

化學科

科別：化學科

組別：國中組

作品名稱：化學顯微實驗的新紀元

關鍵詞：載液面、微形電解、顯微投影

編號：030206

學校名稱：

台中縣立豐東國民中學

作者姓名：

何書慧、魏薇珉、簡碩廷、何蕙如

指導老師：

賴月琴、簡金標



摘要

去年由課本高廢液量的電解電鍍實驗，我們已成功的減量至 1/28 及 1/400 倍劑量的自製小型電解電鍍槽(2.5ml)，今年再以突破性的一~二滴 (0.05~0.1ml) 用量即可在短時間內，以省時、省資源的情況下做實驗，但我們每人架設一個放大鏡台觀察實驗還可以，多人同一組觀察則不易，所以我們最後向高難度挑戰：由學校已報廢的投影機內組件及顯微鏡自組出顯微投影機、自設螢幕及聚光散熱箱等，以『一滴溶液做電解電鍍的顯微投影實驗』放大到全組或全班均可看到的結果。最重要的是確實已達到『真正零廢液污染』的目標。

壹、研究動機

老師上課講到奈米科技時，真是震撼人心！但一想到我們做過的一些傳統實驗竟是如此的浪費藥品、剩餘藥品又要大費周章的想辦法廢液處理時，如此的實驗設計真的很難令人服氣，也實在令人嘆息！難道微形實驗不可能在我們的實驗室上演？難道零廢液的實驗是個遙不可及的夢想？

新年新希望，我希望除了能順利的考上理想學校以外，也希望我已參加二年多的科展能有更創新、更突破性的發展！爲了能從前所未有的一滴溶液中探索出另一個實驗的空間、開創另一扇微形實驗的戰場，在學校科研社指導老師及學弟妹們的辛苦幫忙下，希望我的環保夢能築夢踏實且獲得廣大的迴響！

貳、研究目的

- 1.設計微形電解硫酸銅實驗的可行性
- 2.比較電壓、電極、電極間距、溶液濃度等一般變因對微形電解硫酸銅溶液的影響
- 3.比較外加磁場對微形電解硫酸銅溶液的影響
- 4.以凸透鏡及平面鏡改裝顯微鏡頭到可顯微放大一滴實驗的可行性
- 5.微觀電解一滴硫酸銅溶液受外在溫度的影響
- 6.比較傳統、去年自製設計的電解電鍍槽及今年一滴微形電解電鍍的差異

參、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	硝酸鉀
7	玻片、載玻片	20	放大鏡	33	硫酸鋅
8	雙面膠	21	三角鐵架	34	氯化鈉
9	鉛筆心	22	培養皿	35	糖
10	鐵釘	23	強力方型磁鐵	36	二鉻酸鉀
11	鋁箔	24	膠帶	37	過錳酸鉀
12	銅箔	25	數位相機	38	硫酸亞鐵
13	滴管	26	數位攝影機		

肆、研究過程及方法

【目的一、設計微形電解硫酸銅實驗的可行性】

想法：

- 1 去年電解電鍍的改良實驗，我們已成功的減量至課本高廢液劑量的 1/28 及 1/400 用量(2.5 ml)。今年我們準備向從未有人做過一滴溶液做電解電鍍的實驗挑戰，且除了自己能觀察外，希望能進展到自製高難度的顯微投影機以放大到全組或全班均可看到的微形實驗的目標。
- 2 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！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，也曾想製作印刷紙電極，效果也很不理想，尋覓及到最後，我們決定以玻片、投影片及雙面膠來做一滴溶液的載物面。
- 3 一滴溶液的觀察並不容易，電極的選擇、設計操作上也須特別注意變因的控制才不會誤差太大。所以，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、便宜、較無污染性，可重覆使用或作資源回收。

實驗一、不同濃度硫酸銅溶液在不同載物面上的液滴及微形電解比較

準備：玻片、投影片、雙面膠、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：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、電解比較

- 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 數位攝影機置於固定角架上，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，如現場圖片所示。
 - 4 將溶液改為蒸餾水及其他濃度的 CuSO_4 溶液，如以上步驟操作之。
 - 5 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。
 - 6 將玻片、投影片、雙面膠黏在投影片上，將三者擺在長尺上，各加 1 滴 1M 硫酸銅溶液，以放大鏡觀察三種載液面的直徑、高度、表面張力角度。
 - 7 將黏好的三角鐵架小心的擺在步驟 2 的載液面上，再移入已接好直流電源供應器、毫安培計、鱷魚夾線的大頭針，開始電解看看，裝置如下面相片所示。



以直尺度量液滴的直徑

在放大鏡台上觀察一滴溶液的電解

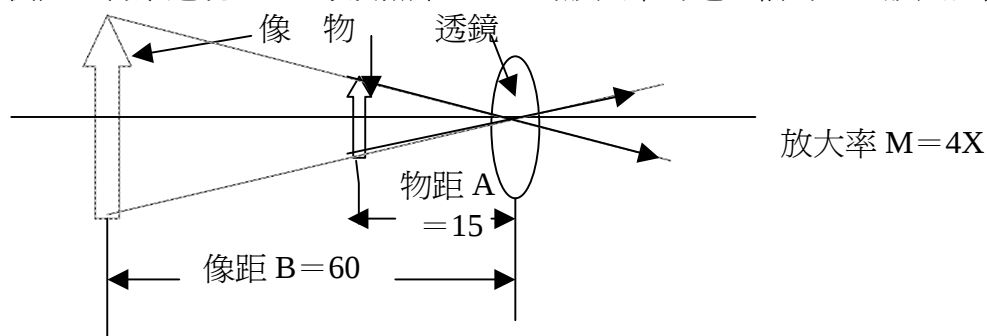
安培計讀數亦可放大觀察

硫酸銅濃度	0	0	0	0.1M	0.1M	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	0.2M	0.2M	0.3M	0.3M	0.3 M
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	0.4M	0.4M	0.5M	0.5M	0.5 M
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	0.6M	0.6M	0.7M	0.7M	0.7 M
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	0.8M	0.8M	0.9M	0.9M	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	1.0M	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			

【結果與討論】

1 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 的放大率可達四倍的正立放大虛像。



2 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	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°

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
------	---------------------------------	------------------------------------	-------------------------------

3 最後我們決定以透明的投影片做載液面最為合適，分析原因如下：

(1)我們本來就想把一滴溶液投影放大，**透明的投影片**應比玻片的會破且可重覆使用更合適。
(2)投影片與溶液的附著力較小，除非溶液為特別有機溶劑類的有會被溶解的顧慮，對於硫酸銅溶液則完全無反應且其乾燥後亦很容易剝落不留痕跡，尤其電解後的銅析出物可容易集中回收處理，而玻片較易散開、雙面膠附著力太強粒子移動阻力較大等，均使回收及集中處理不易。所以，以下的實驗都是將溶液滴在投影片上來進行實驗。

【目的二、比較電壓、電極、電極間距、溶液濃度等一般變因對微形電解硫酸銅溶液的影響】

想法：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，現在我們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，希望這個想法能夠有好的開始。

實驗二、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。

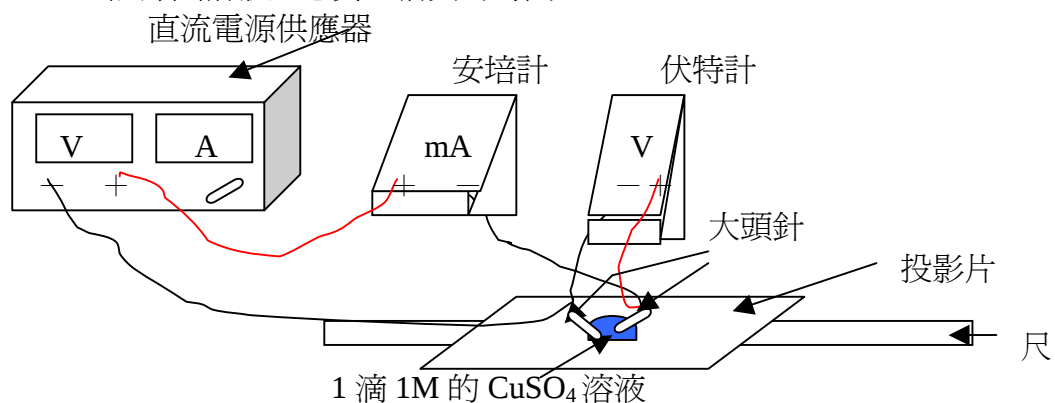
控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液

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。

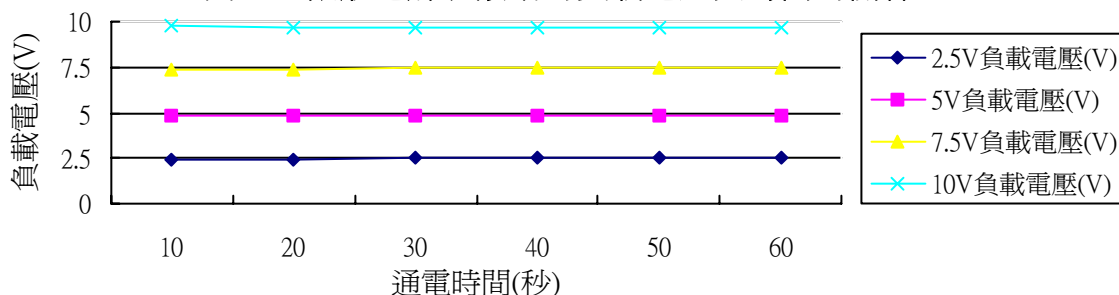


三次實驗的平均值

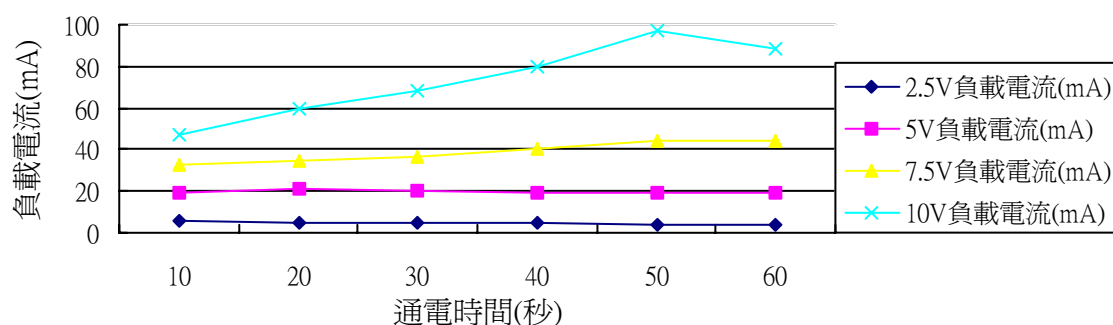
電源供應器電壓(V)	2.5V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	2.41	2.44	2.49	2.48	2.49	2.49
負載電流(mA)	5.3	5.0	5.0	4.7	4.0	4.0
溶液藍色消失時間	1773 秒					
電源供應器電壓(V)	5.0V					
通電時間(秒)	10	20	30	40	50	60
負載電壓(V)	4.86	6.86	4.86	4.84	4.84	4.83
負載電流(mA)	19.7	20.7	20.0	19.7	19.7	19.7

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					

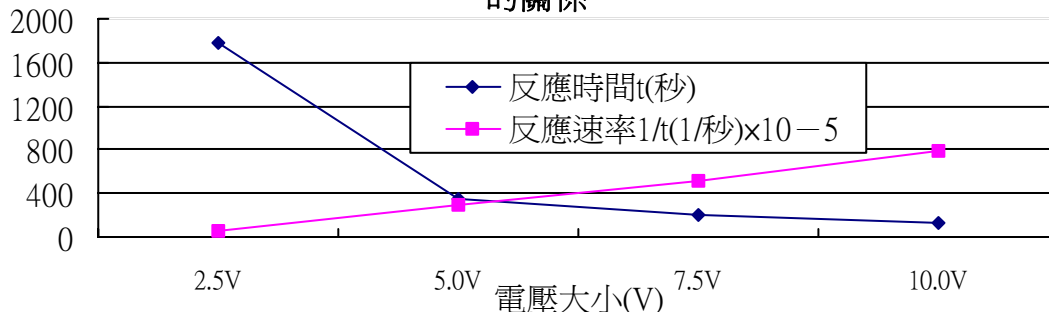
圖一、微形電解硫酸銅的負載電壓與時間的關係



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



【結果與討論】

1. 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。

2.同樣的，正極的氧氣泡生成速率亦為 $10V > 7.5V > 5.0V > 2.5V$ 。

3.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 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	56.4	292	515	794

實驗三、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。

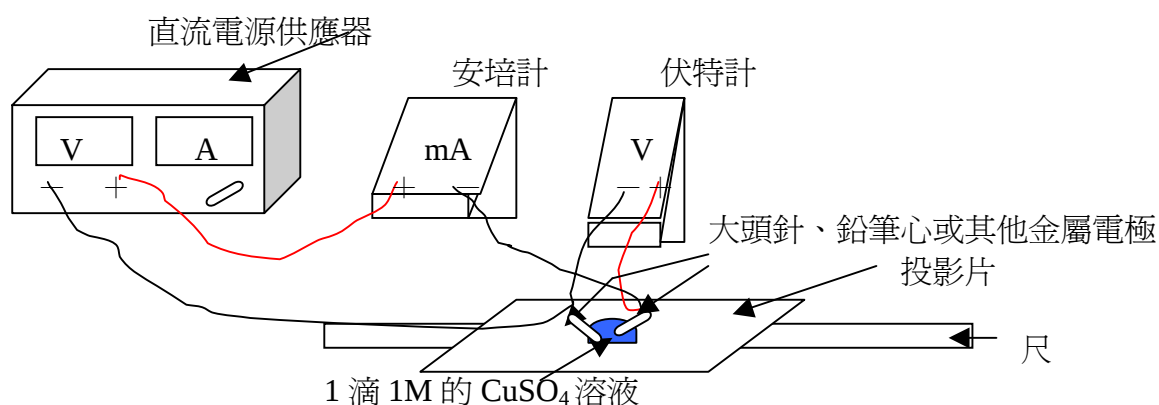
控制變因：電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液、直流電源的電壓為 5V

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。

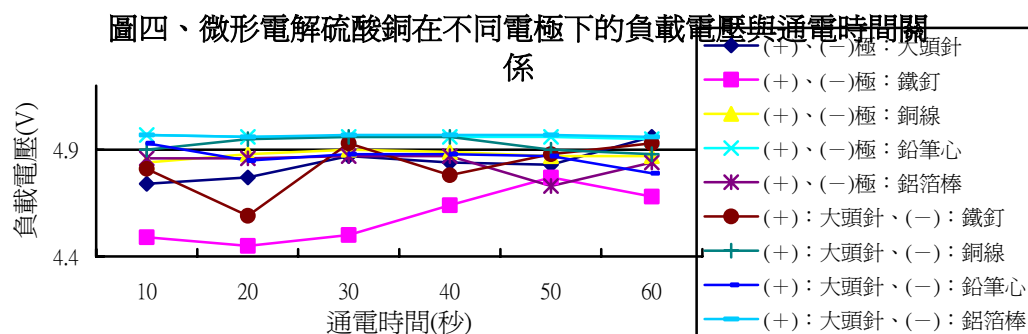
3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。

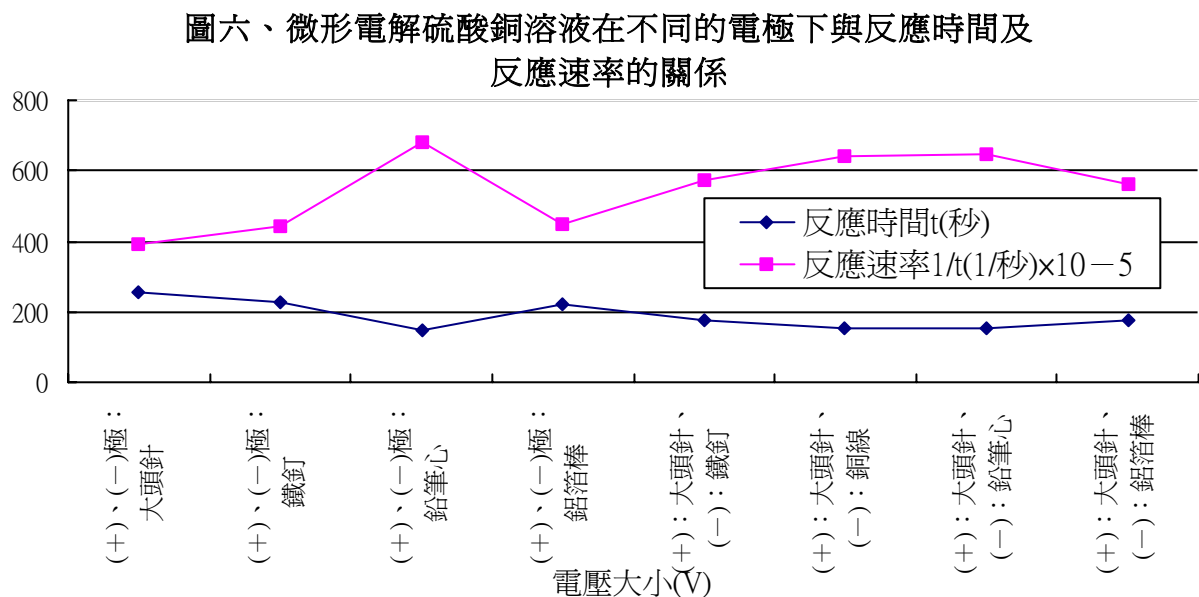
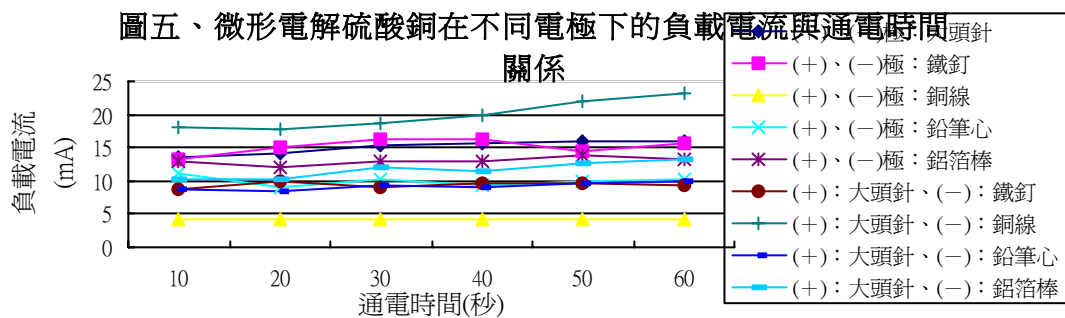


三次實驗的平均值

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					





【結果與討論】

- 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！
- 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。
- 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

實驗四、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。

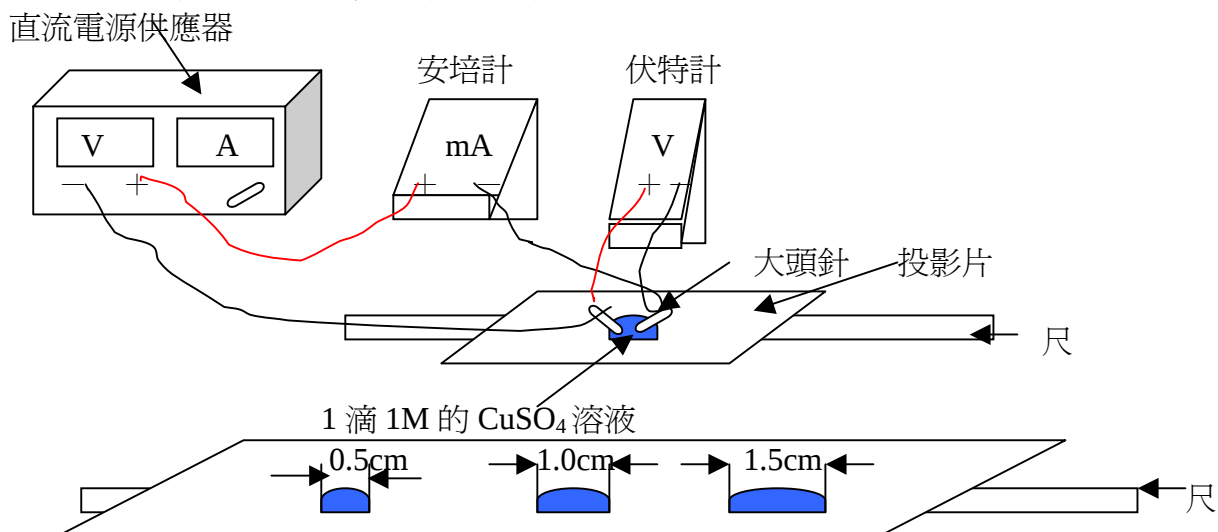
控制變因：正負電極均用大頭針、直流電源的電壓 5V、電解液為 1 滴 1M 的 CuSO_4 溶液

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。

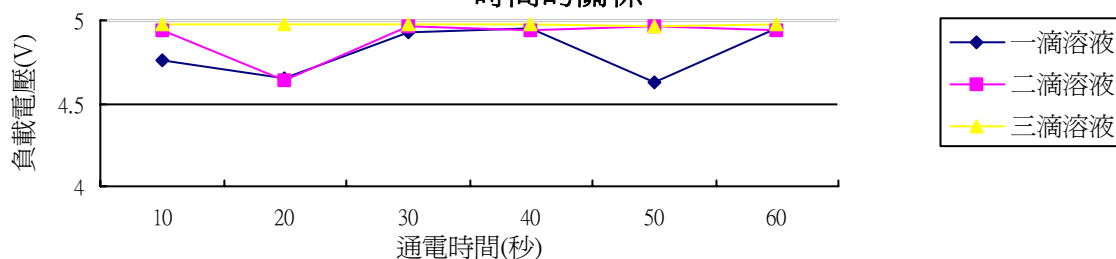


1M 的 CuSO_4 溶液 1 滴 2 滴 3 滴

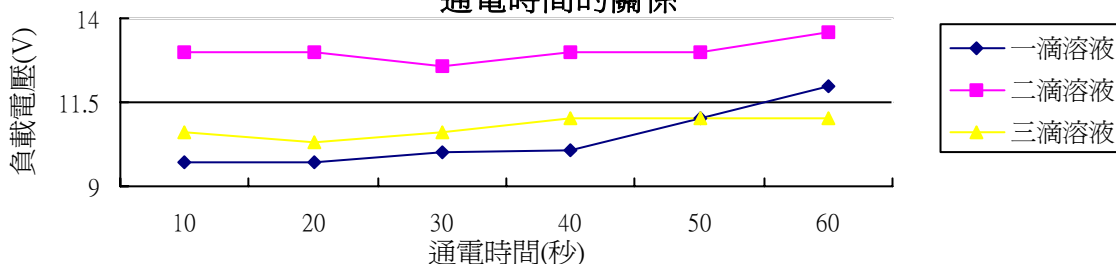
三次實驗的平均值

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	

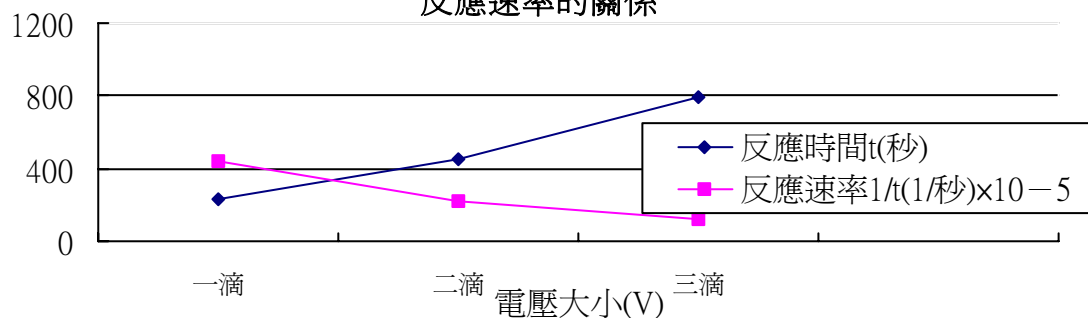
圖七、微形電解硫酸銅在不同溶液量的負載電壓與時間的關係



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



【結果與討論】

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

實驗五、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。

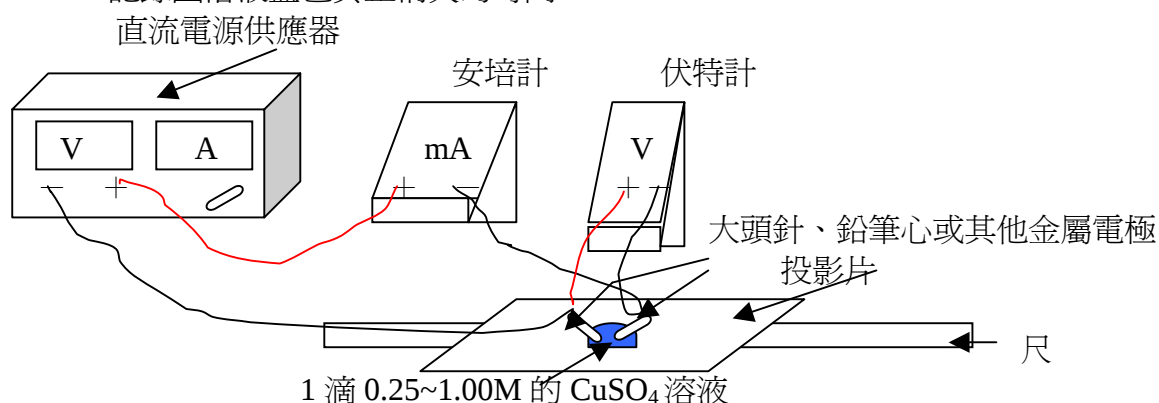
控制變因：正負電極均用大頭針、直流電源的電壓 5V、電解液為 1 滴的 CuSO_4 溶液

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。

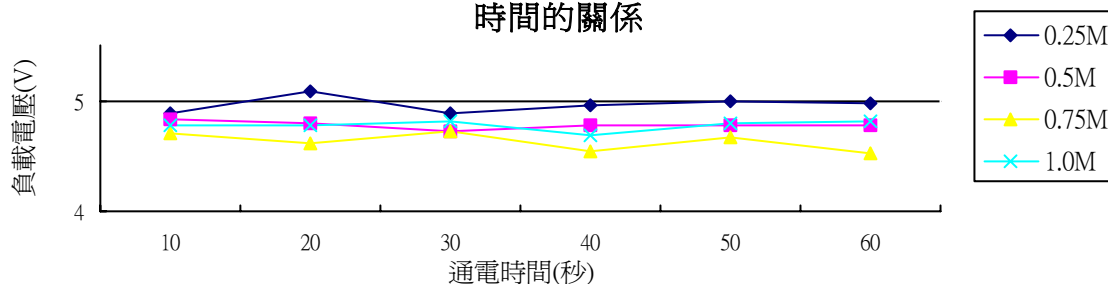
3 每 10 秒記錄負載電壓、負載電流、由放大鏡台上方向下目視(+) (-)極變化，最後記錄出溶液藍色真正消失的時間。



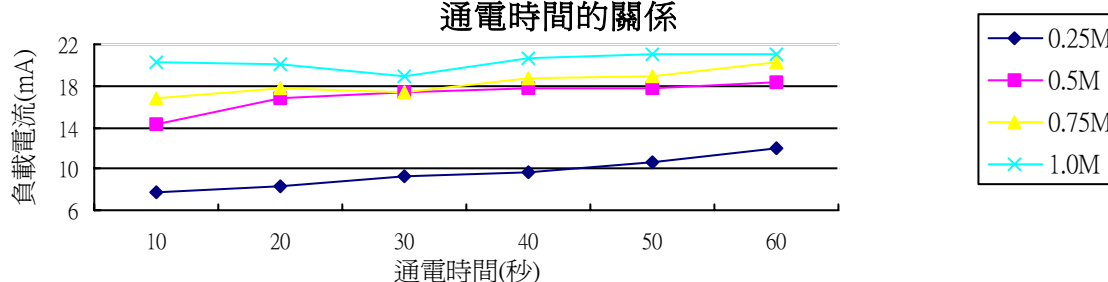
三次實驗的平均值

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					

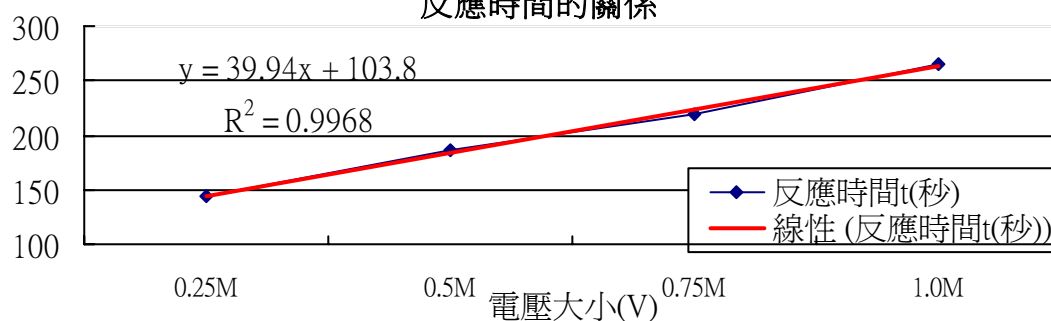
圖十、微形電解硫酸銅在不同溶液濃度的負載電壓與時間的關係



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



【結果與討論】

- 1.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量的莫耳數比為 $(0.25 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (0.5 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (0.75 \times 0.05 \times 10^{-3}) : (1.0 \times 0.05 \times 10^{-3}) = 1 : 2 : 3 : 4$ ，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

- 2.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。

【目的三、比較外加磁場對微形電解硫酸銅溶液的影響】

想法：1 根據電流磁效應原理，凡是通有電流的導線可在導線的周圍產生磁場，且電壓愈大、電流強度愈強，因此電流產生的磁場強度愈大。我們在電解硫酸銅的實驗中，也是有外加電源於正、負兩極，應可在兩極產生磁場，所以，我們拿一磁針靠近時，發現的確有產生偏轉的情形出現。

2 又依據右手開掌定則，外加磁場與電流產生的磁場可以有交互作用而使通有電流的導線受力而運動。因此，我們想既然通有電流的導線可以因外加磁場而受力運動，那通有電流的硫酸銅電解質溶液，其中的正負離子是否也會因此而加速運動？如果這個想法可行，那離子運動速率加快，是否會使反應的時間縮短？如果真是這樣，那不是只要多擺個磁場，在不用多花電費錢的情形下，就可使反應速率加快嗎？

3 問題又來了，究竟外加磁場應如何擺才更有用？而且，它一定有用嗎？所以，我們除了不放強力磁鐵為對照組外，也試著以不同的角度放置強力磁鐵來比較外加磁場對電解的影響。

實驗六、不同直流電壓下，外加磁場對電解一滴 0.5M 硫酸銅溶液的影響

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。

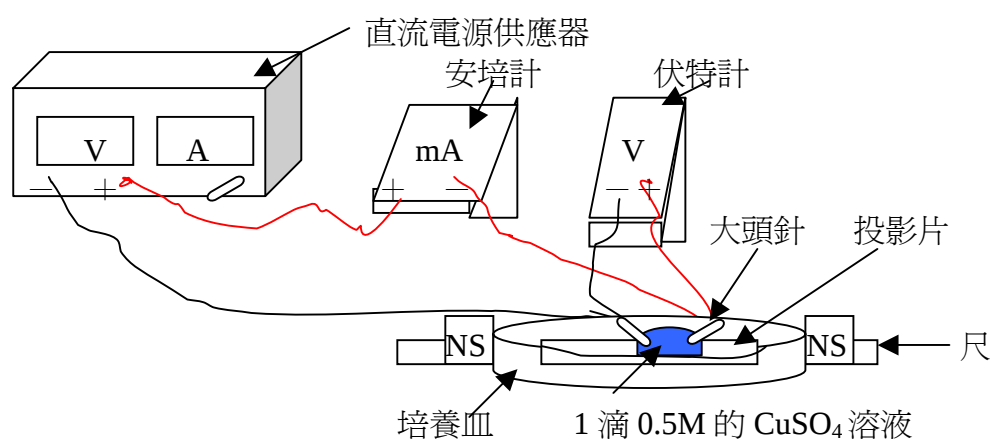
控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液為 1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液

操縱變因：不同直流電源的電壓(V)下有無外加磁場

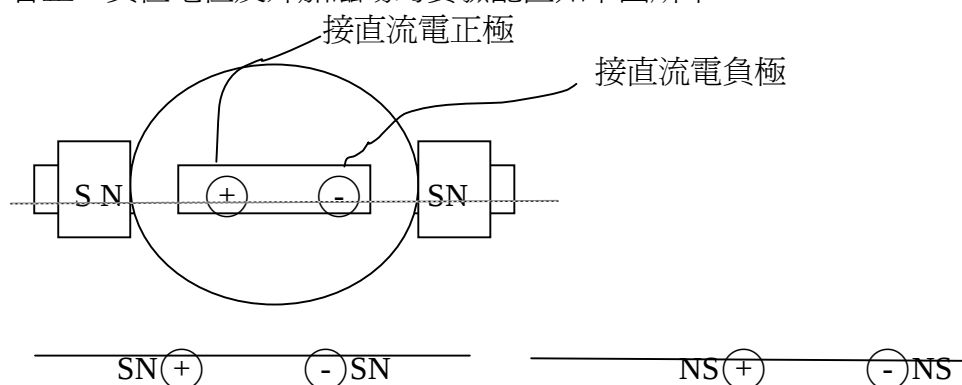
步驟：1 長尺上方放培養皿，皿外左右兩側各放置強力方型磁鐵一個，再將投影片置於皿上，滴上 1 滴 0.5M 的硫酸銅備用。

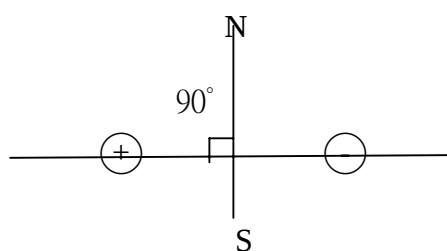
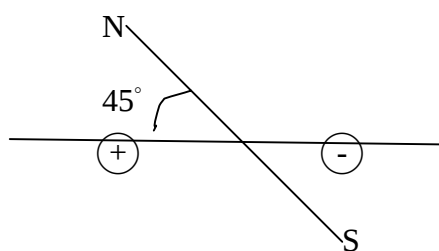
2 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後，按下圖所示，準備以不同的電壓開始電解。

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。



各正、負極電極及外加磁場的實驗配置如下圖所示

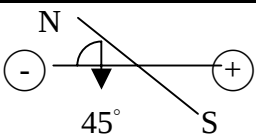
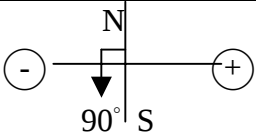




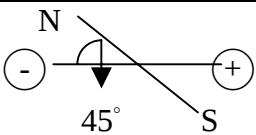
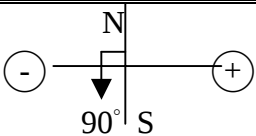
【1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液】

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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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					

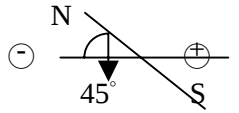
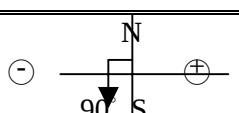
【2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液，電壓全為 10.0V】第一次實驗

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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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 $\ominus$ 、 $\oplus$ 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					

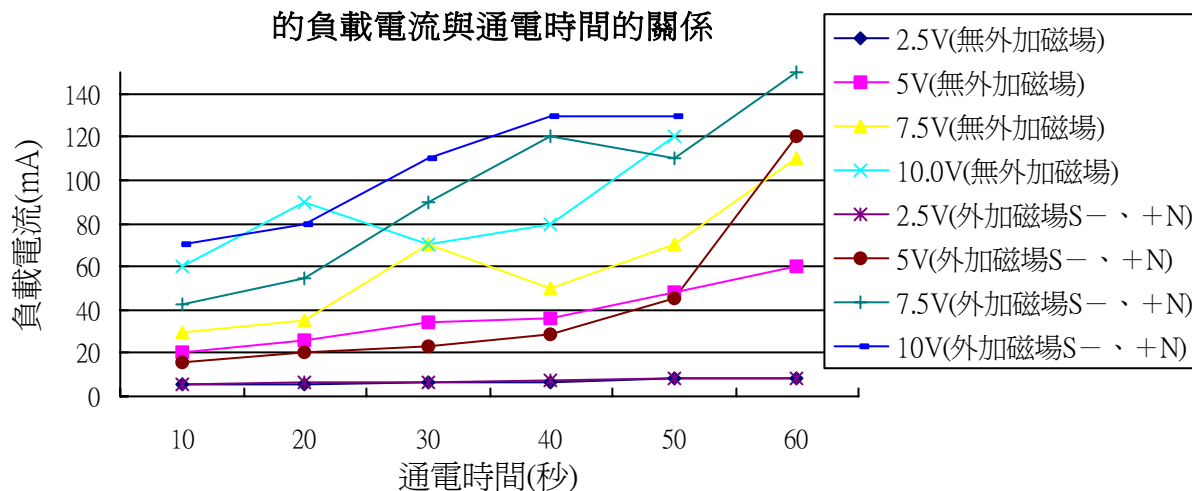
【2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液，電壓全為 10.0V】第二次實驗

電源供應器電壓(V)	無外加磁場			負載電壓為 9.51~9.37V		
每 10 秒的負載電流(mA)	5	5	5	6	6	7
	8	8	7	8	8	8
	8	9	9	9	9	10
	10	9	9	10	10	10
	10	10	10	11	11	12
	11.5	11	12	13	14	13
	12	9				
溶液藍色消失時間	389 秒					
電壓(V)及 外加磁場	$N(-) \cdot (+)S$			負載電壓為 9.58~9.42V		
每 10 秒的負載電流(mA)	9	9	9	10	10	10
	10	12	14	14	16	18
	16	16	16	16.5	19	21
	20	24	24	26	24	26
	24	23				
溶液藍色消失時間	262 秒					
電壓(V)及 外加磁場	$S(-) \cdot (+)N$			負載電壓為 9.46~9.38V		
每 10 秒的負載電流(mA)	11	12	12.5	15	15	15
	15	15	15	16	16	17
	16	16	20	20	20	20
	19	19	19	20	22	21
	20	22	25	26	26	
溶液藍色消失時間	297 秒					
電壓(V)及 外加磁場				負載電壓為 9.57~9.41V		
每 10 秒的負載電流(mA)	7	7	8	8	9	10
	10	10	10	10	10	10
	12	12	12	11	12	13
	13	13	13	14	14	13
	14	13	14	13	14	19
	19					
溶液藍色消失時間	310 秒					
電壓(V)及 外加磁場				負載電壓為 9.49~9.39V		
每 10 秒的負載電流(mA)	4	5	5	5	5	5
	5	5	5	7	6	6
	6	6	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	9
	9	10	10	10	11	11
	12	12	11	12	13	
溶液藍色消失時間	350 秒					

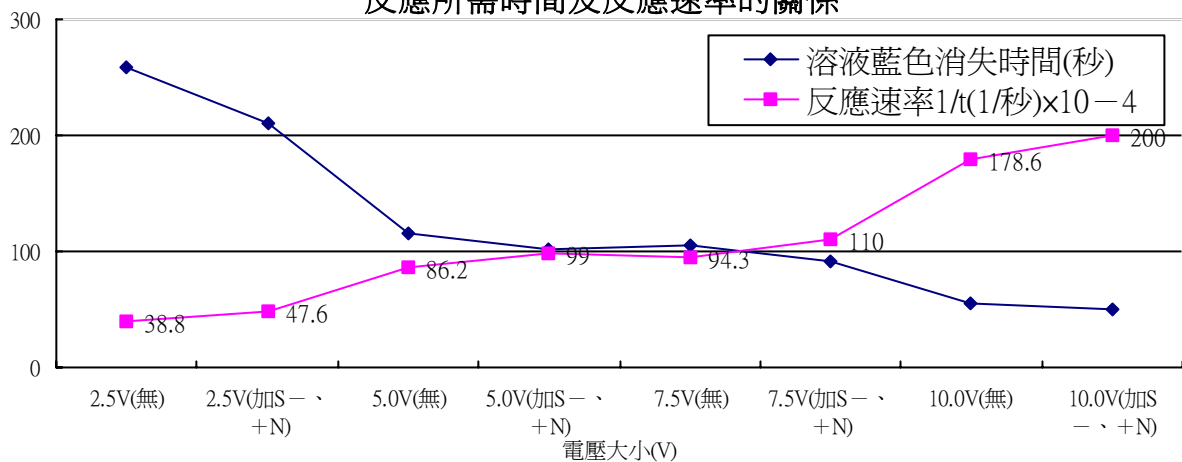
【2 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液，電壓全為 10.0V，靠近熱源處】第三次實驗

電源供應器電壓(V)	無外加磁場			負載電壓為 10.10~9.76V		
每 10 秒的負載電流(mA)	12	12	15	17	18	20
	21	22	24	30	32	35
	38	40	45	48	50	
溶液藍色消失時間	172 秒					
電壓(V)及 外加磁場	$\text{N}^-、\oplus\text{S}$			負載電壓為 10.15~10.09V		
每 10 秒的負載電流(mA)	17	16	17	18	20	33
	35	40	55	50	60	
溶液藍色消失時間	112 秒					
電壓(V)及 外加磁場	$\text{S}^-、\oplus\text{N}$			負載電壓為 10.04~10.15V		
每 10 秒的負載電流(mA)	22	19	20	31	38	45
	50	60	60	60		
溶液藍色消失時間	104 秒					
電壓(V)及 外加磁場				負載電壓為 9.90~9.79V		
每 10 秒的負載電流(mA)	10	12	15	18	20	24
	28	32	36	41	60	55
	50	70				
溶液藍色消失時間	144 秒					
電壓(V)及 外加磁場				負載電壓為 9.95~9.82V		
每 10 秒的負載電流(mA)	12	15	16	18	20	23
	23	32	37	42	50	60
	50	50	70			
溶液藍色消失時間	150 秒					

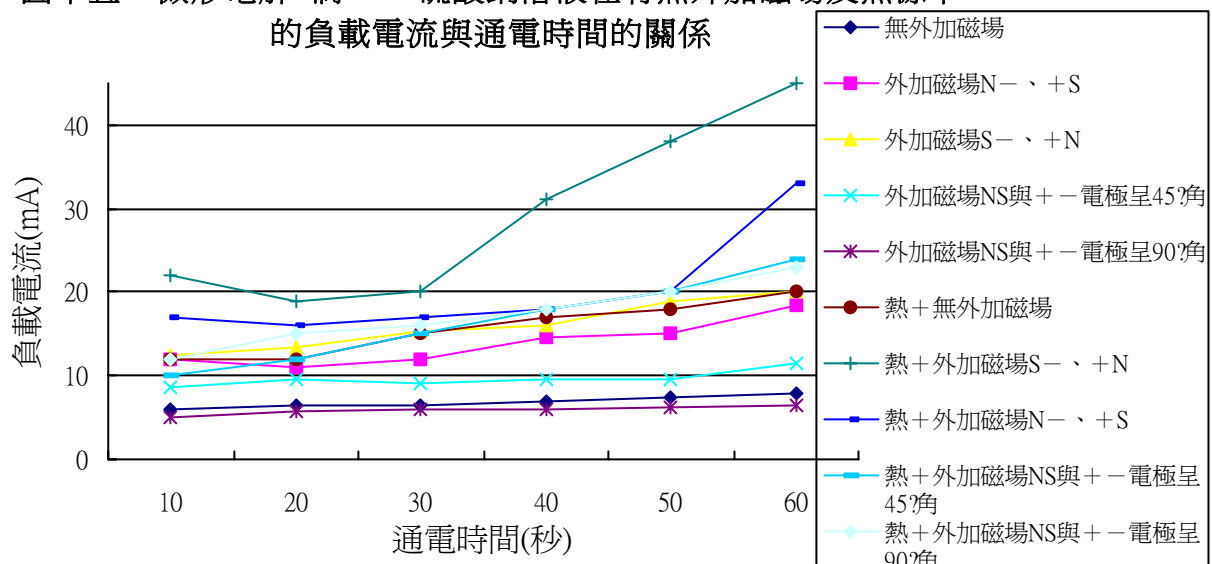
圖十三、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下的負載電流與通電時間的關係



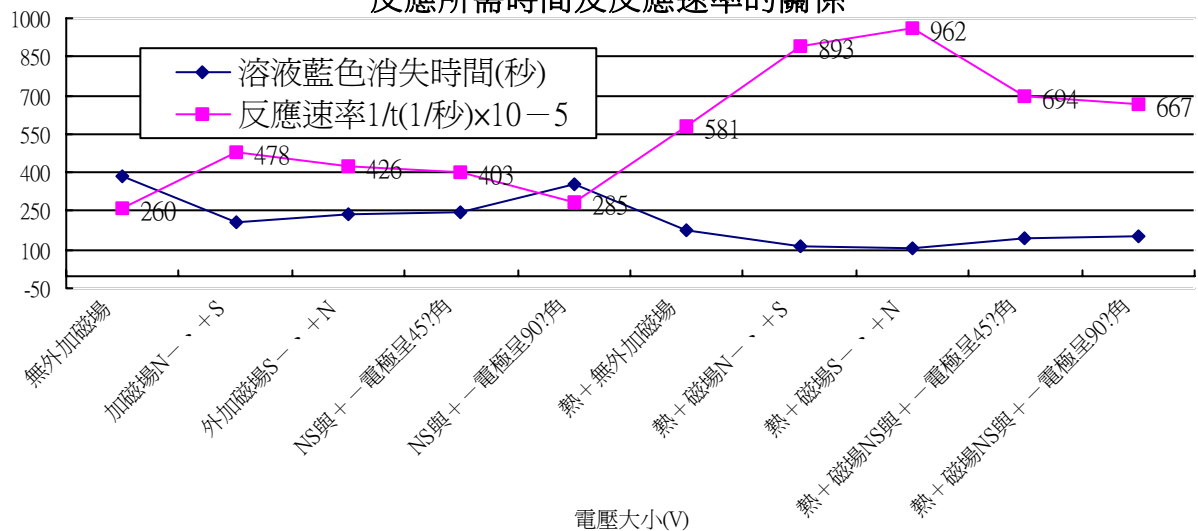
圖十四、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下各電壓的反應所需時間及反應速率的關係



圖十五、微形電解2滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場及熱源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及熱源下的反應所需時間及反應速率的關係



【結果與討論】

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 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-4}$	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，所以再加以追蹤，在相同電壓下，若 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
熱+無外加磁場	12	12	15	17	18	20
熱+外加磁場 S-、+N	22	19	20	31	38	45
熱+外加磁場 N-、+S	17	16	17	18	20	33
熱+外加磁場 NS 與+-電極呈 45°角	10	12	15	18	20	24
熱+外加磁場 NS 與+-電極呈 90°角	12	15	16	18	20	23

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；至於，熱源的影響則更是一項不可忽視的重要因素，因為它也明顯的提昇負載電流的大小。

3. 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(以及無心而靠近高溫環境下)的反應時間及反應速率大小比較則如下：

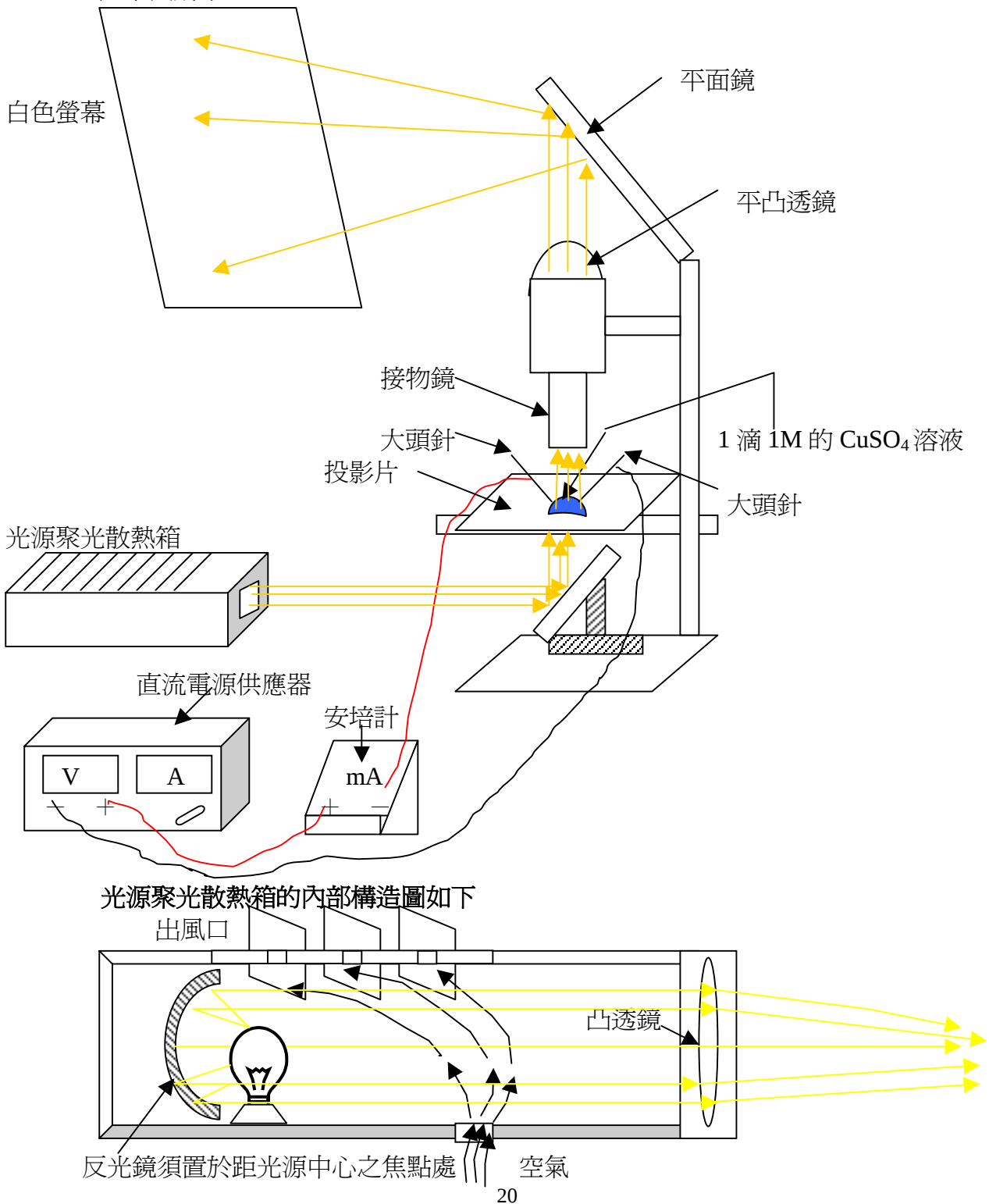
電壓及有無外加磁場	無外加磁場	加磁場 N-、+S	外加磁場 S-、+N	NS 與+-電極呈 45°角	NS 與+-電極呈 90°角	熱+無外加磁場	熱+磁場 N-、+S	熱+磁場 S-、+N	熱+磁場 NS 與+-電極呈 45°角	熱+磁場 NS 與+-電極呈 90°角
反應時間(秒)	385	209	235	248	351	172	112	104	144	150
反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	260	478	426	403	285	581	893	962	694	667

反應時間為：熱+磁場 S-、+N < 熱+磁場 N-、+S < 熱+磁場 NS 與+-電極呈 45°角 < 熱+磁場 NS 與+-電極呈 90°角 < 熱+無外加磁場 < 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，加熱的影響似乎最明顯；而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、以凸透鏡及平面鏡改裝顯微鏡頭到可顯微放大一滴實驗的可行性】

- 想法：1 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，但只能一人觀看，且須操作熟練才能快速看到，所以，我們想將顯微鏡的接目鏡改裝到可以投影到螢幕上觀看。
- 2 要投影到螢幕上須光源強度夠強才行，而顯微鏡的一般光源則遠遠不足，所以，我們又設計一聚光散熱箱，才解決了光源不足的缺點。
- 3 我們拆開接目鏡經過多次組裝的失敗，最後找到學校報廢投影機上的平凸透鏡及可調節的平面鏡，才試出令人滿意的結果。
- 4 我們將此改裝的顯微鏡試驗台準備做一滴硫酸銅的顯微電解投影實驗，裝置及設計如下圖所示：



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

實驗七、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。

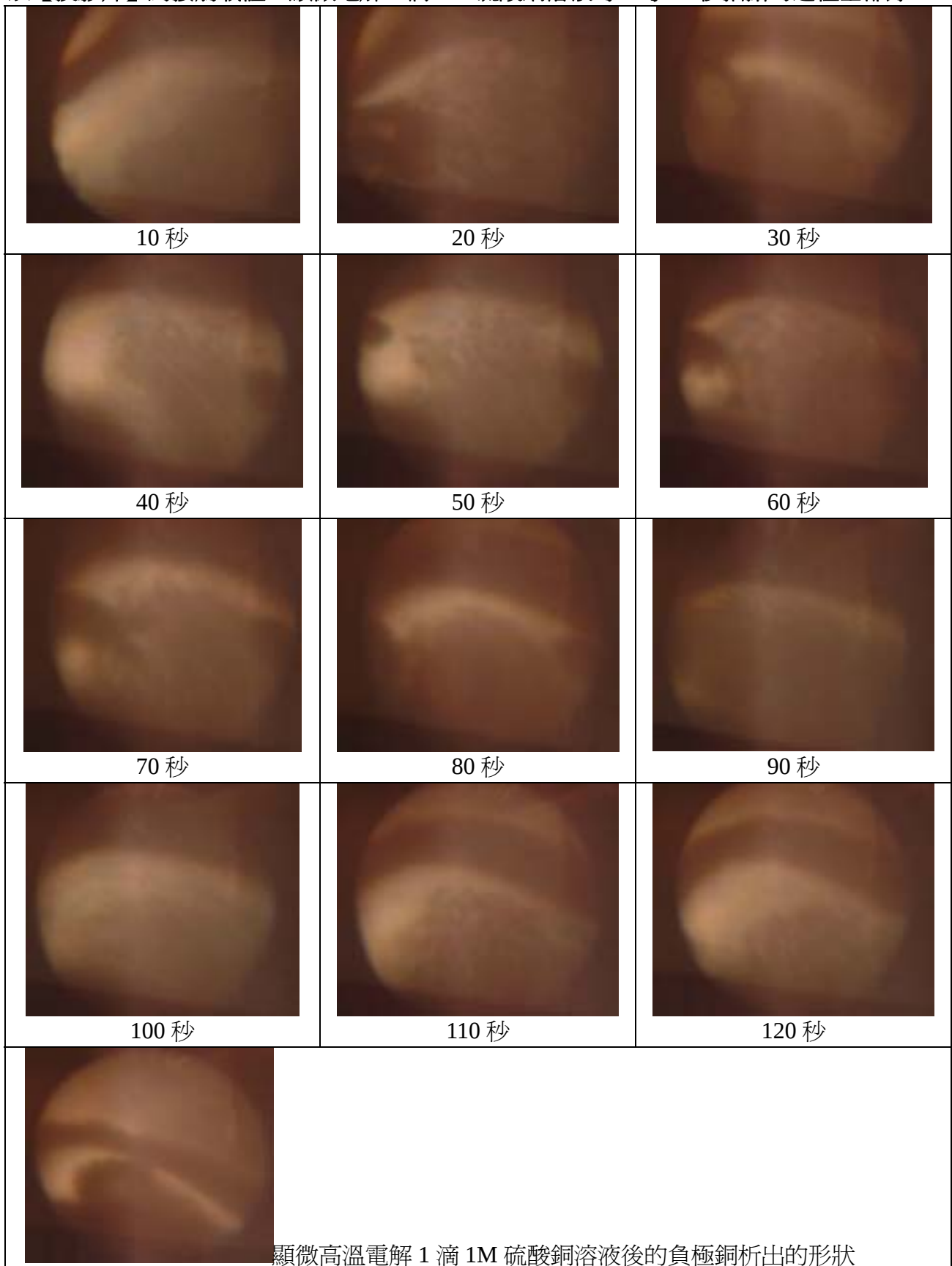
步驟：1 將投影片置於顯微台上，滴上 1 滴 1M 的硫酸銅備用。

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。

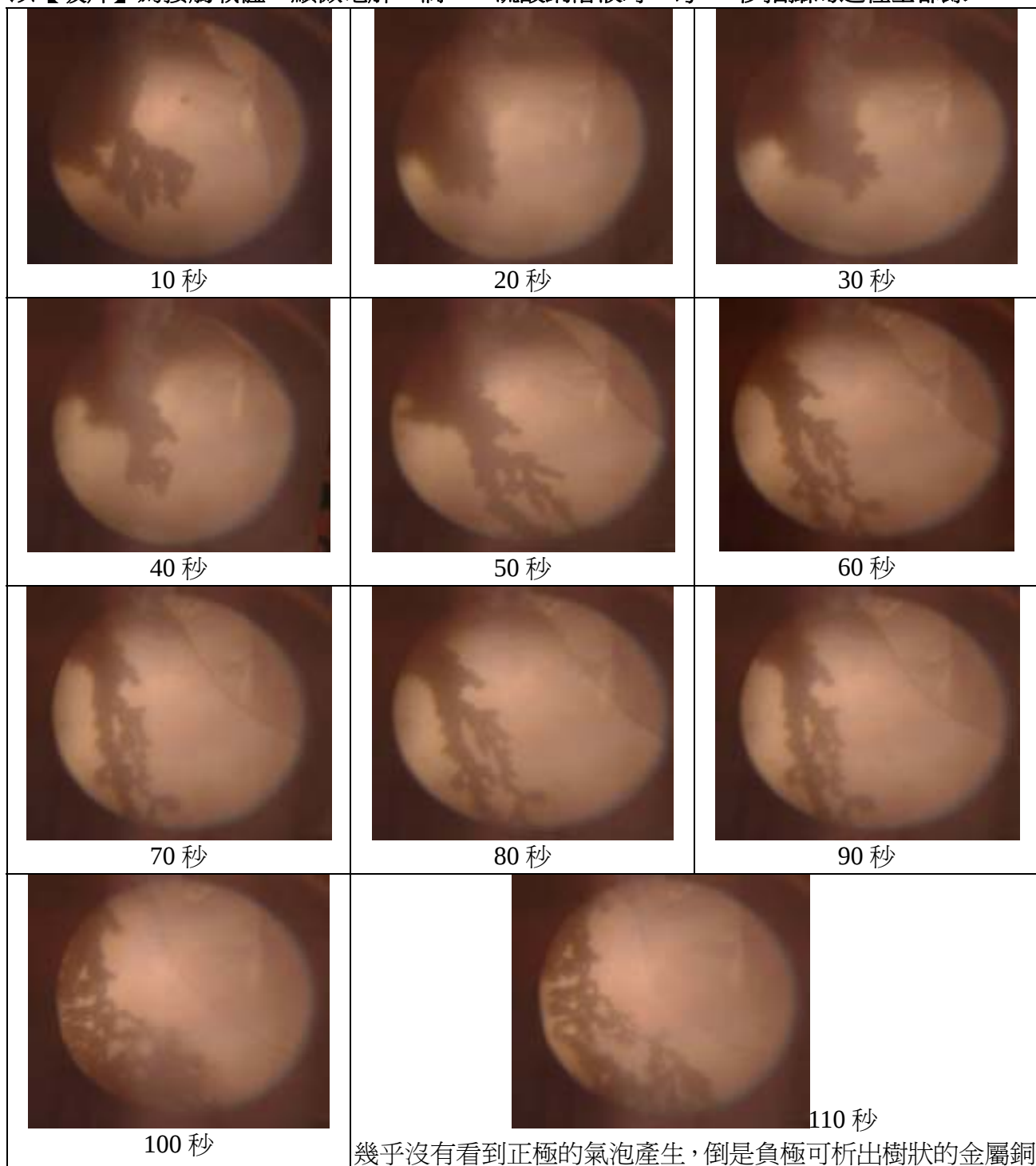
4 將投影片換成玻片置於顯微台上，滴上 1 滴 1M 的硫酸銅，再如步驟 2~3 操作之，所拍攝的顯微電解畫面如下二頁。

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



【結果與討論】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，顯微電解 1 滴 1M 硫酸銅溶液時，每 10 秒拍攝的過程全都錄



【結果與討論】

1. 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。
2. 為了驗證其他物質的水溶液在此兩種在頁面材質上產生氣泡的情形，我們想道可以用簡單的一滴汽水滴在不同在液面上均勻受熱後產生氣泡的情形，藉以說明氣泡的生成與接觸在液面的關係。(如附件伍補充資料)
3. 為了驗證水溶液在此不同的載液面上結晶的析出形狀會有不同，除了硫酸銅溶液外，再另選幾種水溶液，觀察比較其自然乾燥及均勻受熱乾燥後的結晶形狀，藉以說明結晶的生成與接觸液面的關係。(如附件六補充資料)

【目的五、微觀電解一滴硫酸銅溶液受外在溫度的影響】

想法：1 根據老師所解釋的碰撞理論中可知，使反應速率加快的方法有①物質的本性愈活潑者。②物體顆粒愈小，接觸面積愈大。③濃度愈高，增加反應物粒子的碰撞機會，反應速率也愈大。④含有正催化劑的量。⑤溫度愈高，使反應物形成高能量的粒子，愈容易形成有效的碰撞。在目的四中，我們已成功的組裝一台顯微投影放大到一滴溶液做電解電鍍的目標。而在顯微投影電解時，無疑的就是以聚光散熱箱為一穩定的加熱光源，在操作台上進行反應，其反應時間即為其加熱時間，所以我們想，這樣應可以使原常溫下反應的時間縮短才對！

2 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。所以，我們想了解溫度對微形電解硫酸銅溶液的影響程度到底有多少？

實驗八、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。操作圖示如下：



1 正在顯微投影操作台上以顯微投影方式電解一滴 1M 的硫酸銅溶液



2 以放大鏡觀察毫安培計的電流讀數，以減少判讀上的誤差



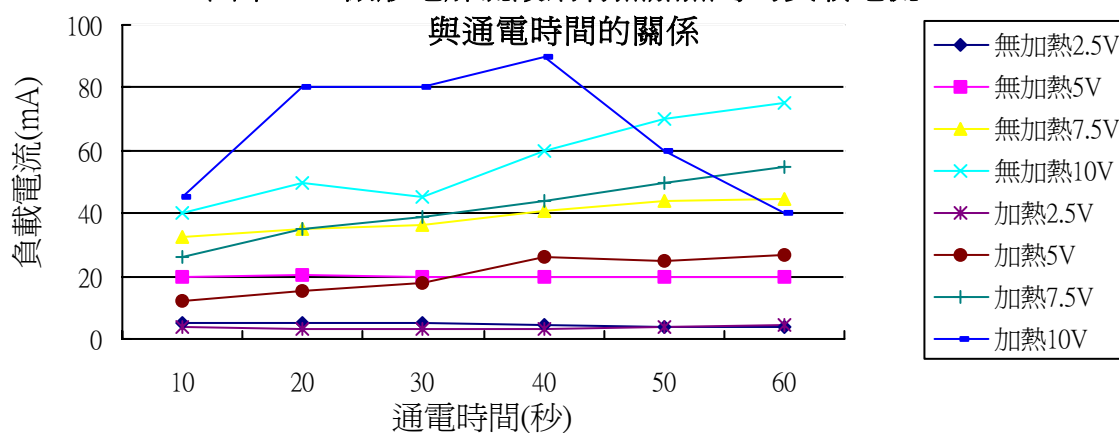
3 以直流電壓約 2.5V，電解一滴 1M 硫酸銅溶液 10 秒時的顯微投影圖

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					

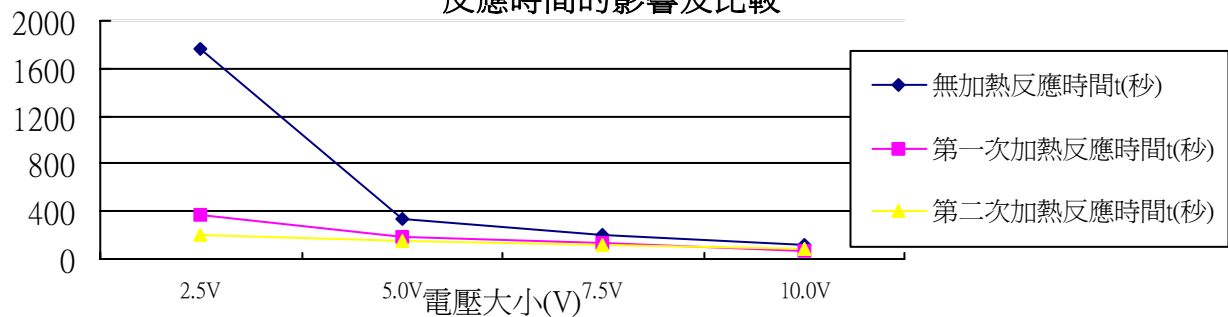
電源供應器電壓(V) 及 置顯微投影處加溫	7.5V(無加溫)			負載電壓為 7.40~7.52V		
每 10 秒的負載電流(mA)	32.3	35.0	36.3	40.6	44.0	44.3
	42	45	30	35	40	42
	34	36	40	40	30	35
溶液藍色消失時間	194 秒					
電源供應器電壓(V)及 置顯微投影處加溫	10.0V(無加溫)			負載電壓為 9.62 ~9.78V		
每 10 秒的負載電流(mA)	40	50	45	60	70	75
	66	70	75	70	80	90
	95	90	92	110	100	90
溶液藍色消失時間	126 秒					
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					

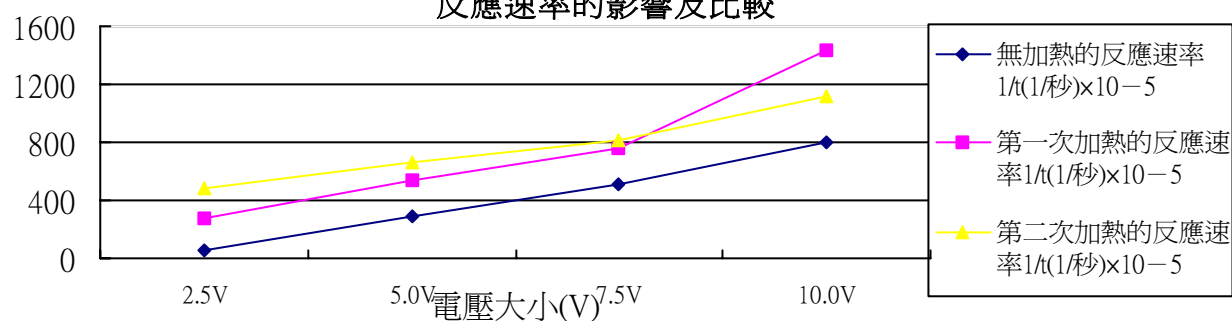
圖十七、微形電解硫酸銅有無加熱時的負載電流



圖十八、有無加熱對微形電解硫酸銅溶液
反應時間的影響及比較



圖十九、有無加熱對微形電解硫酸銅溶液反應速率的影響及比較



【結果與討論】

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：

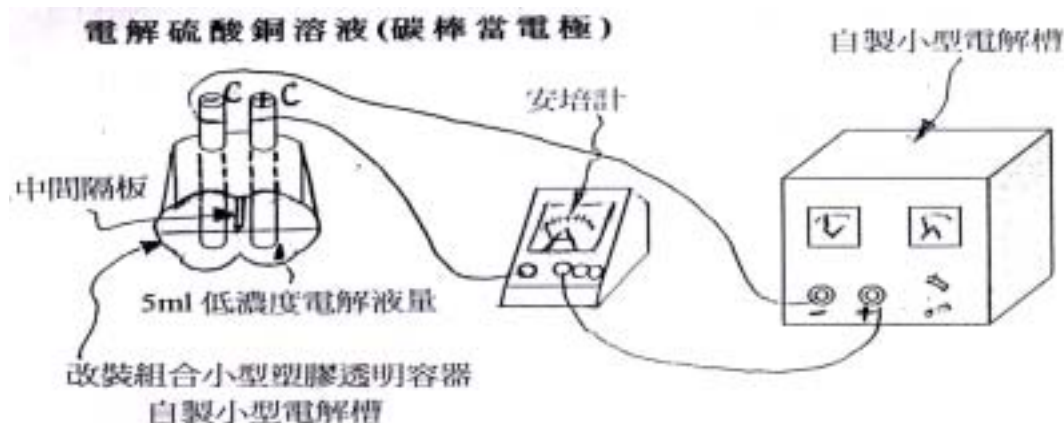
電源電壓(V)	2.5V	5.0V	7.5V	10.0V
無加熱反應時間 t(秒)	1773	342	194	126
第一次加熱反應時間 t(秒)	370	185	132	70
第二次加熱反應時間 t(秒)	206	150	123	89
無加熱的反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	56.4	292	515	794
第一次加熱的反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	270	541	758	1429
第二次加熱的反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	485	667	813	1124
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

【目的六、傳統、去年自製設計的電解槽及今年一滴微形電解電鍍的比較】

實驗九、電解電鍍硫酸銅溶液傳統、去年自製設計的電解槽及今年一滴微形電解實驗的比較
微形電解實驗步驟及圖示如前。

電解硫酸銅溶液方式	傳統教科書審定本碳棒間距 2-2cm	傳統教科書審定本碳棒間距 4-4cm	去年設計的雙層布丁杯	今年一滴微形電解實驗 常溫放大鏡組	今年一滴微形電解實驗 顯微投影組
每組用量	0.1M 約 70ml	0.1M 約 70ml	0.05M 5ml	0.5M 0.05ml	0.5M 0.05ml
電源電壓	6V	6V	2.5 V	2.5V	2.5V
負載電壓(V)	5.99V	5.94V	3.05V	2.66V	2.52V
負載電流 (mA)	平均為 62.0mA	平均為 58.0mA	平均為 7.4mA	平均為 9.1mA	平均為 13.6mA
(+)極變化	看到少量氣泡生成	看到少量氣泡生成	看到少量氣泡生成	看到少量氣泡生成	投影螢幕上看到大量氣泡生成
(-)極變化	有金屬銅析出	有金屬銅析出	有金屬銅析出	有金屬銅析出	有金屬銅析出
溶液藍色消失時間	20 分鐘以後仍有藍色	20 分鐘以後仍有藍色	約 13 分鐘以後藍色才消失	260 秒後藍色消失	約 175 秒後藍色消失
廢液問題	剩下太多廢液，需作重金屬離子的沉澱處理	剩下太多廢液，需作重金屬離子的沉澱處理	微量，反應需約 15 分鐘後才確保無廢液問題，濃度若再更高，則須時更久。	反應只需不到 5 分鐘，就完全看不到藍色銅離子，表示已無處理重金屬離子的廢液問題	反應只需不到 3 分鐘，就完全看不到藍色銅離子，表示已無處理重金屬離子的廢液問題

去年自製設計的電解槽裝置如下圖所示



去年以 5ml 0.05M 藍色 CuSO_4 溶液在 5V 直流電源下的電解情形 (室溫 25.0°C)

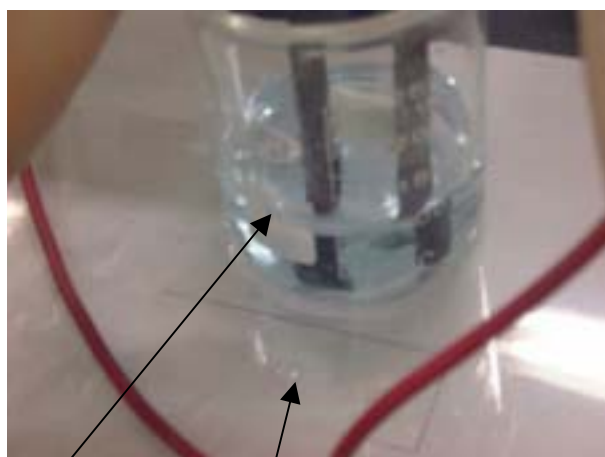
通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	5.33	5.30	5.27	5.22	5.20	5.21	5.21	5.20
實際負載電流(mA)	23.0	28.0	35.0	39.0	45.0	53.0	50.0	50.0
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 —————▶ 變更淡的藍色(仍有顏色)							

5ml 0.025M 藍色 CuSO_4 溶液在 2.5V 直流電源下的電解情形(室溫 25.0°C)

通電時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
實際負載電壓(V)	3.11	3.11	3.12	3.11	3.10	3.10	3.10	3.11
實際負載電流(mA)	8.4	8.7	8.9	9.0	7.8	8.0	8.0	8.1
CuSO_4 顏色變化	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色	淡藍色

通電時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	16
實際負載電壓(V)	3.11	2.91	2.98	2.98	2.99	3.00	2.98	3.00
實際負載電流(mA)	8.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.2	6.3	6.4
CuSO_4 顏色變化	淡藍色 —————▶ 無色(仍有繼續反應)							

今年微形電解和傳統電解硫酸銅溶液的實物劑量比較如下：



傳統電解和微形一滴的量比較實在差太多了(為了讓放大鏡組看清顏色變化，實際實驗時提高濃度為 0.5M 來操作對照之)



傳統電解 10 分鐘後仍有藍色，且有黑色雜質
微形電解一滴的量很快變無色，完全零污染

課本 13-5 和 13-6 實驗和我們去年自製設計的電解槽裝置及今年顯微投影電解比較如下：

對照單元	硫酸銅濃度、體積	直流電源供應器電壓	通電時間	實驗情形及善後處理
課本 13-5 電解硫酸銅實驗	0.05M 70ml 即含 CuSO_4 0.0035mol	6 V	10 分，調整電源使電流為 0.1A (事實電流強度未達 100mA)	分組觀測，通電時間長，事後須處理大量廢液問題，碳棒電極有部分溶解，廢液髒髒的。
去年自製硫酸銅減廢電解裝置	0.025M 5ml 即含 CuSO_4 0.000125mol 為原劑量的 1/28	2.5 V	電流為 10mA 以下即可反應，2 分鐘就可鍍上一層很漂亮的銅	分組觀測，廢液劑量少，處理容易，碳棒電極有部分溶解，廢液也是髒髒的。
今年顯微投影電解裝置	0.5M 0.05ml 即含 CuSO_4 0.000025mol 為原劑量的 1/140	2.5 V，含投影光源加溫系統可提高常溫時的電流強度而超過 10mA	若以投影片為載液面半分鐘以內就可看到大量且快速的氣泡蜂擁而出；若為玻片載液面則一分鐘後可看到樹狀銅金屬析出。	若分六組輪流上陣，全班一起觀測共只須 6 滴溶液量，有成就感，且大家可多看幾次，增加學習效果，事後完全無廢液問題，電極及銅析出物容易回收集中處理。
對照單元	硫酸銅濃度、體積	直流電源供應器電壓	電流大小及通電時間	實驗情形及善後處理
課本 13-6 電鍍硫酸銅實驗	0.5M 200ml 即含 CuSO_4 0.1mol	3 V	都沒訂，應該是稍高了，因為鍍物表面變成黑色的氧化銅	示範實驗，通電時間長，不易看清楚，最後傳閱的鍍物表面黑黑的，正極銅片耗損量明顯，事後電鍍液濃度不變，故須集中處理大量鍍液問題。
去年自製鍍銅減廢電鍍裝置	0.05M 5ml 即含 CuSO_4 0.00025mol 為原劑量的 1/400	2.5 V	電流約為 12mA，2 分鐘後就可鍍上一層很漂亮的銅	分組觀測，通電時間適中，鍍物表面呈紅色析出物，正極銅箔耗損量小，事後電鍍液濃度不變，須集中處理小量鍍液問題。
今年顯微投影電鍍裝置	1.0M 0.05ml 或 0.5M 0.1ml 即含 CuSO_4 0.00005mol 為原劑量的 1/2000	2.5 V	電流強度超過 15mA 以上，若以投影片為載液面，一分鐘內就可看到團狀銅金屬析出，若為玻片載液面則一分鐘後可看到樹枝狀銅金屬析出。	若分六組輪流上陣，全班也共只須幾滴溶液量，正極銅線耗損量少，事後電鍍液中沸點低的水因熱蒸發，硫酸銅溶液很快就呈結晶狀，大家可順便看到其結晶的形成，額外增加學習效果，事後結晶物很容易回收再利用，所以無鍍液須集中處理的問題。

伍、心得討論與建議

1 我們在目的「設計微形電解硫酸銅實驗的可行性」中找到了適合微形電解的載液面-『投影片』；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。

2 我們在目的二「比較電壓、電極、電極間距、溶液濃度等一般變因對微形電解硫酸銅溶液的影響」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。

同樣的，正極的氧氣泡生成速率亦為 $10V > 7.5V > 5.0V > 2.5V$ 。

(2) 在相同電壓下，由一滴同濃度同劑量的硫酸銅溶液的電解中可略比較出各電極間的電位差及活性大小，由數據顯示，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，也就是說「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。雖然如此，我們受限於電極面積規格及部份金屬材料取得不易，所以無法更精準的比較出各電極間的電位差及活性大小，實殊為遺憾！

(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，由下表顯示溶液溶質量比為 1：2：3，反應時間則約為 3：2：1，每次實驗只用六滴溶液，三次實驗也共 18 滴溶液量(全部不到 1ml，因為 1ml 約為 20 滴的溶液量)就可以比較此實驗結果，令人相當高興，微形實驗應可行啊！

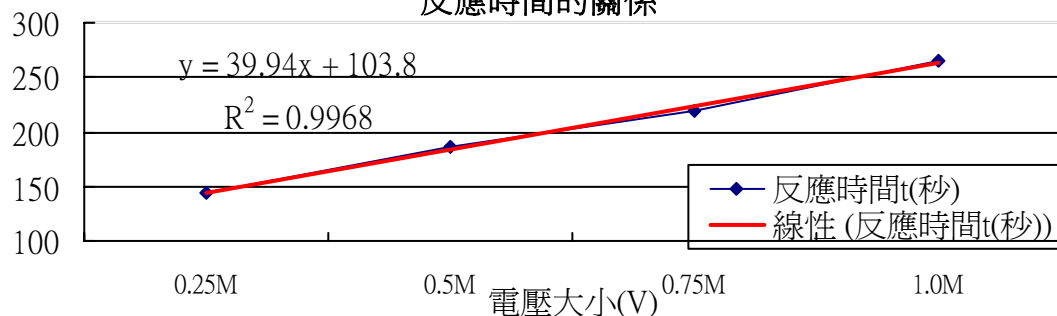
1M 的 CuSO_4 的量	一滴	二滴	三滴
反應時間 t(秒)	226	451	797
反應速率 $1/t(1/\text{秒}) \times 10^{-5}$	442	222	125

(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。

硫酸銅電解液濃度	0.25M	0.5M	0.75M	1.0M
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，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！

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



3 我們在目的三「比較外加磁場對微形電解硫酸銅溶液的影響」中成功的找出此特殊變因的確對電解硫酸銅溶液有明顯的影響。

- (1) 根據電流磁效應原理，凡是通有電流的導線可在導線的周圍產生磁場，且電壓愈大、電流強度愈強，所產生的磁場強度也愈大。我們在實驗中，也是有外加電源於正、負兩極，應可在兩極產生磁場，所以，我們拿一磁針靠近時，發現的確有產生偏轉的情形出現。
- (2) 我們已由實驗證實不管是電極通了幾伏特的電壓，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。
- (3) 我們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° $>$ 外加磁場與正、負極的夾角呈 90° $>$ 沒有外加磁場的。
- (4) 有一整天在無心插柳下的實驗均靠近熱源，發現熱源的影響則更是一項不可忽視的重要因素，因為它也明顯的提昇負載電流的大小，而且也歸納出所有的反應時間為：熱 + 磁場 S—、+N $<$ 熱 + 磁場 N—、+S $<$ 熱 + 磁場 NS 與 +—電極呈 45° 角 $<$ 熱 + 磁場 NS 與 +—電極呈 90° 角 $<$ 熱 + 無外加磁場 $<$ 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，加熱的影響似乎最明顯；而有外加磁場的又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。

4 我們在目的四「以凸透鏡及平面鏡改裝顯微鏡頭到可顯微放大一滴實驗的可行性」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 我們在目的五「比較溫度對微形電解硫酸銅溶液的影響」中明顯的比較出不管是幾伏特電壓，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。

6 我們在目的六「傳統、去年自製設計的電解槽及今年一滴微形電解電鍍的比較」中比較了課本 13-5 和 13-6 實驗和我們去年自製設計的電解槽裝置及今年顯微投影電解的差異。比較的結果令我們相當滿意！

- (1) 課本 13-5 電解硫酸銅實驗由可減量為原劑量的 $1/28$ 到今年顯微投影電解裝置的 $1/140$ 量。
- (2) 課本 13-6 電鍍硫酸銅實驗由可減量為原劑量的 $1/400$ 到今年顯微投影電鍍裝置的 $1/2000$ 量。
- (3) 最重要的是，今年創新的設計所額外增加的學習效果，以及事後無鍍液、完全零污染的問題均已獲得了徹底的改善。詳細的分析比較請再參閱前面目的六的討論。

陸、未來展望

在大環境如此惡劣的情形下，感謝辛苦一路相伴的指導老師及伙伴們！由一樣堅持理想的指導老師那兒，我從中學習到不與環境妥協及努力克服困境的勇氣，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，終於在今年達到了理想的目標。讓從未有人如此大膽假設的『以一滴溶液來做實驗』且被視為異想天開的幻想，現在都已築夢踏實了。

我們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。現在有了開始，往後的化學實驗，有些就可以做類似的設計與發揮，希望未來大家能共同為環保的化學實驗繼續努力！

柒、參考資料

No	書名及作者	出版社
1	國中理化第一冊第四章	國立編譯館主編
2	國中理化第三冊第十三章、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	本校第四十二屆科展作品	

評語

主題具相當之創意，實驗設計具高度的環保意識，實驗態度佳。