

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030215

電池漆與電池紙

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國二 曾宥程 國二 彭浩恩 國二 謝承翰	指導老師： 梁炫禧 陳炯鋼
---	-----------------------------

關鍵詞：電池漆、電池紙、電極紙片化

摘要: 我們嘗試用乾電池裡的材料來製作方便攜帶又環保的電池漆與電池紙，先嘗試測量各物質的電阻以及其適合的溶劑，最後決定碳+松香水，電解質+水，鋅+膠水。用宣紙當鹽橋，觀察電壓、電流，雖然在 A 部分電流是測不太到的，但在 B 部分中加強了接觸面積後，電流也有明顯的提升我們嘗試用 2B 筆塗的碳紙當碳極，來接出正極二氧化錳所產生的電，並用氯化銨水溶液滴入濾紙來取代宣紙作為鹽橋，負極則用鋅片來代替電阻大的鋅粉，製成了新的電池紙，在碳紙部分也嘗試用了各種不同種類的碳紙來做比較，發現在 2B 4B 6B 筆塗碳紙中 2B 碳紙電壓最高，目前電流及電壓值在應用方面可以驅動小型電池錶以及小型電子車，未來將嘗試更多日常生活電子用品上。

壹、研究動機

從電視新聞中看到目前很多 3C 團隊正發展電池紙，而且看了 2012.10 科學人雜誌介紹由比利時萊斯大學和魯汶天主教大學正在研發的電池漆，我們覺得很有趣，引起了我們想試作類似的電池漆的興趣，希望能讓電池不再侷限於一些特定的形狀，能以不同的形式使電池產生電壓，並從中體驗自製電池的樂趣，但是雜誌中介紹的塗層有問題，其電池漆中的一層遇到空氣就會爆炸，所以我們就改成已知的碳鋅乾電池環保材料代替。在研究中，我們發現用漆的方式塗成電池不容易使材料均勻密實，我們把電極及電解質做成紙片形式，使材料均勻密實，成為穩定電源，供各類微型機構應用之可能能源。在研究過程中，我們盡量使用環保的碳鋅乾電池材料，其他可能污染的高級電池祕方盡量避免使用。

貳、研究目的

- 一、將電池材料混入各可能溶劑中使電池材料變成漆狀，並找出最佳溶劑。
- 二、製成電池漆並研究其實用性。
- 三、將電池做成紙片型式並研究其實用性。
- 四、將電池正，負極和電解質紙化過程研究。

參、研究設備及器材

三用電錶、天秤、燒杯、滴管、乾電池、研鉢、銼刀、宣紙、濾紙、鋅粉、碳棒、水、電解質(氯化鋅、氯化銨、二氧化錳、水、澱粉)、膠水、松香水、三秒膠、銅粉、水彩筆、蒸發皿、2B、4B、6B 鉛筆、壓片機、 μA 電錶，mA 電錶、稀鹽酸、砂紙、游標卡尺。

肆、研究過程及結果與討論

【實驗 A 部分】

主題：單層式電池漆與電池紙—探討塗佈方式成電池漆和電池紙的可行性

一、不同溶劑與電池材料混合成漆狀的電阻值

(一)不同質量碳粉與實驗溶劑混合的電阻值，找出適當電池正極

1. 想法：用不同的溶劑與不同質量的碳粉混合，找出最小電阻值作為電池漆的材料。
2. 方法：從電池中取出碳棒，用研鉢搗碎成小顆粒，再秤量碳粉的質量，然後依相同質量分別倒在紙上，並滴入水、松香水、三秒膠，再測量剛滴下去時的電阻值。而因為膠水跟漿糊是黏糊狀的，不好滲透到碳粉堆裡，所以我們就先把膠水跟漿糊塗在紙上，再把碳粉倒入，測量剛倒入時的電阻值。
3. 結果：

表一、碳粉與實驗溶劑每平方公分電阻值

碳粉重量 g	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
乾燥無溶劑	3.4kΩ	3.7kΩ	3.8kΩ	4.5kΩ	3.4kΩ
水	42kΩ	15kΩ	34kΩ	40kΩ	46kΩ
膠水	22kΩ	34kΩ	25kΩ	10kΩ	30kΩ
松香水	260Ω	230Ω	380Ω	480Ω	350Ω
三秒膠	1300kΩ	1800kΩ	3400kΩ	2300kΩ	3300kΩ
漿糊	1800kΩ	1200kΩ	1500kΩ	1100kΩ	2900kΩ



4. 討論：使用電錶測量電阻時因為數據會一直改變，我們就取電錶顯示出現

的數字作為平均的電阻值。碳粉加松香水的電阻最小，所以我們決定以松香水作為碳粉的溶劑。

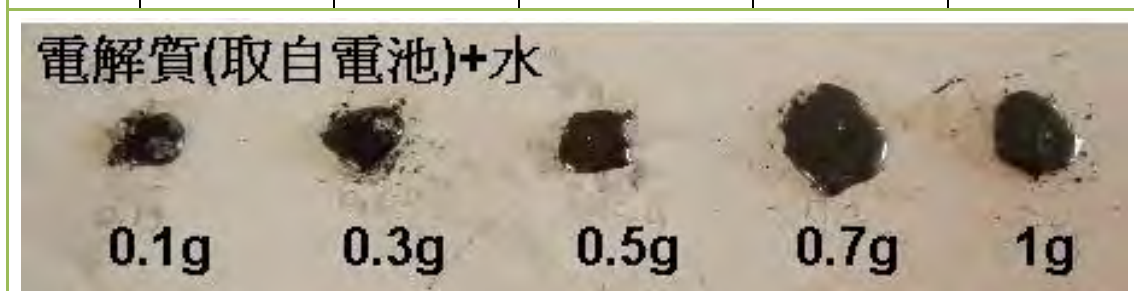
(二)不同質量電解質(取自電池中層)與實驗溶劑混合的電阻值

1. 想法：用不同的溶劑與不同質量取自電池的電解質混合，找出最小電阻值作為電池漆的材料。
2. 方法：從電池中取出電解質，將之搗碎成粉，其餘同實驗(一)。

3. 結果：

表二、每平方公分電阻值

電解質 (取自 電池) 重 g	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
無溶劑	31kΩ	22kΩ	34kΩ	17kΩ	16kΩ
水	2.1kΩ	1.5kΩ	1.4kΩ	2.7kΩ	3.4kΩ
膠水	40kΩ	36kΩ	14kΩ	11kΩ	13kΩ
松香水	14kΩ	3.5kΩ	8.3kΩ	5.7kΩ	2kΩ
三秒膠	2000kΩ	1500kΩ	2400kΩ	3400kΩ	6100kΩ
漿糊	12kΩ	17kΩ	20kΩ	21kΩ	25kΩ



4. 討論：電解質(取自電池)加水電阻最小，所以我們決定以水作為電解質的溶劑。因為我們是直接用水龍頭打開的水來做實驗，測得電阻滿小的，推測應該是水裡面有可以導電的雜質金屬離子造成的。

(三)不同質量鋅粉與實驗溶劑混合的電阻值，找出適當的電池負極

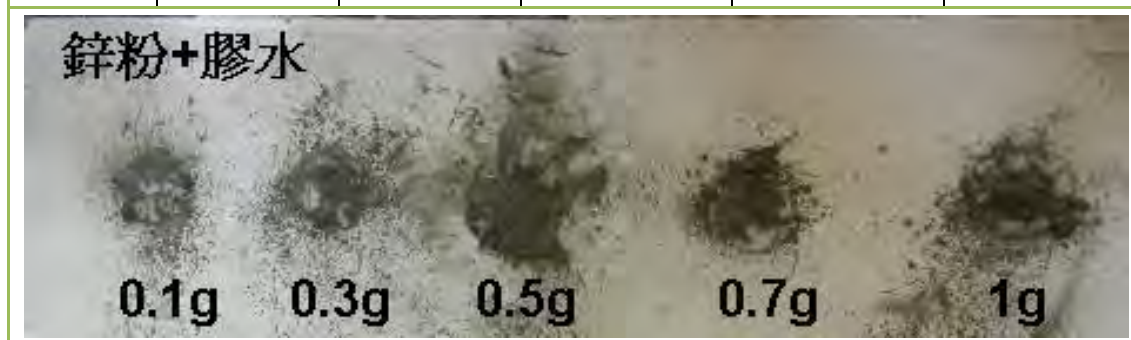
1. 想法：用不同的溶劑與不同質量的鋅粉混合，找出最小電阻值作為電池漆的材料。

2. 方法：我們先從實驗室中拿出鋅粉，其餘同實驗(一)。

3. 結果：

表五、每平方公分電阻值

鋅粉重 g	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
無溶劑					
水	110kΩ	100kΩ	80kΩ	43kΩ	11kΩ
膠水	130kΩ	160kΩ	34kΩ	130kΩ	40kΩ
松香水					
三秒膠			160000kΩ	150000kΩ	82000kΩ
漿糊	510kΩ	380kΩ	990kΩ	130kΩ	17000kΩ



註：斜線為電阻太大，超出電錶所能測量的範圍(2 億 Ω)。

4. 討論：鋅是金屬，原本以為導電效果應該很好，但是用研鉢磨過後的新鮮鋅粉還是量不到鋅粉的電阻，推測原因為鋅氧化後形成的緻密保護層保護得很好。後來我們又試試看是否測量的出鋅片的電阻，結果可以，所以測量不到鋅粉的電阻應該是因為每一顆鋅粉都會形成保護層且彼此堆疊，不緊密，相較於鋅片來的多，所以電錶才量不到。而測到的數據推測是溶劑本身的電阻。水與膠水的電阻都差不多，而且 0.5 克時的膠水加鋅粉電阻最小，又水已是電解質的溶劑，所以我們決定以膠水作為鋅粉的溶劑。

二、 各種電池漆的電壓與電流

(一)找出第一種最佳組合電池漆

1. 想法：利用之前實驗找出的最小電阻溶劑混合電池材料塗在紙上，測量其電壓、電流。
2. 方法：根據之前測量電阻實驗的結果，我們取用電阻最小溶劑作為之後電池漆實驗的材料，分別為：碳粉加松香水、電解質加水、鋅粉加膠水。因為我們沒有發現質量對電阻的變化有特定規律，所以質量都取用 0.5 克，比較好測量，份量也看起來剛剛好。將 0.5 克的碳粉倒入蒸發皿中，再加入松香水，最後用水彩筆攪拌混合，再將 0.5 克的電解質以同樣方式混合水，0.5 克的

鋅粉混合膠水，塗佈方式為：碳粉溶液塗在第一層，電解質溶液塗在第二層，鋅粉溶液塗在第三層，然後測量電壓，之後再接上電阻(LED 燈泡)測量其電壓與電流。測量完後再重複一次上述的步驟，塗佈第二次(串聯)，測量其電壓與接上電阻的電壓、電流。(原本要用油漆刷子塗，但是刷子太粗了，後來的實驗就都用水彩筆塗。)



3. 結果：

表七、找出第一種最佳組合電池漆

	未接電阻之電壓	有外接電阻之電壓	有外接電阻之電流
一層碳、一層電解、一層鋅	1.3V	0.6V	斜線
二層碳、二層電解、二層鋅	1.7V	0.7V	斜線

註：斜線為電流太小，低於電錶所能測量的範圍(0.1mA)。

- 討論：塗佈三層後，電壓接近電池。塗兩層後，電壓有增加的趨勢，可是接上電阻後電壓就變小了。測量不到電流，因為電流太小，推測應該是塗佈與接觸面積不夠大，只要塗大片一點應該就能有較大的電流。

(二)在電解質中加一張宣紙的電壓與電流

- 想法：利用前幾個實驗的數據與經驗，加入新的測量介質：宣紙。因參考了參考文獻一的資料，指出宣紙有較穩定的電壓，所以我們嘗試用宣紙讓電解質保持濕潤，讓電池漆的使用時間可以持續久一點。
- 方法：將 0.5 克的碳粉混合松香水，0.5 克的電解質混合水，0.5 克的鋅粉混合膠水，再將碳粉溶液塗在第一層，宣紙放在第二層並塗上電解質溶液，鋅粉溶液塗在第三層，然後測量電壓，最後再接上電阻(LED 燈泡)測量其電壓與電流。測量完後再重複一次上述的步驟，塗佈第二次(串聯)，測量其電壓與接上電阻的電壓、電流。

3. 結果：

表八、在電解質層中加一張宣紙

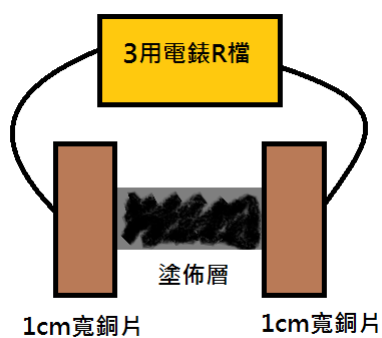
	未接電阻之電壓	有外接電阻之電壓	有外接電阻之電流
一層碳、一層電解、一層鋅	1.4V	0.8V	/
二層碳、二層電解、二層鋅	1.7V	0.8v	



4. 討論：在接上電阻後電壓有變小，可是卻是目前最好的鹽橋。實際測試過發現無電阻與接上電阻後的電壓值皆是穩定的。

三、電池紙的製作

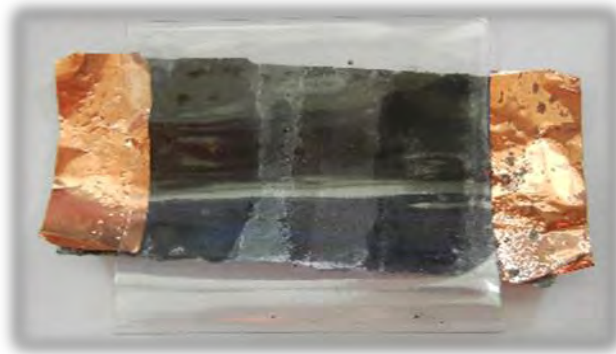
塗佈成電池紙



我們使用在電池漆中加入宣紙的這個組合做出各塗佈兩層如名片大小般的電池紙，並加一層銅箔增加接觸面積。



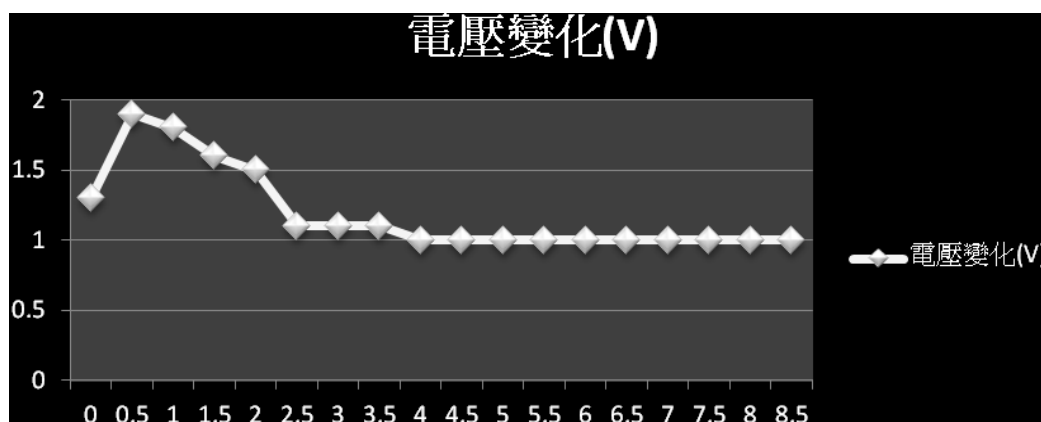
剛做好時電壓平均為 1.3V，而因為接觸面積更小了，所以三用電錶還是測量不到電流，但為了測試得更精確一點，我們使用微安培計(μA)，並且測量到這個電池的電流了，約為 20~30 μA ，非常的小。而為了保持濕潤使電池只能持續有電壓，我們就用裝圖書證的證件套套起來，防止水分蒸發。



之後我們每半個小時紀錄一次電壓變化，結果如下表：

表十二、電池紙持續時間

時間	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
電壓	1.3V	1.9V	1.8V	1.6V	1.5V	1.1V	1.1V	1.1V	1V
時間	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30
電壓	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V	1V



(橫軸單位：經過小時)

結果：製作好半小時後電壓上升了，推測為一開始溶液尚未完全浸濕紙張，導致電壓還沒上升到最高點。之後電壓開始下降，表示溶液開始蒸發了，但是後來就維持在 1V，表示電池紙在未使用下電壓可以保持 4 小時以上，但電流還是很小，達不到實用的要求。

【實驗 B 部分】

主題：疊層式紙片電池—用重疊方式使電池紙再進化研究

一、疊層式電池紙比較—增加電流

(一)碳極的薄層化

1. 想法：之後將之前做的電池紙從線的接觸改成面的接觸(增加接觸面積)以增加電流，用鋅片取代鋅粉、碳片取代碳粉以降低電阻，電解質的部分也做些調整。我們更進一步將質硬的碳片換我們獨創用針戳洞再用 2B 鉛筆塗佈在濾紙的兩面使戳洞處塗佈的碳相連所做成的質軟的碳紙，讓電池更進步成電池紙，並比較 2B、4B、6B 鉛筆製作的碳紙與鋅片組合後其電壓、電流與厚度。另外我們也用游標卡尺測量各個重疊式電池紙的厚度。

2. 方法：先取出一片鋅片並用砂紙磨去氧化層，再放入稀鹽酸中洗淨，然後剪成 1 平方公分大小(負極)。之後剪出 1 平方公分大小的濾紙，在上面滴幾滴飽和氯化銨水溶液，然後再灑上一些從電池

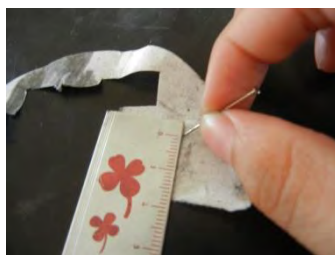


裡取出來的電解質(電解質層)。將從電池裡取出來的碳棒先切下一小段，並用砂紙將之磨成碳薄片(正極)，最後測量其電壓、電流，並用游標卡尺測量其厚度。完成後我們再將正極碳片改成碳紙。碳紙的部分為先在一整張濾紙上用細針戳小洞，再用隨手可得、考試時所用的 2B 鉛筆塗滿一整張雙面濾紙，再剪下一平方公分作為電池正極，然後用同樣的方法做出以 4B 碳紙與 6B 碳紙當作碳極的電池紙，與 2B 做比較。

測量電壓與電流的部分，我們在夾子的兩端上纏繞銅線各一圈當成電表探針端，用夾子夾住的力量改善用手測量時會晃動使數據一直不穩定的問題。



2B 鉛筆塗佈在濾紙的兩面





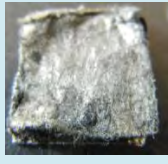

用針戳洞



纏繞銅線成電表探針端

3. 結果：

表十三、不同碳極的電池紙比較(面積 1cmx1cm)

正極	碳片	2B 碳紙	4B 碳紙	4B 碳紙
電解質	濾紙+氯化銨(aq)+二氧化錳	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳
負極	鋅片	鋅片	鋅片	鋅片
電壓	1.7V	1.42V	1.25V	1.24V
電流	16mA	2 mA	2mA	1.9mA
厚度	1.46mm	1.04mm	1.04mm	1.28mm
照片				

4. 討論：碳片+鋅片的電壓與電流都很大，但是因為是從碳棒上鋸下的碳片，材質較脆易碎裂，所以沒有辦法像紙一樣彎曲，而碳紙+鋅片的電壓與電流雖然沒有像碳片+鋅片好，但是碳紙改善了碳片不能彎曲的缺點。而 2B、4B、6B 部分，2B 鉛筆的電壓最高，但是 4B 與 6B 的電壓差不多，推測原因可能是塗佈的不太均勻造成的。厚度部分的誤差可能是電解質加的量不太一樣造成的。而電流方面則是都差不多，既然差不多，我們就選最常見、最普遍的 2B 鉛筆作為之後實驗的碳極，我們查過的文獻中都沒有使用 2B 鉛筆作為碳極，所以這是一個值得發展的新想法。至於鋅片的部分，鋅片雖然可以彎曲，但是厚度較厚且硬，要很用力才能彎曲，所以鋅片部分還需要調整使之變的更薄更軟(有查過網路僅一家大陸廠商有生產鋅箔)。

(二)鋅片的薄層化

1. 想法：為了改善鋅片的厚度與可彎曲程度，我們想出三種方法改善使之變的更薄：用鹽酸溶解鋅片、用壓片機高壓鋅片、用壓片機高壓鋅粉。雖然鋅粉的電阻比鋅片大，但我們想試試看用高壓的方式能否讓鋅粉變得與鋅片差不多。



壓片機→

2. 方法：

- (1)將負極改成溶蝕鋅片箔：先將鋅片用砂紙磨去氧化層，再放入稀鹽酸中靜置一段時間，讓鋅片溶解變得約比銅箔厚一點點(約 0.1mm)，使之更趨近於紙。
- (2)將負極改成高壓鋅片箔：用壓片機將鋅片以 16 噸的重量高壓成薄片。
- (3)將負極改成高壓鋅粉箔：用壓片機將鋅粉以 16 噸的重量高壓成薄片。

3. 結果：

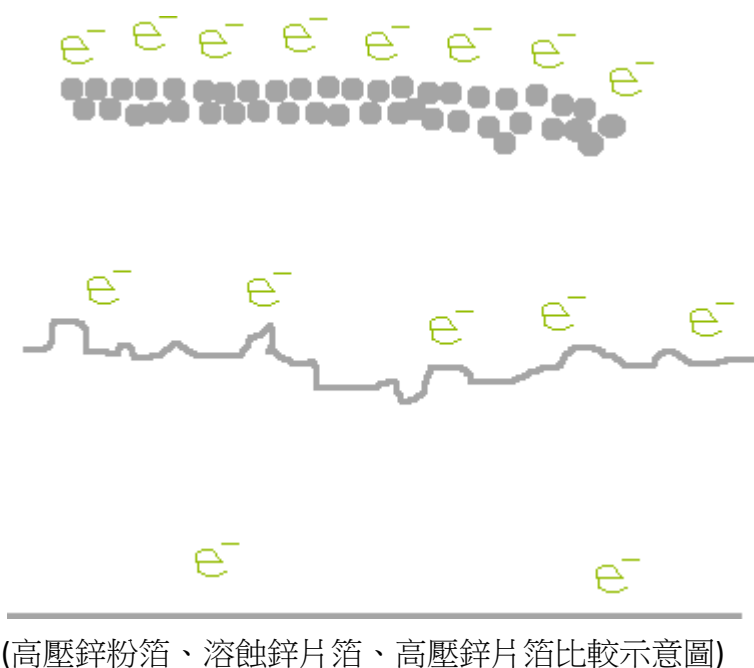
表十四、不同鋅片的電池紙比較(面積 1cm×1cm)

正極	2B 碳紙	2B 碳紙	2B 碳紙
電解質	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳	濾紙+氯化銨(aq)+ 二氧化錳
負極	溶蝕鋅片箔	高壓鋅片箔	高壓鋅粉箔
電壓	1.11V	1.25V	1.22 V
電流	2mA	1.8mA	3mA
電池總厚度	0.7mm	0.8mm	0.32mm
照片			

註：(1)鋅片面朝上(2)高壓鋅粉箔因為都黏在夾子上，取下來時都碎光了。

4. 討論：電壓方面，溶蝕鋅片箔的電壓只小了一點點，應該只是誤差。高壓鋅粉箔的厚度明顯有比其他的薄，但是其最大的缺點是易碎，非常容易碎裂使得它沒辦法如紙一般彎曲，而溶蝕鋅片箔的厚度比高壓鋅片箔薄一點，也比較軟、容易彎曲。而電流方面，剛完成的高壓鋅粉箔比較大，推測原因為鋅粉是粉狀，表面如下圖，使總表面積增加，加快反應速率。溶蝕鋅片箔的電流次之，推測

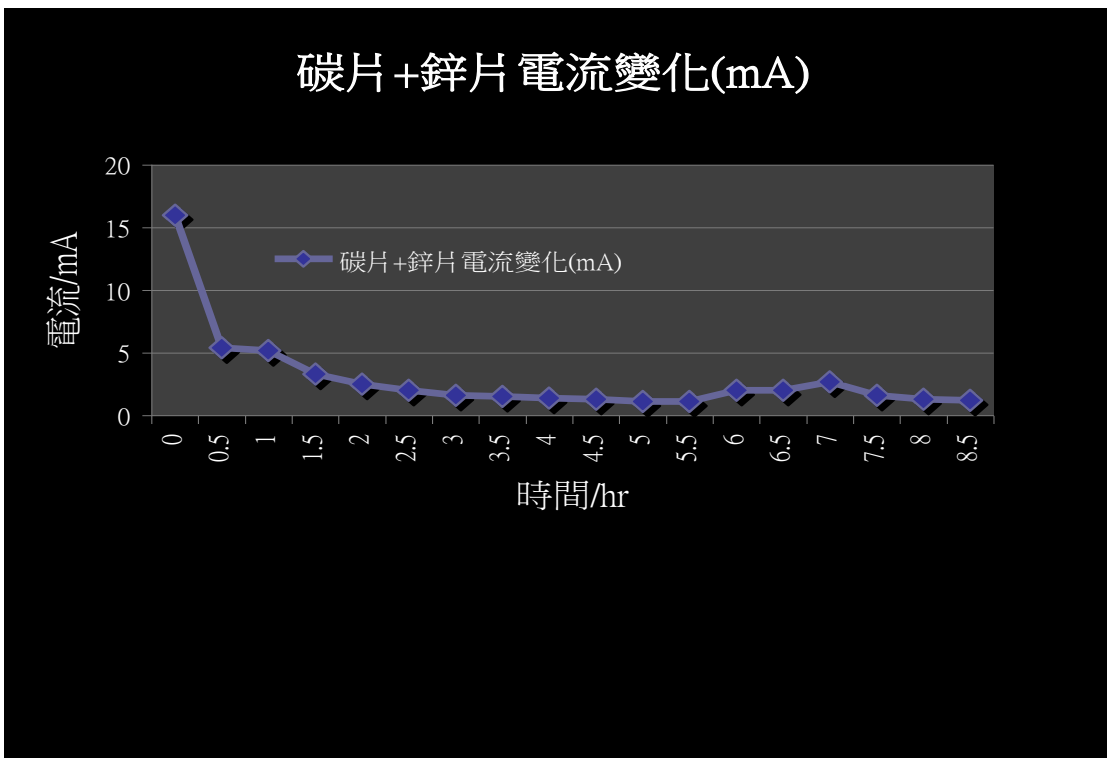
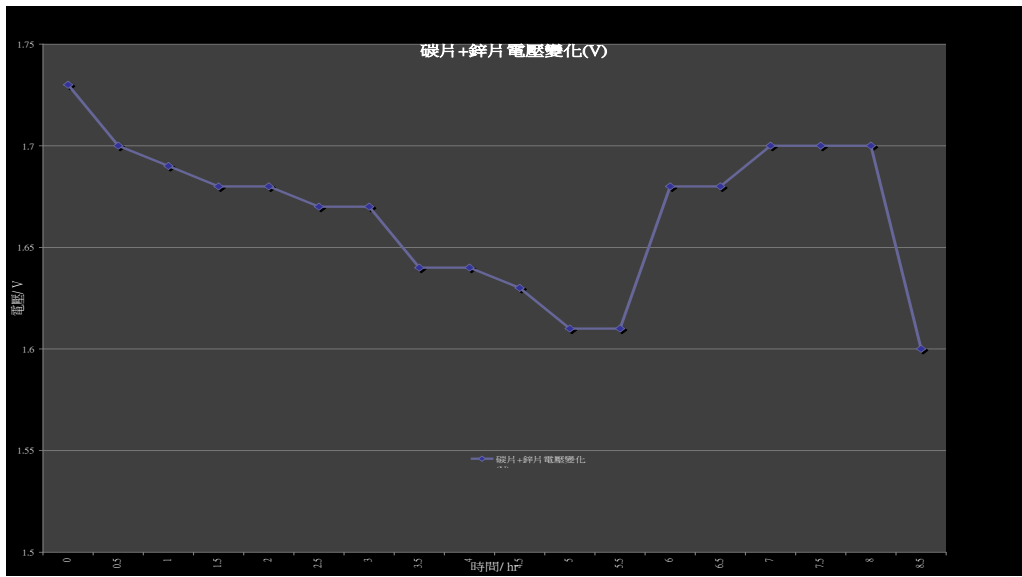
原因為用鹽酸溶解使得表面不均勻造成反應速率比高壓鋅片箔快。而高壓鋅片箔因為經過高壓使得表面平整，總表面積較其他兩者小，故剛完成時的電流較小，若經過一段時間反應後，電流應該也會增加。



二、不同正負電極組合的電池紙壽命比較(面積 1cm×1cm)

(一)碳片+鋅片

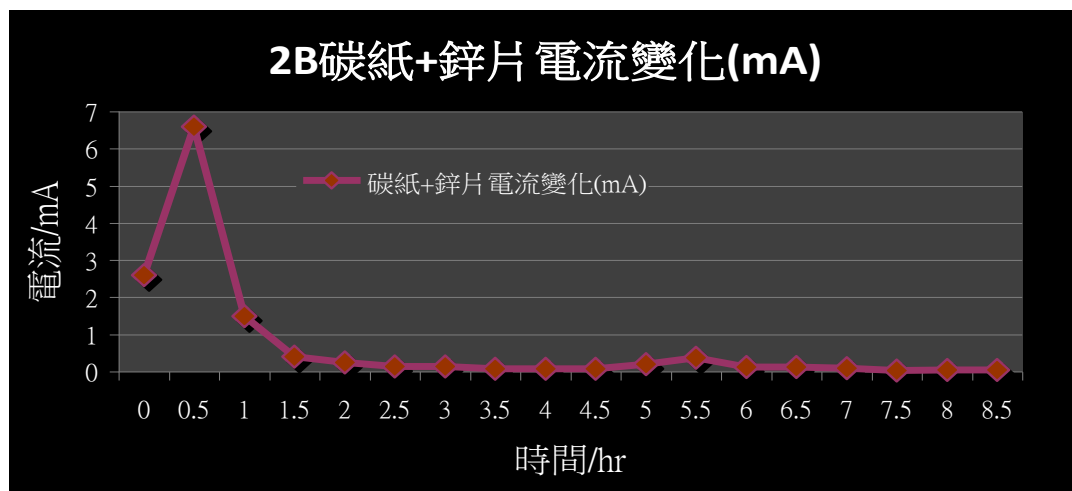
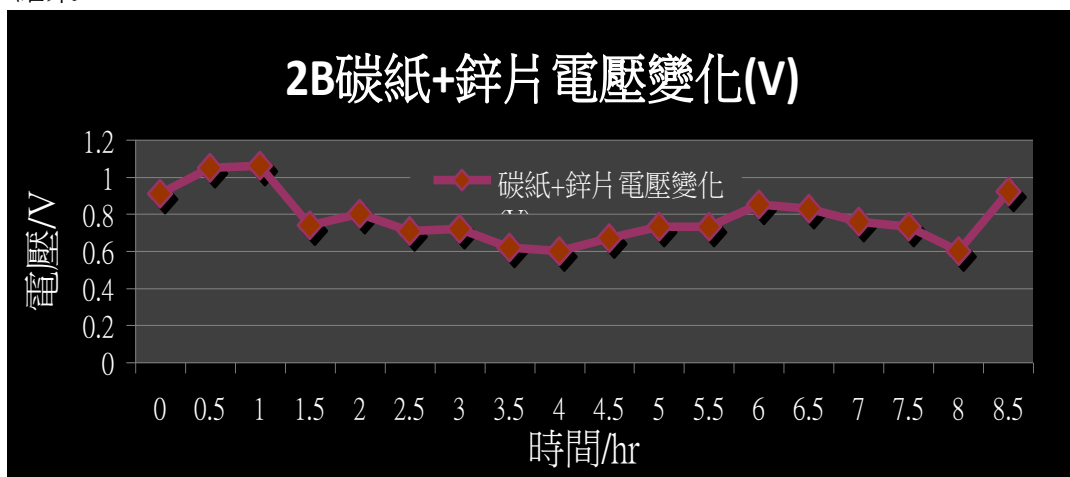
1. 想法：延續之前的實驗作進一步的研究，觀察其電壓與電流隨著時間的變化。
此為第一組：碳片+鋅片。
2. 方法：仿照之前的實驗，做一個碳片+鋅片的電池紙，每半小時測量一次其電壓與電流。
3. 結果：



4.

(二) 2B 碳紙+鋅片

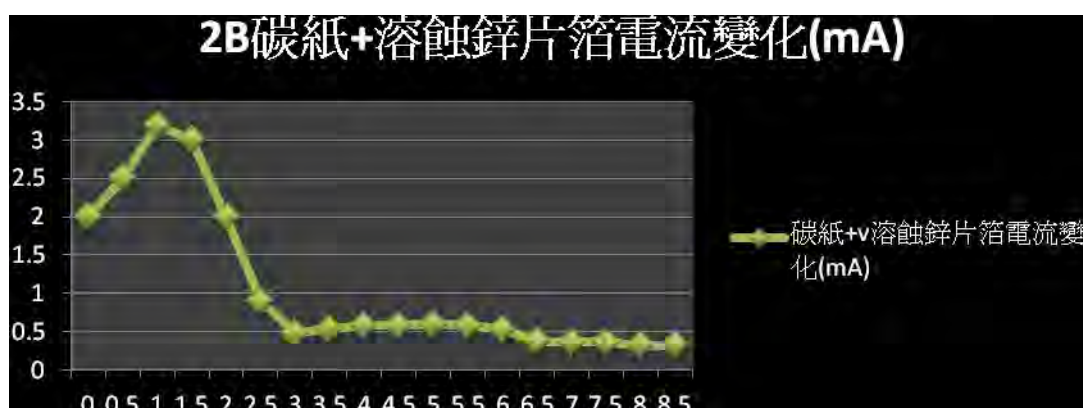
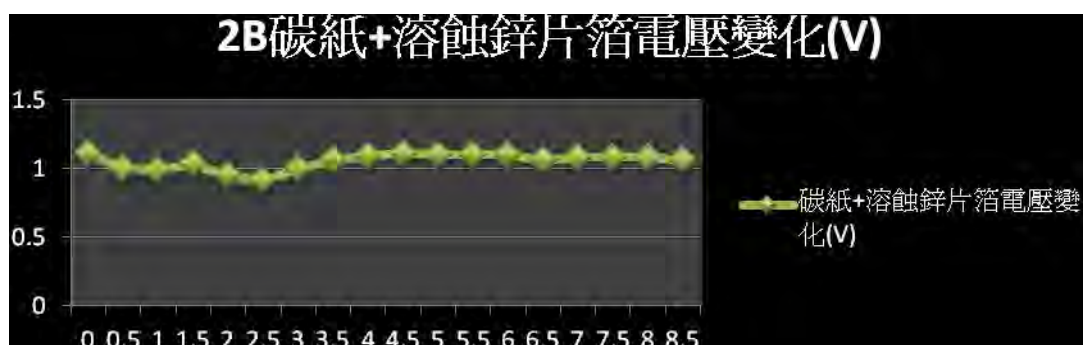
1. 想法：觀察 2B 碳紙+鋅片其電壓與電流隨著時間的變化。
2. 方法：仿照之前的實驗，做一個 2B 碳紙+鋅片的電池紙，每半小時測量一次其電壓與電流。
3. 結果：



4. 討論：電壓維持在 0.6V~1V 左右，電壓與電流變化較碳片+鋅片大，可能是 2B 碳紙接收電子的能力沒有碳片好。而半小時的電流才上升，推測可能是反應需要時間，導致過了半小時後電流才達到最大值。

(三) 2B 碳紙+溶蝕鋅片箔

1. 想法：觀察 2B 碳紙+溶蝕鋅片箔其電壓與電流隨著時間的變化。
2. 方法：仿照之前的實驗，做一個 2B 溶蝕鋅片箔的電池紙，每半小時測量一次其電壓與電流。
3. 結果：

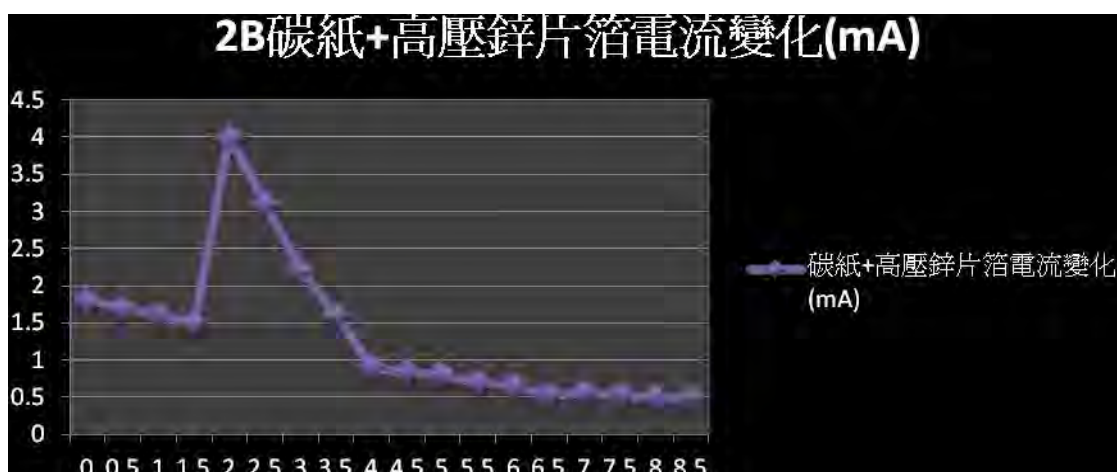
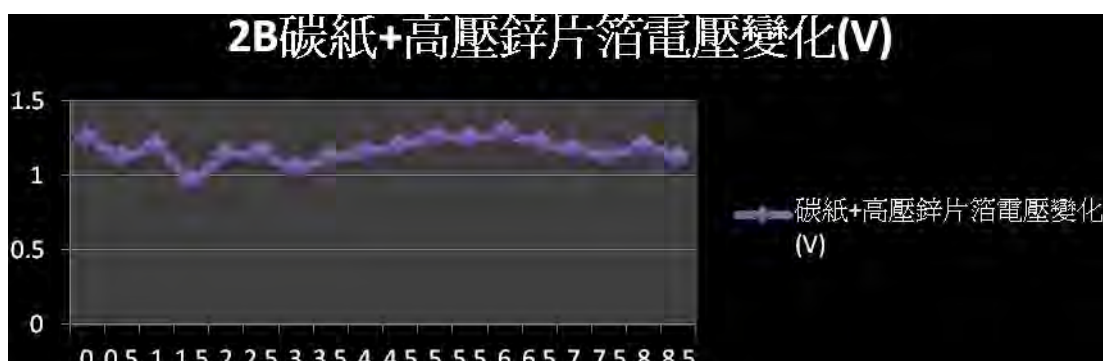


4. 討論：電壓都維持在約 0.9V~1.1V 之間，還算滿穩定的。電流方面則是能明顯看出約一個小時的反應時間讓電流達到最大值(約 3.2mA)。2.5 小時後電流就下降到 1mA 以下了。

(四) 2B 碳紙+高壓鋅片箔

1. 想法：觀察 2B 碳紙+高壓鋅片箔其電壓與電流隨著時間的變化。
2. 方法：仿照之前的實驗，做一個 2B 碳紙+高壓鋅片箔的電池紙，每半小時測量一次其電壓與電流。

3. 結果：

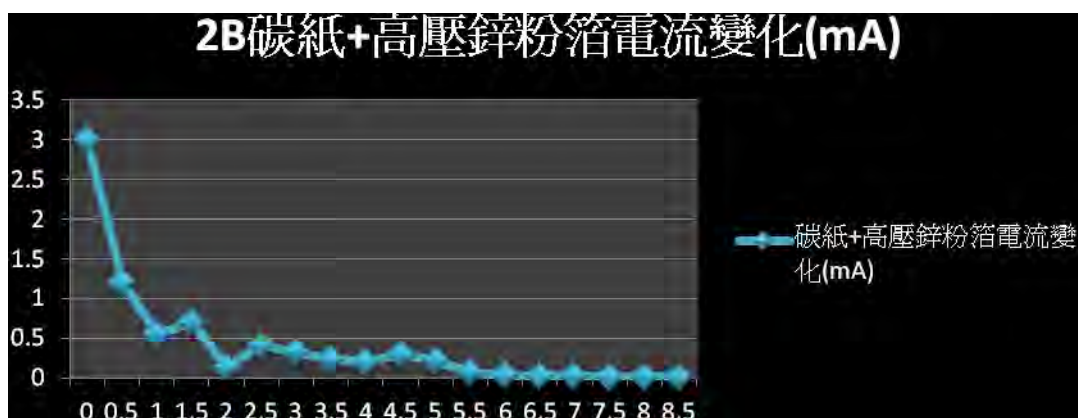
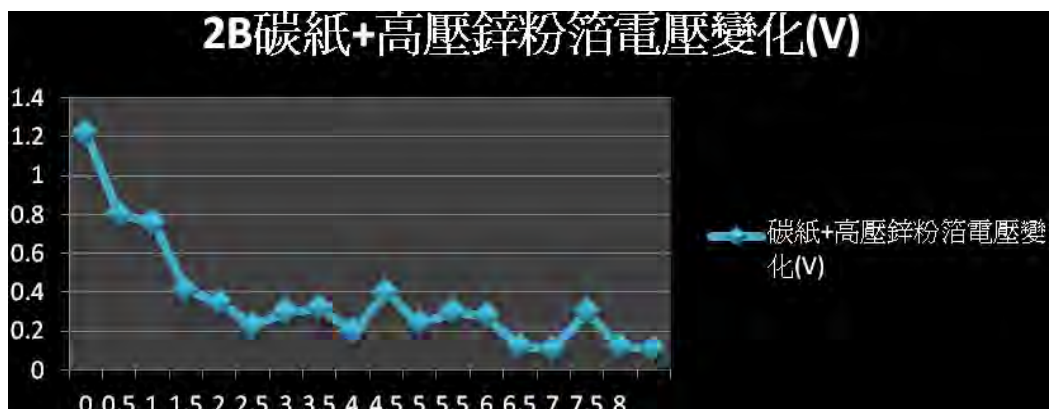


4. 討論：電壓約維持在 1V~1.3V 間，有時候可能會因為接觸不良導致電壓下降。電流方面則是能明顯看出約二個小時的反應時間讓電流達到最大值(約 4mA)，與溶蝕鋅片箔比起來需要比較久的時間，證明表面平整的高壓鋅片箔需要比較久的反應時間，導致鋅放出電子的時間延遲。而經過了 4 小時電流才下降到 1mA 以下，與溶蝕鋅片箔相比，高壓鋅片箔的電流維持的時間比較久，可能是因為鋅的量的多寡造成的。

(五)碳紙+高壓鋅粉箔

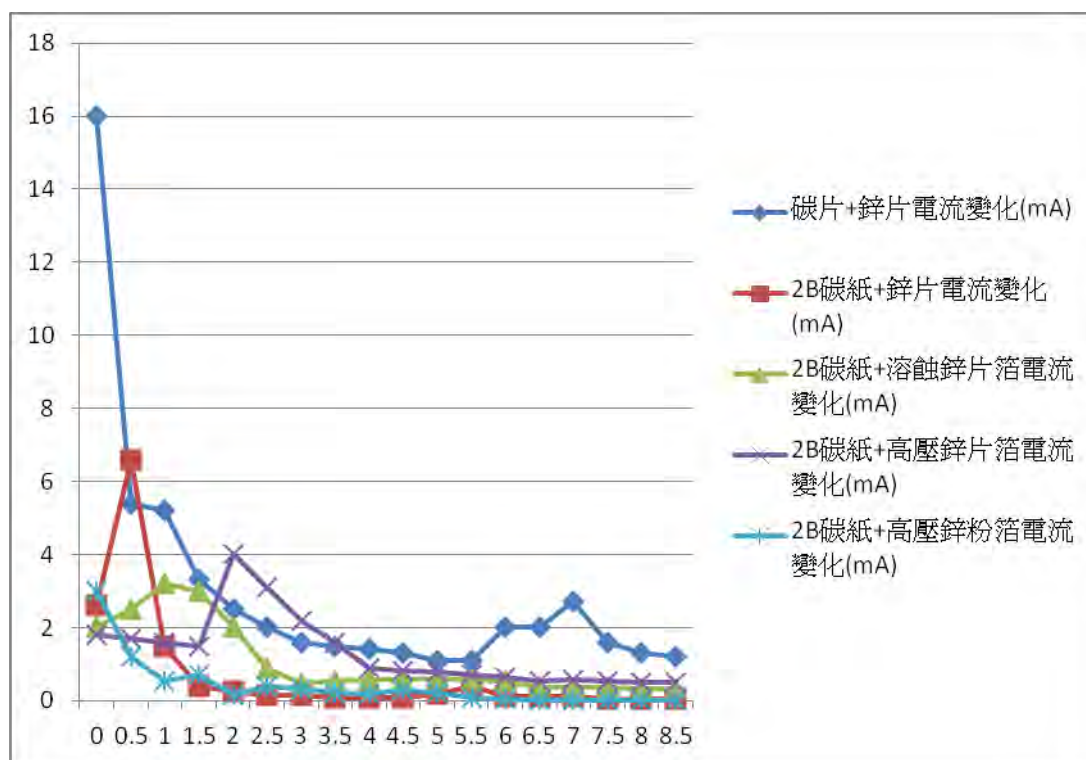
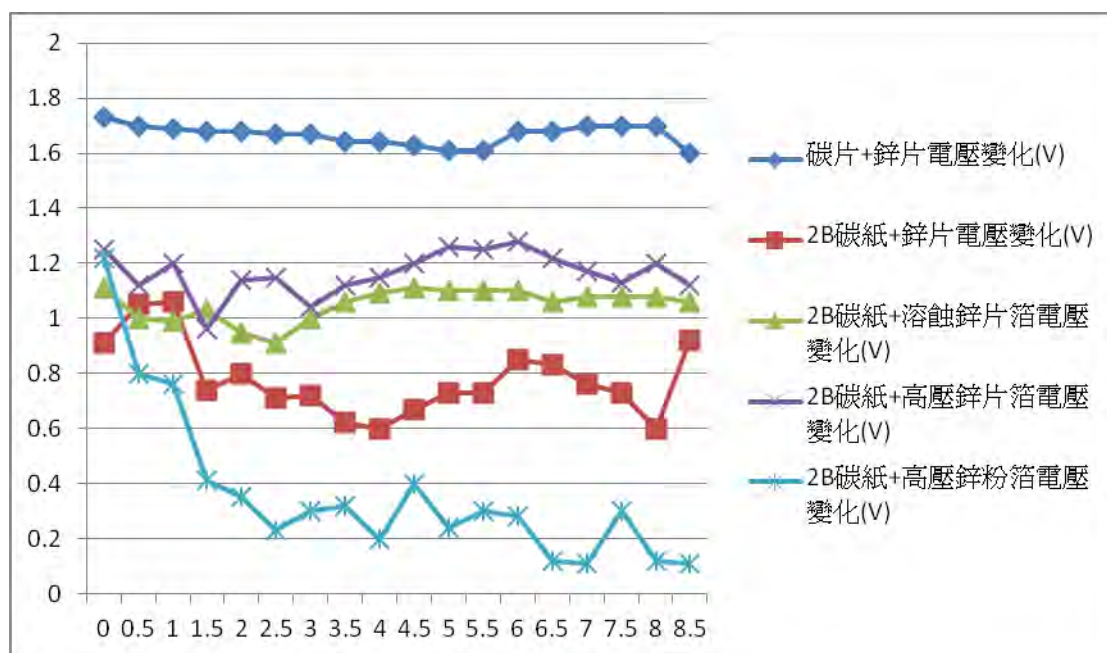
1. 想法：觀察 2B 碳紙+高壓鋅粉箔其電壓與電流隨著時間的變化。
2. 方法：仿照之前的實驗，做一個 2B 碳紙+高壓鋅粉箔的電池紙，每半小時測量一次其電壓與電流。

3. 結果：



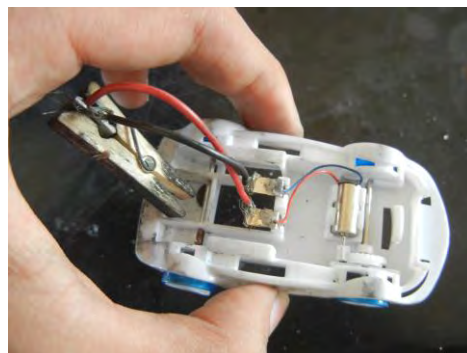
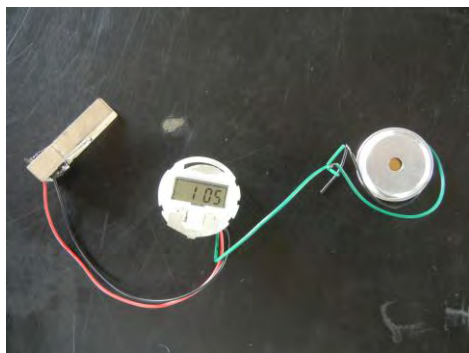
4. 討論：從電壓就觀察到高壓鋅粉箔非常不穩定，在測量時電錶的數據也是一直在變動，很難穩定下來，可能是因為太容易碎裂導致接觸不良、電阻變大等問題。電流也是一下就下降了，證明高壓鋅粉箔的反應速率最快，剛做好時的電流比溶蝕鋅片箔與高壓鋅片箔都來得大(約 3mA)，但是不到一小時就下降到 1mA 以下了。

(六)各種疊層式紙電壓與電流比較圖



伍、結論與應用

- 一、 碳粉的最佳溶劑是松香水，電解質則是水，鋅粉則是膠水。
- 二、 單層式電池漆與明信片電池紙可行，但是電流密度太小不實用而且電池漆很難塗均勻，疊層式電池紙可行性較高確實可以驅動電子表,馬達車。



- 三、 用易製、易組、環保無汙染、電壓電流也足夠的 2B、4B、6B 鉛筆塗佈在濾紙上，可有效的取代碳粉或碳棒，使碳極的製作更簡易且生活化，而且這也是其他紙電池文獻前所未有的。
- 四、 製作成電池紙較電池漆實用、方便攜帶，至於電流、內電阻、使用時間等問題在工業應用和醫學器官的電源使用上應該能解決。
- 五、 未來研究方向：我們將針對紙電池各成分面積大小和質量大小及濃度控制紙電池使用的電流大小和壽命做更進一步的探討

陸、參考文獻

- 一、 四十六屆中小學科展阿乾正傳—乾電池的分析、自製及改良
- 二、 觀念物理 5—電磁學/天下文化出版
- 三、 科學人雜誌(2012 年 10 月份)—電池漆
- 四、 翰林版國中自然與生活科技第六冊第一章

【評語】 030215

電池漆與電池紙的開發，頗具創意及未來應用性，宜針對各項實驗之細部設計架構及研究方法再求精確，並再嘗試不同的材料運用。