

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040808

自組裝「聰明窗戶」製作之研究

學校名稱：高雄縣立路竹高級中學

作者：	指導老師：
高二 王雅琪	戴嘉亨
高二 吳宜鈴	葉志麟
高二 洪鳳君	
高二 鄭帛欽	

關 鍵 詞：導電高分子、ITO 玻璃、自組裝

摘 要

導電高分子可用於製作的「聰明玻璃」，即是電致變色的應用，電致變色玻璃屬於建材領域，一般採用電化學法處理，但此方法無法處理大面積？因此我們思考—可否利用奈米科技中的「自組裝」特性，將電致變色物質附著在 ITO 導電玻璃上。如果能停留在表面，因為奈米晶體的體積很小，所則會因表面積效應使得的總面積相對大很多，故由此概念展開本主題之研究。

研究過程是先進行文獻探討，再研究利用浸泡自組裝方式生成導電高分子薄膜，其中還須研究找尋另一適當的導電高分子與中間的電解質，完善後須組裝並測試顏色對比，最後針對最大對比色之模組進行耐久穩定性測試。

研究發現利用聚苯胺為自組裝的單體原料，在溫度 4 度時兩天是最佳化，且由 SEM 得知高分子之寬度約 500nm。另一片 ITO 玻璃的導電高分子用已商業化、化性穩定的產品—PEDOT-PSS、電解質採用 LiClO_4 皆能在測試時有良好的成果出現。組裝後的元件經由循環電壓將近 300 次測試發現，穩定性甚高、顏色對比只降低 4%。

本研究成果之元件變色為深藍色與墨綠色，顏色並不豐富，如能改變不同高分子，找尋其他分子材料讓顏色更豐富，再者能採用可撓性的素材，其運用範圍應該會更廣。

自組裝「聰明窗戶」製作之研究

壹、研究動機

「聰明玻璃」即是電致變色的應用，而其上塗有透明導電塗層皆採用電化學法，除此方法之外是否有其他較簡易方法？因此我們思考的方向是—可否利用奈米科技中的「自組裝」特性，將電致變色物質附著在 ITO 導電玻璃上。。如果能停留在表面，因為奈米晶體的體積很小，則會因表面積效應使得的總面積相對大很多，故由此概念展開本主題之研究。

貳、研究目的

- 一、 文獻探討。
- 二、 研究利用浸泡自組裝方式生成導電高分子薄膜。
- 三、 研究找尋另一適當的導電高分子與中間的電解質。
- 四、 組裝並測試顏色對比。
- 五、 針對最大對比色之模組進行耐久穩定性測試。

參、研究設備及器材

- 一、 藥品：ITO 玻璃、酒精、丙酮、聚苯胺、PEDOT-PSS、 LiClO_4 。
- 二、 器材：數位相機、電源供應器、蝴蝶夾、投影片、刷子、電子天平、冰箱、珍珠板、膠帶、棉花棒。
- 三、 外借器材：光譜儀

肆、研究過程與結果

一、【研究一】文獻探討

(一) 導電高分子

導電高分子屬於所謂的”共軛高分子”。共軛高分子最簡單的例子是聚乙炔。它由長鏈的碳分子以 sp^2 鍵鏈結而成(見圖 1)。由於 sp^2 鍵結的特性，使得每一個碳原子有一個價電子未配對，且在垂直於 sp^2 面上形成未配對鍵。我們

可以想像，相鄰原子的未配對鍵的電子雲互相接觸，會使得未配對電子很容易沿著長鏈移動。

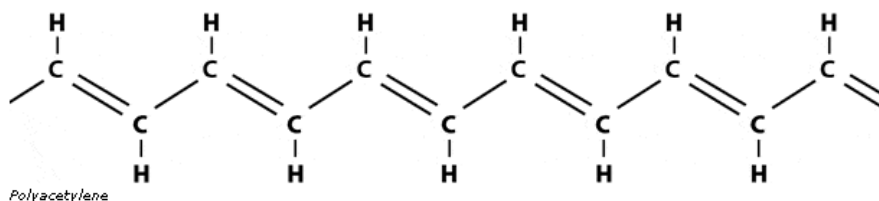


圖 1 聚乙炔結構式

然而，實際的情況較為複雜，未配對電子很容易和鄰居配對而形成“單鍵-雙鍵”交替出現的結構。這種轉變稱為配對化，物理上稱為派若斯不穩定性。為了使共軛高分子導電，必須要做參雜，這和半導體經過參雜後可以經由荷電載子提高導電度類似。

(二) ITO 導電玻璃

ITO 導電玻璃是液晶顯示器的上游原料之一。ITO 是 Indium Tin Oxide 的縮寫，中文是氧化銦錫。ITO 導電玻璃是在原本不導電的母玻璃基板上，鍍上一層可導電的金屬材料。它是製造液晶顯示器面板重要的關鍵零組件之一。液晶本身不會發光，必須在液晶顯示面板後方加上背光源，光線穿透玻璃基板、液晶、彩色濾光片、偏光板，進入人眼中才能看到影像。因為所有材料必須能透光，所以液晶顯示器面板的基板要使用玻璃。但是，由於玻璃無法導電，必須在其上鍍上一層薄薄的二氧化矽與氧化銦錫，讓玻璃產生電極。

(三) 聰明玻璃

導電高分子可用於製作的「聰明玻璃」，即是電致變色（是指施加一個電壓差而導致物質由原本的透明無色狀態電成有色狀態的過程）的應用，電致變色玻璃屬於建材領域，由上下二層主副玻璃基板組成，主副玻璃相對的一面上分別塗有透明導電塗層以及連接該塗層的印刷電源線，玻璃層間加入液晶塗層。玻璃基板的四周鑲有鋁塑保護框，在該框內設有玻璃基板控制器以及連接電極

的電源線和電源插頭。電源控制器同時連接一個或多個玻璃基板。電致變色玻璃可隨時根據人的意願改變顏色的深淺，也可根據室內外光照強度、環境溫度的變化自動控制玻璃的顏色深淺，減少室內熱能損失，實現節能。用於建築物玻璃幕牆可形成運動的圖像、字幕等。用於汽車可使行車安全，並具防盜作用。

而目前在主副玻璃相對的一面上分別塗有透明導電塗層皆採用電化學法，本研究思考改善的方法是——可否利用奈米科技中的「自組裝」特性，將電致變色物質附著在 ITO 導電玻璃上。多孔性薄膜主要是奈米晶體的型態，並且依附在導電玻璃上。因為奈米晶體的體積很小，所以如果能停留在表面，則會因表面積效應使得的總面積相對大很多。

二、【研究二】研究利用浸泡自組裝方式生成導電高分子薄膜

（一）說明：由於電化學方法無法處理較大面積之面板，因此如能類似以塗佈或浸漬方式處理，故本研究小組想利用最常見的聚苯胺為自組裝的單體原料，將聚苯胺形成溶液，嘗試可否將聚苯胺之單體利用自組裝的方式長在 ITO 玻璃表面，形成薄膜。

（二）實驗步驟：

1. 準備 250ml 蒸餾水並滴入約 17~20 滴的聚苯胺。
2. 利用磁石攪拌器加以攪拌約 10 分鐘後靜置。
3. 把 ITO 玻璃不導電面黏在珍珠板上，利用珍珠板之浮力使 ITO 玻璃導電面浸漬於聚苯胺溶液中，而另一面則不與溶液接觸（如圖 2 所示）。
4. 因無恆溫槽，為維持恆溫控制，本研究將浸漬燒杯組置於冰箱（約 4 度）每隔 2 小時取出一個樣品檢測，以作為「研究四」組裝用。
5. 取出之樣本利用網路遠端遙控，商請東南技術學院的 SEM 中心來觀察 ITO 表面所生成薄膜之影像。

(三) 實驗流程：

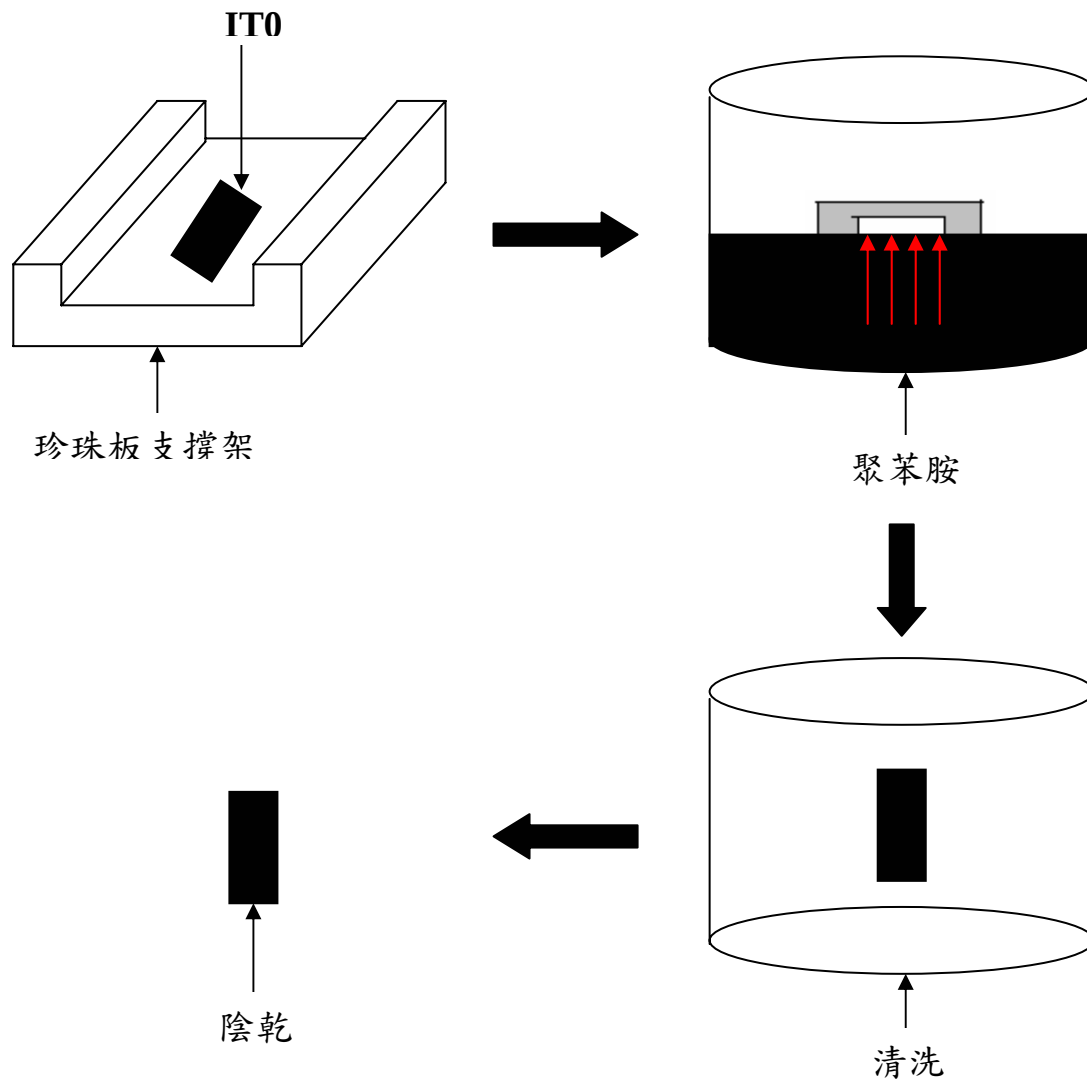


圖 2 高分子自組裝流程圖

(四) 結果：

經由 SEM 電子顯微鏡檢測之結果（以【研究四】中的溫度 4 度，浸漬 48 小時樣本為例）如圖 3 所示。

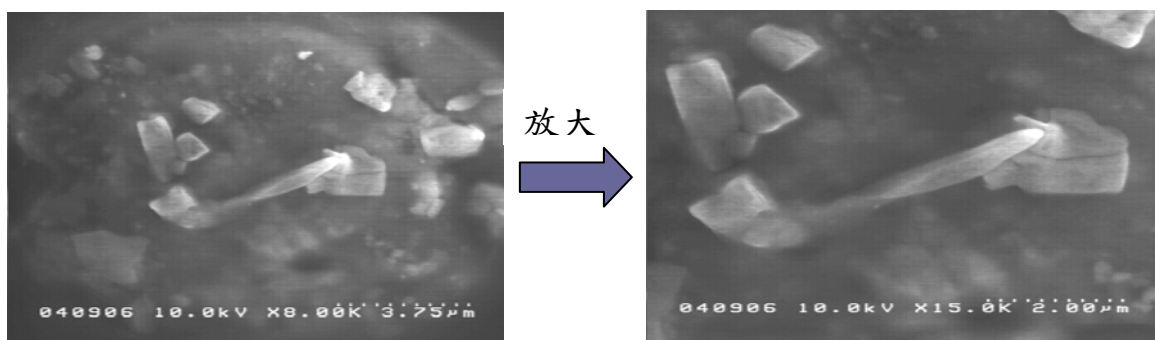


圖 3 SEM 觀察高分子圖

(五) 分析討論：

1. SEM 圖 3 中顯示高分子之寬度約 500nm，此寬度雖未達奈米級，但離奈米級不遠，仍有改善得空間。
2. 由於 SEM 需預約，時段相當難排入，因此只能觀察溫度為 4 度時導電高分子生長情形，而無法比較在其他溫度時高分子生長情形。

三、【研究三】研究找尋另一適當的導電高分子與中間的電解質

(一) 說明：由於聰明玻璃的兩片導電玻璃皆需塗上導電高分子，由【研究二】之結果已長出導電高分子之薄膜，因此另一片 ITO 玻璃需找尋適當的導電高分子與電解液。

(二) 找尋步驟：

1. **找尋適當的導電高分子**：經由網路查詢、化學儀器行與大學化工系諮詢發現市面上已經有一種商業化的產品—PEDOT-PSS，其化性相當穩定，因此我們嘗試使用此種化學藥品塗佈在另一片 ITO 玻璃上。
2. **找尋適當的電解質**：化學週期表中的鹼金族 Li、Na、K 中 Li 的氧化電位較低，因此本實驗使用 LiClO_4 ，由於 LiClO_4 是粉狀物，為符合本實驗之組裝可塗佈之特性，需形成溶液態。

(三) 結果：

1. PEDOT-PSS、水和酒精以大約 1：1：1 之比例調配，如果過於凝聚（過於黏稠）則可加酒精，如酒精揮發過快則需增加水量，亦即視當時情況來增加酒精或水之比例。
2. 在塗佈 PEDOT-PSS 前，先以拭鏡紙擦拭玻璃（盡量不要有雜質或油漬），再將溶液均勻塗到導電面，靜置讓它自然乾。
3. 將 LiClO_4 與 PU 混合成液態（此部份也已經有商業化廠品，至於如何配置不得而知）。

(四) 分析與討論：

1. PEDOT-PSS 是否為較佳的導電高分子與電解質並不得而知，只因他已經是商業化的產品且容易購得，而其同性質的物質則有待進一步實驗測試。
2. LiClO_4 與 PU 混合後形成黏稠的膠狀物，利用滴管吸取少許滴在已長好聚苯胺的 ITO 玻璃上，隨後可將 PEDOT-PSS 層覆蓋。

四、【研究四】組裝並測試光之穿透率

(一) 說明：經由【研究一】至【研究三】的分析與實驗所得的 ITO 玻璃、導電高分子 PEDOT-PSS、電解質 LiClO_4 加以組裝，並針對光之穿透率加以測試，希望能找出顏色對比較大模組。

(二) 實驗步驟：

1. 將已附有聚苯胺的 ITO 玻璃上塗上鋰鹽，之後將塗有 PEDOT:PSS 的 ITO 玻璃蓋上，為了防止兩個 ITO 玻璃直接接觸，我們在中間加上兩小片投影片加以區隔，並以指甲油（加點酒精）當黏著劑，不可重複黏或平移，以免破壞表面如圖 4 所示



圖 4 組裝加上墊片示意圖

2. 組裝後利用蝴蝶夾將兩端夾住固定，固定後會有電解液被擠壓而流出，利用棉花棒將流出的液體擦拭乾淨，組裝的內容物之剖面圖如圖 5 所示

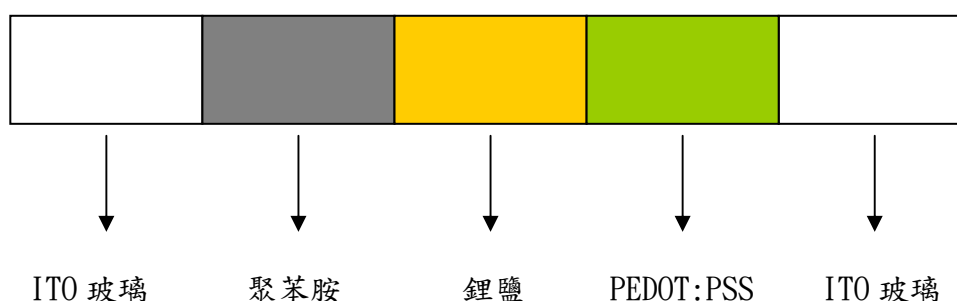


圖 5 組裝的內容物之剖面圖

組裝的俯看圖如圖 6 所示

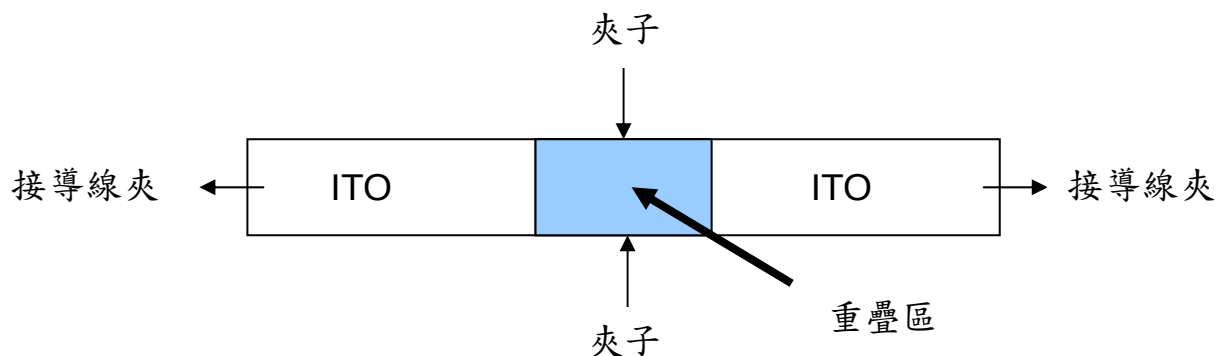


圖 6 組裝的俯看圖

3. 利用光譜儀與電源供應器（以正負 1.5V 為一循環，只做第一循環）檢測在不同時間取出的聚苯胺的 ITO 玻璃所組裝之樣本對可見光之穿透率。

（三）結果：

1、在不同時間取出的聚苯胺的 ITO 玻璃所組裝之樣本，經由光譜儀檢測後得在 $\pm 1.5V$ 穿透率之最大差值如表 1 所示。

表 1

時間 (hr)	2	4	6	8	10	12	14
$\pm 1.5V$ 穿透率最大差值	$\approx 0\%$	0.6 %	1.5%	3.4%	4.6%	5.5%	6.9%
時間 (hr)	16	18	20	22	24	26	28
$\pm 1.5V$ 穿透率最大差值	8.0%	8.8%	9.3%	10.4%	11.6%	12.9%	13.8%
時間 (hr)	30	32	34	36	38	40	42
$\pm 1.5V$ 穿透率最大差值	14.2%	14.9%	15.2%	15.3%	15.4%	15.3%	15.5%
時間 (hr)	44	46	48	50	52	54	56
$\pm 1.5V$ 穿透率最大差值	15.7%	15.8%	16.0%	15.7%	15.9%	16.5%	16.2%
時間 (hr)	58	60	62	64	66	68	70
$\pm 1.5V$ 穿透率最大差值	15.3%	16.2%	16.1%	16.5%	15.8%	16.4%	16.2%

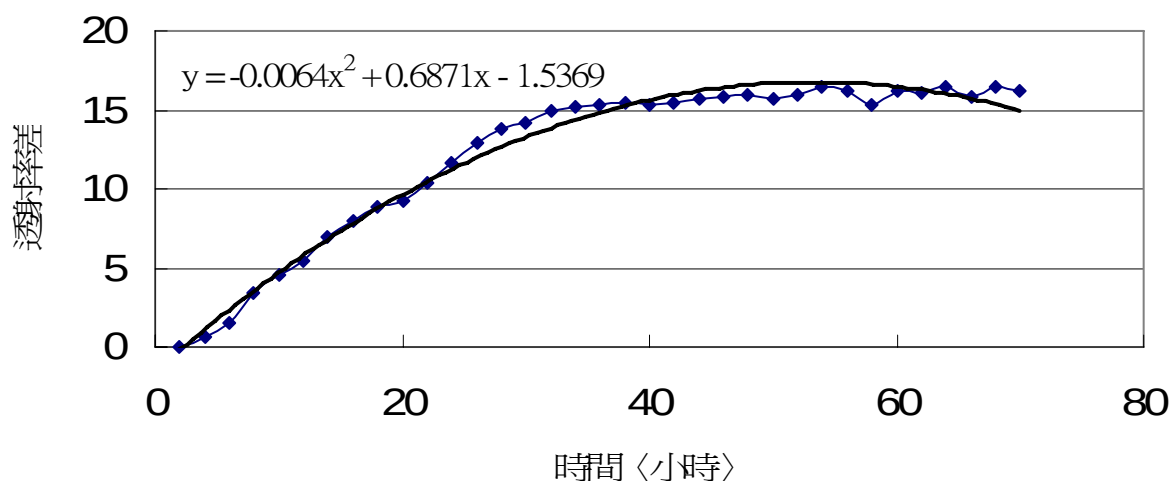


圖 7 高分子自組裝時間與穿透率差對應圖

2. 利用簡易變壓裝置使聚苯胺的 ITO 玻璃組裝之樣本變色如圖 8 所示。



圖 8 完成組裝測試圖

(四) 分析與討論：

1. 置於冰箱每隔 2 小時將浸泡於聚苯胺的 ITO 玻璃取出，這樣的動作其目的在於想了解聚苯胺單體在此溫度下，在不同時間的自組裝情況的差異，由表可發現約在 48 小時（2 天）以後之差異甚小，因此在此溫度（4 度）下浸漬個兩天就可以取出。
2. 聚苯胺的自組裝在一開時的兩個小時還尚未有明顯附著，但隨後自組裝之速度有逐漸變快之趨勢，最後接近 30 時又趨緩。
3. 由於缺乏可控制溫度之恆溫儀，本實驗並未針對「不同溫度下浸泡於聚苯胺

的 ITO 玻璃」其自組裝情況進行研究，但我們的推論是一溫度愈高則分子之亂度會愈大、動能亦較大所需要之時間較短，但自組裝的均勻度則不得而知。

4. 製作好的鋰鹽本身存在一些氣泡，由於它是膠狀物質，因此滴在 ITO 玻璃後，另一片 ITO 玻璃要覆蓋不能直接蓋上，應以一傾斜角覆蓋，以免氣泡殘留影響整體透光率之對比。

五、【研究五】針對最大對比色之模組進行電的開關耐久穩定性測試

(一) 說明：經由【研究四】發現在冰箱內浸泡聚苯胺 48 小時左右的 ITO 玻璃所組裝的電變色元件具有最大顏色對比，由於電變色元件會接於電源，因此想了解此元件對於電的開關之耐久穩定性為何？

(二) 實驗步驟：

1. 將電源供應器接至組裝好的電致變色元件，逐步調整電壓在 $\pm 1.5V$ 間游走形成一個循環。
2. 在此同時將此元件以光譜儀測試其透光率。
3. 因此實驗為耐久穩定性實驗，因此本實驗之電壓之循環設定共 300 次。

(三) 結果與分析：

1. 第 1 圈循環電壓圖形如圖 9 所示。

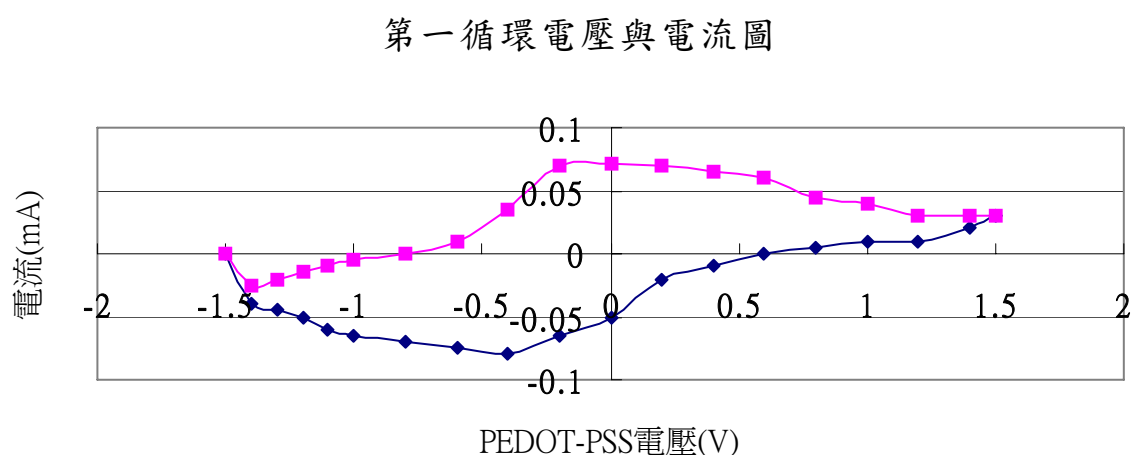


圖 9 第一循環電壓與電流圖

2. 第 200 圈循環電壓圖形如圖 10 所示。

第200圈循環電壓與電流圖

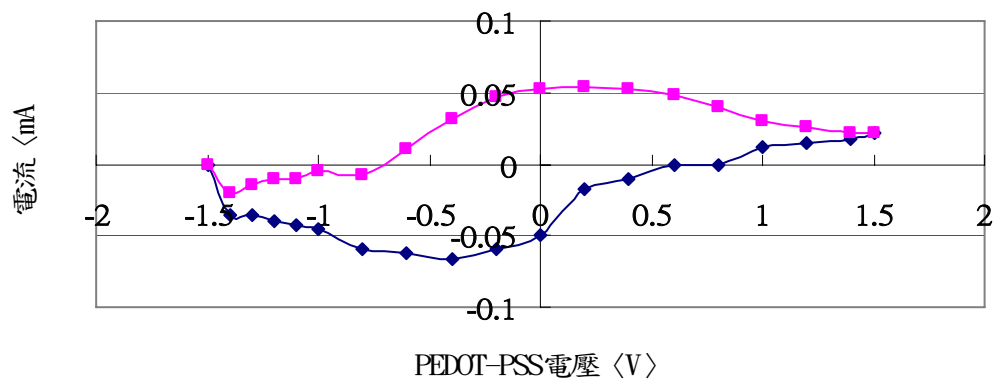


圖 10 第 200 循環電壓與電流圖

3. 第 300 圈循環電壓圖形如圖 11 所示。

第300圈循環電壓與電流圖

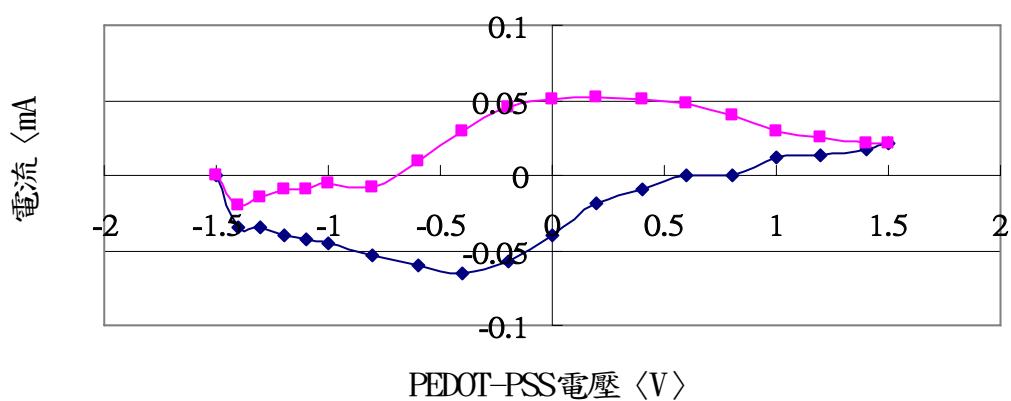


圖 11 第 300 循環電壓與電流圖

4. 第 1、200、300 圈循環電壓圖組合如圖 12 所示。

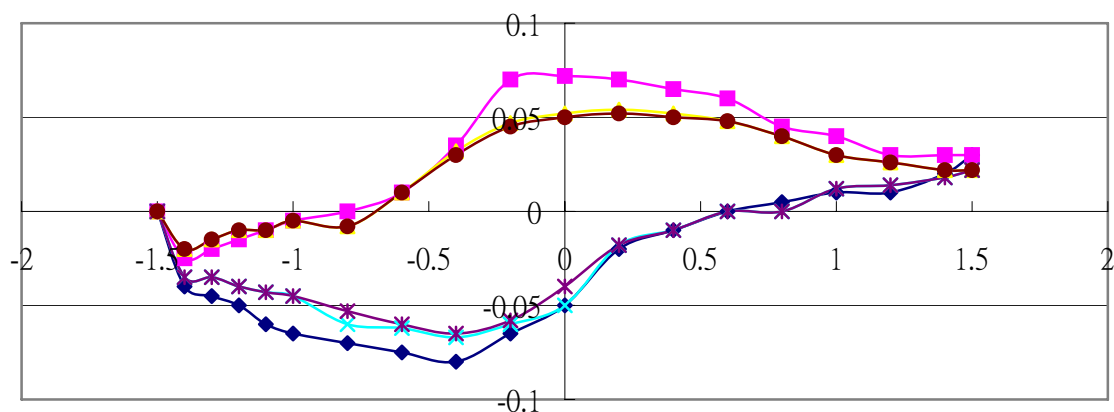


圖 12 第 1.200.300 循環電壓與電流合併圖

5. 利用光譜儀配合電流供應器，繪出可見光部分的透射率與電壓圖（圖 13）。

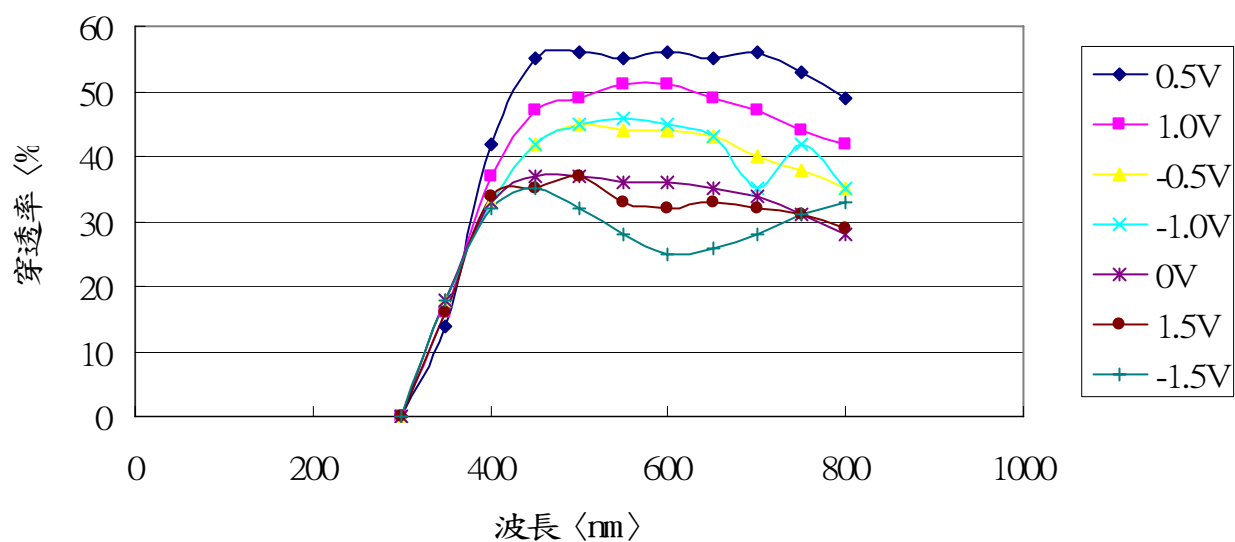


圖 13 可見光波穿透率與電壓對應圖

6. 將第 1 循環與第 300 循環

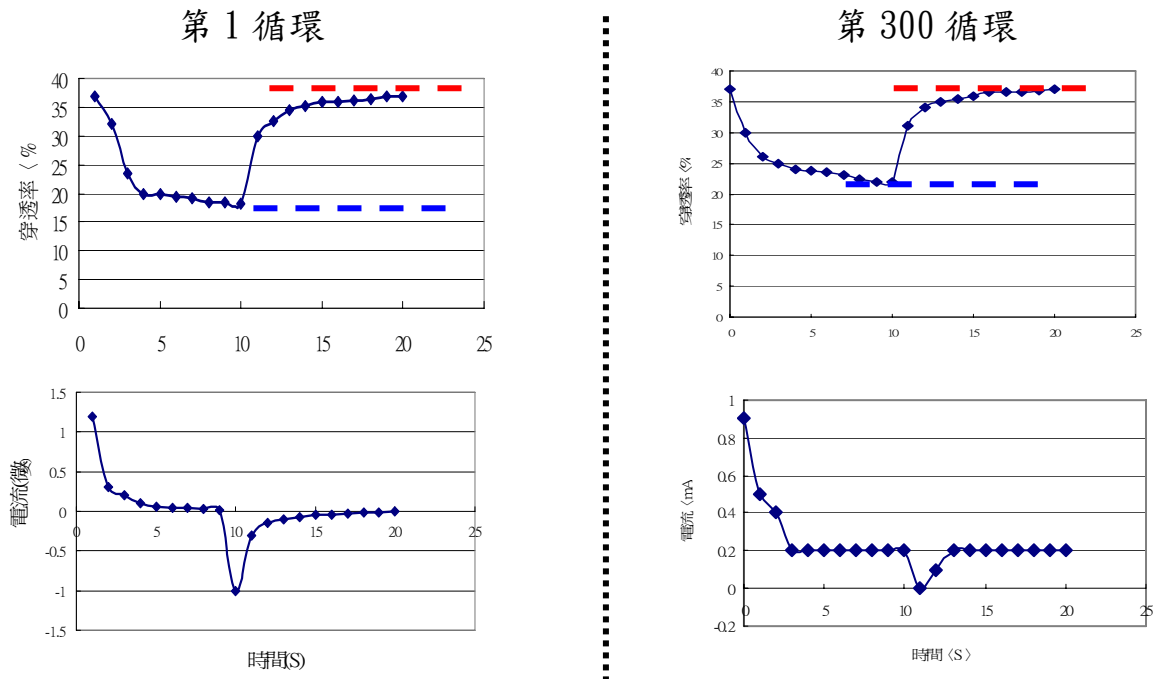


圖 14 第 1、300 循環電流、穿透率對電壓之對應圖

(四) 分析：

1. 經由查詢資料發現導電高分子之氧化電位並不高，大約於 1.5V 左右，因此測試時所使用的電壓大致上不超過 1.5V。
2. 雖測試時所使用的電壓大致上不超過 1.5V，但當我們將電壓升高時（如 3V）其顏色對比會更加明顯，但壽命相對減短，因電壓過高會使溫度升高破壞高分子之結構，因此在較高電壓下不宜停留太長（如 3V 時不宜超過 10 秒）。
3. 由圖 12 發現第 1 圈與第 200、300 圈不同且差異也較大，但 200 與 300 圈之電流甚接近，因此代表本元件穩定性甚高。
4. 由圖 13 發現當電壓在 $\pm 1.5V$ 間時，可見光之透射率在 600nm 時最大值，亦即在此波段時顏色對比最顯眼。

5. 圖 14 知，在 1 圈穿透率差（16%）與第 300 圈穿透率差（12%），相差約 4%，可見經由多次開關測試其顏色對比度會降低 4%，相差甚小，亦即穩定性甚高。

伍、 討論與結論

- 一、利用聚苯胺為自組裝的單體原料，將聚苯胺形成溶液，可將聚苯胺之單體利用自組裝的方式長在 ITO 玻璃表面，形成薄膜，並由 SEM 圖顯示高分子之寬度約 500nm。
- 二、另一片 ITO 玻璃需找尋適當的導電高分子，經由網路查詢、化學儀器行與大學化工系諮詢，我們採用已商業化的產品—PEDOT-PSS 為另一片 ITO 玻璃的導電高分子，其化性相當穩定。
- 三、夾層的電解質，我們也採用已商業化的鹼金族中的 LiClO_4 ，因 Li 比起 Na、Ki 的氧化電位來得低。
- 四、為控制溫度，將浸泡於聚苯胺的 ITO 玻璃置於冰箱每隔 2 小時取出驗本，組裝並檢測發現在 48 小時以後的樣本差異甚小，因此本研究在此溫度 4 度時，浸漬個兩天是最佳化。
- 五、經由循環電壓發現，第 1 圈與第 200、300 圈不同且差異也較大，但 200 與 300 圈甚接近，此代表本元件穩定性甚高。
- 六、電壓在 $\pm 1.5\text{V}$ 間時，可見光之透射率在 600nm 時最大值，亦即在此波段時顏色對比最顯眼，且在 1 圈穿透率差與第 300 圈穿透率差，相差約 4%，多次開關測試其顏色對比度只降低 4%，穩定性甚高。
- 七、由於導電高分子之氧化電位並不高，大約於 1.5V 左右，因此測試時所使用的電壓大致上不超過 1.5V。測試時所使用的電壓大致上不超過 1.5V，但當電壓升高時其顏色對比會更加明顯，相對的壽命會減短，因此在較高電壓下不宜停留太久。

陸、 未來展望

- 一、可改變不同高分子，找尋其他顏色，讓顏色的更豐富，如此才能在廣告看板或玻璃窗之製作大幅使用。
- 二、玻璃究竟還是平面，如果能採用可撓性的素材，其運用範圍可能會更廣。
- 三、不同溫度時高分子生長情形並無比較，如能做到會更完善。

柒、 參考資料

- 一、郭正次、朝春光（民 93），奈米結構材料科學，全華科技圖書。
- 二、蘇志國（民 95），新型高分子材料，曉園。
- 三、謝立生（民 94），橡膠配方手冊，台南復文書局。
- 四、徐武軍（民 93），高分子材料導論總論，五南。
- 五、國際高分子幾丁聚醣研究會（民 92），100%高分子水溶性幾丁聚醣的強效，世茂圖書。
- 六、張豐志（民 92），應用高分子手冊，五南。
- 七、王善勤（民 85），塑膠黏劑配方手冊，台南復文書局。
- 八、陳秋雲（民 91），e 世代液晶顯示器，全華科技。
- 九、林振華（民 91），充電式鋰離子電池，全華科技。

評	語
---	---

040808 自組裝「聰明窗戶」製作之研究

本作品以電致變色物質附著在 ITO 導電玻璃來探討光線穿透率及耐久穩定特性，構思頗為新穎。唯量化之測試數據若能補強，並深化結論之實質意義，再將作品題目稍作修正以精確反應作品主題內涵，則作品之品質將大為提昇。另浸泡或塗佈之面積及均勻度之控制均值得再深入探討。