

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：「膠」流電-黏度及外加電壓對電解質溶液離子暫
穩態通道之影響

得獎獎項：佳作

學校 / 作者：臺北市立第一女子高級中學 李欣瑜



我是李欣瑜，目前就讀北一女中高一，這是我第二次參加台灣國際科學展覽會，也是我從小學六年級以來，第五次參與科展比賽；雖然做科展實驗佔去了我絕大部分的課餘時間，但是在實驗過程中，發現新問題的衝擊、尋求解決問題時的腦力激盪、看到成果時的歡欣以及與來自不同學校的同學討論並觀摩他們的實驗成果，這些過程著實令我樂此不疲。

中文摘要

在本次實驗中，我發現膠狀電解質溶液中的帶電離子，會因為離子團的熱運動，和電偶極的庫倫吸引力 (electric dipole) 的交互作用下，使溶液的 I-V curve (電流-電壓曲線)，具有類似磁滯曲線 (Hysteresis curve) 的效果；而膠狀溶液之濃度越高，電解起始點的對應 I-V 值也越大。此外，白金電極與銅箔電極的距離若改變，也會使溶液的 I-V curve 變的不一樣。

另一方面，我也發現，在給予膠狀電解質溶液一緩慢外加的電壓或衝擊電壓並持續維持此一定額外加電壓時，會因為該溶液的黏度持續增高、帶電離子濃度增高且反應不斷變化下，而使該溶液的對應電壓，形成一重複出現「先降-後升-再降」的震盪現象，且電壓值節節升高。

最後，我利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及能量分散光譜儀 (EDS) 觀察銅箔電極之表面變化並分析其上之化學組成，藉此嘗試解釋上述這些有趣的現象。

Abstract

In this experiment, with the interaction of the heating action of ionic atmosphere and electric dipole, I find that ions in the gel make the I-V curve in the colloid electrolyte liquor show up with the effect similar to Hysteresis curve. The higher concentration of the colloidal solution, the bigger value of I-V at the initial electrolysis reaction was found. Furthermore, the shape of I-V curve is dependent on the distance between platinum electrode and copper electrode.

On the other hand, I find that when I apply a gradual extra-voltage or a fast extra-voltage to the colloidal electrolyte solutions and then maintain to a fixed value, this will make a unique 'two peaks' state oscillation of corresponding voltage. The reason is owing to the climbing viscosity and ion concentration in the solution.

With the methods of scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectrometer (EDS), I observe the change and analyze the components of chemicals on the surface of the copper electrodes. Finally, I present the interesting results and try to interpret these phenomena.

『膠』流電

— 黏度及外加電壓對電解質溶液離子暫穩態通道之影響 —

一、前言

「電磁震盪系統」一直是人們喜好研究的物理現象，在之前完成的實驗中，我們發現：若對電解質溶液外加一隨時間緩慢變化的電壓時，溶液中的帶電離子，會因為離子團的熱運動和電偶極的庫倫吸引力(electric dipole)的交互作用，使得電解質溶液的 I-V curve(電流-電壓曲線)，具有類似磁滯曲線(Hysteresis curve)的效果。此外，若對電解質溶液施以一衝擊電壓，會因離子的移動，而使電壓有一奇特的震盪變化。

我們認為會有迴圈式的 I-V curve 出現是因為對銅箔電極施予的外加電壓由 0V 升高至使兩白金電極能開始有反應的「起始電壓」之間，離子會因電極吸引而移動，並克服熱運動的影響而互相集結，形成一暫穩態通道(如圖 1)所致；而在起始電壓與使兩白金電極停止反應的「結束電壓」之間，因暫穩態通道形成後，其間的帶電粒子多了一份庫倫吸引力，使暫穩態的通道能多克服一些熱運動的破壞。

而在此研究中，我將探討添加不同濃度的膠質以調整電解質溶液的黏度、連續兩次施予外加定額電壓或改變電極距離，其 I-V curve

的變化情形；此外，也將探討對膠狀溶液持續施予一固定外加電壓，其溶液中電壓隨時間變化的震盪情形。並將嘗試以掃描式電子顯微鏡（SEM）及能量分散光譜儀（EDS）觀察並分析銅箔電極之變化。

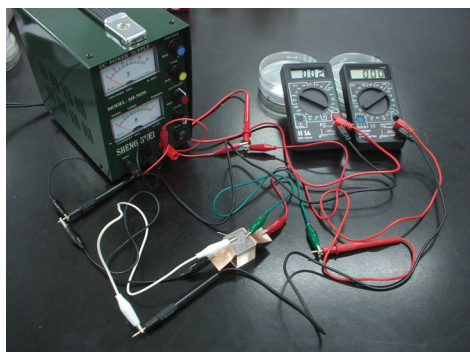
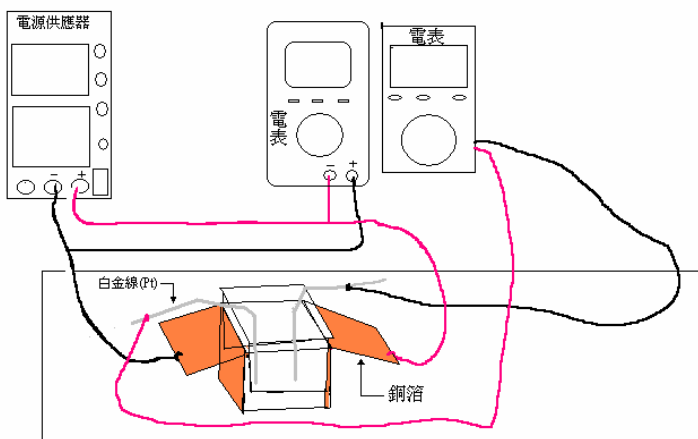
二、研究方法或過程

（一）研究設備

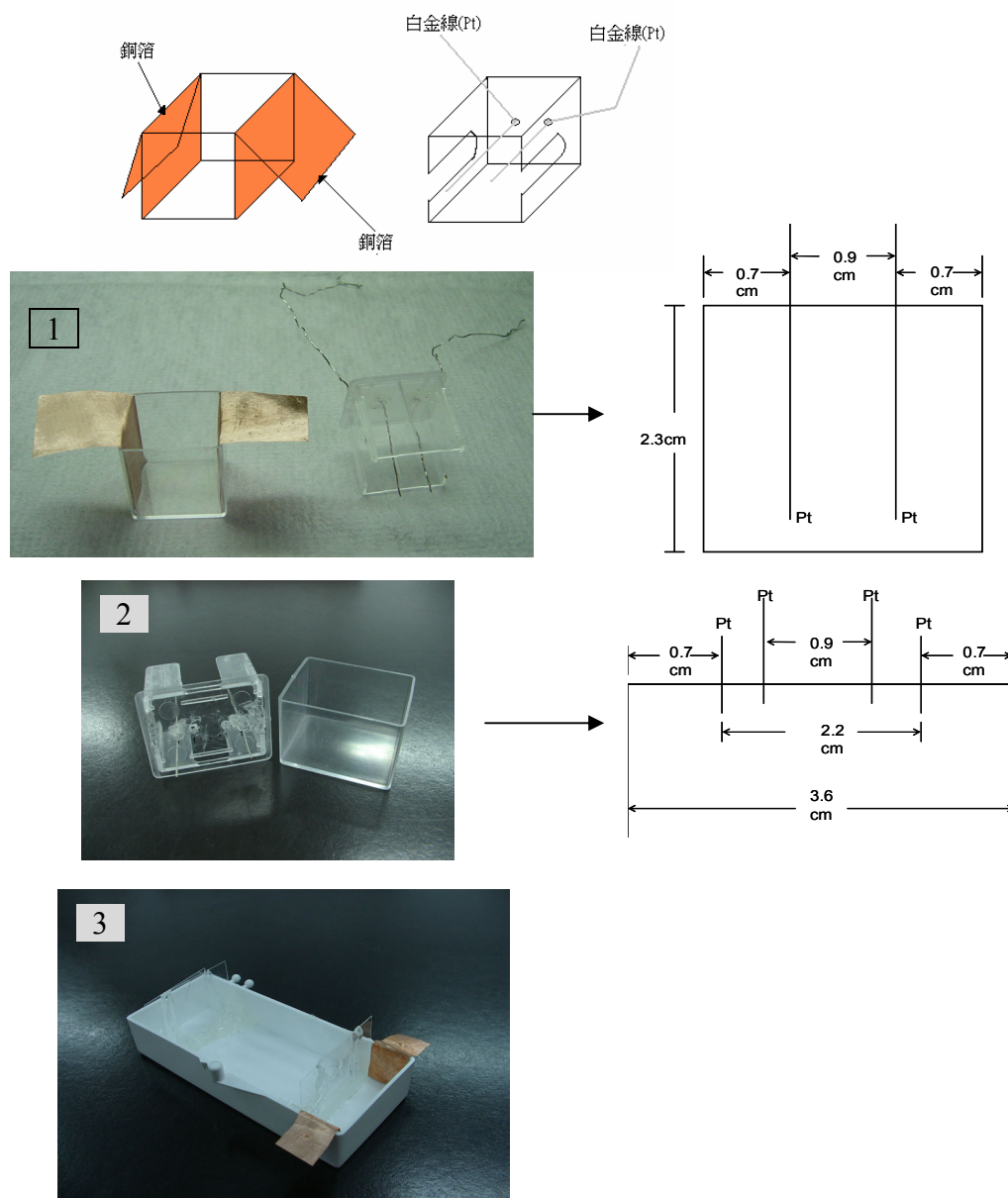
電源供應器、銅箔、白金線、數位攝影機、數位電表兩台、電腦、掃描式電子顯微鏡（SEM）能量分散光譜儀（EDS）。

（二）觀測平台

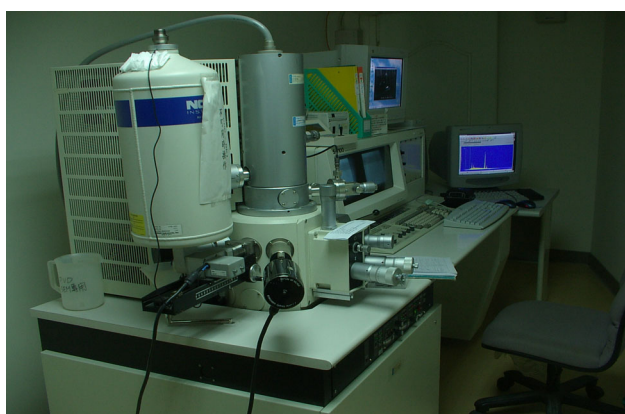
1. 電位觀測平台



2. 觀測容器



3. 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及能量分散光譜儀 (EDS)



(三) 藥品

agar : 0.05% , 0.1% , 0.2% , 0.3%

agarose : 0.05% , 0.1%

電泳用藍色染劑 (loading dye)

(四) 電壓的命名

1. 外加電壓：在兩銅箔電極之間輸入的直流電壓
2. 起始電壓：使兩白金電極能開始有反應的電壓
3. 結束電壓：使兩白金電極停止反應的電壓

(五) 實驗方法

實驗一：不同濃度 agar 及 agarose 溶液 I-V curve 的量測

1. 將不同濃度 agar 溶液 (0.05% , 0.1% , 0.2% , 0.3%) 及 agarose 溶液 (0.05% , 0.1%) 分別置入觀測容器 1 中，並置於電位觀測平台上。
2. 逐步並緩慢的將外加電壓升高至 10V，再逐步並緩慢的將外加電壓降至 0V，並記錄其所對應的電流。

實驗二：連續兩次施予外加定額電壓，I-V curve 的變化

1. 將不同濃度 agar 溶液 (0.1% , 0.2%) 分別置入觀測容器 1 中，

並置於電位觀測平台上。

2. 逐步並緩慢的將外加電壓升高至 10V，再逐步並緩慢的將外加電壓降至 0V，再重複升降一次外加電壓，並記錄其所對應的電流。

實驗三：改變電極距離，I-V curve 的變化

1. 將不同濃度 agar 溶液（0.1%，0.2%，0.3%）分別置入觀測容器 2 中，並置於電位觀測平台上。
2. 逐步並緩慢的將外加電壓升高至 10V，再逐步並緩慢的將外加電壓降至 0V，並記錄其所對應的電流。
3. 將實驗結果與實驗一之結果互相比對分析。

實驗四：持續施予一固定外加電壓，觀測溶液中電壓隨時間變化的震盪情形

1. 將 0.1% agar 溶液置入觀測容器 1 中，並置於電位觀測平台上。
2. 逐步並緩慢的將外加電壓升高至 5V，再逐步並緩慢的將外加電壓降至 0V，並記錄其溶液中對應的電壓。
3. 逐步並緩慢的將外加電壓升高至 5V，並維持之，持續觀測並記錄其溶液中對應的電壓。

4. 將電源供應器之電壓先設定至 5V，即直接施予一 5V 的外加電壓，並維持之，持續觀測並紀錄其溶液中對應的電壓。

實驗五：不同濃度膠狀溶液的黏度比較

1. 將不同濃度 agar 溶液（0.1%，0.2%，0.3%）及 agarose 溶液（0.05%，0.1%）分別置入觀測容器 3 中，並置於電位觀測平台上。
2. 將 20 μ l 的電泳用藍色染劑沿負極銅箔注入，將電源供應器之電壓先設定至 50V，即直接施予一 50V 的外加電壓。
3. 分別於施予外加電壓後 3 分鐘、6 分鐘、9 分鐘時拍攝染劑移動的情形。

實驗六：以掃描式電子顯微鏡（SEM）及能量分散光譜儀（EDS）

觀察並分析銅箔電極之變化

1. 於實驗結束後取下兩銅箔電極，靜置乾燥。
2. 剪下正極銅箔有燒灼痕跡處，並剪取負極銅箔做對照，分別黏於載台上。
3. 以 SEM 觀察銅箔表面結構，並以 EDS 分析其上所附著元素。

三、研究結果與討論

實驗一：不同濃度 agar 及 agarose 溶液 I-V curve 的量測

1. 本實驗所使用的 agar 為一般細菌培養所使用者，agarose 則為電泳實驗所使用者，agar 含有較多種類及數量的鹽類，agarose 則純度較高，只含少量的硫酸鹽，二者之膠狀溶液皆不需添加其他電解質即具有導電性。
2. 將各組的 I-V curve 繪製如圖 2 及圖 3，皆呈現封閉的交叉曲線。對電解質溶液施予外加電壓，當電解反應開始時，負極銅箔上會有氣泡產生，I-V curve 的交叉點應為電解的起始點，但在膠狀溶液中氣泡產生的現象極不顯著，僅能由 I-V curve 的交叉點判斷出電解的起始點。
3. 同一種類的膠狀溶液之濃度越高，電解起始點的外加電壓值及其對應電流值越大；agarose 溶液因所含鹽類較少，其電解起始點的外加電壓值及其對應電流值較同濃度的 agar 溶液低。顯然的，在電解起始點前之各組的 I-V curve 皆有類似磁滯曲線（Hysteresis curve）的效果出現。
4. 在起始電壓及結束電壓方面，0.05% 的膠狀溶液因黏度低，帶電離子的移動較快，較容易導電，但離子的鍵結也較容易受到

熱運動破壞，故起始或結束電壓值及其對應電流值皆較低；反之，較高濃度的膠狀溶液之起始或結束電壓值及其對應電流值皆較高。而 0.3% agar 溶液之起始和結束電壓值略低，但其對應電流值卻皆略高，使其類磁滯曲線在座標象限中的位置略偏左上，可能因其黏度較高，帶電離子移動較慢，離子鍵結較強，故暫穩態通道可穩定持續，以致有較佳的導電性。

實驗二：連續兩次施予外加定額電壓，I-V curve 的變化

1. 如圖 4 所示，0.1% agar 膠狀溶液在連續兩次施予外加定額電壓下，其兩次 I-V curve 的類磁滯曲線變化不大，僅電解起始點、結束電壓及其對應電流值略增。
2. 0.2% agar 膠狀溶液在連續兩次施予外加定額電壓下，其第二次 I-V curve 的類磁滯曲線往左上偏移。
3. 在我所使用的反應系統中，反應時間拉長時，溶液中會有凝膠狀物質形成，正極銅箔上也會有凝膠狀物質吸附（如圖 5），外加電壓越高、膠狀溶液之濃度越高或反應時間越長，則反應後此現象越明顯。由此推論：膠狀溶液中的水分因反應生熱而蒸散，導致溶液濃度增高，而 agar 及 agarose 分子可能會吸附帶電荷的離子，故也會在電場中遷移。

實驗三：改變電極距離，I-V curve 的變化

1. 如圖 6 及圖 7 所示，改變兩白金電極間的距離或改變白金電極與銅箔電極間的距離，膠狀溶液的 I-V curve 仍會出現類似磁滯曲線的迴圈式曲線，但曲線的形狀和高度有差異。
2. 如圖 6 所示，當兩白金電極間的距離固定，而白金電極與銅箔電極間的距離增加（與實驗一比較）時，膠狀溶液之類磁滯曲線圖形會呈階梯狀攀升，且在外加電壓緩慢下降的過程中，溶液中所測得的電流值先是迅速下降，然後又往上攀升，再以階梯狀逐漸下降，出現一奇特的震盪圖形。若與圖 2 比較，最高的對應電流值顯著降低，表示其暫穩態通道較不穩定。在 0.1% agar 組的曲線中有出現電解起始點，但若與圖 2 比較，其對應電流值較低；但在 0.2% agar 與 0.3% agar 兩組的圖形中，卻未出現電解起始點。
3. 如圖 7 所示，當兩白金電極間的距離增加，而白金電極與銅箔電極間的距離固定（與實驗一比較）時，若與圖 2 比較，膠狀溶液之類磁滯曲線圖形變化不大，但其電解起始電壓及結束電壓值皆較低，二者之對應電流亦皆較低，濃度越高者於低於結束電壓時之對應電流更出現負值，使其類磁滯曲線在座標象限中的位置略偏左下；而整個圖形的最高對應電流值則顯著升高。

4. 由觀測結果得知：在此一量測系統中，若白金電極與銅箔電極間的距離增大，離子暫穩態通道的形成與維持均較不易，除了離子移動距離較長，耗費較多能量之可能原因外，這些現象的成因仍待深入探討。
5. 分子在一電場中移動的速率 (V) 可用下列方程式表示：

$$V = \frac{E q}{d 6 \pi \gamma \eta}$$

E ：兩電極間的電位差

q ：分子的淨電荷

d ：兩電極間的距離

γ ：圓形分子的半徑

η ：溶液的黏度

由此可知，分子在一電場中移動的快慢和兩極間的電位差成正比，但與兩電極間的距離、溶液的黏度成反比（參五）。

實驗四：持續施予一固定外加電壓，觀測溶液中電壓隨時間變化的震盪情形

1. 如圖 8-A 所示，逐步並緩慢的將外加電壓升高至 5V，再逐步緩慢的將外加電壓降至 0V，則外加電壓與其對應的溶液電壓值會成一迴圈式曲線。
2. 如圖 8-B 所示，逐步並緩慢的將外加電壓升高至約 5V，或如圖 8-C 所示，直接施予一約 5V 的外加電壓，再持續觀測並紀錄其

溶液中對應的電壓，在二十分鐘的觀測時間內皆可發現其電壓有「先降-後升-再降」的現象，但第一次電壓降低的幅度以前者較緩和，可能是因其形成暫穩態通道之故。

3. 如圖 8-C 所示，若將觀測時間延長至約四小時，可發現此期間溶液中對應的電壓再次出現「先降-後升-再降」的現象，且電壓值攀升約兩倍，但因考量電源供應器及電錶有過熱之虞，無法持續觀測更長時間。
4. 推測此電壓持續震盪之原因可能是膠狀溶液中的水分因反應生熱而蒸散，導致溶液濃度增高，且溶液中各種帶電離子不斷產生各種反應所致，其間的變化非目前儀器所能測量，只能留待以後再繼續研究探討。

實驗五：不同濃度膠狀溶液的黏度比較

1. 如圖 9 及圖 10 所示，對膠狀溶液施予一 50V 外加電壓後，注於銅箔負極的電泳用藍色染劑會向銅箔正極移動，膠狀溶液濃度越低者移動速度越快，越高濃度者則移動速度越慢，甚至呈現停滯狀態。在高外加電壓下，反應結束後，正極銅箔上會有染色的凝膠吸附（如圖 5），越高濃度者吸附的凝膠越厚，而容器中的膠狀溶液也越不均勻。

2. 同一濃度的 agar 與 agarose 的凝膠程度不同，0.05% agarose 的黏度介於 0.05% agar 及 0.% agar 之間；而 0.1% agarose 的黏度則高於 0.3% agar，但因其凝膠時會出現明顯的凝膠塊與水分離現象，故部分染劑會隨著水層擴散、移動，而造成結果的混淆。

實驗六：以掃描式電子顯微鏡 (SEM) 及能量分散光譜儀 (EDS) 觀察並分析銅箔電極之變化

1. 以 SEM 觀察負極銅箔，可看到砂紙磨擦造成的刮擦磨損痕跡(如圖 13 及圖 14)，而正極銅箔上除了這些痕跡外，尚可看到一些吸附的 agar 碎片 (如圖 11 及圖 12) 或 agarose 碎片 (如圖 15 至圖 17)。
2. 以 EDS 分析 agar 或 agarose 碎片，發現：agar 上有 Cu、Mg、Ca、Fe、Al、Si、O、Cl、K、S 等多種元素，成分複雜；而純度較高的 Agarose 上也有 Ca、O、C、Na、Cl、K、S、Cu 等元素；而負極銅箔上則只測到 Cu。由此可知以 agar 或 agarose 調配的膠狀電解質溶液在施予外加電壓後會進行頗為複雜的反應，產生各種產物，而導致整個系統的多變性。

四、結論與應用

- (一) 由於電解質離子在溶液中，一般都會因強庫侖力而和水結合成水合分子，因此，在電場下會產生電偶極的情形，而且，由於能量均分的影響，當這些 dipole 還是分散的時候，我們就必須給予較多的電壓，使其能排列成序，但，一旦它們排列成序，則只須要較少電力就能維持，也因此而造成其 I-V curve 有類似「磁滯曲線」的效果。
- (二) 當電解質溶液的黏度增高時，帶電荷的離子因吸附於膠質上，或可使彼此靠近的機會增加，也可使反應物與電極之間更接近，使得電子轉移與化學反應的機會大幅增加。此外，分子在一電場中移動的快慢和兩極間的電位差成正比，但與兩電極間的距離、溶液的黏度成反比。基於這些因子的交互作用，提高了膠狀電解質溶液的多變性。
- (三) 在給予膠狀電解質溶液一緩慢外加的電壓或衝擊電壓並持續維持此一定額外加電壓時，會因為該溶液的黏度持續增高、帶電離子濃度增高且反應不斷變化下，而使該溶液的對應電壓，形成一重複出現「先降-後升-再降」的震盪現象，且電壓值節節升高。若能善用凝膠態電解質的此一優良特性，兼顧其可塑型高

之優點，應可開發出具有更高的離子電導率、更好的安全性和更穩定的循環壽命之電池材料。

五、參考資料

- (一) 唐定國、劉建紅、慈云祥、其魯，2005，一種新型凝膠態聚合物電解質的製備和性能。物理化學學報，21(11):1263-1268。
- (二) 胡啟章，電化學原理與方法，初版，台北市，五南圖書出版股份有限公司，pp146，2002。
- (三) 黃進益，電化學的原理及應用，初版，台北市，高立圖書有限公司，pp360，1998。
- (四) 陳力俊等，材料電子顯微鏡學，第二版，新竹市，國科會精儀中心，pp432，1994。
- (五) 陳益明，1987，電泳分離技術研討會論文集：蛋白質的雙向電泳分離法，初版，台北市，行政院國家科學委員會，pp59-67。

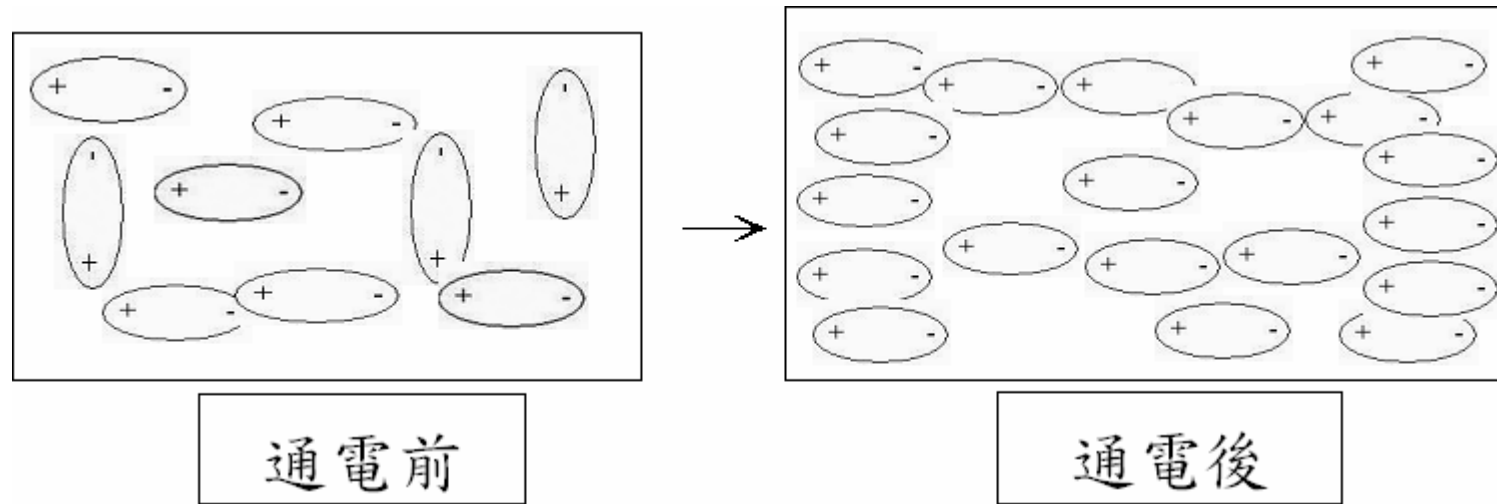


圖 1 在電解質溶液通電後，溶液中的帶電離子會因電極吸引而移動，並克服熱運動的影響而互相集結，形成一暫穩態通道。

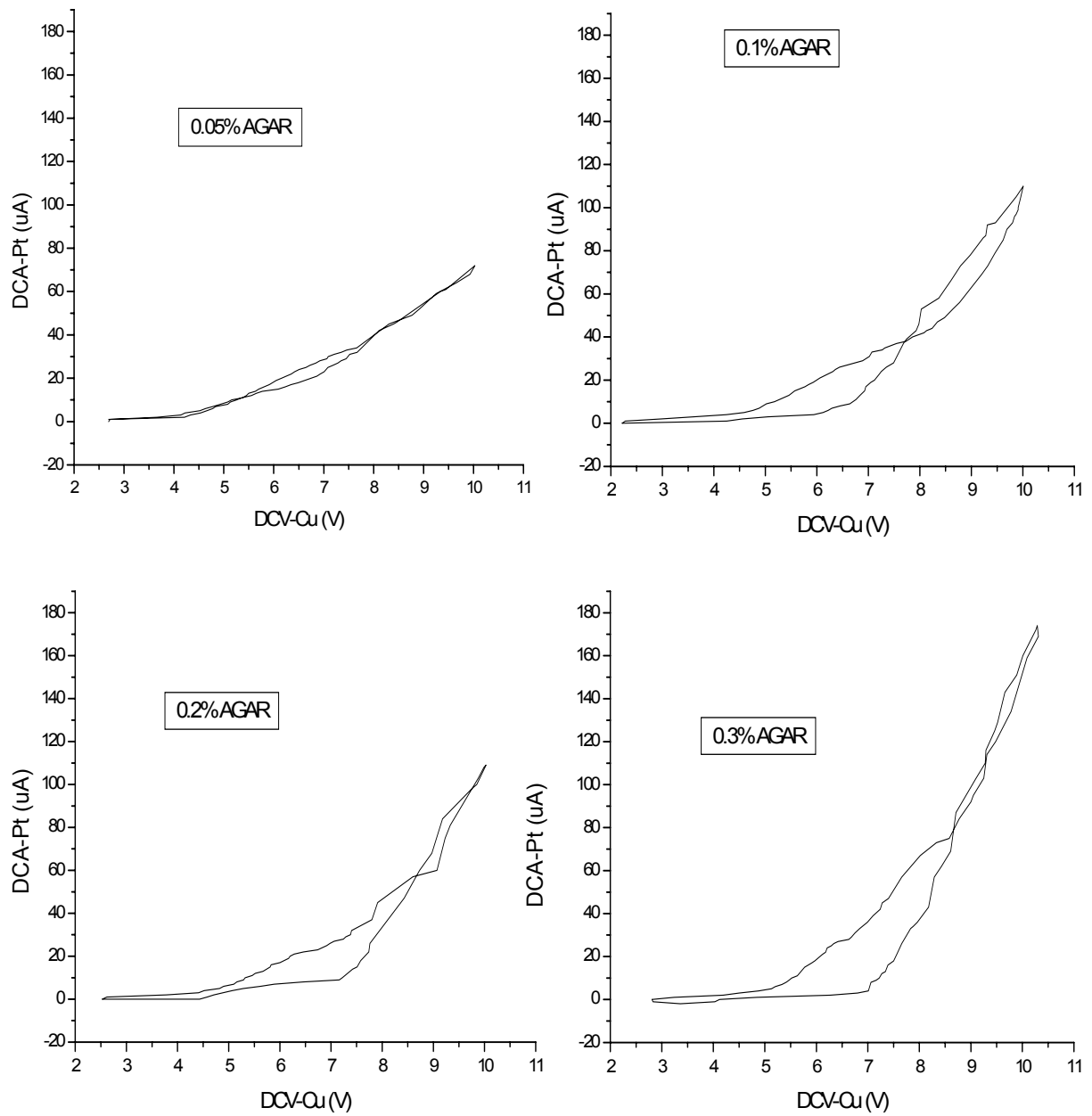


圖 2 以觀測容器 1 分別量測 0.05% ， 0.1% ， 0.2% 及 0.3% agar 膠狀溶液之 I-V curve。

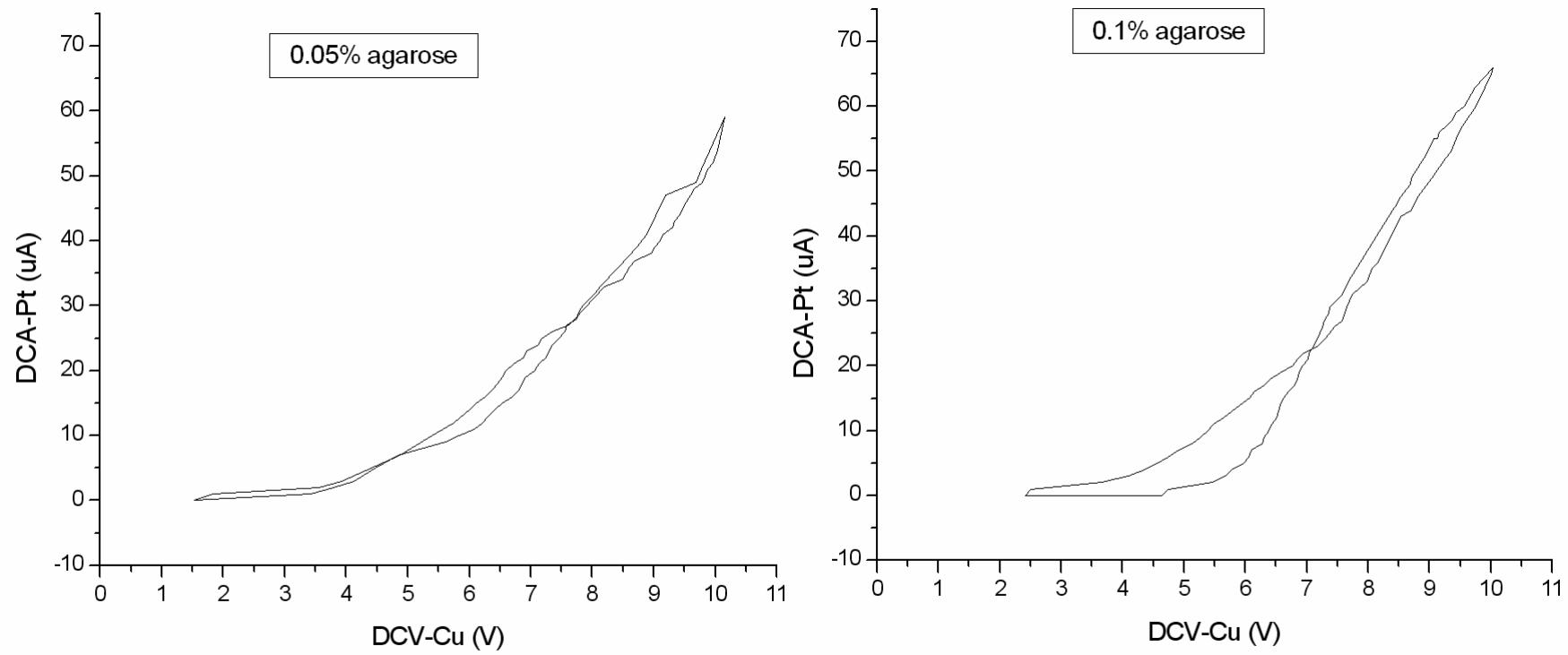


圖 3 以觀測容器 1 分別量測 0.05% ， 0.1% agarose 膠狀溶液之 I-V curve 。

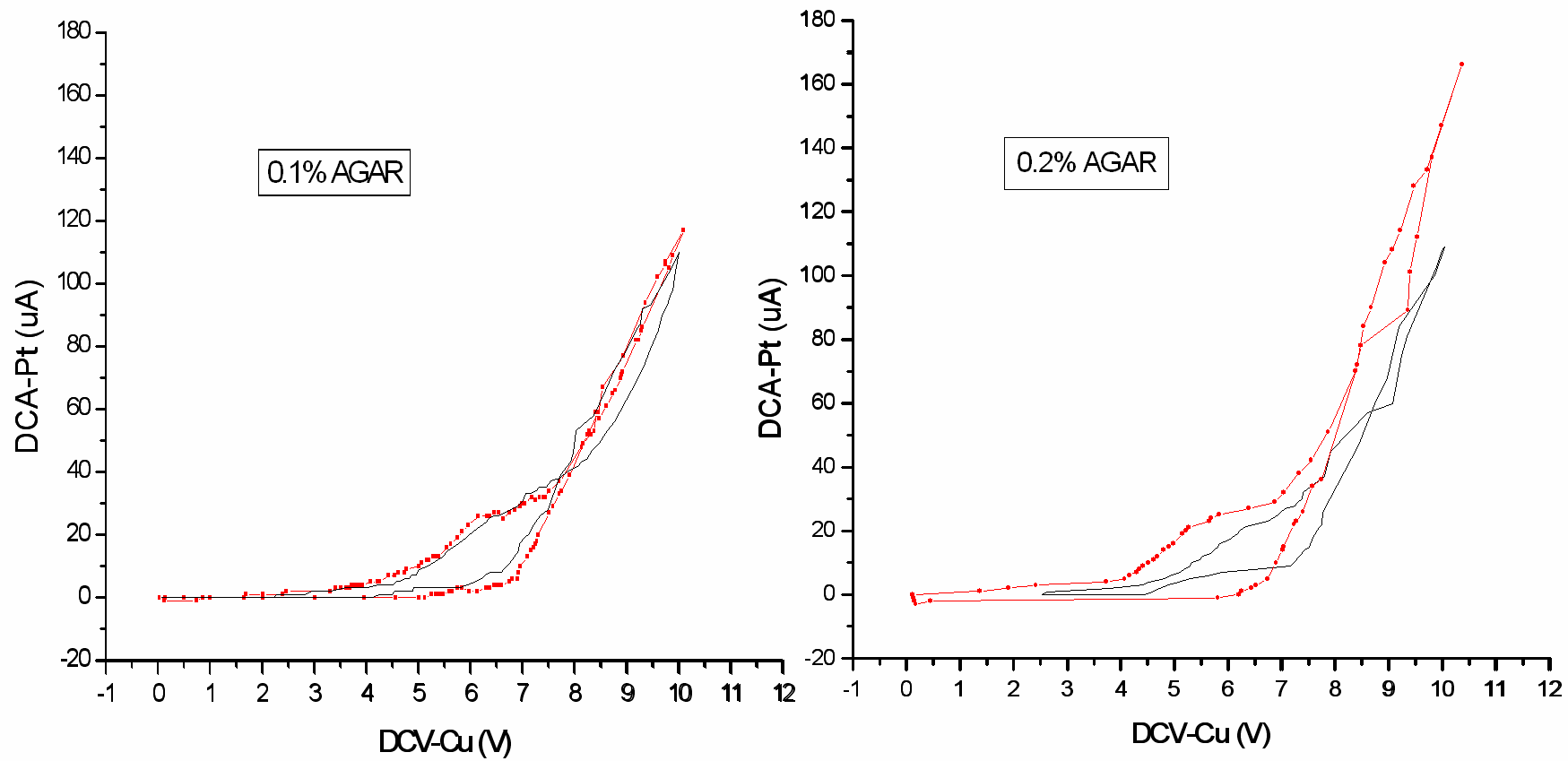


圖 4 分別對 0.1% 及 0.2% agar 膠狀溶液連續兩次緩慢施予約 10V 外加電壓，其 I-V curve 的變化情形。

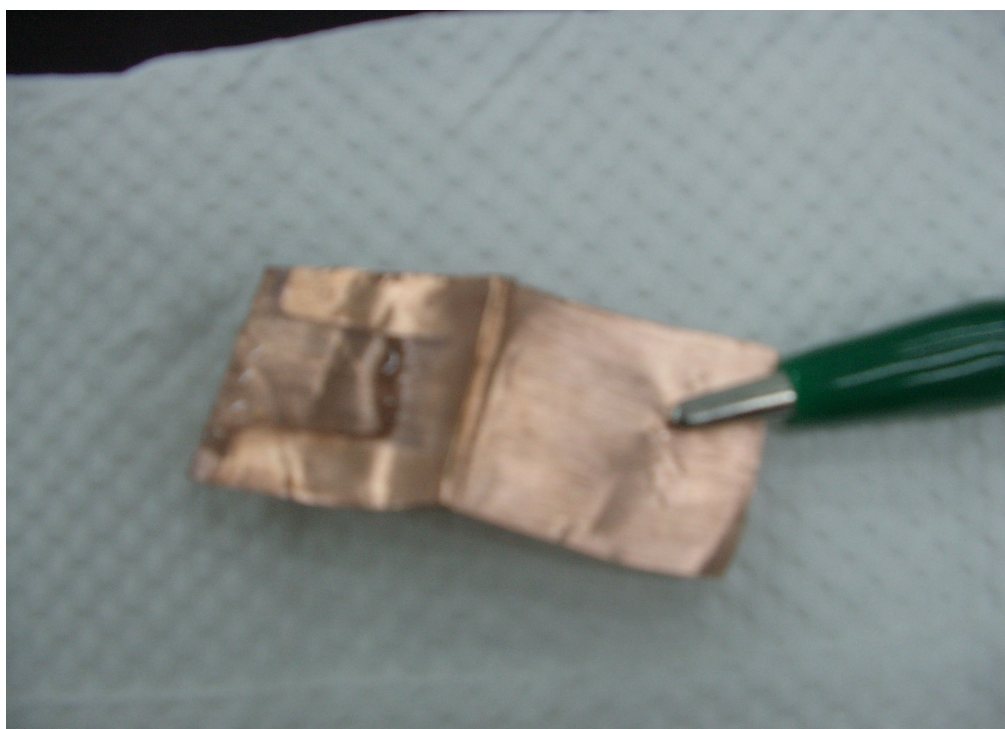
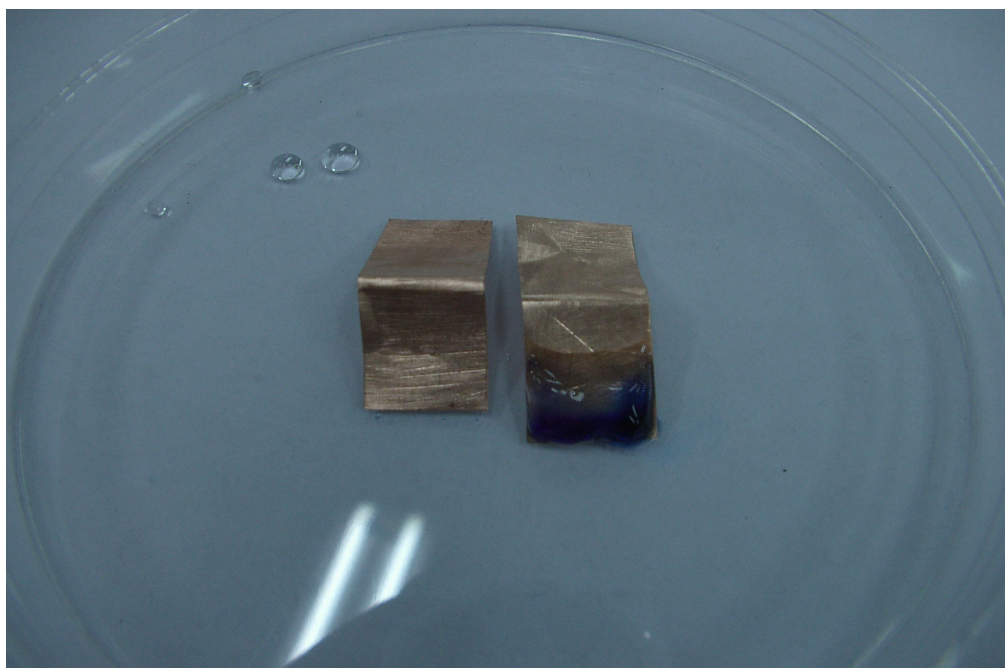


圖 5 膠狀電解質溶液系統反應後，正極銅箔上常有凝膠吸附，如上圖右（藍色為含有染劑）及下圖；而負極銅箔則無（如上圖左）。

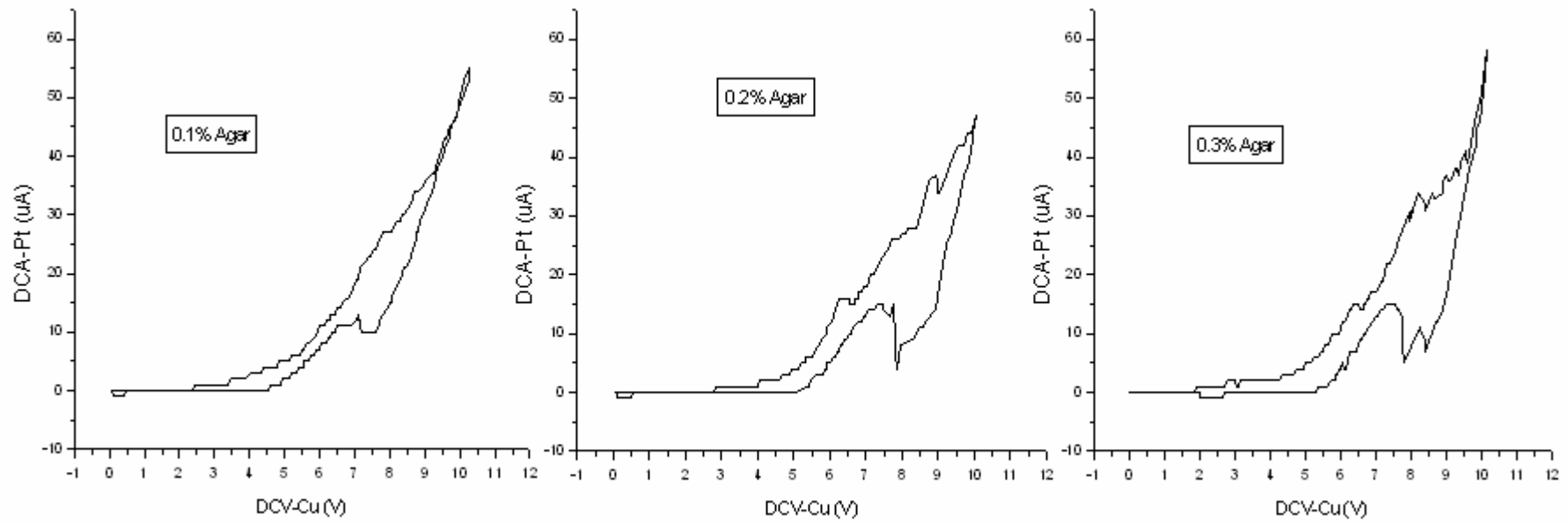


圖 6 以觀測容器 2，兩白金電極相距 0.9cm，分別量測 0.1% ，0.2% 及 0.3% agar 膠狀溶液之 I-V curve。

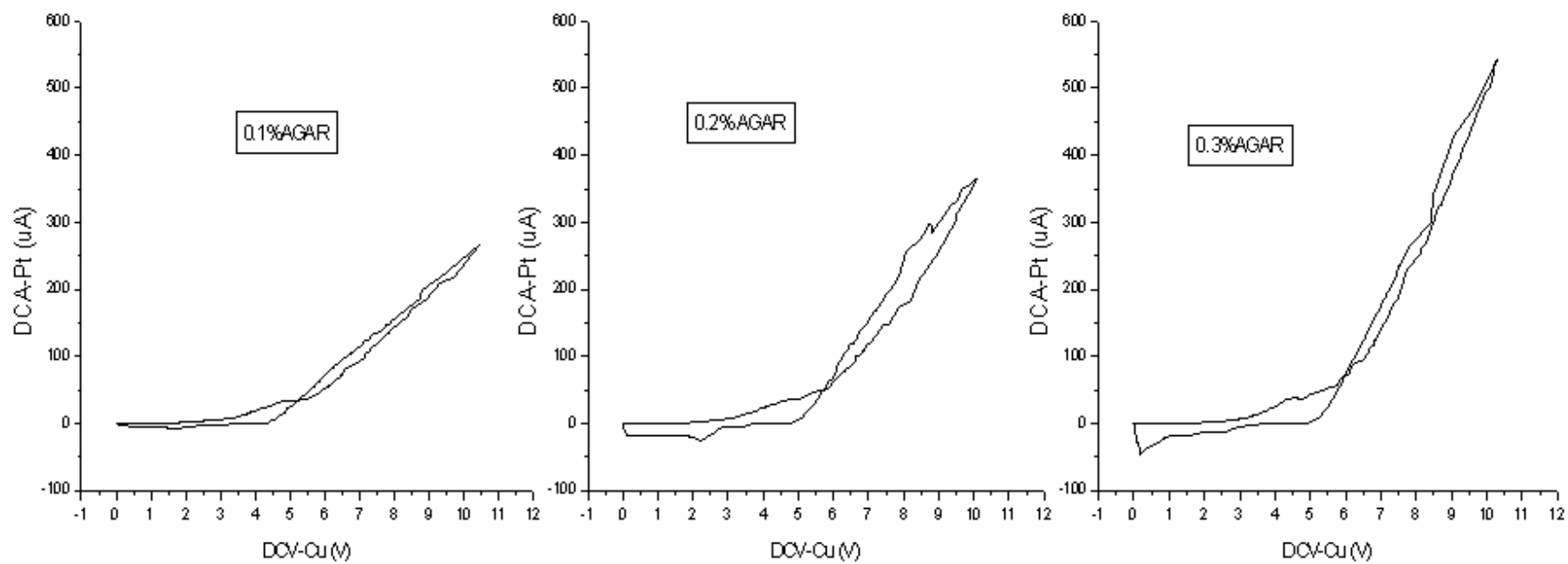


圖7 以觀測容器2，兩白金電極相距2.2cm，分別量測0.1% ，0.2% 及0.3% agar 膠狀溶液之 I-V curve。

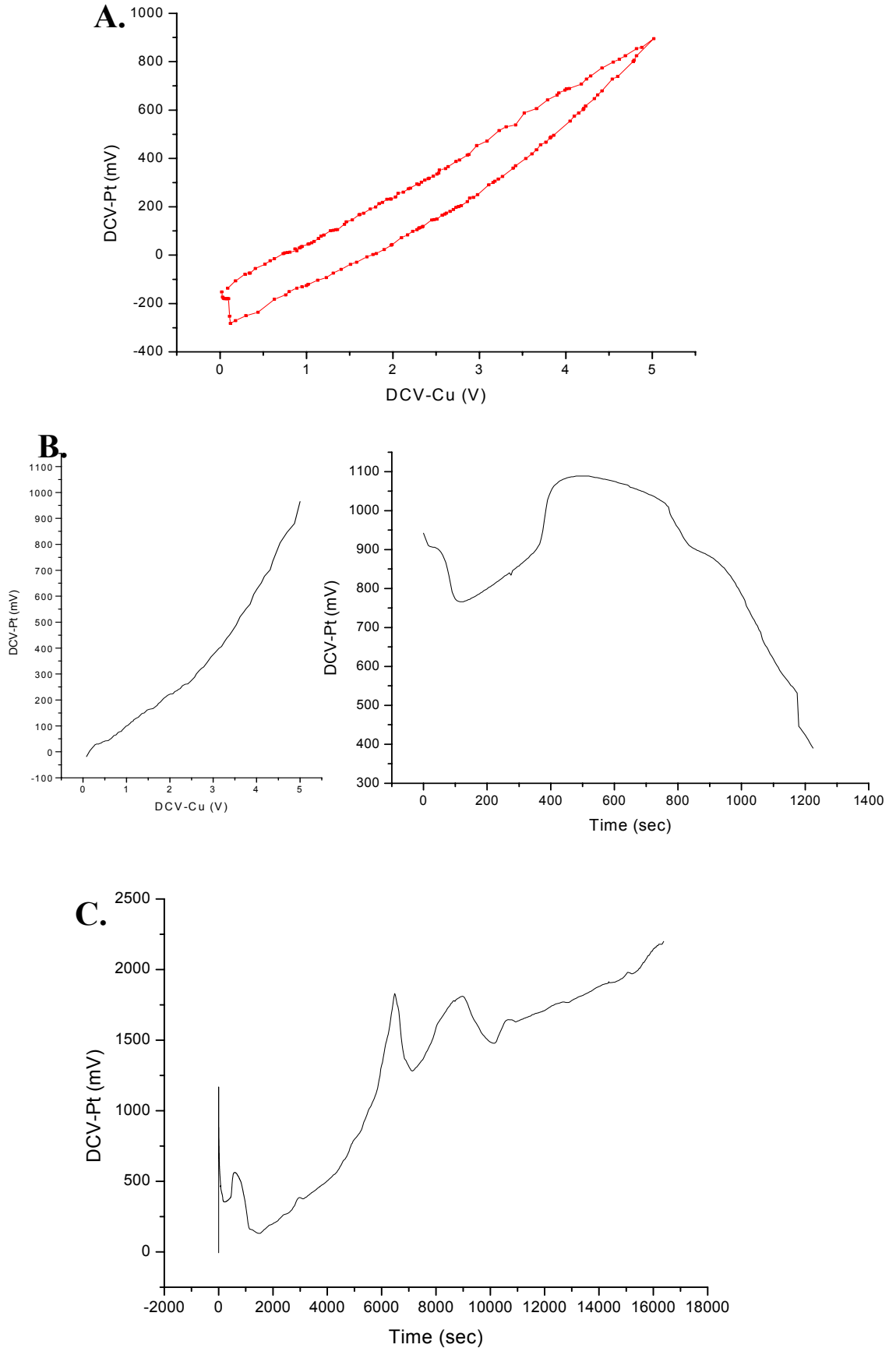


圖 8 對 0.1% agar 膠狀溶液外加 5V 電壓，其溶液中電壓隨時間變化情形。A：外加電壓逐步緩慢升降。B：外加電壓逐步緩慢升高，並維持約 20 分鐘。C：直接施予 5V 外加電壓，並維持約 4.5 小時。

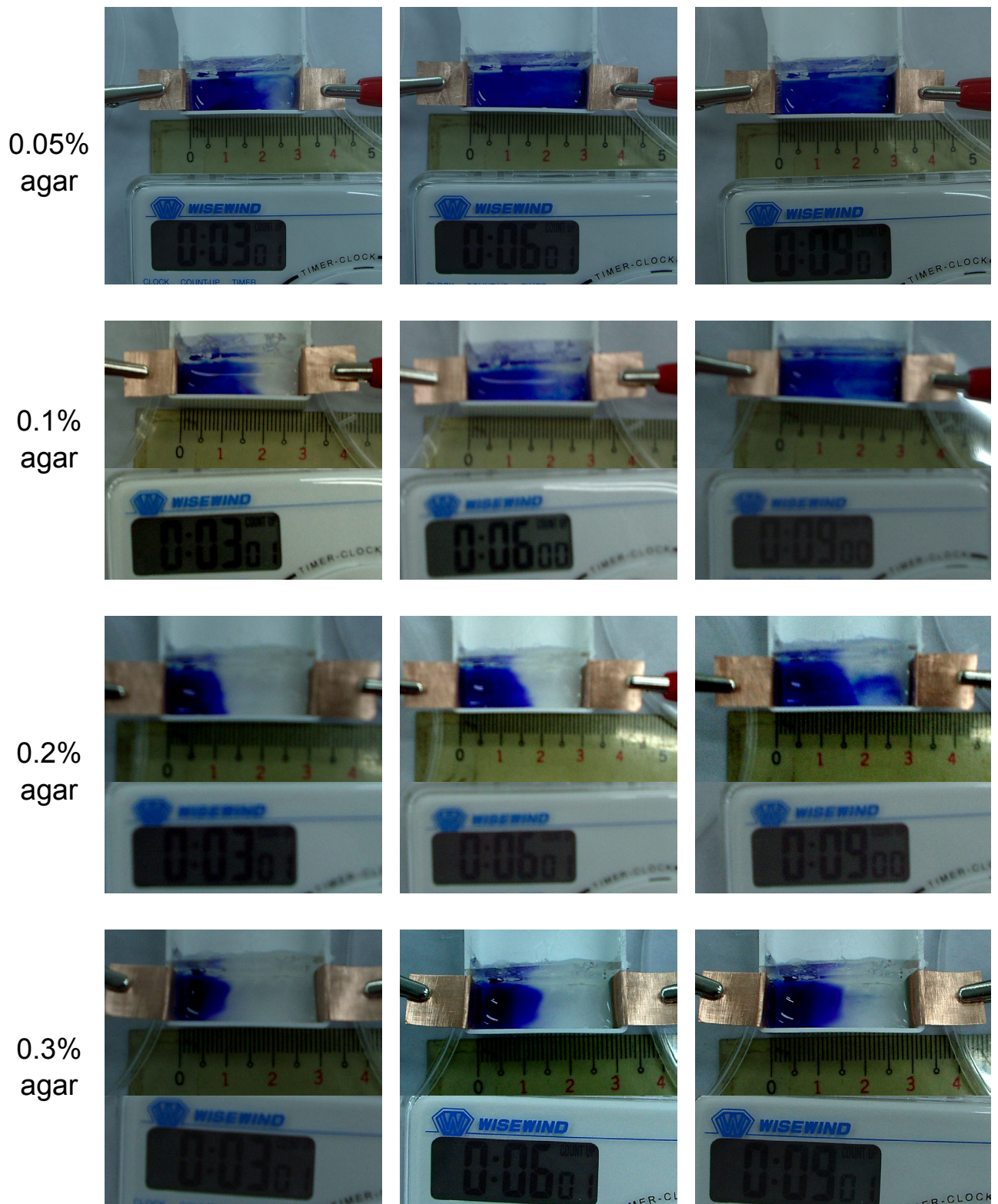
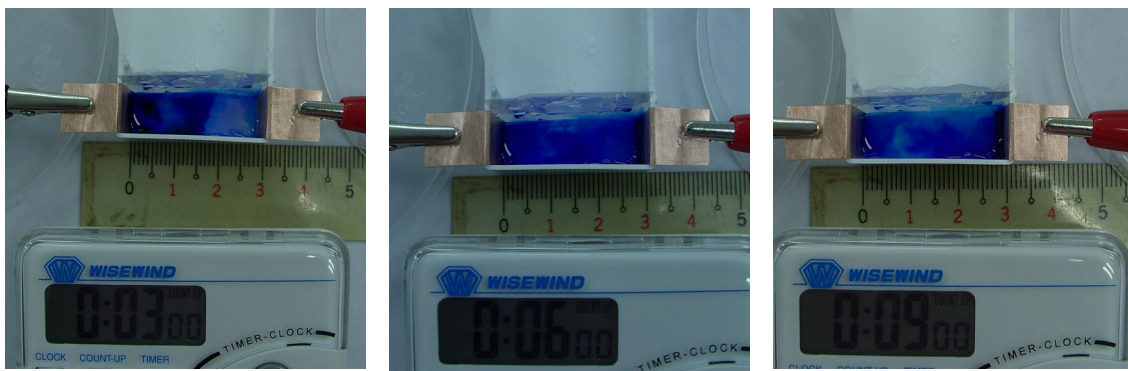


圖 9 以觀測容器 3 並外加 50V 電壓，比較 0.05%，0.1%，0.2%，0.3% agar 膠狀溶液中電泳用藍色染劑的移動速度。

0.05%
agarose



0.1%
agarose

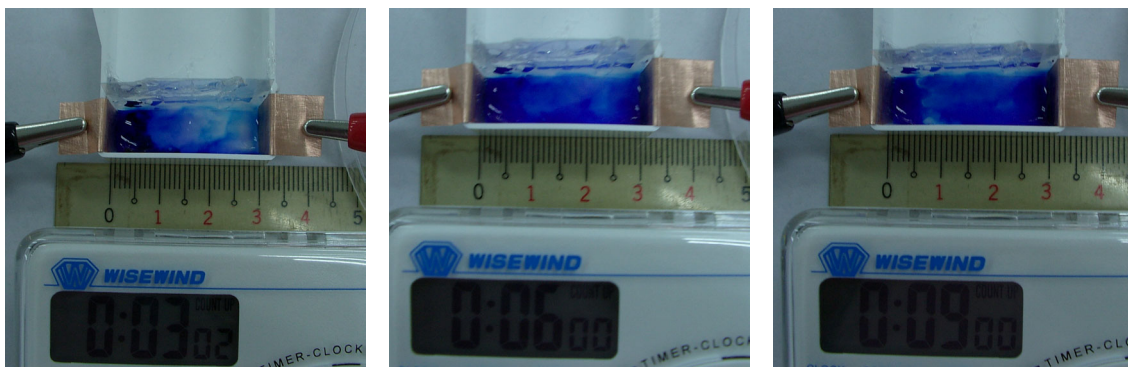
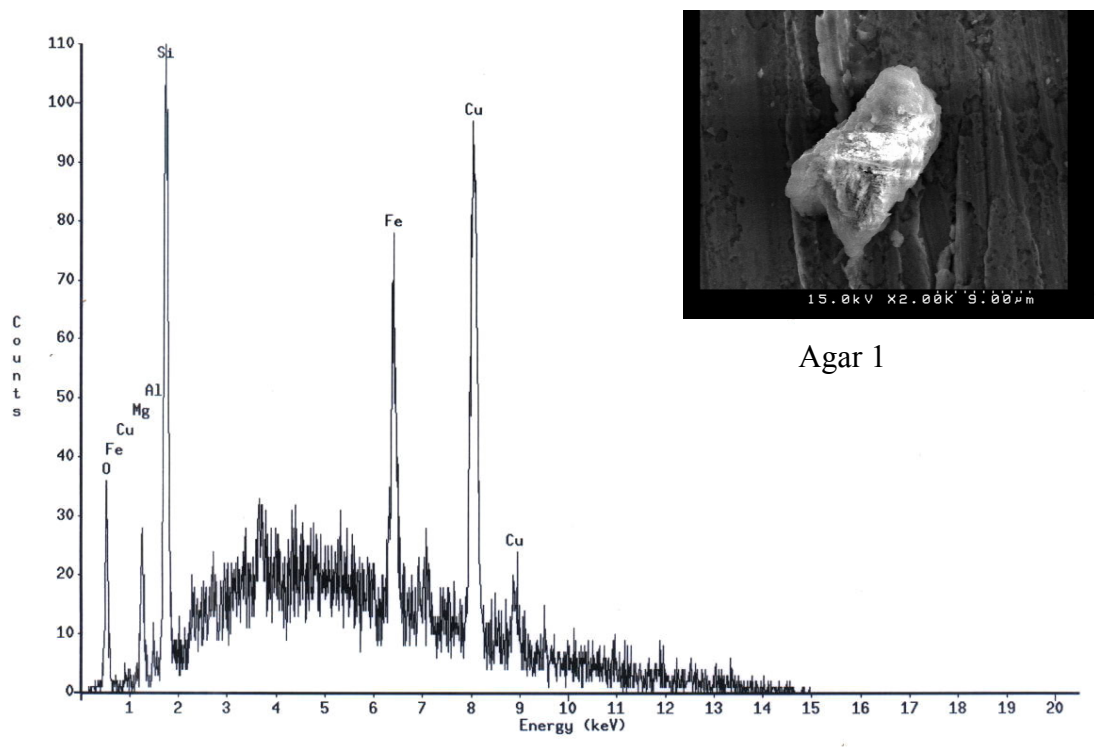


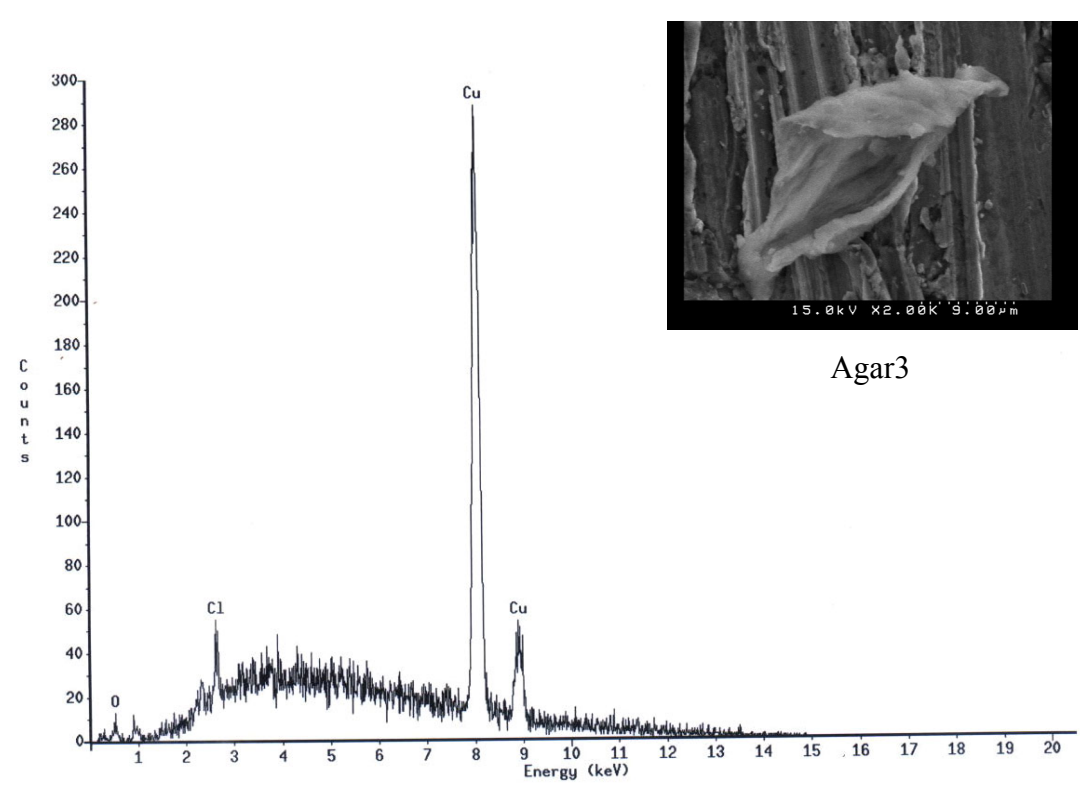
圖 10 以觀測容器 3 並外加 50V 電壓，比較 0.05%，0.1% agarose

膠狀溶液中電泳用藍色染劑的移動速度。



Agar 1

圖 11 正極銅箔上 agar 碎片之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。



Agar3

圖 12 正極銅箔上 agar 碎片之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。

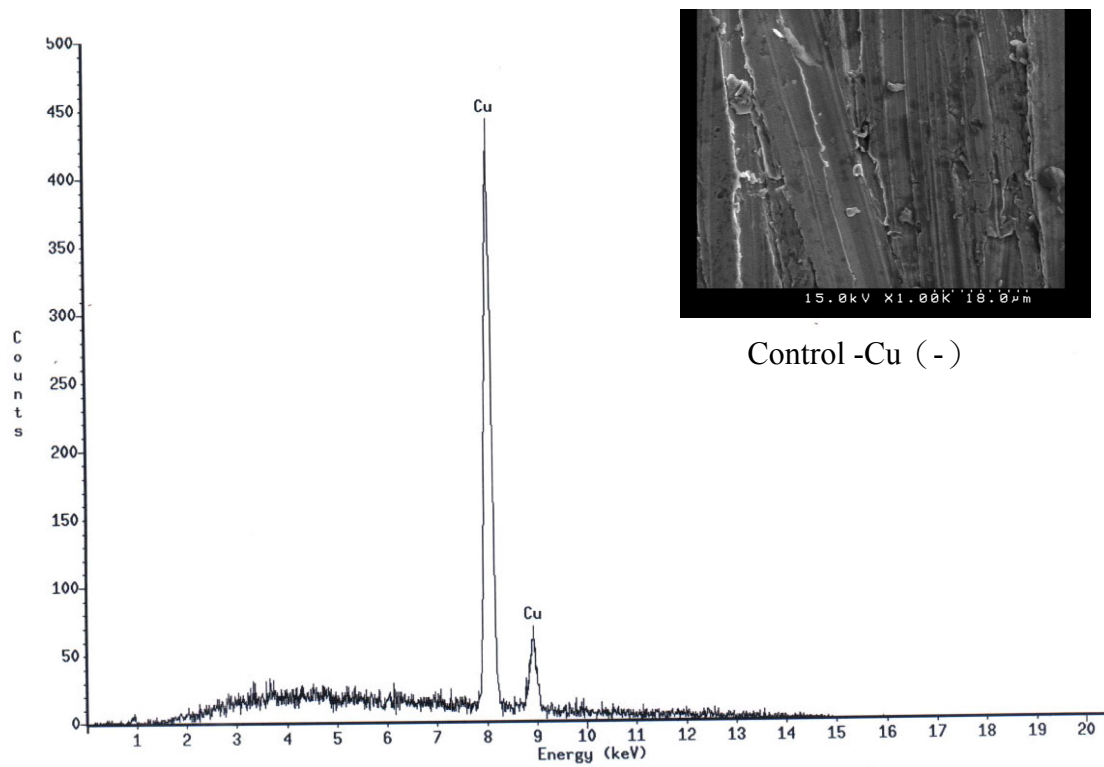
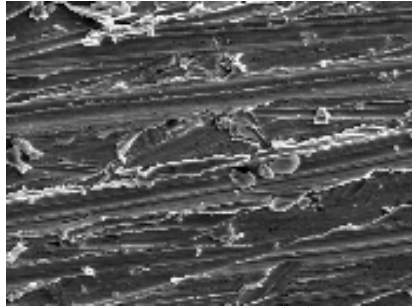


圖 13 Agar 膠狀溶液反應系統中負極銅箔之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。



Control - Cu (-)

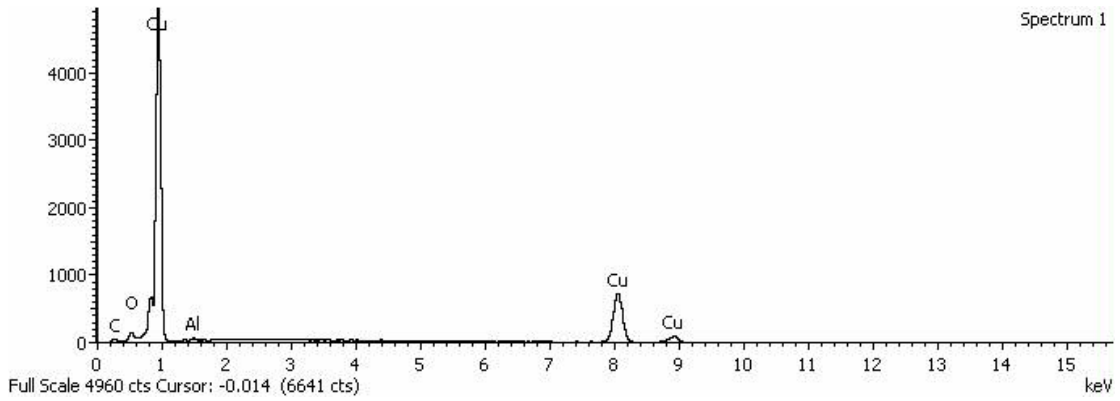
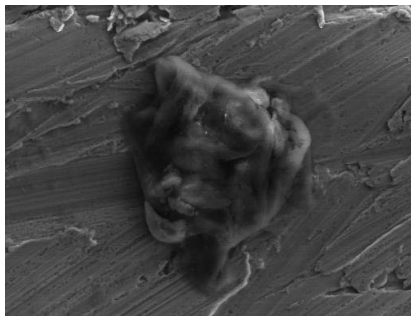


圖 14 Agarose 膠狀溶液系統中負極銅箔之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。



Agarose 1

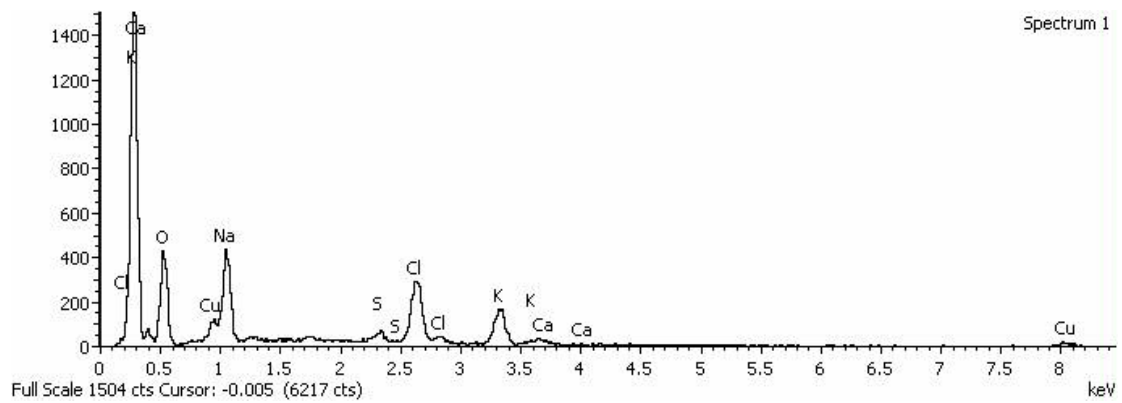
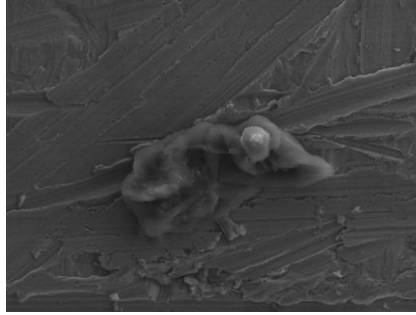


圖 15 正極銅箔上 agarose 碎片之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。



Agarose 2

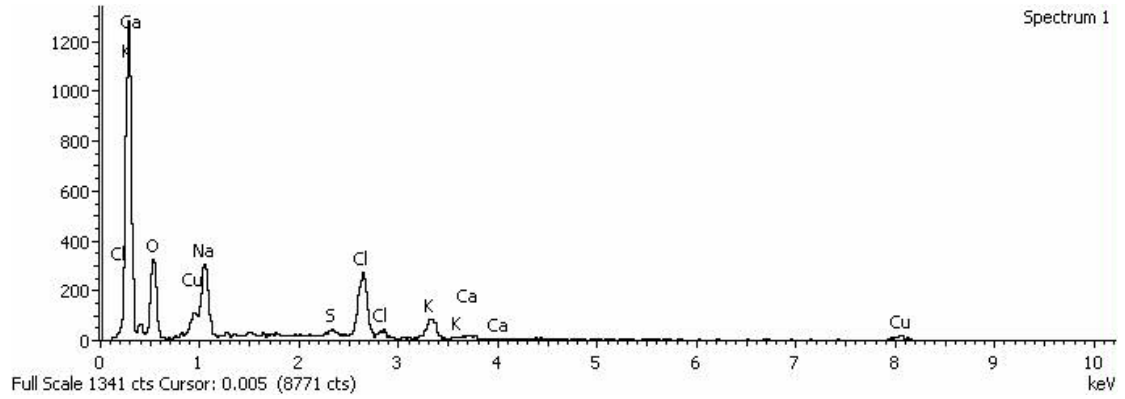
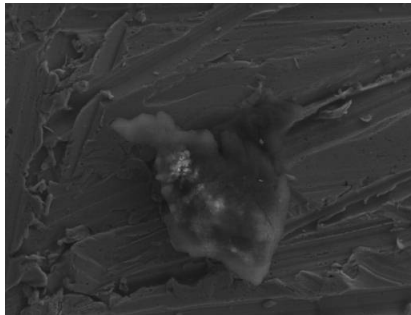


圖 16 正極銅箔上 agarose 碎片之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。



Agarose 3

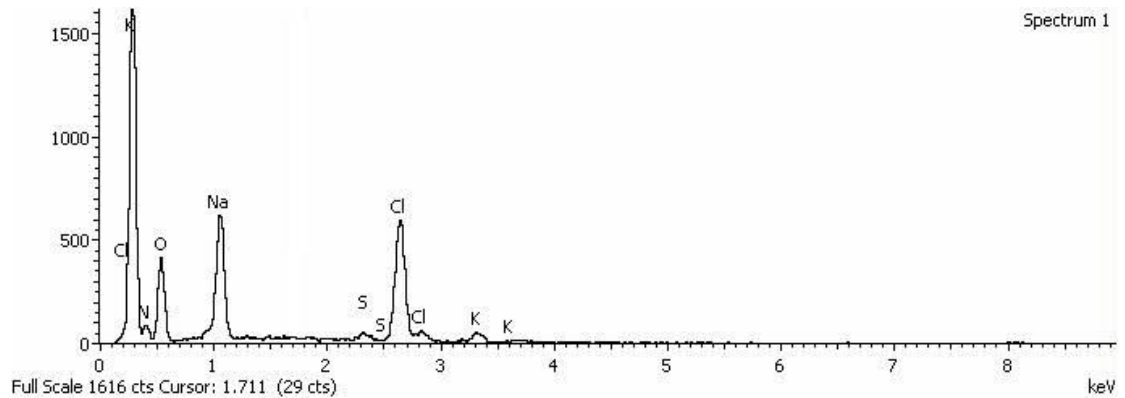


圖 17 正極銅箔上 agarose 碎片之 SEM 圖及其 EDS 之元素分析圖譜。

評語

優點：利用簡單設施分析電壓與離子通道的關係，並同時分析動態變化頗有特色。

缺點：銅極電場上有時會累積雜質造成偏壓不穩，且實驗次數少造成結論不易確認。