

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：一滴溶液的顯微電解世界

得獎獎項：化學科佳作
柯達公司攝影獎

學 校：國立臺中女子高級中學

作 者：何書慧

作者簡介



我自小生長在一個普通的公教家庭裡，小學及國中時都自己一個人走路上學，養成了我獨立自主的習慣。我風雨無阻的上學，已拿到兩次的全勤獎，還有國小的校長獎、國中的縣長獎。

上了國中時，參加了多次的縣賽、全國比賽，讓我生活在忙碌中又增加了不少的挑戰！

還在適應女中生活的我，現在又一頭栽入一滴溶液的化學實驗中而無法自拔，希望這一趟科學的尋夢之旅能讓我築夢而踏實。

英文摘要(Abstract)

Microscopic Electrolysis World of One-drop Solution

When we think of chemistry experiments in schools from the view of environmental protection, microscopic chemistry experiment with reduced quantity and waste is the trend for experiments in the future. It is also the target that everybody shall aim for. After many failures and instructions from teachers, I finally successfully performed electrolysis of the most micro-volume of one-drop solution. It was also unbelievable to perform quantitative test within the electrolysis time of color disappear from the blue cupric sulfate solution.

To clearly see the one-drop solution electrolysis, instrument starts from magnifier to self-assembled micro project, then upgraded to the micro-visual screen. It not only can record, also plays/shows in the computer. Most importantly, it is the most environmental protection effective and also zero pollution microscopic chemistry experiment. It is obviously a target of future development trend.

中文摘要

一滴溶液的顯微電解世界

我們從環境保護的角度去思考常校的化學實驗時，減量減廢的微型化學實驗已是未來實驗的趨勢，也是大家應共同努力的目標。在多次失敗及老師的啟發下，我終於成功的做到電解最微量的一滴溶液。對於從藍色硫酸銅溶液顏色消失的電解時間裡，還可做定量的檢定感到不可思議！

為了更清楚看到一滴溶液的電解情形，儀器的設計由放大鏡到自組顯微投影機，最後進階到顯微視訊的畫面，它不但可記錄下來，而且可在電腦中播放。最重要的是：最環保也最接近零污染的顯微化學實驗，已然是未來可發展下去的目標。

研究報告

一、研究動機

聽了奈米科技的講座、看了奈米科技的報導，震撼之餘，可以想像進入奈米的尺度後，一滴溶液也可以形成巨觀的世界。所以，經過仔細想想、算一算後，就以一滴 1M 的硫酸銅溶液來說，它相當於含有約 3×10^{19} 個硫酸銅分子(溶質)，含有 1.67×10^{21} 個水分子(溶劑)，而這些分子數全部都存在於一滴 5mm 直徑(500 萬奈米長度)所佔的圓形平面面積 $1.96 \times 10^{13} \text{ nm}^2$ 的圓圈裏。換算出每奈米平方就約含 153 萬個硫酸銅分子，以及還有更多的水分子。

所以，對化學而言，物理的奈米長度單位遠比化學上所謂的分子大小大得太多了。所以，一滴溶液所含的分子數已是天文數字了，相信我們只要在儀器及實驗設計上做改進，它的量應足夠我們做實驗才是！這也是相當吸引我努力不懈探討下去的原因了。

二、研究目的

1. 一滴溶液的載液面比較
2. 一滴溶液的載液面放大設計及比較實驗
3. 以一滴溶液實驗探討影響電解硫酸銅溶液的因素
4. 微觀電解硫酸銅溶液的實驗
5. 微觀電解碘化鉀溶液、鹵化鉀溶液及硫酸銅溶液的比較實驗

三、研究設備器材

No	器材	No	器材	No	器材或藥品
1	自行組裝的顯微投影機	14	數字型電錶	27	0.1M 硫酸銅溶液
2	自行組裝的聚光散熱箱	15	直流電源供應器	28	0.25M 硫酸銅溶液
3	自製螢幕紙箱	16	長尺	29	0.5M 硫酸銅溶液
4	黑色珍珠板	17	碼錶	30	0.75M 硫酸銅溶液
5	大頭針	18	毫安培計	31	1.0M 硫酸銅溶液
6	投影片	19	鱷魚夾線	32	奧利多汽水
7	玻片、載玻片	20	放大鏡	33	黑松汽水
8	雙面膠	21	三角鐵架	34	碘化鉀
9	鉛筆心	22	培養皿	35	溴化鉀
10	鐵釘	23	強力方型磁鐵	36	氯化鉀
11	鋁箔	24	膠帶		
12	銅箔	25	數位相機		
13	滴管	26	數位攝影機		

四、研究過程及方法

【目的一、一滴溶液的載液面比較】

想法：

既然以一滴溶液為目標，那硫酸銅溶液用再小的容器裝都不適合！曾經考慮使用濾紙的結果，因紙纖維的毛細現象會破壞一滴溶液的表面張力而馬上擴散開來，也想製作印刷紙電極，效果也很不理想，尋覓到最後，我們決定以玻片、投影片及雙面膠來做一滴溶液的載物面。

實驗一、不同濃度硫酸銅溶液在不同載物面上的液滴比較

準備：玻片、投影片、雙面膠、滴管、1M 硫酸銅溶液、清水、數位攝影機、角架

控制變因：溶液均為 1 滴的 CuSO_4 溶液量、每種濃度都滴在同一片但劃分三區載物面的投影片上、同一天的同溫同壓下實驗

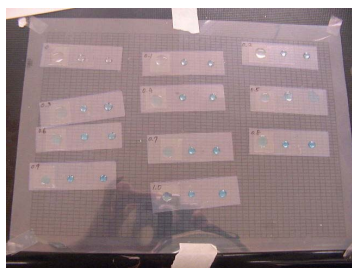
操縱變因：不同載物面下對不同濃度硫酸銅液滴的表面張力的角度、高度、結晶分佈比較

步驟：1 將 11 片長條狀投影片擺好，每一片中間都貼上同寬的雙面膠一截，在每片投影片的左側放上載玻片，形成每片都有三種不同載物面的材料。

2 在同一片三種載物面上，都小心以同滴管、同高度滴下相同濃度的硫酸銅溶液。

3 置於固定角架上，調整拍攝液滴正面及側面區域。以開始、1 小時後、乾燥後三個不同時期記錄液滴的直徑長度並拍攝其液滴的表面張力角度、液滴高度、結晶分佈情形。拍攝的畫面，選錄數張如下面圖片所示。

4 將溶液改為其他濃度的 CuSO_4 溶液，如以上步驟操作之。



不同接觸載物面下的硫酸銅液滴



以數位攝影機拍攝三滴不同載液面的液滴側面，以比較不同載液面高度大小



每長條投影片上由左到右依次放一片玻片(左)、黏上一截雙面膠(中)、及投影片本身(右)為液滴的不同材質載液面，各依標示滴上一滴清水或不同濃度的硫酸銅溶液。



清水對照組液滴在玻片、雙面膠、投影片上的表面張力比較 一小時後的情形



1.0M 硫酸銅液滴在玻片、雙面膠、投影片上的表面張力比較 一小時後的情形

【實驗記錄】

硫酸銅濃度	清水組			0.1M		
載物面	載玻片	雙面膠	投影片	載玻片	雙面膠	投影片
液滴直徑 mm	12	6	7	10	5	6
液滴高度 mm	1	3	2.4	2	3	3
乾燥後液滴直徑 mm	12	6	7	5	3	2
硫酸銅濃度	0.2M			0.3M		
載物面	載玻片	雙面膠	投影片	載玻片	雙面膠	投影片
液滴直徑 mm	14	4	5	9	5.4	5
液滴高度 mm	2	4	2	2	3	2
乾燥後液滴直徑 mm	7	5	5	6	5	5
硫酸銅濃度	0.4M			0.5M		
載物面	載玻片	雙面膠	投影片	載玻片	雙面膠	投影片
液滴直徑 mm	10	7	7	11	7	7
液滴高度 mm	1	3	3	1	3	3
乾燥後液滴直徑 mm	7	5	3	6	7	8
硫酸銅濃度	0.6M			0.7M		
載物面	載玻片	雙面膠	投影片	載玻片	雙面膠	投影片
液滴直徑 mm	12	5	6	12	4	5
液滴高度 mm	1	3	2	1.3	2.5	2
乾燥後液滴直徑 mm	6	3	5	5	3	3
硫酸銅濃度	0.8M			0.9M		
載物面	載玻片	雙面膠	投影片	載玻片	雙面膠	投影片
液滴直徑 mm	8	6	7	8	6	6
液滴高度 mm	2.1	3	2.3	2	2.5	3.4
乾燥後液滴直徑 mm	5	4	5	8	6	5
硫酸銅濃度	1.0M					
載物面	載玻片	雙面膠	投影片			
液滴直徑 mm	8	5	7			
液滴高度 mm	1	2	3			
乾燥後液滴直徑 mm	6	6	5			

【結果歸納】

載玻片、投影片、雙面膠三種載液面的比較如下表所示

載液面材質	載玻片	雙面膠	投影片
直徑	平均 7.2mm	4.3mm	5.0mm
高度	最低，約 1~2mm	最高，約 2~4mm	適中，約 2~3.4mm
表面張力角度	小於 90°	高於 90°	約等於 90°

【目的二、一滴溶液的載液面放大設計及比較實驗】

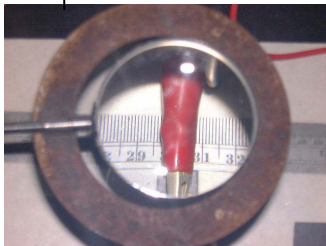
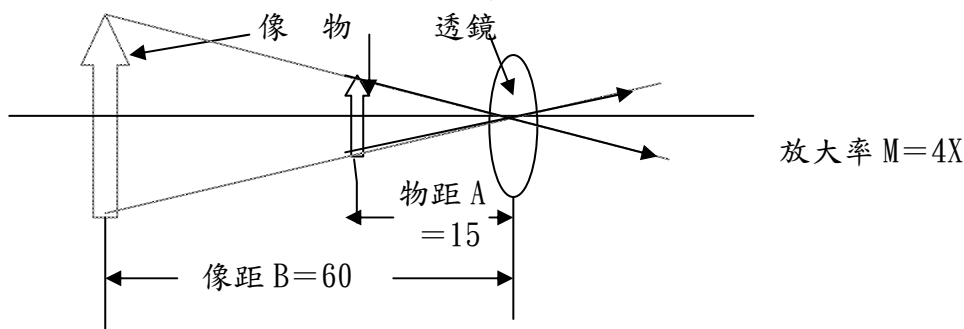
想法：

既然以一滴溶液為實驗劑量，那如何清楚的觀察應是實驗能否成功的瓶頸！所以，放大大一滴溶液的儀器設計是絕對有必要的。首先想到最簡單的是放大鏡，但只適合個人觀看，若要全組一同觀測，則更需再放大才行，於是再次想到的是投影機，但是在機面操作，臉及眼睛直接受強光照射相當不宜，而也無法每組都放一部投影機，所以，想到所有微觀的實驗中，就像植物細胞須藉由顯微鏡才可放大到眼睛可清楚看到的大小，於是組裝試出將顯微鏡的接目鏡改裝到可以投影放大到紙箱的螢幕上觀看，最後又設計一聚光散熱箱以解決了光源不足的缺點。

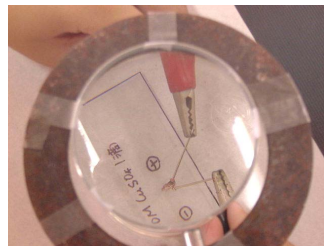
放大鏡放大率比較

三角架高不到 20cm，焦距 20cm 的放大鏡置於其上，很明顯的物置於三角架底為放大鏡的一倍焦距內，故可形成放大的正立虛像。

例如：物距透鏡 15cm 小於焦距 20cm 的放大率(根據凸透鏡成像原理及數學相似三角形法運算)可達四倍的正立放大虛像。



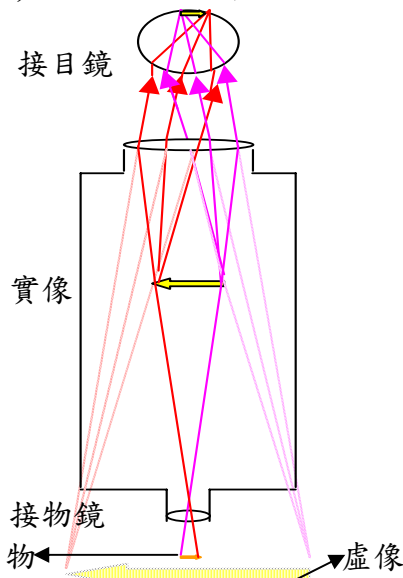
以三角架支撐焦距為 20cm 的放大鏡，角架高度低於 20cm，所以物(直尺或鱷魚夾線)落在一倍焦距內而形成正立放大的影像



在放大鏡台上觀察一滴溶液的電解清楚多了

顯微投影機放大率比較

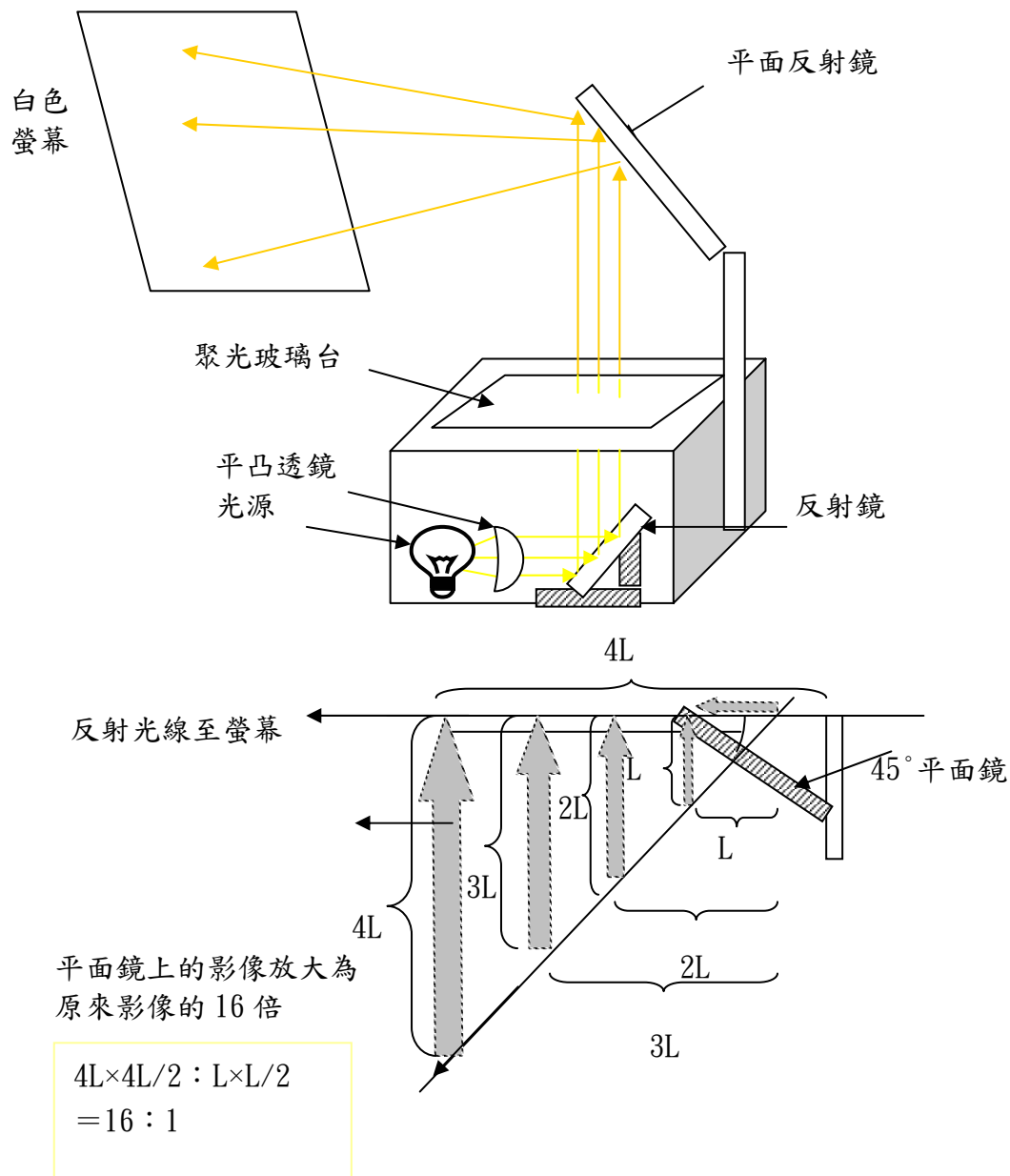
(1) 顯微鏡頭眼睛



此顯微鏡主要是由一焦距較短之凸透鏡作為接物鏡，另一個是焦距較長之凸透鏡作為接目鏡。將物體置於接物鏡焦點外側附近，則會於接目鏡焦點之內產生一倒立放大實像，設此放大倍率為 M_1 ；此實像再經接目鏡產生一放大的虛像，其放大倍率為 M_2 ；此虛像正是我們自顯微鏡中眼睛所看到的像，且此顯微鏡之放大倍率為 $M = M_1 \times M_2$ 。

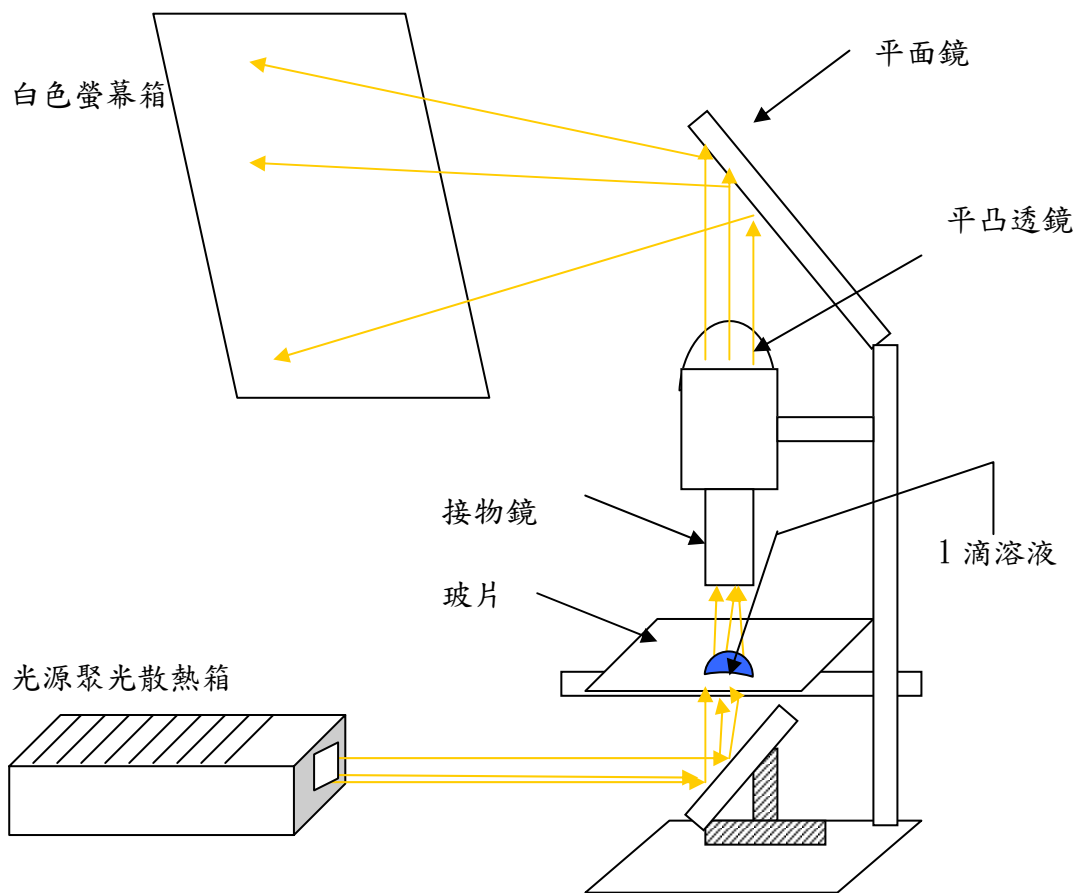
(2) 投影機的投影放大

構造如下圖所示：

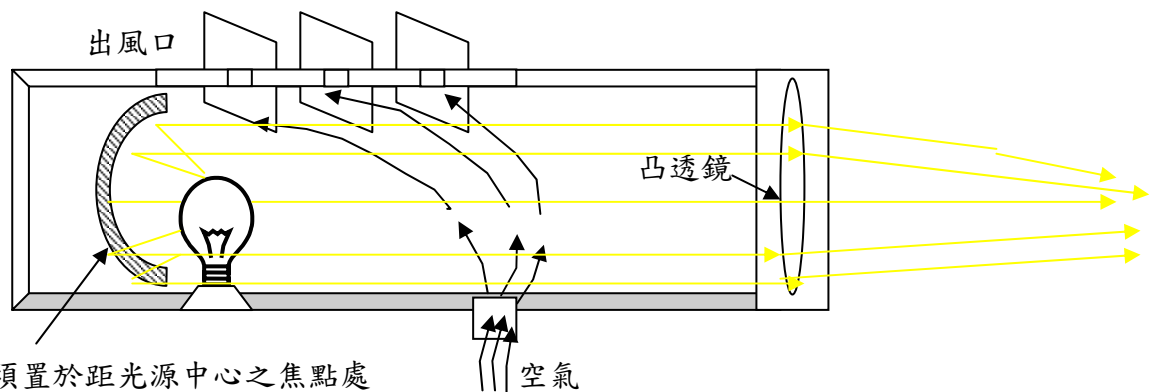


燈光的面光源發散光線後經平凸透鏡聚光成水平入射光，射至 45° 反射鏡後，入射角為 45°，反射角亦為 45°，故光線可呈垂直向上射出經過聚光玻璃台。根據光線直傳播原理，置放於玻璃台上的投影片，受到來自正下方的光線，透明處或透明色彩處，光可透過；不透明處則光不可穿過而形成影子；最後，再由上方的平面反射鏡反射至白色螢幕上呈像。

(3)顯微加上投影



光源聚光散熱箱的內部構造圖如下



節錄拍攝投影螢幕箱改進過程的實際比較畫面



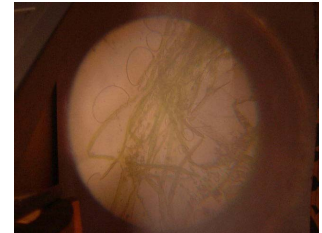
影像投影在毛玻璃上，從後面看的投影效果很不理想



改以將影像投影在描圖紙上，從後面看的投影效果雖有改進，清晰度仍不理想



以大紙箱製作投影的螢幕，發現有些進步，但還是受到外面光線漫射的影響，效果打了折扣



開始研究遮光的效果，架設一些擋板，最後以一片掀蓋式的黑色珍珠板的遮光效果最好

實驗二、以顯微投影微觀一滴汽水在不同載物面下起泡的比較

準備：剪下投影片一長條、載玻片、雙面膠、奧利多汽水、黑松汽水、塑膠杯、滴管、數位相機、自製顯微投影機及光源聚光散熱箱、固定角架。

控制變因：溶液均為 1 滴的汽水溶液、同一天的同溫同壓下實驗、同一隻滴管

操縱變因：不同廠牌汽水、不同接觸面材質顯微投影其起泡的差異

步驟：1 在投影片的中段黏上一截雙面膠，左側擺上一片載玻片，形成三種不同的載液面。

2 數位相機置於固定角架上，調整拍攝液滴投影後的正面區域。

3 汽水開瓶後先倒一小杯等一分鐘後才開始做起泡的實驗。

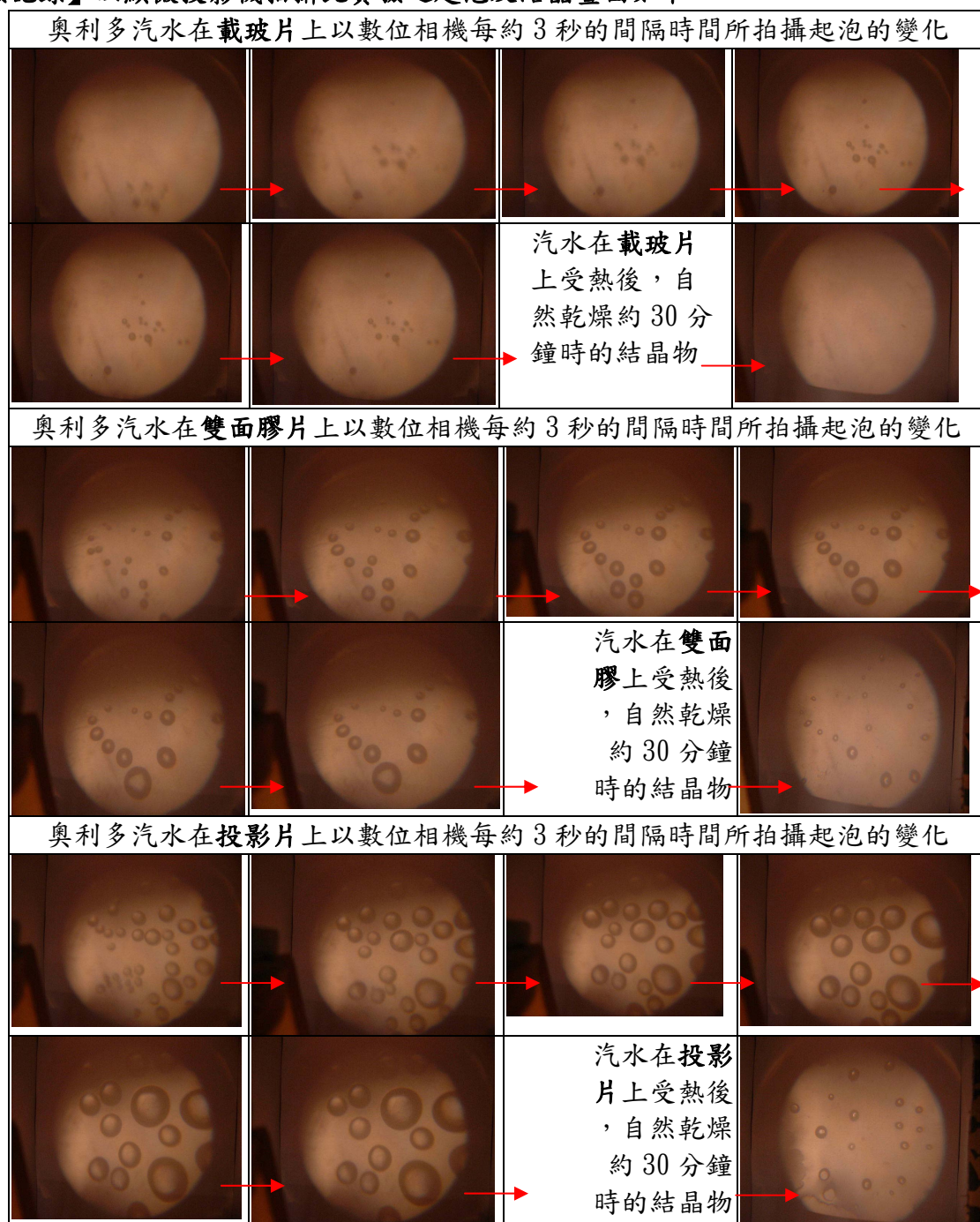
4 在載玻片上小心滴上 1 滴汽水，數位相機準備就緒後，移動載玻片至顯微鏡頭處。

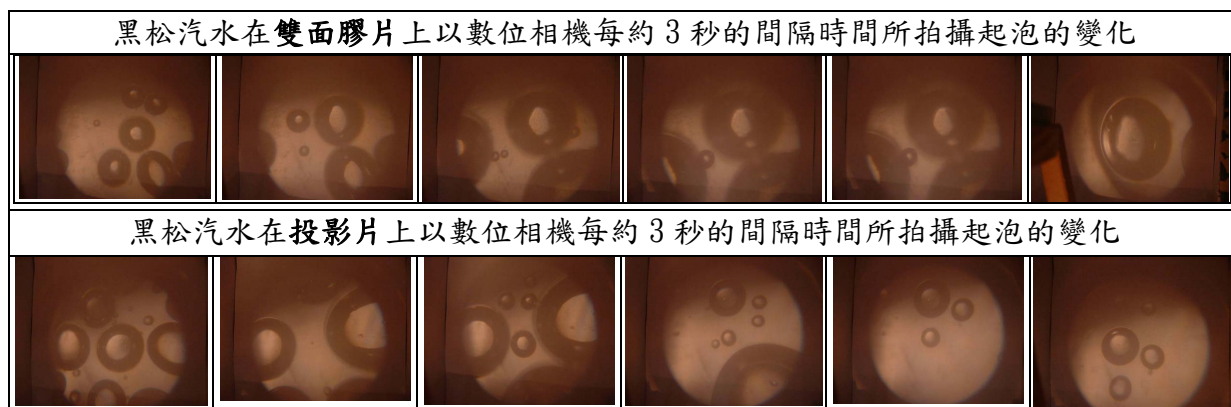
5 啟動顯微投影機、光源聚光散熱箱，以數位相機每 3 秒連續拍攝其起泡的變化。

6 將汽水改滴到其他載液面，如以上步驟操作之。

7 改用其它廠牌汽水，如以上步驟操作之。

【實驗記錄】以顯微投影機拍攝此實驗之起泡及結晶畫面如下：





【結果歸納】

- 液滴在不同載液面因表面張力的不同，會形成不同曲率半徑的液面，液滴較平坦的載玻片似乎沒有辦法提供足夠的曲率半徑，所以，要讓汽水的氣泡形成是很不容易的，就算形成了，也是小小的一、二個非顯微還看不出來的氣泡哩！
- 汽水滴在雙面膠及投影片這兩種載液面上都形成拱形，所以似乎有辦法提供足夠的曲率半徑讓汽水的氣泡形成。不過，雙面膠的黏性會使氣泡無法移動，所以當氣泡成核時，只能在原地因溫度上升，被溶解在汽水中的二氧化碳因高壓迫使它進入這個小氣室中而很快地長大。而投影片的無黏性、低附著力則可使快速形成的氣泡因升溫而使氣體分子流動順暢、聚合、脹大、最後迸裂。
- 我們讓汽水最後在受熱後，自然乾燥約 30 分鐘時，發現其結晶物是載玻片的攤成一片；雙面膠及投影片的居然含有不少小氣泡而結晶，真是太奇怪了。

【目的三、以一滴溶液實驗探討影響電解硫酸銅溶液的因素】

想法：

- 一滴溶液的觀察並不容易，電極選擇、設計操作上須特別注意變因的控制才不會誤差太大。思考及遍尋所有可能適合的材料，我們終於找到了從未有人用過的「大頭針」-它，統一規格容易進行實驗變因的比較，而且便宜、較無污染性、可重覆使用或作資源回收。
- 以前的電解硫酸銅的實驗，總是剩下不少的重金屬離子等著設備組統一集中處理，現在不但要在短時間把它給電解完，而且企圖利用定量的硫酸銅溶液，找出一般變因對其反應速率的關係。

實驗三、硫酸銅溶液在投影片上的微形電解可行性實驗

準備：投影片、載玻片、雙面膠、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鱈魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

控制變因：溶液均為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液量

操縱變因：不同載物面下對不同濃度的硫酸銅溶液電解比較

步驟：1 將三角鐵架的三隻角全用膠帶纏繞，架上面放置焦距 20cm 的放大鏡，用膠帶將放大鏡黏好，此時可由放大鏡的上方看到下方放大的物體。

2 黏好的三角鐵架小心的擺在有一滴硫酸銅溶液的投影片或載玻片、雙面膠等載液面上，再移入已接好直流電源供應器、毫安培計、鱈魚夾線的大頭針，開始電解看看。

【結果歸納】

載液面材質	載玻片	雙面膠	投影片
電解情形	不易看見氣泡，電流太小，反應雖慢，等很久，可看見樹枝狀的銅析出	可看見氣泡，電流較大，正負極的間距太小，負極銅析出物很快就碰觸到正極	可明顯看見氣泡流動順暢，電流適中，也可看見負極的銅還原析出

最後我們決定以透明的、不易破、乾燥後亦很容易剝落不留痕跡的投影片做載液面最為合適。所以，以下的實驗都是將溶液滴在投影片上來進行實驗。

實驗四、不同電壓下的微形電解硫酸銅的實驗

準備：投影片、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

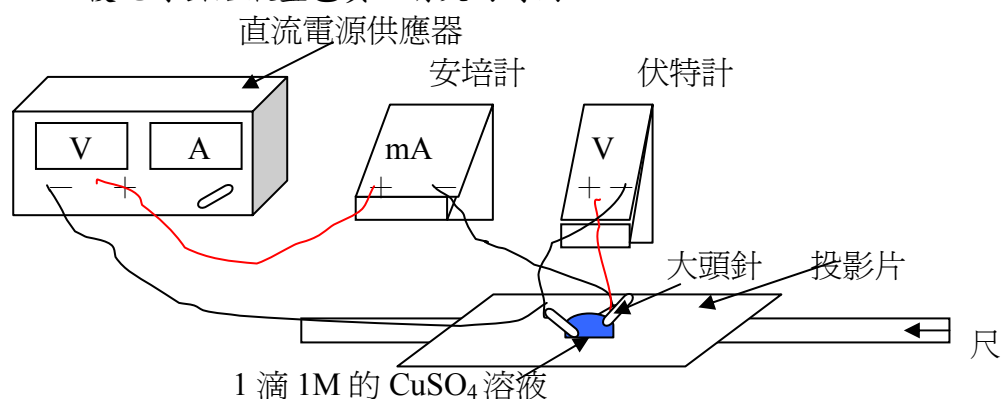
控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液

操縱變因：不同直流電源的電壓(V)

步驟：1 將投影片置於長尺上方，滴上 1 滴 1M 的備用。

2 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以不同的電壓開始電解。

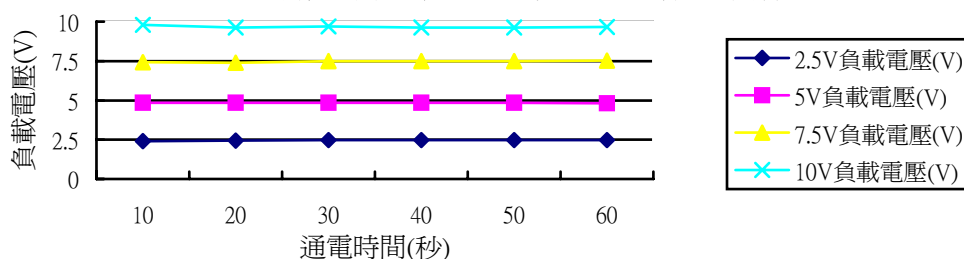
3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。



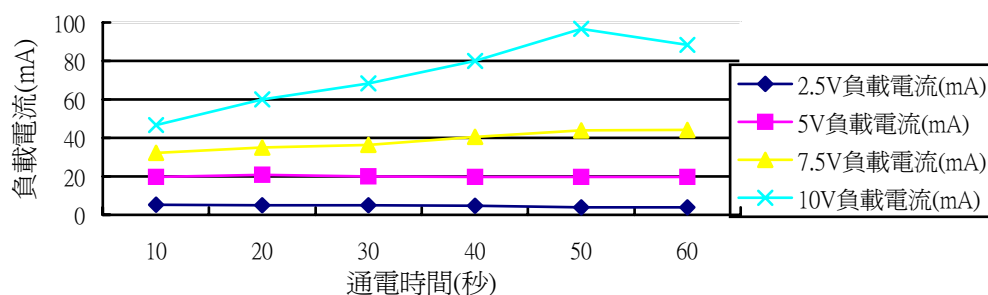
【實驗記錄】三次實驗的平均值

電源供應器電壓(V)	2.5V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	2.41	2.44	2.49	2.48	2.49	2.49
負載電流(mA)	5.3	5.0	5.0	4.7	4.0	4.0
溶液藍色消失時間	1773 秒					
電源供應器電壓(V)	5.0V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.86	6.86	4.86	4.84	4.84	4.83
負載電流(mA)	19.7	20.7	20.0	19.7	19.7	19.7
溶液藍色消失時間	342 秒					
電源供應器電壓(V)	7.5V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	7.41	7.40	7.49	7.49	7.50	7.52
負載電流(mA)	32.3	35.0	36.3	40.6	44.0	44.3
溶液藍色消失時間	194 秒					
電源供應器電壓(V)	10.0V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	9.78	9.63	9.68	9.62	9.63	9.65
負載電流(mA)	46.7	60.0	68.3	80.0	96.7	88.3
溶液藍色消失時間	126 秒					

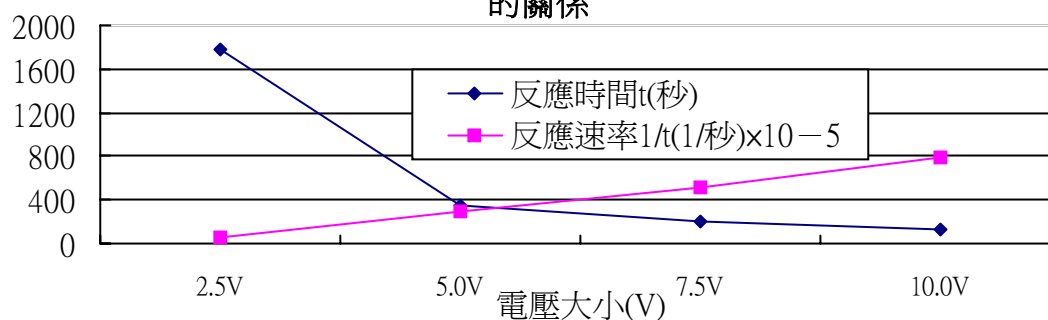
圖一、微形電解硫酸銅的負載電壓與時間的關係



圖二、微形電解硫酸銅的負載電流與時間的關係



圖三、微形電解硫酸銅溶液的電壓與反應時間及反應速率的關係



【結果歸納】

- 在 2.5~10V 的電壓下，負極析出金屬銅的量差異不大，根據化學計量，一滴同濃度同劑量的硫酸銅溶液的溶質量約為 $(M) \times V \times M = 1 \times 0.05/1000 \times 63.5 \div 0.003g \div 3mg$ ，而實驗中藍色銅離子還原變金屬銅析出，使溶液變無色時即表示反應已結束，由圖一、圖二可看出負載電壓及電流還算穩定，所以，電壓愈大，反應時間愈短，反應速率愈大，電壓與反應速率似乎可看出成正比的關係。
- 同樣的，正極的氧氣泡生成速率亦為 $10V > 7.5V > 5.0V > 2.5V$ 。
- 合計電解液藍色溶液變無色的反應時間及反應速率如下表所列

電源供應器電壓(V)	2.5V	5.0V	7.5V	10.0V
反應時間 t(秒)	1773	342	194	126
反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-5}$	56.4	292	515	794

實驗五、不同電極下的微形電解硫酸銅的實驗

準備：投影片、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鐵釘、銅線、鉛筆心、鋁箔、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

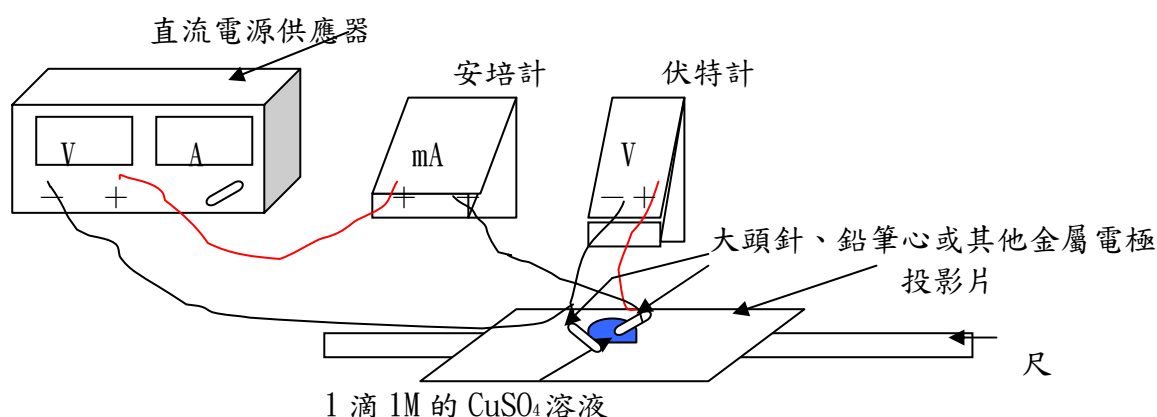
控制變因：電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液、直流電源的電壓為 5V

操縱變因：不同正負電極

步驟：1 將投影片置於長尺上方，滴上 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液備用。

2 正負極依次用不同的電極(大頭針、鉛筆心或其他金屬電極等如下表所列)，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以相同的 5V 電壓開始電解。

3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。

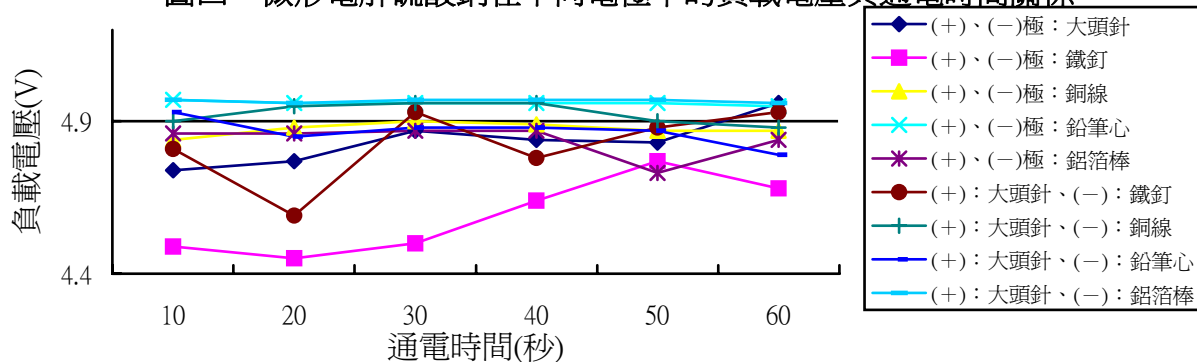


【實驗記錄】三次實驗的平均值

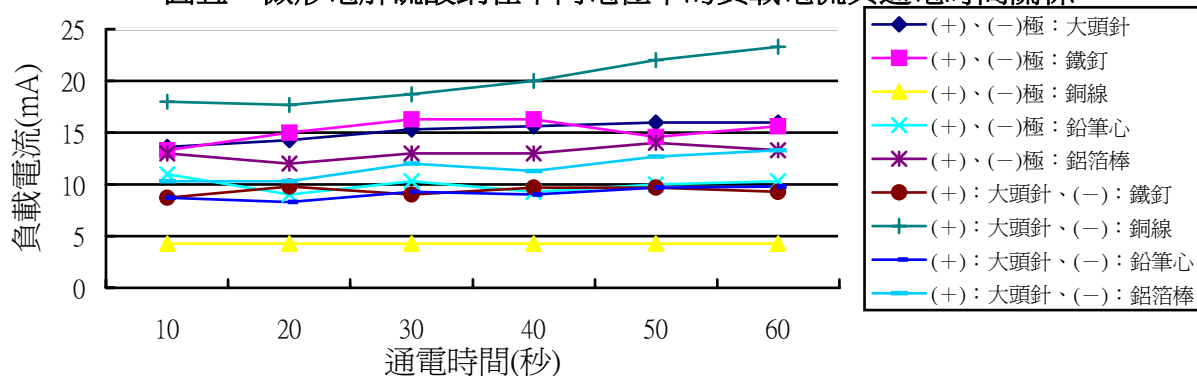
電極種類	(+)極：大頭針、(-)極：大頭針					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.74	4.77	4.87	4.84	4.83	4.96
負載電流(mA)	13.6	14.3	15.3	15.6	16.0	16.0
溶液藍色消失時間	256.3 秒					
電極種類	(+)極：鐵釘、(-)極：鐵釘					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.49	4.45	4.50	4.64	4.77	4.68
負載電流(mA)	13.3	15.0	16.3	16.3	14.6	15.6
溶液藍色消失時間	226.3 秒					
電極種類	(+)極：銅線、(-)極：銅線					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.84	4.88	4.90	4.89	4.87	4.87
負載電流(mA)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
溶液藍色消失時間	無法計量					
電極種類	(+)極：鉛筆心、(-)極：鉛筆心					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.97	4.96	4.96	4.96	4.96	4.95
負載電流(mA)	11.0	9.0	10.3	9.3	10.0	10.3
溶液藍色消失時間	146.6 秒					
電極種類	(+)極：鋁箔棒、(-)極：鋁箔棒					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60

負載電壓(V)	4.86	4.86	4.87	4.87	4.73	4.84
負載電流(mA)	13.0	12.0	13.0	13.0	14.0	13.3
溶液藍色消失時間	222.3 秒					
電極種類	(+)極：大頭針、(-)極：鐵釘					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.81	4.59	4.93	4.78	4.88	4.93
負載電流(mA)	8.7	9.8	9.0	9.7	9.7	9.3
溶液藍色消失時間	175 秒					
電極種類	(+)極：大頭針、(-)極：銅線					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.90	4.95	4.96	4.96	4.90	4.88
負載電流(mA)	18.0	17.7	18.7	20.0	22.0	23.3
溶液藍色消失時間	156 秒					
電極種類	(+)極：大頭針、(-)極：鉛筆心					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.93	4.85	4.88	4.88	4.87	4.79
負載電流(mA)	8.7	8.3	9.3	9.0	9.7	9.8
溶液藍色消失時間	155 秒					
電極種類	(+)極：大頭針、(-)極：鋁箔棒					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.97	4.96	4.97	4.97	4.97	4.96
負載電流(mA)	10.3	10.3	12.0	11.3	12.7	13.3
溶液藍色消失時間	178.3 秒					

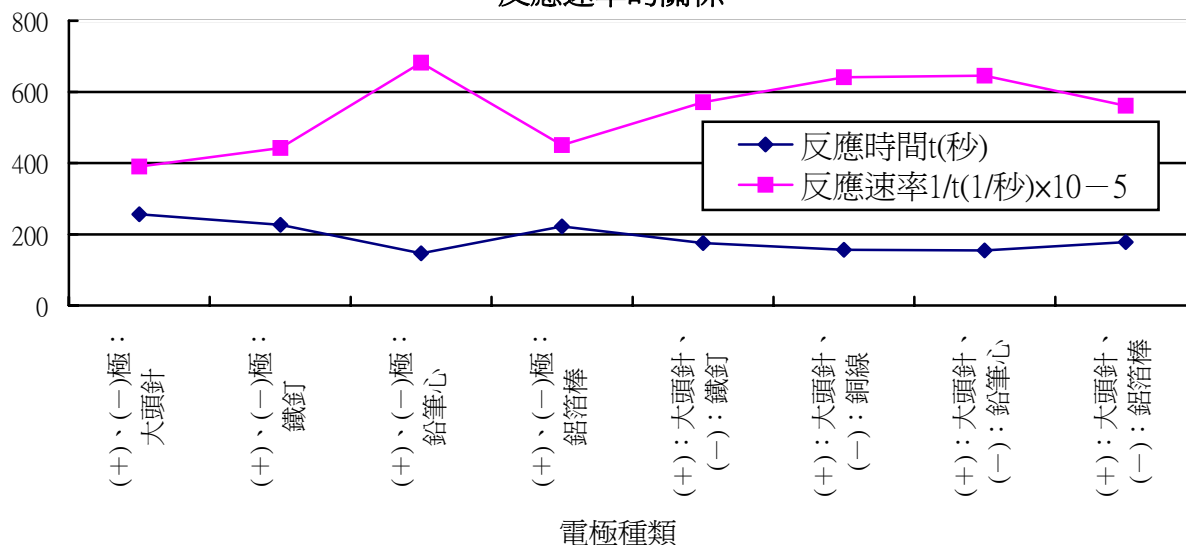
圖四、微形電解硫酸銅在不同電極下的負載電壓與通電時間關係



圖五、微形電解硫酸銅在不同電極下的負載電流與通電時間關係



圖六、微形電解硫酸銅溶液在不同的電極下與反應時間及反應速率的關係



【結果歸納】

1. 在相同 5V 的電壓下，根據化學計量，一滴同濃度同劑量的硫酸銅溶液的溶質量是相同的，由藍色溶液變無色的反應時間可比較出各電極間的電位差及活性大小，本想多比較幾組金屬的，但礙於電極面積規格受限及取得不易只好作罷！
2. 鉛筆心電極因有黑色鉛筆心溶解的情形出現，恐會干擾判讀反應時間，所以不予以比較，由反應速率可知其(+) 極：大頭針、(-) 極：銅線 > (+) 極：大頭針、(-)：鐵釘極 > (+) 極：大頭針、(-) 極：鋁箔棒 > (+)、(-)極：鋁箔棒 > (+)、(-)極：鐵釘 > (+)、(-)極：大頭針，由數據顯示，相同電極的電位差較小，反應時間較長，所以反應速率比較慢；不同電極間的電位差比較大，除了外加直流電源的電壓外，可能還有自己電極間的電位差，所以(+) 極：大頭針、(-) 極：銅線的負載電流始終比其他的電極還要高，難怪反應速率較快了。
3. 合計以上電解液藍色溶液變無色的反應時間及反應速率如下表所列

電極種類	(+)、(-)極：大頭針	(+)、(-)極：鐵釘	(+)、(-)極：鉛筆心	(+)、(-)極：鋁箔棒	(+)：大頭針、(-)：鐵釘	(+)：大頭針、(-)：銅線	(+)：大頭針、(-)：鉛筆心	(+)：大頭針、(-)：鋁箔棒
反應時間 t(秒)	256.3	226.3	146.6	222.3	175.0	156.0	155.0	178.3
反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	390	442	682	450	571	641	645	561

實驗六、不同溶液滴數(電極間距不同)下的微形電解硫酸銅的實驗

準備：投影片、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

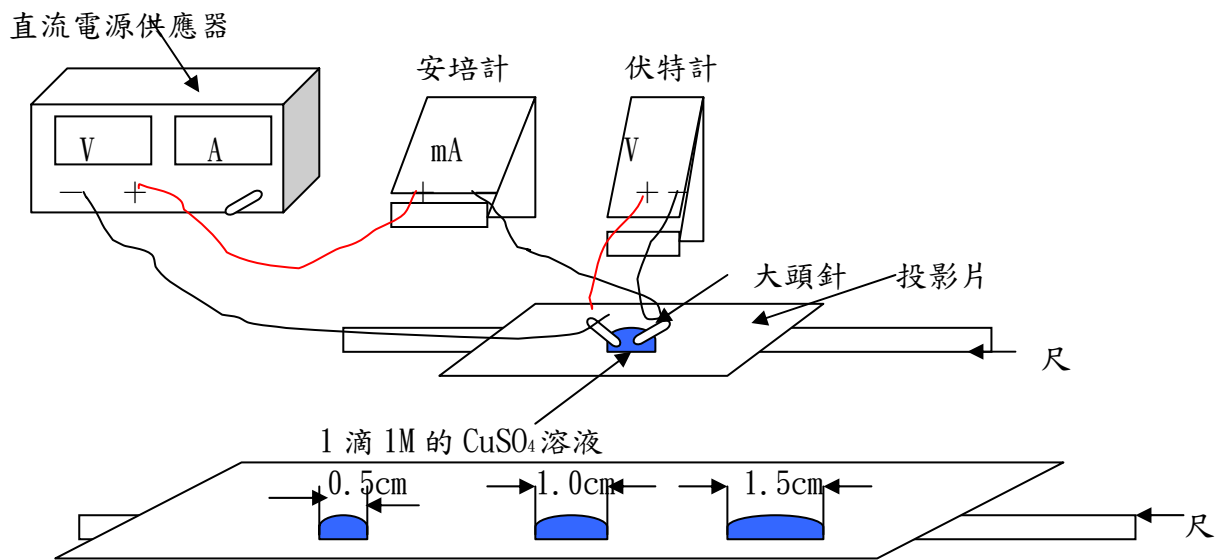
控制變因：正負電極均用大頭針、直流電源的電壓 5V、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液

操縱變因：電解液不同滴數(正、負極均置在液滴最外緣的範圍內，間距不同)

步驟：1 將投影片置於長尺上方，滴上 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液備用。

2 正負電極都用大頭針，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以相同的 5V 電壓開始電解。

3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。

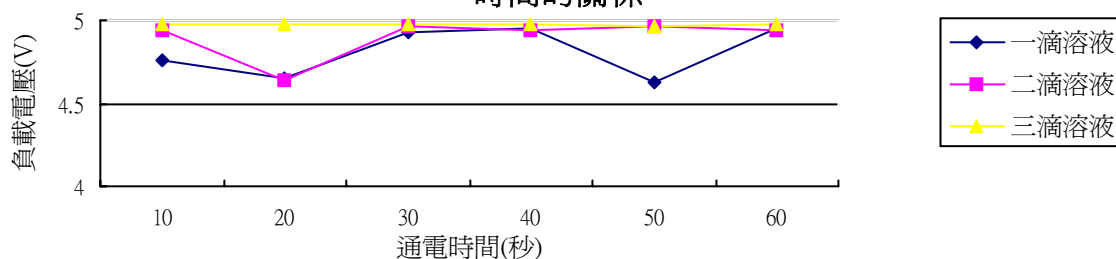


1M 的 CuSO_4 溶液 1 滴 2 滴 3 滴

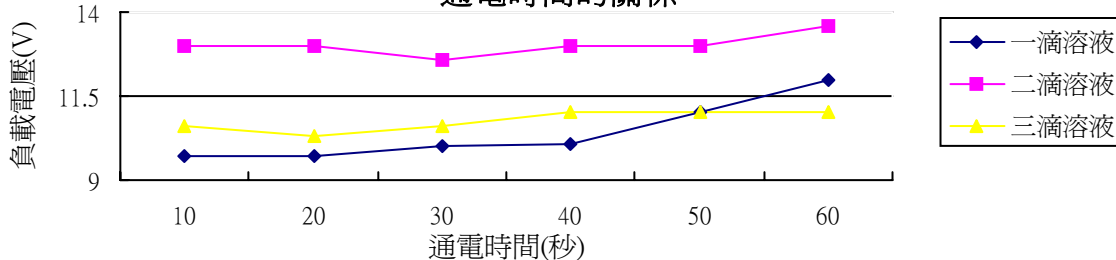
【實驗記錄】三次實驗的平均值

電源供應器電壓(V)	5V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
一滴溶液負載電壓(V)	4.76	4.65	4.93	4.95	4.63	4.95
一滴溶液負載電流(mA)	9.7	9.7	10.0	10.1	11.0	12.0
二滴溶液負載電壓(V)	4.94	4.64	4.96	4.94	4.96	4.94
二滴溶液負載電流(mA)	13.0	13.0	12.6	13.0	13.0	13.6
三滴溶液負載電壓(V)	4.98	4.98	4.98	4.97	4.96	4.97
三滴溶液負載電流(mA)	10.6	10.3	10.6	11.0	11.0	11.0
1M 的 CuSO ₄ 的量	一滴		二滴		三滴	
(+) (-)極距離(cm)	0.5		1.0		1.5	
(+)極變化	少 ← 有紅色銅析出 → 多					
(-)極變化	都有氣泡生成					
溶液藍色消失時間(秒)	226		451		797	

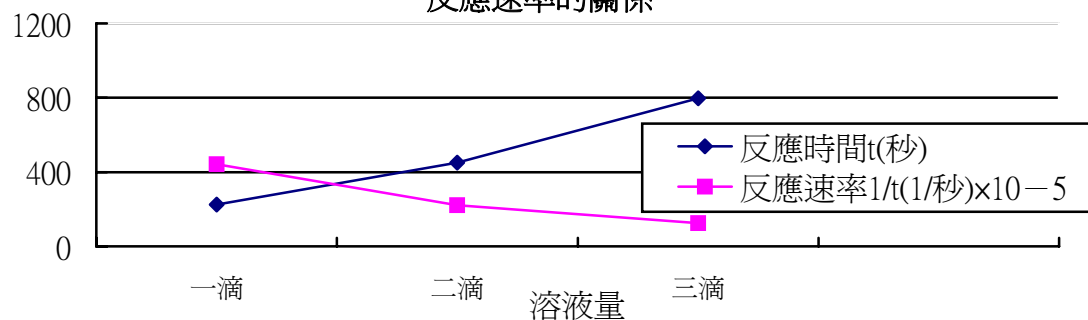
圖七、微形電解硫酸銅在不同溶液量的負載電壓與時間的關係



圖八、微形電解硫酸銅在不同溶液量的負載電流與通電時間的關係



圖九、微形電解硫酸銅溶液的溶液量與反應時間及反應速率的關係



【結果歸納】

1. 溶液量愈多，根據化學計量，三滴量是一滴同濃度硫酸銅溶液的溶質量的 3 倍，由藍色溶液變無色的反應時間亦應為 3 倍；同樣的，二滴量是一滴同濃度硫酸銅溶液的溶質量的 2 倍，由藍色溶液變無色的反應時間亦應為 2 倍，由圖九顯示結果還算不錯。
2. 合計以上電解液藍色溶液變無色的反應時間及反應速率如下表所列

1M 的 CuSO_4 的量	一滴	二滴	三滴
反應時間 t(秒)	226	451	797
反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-5}$	442	222	125

實驗七、不同溶液濃度下的微形電解硫酸銅的實驗

準備：投影片、不同濃度的硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

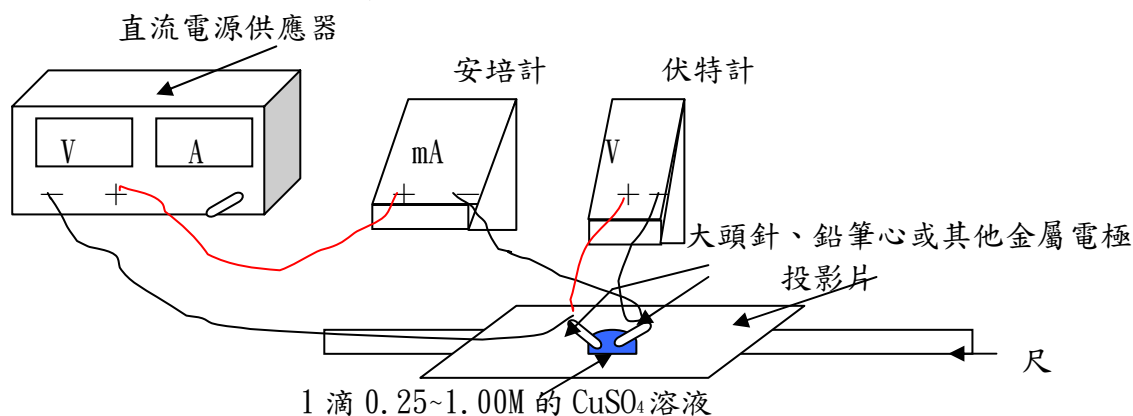
控制變因：正負電極均用大頭針、直流電源的電壓 5V、電解液為 1 滴的 CuSO_4 溶液

操縱變因：不同濃度的電解液(M)

步驟：1 將投影片置於長尺上方，滴上 1 滴依次如下表不同濃度的 CuSO_4 溶液備用。

2 正負電極都用大頭針，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以相同的 5V 電壓開始電解。

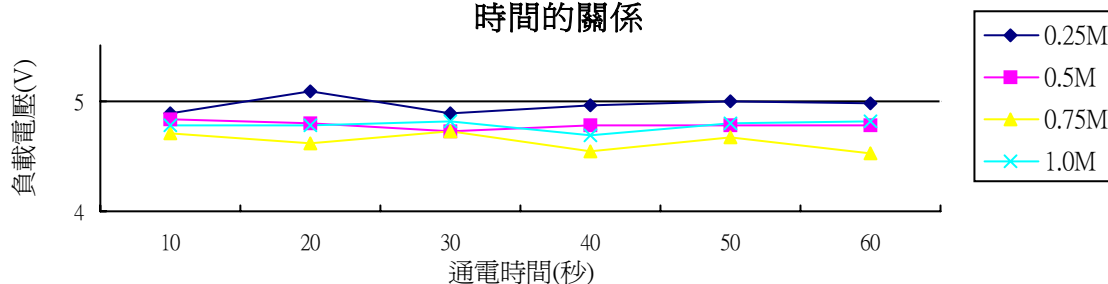
3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。



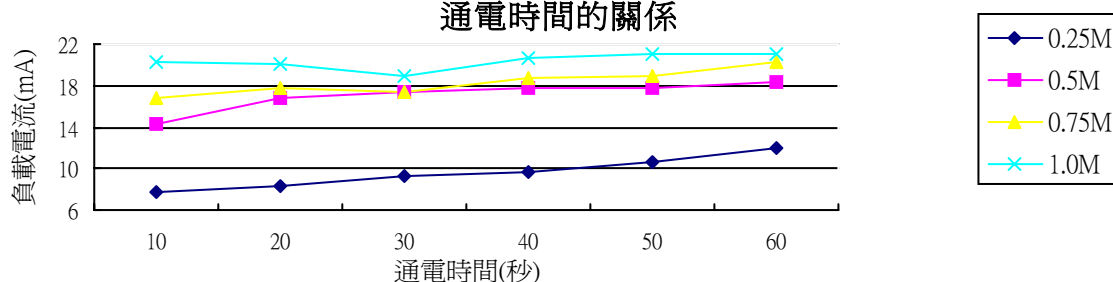
【實驗記錄】三次實驗的平均值

硫酸銅電解液濃度	0.25M					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.88	5.08	4.88	4.95	5.00	4.97
負載電流(mA)	7.7	8.3	9.3	9.7	10.7	12.0
溶液藍色消失時間	143.3 秒					
硫酸銅電解液濃度	0.50M					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.83	4.79	4.72	4.78	4.77	4.78
負載電流(mA)	14.3	16.7	17.3	17.7	17.7	18.3
溶液藍色消失時間	186.3 秒					
硫酸銅電解液濃度	0.75M					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.78	4.78	4.81	4.68	4.80	4.82
負載電流(mA)	16.7	17.7	17.3	18.7	19.0	20.3
溶液藍色消失時間	219.7 秒					
硫酸銅電解液濃度	1.00M					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.78	4.78	4.81	4.68	4.80	4.82
負載電流(mA)	20.3	20.0	19.0	20.7	21.0	21.0
溶液藍色消失時間	265.3 秒					

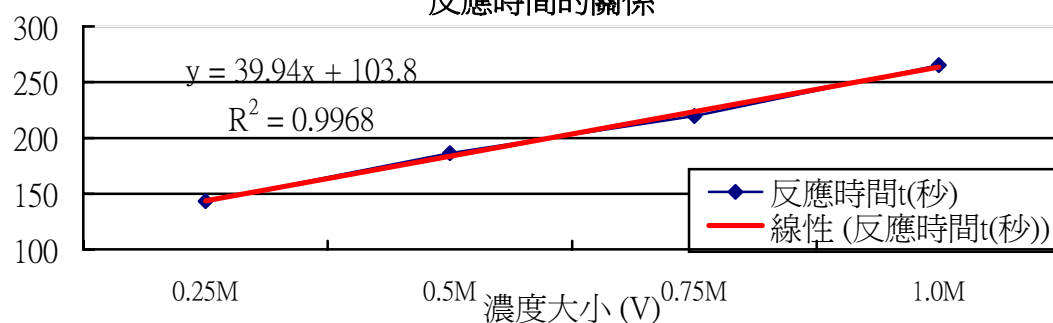
圖十、微形電解硫酸銅在不同溶液濃度的負載電壓與時間的關係



圖十一、微形電解硫酸銅在不同溶液濃度的負載電流與通電時間的關係



圖十二、微形電解硫酸銅溶液的溶液濃度與反應時間的關係



【結果歸納】

- 以化學計量上而言，同樣一滴的 0.25M~1.0M 的硫酸銅溶液，其所含的硫酸銅溶質的莫耳數比為 $(0.25 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (0.5 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (0.75 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (1.0 \times 0.05 \times 10^{-3}) = 1 : 2 : 3 : 4$ ，反應由藍色溶液變無色的時間亦應溶質量愈高，反應時間愈長。

合計以上電解液藍色溶液變無色的反應時間如下表所列

硫酸銅電解液濃度	0.25M	0.50M	0.75M	1.00M
反應時間 t(秒)	143.3	186.3	219.7	265.3

- 由圖十二的實驗圖示結果可以畫出濃度與反應時間成正比的線性迴歸曲線，如果將未知濃度的反應時間(y 項)偵測出來後，代入此線性迴歸曲線公式中，即可推算出未知濃度的(x)值。

實驗八、不同直流電壓下，外加磁場對電解一滴 0.5M 硫酸銅溶液的影嚮(1)

準備：強力方型磁鐵、培養皿、投影片、0.5M 硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶、放大鏡、三角鐵架、膠帶。

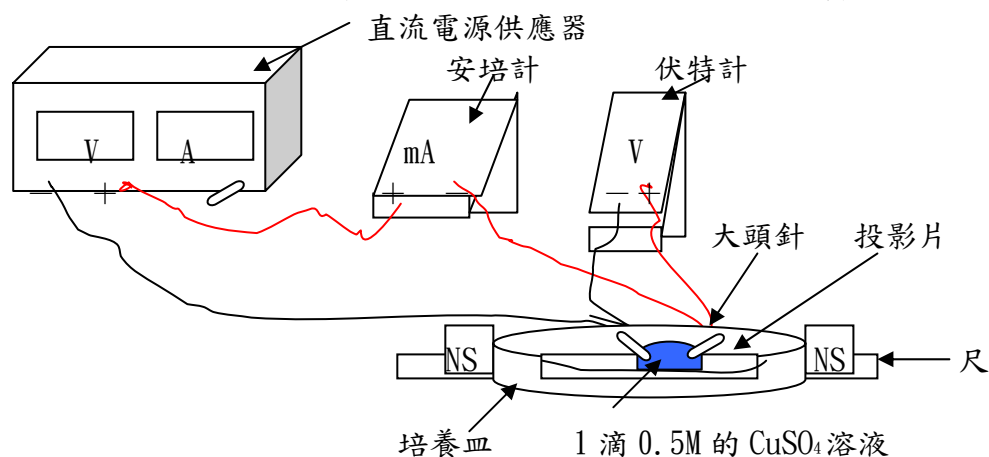
控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液

操縱變因：不同直流電源的電壓(V)下有無外加磁場

步驟：1 長尺上方放培養皿，皿外左右兩側各放置強力方型磁鐵一個，再將投影片置於皿上，滴上 1 滴 0.5M 的硫酸銅備用。

2 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以不同的電壓開始電解。

3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。不放置磁鐵亦做實驗以當對照組。

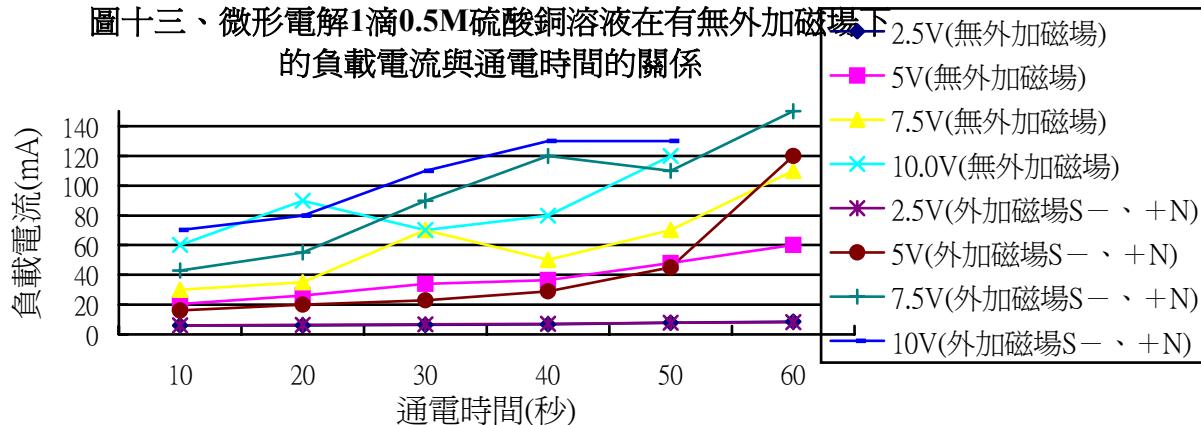


【實驗記錄】1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液

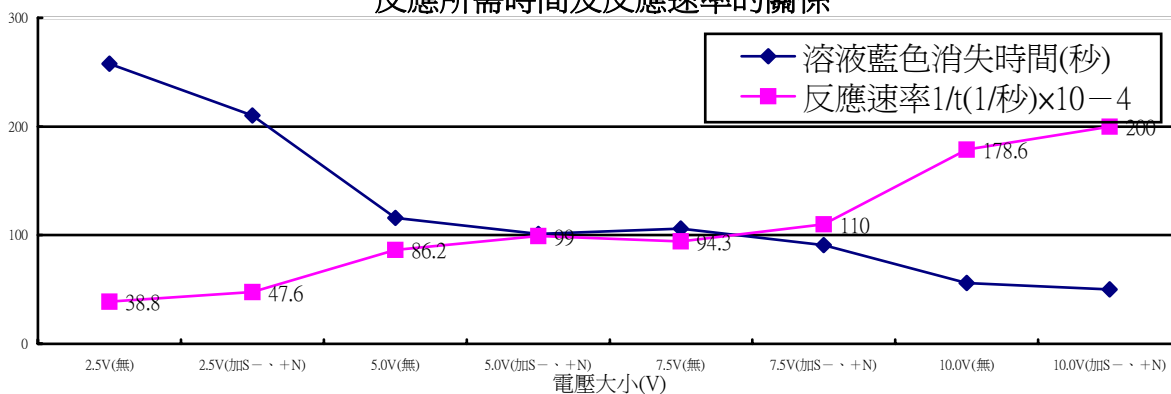
電源供應器電壓(V)	2.5V(無外加磁場)			負載電壓為 2.58~2.74V		
每 10 秒的負載電流(mA)	6	6	6.5	6.9	8	8.5
	7	10	12	12.5	12.1	12.5
	12.5	12.6	12.6	13.0	14.0	14.5
溶液藍色消失時間	258 秒					
電源供應器電壓(V)及外加磁場	2.5V(S ⁻ 、 ⁺ N)			負載電壓為 2.59~2.67V		
每 10 秒的負載電流(mA)	6	6.5	6.8	7	8	8.1
	9	10	10.8	11	11	11
	12	14.9	16.5	23	24	25
溶液藍色消失時間	210 秒					
電源供應器電壓(V)	5V(無外加磁場)			負載電壓為 4.97~4.87V		
每 10 秒的負載電流(mA)	20.5	26	34	36.5	48	60
	55	70	60	90	50	
溶液藍色消失時間	116 秒					
電源供應器電壓(V)及外加磁場	5V(S ⁻ 、 ⁺ N)			負載電壓為 4.98~4.97V		
每 10 秒的負載電流(mA)	16	20	23	29	45	120
	80	100	85	60		
溶液藍色消失時間	101 秒					
電源供應器電壓(V)	7.5V(無外加磁場)			負載電壓為 7.21~7.19V		
每 10 秒的負載電流(mA)	30	35	70	50	70	110

溶液藍色消失時間	106 秒					
電源供應器電壓(V)及外加磁場	7.5V(S ⁻ 、 ⁺ N)			負載電壓為 7.18~7.17V		
每 10 秒的負載電流(mA)	43	55	90	120	110	150
溶液藍色消失時間	91 秒					
電源供應器電壓(V)	10.0V(無外加磁場)			負載電壓為 10.17~10.23V		
每 10 秒的負載電流(mA)	60	90	70	80	120	
溶液藍色消失時間	56 秒					
電源供應器電壓(V)及外加磁場	10.0V(S ⁻ 、 ⁺ N)			負載電壓為 10.12~10.16V		
每 10 秒的負載電流(mA)	70	80	110	130	130	
溶液藍色消失時間	50 秒					

圖十三、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下的負載電流與通電時間的關係



圖十四、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下各電壓的反應所需時間及反應速率的關係



【結果歸納】

1. 1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液在各電壓且有無外加強力磁場下的反應時間及反應速率大小如下：

電壓及有無外加磁場	2.5V (無)	2.5V(加 S ⁻ 、 ⁺ N)	5.0V(無)	5.0V(加 S ⁻ 、 ⁺ N)	7.5V(無)	7.5V(加 S ⁻ 、 ⁺ N)	10.0V(無)	10.0V(加 S ⁻ 、 ⁺ N)
溶液藍色消失時間(秒)	258	210	116	101	106	91	56	50
反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-4}$	38.8	47.6	86.2	99	94.3	110	178.6	200

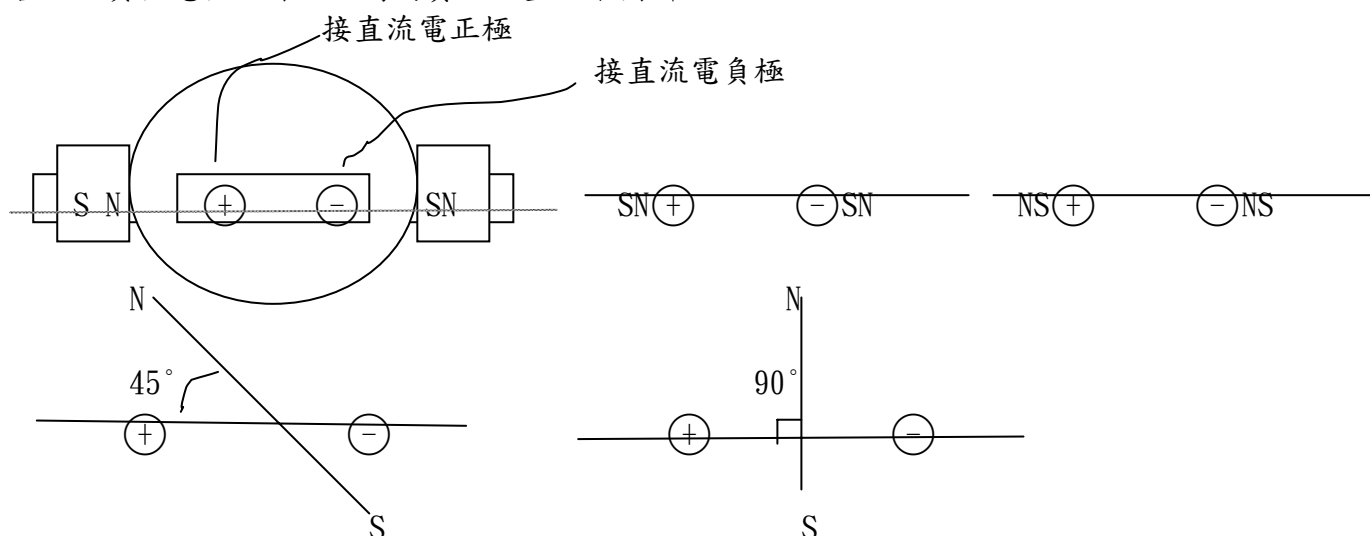
結果很明顯的，不管是幾伏特電壓，只要有外加磁場均可使反應時間縮短，而使反應速率變快，由此可見，外加磁場也是影響電解硫酸銅溶液反應時間及速率的重要條件。

2. 而為了更確定磁場對電解硫酸銅溶液所造成的影響，我們相信外加磁場與電極的擺放角度可能也有所不同，所以再進行實驗九加以追蹤。

實驗九、不同直流電壓下，外加不同角度的磁場對電解二滴 0.5M 硫酸銅溶液的影響(2)

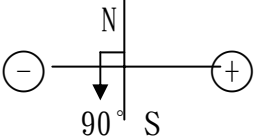
準備及實驗等變因及步驟：同實驗八

各正、負極電極及外加磁場的實驗配置如下圖所示

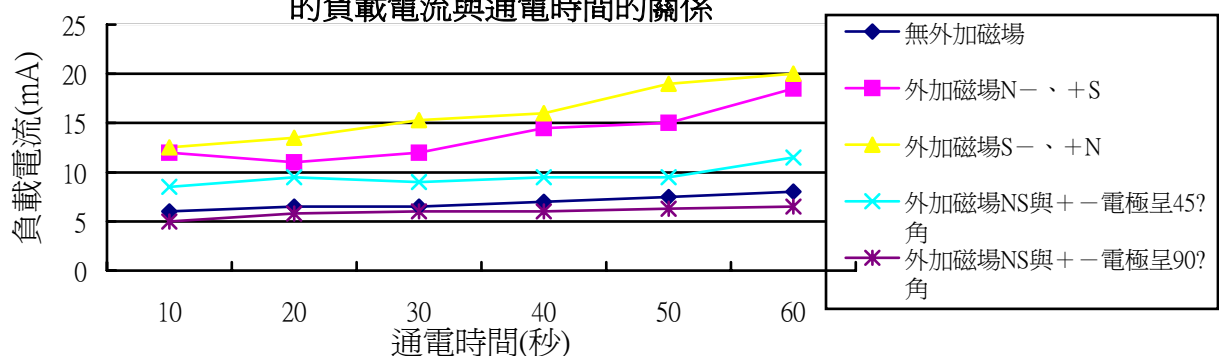


【實驗記錄】2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液，電壓全為 10.0V

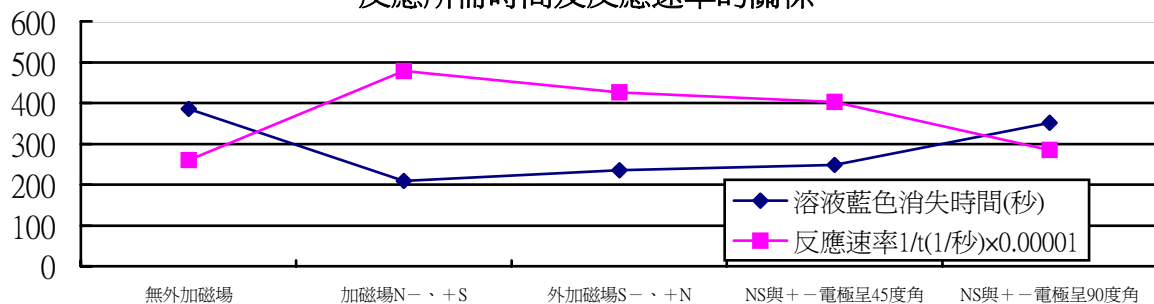
電源供應器電壓(V)	無外加磁場			負載電壓為 9.59~9.52V		
每 10 秒的負載電流(mA)	7	8	8	8	9	9
	11	10	11	10	11	12
	5	13	13	15	16	16
	17	16	18	18	19	20
	21	22	24	26	28	29
	42	35	31	47		
溶液藍色消失時間	381 秒					
電壓(V)及外加磁場	N ⁻ 、 ⁺ S			負載電壓為 9.85~9.68V		
每 10 秒的負載電流(mA)	15	13	15	19	20	27
	32	36	80	70	70	80
	70	60	70			
溶液藍色消失時間	155 秒					
電壓(V)及外加磁場	S ⁻ 、 ⁺ N			負載電壓為 9.10~9.63V		
每 10 秒的負載電流(mA)	14	15	18	17	23	25
	25	27	31	30	37	42
	50	80	110	80		
溶液藍色消失時間	172 秒					
電壓(V)及外加磁場				負載電壓為 10.09~9.72V		
每 10 秒的負載電流(mA)	10	12	10	11	10	13
	16	19	20	19	19	21
	28	35	45	50	50	50
溶液藍色消失時間	186 秒					

電壓(V)及 外加磁場				負載電壓為 9.65~9.39V		
每 10 秒的負載電流(mA)	6	6.5	7	7	7.5	8
	8	9	9	9	11	10
	10	11	13	14.5	16	17
	19	20	21	23	24	25
	27	27	26	27	30	32
	34	35	37	46		
溶液藍色消失時間	352 秒					

圖十五、微形電解2滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下的負載電流與通電時間的關係



圖十六、微形電解2滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下的反應所需時間及反應速率的關係



【結果歸納】

- 2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液且在有無不同外加磁場角度下(以及無心而靠近高溫環境下)的前 60 秒負載電流大小比較如下：

通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
無外加磁場	6	6.5	6.5	7	7.5	8
外加磁場 N-、+S	12	11	12	14.5	15	18.5
外加磁場 S-、+N	12.5	13.5	15.3	16	19	20
外加磁場 NS 與+-電極呈 45° 角	8.5	9.5	9	9.5	9.5	11.5
外加磁場 NS 與+-電極呈 90° 角	5	5.8	6	6	6.3	6.5

有外加磁場的前 60 秒負載電流大小比沒有加磁場的較大；外加磁場與正、負極的夾角以平行的較 45 度的為佳；45 度的又比夾角 90 度的較好。

2. 而在相同電壓下，2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液且在有無不同外加磁場角度下的反應時間及反應速率大小比較則如下：

電壓及有無外加磁場	無外加磁場	加磁場 N-、+S	外加磁場 S-、+N	NS 與+-電極呈 45° 角	NS 與+-電極呈 90° 角
反應時間(秒)	385	209	235	248	351
反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	260	478	426	403	285

反應時間為：加磁場 N-、+S < 加磁場 S-、+N < NS 與+-電極呈 45° 角 < NS 與+-電極呈 90° 角 < 無外加磁場，由此可知，有外加磁場的比沒有加磁場的較快；外加磁場與正、負極的夾角以平行的較 45 度的為佳；45 度的又比夾角 90 度的為佳。

【目的四、微觀電解硫酸銅溶液的實驗】

想法：

如目的二的一滴溶液放大設計及比較實驗結果，以改裝的顯微投影機此實驗的裝置，而聚光散熱箱的光源無疑的就是一穩定的加熱光源，恰如加熱系統，所以可以再試驗溫度對電解硫酸銅溶液的影響。既然須光源來顯微投影放大，光能已不可能省，那反應的外加電能，若可以用低電壓來反應，可省反應時間又較安全也是不錯的。

實驗十、顯微電解一滴 1M 硫酸銅溶液的實驗

準備：自行組裝的顯微投影機、聚光散熱箱、螢幕箱、投影片、玻片、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、長尺、碼錶。

步驟：1 將投影片置於顯微台上，滴上 1 滴 1M 的硫酸銅備用。

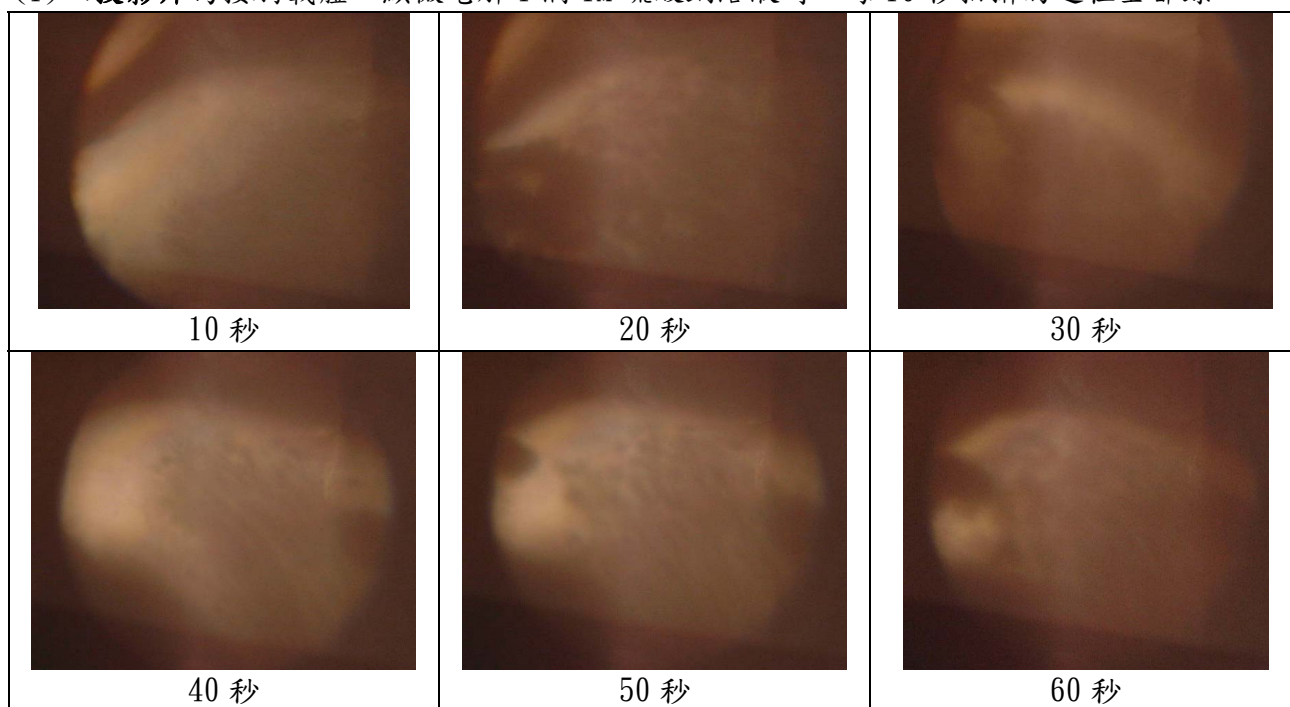
2 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後，移至顯微台上，準備以 5V 的電壓開始電解。

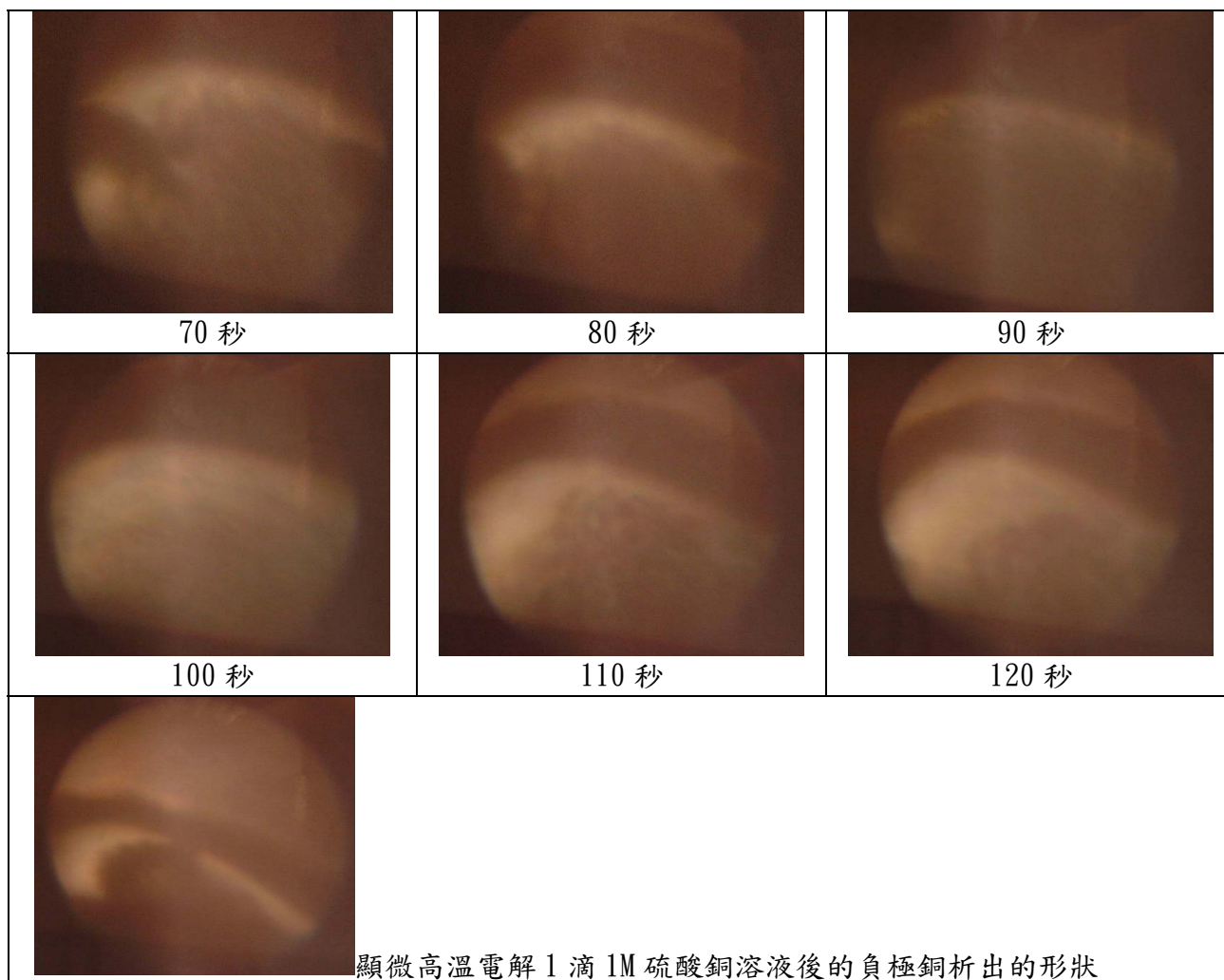
3 由另一人將聚光散熱箱插上電源後，開始以碼錶每 10 秒定點對著螢幕以數位相機拍攝顯微電解畫面如下一頁。

4 將投影片換成玻片置於顯微台上，滴上 1 滴 1M 的硫酸銅，再如步驟 2~3 操作之。

【實驗記錄】所拍攝的顯微電解畫面如下：

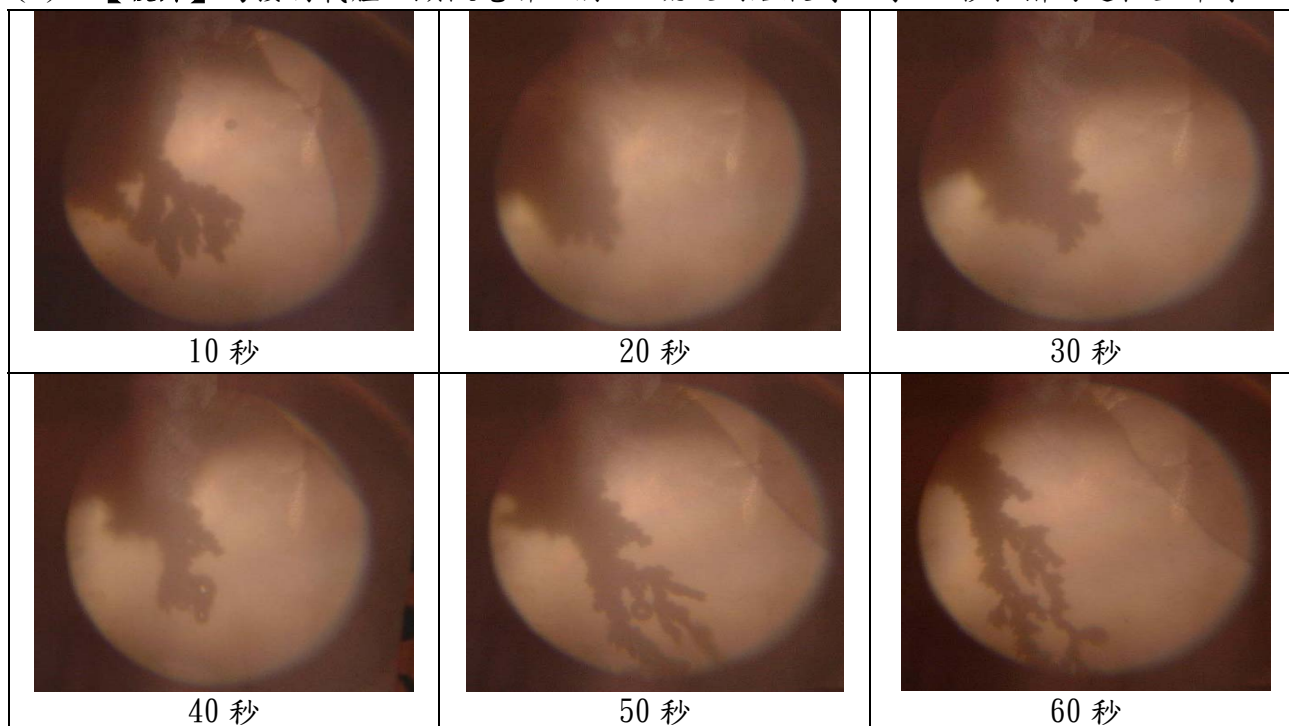
(1) 以投影片為接觸載體，顯微電解 1 滴 1M 硫酸銅溶液時，每 10 秒拍攝的過程全都錄

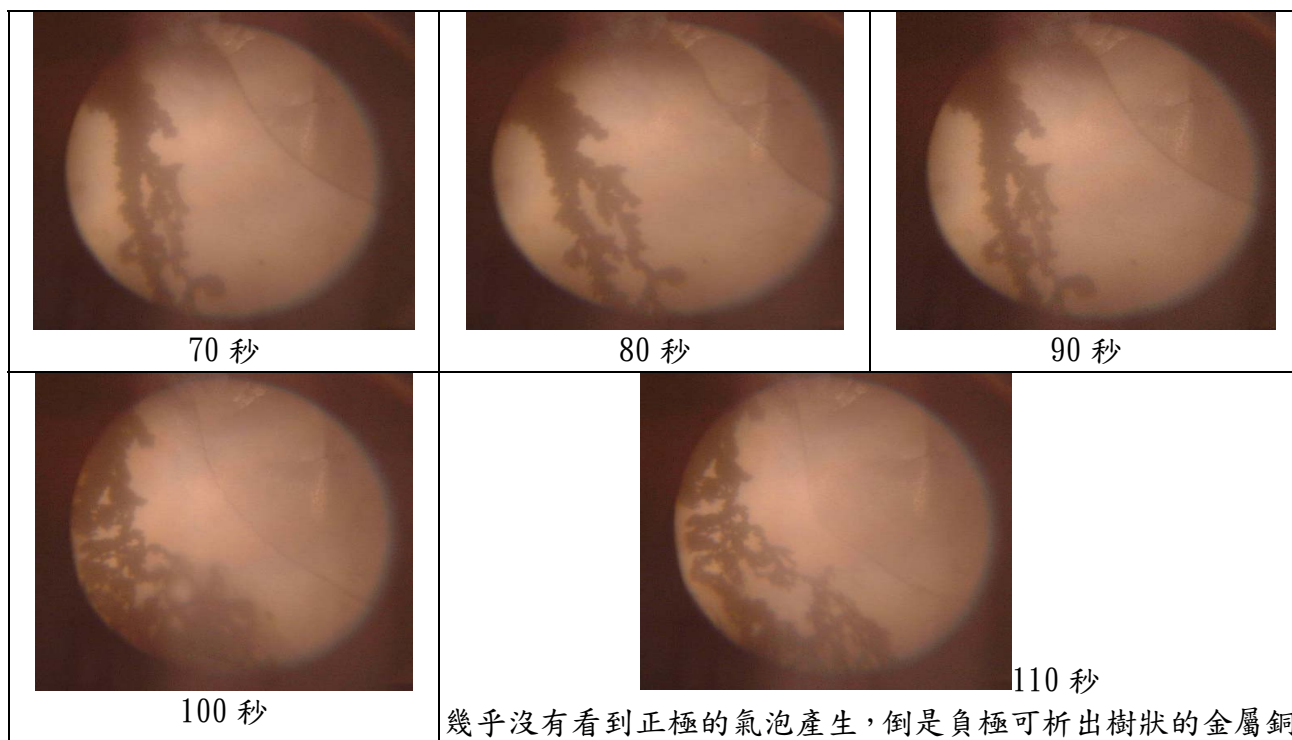




【結果歸納】過程中可看到非常多且相當快速的氣泡由正極蜂擁而出，且此群氣泡流明顯的由正極擠向負極，至於負極則形成團狀的金屬銅，且此析出物由液表先形成、再由液面而下，最後再由負極向外擠出。

(2)以【玻片】為接觸載體，顯微電解 1 滴 1M 硫酸銅溶液時，每 10 秒拍攝的過程全都錄





【結果歸納】

過程中幾乎沒有看到正極的氣泡產生，我們在想：是不是溶液在玻片上的附著力大，攤成較大面積的一滴溶液，液面高度不夠，所以氣泡不容易生成。倒是負極可析出樹枝狀的金屬銅，待樹枝狀銅析出達一定量時，才可看到微量氣泡在銅狀物上生成，但量非常的少。

實驗十一、不同直流電壓下，加熱對電解一滴 1M 硫酸銅溶液的影響

準備：自行組裝的顯微投影機、聚光散熱箱、螢幕箱、自製有等距格子的投影片、1M 硫酸銅溶液、大頭針、鱷魚夾線、直流電源供應器、毫安培計、數字型電錶、滴管、碼錶、放大鏡。

控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液

操縱變因：不同直流電源的電壓(V)下有無加熱

步驟：1 將投影片置於顯微台上，滴上 1 滴 1M 的硫酸銅備用。

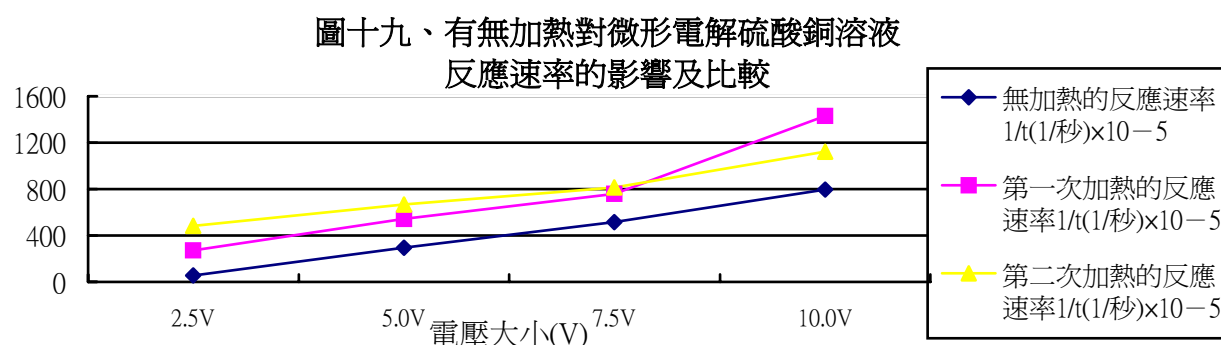
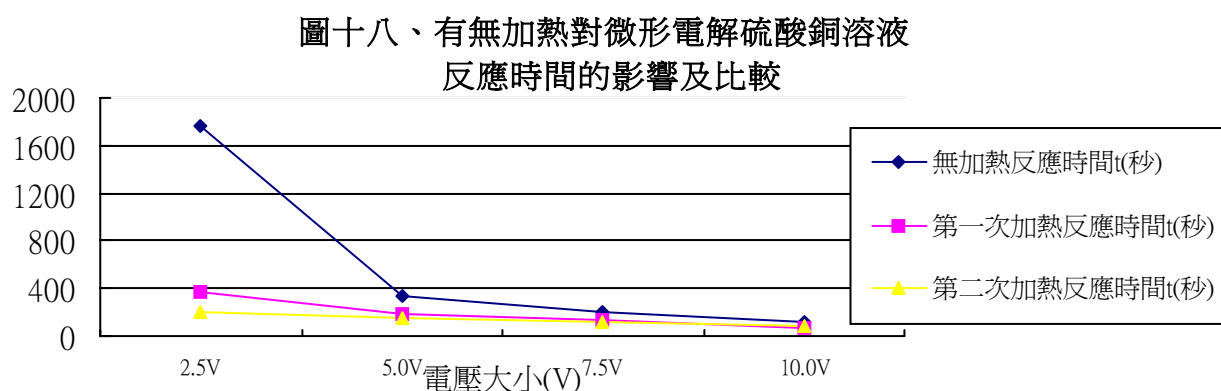
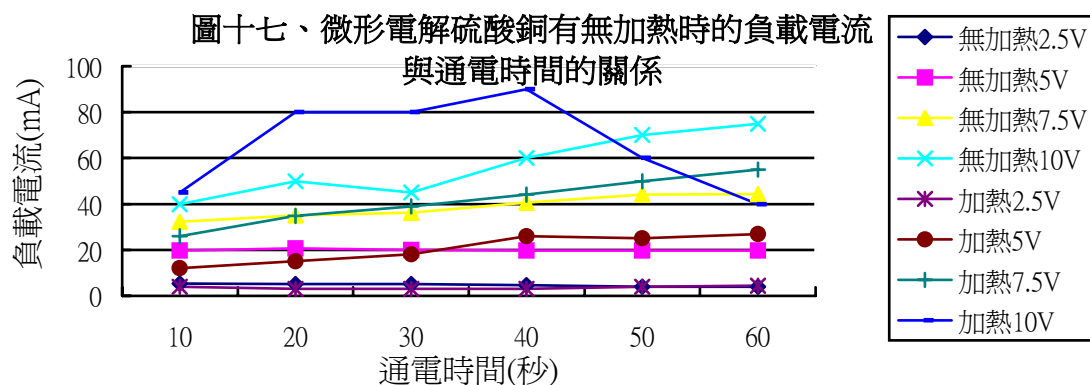
2 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後移至顯微台上，準備以不同的電壓開始電解。

3 由另一人將聚光散熱箱插上電源後，開始以碼錶每 10 秒記錄負載電壓、負載電流，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。

【實驗記錄】

第一梯次實驗平均值						
電源供應器電壓(V)	2.5V(無加溫)			負載電壓為 2.41~2.49V		
每 10 秒的負載電流(mA)	5.3	5	5	4.7	4	4
	3	3	3	3.5	4	3
	4	4	5	5	4	4.5
溶液藍色消失時間	1773					
電源供應器電壓(V)及置顯微投影處加溫	5.0V(無加溫)			負載電壓為 4.86~4.83V		
每 10 秒的負載電流(mA)	19.7	20.7	20.0	19.7	19.7	19.7
	16	18	19	21	20	20
	17	18	22	21	17	20
溶液藍色消失時間	342 秒					
電源供應器電壓(V) 及置顯微投影處加溫	7.5V(無加溫)			負載電壓為 7.40~7.52V		
每 10 秒的負載電流(mA)	32.3	35.0	36.3	40.6	44.0	44.3
	42	45	30	35	40	42
	34	36	40	40	30	35
溶液藍色消失時間	194 秒					
電源供應器電壓(V)及置顯微投影處加溫	10.0V(無加溫)			負載電壓為 9.62 ~9.78V		
每 10 秒的負載電流(mA)	40	50	45	60	70	75
	66	70	75	70	80	90
	95	90	92	110	100	90
溶液藍色消失時間	126 秒					
電源供應器電壓(V)及置顯微投影處加溫	2.5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 2.44~2.46V		
每 10 秒的負載電流(mA)	4	3	3	3	4	4.5
	4.5	4.5	4.8	4.9	4.9	5
	5.1	5.1	5.1	5	5.1	5.1
	5	6	5.1	5.1	5.1	4.9
	4.5	4.4	4	4	6	4.5
	3.1	3.1	2.9	0.9		

溶液藍色消失時間	370 秒					
電源供應器電壓(V) 及 置顯微投影處加溫	5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 4.83~4.80V		
每 10 秒的負載電流(mA)	12	15	18	26	25	27
	18	20	26	19	15	24
	21	32	31	22	2.5	
溶液藍色消失時間	185 秒					
電源供應器電壓(V)及 置顯微投影處加溫	7.5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 7.78~7.70V		
每 10 秒的負載電流(mA)	26	34.9	39	44	50	55
	60	75	40	30	11	11
	9					
溶液藍色消失時間	132 秒					
電源供應器電壓(V) 及 置顯微投影處加溫	10.0V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 7.21~7.19V		
每 10 秒的負載電流(mA)	45	80	80	90	60	40
	10					
溶液藍色消失時間	70 秒					
第二梯次實驗平均值						
電源供應器電壓(V)及 置顯微投影處加溫	2.5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 2.463~2.57V		
每 10 秒的負載電流(mA)	5	6	6.5	7	8	11
	13	13	13.9	15	15	15.5
	17	17.5	17.1	17.5	17.5	18
	19	20				
溶液藍色消失時間	206 秒					
電源供應器電壓(V) 及 置顯微投影處加溫	5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 4.87~4.92V		
每 10 秒的負載電流(mA)	20	23	27	28.5	30	41.5
	45	49	50	50	55	50
	60	55	70	3	3	
溶液藍色消失時間	約 150 秒電解完畢，電流瞬間下降					
電源供應器電壓(V)及 置顯微投影處加溫	7.5V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 6.82~7.37V		
每 10 秒的負載電流(mA)	13	15	16	19	16	20
	28	70	80	80	130	100
溶液藍色消失時間	123 秒					
電源供應器電壓(V) 及 置顯微投影處加溫	10.0V(持續加溫至反應結束)			負載電壓為 8.87~8.51V		
每 10 秒的負載電流(mA)	40	50	30	60	80	90
	120	130				
溶液藍色消失時間	89 秒					



【結果歸納】

結果很明顯的，不管是幾伏特電壓，只要有加熱均可使反應時間縮短，而使反應速率變快，而兩者並非呈反比的倍數關係。加熱時間愈長，對微形電解硫酸銅溶液的影響就愈大。數據比較如下所示：

電源電壓(V)	2.5V	5.0V	7.5V	10.0V
無加熱反應時間 t(秒)	1773	342	194	126
第一次加熱反應時間 t(秒)	370	185	132	70
第二次加熱反應時間 t(秒)	206	150	123	89
無加熱的反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-5}$	56.4	292	515	794
第一次加熱的反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-5}$	270	541	758	1429
第二次加熱的反應速率 $1/t(1/秒) \times 10^{-5}$	485	667	813	1124
無加熱/加熱的時間比或反應速率比	4.8~8.6 倍	1.85~2.28 倍	1.47~1.58 倍	1.42~1.8 倍

【目的五、微觀電解碘化鉀、鹵化鉀溶液及硫酸銅溶液的比較實驗】

想法：

- 1 市售化學參考書對碘化鉀溶液的電解實驗設計以 U 型管為溶液的載液容器，用量為 35~36 毫升，為 1 滴溶液(0.05ml)用量的 700 倍多，其他相對的檢驗用量也相對地增多，電源用 12V 的直流電源，反應時間為 10 分鐘左右。
- 2 基礎化學課本(大考通訊社編著、泰宇出版公司發行)內的簡易電池實驗設計以水彩畫用的調色盤為溶液的載液容器，用量為 2.1 毫升(左槽 1ml、右槽 1ml、中間濾紙加 2 滴用量)，電源用 9~12V 的乾電池組，為 1 滴溶液(0.05ml)用量的 42 倍，而需 6~8 顆 1.5V 乾電池串聯組才有 9~12V 的電壓大小，以石蕊試紙檢驗正、負極的 pH 值等。

實驗十二、微觀電解一滴碘化鉀溶液、鹵化鉀溶液及硫酸銅溶液的比較實驗

準備：自製有等距格子的投影片、0.5M 碘化鉀溶液、0.5M 鹵化鉀溶液、0.5M 硫酸銅溶液、大頭針、鉛筆心、鱷魚夾線、1600mah 充電電池 2 顆、電池座、毫安培計、滴管、碼錶、放大鏡、自行組裝的顯微投影機、聚光散熱箱、螢幕箱。

控制變因：電極相距一滴溶液 0.5cm 邊緣(1 方格大小)、電解液均為 1 滴 0.5M 的溶液

操縱變因：不同電極材料及不同溶液種類

步驟：1 以電腦繪出 0.5cm 等距的方格子，再影印至投影片上，剪下一 3cmx5 cm 的長條狀，同樣也剪下同大小的空白投影片備用。

2 投影片有方格的在下，無方格的在上，將接好電源座的鱷魚夾線夾住大頭針電極，小心對準 1 個小方格線上，再以膠布黏好固定，滴上 1 滴 0.5M 的溶液後開始電解。

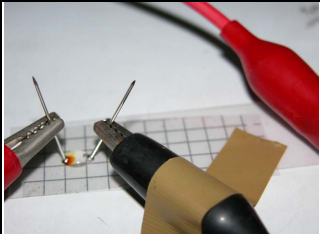
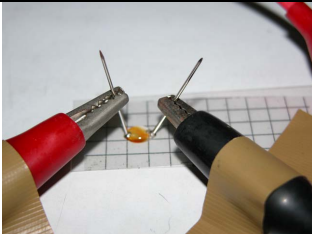
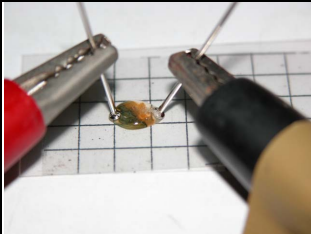

3 視不同的反應快慢計時拍照，等反應不再有變化時，正負電極各用半截的廣用試紙測試其酸鹼性，結果如下圖所示。

4 更換電極或溶液，再進行電解。

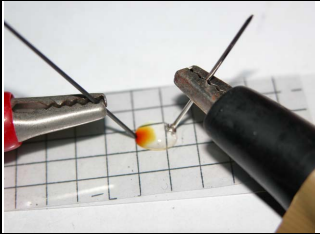
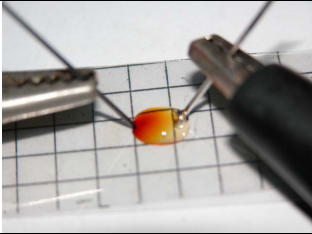
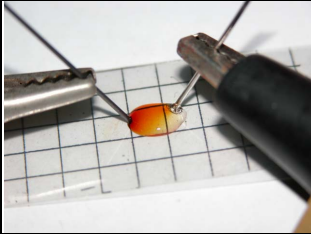
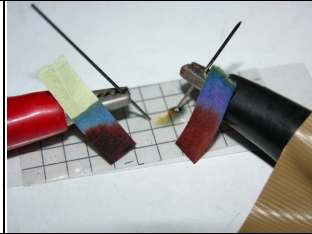
5 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後移至顯微投影機上，準備一滴的顯微電解。

【實驗記錄】

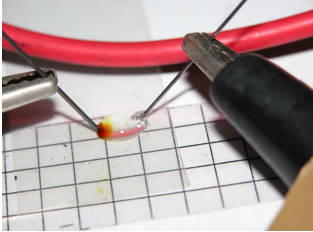
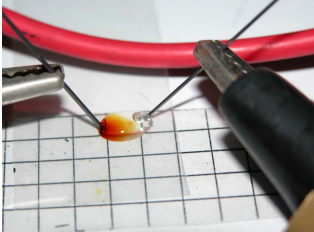
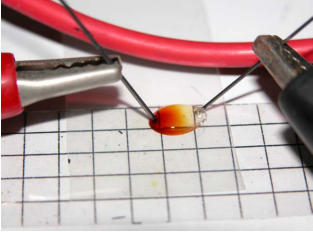
1(1)電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
10 秒內明顯看到正極產生黃褐色離子，而負極產生無色氣泡 (30 秒時拍的影像)	(1 分鐘時拍的影像)	靠近中間地方形成黃褐帶點綠色的膠狀物沉澱物 (3 分鐘時拍的影像)	廣用試紙沾正極溶液呈黃橙色、負極溶液呈藍紫色

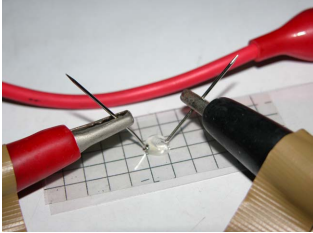
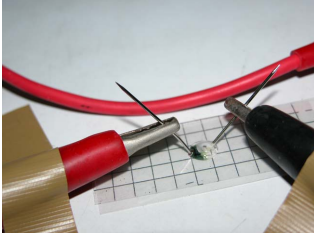
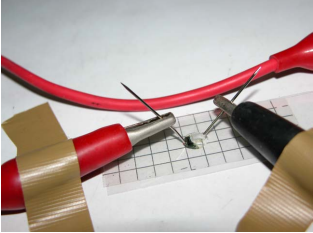
(2)電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極鉛筆心、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
20 秒內明顯看到正極產生黃褐色離子，而負極產生無色氣泡，電流強度只有 1mA 而已 (2 分鐘時拍的影像)	電流仍只有 1mA 左右而已所以反應稍慢 (4 分鐘時拍的影像)	6 分鐘時仍只有 1mA 而已 (6 分鐘時拍的影像)，一直到 12 分鐘時仍無沉澱物生成	廣用試紙沾正極溶液呈淺藍色、負極溶液呈深藍色，且受最終棕褐色生成物的影響而染成紅棕色的顏色

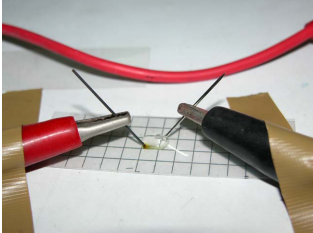
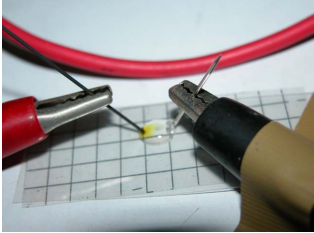
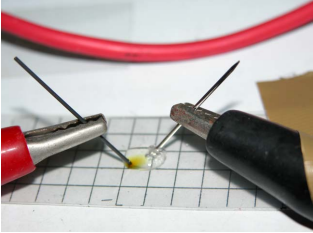
(3) 電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極鉛筆心、右為負極鉛筆心電極)的反應圖片

			廣用試紙沾正極溶液呈淺藍色、負極溶液呈淺藍色，且受最終黃棕色生成物的影響，正極被染成黃色的顏色，負極則維持淺藍色
30 秒內明顯看到正極產生黃褐色離子，而負極產生無色氣泡，電流強度不到 1mA (2 分鐘時拍的影像)	電流仍不到 1mA，所以反應更慢 (4 分鐘時拍的影像)	10 分鐘時仍不到 1mA (10 分鐘時拍的影像)，也一直都無沉澱物生成	

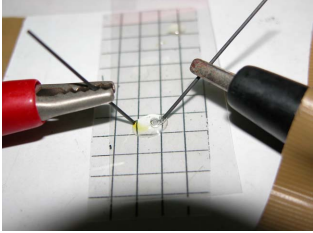
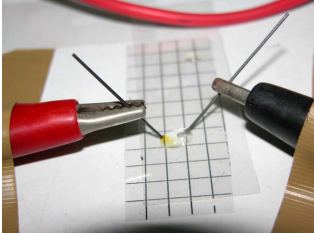
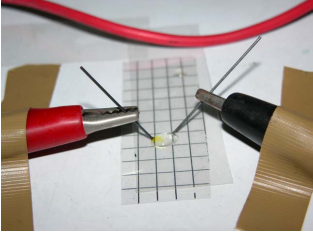
2(1) 電解 1 滴 0.5MKBr 溶液的電解情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			廣用試紙沾正極溶液呈淺藍色、負極溶液呈藍色，在靠近正極處產生草綠色沉澱物，乾燥後沉澱物轉成黃棕色
1 分鐘內明顯看到正極產生草綠色沉澱物，而負極產生無色氣泡(快速)，電流強度 12~14mA	正極產生草綠色沉澱物更加明顯，負極無色氣泡一樣比 KI 溶液的快(2 分鐘時拍的影像)	(3 分鐘時拍的影像)	

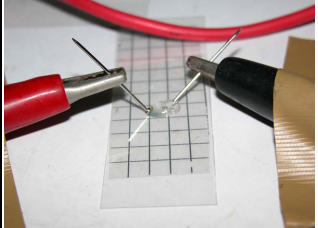
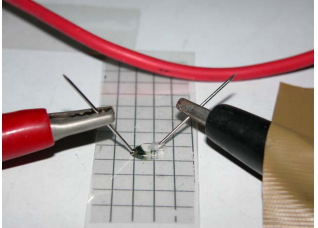
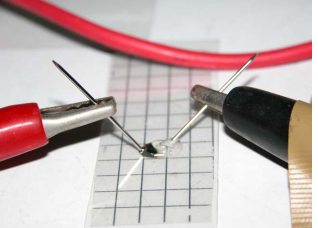
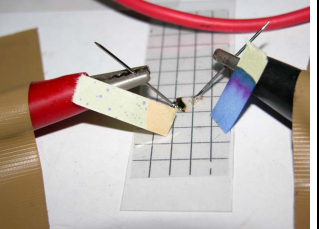
2(2) 電解 1 滴 0.5MKBr 溶液的電解情形(左為正極鉛筆心、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			廣用試紙沾正極溶液呈淺藍色轉綠色、負極溶液呈淺藍色轉綠色，反應後無任何的沉澱物生成
1 分鐘時已看到正極產生黃棕色物質，負極產生無色氣泡(不快速)，電流強度降為 3.5~2.5mA 的大小	3 分鐘時明顯看到正極產生更多的黃棕色物質，負極產生無色氣泡仍不快速，電流強度降為 2.5mA 的大小	5 分鐘時只是看到正極更多的黃棕色物質，直到 10 分鐘時的變化仍無改變	

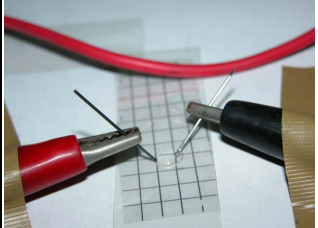
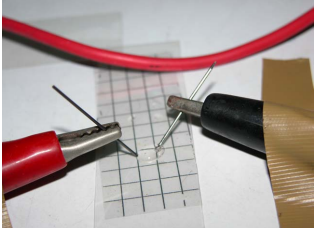
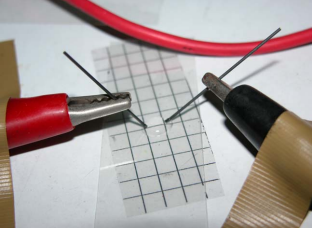
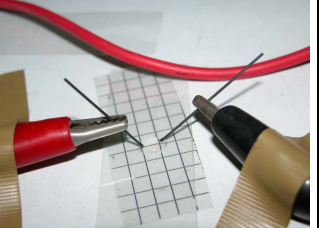
2(3) 電解 1 滴 0.5MKBr 溶液的電解情形(左為正極鉛筆心、右為負極鉛筆心電極)的反應圖片

			廣用試紙沾正極溶液呈淺藍色轉綠色、負極溶液呈淺藍色轉綠色，反應後無任何的沉澱物生成
1 分鐘時已看到正極產生黃棕色物質，負極產生無色氣泡(不快速)，電流強度降為 2~1.5mA 的大小	3 分鐘時看到正極產生稍多的黃棕色物質，負極產生無色氣泡變慢，電流強度降為 1.5mA 的大小	5 分鐘時與 3 分鐘的變化差異不大	

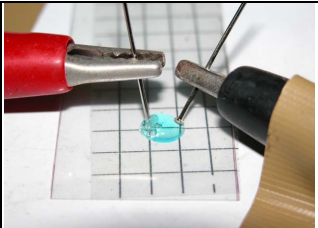
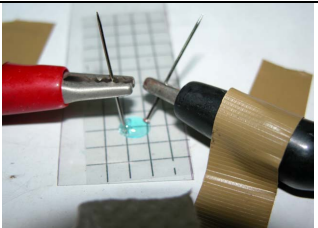
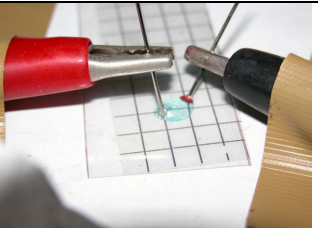
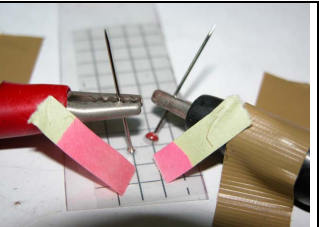
3(1)電解 1 滴 0.5MKCl 溶液的電解情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
1 分鐘時在正極產生草綠色的沉澱物，負極則產生快速的氣泡，電流強度為 8mA 並有上升的趨勢	2 分鐘時正極產生草綠色的沉澱物更多、更加明顯，氣泡速率仍不小	3~5 分鐘時沉澱量不再增加	廣用試紙沾正極溶液呈橙色、負極溶液呈藍色反應，在靠近正極處產生草綠色沉澱物，乾燥後沉澱物轉成黃棕色

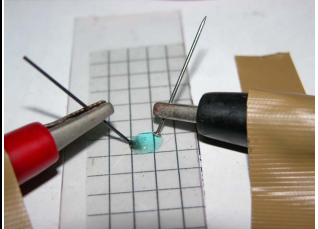
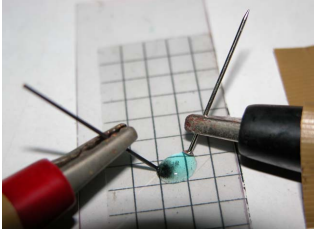
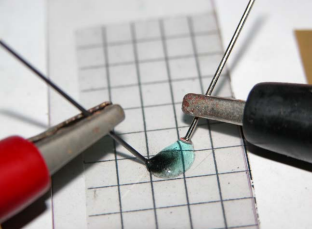
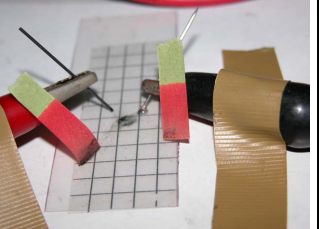
3(2)電解 1 滴 0.5MKCl 溶液的電解情形反應圖片

左為正極鉛筆心、右為負極大頭針電極		左為正極鉛筆心、右為負極鉛筆心電極	
			
2 分鐘時看不清有無氣泡生成，因此時電流始終沒有明顯的讀數出來，也無沉澱物生成	4 分鐘時略有氣泡生成，但不明顯，以廣用試紙沾正極溶液呈黃色、負極溶液呈淺藍色反應	2 分鐘時略有氣泡生成，因此時電流有 0.5mA 的讀數出來，無沉澱物生成	4 分鐘時略有氣泡生成，但一樣明顯，以廣用試紙沾正極溶液呈黃色、負極溶液呈綠至淺藍色反應

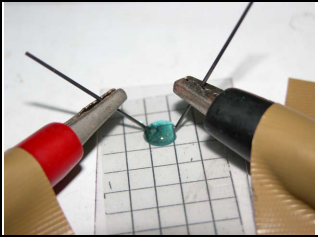
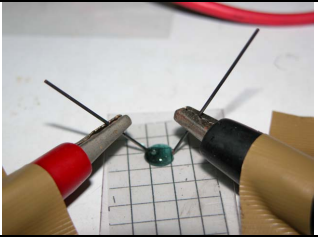
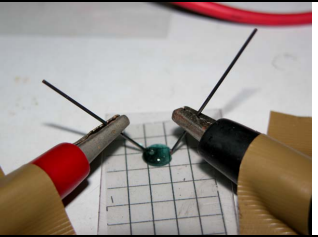
4(1)電解 1 滴 0.5MCuSO₄ 溶液的情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
10 秒內就可看到正極有氣泡生成，電流強度為 5mA 且上升至 7mA 左右，1 分鐘時看到負極有銅析出	2 分鐘時已明顯看出藍色溶液變淺，電流強度已為 7mA 以上，正極氣泡生成速率變大	3 分鐘時藍色溶液變更淺，電流強度為 7mA 左右，負極有明顯的銅析出	電解後以廣用試紙沾正極溶液呈紅色、負極溶液亦呈紅色反應


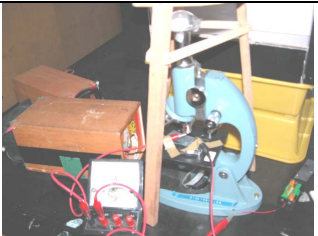

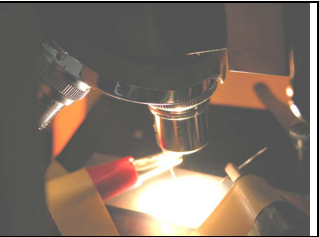

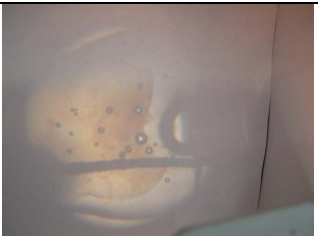
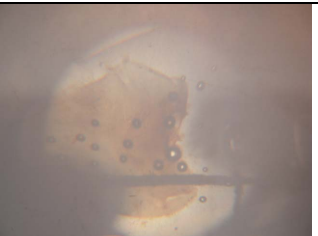
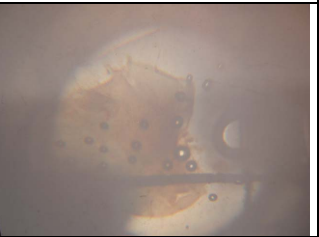
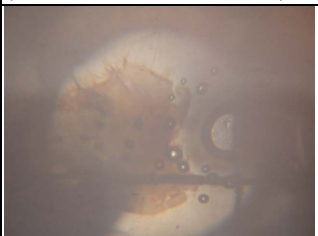
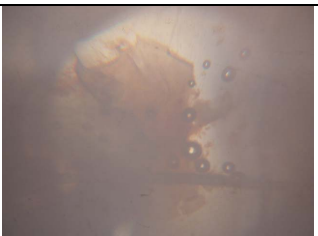
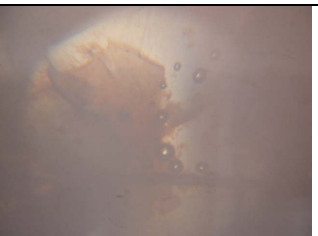

4(2)電解 1 滴 0.5MCuSO₄ 溶液的情形(左為正極鉛筆心、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
1 分鐘時已看到正極黑色鉛筆心溶解且產生氣泡，電流強度只有 2mA 左右	3 分鐘時已明顯看出正極黑色鉛筆心溶解得更多、氣泡也不少，電流強度維持 2mA 左右	5 分鐘時正極黑色鉛筆心溶解得更多，負極銅析出不如 4(1)的明顯	電解後以廣用試紙沾正極溶液呈紅色、負極溶液亦呈紅色反應，最後可看到黑色殘留的沉澱物

4(3) 電解 1 滴 0.5M CuSO₄ 溶液的情形(左為正極鉛筆心、右為負極鉛筆心電極)的反應圖片

			電解後以廣用試紙沾正極溶液呈紅色、負極溶液亦呈紅色反應，最後可看到更多黑色殘留的沉澱物
1 分鐘時已看到正極處不少的黑色鉛筆心溶解且產生氣泡，電流強度有 2.5mA 左右	2 分鐘時已明顯看出正極黑色鉛筆心溶解得更多、氣泡也不少，電流強度維持在 2.5mA 左右	3 分鐘時正極黑色鉛筆心溶解得更多，正極氣泡觀察更不易了	

5 顯微電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片

			
研究室內的顯微投影機	改裝後的顯微鏡座	有方格的投影片為載液面	聚光後進行顯微電解情形
			
0.5cm 方格在投影螢幕上(因無遮光拍照時太亮了)	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 10 秒時的情形	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 20 秒時的情形	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 30 秒時的情形
			
顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 40 秒時的情形	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 50 秒時的情形	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 60 秒時的情形	顯微電解 1 滴碘化鉀溶液反應 90 秒時的情形

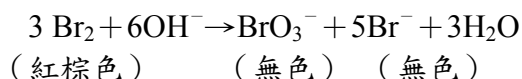
【結果歸納】

1 我發現電解碘化鉀溶液以大頭針或鉛筆心做電極的結果頗有些不同，仔細分析原因並研究其原理及反應如下：

- (1) $KI \rightarrow K^+ + I^-$ 外加電能迫使正離子 K^+ 向負極移動，但因其還原電位較低，所以負極反應應該產生氫氣的氣泡 ($2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$)，負離子 I^- 則向正極移動，所以正極反應應該有產生棕褐色的 I_3^- ($2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ $I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$)，這是為什麼在 30 秒內不管正極用何種電極都有產生黃褐色物質的原因了。
- (2) 然而正極若使用大頭針為材料，則應產生另一氧化反應 ($Fe \rightarrow Fe^{2+} \text{綠色} + 2e^-$ 或 $Fe \rightarrow Fe^{3+} \text{淡黃色} + 3e^-$) 所以才會在中間地區與負極產生的 OH^- 生成黃褐及帶點綠色的膠狀沉澱物質 ($Fe^{3+} \text{淡黃色} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 \text{紅褐色沉澱物}$)。至於正極若使用鉛筆心，則反應因無鐵離子，所以並不會在正負極交接處產生沉澱物。
- (3) 又在一滴溶液的中间產生明顯的無色界面，其反應為 $3I_2 + 6OH^- \rightarrow IO_3^- + 5I^- + 3H_2O$
(棕褐色) (無色) (無色)

2 電解溴化鉀溶液以大頭針或鉛筆心做電極的結果也有些不同，仔細分析原因有些反應與碘化鉀溶液的相似，其原理及反應如下：

- (1) $\text{KBr} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Br}^-$ 外加電能也如碘化鉀溶液的負極反應應產生氫氣的氣泡 ($2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$)，負離子 Br^- 則向正極移動，所以正極反應該有產生棕色的 Br_3^- ($2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}^-$ $\text{Br}_2 + \text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_3^-$)，這是為什麼不管正極用何種電極都有產生黃褐色物質的原因了。
- (2) 正極若使用大頭針為材料，則也應產生另一氧化反應 ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ 綠色 $+ 2\text{e}^-$ 或 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 淡黃色 $+ 3\text{e}^-$)，但我發現所有控制變因均與碘化鉀相同的溴化鉀溶液，電解 KBr 時的電流強度均遠大於 KI ，氣泡產生的速率較大，所以才會將鐵離子與負極產生的 OH^- 生成黃褐及帶點草綠色的膠狀沉澱物質沖到正極地區 (Fe^{3+} 淡黃色 $+ 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ 紅褐色沉澱物)。至於正極若使用鉛筆心，則反應因無鐵離子，所以也不會產生沉澱物。
- (3) 又在一滴溶液的中間也產生明顯的無色界面，其反應如下



3 電解氯化鉀溶液的情形：

- (1) 正極若使用大頭針為材料，則正極亦有草綠色的膠狀沉澱物質生成，氣泡的生成速率也不小，但一旦正極改為鉛筆心，則電流強度會變得小很多，氣泡的生成速率也變慢。由此可知，電極的活性對電解速率的影響不小。
- (2) 正極改為鉛筆心或正、負極均改為鉛筆心，電流就小得非常的多，而且也沒有產生棕色的有色物質。

4 電解硫酸銅溶液的情形：

- (1) 不論遇何種正極電極，正極均有產生氣泡而負極則有銅析出，對於酸鹼值的測定，兩極均呈現桃紅色的強酸變色。結果如此強的酸最後就把鉛筆心給溶了。
 - (2) 與鹵化鉀同時比較電流強度大小發現，電流強度大反應就快，所以，對照下得知硫酸銅的電解反應速率不如溴化鉀及氯化鉀的速率，但大於碘化鉀的反應速率。
- 5 電解後小心測各溶液正負極的酸鹼情形發現，除了反應後變更酸的硫酸銅溶液外，其餘大部份的鹵化鉀負極均呈現鹼性的變色反應，而若小心的操作一滴溶液的實驗，應可讓大部份的正極溶液略呈弱酸性反應。

由廣用試紙的顏色變化對照得知上述電解質電解前後的 pH 值如下：

電解質	電解前的 pH 值	電解後的 pH 值	
		正極	負極
碘化鉀	6	5	13
溴化鉀	6~7	5~6	12
氯化鉀	6~7	4~5	13
硫酸銅	4~5	1	4~5

- 6 顯微電解一滴 KI 溶液的投影效果拍攝畫面時沒有遮光，所以拍的效果不是很理想，所以這個部份與顯微結合電子投影螢幕放大並於電腦中播放的部份就留到現場再展示。

五. 心得討論與建議

- 1 在目的「一滴溶液的載液面比較」中找到了適合微形電解的載液面-『投影片』。
- 2 在目的二「一滴溶液的載液面放大設計及比較實驗」中也找到了合適的『大頭針』為正負電極；製作簡單的放大鏡台，使此一滴溶液落在透鏡的物距一倍焦距內而生成正立放大虛像，供一人操作觀看，判讀顏色變化，以減少實驗誤差。自組的顯微投影機的放大效果也達到了多人一組可同時觀看的目的。
- 3 在目的三「以一滴溶液實驗探討影響電解硫酸銅溶液的因素」中成功的在更短時間內把定量的硫酸銅溶液給電解完，且找出一般變因及磁場、溫度對其反應速率的關係如下：
 - (1). 電壓愈大，反應時間愈短，反應速率愈大，電壓與反應速率似乎可看出成正比的關係。
 - (2) 相同電極的電位差較小，反應時間較長，所以反應速率比較慢；不同電極間的電位差比較大
 - (3) 根據化學計量，溶質量愈多，電解同濃度硫酸銅溶液的藍色溶液變無色的反應時間亦應增長
 - (4) 同樣一滴不同濃度的硫酸銅溶液，其所含的硫酸銅溶質量的莫耳數比 1：2：3：4，反應由藍色溶液變無色的時間亦應溶質量愈高，反應時間愈長。由濃度與反應時間成正比的線性迴歸曲線，由 $R^2=0.9968$ 值接近 1 可知，此定量實驗的準確性不差。所以我們將未知濃度的反應時間(y 項)偵測出來後，代入此線性迴歸曲線公式中 $y=39.94x+103.8$ 作為檢量線，即可推算出未知濃度的(x)值。這三次實驗只用 3x4 滴溶液，也是不到 1ml 的量，同樣證明了微形實驗的可行性！
 - (5) 外加磁場與通有電流的硫酸銅電解液兩者間有明顯的交互作用，因為外加磁場使得正負離子運動速率加快，所以才會增大負載電流大小，而使反應的時間縮短、反應速率加快。且實驗也證實外加磁場與電極擺放角度也有不同程度的影響，在相同電壓下，同濃度的 CuSO_4 溶液量，反應前 60 秒的負載電流大小比較為：外加磁場平行正、負極的夾角 $>$ 外加磁場與正、負極的夾角呈 45 度 $>$ 外加磁場與正、負極的夾角呈 90 度 $>$ 沒有外加磁場的。
 - (6) 實驗證明只要有加熱均可使反應時間縮短，而使反應速率變快，而且兩者並非呈反比的倍數關係。加熱時間愈長，對微形電解硫酸銅溶液的影響就愈大。
- 4 在目的四「微觀電解硫酸銅溶液的實驗」中成功的以【投影片】為接觸載體，每 10 秒拍攝顯微電解 1 滴 1M 硫酸銅溶液的過程中可看到非常多且相當快速的氣泡由正極蜂擁而出，且此群氣泡流明顯的由正極擠向負極，至於負極則形成團狀的金屬銅，且此析出物由液表先形成、再由液面而下，最後再由負極向外擠出。以【玻片】為接觸載體，每 10 秒拍攝顯微電解 1 滴 1M 硫酸銅溶液的過程中則幾乎沒有看到正極的氣泡產生，倒是在負極可析出樹枝狀的金屬銅，待樹枝狀銅析出達一定量時，才可看到微量氣泡在銅狀物上生成，但量非常的少。
5. 在目的五「微觀電解碘化鉀溶液、鹵化鉀溶液及硫酸銅溶液的比較實驗」中發現
 - (1) 正極若以大頭針為材料，則會在中間或正極地區應產生黃帶點綠色(Fe^{2+})的膠狀沉澱物質(Fe^{3+} 淡黃色 + $3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ 紅褐色沉澱物)，鉛筆心做電極的結果則不同，因反應中無鐵離子，所以並不會在正負極交接處產生沉澱物。有的又在一滴溶液的中間產生明顯的無色界面。
 - (2) 由電解氯化鉀溶液的電極可知，活性對電解速率的影響也不小，正極改為鉛筆心或正、負極均改為鉛筆心，電流就小得非常的多。
 - (3) 電解後小心測各溶液正負極的酸鹼情形發現，除了反應後變更酸的硫酸銅溶液外，其餘大部份的鹵化鉀負極均呈現鹼性的變色反應，而若小心的操作一滴溶液的實驗，應可讓大部份的正極溶液略呈弱酸性反應。

六. 未來展望

在大環境如此惡劣的情形下，環境污染的考量是設計化學實驗最重要的一個重點，就在我們鍥而不舍的追逐更環保有效的實驗方法及過程中，終於證明『以一滴溶液來做化學實驗』是相當可行的。我相信化學的顯微實驗應是可以大力推廣且各校均可自組裝置的新實驗法。

感謝在國中時有一路辛苦相伴的指導老師的指導，讓我有未來可以繼續研究下去的開端，上了高中後的化學實驗，我就可以做類似的設計與發揮，希望未來大家也能共同為環保的化學實驗繼續努力！

七. 參考資料

No	書名及作者	出版社
1	高中基礎理化 簡易電解實驗	大考通訊社主編
2	國中理化第一冊第四章、第三冊第十三章、第十四章	國立編譯館主編
3	高中物理光學部分	國立編譯館主編
4	實用光學第六章 楊建人譯	徐氏基金會出版
5	物理 Vincent P. Coletta 第十六章 光學 李端真等編譯	高立圖書有限公司
6	全國第四十三屆化學科展作品	

評語及建議事項

實驗簡單，只應用 KI 之電解產生 H_2 氧與 I_2 ，但將此細微變化置於顯微鏡之下，可給人一目了然，觀測該細微變化的過程，對於科學教育有幫助，可當作教具展示，但科學的內涵則不足。由於本實驗應用顯微鏡觀測，LCD 供測，影像處理清晰。