

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：聚苯胺導電高分子二次電池之研製及性能研究

學 校：國立桃園高級中學

作 者：李登碩 鄭名翔

作者簡介

我是鄭名翔，從小我就生長在一個不受限制的環境裡，在加上家裡面就買了不少有關科學方面的書籍，所以從小就很喜歡亂拆東西、搞破壞，因為當時覺得想一探其是什麼做成的，就因為這樣在其中也得到不少科學知識與興趣。上了高中之後，覺得自己不能在混下去了，而桃高又來了一個非常熱心的老師來指導學生做科展，也因為有了陳老師的幫忙與我的同伴的幫忙，才能順利的參加國際科展，雖然失敗難免，但我相信有努力，不管成功與否都不太重要了。因為在此後又多了個寶貴的經驗。

我是李登碩，我從國小開始就對自然科學方面的事物比一般人有多一點點的興趣，也因此會自己去接觸一些書籍或是相關資訊。在一次偶然的機遇下，我的夥伴問我要不要參加科展，對這方面滿有興趣的我，面對這樣的機會當然不能放棄，也就決定參加這次的科展。說實在話作科展還真的是滿辛苦的，不過當自己做的實驗能夠成功的時候，之前的辛苦好像也值得了，這種感覺真是滿奇妙的。

壹、 中文摘要：

塑膠一向被認為絕緣體。但 Heeger, MacDiarmid, 以及 Shirakawa 證實, 塑膠可以被改製成電的良導體。這須在分子合成的過程中, 使碳鏈呈現單、雙鍵交錯排列情況。此外, 高分子也須加以摻雜(doped), 換言之, 電子必須在氧化過程中被移除或在還原過程中被加進聚合物。電子移除所留下的電洞, 或新加進的電子則可自由在分子鏈上移動, 形成導電性。我們所要製備的導電高分子二次電池就是由這個原理完成的。所謂的二次電池 (Secondary Cell) 簡單的定義就是「可反覆充電、放電, 循環使用的電池」, 我們將會將其與市售電池比較, 並改良出適合商品化的高分子二次電池。我們將以聚苯胺作為我們電池的正極, 並用鋅片(原本我們要用鋰金屬的, 但其再空氣中即易氧化, 因此改採鋅)作為負極, 製成一聚苯胺二次電池。

貳、 英文摘要：

The plastics is thought to be a insulator, but Heeger, MacDiarmid, and Shirakawa had proved that the conductivity of plastics can be improved by doping other media. The conjugated polymers such as polyacetylene、polyaniline have the interlaced single-double bonds that electrons can move from one side to another side caused the production of electric currents.

The purpose of this study is try to study the application of the conjugated polymer polyaniline to make a secondary battery. First, we use the chemical and electrochemical method to compose the polyaniline. Then we test the conductivity of the produced polyaniline and test the current and electrical potential of the polymer battery. The battery that we made from our laboratory has the electric potential about 0.5 volts and the electric current is greater than 50 microamperes. Finally, we also try to use the lithium as cathode to improve the performance of the polyaniline battery.

參、 研究動機：

電池為各種可攜式資訊、通訊及消費性電子產品、產業機械、汽、機車及電動工具等不可或缺的重要電力供應來源, 近年科技進步迅速, 全球各式行動通訊及可攜式資訊產品, 市場規模急速成長, 發展有目共睹。而提供這些通訊及資訊產品運作動力之小型二次電池, 除需具備可反覆充電, 滿足不同

產品使用特性，能與終端產品搭配銷售外，充當備用性質需求亦逐漸擴大，遂帶動小型二次電池市場的蓬勃發展。而再換過這麼多款手機之後，發現電池是我選擇手機的第一要件，對電池的要求則必需增加可充電次數，充電方式必須多元化，且兼顧環境保護要求。

肆、 研究目的：

- 一、化學法製作導電度較高的聚苯胺作為電池的正極。
- 二、直接用鋅片(負極)。
- 三、做出實驗室原型的電池。
- 四、製備 PVDF/HFP 膜(以棉花替代其功能)。
- 五、做出能充放電的聚苯胺高分子電池(待研究中)

伍、 文獻回顧：

2000 年諾貝爾獎頒給三位對研究導電高分子的發明家，也開啟了另一個高科技世代的來臨。【10】而導電高分子在元件製作上具有 1. 可低溫加工 2. 可大面積化 3. 可撓曲極低製作成本等優點。【3】

簡單來說，共軛導電高分子係主鏈由共軛單鍵及雙鍵交替鍵結而成，其電子可沿著分子鏈或躍過分子鏈移動，因而具有本質導電性。其導電度隨著摻雜度之增加而升高，可由半導體變成導體，其應用範圍甚廣，例如：可反覆充放電之電池、電容器、發光二極體(顯示器)、抗靜電塗料、太陽電池、非線性光學元件等，目前已有部份應用已達工業化階段。【3.8.10.】

而我們將針對可反覆充放電聚苯胺複合膜電池 (Rechargeable Polyaniline Composite Battery) 【2.4.5.6.7】展開進一步的研究。高分子電池擁有 1. 沒有電池漏液的問題 2. 可朝薄型發展 3. 電池設計自由度大 4. 具可撓性 5. 價廉 6 能量密度高 7. 循環壽命長 8. 和低自身放電等優點【4.5】，這與以往的乾電池、鎳氫電池【9】等有很大的改變，另外在製作技術上，熱封技術與封裝材料之改進仍然有待加強【7】，而低溫特性及高率放電特性之提昇將有助於其未來發展。為了提昇電池之能量，我們預定以鋰金屬作為高分子電池的負極，但其活性太大，所以改用鋅片。【1】

(正極)聚苯胺已不同的方法與製作環境【11】，會有細微的不同，如何以這細微的差異增強或改進我們所製作的電池，分析和不斷的實驗才有可能做出高效能的二次電池【9】出來。

陸、 實驗藥品：

藥品	藥品
聚苯胺 C ₆ H ₅ NH ₂	LiClO ₄
鹽酸 HCl(12.05M)	PC(碳酸丙烯)
過硫酸銨(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	鋁片
ITO 玻璃	EB (醜式中間氧化態，藍色) 加 THF
鋅片	HCl
LiCl	H ₂ SO ₄
HClO ₄	NaOH
NaCl	

柒、 儀器設備：

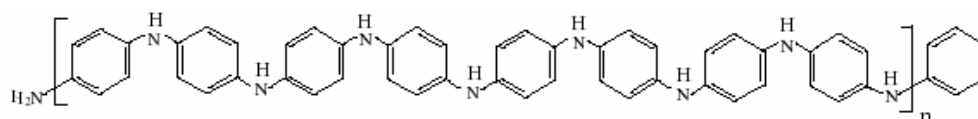
實驗器材

磁石攪拌器	10ml 量筒	安全電線	烘箱
電子天秤	乳頭滴管	鱷魚夾	150ml 燒杯
250ml 容量瓶	50ml 量筒	ITO 玻璃	電子天秤
50ml 錐形瓶	漏斗	玻棒	刮勺
溫度計	真空過濾裝置	洗瓶	濾紙
玻棒	濾紙	安培計	伏特計
1L 塑膠容器	洗瓶	磁石	300ml 燒杯
稱量紙	電源供應器	200ml 容量瓶	10ml 量筒

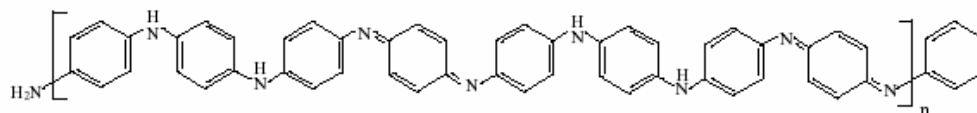
捌、 實驗：

一、聚苯胺的化學合成

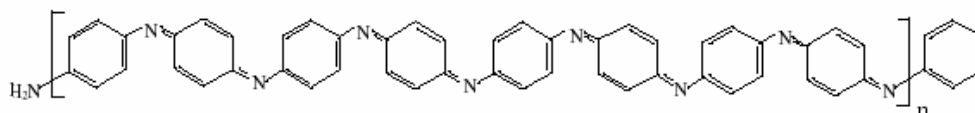
1. 實驗目的：將苯胺聚合成聚苯胺再以酸摻雜之。
2. 聚苯胺導電原理：聚苯胺是一種聚合物，由許多小分子所鍵結成的長鏈，而我們必須以摻雜質子酸來使它擁有共軛雙鍵的結構（插入或移走一個電子），因此主鏈上的 π 電子軌域因為不定域化，會重疊成一連續的分子軌域，而其分子軌域之 π - π 能隙隨共軛長度的增加而降低。一個自由基陽離子能在高分子鏈中進行不定域化的移動，在化學上就稱為電子-電洞對。聚苯胺一般可以分成三種狀態，完全還原（無色）、中間氧化（藍色）、完全氧化（紫紅色），但是在這三種狀態下聚苯胺都不會導電，唯一會導電的只有經過質子酸摻雜後產生氧化態的鹽類時（綠色），才會導電。（如下圖）



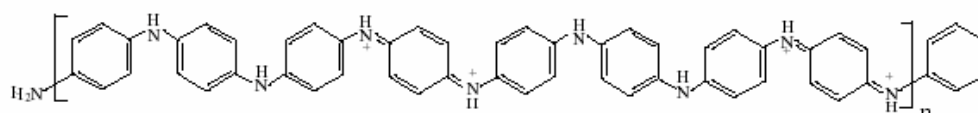
Leucoemeraldine (完全還原態，無色)



Emeraldine base (醜式中間氧化態，藍色)



Pernigraniline (完全氧化態，紫紅色)



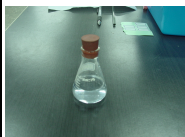


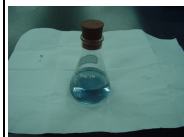
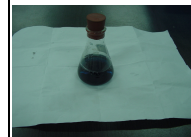
Emeraldine salt (鹽式中間氧化態，綠色)

3. 實驗過程：

- (1) 鹽酸(HCl)的配置：將 16M 的鹽酸以量筒取 18.75ml，將其倒入 250ml 的容量瓶內，再用漏斗加入 231.25ml 的水，及配置成 1.2M 的鹽酸。
- (2) 稱量過硫酸銨((NH₄)₂S₂O₈)：將稱量紙放在電子天秤上，再稱取 0.41g 的過硫酸銨。
- (3) A 溶液之配置(1.2M HCl + (NH₄)₂S₂O₈)：用滴管取 10ml 配好的鹽酸(1.2M)，加入 50ml 的錐形瓶內，並將秤好的過硫酸銨加入錐形瓶內，輕輕的搖動，使過硫酸銨溶解，再放入裝有冰塊加水的塑膠容器內，在冰浴下使用磁石攪拌器攪拌 10min。
- (4) B 溶液(1.2M HCl + C₆H₅NH₂)的配置：用滴管取 26ml 的鹽酸(1.2M)，加入 50ml 的錐形瓶內，將錐形瓶放入煙櫃，小心的滴入 0.17g 的苯胺(將電子天秤放在煙櫃內稱量)，之後再將錐形瓶輕輕的搖晃使苯胺和鹽酸均勻混合。

(註)：這邊之所以取 0.41g 的過硫酸銨和 0.17g 的苯胺，是為了使 HCl 和(NH₄)₂S₂O₈/ 苯胺莫耳比 1：1，這是因為聚苯胺的導電度在氧化劑/ 苯胺莫耳比在 0.25~1.25 時產生出的聚苯胺會是鹽式中間氧化態聚苯胺(ES)。若是其莫耳比值超過 1.25，將會導致其導電度降低，而且在酸性中易水解劣化。

4. 苯胺的聚合：將 A、B 溶液加在一起，同時將玻棒(載體)插入此混合溶液內(以夾子固定之)，並在冰浴下使用磁石攪拌器攪拌 30min，使用夾子固定溫度計插入冰水內，以確保其溫度在零下(如照片一)。溶液顏色之變化如下表：

時間(分)	7	9	11	13	17	17 以後
顏色	極淡青黃色	淡綠色	綠色	藍綠色	深墨綠近黑	沒變化
						

- (1)載體的處理：攪拌 30min 後，將玻棒從溶液中取出，此時玻棒上有一層綠色的聚苯胺薄膜(如照片二)，用洗瓶以水清洗(必須小心不要把玻棒上的薄膜洗掉)，清洗後將其浸入水中一小時，此時聚苯胺薄膜會由原本的綠色轉變成藍色(如照片三)。
- (2)聚苯胺的過濾：將錐形瓶內的溶液以濾紙過濾，濾出淡紫色的完全氧化態聚苯胺(如照片四)。
- (3)聚苯胺的摻雜：將濾紙上的聚苯胺粉末，以稀酸(0.3M 的 HCl)清洗，清洗至濾出溶液顏色成無色透明為止，此時濾紙上的聚苯胺為經過質子酸摻雜的聚苯胺。
5. 測量導電度：

- (1)玻棒(載體)將玻棒浸入水中，玻棒上的聚苯胺薄膜會變成藍色，測其導電度幾乎不能導電。但是將其浸入酸中，又會變回原本的綠色，而測其導電度，雖然電阻頗大，但是還是能導電。
- (2)聚苯胺(酸摻雜後)粉末溶於水後測其導電度，距離的改變對其電阻似乎沒有很大的影響，但是也有一些部分完全不能導電，這應該是摻雜的不完全所導致的結果。(這邊需注意：聚苯胺具有侵蝕性，對金屬也有，因此測電阻時接觸部分也會被侵蝕，這是否會影響所測得的數據，還必須深入研究)

二、簡易聚苯胺電池製備：

1. 實驗目的：製造鋅 - 聚苯胺二次電池
2. 實驗步驟：

(1)配置聚苯胺溶液：用燒杯取 100ml 之蒸餾水再以量筒取 10ml 之苯胺倒入水中，因苯胺難溶於水(圖 1)，所以加入酸增加溶

解，取 (12.05M) 鹽酸 20ml 加入溶液中，這時以磁石攪拌器攪拌，使其完全溶解 (圖 2)。

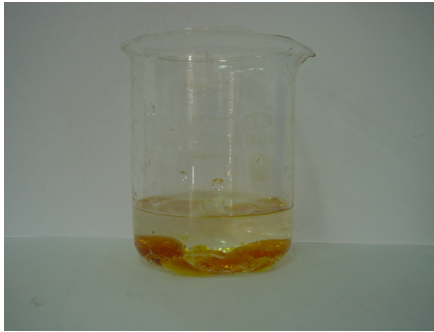


圖 1 苯胺單體不溶於水

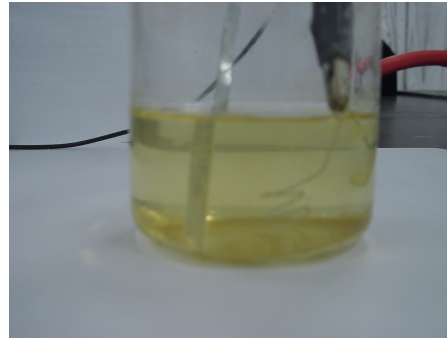


圖 2 苯胺電化學合成於鋅片上，電壓 2.5 伏特。

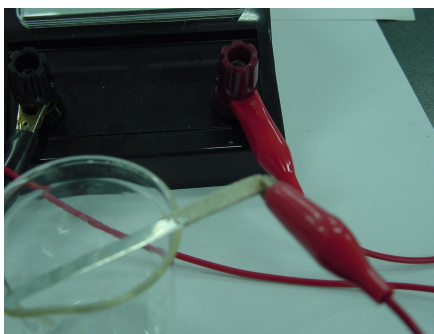


圖 3 聚苯胺薄膜電聚合於鋅片上，薄膜粗糙。



圖 4 苯胺電聚合後可以作為電池，產生電流及電壓

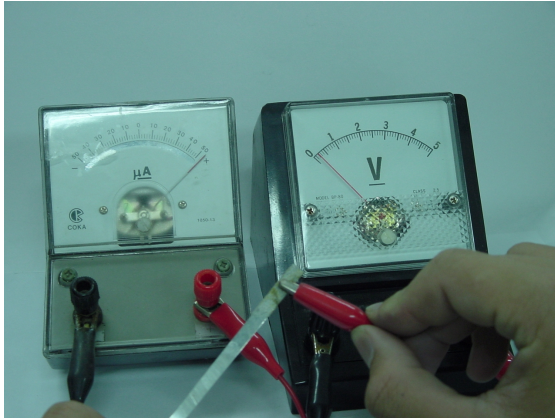


圖 5 苯胺電聚合後可以作為電池，產生電流及電壓約 0.5 伏特。

(2) 鍍上一層聚苯胺薄膜：待苯胺完全溶解後，以鋅片作為正極，Pt 金屬絲作為負極 (圖 2)。將正負極至於苯胺溶液中接上電源供應器，一分鐘過後，有一層薄膜附著於鋅上，此即為聚苯胺膜。(圖 3)

(3) 測量其導電度：以串聯方式接安培計，並聯接伏特計，以鱷魚夾夾住正極 (聚苯胺膜)、負極 (鋅)，而後觀察其 A 和 V 之值。(圖 4、圖 5)

(4)注意：苯胺聚毒性不可觸碰且不易處理。

(5)結果：當以聚苯胺作正極、鋅片作負極時，亦可唯一電池；
正極：聚苯胺（氧化態）+ $e^- \rightarrow$ 聚苯胺（還原態），負極：
 $Zn \rightarrow Zn + e^-$ 。做出 0.6V， $A > 50\mu A$ 的簡易聚苯胺電池。

三、聚苯胺二次電池改良型：

1. 實驗目的：為了使聚苯胺電池更適用於電池用途

2. 實驗步驟：

(1)配製苯胺溶液：以量筒取 10ml 苯胺跟 100ml 純水，以及 20ml 的鹽酸，將其倒入燒杯內混合，再以磁石攪拌器攪拌至苯胺溶解。

(2)將配製好的溶液當作電鍍液，正極以鋅片、負極以鉑絲，並通以電流，使正極的鋅片上鍍有一層聚苯胺薄膜，將其以烘箱烘乾後，以伏特計以及安培計測其電壓及電流。

3. 結果：

(1)發現以不同之電壓鍍上之聚苯胺薄膜，其粗糙度及附著力都不一樣，當以高電壓快速電解時，聚苯胺形成非常粗糙的薄膜，而且將其烘乾以後容易脫落。以低電壓慢慢電解所形成的薄膜則比較細緻，而且烘乾後不易脫落。

(2)當以不同大小之鋅片鍍上聚苯胺薄膜，發現其電壓都是維持一定，沒有顯著的改變。

(3)所做出之電池之電壓都是 0.2V，其電流都超過 $50\mu A$ 。

四、苯胺之二次電池製作：

1. 實驗步驟：

(1)先配置 1M 之氯化鋰以及 1M 之過氯酸溶液，並各取 50ml 互相混合。

(2)將 ITO 導電玻璃以旋轉塗佈法，將 EB 均勻圖上 ITO 玻璃，並將其放入烘箱烘乾。

(3)將烘乾後的 ITO 玻璃浸入配好的 1M 氯化鋰+1M 過氯酸（各 50ml）中，並把塗有 EB 的 ITO 玻璃當作正極，用鋅片當作負極，即成為一可充、放電之二次電池。

(4)在放電過程中，ITO 玻璃上藍色的 EB 逐漸變成綠色的 ES

下表為其電壓電流之記錄：

時間 (min)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140
電壓(V)	0.25	0.2	0.15	0.1	0.09	0.08	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05
電流(μ A)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	48	40	34

五、聚苯胺-鋅之二次電池

1. 實驗：

- (1) 將 ITO 導電玻璃以旋轉塗膜法，塗上一層聚苯胺薄膜 (E. B)，再將其烘乾。
- (2) 配置 1M 的氯化鋰及過氯酸，並各取 50ml 均勻混合當作此次實驗的電解質。
- (3) 正極-ITO 鍍聚苯胺，負極-鋅片，電解質-氯化鋰+過氯酸(共 100ml)，正負極之間距離 4cm，皆浸入 2.75cm。其電壓電流變化如下表

時間	0 秒	5 秒	10 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	6 分
伏特	1	0.3	0.12	0.15	0.3	0.21	0.1	0.02	0.02
電流	0.2mA	0.05mA	0.05mA	0.05mA	0.02mA	0.02mA	0.1mA	50iA	50iA
時間	7 分	8 分	9 分	10 分	11 分	12 分	13 分	14 分	15 分
伏特	0.05	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.08	0.08	0.1
電流	50iA	50iA	48iA	46iA	49iA	50iA	49.5iA	50iA	>50iA
時間	16 分	17 分	18 分	19 分	20 分	25 分	30 分	35 分	40 分
伏特	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流	50iA	49.5iA	>50iA	>50iA	>50iA	>50iA	>50iA	>50iA	50iA
時間	45 分	50 分	55 分	60 分	70 分	80 分	90 分	100 分	110 分
伏特	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流	>50iA	50iA	50iA	50iA	46iA	44iA	42iA	40iA	39iA
時間	120 分	130 分	140 分	150 分	160 分				
伏特	0.1	0.08	0.05	0.05	0.08				
電流	32iA	23iA	20iA	34iA	34iA				

六、測試 ITO 玻璃是否可以作為電極來使用

1. 實驗目的：以單純 ITO 玻璃與鋅片來測試其充放電效應與性能。
2. 實驗步驟：
 - (1) 正極之製作：取一片 ITO 玻璃，以此作為實驗的正極。
 - (2) 電解質之配置：各取 LiCl、HClO₄ 50ml 於 150ml 的量筒中，將這兩者沿著漏斗慢慢倒入 150ml 之燒杯中，以此種混合溶

液作為實驗之電解質。

(3) 負極則使用鋅片。

(4) 把(1)~(3)做成實驗室原型觀察其電壓與安培之值。

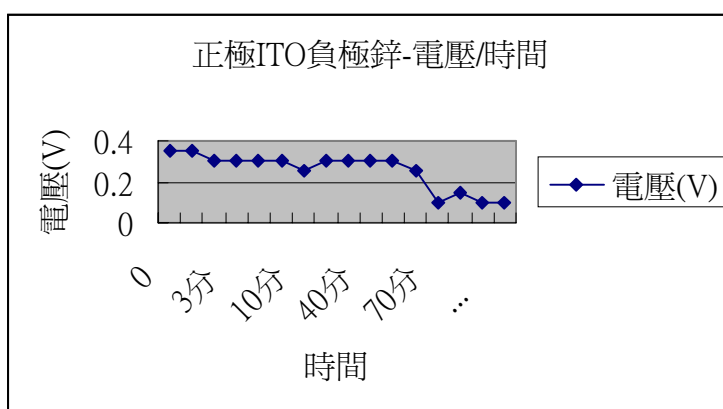
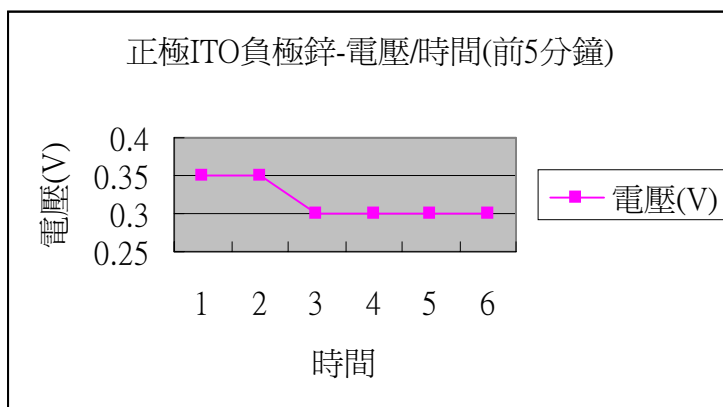
3. 研究過程：

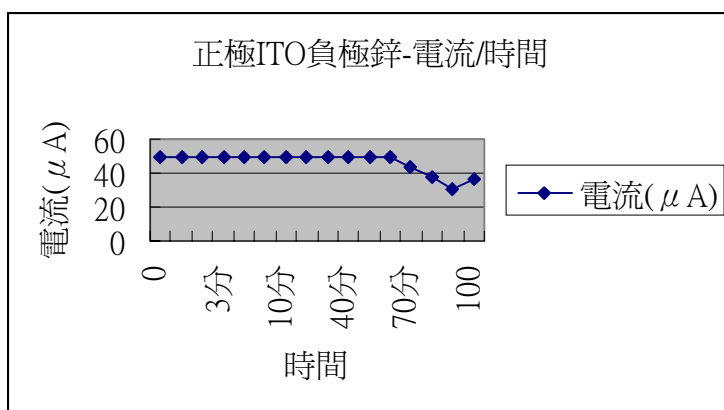
(1)因為 ITO 玻璃本身就會導電，此實驗只是在證明為何需要再其上塗一層聚苯胺薄膜作為整件科展的研究重心，經由實驗數據可知後者在電壓上，明顯比單純 ITO 高出許多，這代表著不但應該塗上 PANI 更該將它改良成一個適合電池用途的電池。

4. 實驗數據：

ITO 正極 鋅負極

時間	0	1	2	3	4	5	10	20
電壓(V)	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.3	0.25	0.3
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30	40	50	60	70	80	90	100
電壓(V)	0.3	0.3	0.3	0.25	0.1	0.15	0.1	0.1
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	44	38	31	36





七、以不同負極對聚苯胺電池之影響

1. 實驗目的：探討以不同金屬作為負極對聚苯胺電池之影響
2. 實驗步驟：
 - (1)以 250ml 之容量瓶配置 1M 的 LiCl 與 HClO₄ 各 250ml。
 - (2)正極之製作：取一片 ITO 玻璃，在其可導電那面以旋轉塗膜法均勻的塗上一層聚苯胺溶液，而將塗膜好的 ITO 玻璃放入烘箱內使它快速乾燥，乾燥後以此作為實驗的正極。
 - (3)電解質之配置：各取 LiCl、HClO₄ 50ml，將這兩者以漏斗慢慢倒入 150ml 之燒杯中，以此種混合溶液作為實驗之電解質。
 - (4)負極則使用鋅片、銅片與鎳片。(正負極相距 4cm，電極浸入深度皆為 2.75cm)
 - (5)待二~四步驟完成後，以串聯方式連接安培計、並聯接伏特計，以鱷魚夾夾住正極(ITO)、負極(分別用鋅片、銅片與鎳片)，正負極相距 4cm，電極浸入深度皆為 2.75cm。
 - (6)而後觀察其電壓與電流之變化。
3. 測量其導電度

鋅為負極

時間	0	30 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	10 分	20 分
電壓(V)	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	0.5	0.4	0.3	0.3
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30 分	40 分	50 分	60 分	70 分	80 分	90 分	100 分	110 分
電壓(V)	0.3	0.25	0.3	0.25	0.3	0.25	0.25	0.25	0.2
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	120 分	130 分	140 分						
電壓(V)	0.2	0.1	0.1						
電流(μA)	>50	38	34						

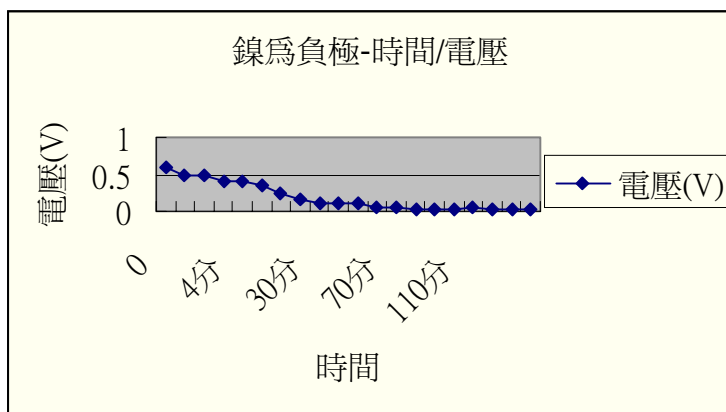
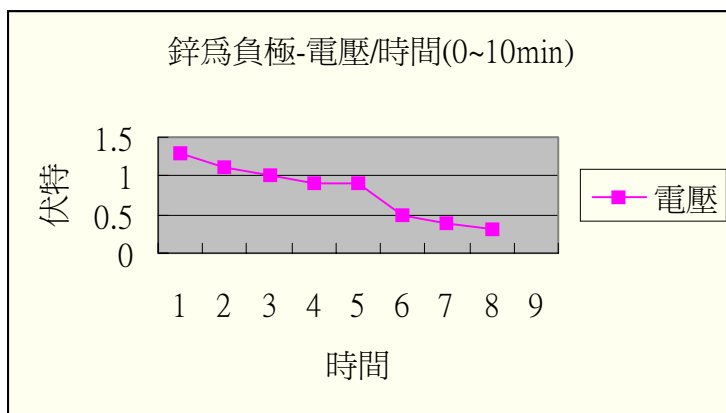
銅為負極

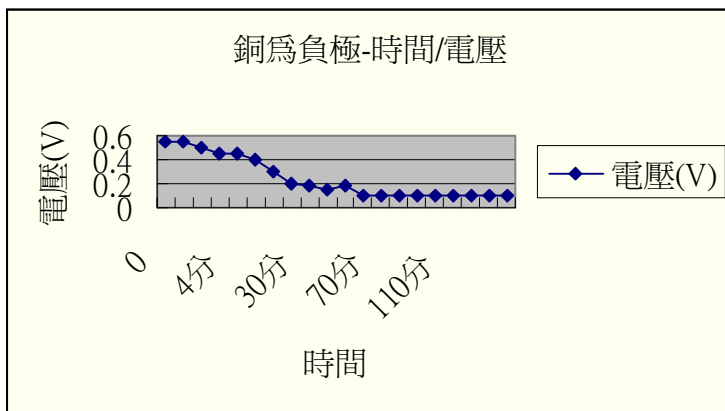
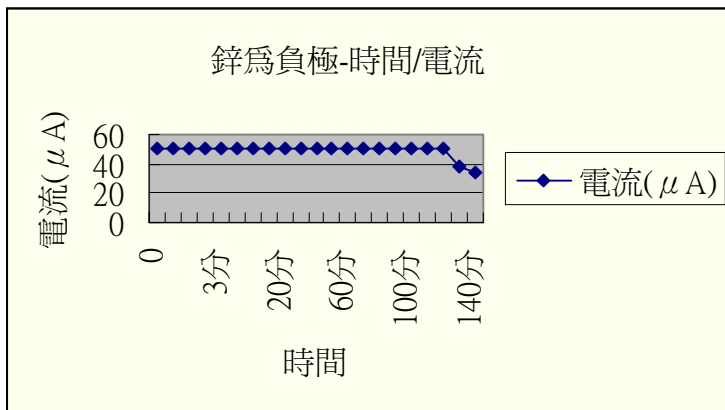
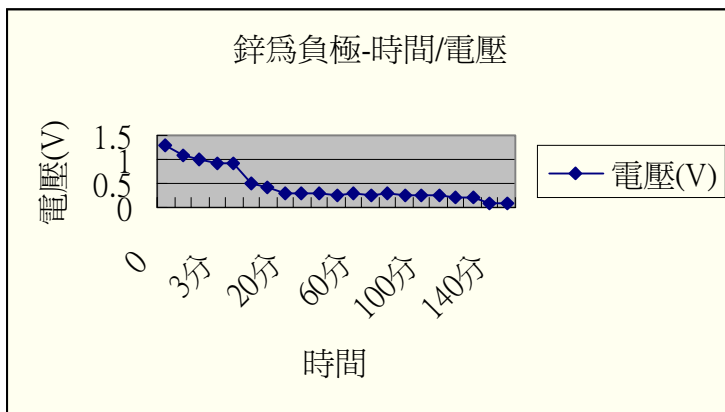
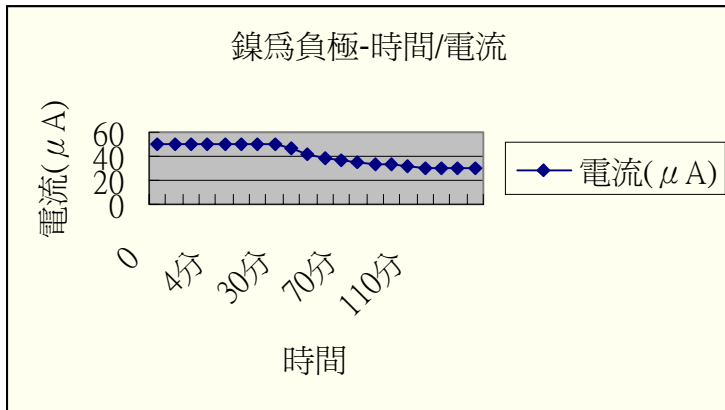
時間	0	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	10 分	20 分	30 分
----	---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

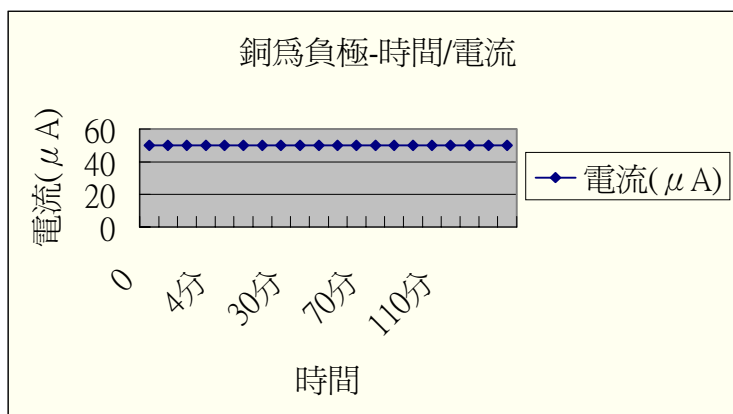
電壓(V)	0.55	0.55	0.5	0.45	0.45	0.4	0.3	0.2	0.18
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分	110分	120分
電壓(V)	0.15	0.18	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	130分	140分							
電壓(V)	0.1	0.1							
電流(μA)	>50	>50							

鎳為負極

時間	0	1分	2分	3分	4分	5分	10分	20分	30分
電壓(V)	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.35	0.25	0.15	0.1
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	46
時間	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分	110分	120分
電壓(V)	0.1	0.1	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03
電流(μA)	42	39	36	35.5	34	34	32	30	30
時間	130分	140分							
電壓(V)	0.03	0.03							
電流(μA)	30	30							







4. 實驗探討：

(1) 物質的還原電位愈大，愈容易取得電子，換言之，物質的氧化力隨著還原電位的增加而增大。一個氧化還原反應的總電位 (E_{cell}) 為陽極反應的氧化電位 (E_{ox}) 與陰極反應還原電位 (E_{red})： $E_{cell} = E_{ox} + E_{red}$

甲、根據這三種不同金屬的還原電位的不同，我們推斷出以鋅片為負極的電池應該是放電最久且電壓應該為最大的電池。



此實驗中 $Zn > Ni > Cu$ ，所以鋅的總電位 $>$ 鎳的總電位 $>$ 銅的總電位

八、探討不同負極對 $LiClO_4+PC$ 之影響

1. 製備聚苯胺電池實驗室原型，正極使用聚苯胺薄膜、負極使用鋅片、鋁片，電解液 $LiClO_4+PC$ 。
2. 實驗目的：直接配置 1M 的 $LiClO_4+PC$ 為聚苯胺電池之電解液，紀錄其放電時間。
3. 實驗過程：
 - (1) 電解質之製備：將之前實驗所配好的 $LiClO_4$ 取 80ml 測其重量，將其重除以 0.795 再乘以 0.205，所得之數據即為應加 PC 之重量。
 - (2) 正極的製備：取一片 ITO 玻璃，把可導電的那面放置於旋轉塗佈機上，以膠帶固定以防其脫落，打開離心機以滴管取適量 EB 加 THF 滴在 ITO 上，待其塗抹均勻後，關掉離心機後，即有一層聚苯胺薄膜塗在表面上，把玻璃放入烘箱烘乾後，即可使用。
 - (3) 負極：取一片鋅片（最好用砂紙刮一刮）。
 - (4) 待一~三步驟完成後，以串聯方式連接安培計、並聯接伏特

計，以鱷魚夾夾住正極（ITO）、負極（鋅片），而後觀察其電壓與安培之值。

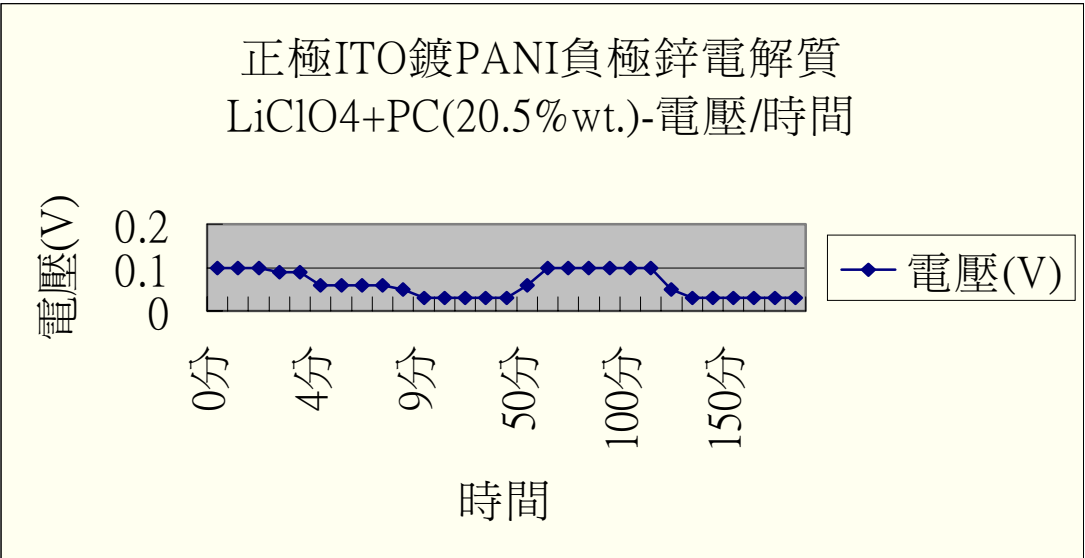
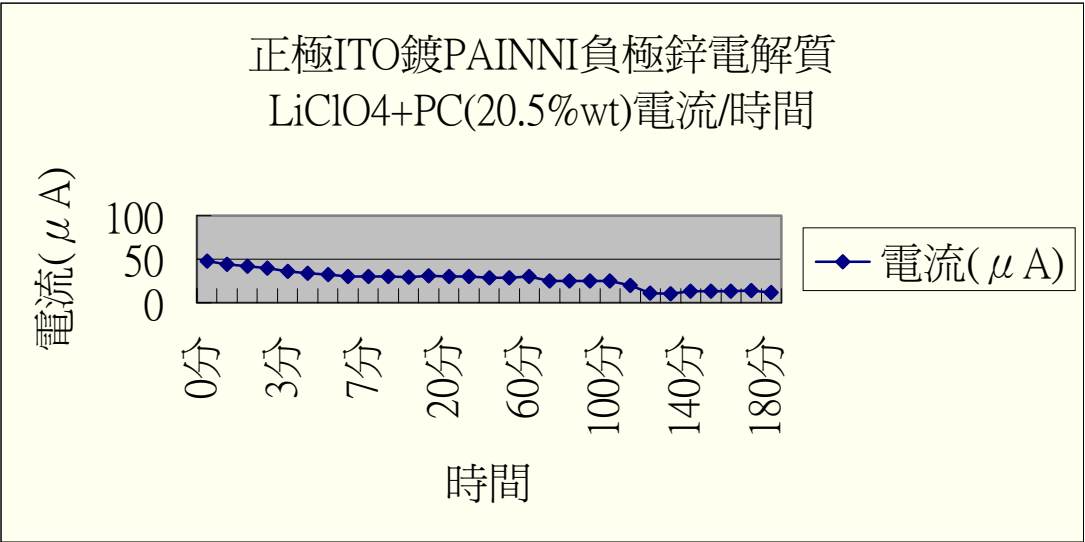
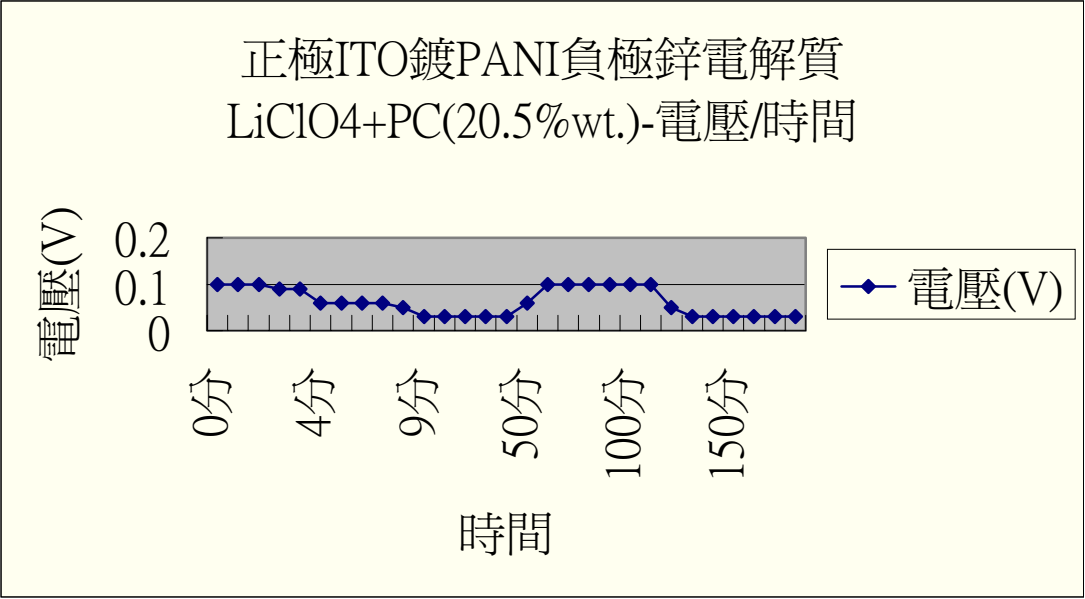
(5) 實驗結果：

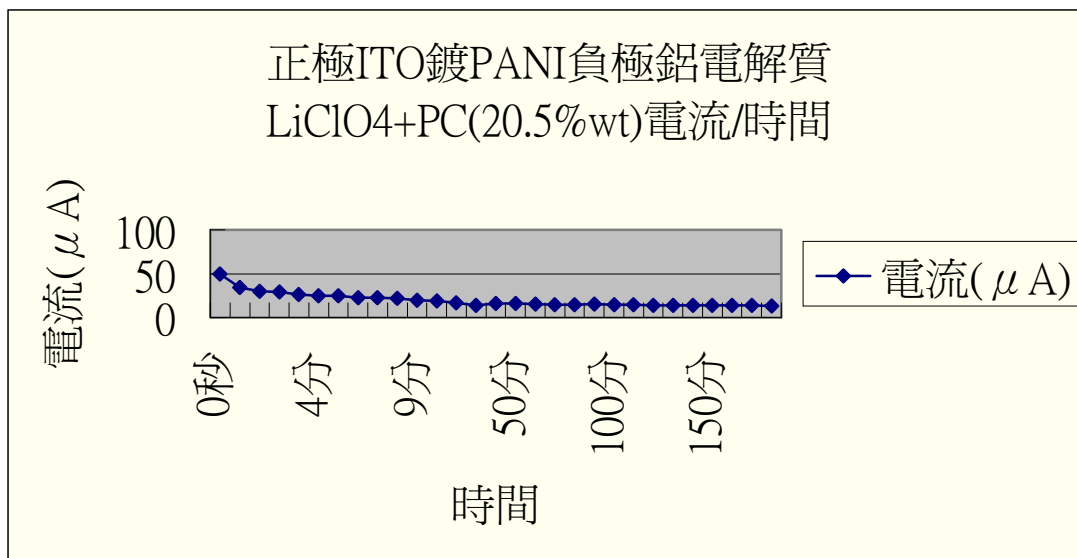
正極 ITO 鍍 PANI 負極鋅 電解質
LiClO₄+PC(20.5%wt)

時間	0 分	30 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	6 分	7 分
電壓(V)	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09	0.06	0.06	0.06	0.06
電流(μA)	48	44	42	40	36	34	32	30.5	30
時間	8 分	9 分	10 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分	70 分
電壓(V)	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.1	0.1
電流(μA)	30	29.5	31	30	30	29	29	30	25
時間	80 分	90 分	100 分	110 分	120 分	130 分	140 分	150 分	160 分
電壓(V)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03
電流(μA)	25	25	25	20	11	10	13	13	13.5
時間	170 分	180 分							
電壓(V)	0.03	0.03							
電流(μA)	14	12							

正極 ITO 鍍 PANI 負極鋁 電解質
LiClO₄+PC(20.5%wt)

時間	0 秒	30 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	6 分	7 分
電壓(V)	0.1	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
電流(μA)	>50	34	30	29	26.5	25	24.5	22.5	22.5
時間	8 分	9 分	10 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分	70 分
電壓(V)	0.08	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
電流(μA)	22	20	19	16.5	14	16	16	15.5	14.5
時間	80 分	90 分	100 分	110 分	120 分	130 分	140 分	150 分	160 分
電壓(V)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
電流(μA)	14.3	15	14.5	14.3	14	14	14	14	14
時間	170 分	180 分							
電壓(V)	0.03	0.02							
電流(μA)	14	13.5							





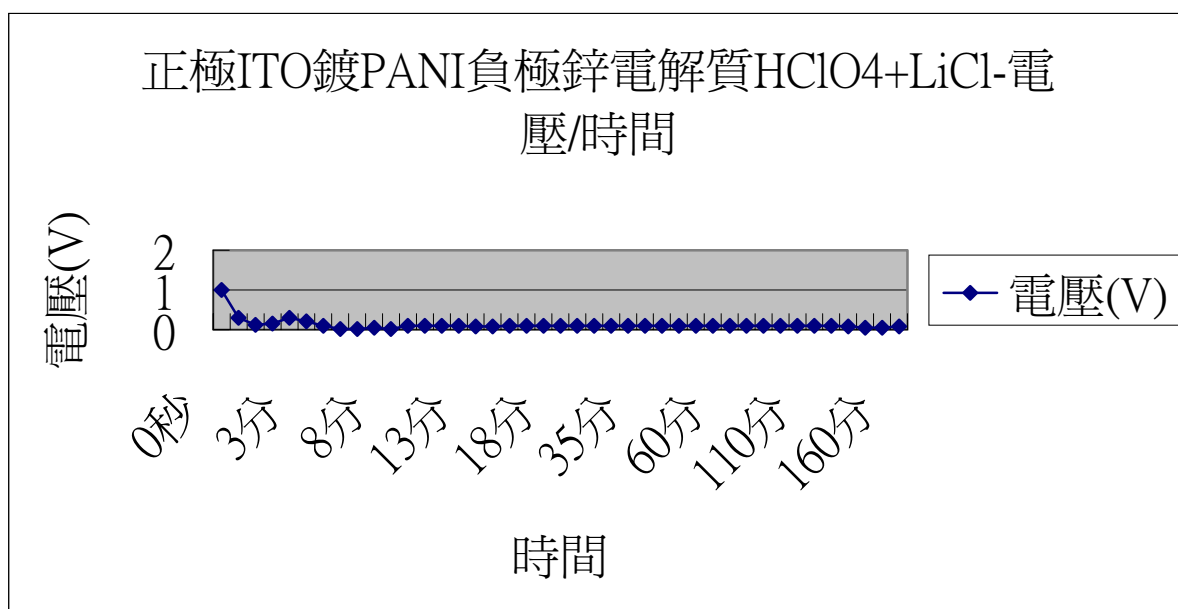
九、比較 LiClO₄ 及 LiCl 與 HClO₄ 混合的電解質的不同

1. 製備聚苯胺電池（實驗室原型，正極使用聚苯胺薄膜、負極使用鋅片）。
2. 實驗目的：直接配置 1M 的 LiClO₄ 來作為聚苯胺電池之電解液，紀錄其放電時間與之前我們用 LiCl 與 HClO₄ 混合的電解質的不同來做比較。
3. 實驗過程：
 - (1)將 300ml 燒杯放置於電子天秤上，其歸零後以刮勺先加入 26.4 克之過氯酸鋰粉末，倒入適量的蒸餾水以玻璃棒攪拌，等到大部分溶解後，將其溶液順著漏斗倒入 250ml 容量瓶中，再加蒸餾水到 250ml，這樣就配置成 1M 的 LiClO₄。
 - (2)正極的製備：取一片 ITO 玻璃，把可導電的那面放置於旋轉塗佈機上，以膠帶固定以防其脫落，打開離心機以滴管取適量 EB 加 THF 滴在 ITO 上，待其塗抹均勻後，關掉離心機後即有一層聚苯胺薄膜塗在表面上，把玻璃放入烘箱烘乾後，即可使用。
 - (3)負極：取一片鋅片（最好用砂紙刮一刮）。
 - (4)以串聯方式連接安培計、並聯接伏特計，以鱷魚夾夾住正極（ITO）、負極（鋅片），而後觀察其電壓與安培之值。
4. 實驗探討：
 - (1)一般來說，要製作出一顆真正的市售電池幾乎是不可能的，所以我們只能不斷的比較與實驗來討論。

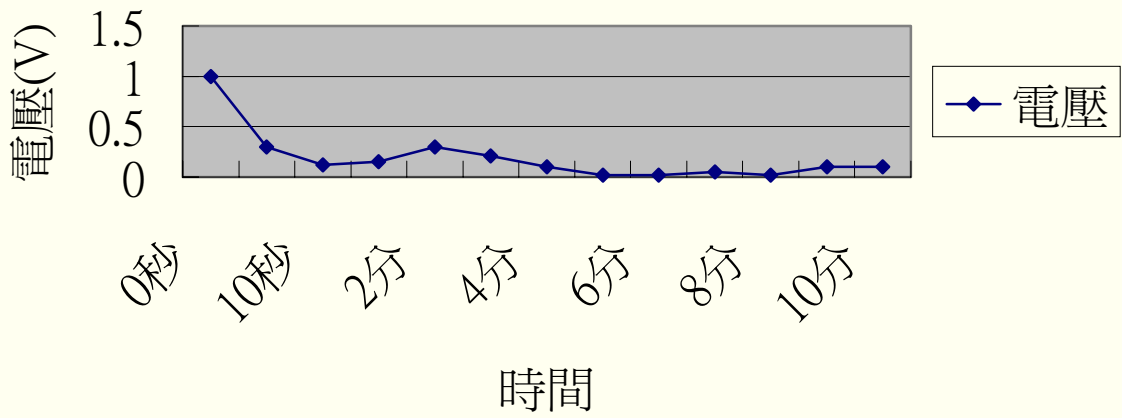
正極 ITO 鍍 PANI 負極鋅 電解質
HClO₄+LiCl(1M)

時間	0 秒	5 秒	10 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	6 分
電壓(V)	1	0.3	0.12	0.15	0.3	0.21	0.1	0.02	0.02

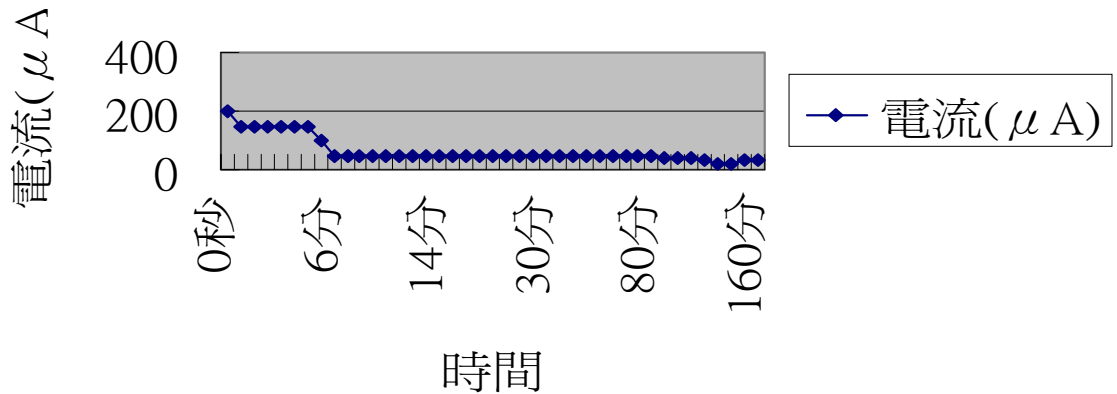
電流(iA)	200	150	150	150	150	150	150	100	>50
時間	7分	8分	9分	10分	11分	12分	13分	14分	15分
電壓	0.05	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.08	0.08	0.1
電流(iA)	>50	50	48	46	49	50	49.5	50	>50
時間	16分	17分	18分	19分	20分	25分	30分	35分	40分
電壓	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(iA)	50	49.5	>50	>50	>50	>50	>50	>50	50
時間	45分	50分	55分	60分	70分	80分	90分	100分	110分
電壓	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(iA)	>50	50	50	50	46	44	42	40	39
時間	120分	130分	140分	150分	160分				
電壓	0.1	0.08	0.05	0.05	0.08				
電流(iA)	32	23	20	34	34				



正極ITO鍍PANI負極鋅-電壓/時間(前10分鐘)



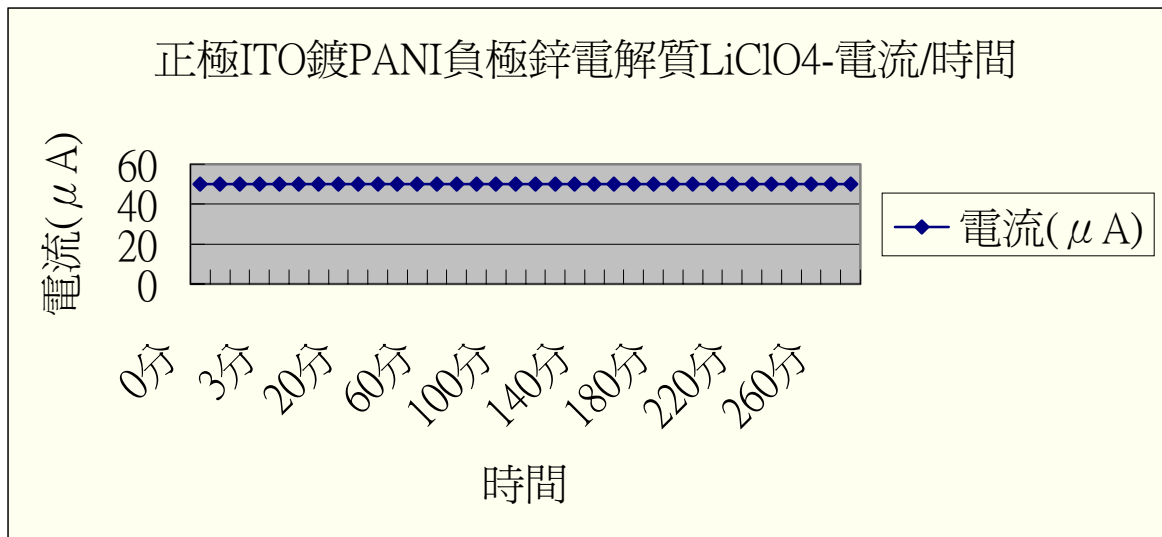
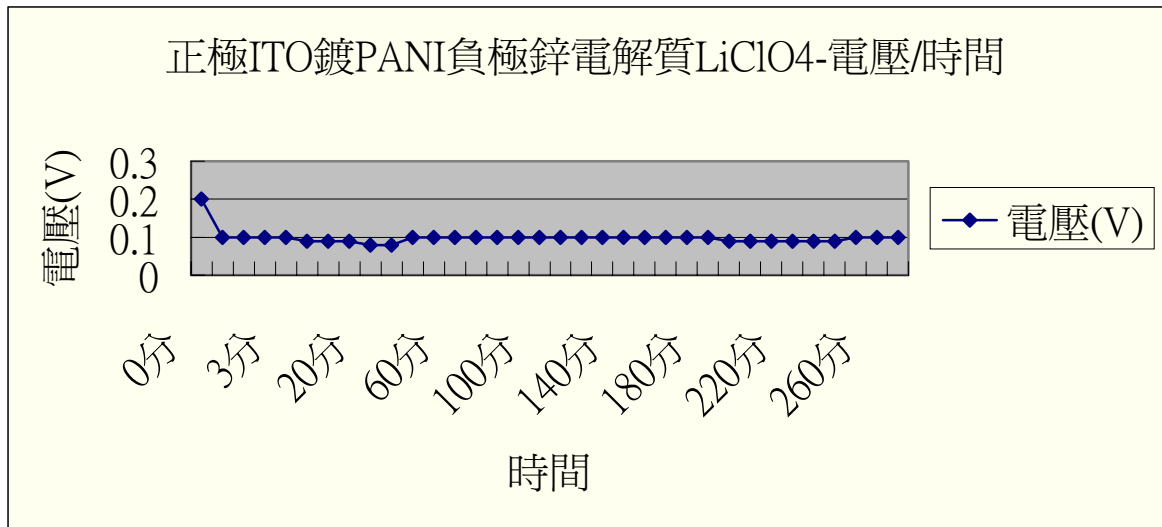
正極ITO鍍PANI負極鋅-電流/時間



LiClO4 負極鋅

時間	0分	30秒	1分	2分	3分	4分	5分	10分	20分
電壓(V)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09	0.09	0.08
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分	110分
電壓(V)	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	120分	130分	140分	150分	160分	170分	180分	190分	200分
電壓(V)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.09	0.09
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	210分	220分	230分	240分	250分	260分	270分		
電壓(V)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.1	0.1	0.1		

電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



十、以不同電解質對電池放電之影響之探討

1. 實驗目的：以不同電解質對電池放電之影響之探討。
2. 實驗步驟：
 - (1) 先配置 1M 之 HCl、H₂SO₄、NaOH、NaCl 水溶液。
 - (2) 取 100ml 倒入燒杯中，將正極 ITO 玻璃鍍上聚苯胺、負極-鋅片接好，固定電極浸入深度 2.75cm、距離 4cm。
 - (3) 測量其電壓、電流之變化。
3. 實驗紀錄：

電解質 NaOH(1M) 正極 ITO 鍍
PANI 負極鋅

時間	0分	30秒	1分	2分	3分	4分	5分	10分	20分
電壓(V)	0.2	0.2	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15

電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分	110分
電壓(V)	0.15	0.2	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	120分	130分	140分	150分	160分	170分	180分	190分	200分
電壓(V)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.17	0.18
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	210分	220分	230分	240分	250分	260分	270分	280分	290分
電壓(V)	0.18	0.18	0.18	0.2	0.18	0.2	0.19	0.15	0.15
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	300分	310分							
電壓(V)	0.15	0.15							
電流(iA)	>50	>50							

電解質(H₂SO₄) 正極 ITO 鍍 PANI

負極 鋅

時間	0分	30秒	1分	2分	3分	4分	5分	10分	20分
電壓(V)	0.75	0.6	0.55	0.5	0.4	0.25	0.25	0.2	0.2
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30分	40分	50分						
電壓(V)	0.1	0.05	0						
電流(iA)	37	22	0						

電解質 HCl 正極 ITO 鍍 PANI

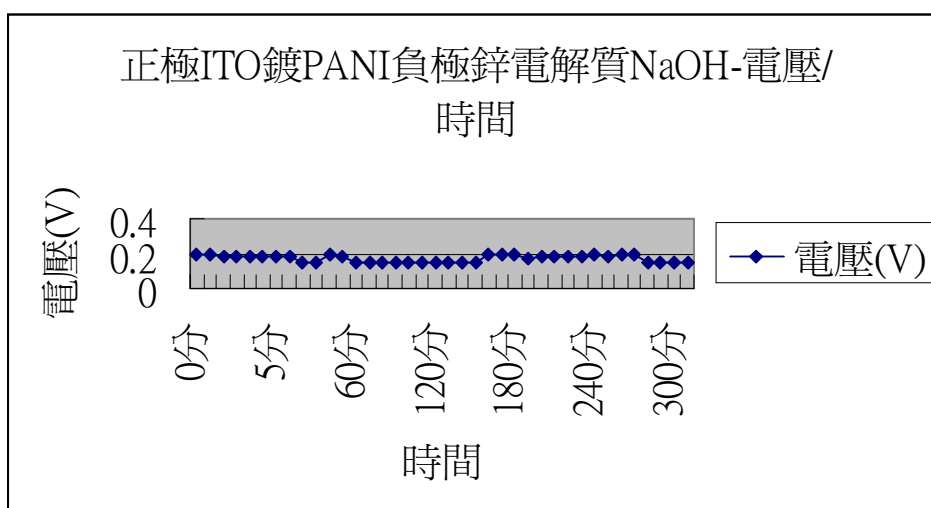
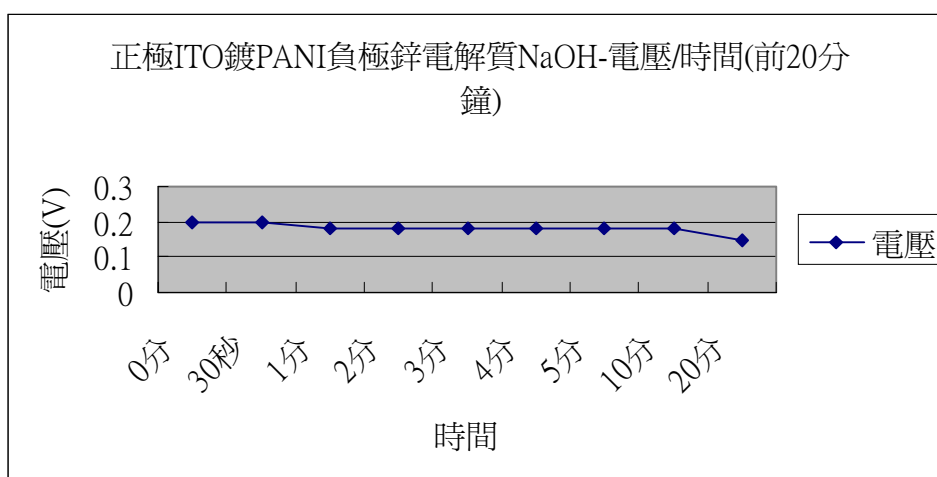
負極 鋅

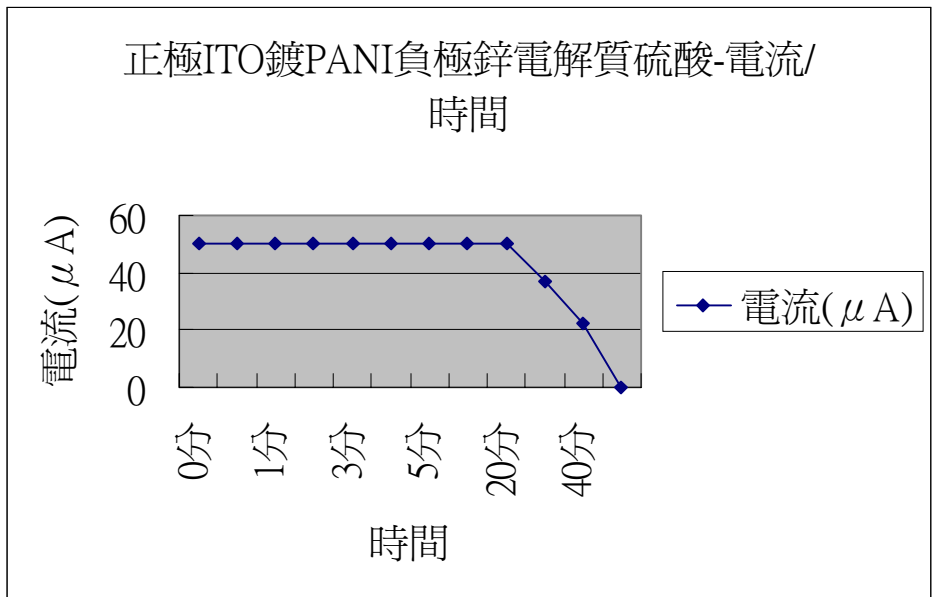
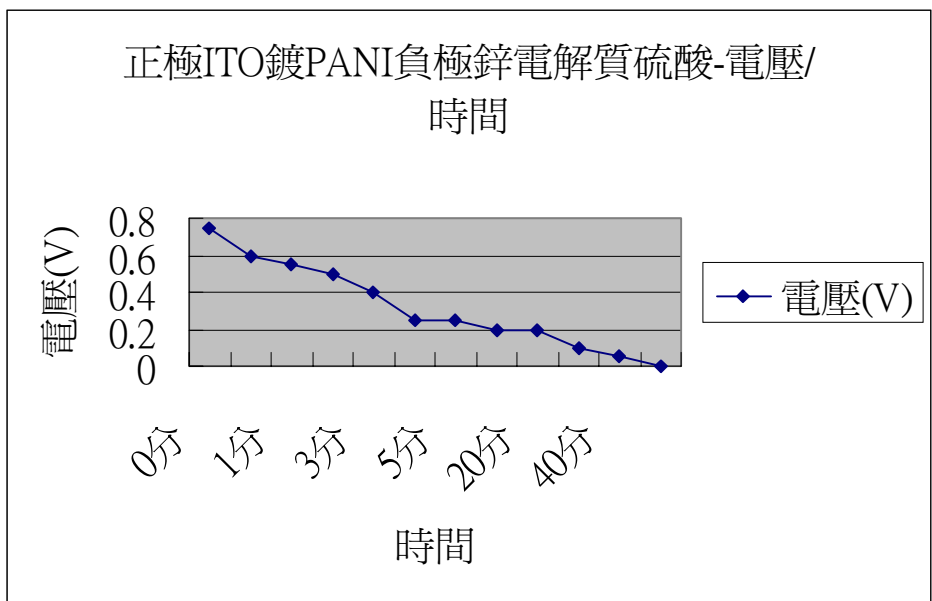
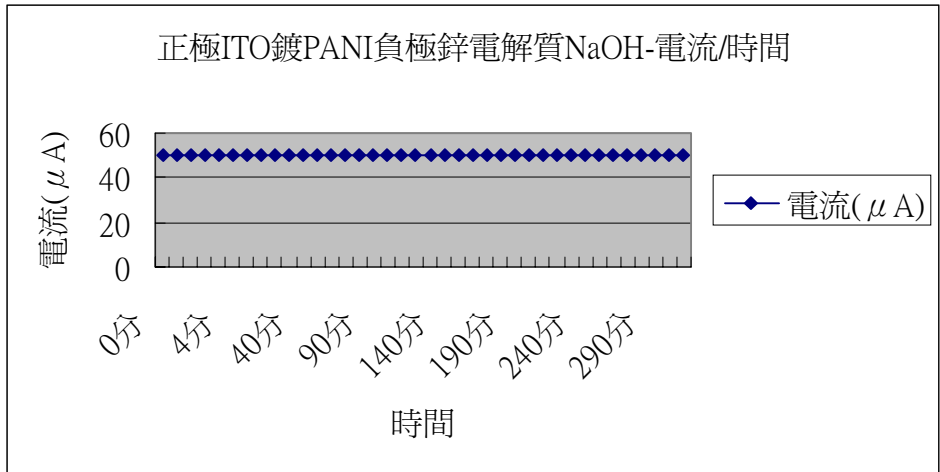
時間	0秒	30秒	1分	2分	3分	4分	5分	10分	20分
電壓(V)	1.33	1.25	1.2	1.15	1.1	1.05	1.0	0.45	0.4
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30分	40分	50分	60分	70分	80分	90分	100分	110分
電壓(V)	0.45	0.4	0.43	0.43	0.4	0.4	0.37	0.35	0.35
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	120分	130分	140分	150分	160分	170分	180分	190分	200分
電壓(V)	0.32	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.28	0.25	0.25
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	210分	220分	230分	240分	250分	260分	270分	280分	
電壓(V)	0.25	0.22	0.22	0.22	0.21	0.2	0.2	0.2	
電流(iA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	

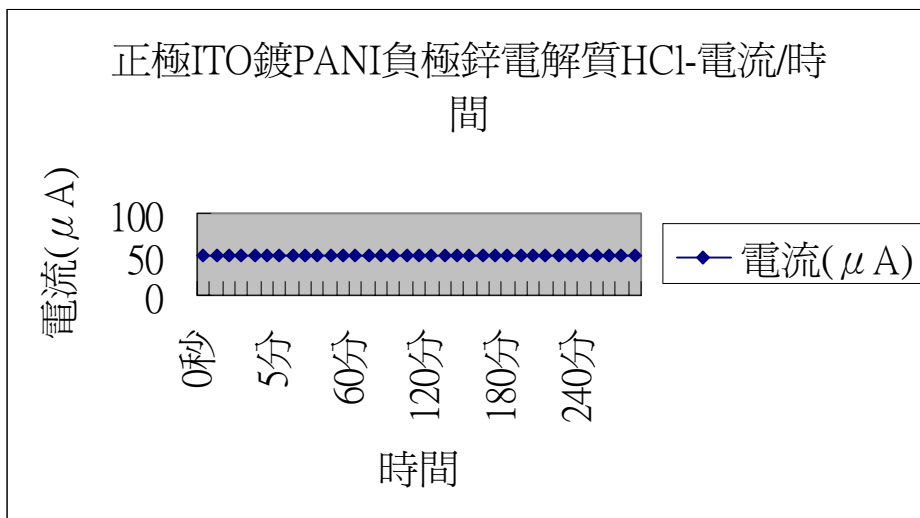
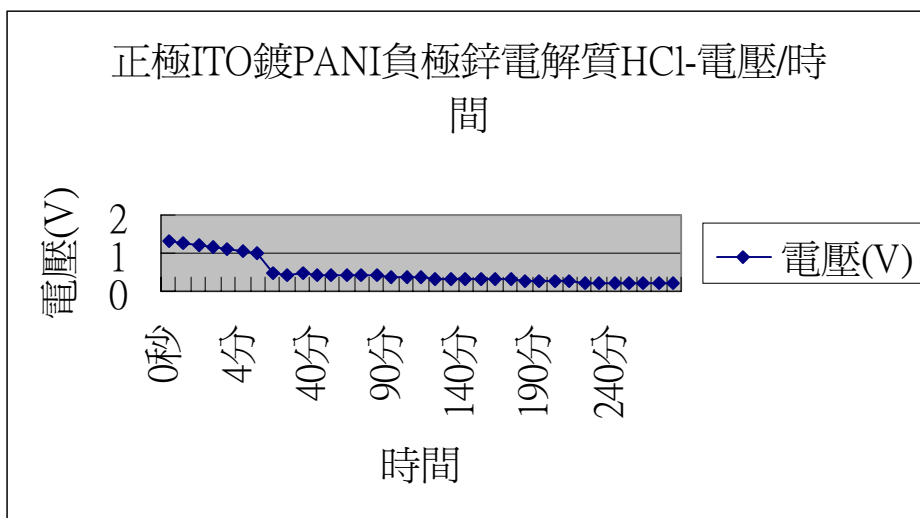
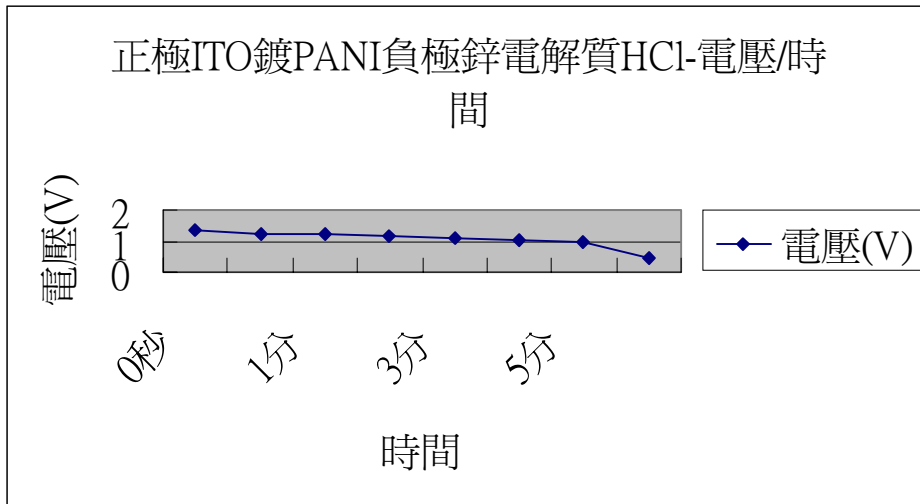
電解質 NaCl 正極 ITO 鍍 PANI

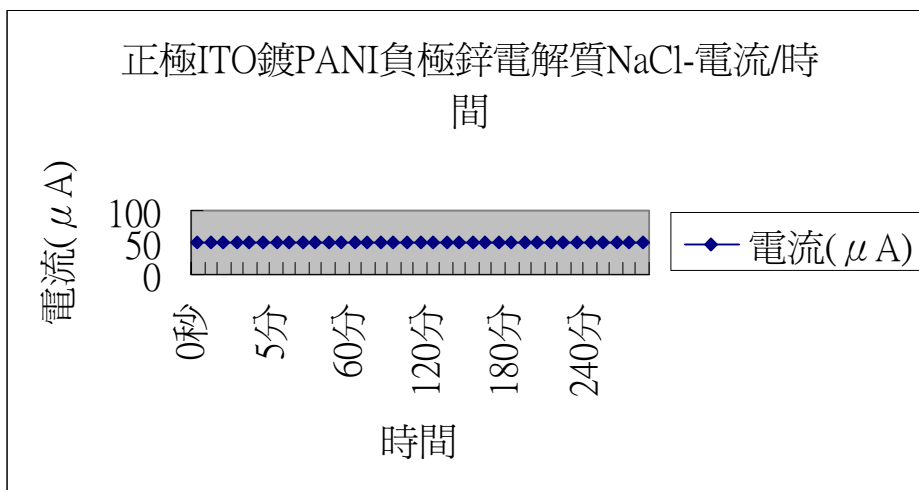
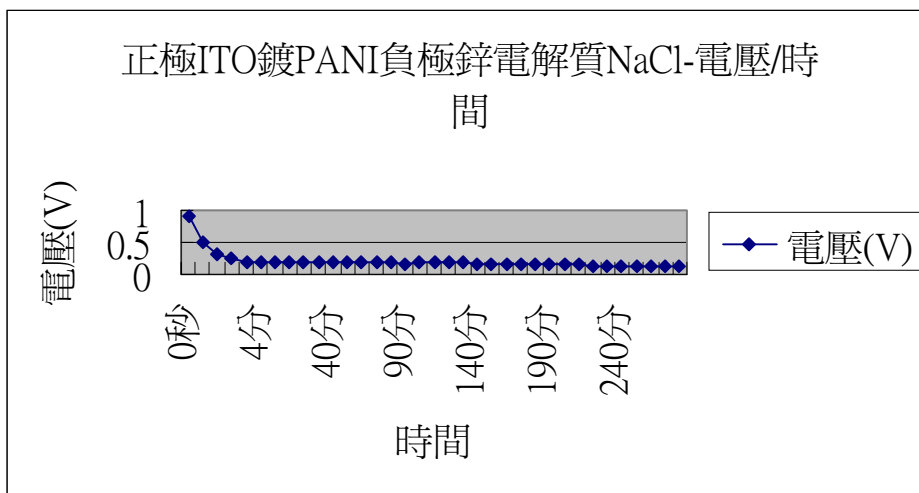
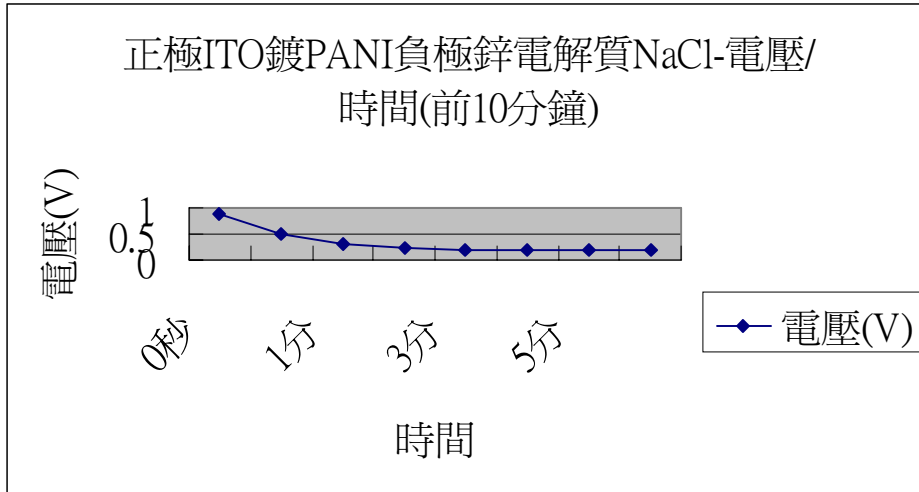
負極 鋅

時間	0 秒	30 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	10 分	20 分
電壓(V)	0.9	0.5	0.3	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30 分	40 分	50 分	60 分	70 分	80 分	90 分	100 分	110 分
電壓(V)	0.2	0.2	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	0.18
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	120 分	130 分	140 分	150 分	160 分	170 分	180 分	190 分	200 分
電壓(V)	0.18	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	210 分	220 分	230 分	240 分	250 分	260 分	270 分	280 分	
電壓(V)	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	









3. 探討:根據以上的實驗我們發現用酸性的溶液來當電解質會使負極-鋅產生化學變化,尤其是硫酸,在 50 分鐘的時候用來當做負極的鋅片就已經被反應光了,因此這裡我們不能使用酸性的溶液當作電解質。

十一、製備聚苯胺電池(實驗室原型,正極使用聚苯胺薄膜、負極使用鋅

片，電解質 $ZnSO_4$ 。

1. 直接配置 1M 的 $ZnSO_4$ 為聚苯胺電池之電解液，紀錄其放電時間。

2. 實驗過程：

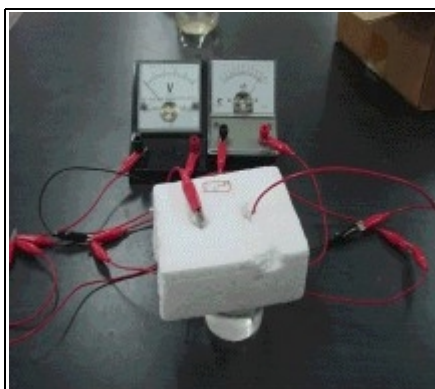
(1) 電解質之製備：配置 1M 的 $ZnSO_4$ 溶液。

(2) 正極的製備：取一片 ITO 玻璃，把可導電的那面放置於旋轉塗佈機上，以膠帶固定以防其脫落，打開離心機以滴管取適量 EB 加 THF 滴在 ITO 上，待其塗抹均勻後，關掉離心機後，即有一層聚苯胺薄膜塗在表面上，把玻璃放入烘箱烘乾後，即可使用。

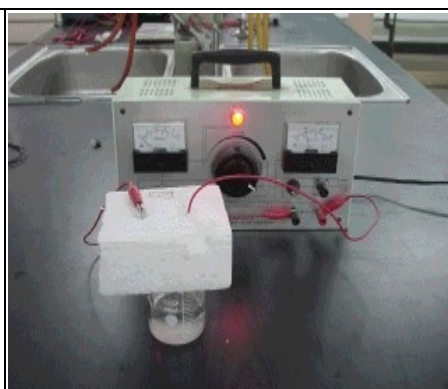
(3) 負極：取一片鋅片（最好用砂紙刮一刮）。

(4) 待一~三步驟完成後，以串聯方式連接安培計、並聯接伏特計，以鱷魚夾夾住正極（ITO）、負極（鋅片），而後觀察其電壓與安培之值。

3. 實驗探討：在此實驗中，我們用別人沒有做過的硫酸鋅粉末沛成溶液來作為電解質，結果有了一個不錯的結果，它可以算是我們所做的實驗中最穩定的，放電時間最長的，可維持三天半的時間還有當電壓降到 0.2V 之後，就維持了約 2 天的時間。（如圖一）而充電 2 小時後，電壓可達到 0.5V，這也是少數可充放電的二次電池。（如圖二）



圖一



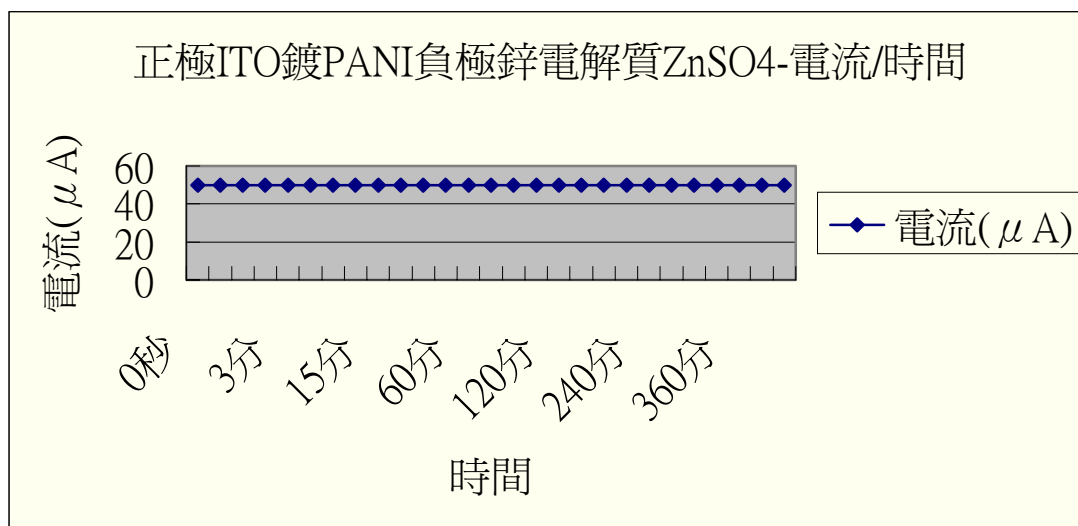
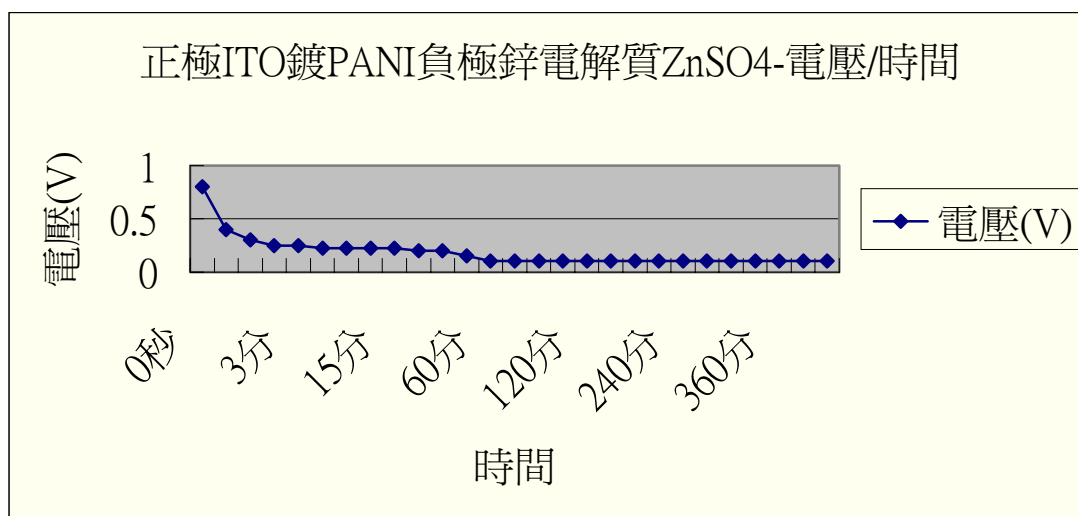
圖二

4. 實驗數據：

正極 ITO 鍍 PANI 負極鋅 電解質
 $ZnSO_4$

時間	0 秒	30 秒	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	10 分	15 分
電壓(V)	0.8	0.4	0.3	0.25	0.25	0.22	0.22	0.22	0.22
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	20 分	30 分	45 分	60 分	75 分	90 分	105 分	120 分	150 分
電壓(V)	0.2	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	180 分	210 分	240 分	270 分	300 分	330 分	360 分	390 分	420 分

電壓(V)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50

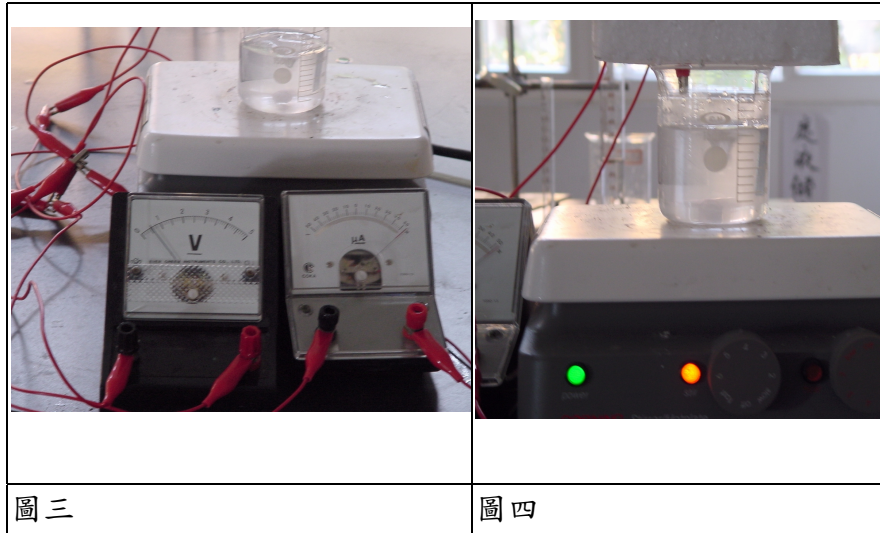


十二、製備聚苯胺電池（實驗室原型，正極使用聚苯胺薄膜、負極使用鋅片，電解質 ZnSO₄）。

1. 實驗過程：直接配置 1M 的 ZnSO₄ 為聚苯胺電池之電解液，紀錄其放電時間。
2. 電解質之製備：配置 1M 的 ZnSO₄ 溶液。取 100ml 之溶液蹈入燒杯中，並繼續以磁石攪拌機攪拌。
3. 正極的製備：取一片 ITO 玻璃，把可導電的那面放置於旋轉塗佈機上以膠帶固定以防其脫落，打開離心機以滴管取適量 EB 加 THF 滴在 ITO 上待其塗抹均勻後，關掉離心機後，即有一層苯胺薄膜塗在表面上，把玻璃放入烘箱烘乾後，即可使用。
4. 負極：取一片鋅片（最好用砂紙刮一刮）。待一~三步驟完成後，以串聯方式連接安培計、並聯接伏特計，以鱷魚夾夾住正極

(ITO)、負極(鋅片)，將其放入燒杯中，此時燒杯仍至於磁石攪拌機上。

5. 實驗探討：雖然在上一個實驗中做出了可充放電的電池，但是我們發現做出來的電池只要經過搖動電壓及電流就會有所改變，因此我們在裝電池的同時以磁石攪拌器攪拌，使電解質能均勻混合。(如圖三、圖四)



圖三

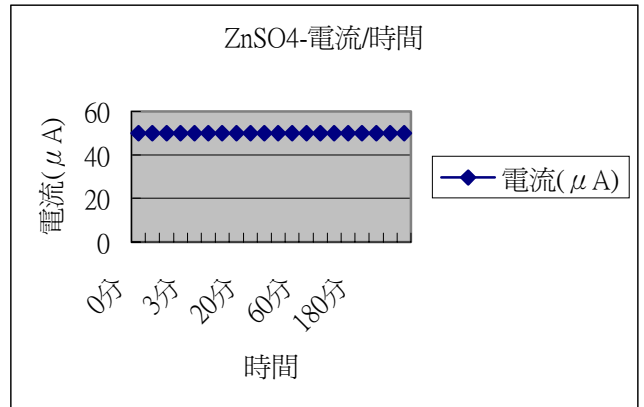
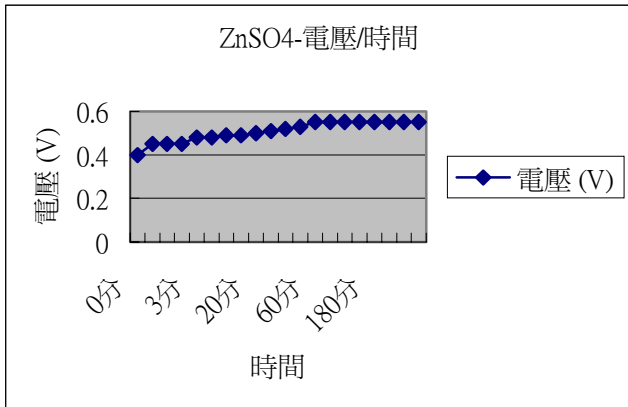
圖四

6. 實驗數據：

正極：ITO 鍍上 PANI 負極：鋅片 電解液：

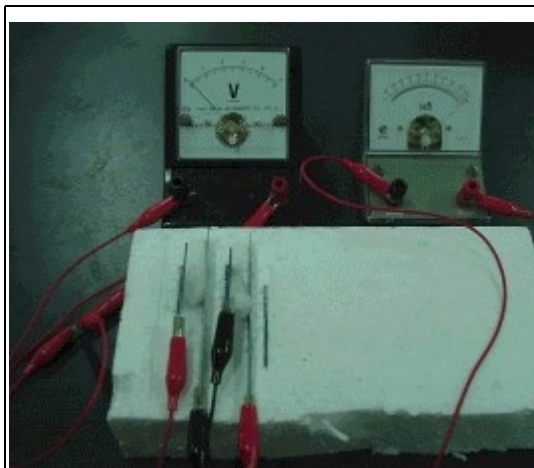
ZnSO₄

時間	0	0.5	1	2	3	4	5	10	20
電壓 (V)	0.4	0.45	0.45	0.45	0.48	0.48	0.49	0.49	0.5
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	30	40	50	60	90	120	150	180	210
電壓 (V)	0.51	0.52	0.53	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
電流(μA)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
時間	240	270							
電壓 (V)	0.55	0.55							
電流(μA)	>50	>50							

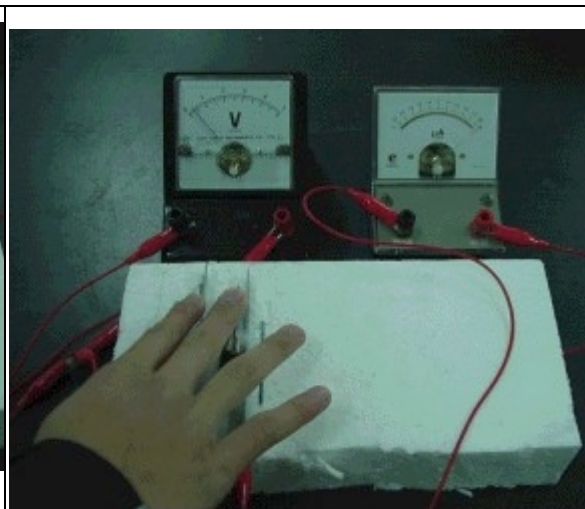


十三. 電池的串聯

實驗目的：為了使我們所研製出的電池更適用於一般的產品，因此我們將正極 ITO 玻璃鍍 PANI 負極鋅片 電解質 ZnSO₄ 利用棉花來吸附，再將其串聯(如圖五)所得之結果並不如預期中的好，因此我們想說應該要使棉花與電極更加緊密的接觸，但是要固定實在是不容易，因此我們以手夾住使其緊密接觸觀察其差異，結果較緊密的電壓較不緊密的高出 0.2V 左右。(如圖六)



圖五



圖六

玖、 研究過程：

- 一、聚苯胺性能之研究：聚苯胺是較早發現也已經商業化的高分子，而一般的導電高分子溶液受到空氣中的水氣和氧氣的影響，而影響其導電度，但是聚苯胺卻不受影響，而且聚苯胺經過氧化還原的過程也不會改電其結構，因此廣為利用。而我們計畫將合成聚苯胺，將其與文獻上的各種特性加以比較，合成方法：採用化學合成法。在此我們採用化學合成法

的原因是因為，若是以電化學合成，其結構會較不完整。

- 二、以聚苯胺為電極之二次電池：高分子二次電池乃是現在一個很新的話題，有許多學術單位以及廠商都致力於研究高分子電池，將來或許可以取代現有鋰電池之市場地位。其主要的優點是由於共軛導電高分子二次電池具有質輕、加工容易、易大面積化、具撓曲性、高能量密度等優點，可做成可捲曲的電池，也能製作超薄電池，要取代鎳氫和鋰離子二次電池是指日可待之事。不過相對的也有缺點還待改善，像是導電度較低、不能做高功率的放電等。
- 三、正極的製作（聚苯胺）：將純化後的苯胺，以化學合成法聚合成聚苯胺，並將其以旋轉塗膜法均勻在集電板（ITO）上形成一聚苯胺薄膜，作為本次實驗的正極，我們之 選取聚苯胺是為它在空氣中的活性不大不像聚乙炔在空氣中非常不安定。
- 四、負極的製作：負極我們將使用鋰金屬，原想使用金屬蒸鍍法，利用降低壓力，使金屬汽化，並沈積在載體上，但因本校無此設備，因此改以鋅片作為負極。
- 五、電解液：我們計畫以 LiClO_4 作為此電池的電解液，並摻 PC（propylene carbonate）（25wt%）增加其導電度。（但其效果不佳）
- 六、PVDF/HFP 系高分子電解質：我們將以 PVDF/HFP 系高分子電解質取代舊有之隔離膜，並將其與其他隔離膜之性質作一比較。但是因為學校無此技術及設備，因此這裡我們將以棉花代替其功能。

壹拾、參考文獻：

- 一、宋金穎，微孔性聚偏氟乙烯高分子電解質之電化學特性研究，國立清華大學研究所博士論文。
- 二、陳壽安，導電高分子與聚合反應動力學之研究，
<http://www.mse.nsysu.edu.tw/nsc-polymer/rl.shtml>
- 三、陳壽安，導電高分子：新世紀光電材料，物理雙月刊，二十三卷二期 2001
- 四、林美雲譯，高分子電池的技術創新，工業材料 147 期，88 年 3 月
- 五、王美惠，淺談高分子電池設計理論基礎，工業材料 156 期，88 年 12 月
- 六、楊家諭，高分子電池未來發展趨勢，工業材料 144 期，87 年 12 月
- 七、楊模樺，小型鋰離子二次電池技術發展現況，工業材料 167 期，89 年 11 月 8. 賴君義教授高分子薄膜研究中原化工所
- 八、華沐怡；陳壽安，工學院—淺談共軛導電高分子及其光電運用，長庚大學化公暨材料工程學系副教授；清大化工系教授
<http://memo.cgu.edu.tw/Secretariat/長庚大學簡訊/目錄 30/>

- 九、林英智，二次電池與電子材料，
<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/lecture/battery/main.htm>
- 十、陳永隆，2000 年諾貝爾化學獎介紹，中正大學化工研究所，
2000.10.10
- 十一、郭鎮鉸 聚苯胺及三氧化鎢互補式電變色元件電變色性質研究，
中正大學化工研究所 2000.06
- 十二、林宗儀，民 89，矽氧烷型高分子電解質之製備與物性探討，國
立成功大學化學工程學系碩士論文
- 十三、吳典熹，民 89，鋰離子二次電池負極材料一氧化錫的製備與特
性研究，國立台灣大學化學工程學研究所博士論文
- 十四、林錫勳，民 90，電化學製備聚砒碲膜之電化學與材料特性的研
究，國立中正大學化學工程研究所碩士論文
- 十五、葉育睿，民 89，ITO 玻璃上無電聚合聚苯胺膜及其在聚合物發光
二極體的應用，國立中央大學化學研究所碩士論文
- 十六、謝國煌，民 89，胺酯 - 苯胺共聚物與聚胺酯互穿型高分子網狀
結構體之研究，台大化工研究所
- 十七、胡啟章，88，聚苯胺修飾膜之合成與電化學及材料特性，國立中
正大學化工研究所

附錄：實驗日誌

日期 11/10 室溫 21°C

我們今天嘗試以化學合成方法製造聚苯胺

日期 11/17 室溫 22°C

我們今天嘗試以電化學合成法，將聚苯胺鍍在鋅片上，不過鍍出來的不像薄膜.....

日期 11/24 室溫 25°C

今天我們再一次的在鋅片上鍍上聚苯胺薄膜，並測量其是否能導電。

日期 12/08 室溫 24°C

今天我們再度嘗試以電鍍的方法使聚苯胺在鋅片上成膜，在其未烘乾之前，可以放電，但是在烘乾以後，就不能放電了，因此並不適合當電池。

日期 12/15 室溫 22°C

今天我們把聚苯胺以電鍍法鍍在 ITO 玻璃上，不過並沒有很成功，而且所鍍上的薄膜滿容易剝落的。

日期 12/22 室溫 23°C

今天我們嘗試以旋轉塗膜法在 ITO 玻璃上形成一層聚苯胺薄膜，再將其烘乾，經過測試這是能導電的。

日期 12/29 室溫 20°C

今天我們嘗試以過氯酸+氯化鋰當作電解質(代替 HClO_4)，以鍍上聚苯胺的 ITO 玻璃為正極，鋅片為負極，組合成一電池，並測量其是否可以放電。

日期 01/05 室溫 18°C

我們今天嘗試以不同的負極作為極電板來測量電池的效能。(正極繼續在 ITO 上塗一層聚苯胺。) 根據實驗發現還原電位愈小的它的電壓越大。反之，則愈小。原來我們是以度上聚苯胺在 ITO 上的方法來製備正極，但因其效果不太好，很容易剝落，所以以後的實驗應該會以旋轉塗佈法為主。

日期 01/21 室溫 17°C

經過了最後一次段考的摧殘，頭腦的細胞不知道死了多少。但實驗還是要繼續做下去。因為我們的題目有性能研究，那我們就想說用不電解質試試看： HCl 、 H_2SO_4 、 NaOH 、 NaCl 。

日期 01/21 室溫 15°C

但結果令人.....，因為實驗不久之後 H_2SO_4 就把鋅片反應掉了。所以單純的強酸是不適合作為本實驗的電解質的。

日期 01/22 室溫 17°C

有了昨天的經驗，我們還是回歸到直接配置 1M 的 LiClO_4 來作為聚苯胺電池之電解液，紀錄其放電時間。

日期 01/23 室溫 18⁰ C

以單純 ITO 玻璃與鋅片來測試其充放電效應與性能

日期 01/24 室溫 15⁰ C

直接配置 1M 的 LiClO₄ +PC 來作為聚苯胺電池之電解液。我們試著找個能取代 PVDF 的東西，於是想起了高一化學實驗簡易化學電池的製作時，以棉花吸取電解液，者不就是我們所要找的東西嗎？？

日期 01/25 室溫 16⁰ C

今天的實驗電解質改採 ZnSO₄，因為我們發覺以 LiClO₄ +PC 來做的時候並沒有辦法充電，那就離題了。我們就想了一下，如果以 ZnSO₄ 來當的話，或許有辦法充放電，結果.....。

日期 01/28 室溫 13⁰ C

我們試著把棉花泡進 ZnSO₄ 然後直接把 ITO 與鋅片固定在保利隆上，在兩者之間放進剛泡過的棉花，並多串聯幾個，結果發現效果還不錯。

日期 01/29 室溫 12⁰ C

延續 1 月 25 日的結果(因為到今天才放完電)，我們把它充了 3~4 小時的電，測試結果居然電壓達 0.4~0.5V 之間，而電流也 > 50 μ A，這真是太神奇了。

日期 01/30 室溫 15⁰ C