

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030117

臺中縣立豐東國民中學

指導老師姓名

賴月琴

簡金標

作者姓名

楊承熹

劉佳綾

何蕙如

中華民國第 44 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：再探液滴的顯微投影世界

關 鍵 字：載液面、顯微投影、微觀電解

編 號：

題目：再探液滴的顯微投影世界

摘要

去年我們以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，今年再與電腦融入教學設備接軌，將一滴顯微電解實驗透過電子螢幕與顯微鏡結合，可進行立即操作、立即觀看、同時錄影成影片的多重功能。而且經由以下重點實驗，成功的證明了『顯微一滴液滴的電解實驗是可行的！』

- 1 微觀一滴汽水、硫酸銅溶液因在不同載物面上的表面張力不同而比較出起泡、結晶分佈的差異性均頗大。
- 2 加適當濃度的界面活性劑可使硫酸銅的結晶分佈更爲展開且愈趨透明。
- 3 外加不同距離、不同磁極下的磁場可影響硫酸銅的結晶排列，且不同接觸面材質排列亦有所不同。
- 4 可做微觀電解一滴硫酸銅溶液的實驗探討，比較出外加與電極呈不同角度的磁場、提高溫度等均可減少電解硫酸銅溶液的反應時間、加快反應速率等不同程度的影響。
- 5 也可做微觀電解一滴碘化鉀溶液的實驗探討，從電解產生的顏色變化更可以看出令人驚嘆的畫面！

一、研究動機

這學期我們使用的康軒版自然第四冊第四章就在特別強調現今的材料科學已朝奈米科技發展了。這是全球的趨勢！所以我們怎能固守傳統而不思圖改進呢？其實，物理上的奈米長度單位遠比化學上所謂的分子大小大得太多了。我們以投影片爲載液面來看，一滴 1M 的硫酸銅溶液的直徑約 0.5cm，它相當等於 500 萬奈米長度，而這一滴裡面卻容納約 3×10^{19} 個硫酸銅溶質分子和約 1.67×10^{21} 個水溶劑分子。所以，一滴溶液也可以形成巨觀的世界啊！

去年學長和我們幾個學弟妹參加縣賽不幸敗給他的另一批學弟妹，畢業回母校時還特別叮嚀我要雪恥！我也覺得一滴液滴的電解實驗的確很迷人！所以，我們又重新組合並請老師繼續指導，大家就繼續向顯微世界邁進了，加油！

二、研究目的

1. 自組顯微投影機及自組透鏡與電子螢幕連結以顯微放大一滴溶液結晶的研究
2. 探討一滴汽水在不同載物面上產生泡泡的微觀比較
3. 微觀投影片上一滴硫酸銅溶液受界面活性劑塗佈及溫度影響的結晶分佈
4. 微觀一滴硫酸銅溶液受外在磁場影響的結晶分佈
5. 微觀電解一滴硫酸銅溶液及受外在磁場的影響
6. 微觀電解一滴碘化鉀溶液的色彩變化

三、研究設備器材

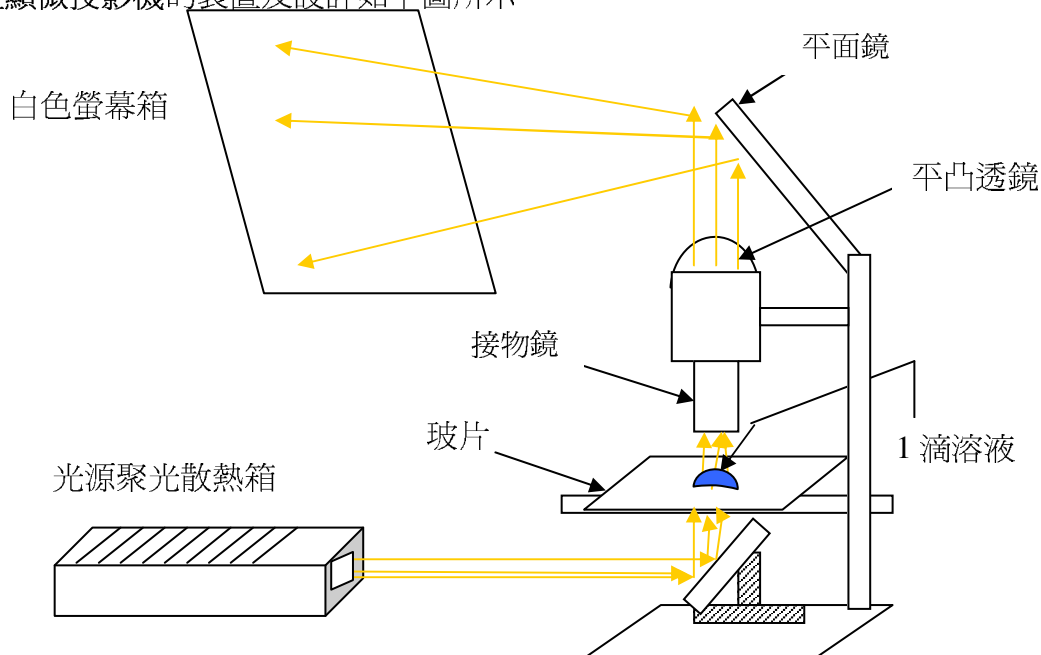
No	器材	No	器材	No	器材或藥品
1	自行組裝的顯微投影機	11	大頭針	21	二鉻酸鉀
2	自行組裝的聚光散熱箱	12	投影片	22	硫酸銅

3	自製螢幕紙箱	13	雙面膠、膠帶	23	汽水
4	玻片、載玻片	14	碼錶	24	洗碗精、棉花棒
5	黑色珍珠板	15	毫安培計	25	碘化鉀
6	培養皿	16	鱷魚夾線	26	報廢光碟片
7	直流電源供應器	17	數字型電錶	27	LED 燈
8	強力方型磁鐵	18	三角鐵架	28	電池及電池座
9	滴管	19	數位相機	29	CCD 電子螢幕
10	放大鏡	20	數位攝影機	30	繪聲繪影軟體

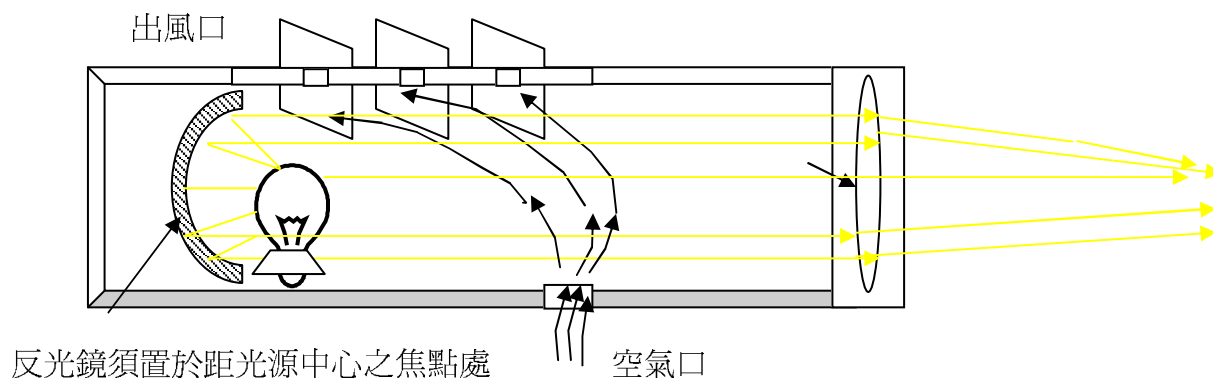
四.研究過程及方法

【研究一、自組顯微投影機及自組透鏡與電子螢幕連結以顯微放大一滴溶液結晶的研究】

(一) 自組顯微投影機的裝置及設計如下圖所示：



光源聚光散熱箱的內部構造圖如下



節錄拍攝自製顯微投影機的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

(二) 自組透鏡與電子螢幕連結的組裝設計節錄如下圖所示：



光碟片上連接 LED 燈及電池組



自組透鏡及路徑箱



接 CCD 電子螢幕



由下方燈源照射結晶物反射至電子螢幕

實驗一、顯微一滴溶液的結晶投影實驗

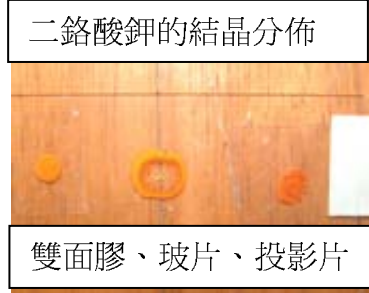
準備：玻片、投影片、雙面膠、硫酸銅、二鉻酸鉀、去離子水、藥匙、自製顯微投影機、自組透鏡路徑箱、報廢光碟片、LED 燈、電池及電池座、鐵架、CCD 螢幕、數位相機

步驟：1 以各藥匙採微量的各固體溶質，各加上一些水溶解成水溶液後，各滴一滴到雙面膠、玻片及投影片上。

2 讓這些液滴自然乾燥及結晶。

3 自然結晶後，再將雙面膠、玻片及投影片上的結晶物，置於顯微投影機顯微鏡台上及自組透鏡路徑組連結 CCD 螢幕下及觀察其結晶的情形，並以數位相機拍攝之。

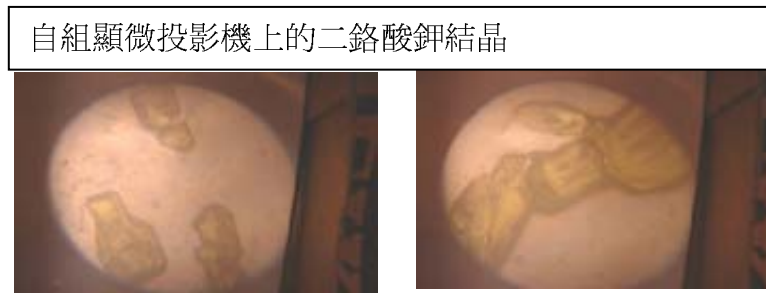
以下為數位相機所拍攝的畫面：



二鉻酸鉀的結晶分佈

雙面膠、玻片、投影片

由左到右的不同載液面



自組顯微投影機上的二鉻酸鉀結晶

玻片上的結晶較為分散

投影片上的結晶較為集中

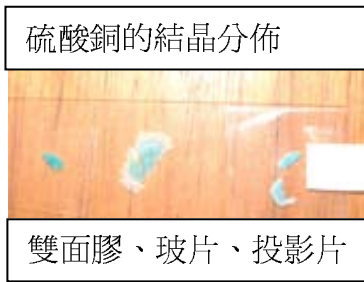
自組透鏡及路徑箱連結到 CCD 螢幕的投影畫面拍攝

雙面膠上的

玻片上的

投影片上的二鉻酸鉀結晶





由左到右的不同載液面



玻片上的結晶較為分散 投影片上的結晶較為集中

自組透鏡及路徑箱連結到 CCD 螢幕的投影畫面拍攝

雙面膠上的

玻片上的

投影片上的硫酸銅結晶



【結果與討論】

- 1.我們發現自組顯微投影機的放大倍率比較高，但耗電量及佔有儀器實驗空間則比目組透鏡連結 CCD 螢幕的大得多，光很強而無法久看。
- 2.因為兩者的放大率不同，所以，自組顯微投影機只能看結晶的局部，而且一但結晶層厚些，就看起來黑黑的，原因是光源從結晶下方向上照射，而為了使影像清楚，來自上方所有的光線必需盡量遮光才行。
- 3.自組透鏡連結 CCD 螢幕的就設計上大不同了，為了讓全部結晶入鏡，所以放大倍率只好降低，只選擇焦距約 3 公分而半徑大的凸透鏡，將結晶物放在 3~6 公分內以略放大幾倍的方式讓結晶在電子螢幕上呈現。若也要看清局部結晶構造，則將電子螢幕接在顯微鏡的接目鏡上即可，這與自組顯微鏡最大的不同點是我們利用「報廢光碟片及 LED 燈」已設計出可看清不透明結晶物的表面及顏色。
- 4.不論是二鉻酸鉀或硫酸銅結晶，不同載液面上結晶的分佈均為雙面膠最集中、投影片次之、而玻片則呈現較分散的結晶群且結晶層厚度較薄！
- 5.在液滴滴在不同載液面上時，我們發現雙面膠的液滴呈最明顯的拱形，液滴高度最高，可見液滴在此種載液面上的表面張力最大，所以，附著力遠小於內聚力而呈現拱形；投影片的次之；而玻片上的高度則最低。因此，我們以又進行了不同載物面對不同濃度硫酸銅液滴的表面張力的角度、高度、結晶分佈比較如下：



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

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

【研究二、探討一滴汽水在不同載物面上產生泡泡的微觀比較】

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、塑膠杯、滴管、自製顯微投影機及光源聚光散熱箱、數位相機、數位攝影機、固定角架、繪聲繪影軟體、電腦。

控制變因：溶液均為 1 滴的汽水、同一天的同溫同壓下實驗、同一隻滴管

操縱變因：不同接觸面材質在顯微投影機上觀察其起泡的差異

步驟：1 在投影片一長條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。

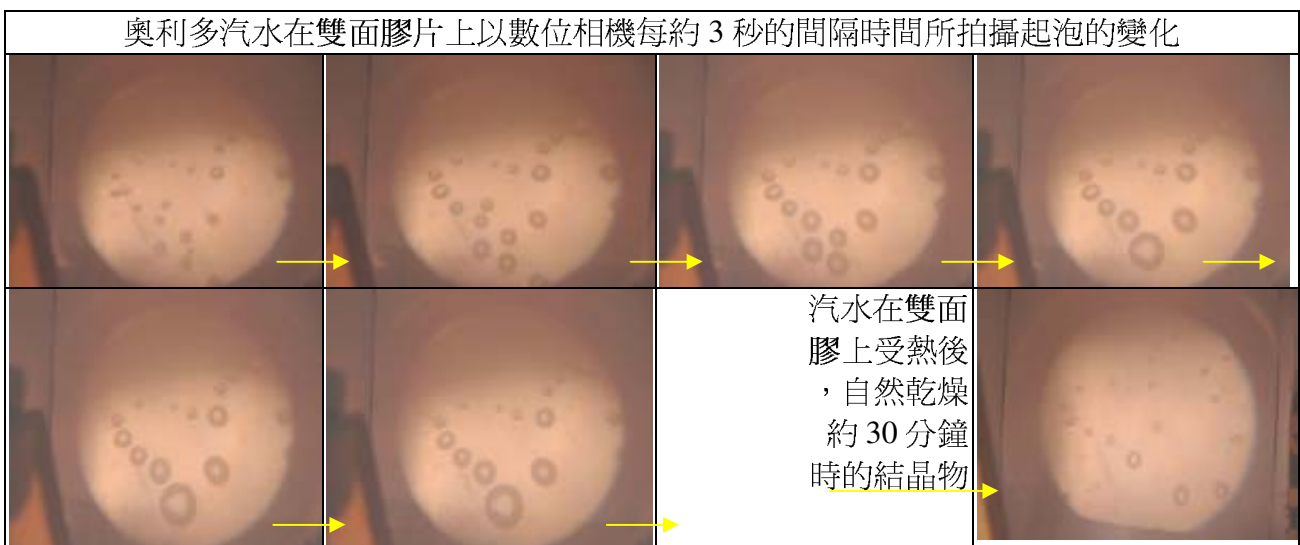
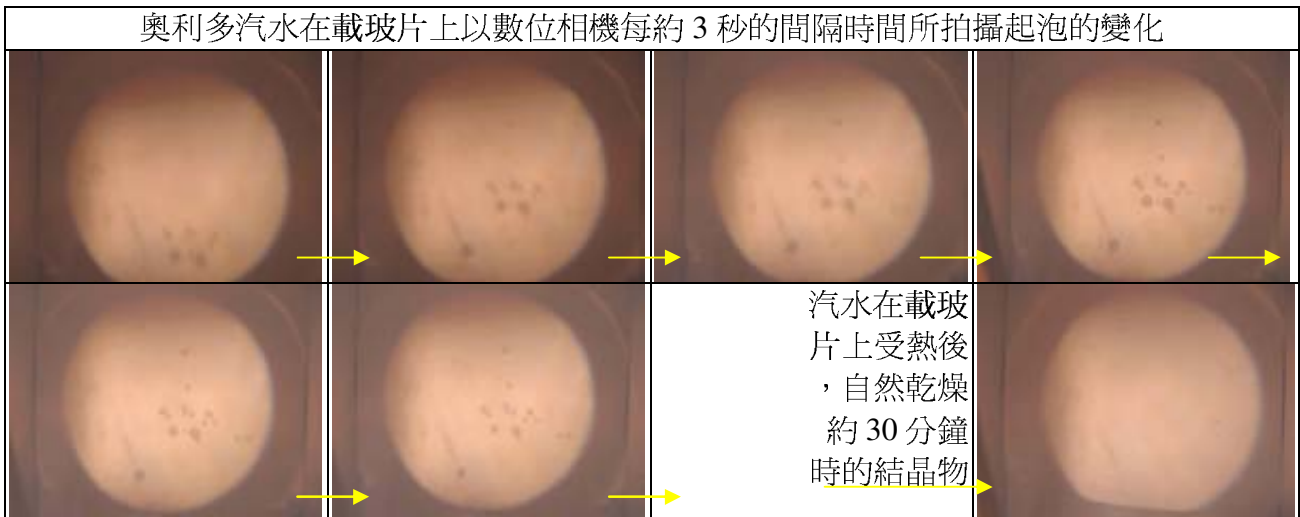
4 在載玻片上小心滴上 1 滴汽水，數位相機準備就緒後，移動載玻片至顯微鏡頭處。

5 啟動顯微投影機、光源聚光散熱箱，以攝影機準備錄影、數位相機也開始連續拍攝其起泡的變化(間隔約 3 秒)。

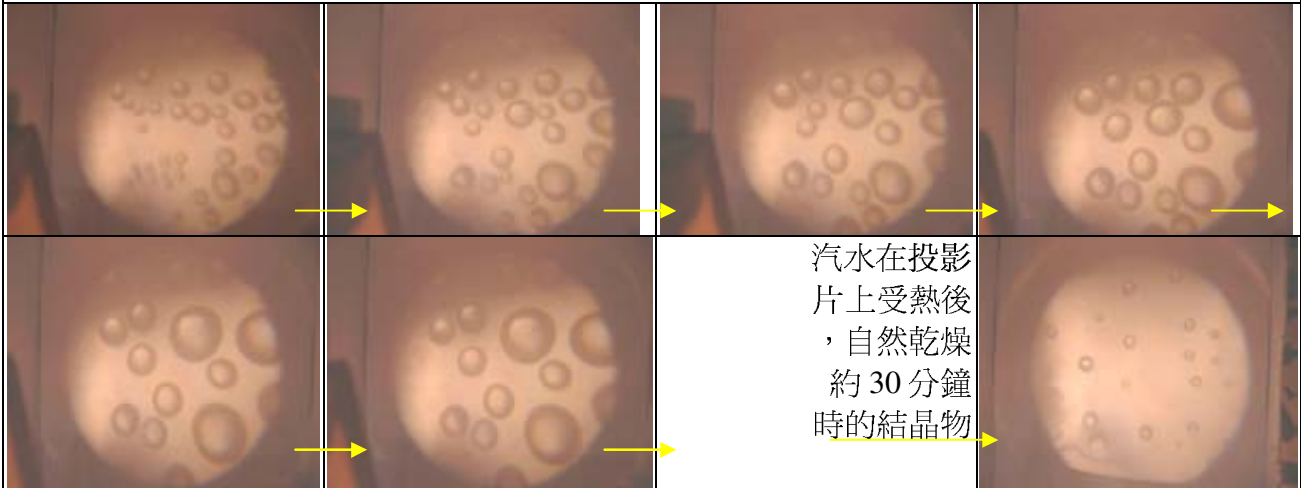
6 將汽水改滴到其他載液面，如以上步驟操作之。

(以攝影機錄影所拍攝的影片以繪聲繪影軟體剪輯，預定在現場中以電腦播放)

以顯微投影機拍攝此實驗之起泡及結晶畫面如下：



奧利多汽水在投影片上以數位相機每約 3 秒的間隔時間所拍攝起泡的變化



【結果與討論】

- 1 我們原先以為氣泡的生成動力是取決於汽水中二氧化碳的溶解濃度，因此，不同的碳酸飲料就有不同的氣泡生成速率。沒想到經實作的結果發現，原來不同的載液面也會使氣泡的生成動力產生這麼大的影響。
- 2 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！
- 3 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。
- 4 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。
- 5 以上觀察結果，經老師的解說，這應是和拉普拉斯定律有關。所謂的拉普拉斯定律主要內容是：氣泡內外的壓力差會和氣泡半徑成反比；氣泡愈小，裡面的壓力就愈大。若低於某個臨界半徑，氣泡空腔內部的氣體壓力過大，便會阻止液體中溶解的二氧化碳擴散到此空腔裡。這也說明了：為什麼汽水在載玻片上不易形成氣泡，在雙面膠及投影片上則形成容易，這可說是氣泡的空腔曲率半徑必須大到足以克服這個成核作用的能量障礙時，氣泡也才可以形成。哇！氣泡生成的學問居然也這麼大呀！！

【研究三、微觀投影片上一滴硫酸銅溶液受界面活性劑塗佈及溫度影響的結晶分佈】

實驗三、界面活性劑破壞硫酸銅表面張力下的結晶形狀觀察

準備：剪下投影片一長條、印有刻度的投影片、0.1~1.0M 硫酸銅溶液、洗碗精、棉花棒、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 CuSO_4 溶液量、同一天的同溫同壓下實驗、同一種洗碗精

操縱變因：滴加不同濃度硫酸銅溶液在塗佈不同濃度清潔劑的投影片上顯微投影其結晶情形

步驟：1 數位攝影機加放大鏡頭置於固定角架上，調整拍攝液滴側面區域。












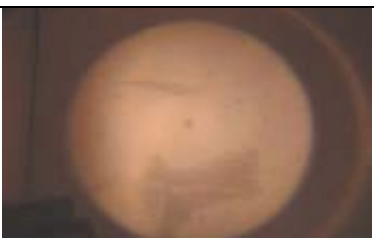



2 數位相機置於固定角架上，調整拍攝液滴自然乾燥投影後的正面區域。

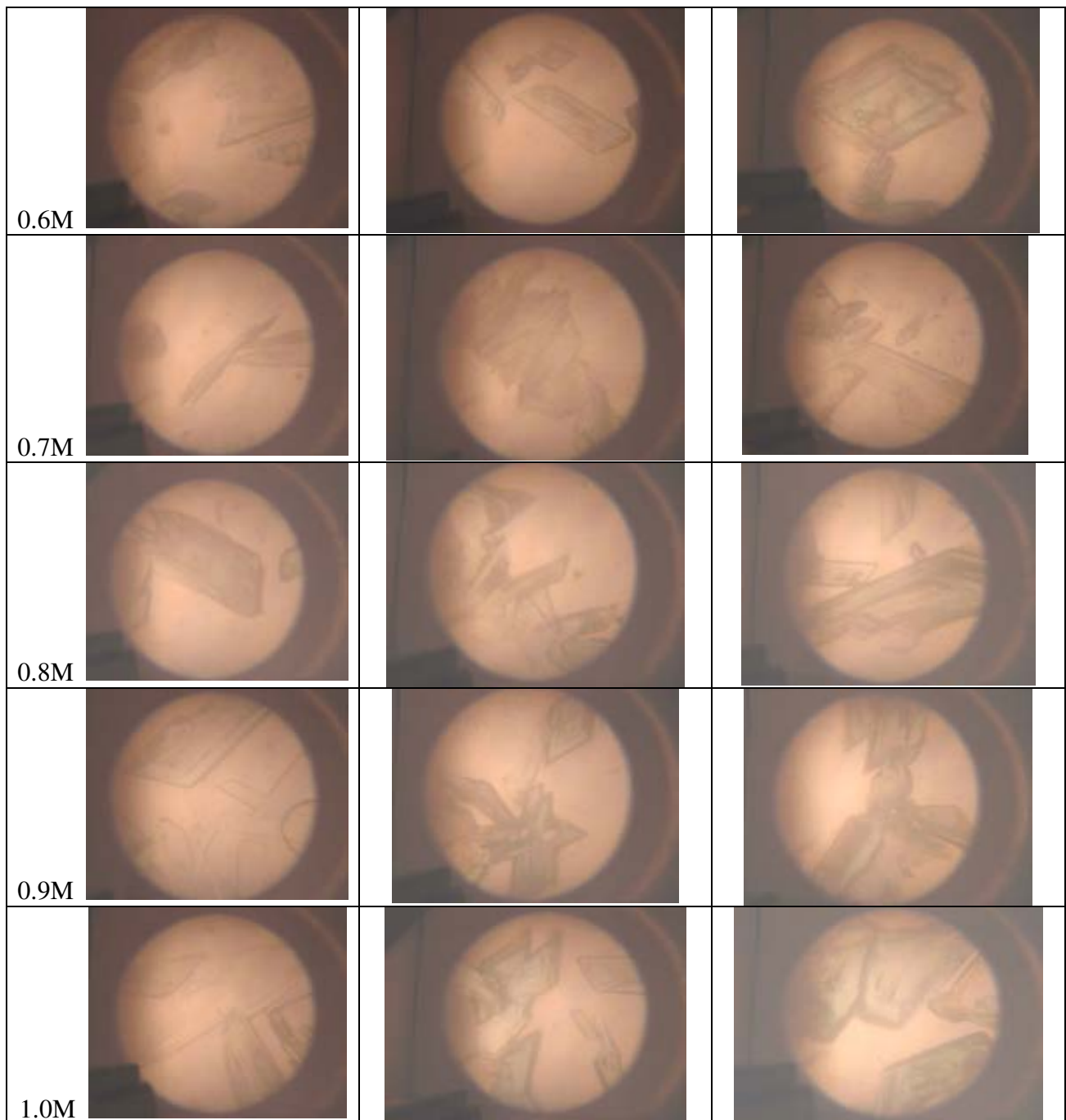
3 投影片(有碳粉繪製刻度的面置於下方)，滴上 1 滴 0.1M 的 CuSO_4 溶液，自然乾燥後待測。

4 啓動顯微投影機、光源聚光散熱箱，以數位相機開始拍攝各結晶的變化。

5 將溶液改爲其他濃度的 CuSO_4 溶液，如以上步驟操作之。

投影片塗加不同濃度清潔劑後，在不同濃度的硫酸銅液滴常溫下的結晶分佈情形

	不稀釋的洗碗精清潔液原液	稀釋 5 倍的洗碗精清潔液	稀釋 10 倍的洗碗精清潔液
0.1M			
0.2M			
0.3M			
0.4M			
0.5M			



【結果與討論】：

- 1 油滴在碗盤上會形成拱形，若加一滴清潔劑則立即攤成一片，所以我們想要用清潔劑塗到投影片上，等自然乾燥後再滴加不同濃度的硫酸銅溶液，觀察在投影片上各濃度的液滴表面張力角度均有變小的情形，且液滴高度均降低而液滴結晶後的分佈亦較分散開來。
- 2 將不同濃度的清潔劑這種界面活性劑塗加到投影片上，濃度愈高者，破壞硫酸銅液滴的表面張力愈明顯，使液滴內聚力減少、附著力增加的結果是結晶愈見透明、分佈範圍愈大，愈接近薄片單晶的趨勢。

實驗四、不同下溫度破壞硫酸銅表面張力下的結晶形狀觀察

準備：剪下投影片一長條、0.1~1.0M 硫酸銅溶液、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 CuSO_4 溶液量、同一天實驗、同時間使用熱源穩定的顯微投影機











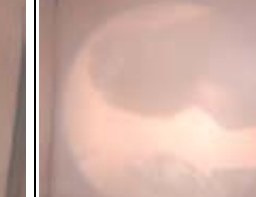



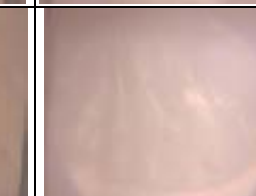
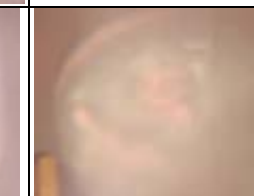


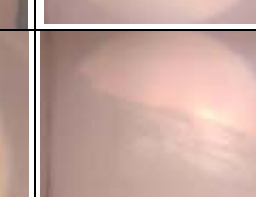

操縱變因：滴加不同濃度的硫酸銅溶液以不同溫度下結晶並在顯微投影機上觀察其結晶情形

步驟：1 投影片置於自製顯微投影機的顯微台上方，以同一高度滴上 1 滴 0.1M 的 CuSO_4 溶液，小心移動至物鏡的鏡頭下待測。

2 啓動顯微投影機、光源聚光散熱箱，以數位相機開始拍攝聚光加熱後結晶的變化。

3 將溶液改爲其他濃度的 CuSO_4 溶液，如以上步驟操作之。

以顯微投影機拍攝的結晶畫面比較如下：

硫酸銅	常溫下投影片結晶	顯微加熱下投影片結晶	常溫下投影片結晶	顯微加熱下投影片結晶
左二圖爲 0.1M 右二圖爲 0.2M				
左二圖爲 0.3M 右二圖爲 0.4M				
左二圖爲 0.5M 右二圖爲 0.6M				
左二圖爲 0.7M 右二圖爲 0.8M				
左二圖爲 0.9M 右二圖爲 1.0M				

【結果與討論】：

- 液滴的乾燥時間比自然乾燥的短得很多，原因是有強光照射的關係。自然乾燥時不少結晶本應呈實心狀，但若照光，液滴內的分子因中間溫度較高使得溶質被攜帶至液滴邊緣沉積而形成環圈。
- 由顯微投影機所拍下的圖片可知，濃度愈高的環圈愈明顯，投影片上因表面張力大，液滴面積小故因溫度迫使溶質非得向邊緣沉積，可是濃度大，流動性不如濃度低的快，水分子蒸發受阻，只好就地形成氣泡而最後就爆裂了。

【研究四、微觀一滴硫酸銅溶液受外在磁場影響的結晶分佈】

實驗五、外加磁場對硫酸銅液滴結晶形狀的影響

準備：剪下投影片一長條、玻片、0.1~1.0M 硫酸銅溶液、滴管、數位相機、自製顯微投影機及光源聚光散熱箱、自組透鏡路徑及 CCD 電子螢幕組、固定角架、多塊同規格的磁鐵及強力磁鐵、上下蓋不同直徑的培養皿、平底的塑膠瓶蓋、木條。

控制變因：溶液均為 1 滴的 CuSO_4 溶液量、同一隻滴管、同一天的同溫同壓下自然乾燥

操縱變因：外加不同距離、不同磁極、不同接觸面材質下自然乾燥的結晶

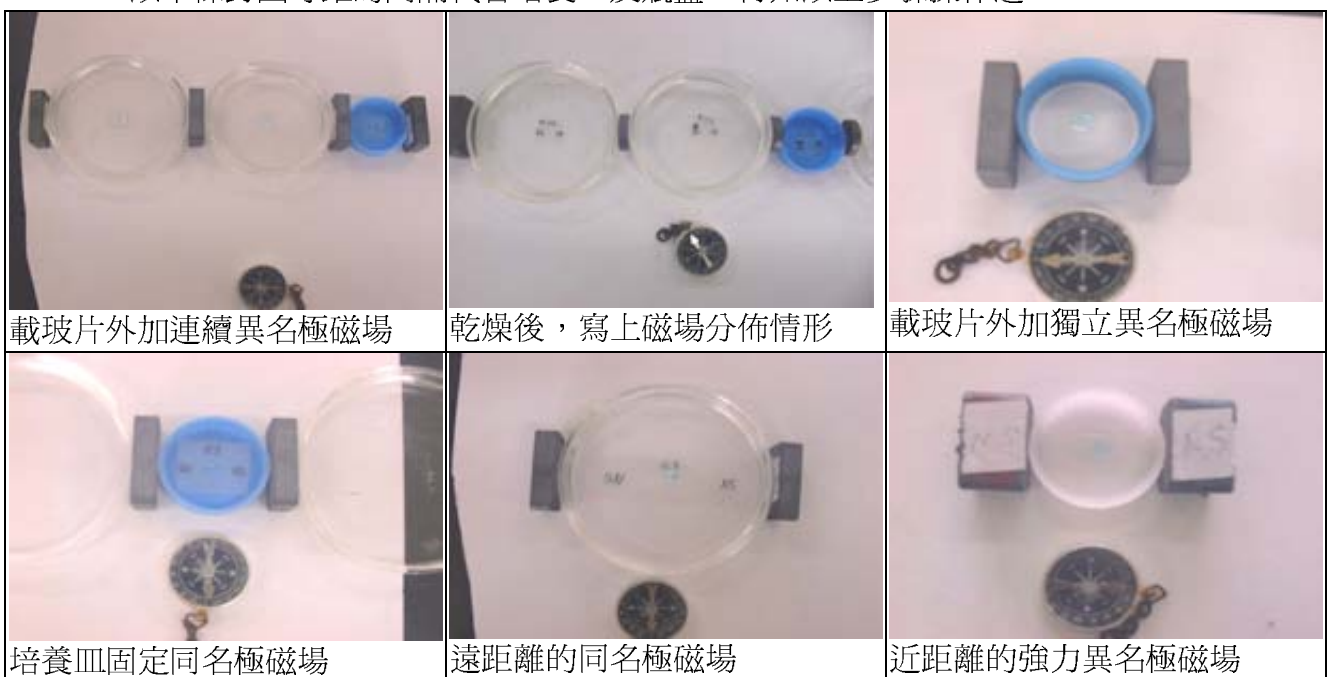
步驟：1 將載玻片或投影片分置於不同直徑的培養皿、平底的塑膠瓶蓋上，以同規格的磁鐵或強力磁鐵分置於皿外或瓶蓋外的兩側。(拍攝部份操作畫面如下圖所示)

2 各小心滴上 1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液。

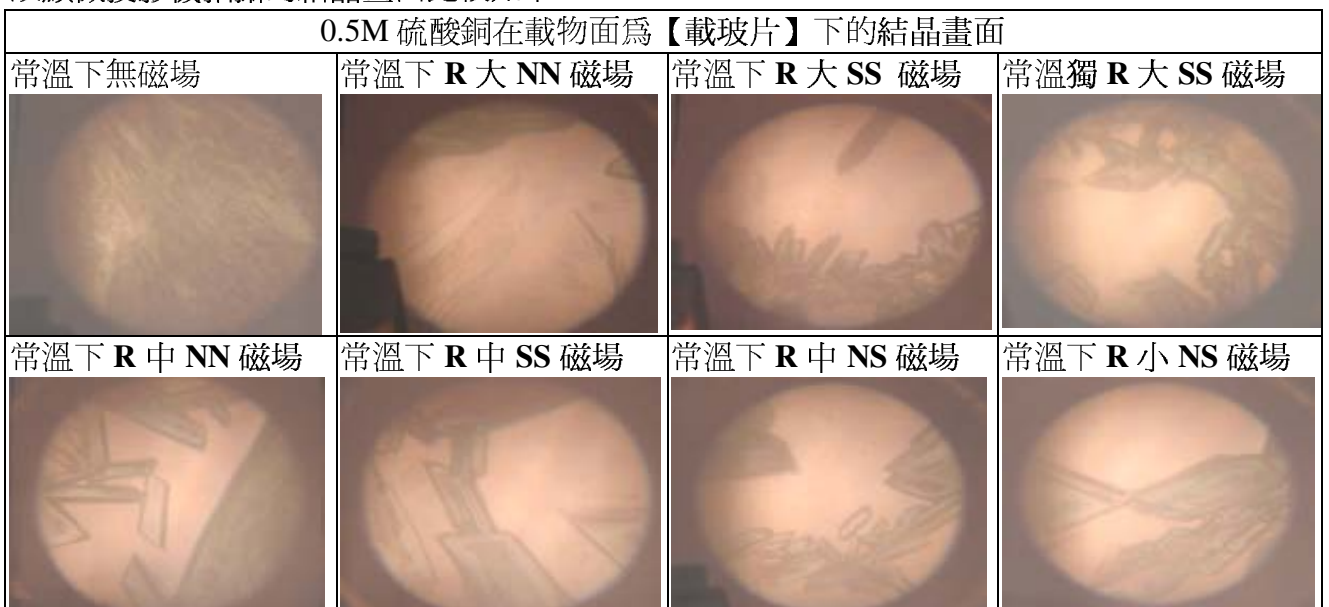
3 自然乾燥後，將結晶移至自製顯微投影機物鏡的鏡頭下測結晶的形狀。


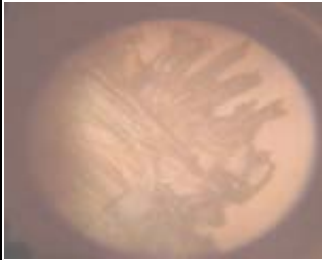




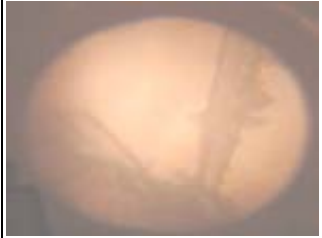




4 將溶液改爲 1.0M 濃度的 CuSO_4 溶液，如以上步驟操作之。




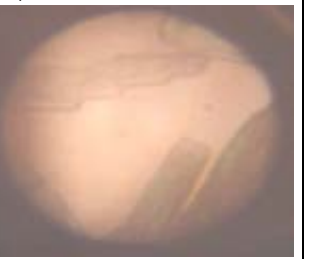
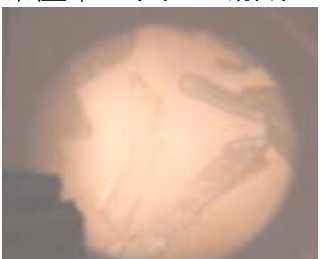
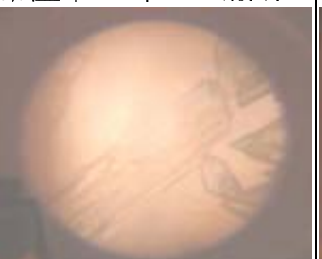
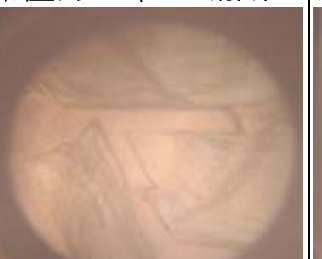





5 以木條釘出等距的間隔代替培養皿及瓶蓋，再如以上步驟操作之。



以顯微投影機拍攝的結晶畫面比較如下：



強獨 R 小 SS 磁場	常溫下 R 小 NN 磁場	常溫下 R 小 SS 磁場	
			
0.5M 硫酸銅在載物面爲【投影片】下的結晶畫面			
常溫下無磁場	常溫下 R 大 SS 磁場	常溫下 R 中 SN 磁場	常溫下 R 中 NN 磁場
			
常溫獨 R 中 SS 磁場	常溫下 R 小 SS 磁場	常溫獨 R 小 SS 強磁場	常溫下 R 小 SN 磁場
			

1.0M 硫酸銅在載物面爲【載玻片】下的結晶畫面			
常溫下無磁場	常溫獨 R 大 SS 磁場	常溫下 R 大 SS 磁場	常溫獨 R 大 SN 磁場
			
常溫下 R 大 SN 磁場	常溫下 R 中 SN 磁場	常溫獨 R 中 SS 磁場	常溫下 R 中 NN 磁場
			
常溫獨 R 中 SN 磁場	常溫下 R 小 NN 磁場	常溫獨 R 小 SS 磁場	強獨 R 小 SS 磁場
			

R 小 NS 磁場	強獨 R 小 NS 磁場		
1.0M 硫酸銅在載物面為【投影片】下的結晶畫面			
常溫下無磁場	常溫下 R 大 SS 磁場	常溫下 R 大 SN 磁場	獨 R 大 SS 磁場
常溫獨 R 大 SN 磁場	常溫下 R 中 SN 磁場	R 中 SS 磁場	強獨 R 小 SN 磁場

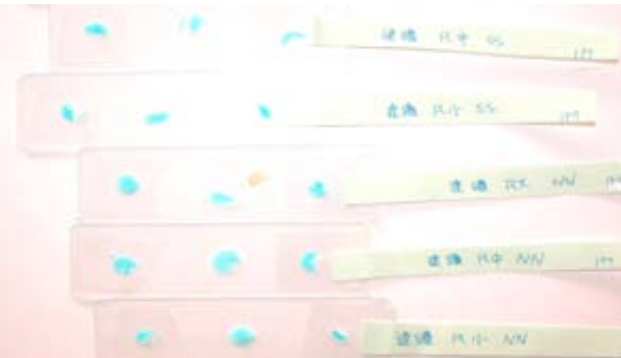
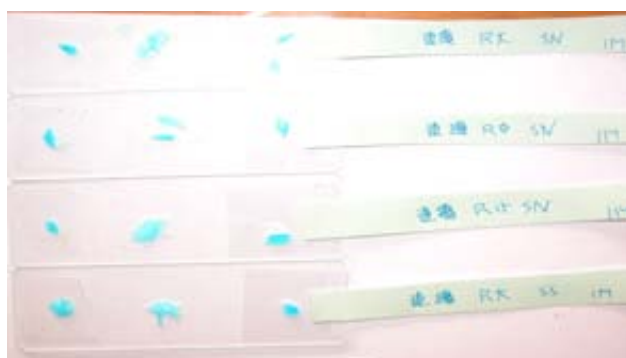
距離變因不呈等差的比列似乎不很恰當，所以另以木條釘出等距的間隔，準備再行探究常溫下藍色硫酸銅液滴，能否受外加不同距離連續磁場的影響而有不同的結晶形狀設計



以木條做等距不同的連續排列 不等距處放方形磁鐵

液滴放在磁極處乾燥後，再移入另一載液面的液滴

以下是以不同或相同磁極及不等距磁距(九種連續磁場試驗組)與硫酸銅液滴相對，在不同載液面下(雙面膠、玻片、投影片)所做的結晶形狀探討



以下為 **2cm** 近距直接拍攝各液滴結晶形狀的畫面

1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距大】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距中】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距小】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SS 同名極】【間距大】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SS 同名極】【間距中】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SS 同名極】【間距小】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【NN 同名極】【間距大】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【NN 同名極】【間距中】磁場下常溫結晶的影響

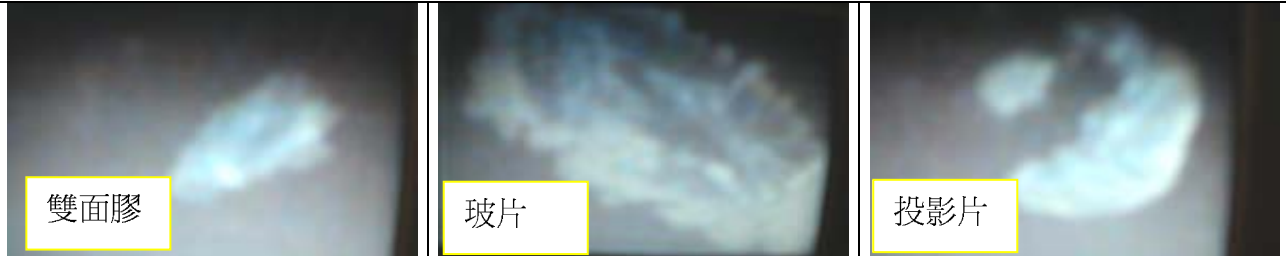


1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【NN 同名極】【間距小】磁場下常溫結晶的影響



以自組透鏡透過 CCD 螢幕畫面拍攝結晶形狀比較如下：

1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距大】磁場下常溫結晶的影響



1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距中】磁場下常溫結晶的影響



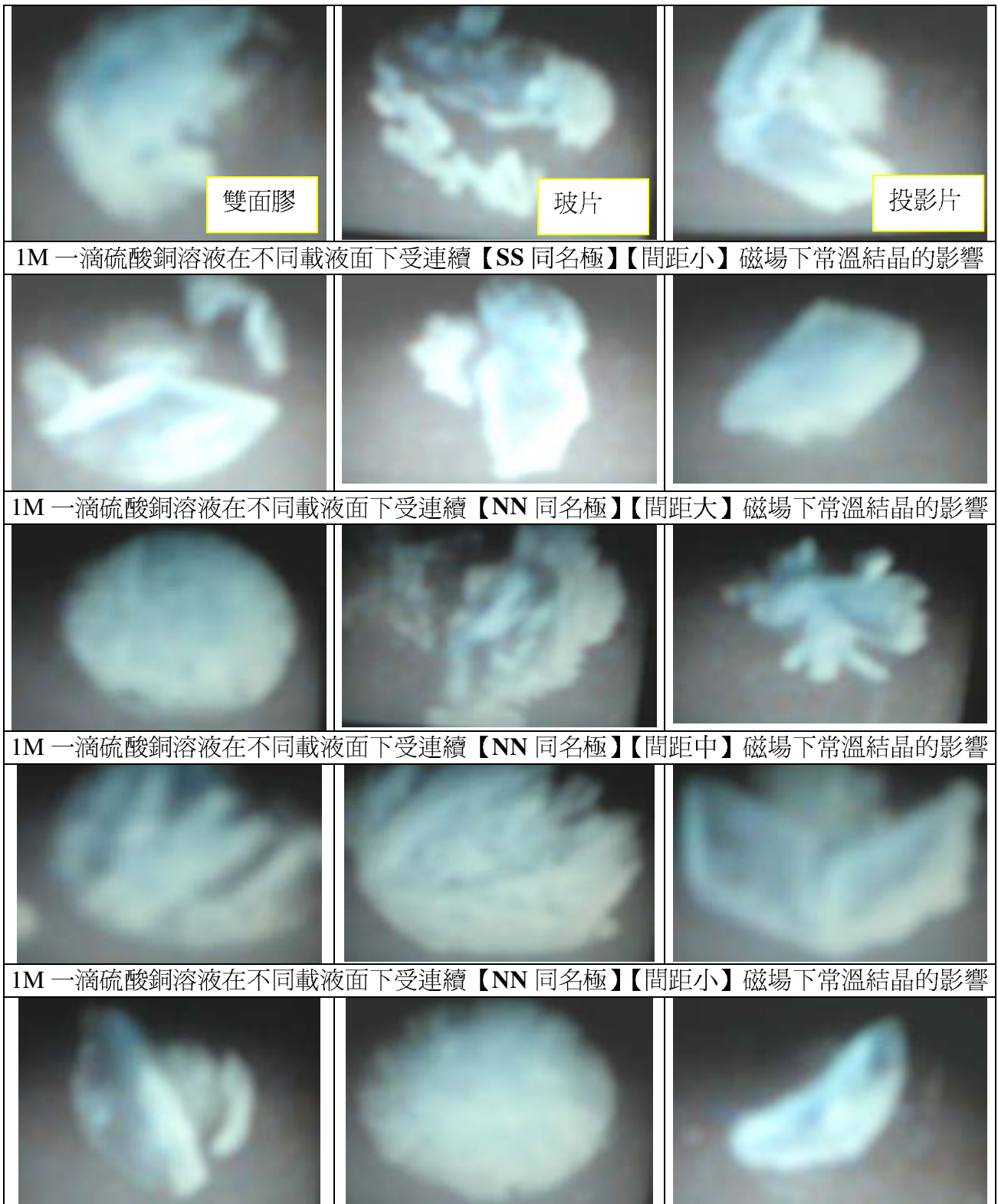
1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SN 異名極】【間距小】磁場下常溫結晶的影響



























1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SS 同名極】【間距大】磁場下常溫結晶的影響









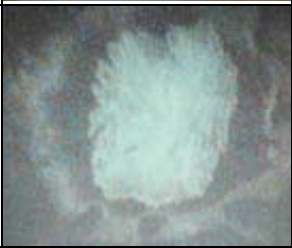














1M 一滴硫酸銅溶液在不同載液面下受連續【SS 同名極】【間距中】磁場下常溫結晶的影響



一滴硫酸銅溶液受【NN 同名極】【間距不同】磁場下常溫結晶的影響				
工具	磁場【間距大】	磁場【間距中】	磁場【間距小】	【單獨】磁場
數位相機拍攝				
顯微鏡連螢幕				
透鏡連螢幕				

一滴硫酸銅溶液受【SS 同名極】【間距不同】磁場下常溫結晶的影響				
工具	磁場【間距大】	磁場【間距中】	磁場【間距小】	【單獨】磁場
數位相機拍攝				
顯微鏡連螢幕				
透鏡連螢幕				

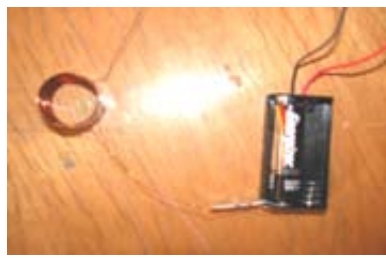
一滴硫酸銅溶液受【SN 同名極】【間距不同】磁場下常溫結晶的影響				
工具	磁場【間距大】	磁場【間距中】	磁場【間距小】	【單獨】磁場
數位相機拍攝				
顯微鏡連螢幕				
透鏡連螢幕				

	數位相機近距離拍攝	顯微鏡連電子螢幕局部照射	透鏡連電子螢幕全部照射
無磁極 硫酸銅 對照組			
鉻酸鉀 SN 磁 場下常 溫結晶			
鉻酸鉀 無磁場 下常溫 結晶			

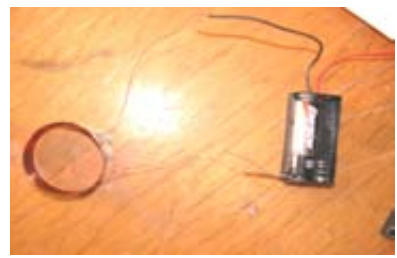
自組透鏡透過 CCD 螢幕畫面，可看到由光線照射結晶面，反射出常溫下藍色硫酸銅結晶，有無受外加 40 圈線圈通一顆直流電所造成電磁鐵磁場影響的結晶形狀



以銅線繞出半徑不同的線圈



小圈電磁鐵對 0.5M 硫酸銅結晶的影響 線圈半徑再稍大些



線圈半徑再更大些



無磁鐵的液滴擴散面積小



受磁場影響的液滴外擴明顯且乾燥速率比常溫快了約 45 分鐘左右

常溫乾燥下，不同電磁鐵線圈半徑大小對 0.5M 硫酸銅液滴結晶後的形狀比較(直接攝影)



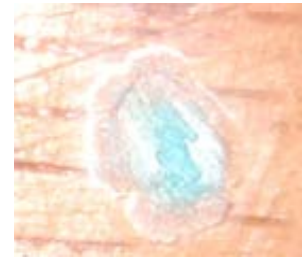
小半徑電磁鐵



中半徑電磁鐵



大半徑電磁鐵



無磁鐵

(透過自組透鏡銜接 CCD 螢幕畫面直接拍攝結晶形狀的情形)



小半徑銅線圈電磁鐵 中半徑銅線圈電磁鐵 大半徑銅線圈電磁鐵 常溫下無外加任何磁鐵

【結果與討論】：

- 1 由以上在顯微投影下的各結晶分佈情形來看，外加磁場的確對這種電解質的溶液形成結晶有明顯的影響，且也可以看出，外加磁場的強度與溶液間的距離有關係，距離愈近，影響愈明顯。
- 2 且由以上的結晶分佈情形來看，載玻片因表面張力較小，液滴在此載液面的面積較大，結晶受磁場影響的分佈就比投影片的明顯易看，所以由此更可確知，觀察結晶的分佈仍以載玻片材料為佳；而且低濃度 0.5M 的液滴也比 1M 的結晶效果要好。
- 3 我們發現若硫酸銅這種電解質溶液受到同名極的磁場作用下，結晶會形成外擴且為尖銳的塊狀分佈。而受到異名極的磁場作用下，結晶也會外擴些，但其結晶形狀有帶梯狀或連續塊狀結晶沉積及有部分接合的分佈。或許由外加磁場的磁力線可看出一些端倪。
- 4 我們相信常溫下磁場對結晶的分佈都有如此的影響，那如果將液滴電解會不會有更明顯的影響？這是為什麼我們認為必需再加以探討的原因了。

【研究五、微觀電解一滴硫酸銅溶液受外在磁場的影響】

- 想法：1 既然常溫下外加固定磁場或電磁鐵磁場都能使硫酸銅溶液的結晶分佈受到影響，那對於通電後的電解質溶液是不是影響更大？
- 2 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。
- 3 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？
- 4 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，我們準備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。
5. 爲了將整個受磁場影響的反應能攝影下來，我們將 CCD 電子螢幕接顯微鏡的接目鏡，並以報廢 CD 加裝 LED 燈在顯微鏡台與接物鏡間，以期待能清楚的看到整個反應的畫面。

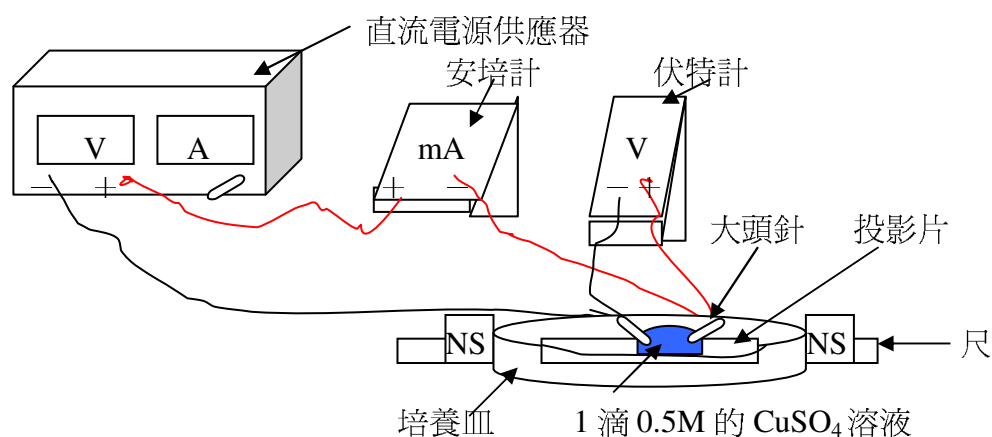
實驗六、不同直流電壓下，外加磁場對電解一滴 0.5M 硫酸銅溶液的影響

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。

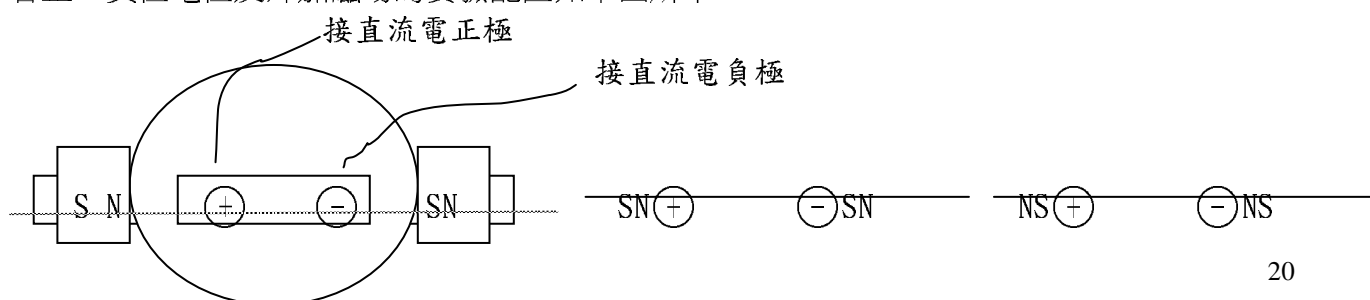
控制變因：正負電極均用大頭針、電極相距一滴溶液邊緣(約 0.5cm)、電解液爲 1 滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液

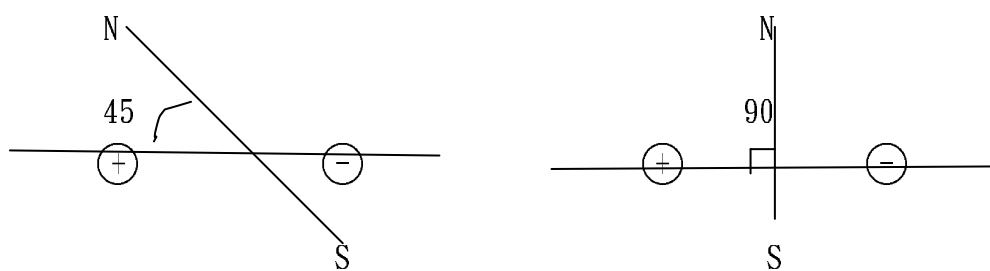
操縱變因：不同直流電源的電壓(V)下有無外加磁場

- 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 正負極均爲大頭針，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



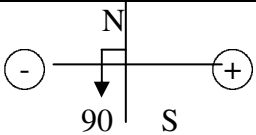


第一次實驗【1滴0.5M的CuSO₄溶液】

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					

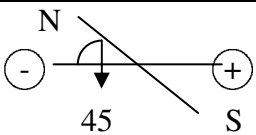
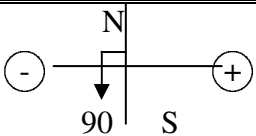
註：因為一滴溶液在 10.0V 下不到一分鐘就反應完了，所以特再加一滴再比較之。

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

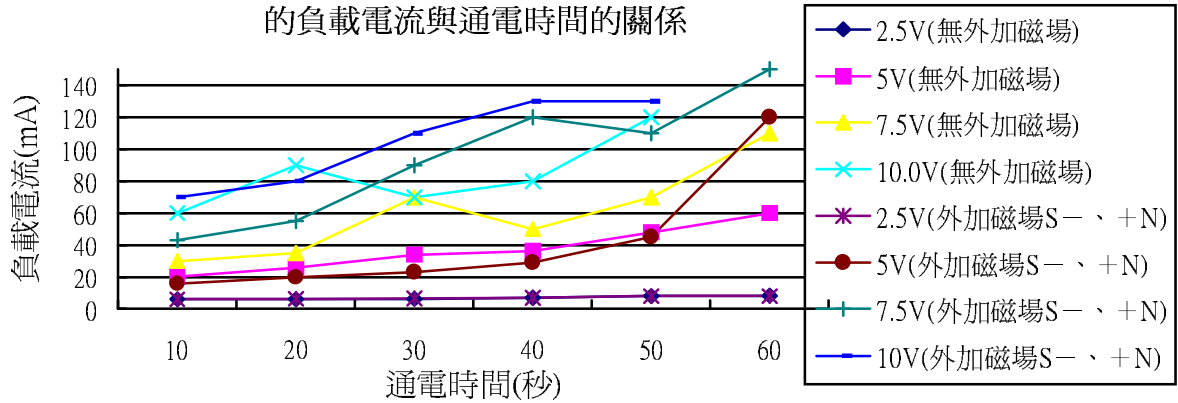
電源供應器電壓(V)	無外加磁場			負載電壓為 9.59~9.52V		
每 10 秒的負載電流(mA)	7	8	8	8	9	9
	11	10	11	10	11	12
	5	13	13	15	16	16
	17	16	18	18	19	20
	21	22	24	26	28	29
	42	35	31	47		
溶液藍色消失時間	381 秒					
電壓(V)及 外加磁場	N \ominus 、 \oplus S			負載電壓為 9.85~9.68V		
每 10 秒的負載電流(mA)	15	13	15	19	20	27
	32	36	80	70	70	80
	70	60	70			
溶液藍色消失時間	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					

註：由以上實驗證明磁場的確對電解反應有不小的影響，所以值得再做一組驗證

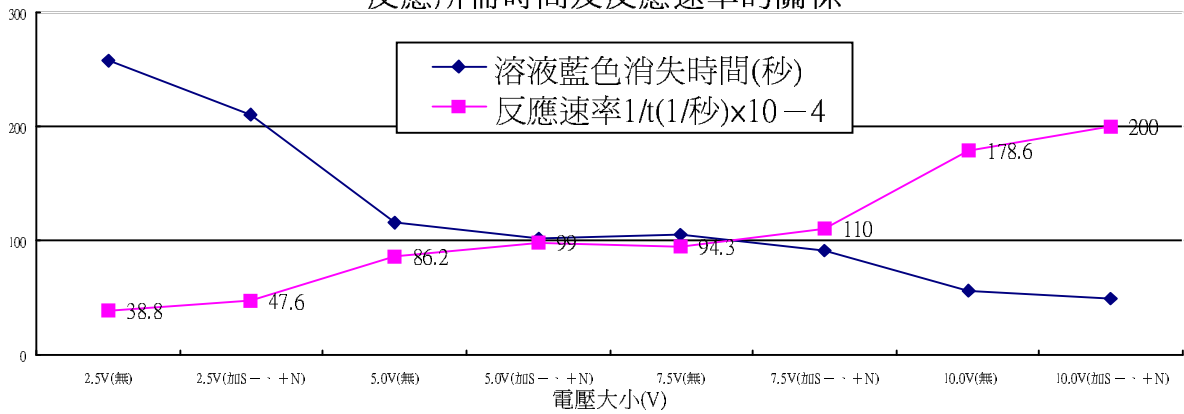
第三次實驗【2滴 0.5M 的 CuSO_4 溶液，電壓全為 10.0V】

電源供應器電壓(V)	無外加磁場			負載電壓為 9.51~9.37V		
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 ⁽⁻⁾ 、 ⁽⁺⁾ 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 ⁽⁻⁾ 、 ⁽⁺⁾ 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					

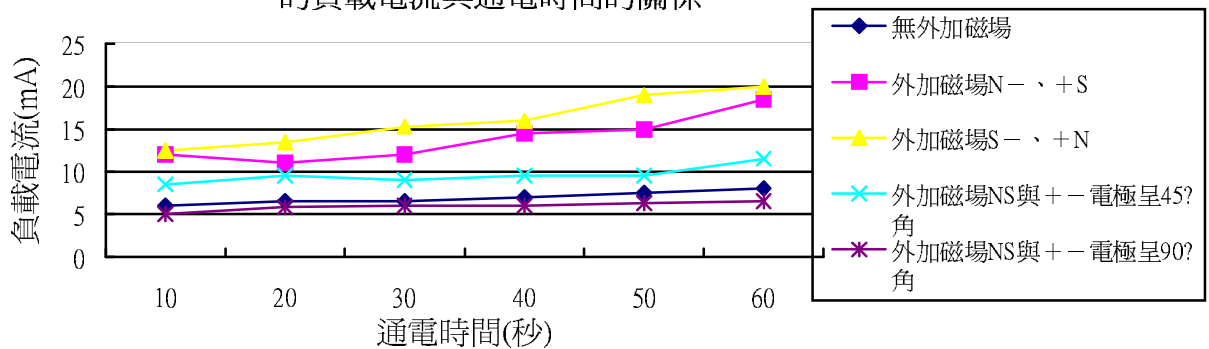
圖一、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下的負載電流與通電時間的關係



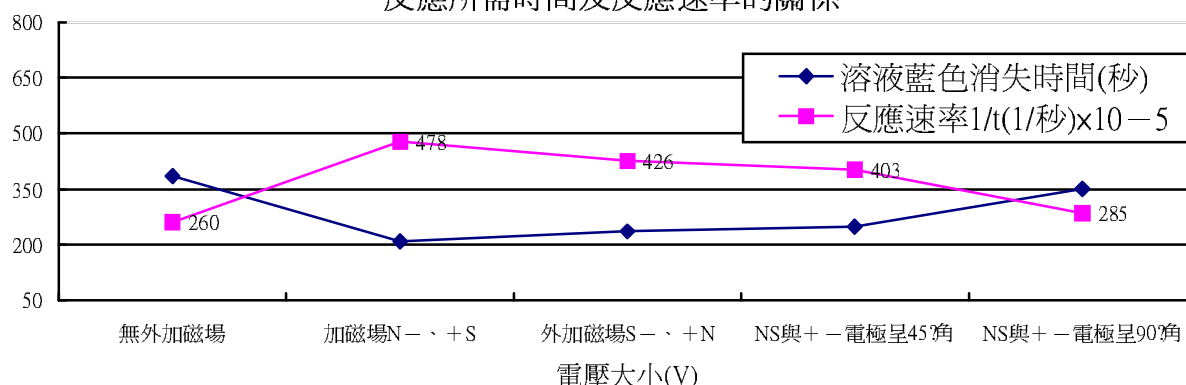
圖二、微形電解1滴0.5M硫酸銅溶液在有無外加磁場下各電壓的反應所需時間及反應速率的關係



圖三、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



圖四、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



【結果與討論】

1. 1滴0.5M的CuSO₄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CuSO₄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
外加平行磁場 N-、+S	12	11	12	14.5	15	18.5
外加平行磁場 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。

【研究六、微觀電解一滴碘化鉀溶液的色彩變化】

實驗七、微觀電解一滴碘化鉀溶液的實驗

準備：自製有等距格子的投影片、0.5M 碘化鉀溶液、廣用試紙、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、電源供應器、顯微鏡、CCD 電子螢幕、數位相機、攝影機、繪聲繪影軟體、電腦。

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 碘化鉀溶液

操縱變因：不同電極材料

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 3cm x 5 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。

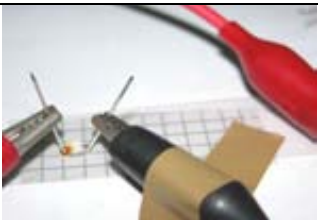






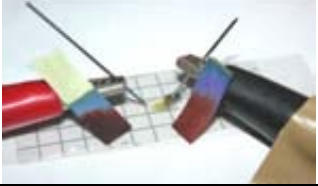



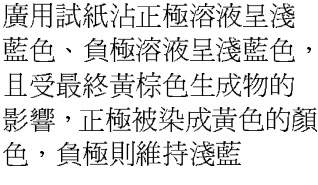
3 視不同的反應快慢計時拍照，等反應不再有變化時，正負電極各用半截的廣用試紙測試其酸鹼性，結果如下圖所示。

4 更換電極或溶液，再進行電解。



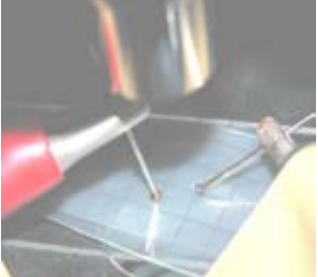









5 正負極均為大頭針，以鱷魚夾線夾住後移至顯微投影機上，準備一滴的顯微電解。

6 同樣的將裝置改以自組顯微投影機(電源用直流電源供應器)，或顯微鏡接 CCD 電子螢幕(電源改以 1600mAh 充電電池 2 顆)，再如上述步驟操作之。









【常溫下實驗結果記錄如下】




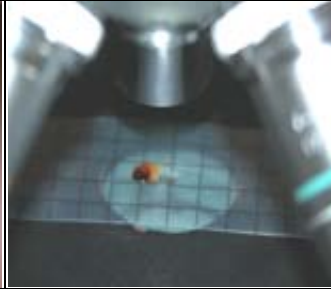
電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)的反應圖片			
			
10 秒內明顯看到正極產生黃褐色離子，而負極產生無色氣泡 (30 秒時拍的影像)	(1 分鐘時拍的影像)	靠近中間地方形成黃褐帶點綠色的膠狀物沉澱物 (3 分鐘時拍的影像)	廣用試紙沾正極溶液呈黃橙色、負極溶液呈藍紫色
電解 1 滴 0.5MKI 溶液的電解情形(左為正極鉛筆心、右為負極大頭針電極)的反應圖片			
			
20 秒內明顯看到正極產生黃褐色離子，而負極產生無色氣泡，電流強度只有 1mA 而已 (2 分鐘時拍的影像)	電流仍只有 1mA 左右而已所以反應稍慢 (4 分鐘時拍的影像)	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
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			
			
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	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

【用顯微投影機時實驗的反應圖片如下】 (左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)

			
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

【用顯微鏡結合 CCD 電子螢幕時的反應圖片如下】 (左為正極大頭針、右為負極大頭針電極)
(因外接電視或更大螢幕，所以微觀的效果很理想)

			
顯微鏡頭下的一滴溶液	開始在電子螢幕設備下進行顯微電解 1 滴碘化鉀	只有 2mA 電流就可電解的實驗	電子螢幕上已出現美麗的色彩
			
10 秒左右即產生如此可觀的反應，	在電子螢幕上左右邊影像與顯微鏡頭下的相反	負極蜂擁而生的氫氣泡	溶液中 I ⁻ 向正極移動而產生棕褐色的 I ₃ ⁻ 離子

			
氣泡減少而膠狀物增加了不少	在電子螢幕上看到的膠狀物的影像	在中間地帶產生黃褐及帶點綠色的膠狀沉澱物	顯微鏡下反應後的碘化鉀液滴

【結果與討論】

- 我們如果用鉛筆心做電極去電解硫酸銅溶液是行不通的，因為鉛筆心會被硫酸銅溶掉而使溶液呈現黑黑的，雖也有產生氣泡等，但在顏色的判讀上不易讀出藍色的銅離子消失的時間，用大頭針則可以，但電極在自組顯微投影的強光下，最後也因正極的亞鐵離子溶出而使大頭針產生氧化侵蝕的現象發生。所以，我們才決定另找其他較為不一樣的溶液，以期更有意思的發現電解的奧秘，試過一些液滴後，我們終於找到我們要的液滴材料。
- 我從實驗中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：
 - KI 在水溶液中會解離成 K^+ 離子和 I^- 離子，根據阿瑞尼士的「解離說」內容：外加電能會迫使正離子 K^+ 向負極移動， I^- 離子向正極移動而產生化學反應。但因溶液中尚有其他離子互相競爭，故 K^+ 離子的還原電位較低而不還原，所以負極反應則 H^+ 離子優先還原產生氫氣的氣泡（或 $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ 或 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ），負離子 I^- 的氧化電位較其他負離子高而優先氧化，所以正極反應有產生棕褐色的 I_3^- 離子（ $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ 而 $I_2 + I^-$ 可反應生成 I_3^- 離子），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。
 - 然而正極若使用大頭針為材料，則應產生另一氧化反應（ $Fe \rightarrow Fe^{2+}$ 綠色 + $2e^-$ 或 $Fe \rightarrow Fe^{3+}$ 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+} 淡黃色 + $3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$ 紅褐色沉澱物）。至於正極若使用鉛筆心，則反應因無鐵離子，所以並不會在正負極交接處產生沉澱物。
 - 我們也發現在一滴溶液的中間會產生明顯的無色界面，好像避免氣泡與膠狀物不可以越雷池一步！原來其反應為 $3I_2 + 6OH^- \rightarrow IO_3^- + 5I^- + 3H_2O$ ，真是學問大啊！
 （棕褐色） （無色）（無色）

五.心得討論與建議

- 1 由研究一結果已知：(1)我們自組顯微投影機的放大倍率比較高，但耗電量及佔有儀器實驗空間則比目組透鏡連結 CCD 螢幕的大得多，光很強而無法久看。(2)自組出的顯微投影機，只能看結晶的局部，而且光源從結晶下方向上照射，無法看到不透明物的顏色。(3)自組透鏡連結 CCD 電子螢幕的設計爲了讓全部結晶入鏡，採用放大倍率低且利用「報廢光碟片及 LED 燈」已設計出可看清不透明結晶物的表面及顏色。(4)我們發現，液滴滴在不同載液面上時，液滴高度及液滴直徑均有明顯的不同。液滴乾燥後的結晶分佈以載液面雙面膠最爲集中、投影片次之、而玻片則呈現較分散的結晶群且結晶層厚度較薄！
- 2 由研究二結果已知：(1)以顯微投影微觀一滴汽水在不同載物面下的起泡發現「氣泡的生成的動力不一定取決於汽水中二氧化碳的溶解濃度，以液滴而言，也和其不同載液面的表面張力有很大的關係，表面張力大的液滴曲率半徑大，氣泡較易生成，簡單的汽水，居然讓我們了解複雜的拉普拉斯定律「氣泡內外的壓力差會和氣泡半徑成反比；氣泡愈小，裡面的壓力就愈大，也就愈不易形成氣泡」。研究一的實驗結論是觀察結晶用「玻片」爲載液面而本研究二的結論就是觀察液滴氣泡的生成則用「投影片」爲載液面。
- 3 由研究三結果已知：(1)要看到更接近薄片單晶的結晶分佈可在「玻片」上塗佈清潔劑之類的界面活性劑以破壞液滴的表面張力而使液滴內聚力減少、附著力增加。(2)溫度可使液滴內不同分子量的移動速率及蒸發速率不同，硫酸銅分子溶質沸點較水分子高、分子量也大得多，所以會因顯微投影機中間溫度較高而使得溶質被攜帶至液滴邊緣沉積而形成環圈，濃度愈高這種環圈的現象愈明顯，尤其表面張力大的投影片可因此而看到「氣泡爆裂」的機會。
- 4 由研究四結果已知：(1)外加磁場的確對這種電解質的溶液形成結晶有明顯的影響，「外加磁場與溶液間的距離愈近，影響愈明顯。」(2)由結晶分佈情形來看，「觀察結晶的分佈仍以表面張力小的載玻片材料爲佳；而且低濃度 0.5M 的液滴也比 1M 的結晶效果要好。」(3)我們也發現像硫酸銅這種電解質溶液受到同名極的磁場作用下，結晶會形成外擴且爲尖銳的塊狀分佈。而受到異名極的磁場作用下，結晶也會外擴些，但其結晶形狀有帶梯狀或連續塊狀結晶沉積及有部分接合的分佈。這或許由外加磁場的磁力線可看出一些端倪。
- 5 由研究五結果已知：(1)在電解一滴 0.5M 硫酸銅溶液的實驗中，發現外加磁場對不管是通幾伏特電壓，電解時電流有變大的結果。這表示的確外加磁場可使正負離子加速運動，而使反應速率變快。(2)我們也發現「外加磁場與電解的正、負電極夾角」對反應速率造成的影響是有所不同的。仔細操作驗證的結果是：外加磁場與電極平行優於 45 度；45 度的優於 90 度的。(3)實驗已經證明，對電解而言，外加磁場也是影響反應速率的重要條件！課本及老師說影響反應速率的五個變因：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。現在是不是應該考慮⑥外加磁場呢？
- 6 由研究六結果已知：(1)我們在去年電解一滴 1M 硫酸銅溶液的實驗中，被顯微投影機上產生蜂擁而出的氧氣泡(載液面爲投影片)給震撼住了，尤其最後又以玻片爲載液面電解時產生的樹狀的金屬銅給征服了。沒想到今年繼續探討下去，會讓我們發現這麼美麗又很有內涵的碘化鉀溶液。去年鉛筆心不能做電極的，遇到碘化鉀溶液居然迎刃而解。最重要的是反應一旦有了色彩，視覺上真是一種享受，更令人意想不到的，這種事竟然會發生在一滴液滴上。(2)電解反應在自組顯微投影機的強光下，反應非常快速但眼睛直視的結果有點不舒服，今年採用學校現有而從未在實驗中使用的「CCD 電子螢幕」後，雖沒有自組顯微投影機高溫的快速反應，但比傳統大量又反應慢而言，環保是當然，時間也比傳統減少許多。

六.未來展望

「工欲善其事，必先利其器」這是大家都知道的，但如果從不去組合利用一些現有的科學工具、努力去改善陳舊的落伍實驗，那真是太不想要創新、太不能趕上現在的科技世界了。

去年本校打開了這扇微形實驗之門，我們從一滴溶液的結晶或電解一滴溶液中發現了這麼多的問題與結果。尤其從微觀電解一滴碘化鉀溶液的實驗中產生的顏色變化更可看出令人驚嘆的畫面！就在全球已朝奈米科技發展的同時，一滴溶液的微形實驗恰可使人了解巨觀的奈米世界！所以，希望大家能繼續向顯微世界邁進，努力去改善落伍的實驗吧！

七.參考資料

- 1 國中理化第一冊第四章、第三冊第十三章 國立編譯館主編
- 2.九年一貫自然第四冊第二章、第四章、第五章 康軒文教事業有限公司
- 3.2002 年國際科展物理第一名「液滴在我眼前蒸發」
- 4 本校第四十三屆縣賽物理作品
- 5 物理與生活陳偉正、林雲海、顏三和、陳憬燕編著 銀禾文化事業公司 第十章電磁定律與現象
- 6 光學與光學儀器 潘家寅 徐氏基金會出版
- 7 物理 Vincent P. Coletta 李端真等編譯 高立圖書有限公司 第十六章 光學

謝謝評閱&敬請指教！

評語

030117 國中組物理科 佳作

再探液滴的顯微投影世界

本作品儀器設計頗佳，研究範圍亦廣，然結論不夠強烈，有些混亂數據亦不易支持結論。

本作品趣味性夠，可再加強物理現象之討論 非僅觀察而已且應集中於少數較有趣之現象作深入地探討。