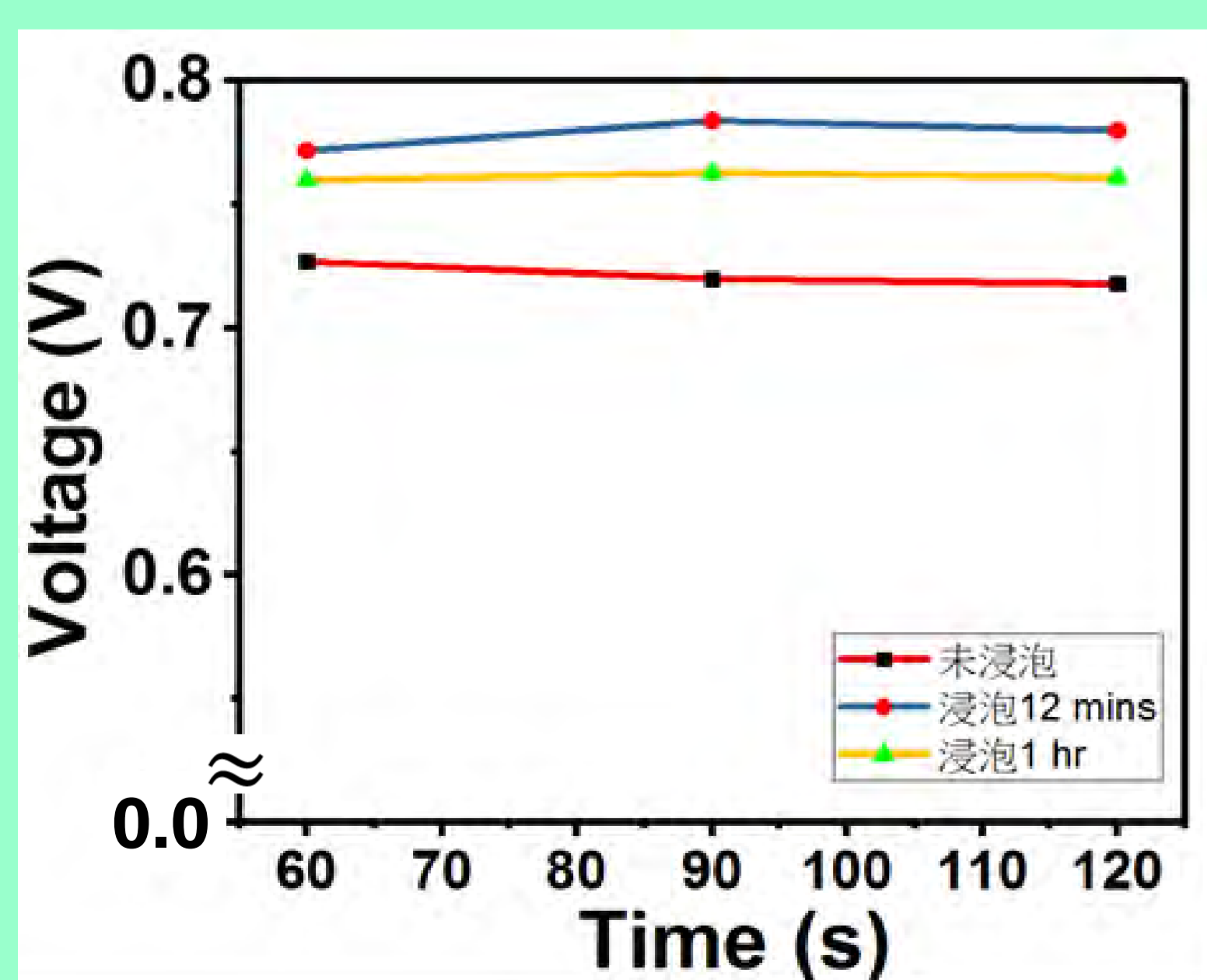
三、透析膜前處理之比較

(一)前言

為了尋求提高電壓的可能性，我們改變透析膜的前處理條件，希望可以提升電池的開路電壓。透析膜在電池當中也扮演了非常重要的角色，能夠讓正負極的離子流動形成通路。本實驗的透析膜使用透明的玻璃紙，我們將玻璃紙分別預先浸泡在水裡12分鐘以及1小時。

(二)實驗結果

可觀察到浸泡過後的玻璃紙對於電池的開路電壓有明顯的幫助，推論其原因為玻璃紙本身具有孔洞，經過濕潤一段時間後，水分的膨潤效果可以把孔洞撐開，讓離子在玻璃紙中更有效地流動。



透析膜	玻璃紙 未泡水	玻璃紙 泡水12 min	玻璃紙 泡水1 hr
60時電壓	0.727 V	0.772 V	0.760 V
90s 時電壓	0.720 V	0.784 V	0.763 V
120s時電壓	0.718 V	0.780 V	0.761 V

四、改變透析膜之材質

(一)前言

由於玻璃紙的工業製程對於環境來說並不環保，玻璃紙一般工業製程使用由木頭、棉花、大麻屬植物等物質中提取出的纖維素，經過鹼和二硫化碳的處理之後形成黃酸纖維素。將其溶於稀氫氧化鈉溶液中，去除多餘的二硫化碳，並將黃酸纖維素水解成纖維膠，接著利用稀釋的硫酸和硫酸鈉溶液將纖維膠轉變為纖維素後才可以使用。製程中同時還需要除去其中的硫磺、漂白並添加甘油以防脆裂。所以我們尋找其他透析膜材料來取代它，希望能夠達到更環保也同時具有良好的電池性能。

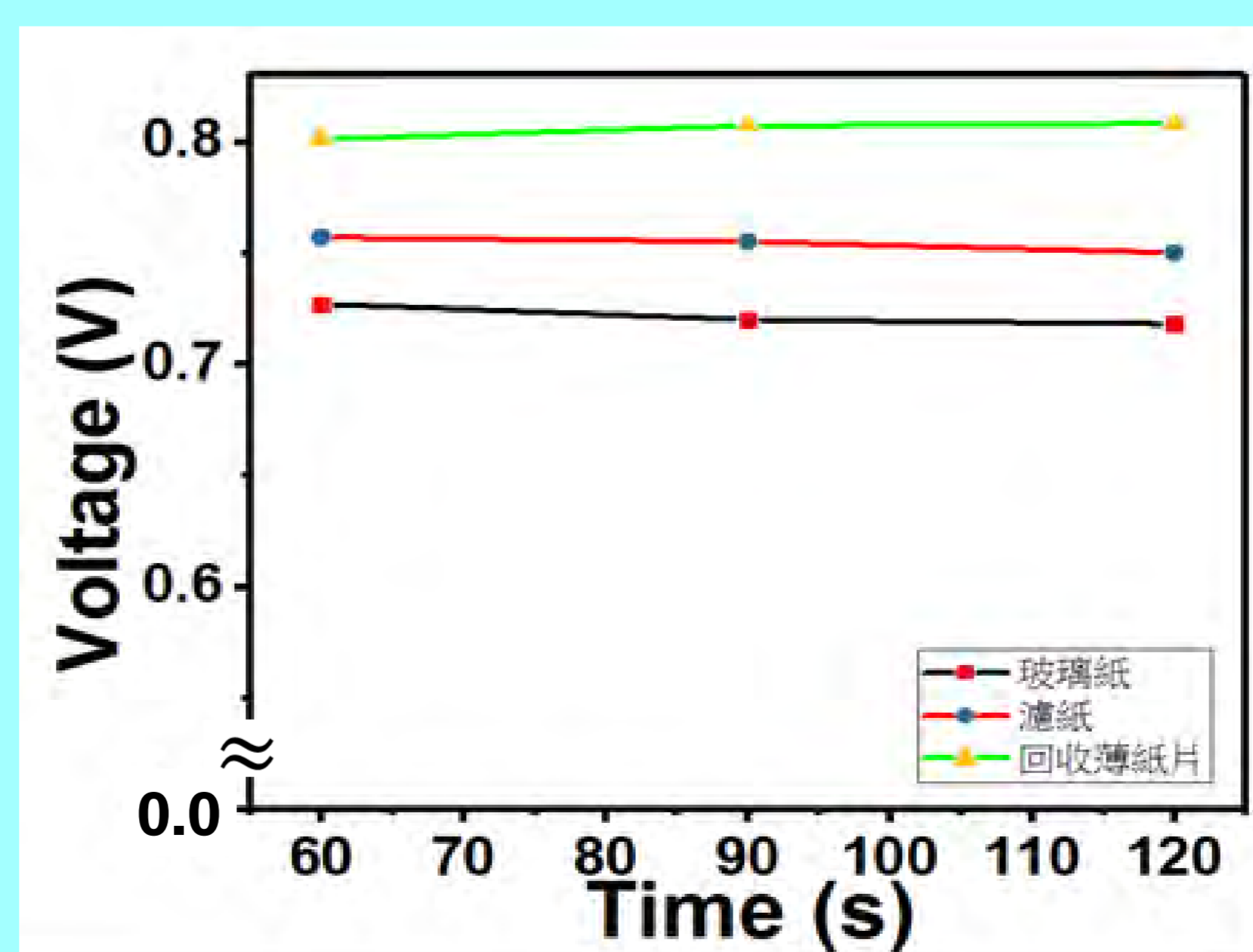
(二)實驗結果

其實驗結果如左圖及下表所示。利用濾紙以及回收的薄紙片，電壓表現結果都較玻璃紙好，其中薄紙片的開路電壓更比濾紙高。回收的薄紙片在平衡120秒後可達到0.808伏，而濾紙只有0.750伏。從此結果可以推論，紙的厚薄度可能會影響其開路電壓，濾紙的厚度為0.2mm，而回收的薄紙片的厚度遠小於濾紙，當紙的厚度太厚的時候，可能會讓離子所走的路徑過大，無法有效的限縮離子所走的路徑。再者濾紙在垂直方向的滲透性會較水平方向好，以方便過濾東西，但此電池必需透過水平方向讓離子移動，故濾紙在水平滲透這方面表現沒有一般薄紙片那麼好，所以回收的薄紙片具有較好的開路電壓。

濾紙



回收薄紙片



透析膜	未泡水的玻璃紙	濾紙	回收薄紙片
60s 時電壓	0.727 V	0.757 V	0.801 V
90s 時電壓	0.720 V	0.755 V	0.807 V
120s時電壓	0.718 V	0.750 V	0.808 V

五、改變圖樣設計

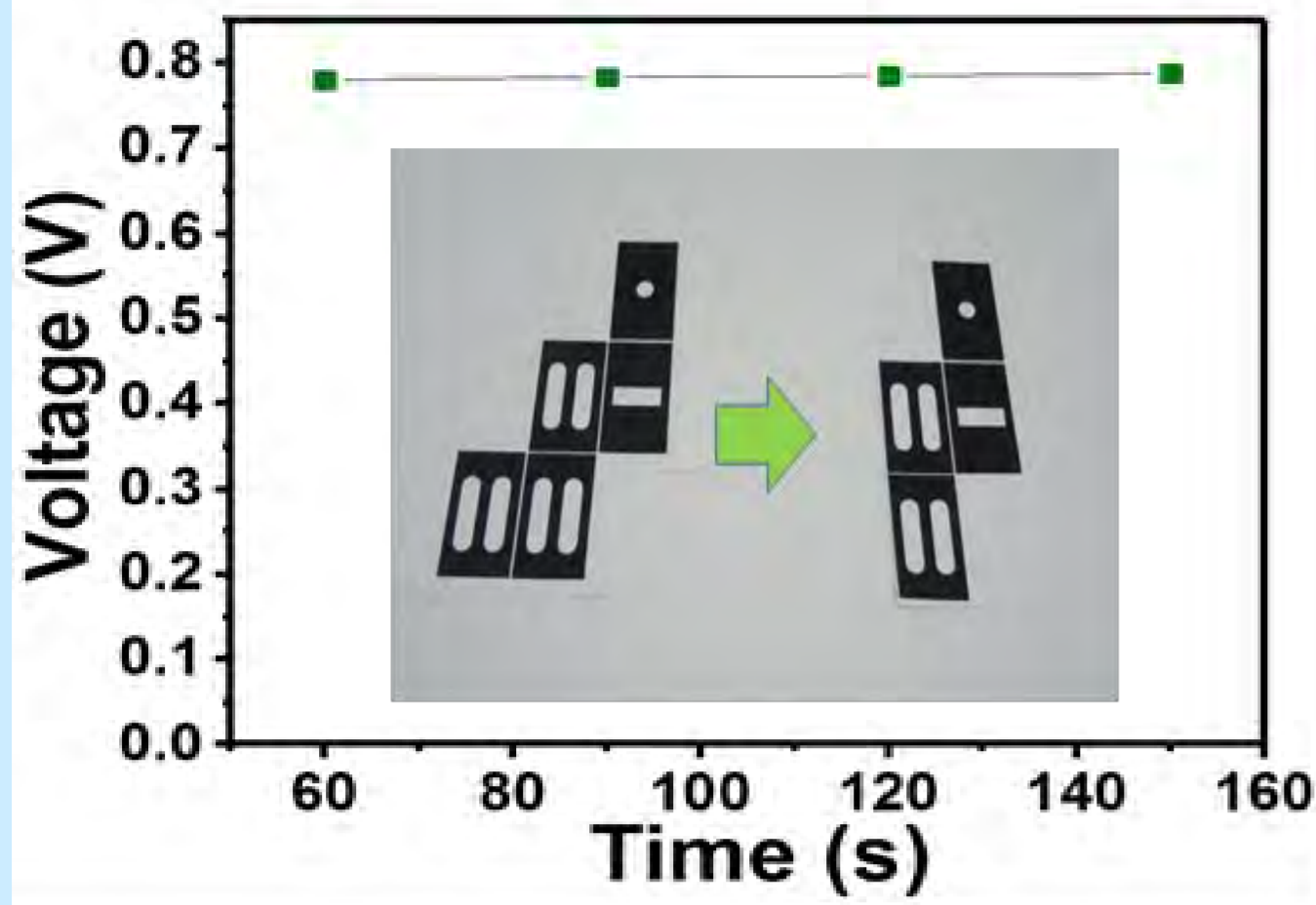
(一)前言

本研究試著精簡摺紙程序，簡化製程，未來如果有機會演進到實用的階段，希望可以降低生產成本，我們省略摺紙中的第四摺(電解液的第二層)。我們也將改變電解液之間的距離，相對來說也就是改變鹽橋的長度，觀察是否能夠透過縮短鹽橋的距離，使得離子所走的距離縮短，降低電池的內電阻，讓電池的電壓能夠有所提升。

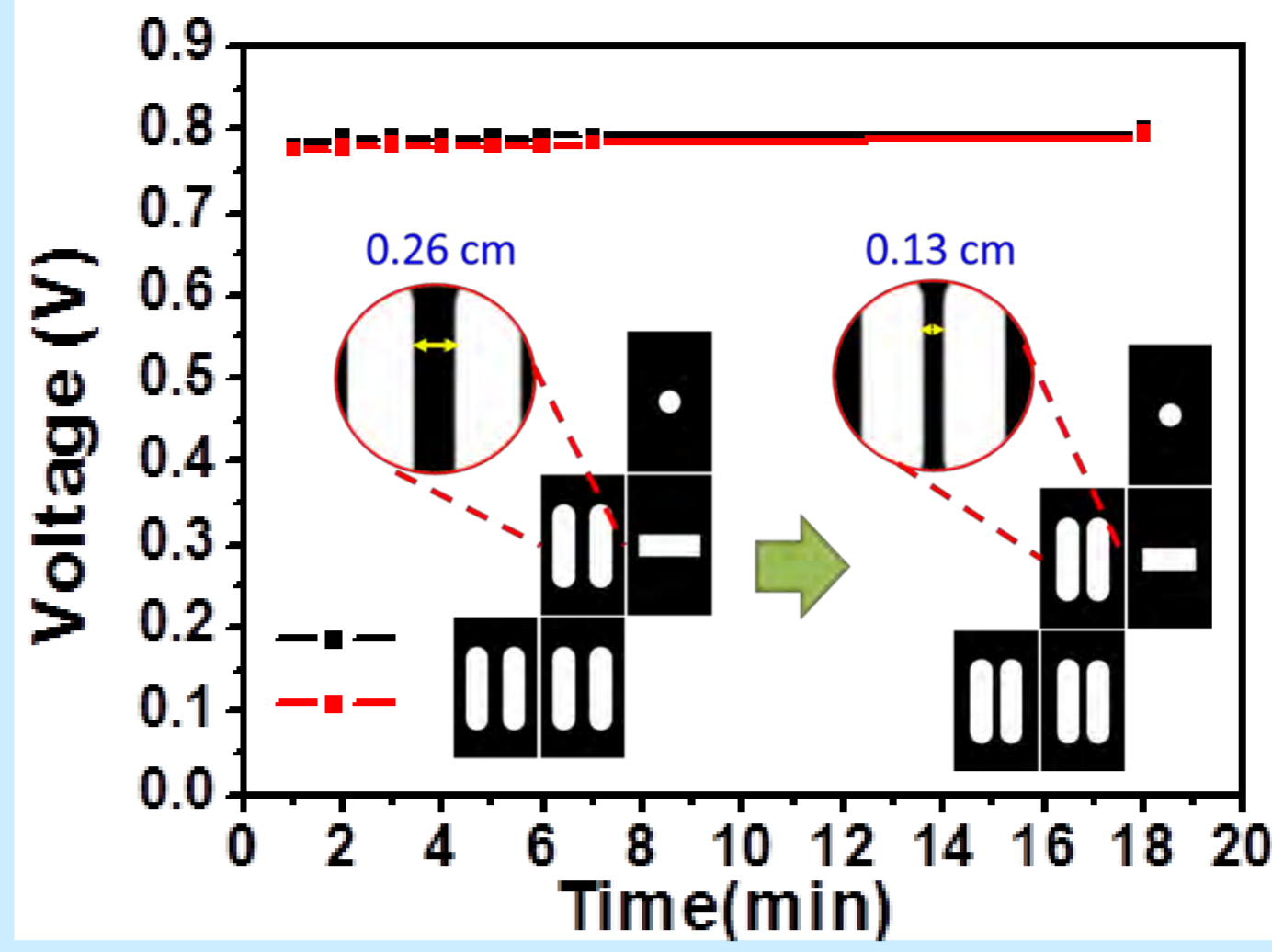
方法一(簡化製程)

(二)實驗結果

簡化電池(四層)測到的開路電壓與原結果非常的接近，透過此方法可以用更簡單的方式簡化電池，達到降低成本之目的。



方法二(縮短鹽橋)



(二)實驗結果

結果可觀察到其電壓幾乎沒有改變，相同的電壓在長時間底下也相當穩定，推論原因可能是電池本身就很小，縮短電解液之間的間距，對電壓的影響很小，無法從開路電壓看出。

時間	1分鐘	2分鐘	3分鐘	4分鐘
0.26公分的電壓	0.780 V	0.790 V	0.790 V	0.790 V
0.13公分的電壓	0.774 V	0.778 V	0.781 V	0.780 V
時間	5分鐘	6分鐘	7分鐘	18分鐘
0.26公分的電壓	0.790 V	0.790 V	0.792 V	0.798 V
0.13公分的電壓	0.779 V	0.780 V	0.783 V	0.794 V

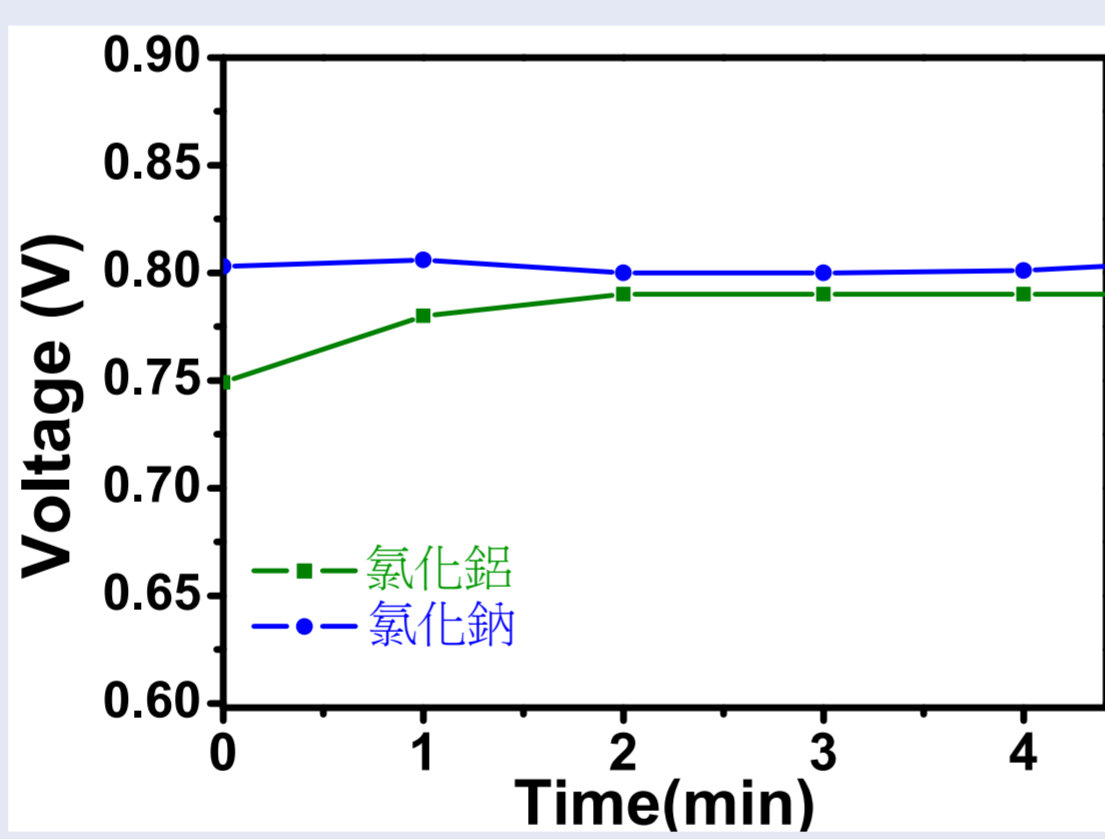
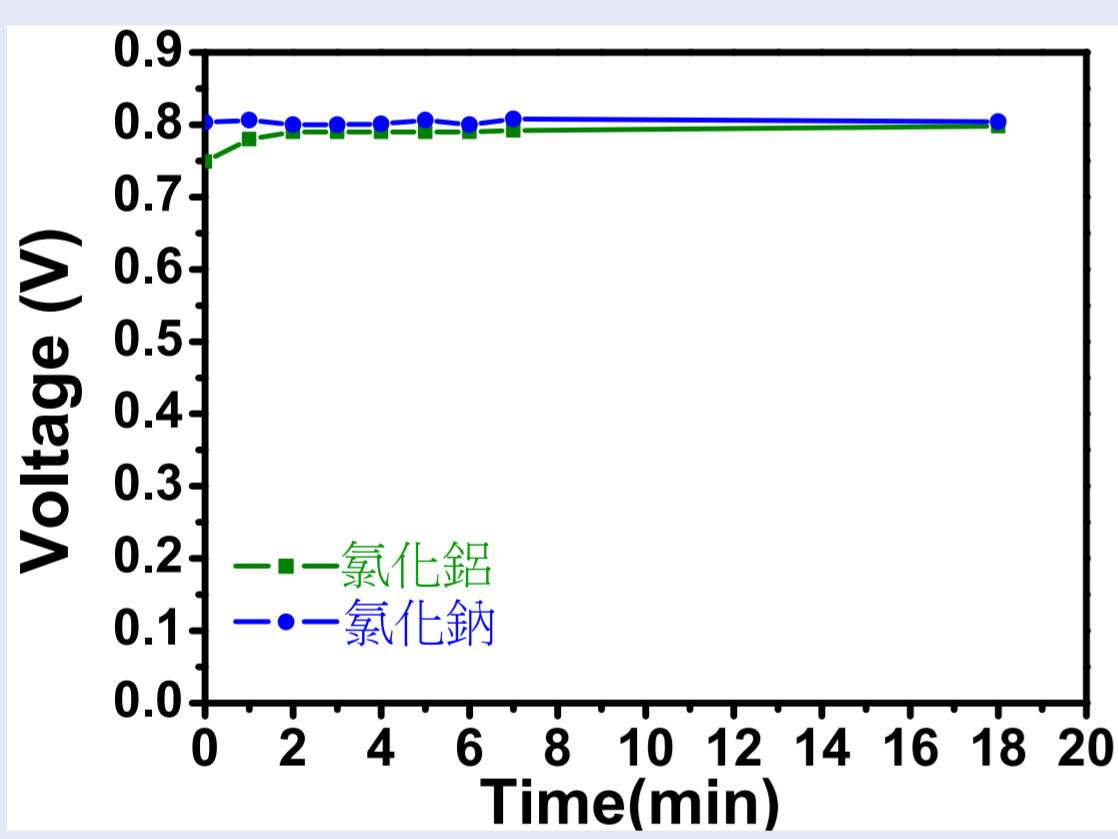
六、改變電解質

(一)前言

本研究探討陽極的氯化鋁(AlCl_3 , 0.67 M)是否可以其他離子化合物替代，並能夠達到相同的電池效果。為了維持原來電解質溶液的電荷密度，我們將氯化鋁改成氯化鈉(NaCl , 2.00 M)。氯化鈉相較於氯化鋁更容易從生活周遭取得，價格也相對的便宜也更加的安全，所以更符合經濟效益。

(二)實驗結果

陽極的電解液不管是氯化鋁和氯化鈉的開路電壓相當的接近。但從左圖可以觀察到，氯化鈉在滴水後極短的時間就達到了平衡並趨向穩定，而氯化鋁相較之下，必須花比較長的時間才能達到平衡。推論其原因為，鈉離子移動的速度比鋁離子快，所以才能很快的達到平衡。藉由此實驗可證明氯化鈉能夠取代氯化鋁的使用。



不同陽極電解質溶液其開路電壓與時間的關係

初始時間之不同陽極電解質溶液的開路電壓

時間	剛滴水	1分鐘	2分鐘	3分鐘
氯化鋁的電壓	0.749 V	0.780 V	0.790 V	0.790 V
氯化鈉的電壓	0.803 V	0.806 V	0.800 V	0.800 V
時間	4分鐘	5分鐘	6分鐘	18分鐘
氯化鋁的電壓	0.790 V	0.790 V	0.790 V	0.798 V
氯化鈉的電壓	0.801 V	0.806 V	0.800 V	0.804 V

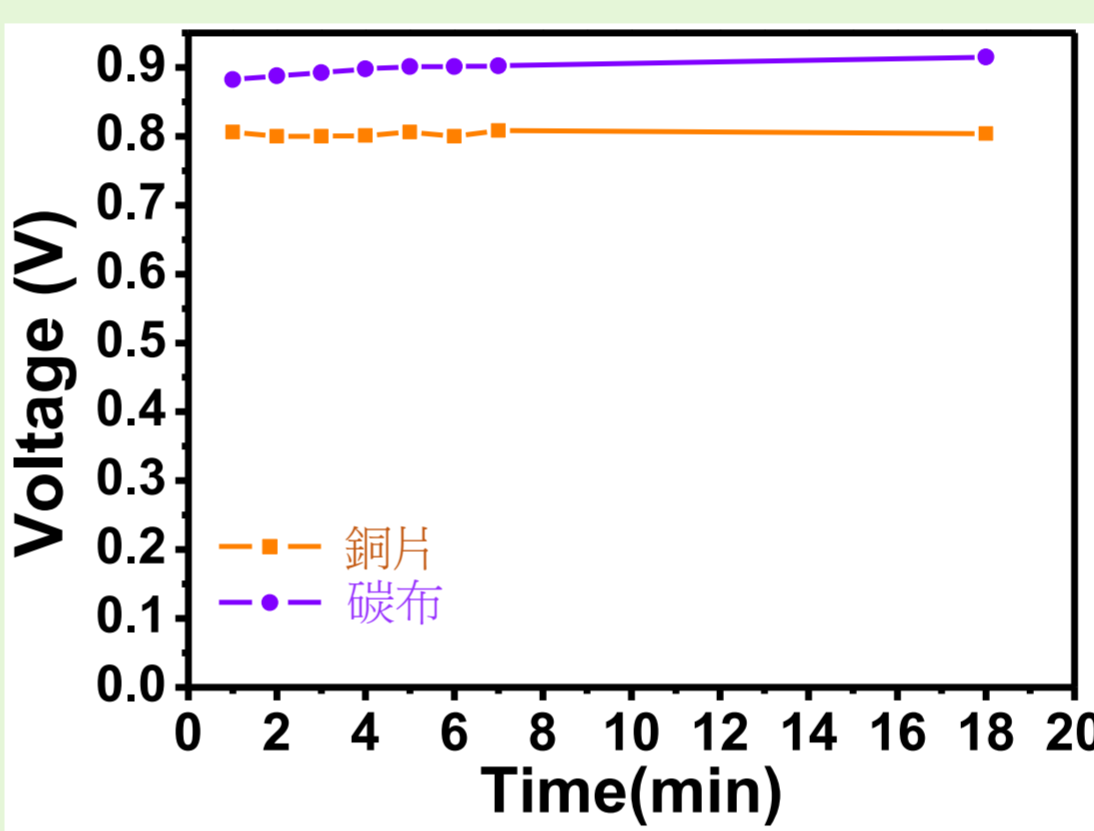
七、改變電極

(一)前言

本研究探討如果使用不同的陰極電極材質是否能達到相同的效果或提升開路電壓。電池兩極的使用上，陽極仍然維持鋁片，陰極的部分本實驗改以碳布取代銅片。

(二)實驗結果

碳布的開路電壓相較於銅片成長了1.14倍。推論其原因為碳布的表面積比較大，相較於銅片有更多的面積能夠進行反應，因此能產生更大的開路電壓。



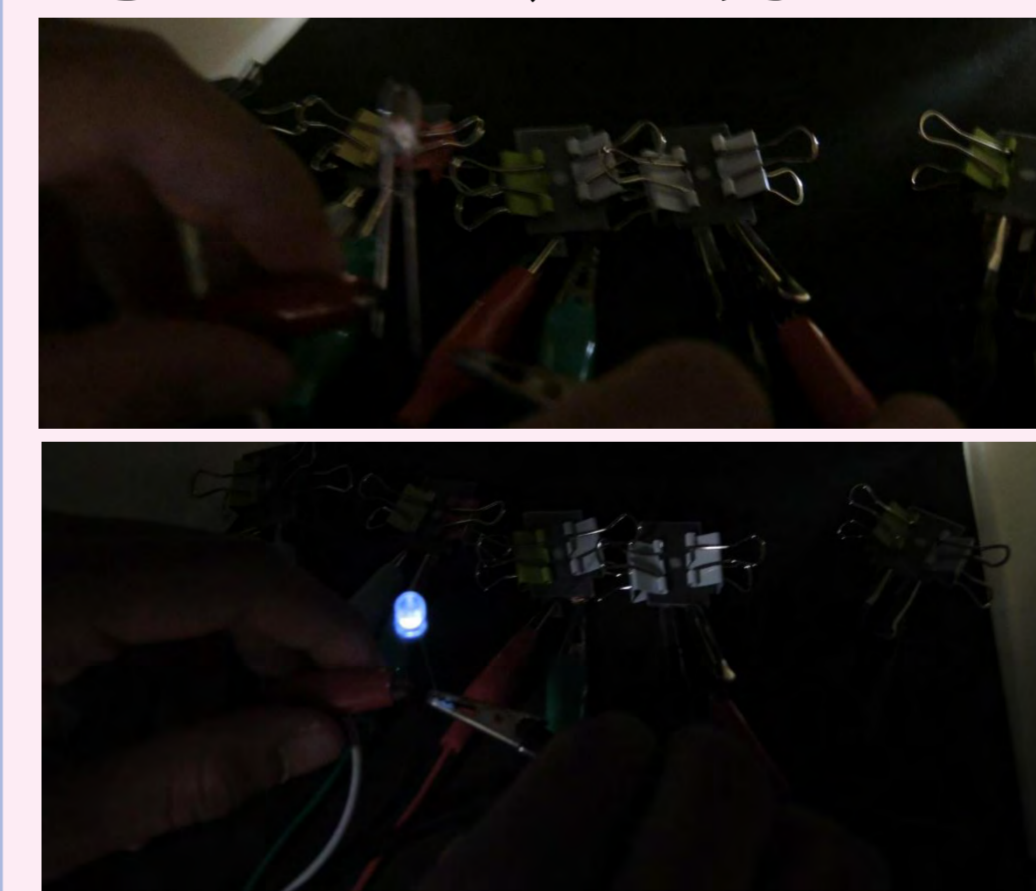
時間	1分鐘	2分鐘	3分鐘	4分鐘
銅片的電壓	0.806 V	0.800 V	0.800 V	0.801 V
碳布的電壓	0.882 V	0.888 V	0.892 V	0.898 V
時間	5分鐘	6分鐘	7分鐘	18分鐘
銅片的電壓	0.806 V	0.800 V	0.808 V	0.804 V
碳布的電壓	0.901 V	0.901 V	0.902 V	0.915 V

八、串聯電池以點亮燈泡

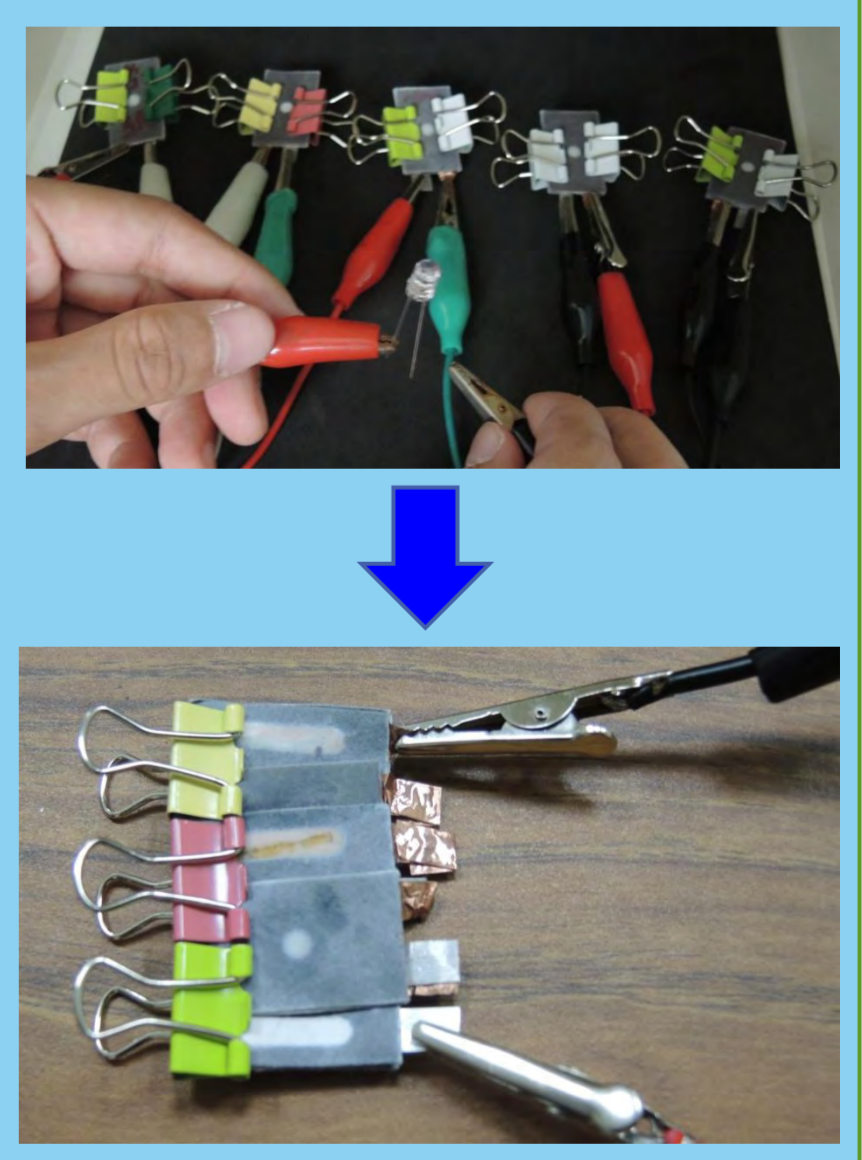
New

(一)前言

為了研究所做出來電池是否能實際發電，我們串聯五顆電池，用來點亮燈泡。



簡化串聯方式



通電

陸、結論

隔膜型紙基底電池為3-D元件，以蠟印法製作紙流道，並利用摺紙術迅速將紙流道由2-D轉換為3-D。此種電池以隔膜取代鹽橋作為離子交換的介質，大幅降低電池的內電阻，有助提升輸出功率。欲使用電池時只需將水由入口滴入即可，可連續使用超過30分鐘。本實驗探討電解質的濃度、改變透析膜前處理之條件、透析膜材質的改變以及簡化電池之設計並改變陰極電極材料及陽極電解質。實驗觀察到當電解質的濃度上升時，開路電壓也會上升，但不會成正比的上升，再者透析膜藉由泡水的前處理可達到提升開路電壓的效果。我們也利用實驗室中容易取得的回收薄紙片當作透析膜，可取代玻璃紙的使用，讓實驗取材更加環保，其最大的開路電壓可達到0.808伏特，並且簡化過後的電池也可達到幾乎同等的開路電壓，能夠達到環保及節省製作成本的雙重目的。為了達到更安全也最環保的電池，我們利用最佳的製作條件，四倍濃度的硫酸銅以及氯化鈉，並使用回收薄紙片當做透析膜，而電極的部分則使用碳部以及鋁片，這樣所組出來的電池的開路電壓可達到1.086 V，最後可透過串聯的方式，讓電池點亮燈泡。未來希望能夠將此電池實際應用在各式設備上，對於地球的保護能夠更盡一份心力。

柒、參考資料及其他

1. 陳崧昇，2013年，隔膜型紙基底電池之設計製作暨可攜式元件之應用，臺灣大學機械工程學研究所學位論文
2. 鋅銅電池: <http://140.128.56.123/~sciedu95/oxidation/lesson/ZnCu.htm>
3. 電池細說分明: http://pei.cjrh.tc.edu.tw/~pei/electricsafety/battery_explain.htm