

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031613

微觀化學

南投縣立宏仁國民中學

作者姓名：

國二 吳珮瑜 國二 曾逸修 國二 張佳銘

國二 許惇雅

指導老師：

李學昌 李季篤

摘要

爲了比較傳統型和微型化學裝置的差異，我們設計微型化學反應裝置，並探討其實用及環保方面的問題，我們在顯微鏡底下，觀察化學反應的沉澱結晶及電解反應，嘗試以各項變因(溫度、濃度、聲波…等)來觀察其結晶的形態。我們已成功地將用量減少至 0.04ml，也以微觀的角度觀察化學反應的過程。在實驗中發現到反應進行時粒子會不斷流動，經查證後爲愛因斯坦所提的布朗運動，並且測得硫顆粒的直徑大小約 4.2 ~ 6.7 微米。本實驗成功地將顯微鏡應用在化學領域上，若將此實驗推廣，可達到污染少、時間短、用量少的目的。這是邁向化學微觀世界，另一種創新嘗試的方法。

壹、研究動機

每次做完課本上的實驗後，總會留下許多廢液，不僅浪費藥品，更徒增了許多不必要的環保問題。我們試著去解決這個問題，所以在網路上查到全國科展化學科的作品。參考他們的報告後，我們想：既然要將藥品用量減爲最少，那只有在顯微鏡下才得以觀察。故將化學反應應用在顯微鏡下，觀察其沉澱結晶的樣子，並觀察電解反應方面有什麼變化，或許可以達到藥品減量的目標，也符合環保的要求。

貳、研究目的

1. 設計並改良微型化學反應裝置。
2. 探討藥品種類、濃度及溫度等各項變因對於微觀化學反應的影響。
3. 觀察聲波種類對於沉澱結晶的影響。
4. 觀察硫酸銅與紫色高麗菜汁的微觀電解反應。
5. 比較傳統型化學反應和微觀型化學反應的差異。

參、研究設備及器材

No	器材	No	器材	No	藥品
1	高倍數解剖顯微鏡	12	溫度計、毫安培計	23	硫酸銅溶液
2	高倍數複式顯微鏡	13	直流電源供應器	24	紫色高麗菜汁
3	顯微鏡接環	14	CD 及 CD 播放機	25	碳酸鈉溶液
4	筆記型電腦	15	碼錶	26	氯化鈣溶液
5	數位相機	16	投影片	27	鹽酸
6	載玻片、蓋玻片	17	鱈魚夾線	28	硫代硫酸鈉溶液
7	點滴針筒	18	0 號夾鏈袋	29	碘化鉀溶液
8	針筒、注射針	19	膠帶	30	硝酸鉛溶液
9	微型化學反應槽	20	試管		
10	微型電解槽	21	六段式電源器		
11	三秒膠	22	雙面膠		

肆、研究過程或方法

【實驗一、設計並改良微型化學反應裝置】

想法：

爲了達到在顯微鏡下觀察化學反應的目標，就必須設計一個微小(可放在顯微鏡下)、透光度佳的顯微裝置。於是我們首先選擇了四種載液面，並比較其優缺點，以較佳的載液面來設計一個微型的化學反應裝置，並在往後的實驗中加以改良。

步驟一、比較四種不同的載液面

1. 玻片、雙面膠、投影片、夾鏈袋四種載液面的比較如下表所示 (表一)

載液面材質	玻片	雙面膠	投影片	0號夾鏈袋
直徑	6.0 cm	5.0 cm	5.0 cm	7.0cm
厚度	最高，1~2mm	適中，約1.0mm	適中，約0.5mm	適中，約0.5mm
表面張力角度	小於90°	高於90°	約等於90°	約等於90°
透光度	普通	不佳	佳	佳
溶液附著力	適中	太大	較小	適中
化學試劑反應度	不會反應	不會反應	不會反應	不會反應

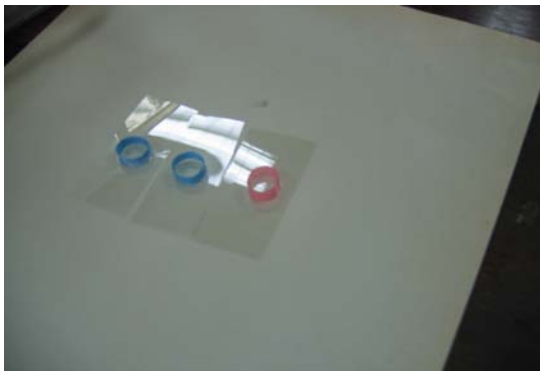
【結果與討論】

1. 玻片：厚度較厚，透光度普通，且柔軟度不夠易碎但容易清洗，故傳統實驗均以此爲載液面。
雙面膠：雙面膠爲米黃色，故無法透光，並且對於溶液附著力太大，故淘汰。
投影片：厚度及透光度皆佳，不會碎故不怕顯微鏡頭被刮傷，唯一的缺點是溶液附著力較小，易流動，不過還是可作爲載液面。
夾鏈袋：可透光且厚度適中，不會與化學試劑產生反應，可作爲反應溶液的載液面，而且具有使溶液不流出的優點。
最後決定以玻片、投影片及夾鏈袋作爲載液面。
2. 由於在做沉澱反應時無法立即蓋上蓋玻片，故反應溶液會流動。於是我們設計一個小型反應槽，可使溶液較不易流動，便於觀察其結晶、計量其時間。

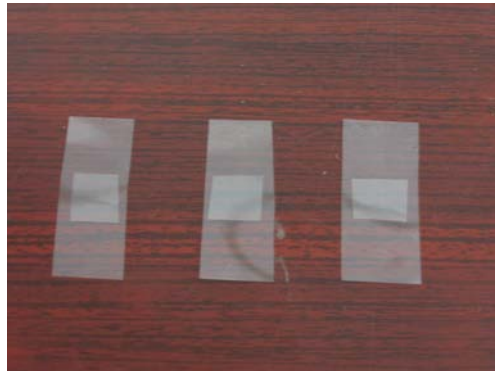
步驟二、設計微型化學反應裝置(凹槽型)

實驗器材： 吸管(立可帶透明塑膠片或電腦接頭套)、三秒膠、美工刀、載玻片

- 1.用美工刀將塑膠電腦接頭套底或立可帶透明塑膠片底割空。
(吸管則剪約1.0cm)
- 2.以三秒膠塗其底側。
- 3.將其底黏在載玻片上，成果如相片。



相片一(凹槽型化學反應裝置)



相片二(平面型化學反應裝置)

【結果與討論】

- 1.在顯微鏡下的化學反應中，必須以高倍物鏡觀察，但若是以高倍物鏡觀察，必須相當接近，甚至接觸到反應溶液，所以在第二代的微型裝置中，我們加裝了蓋液面，來解決此問題。
- 2.雖然凹槽型化學反應裝置不是非常適於沉澱反應，但可應用於電解及聲波實驗，因為在以顯微鏡觀察氣泡反應時，低倍物鏡可以不用接觸到反應溶液，以及可以得到清楚的反應結果。
- 3.凹槽型化學反應裝置，可將化學反應侷限於一定的範圍內，使液體不至於流動。
- 4.在反應中會有輕微的移動，所以我們必須克服這個問題，並使其在反應沉澱中透光度佳。在以凹槽型化學反應裝置實驗時，我們發現滴入溶液時易流動，故需設計一個平面型化學反應裝置，來做較大量的微型反應，使反應溶液與載液面之間的空隙達到最小，並使物鏡不會接觸到反應溶液。

步驟三、設計微型化學反應裝置(平面型)

- 1.實驗器材：投影片、安全剪刀
- 2.以安全剪刀在投影片上剪一個長寬約為 5.0、2.0cm 的矩形。
- 3.再將投影片上剪一個長寬約為 1.5cm 的正方形。
- 4.成果如上相片

【結果與討論】

1. 投影片厚度適當，透光度佳，可清楚的看到化學反應的沉澱情形，為不錯的載液面及蓋液片材料。
2. 投影片有柔軟不易破碎的特性，可克服物鏡會壓破蓋玻片的問題，再加上質地細緻，不會刮傷物鏡，可以以高倍物鏡觀察化學反應結晶。

【實驗二、探討微觀硫酸銅與紫色高麗菜汁的電解反應】

想法：

- 1.我們只知道硫酸銅在電解下會產生氧氣，及反應後溶液顏色會變淡，但電解時氣泡不多、顏色變化緩慢，那如果將反應放置在顯微鏡下會如何呢？
- 2.若以不同濃度的硫酸銅溶液在顯微鏡下電解，應該會有很明顯的氣泡及銅析出吧！

步驟一、不同電壓下的電解硫酸銅

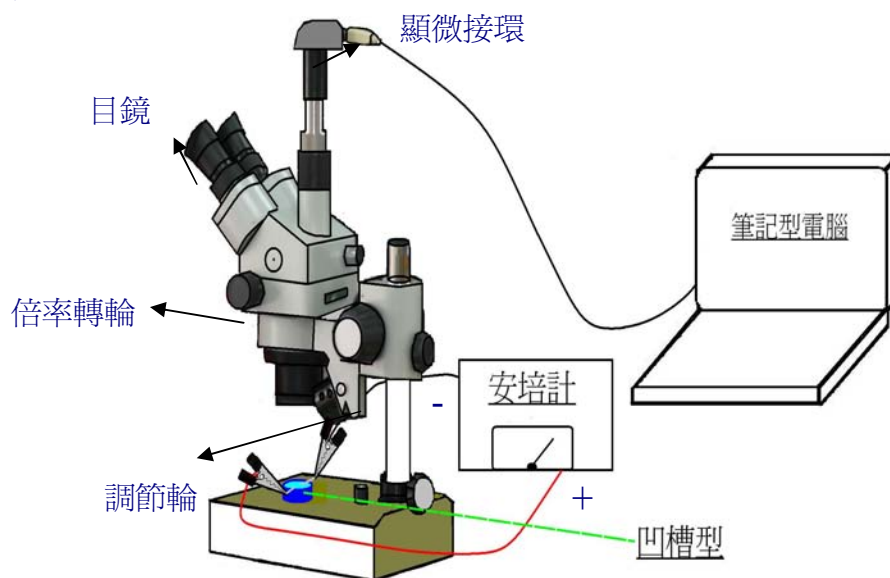
實驗器材：1M硫酸銅溶液、投影片、吸管、毫安培計、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環

控制變因：濃度均為1M的硫酸銅溶液，固定體積，在同一天(同溫、同壓)下進行。

操縱變因：不同電壓(3V、4.5V、6V、9V)

- 1.準備一自製的凹槽投影片當作載玻片。
- 2.將一滴1M的硫酸銅溶液滴入自製的微型化學反應裝置(凹槽型)中。
- 3.將電線接至毫安培計的串聯設計後在兩端的鱷魚夾上夾上大頭釘，當作兩電極，以手固定在自製的載玻片上。
- 4.以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以準備觀察。
- 5.準備好觀察的程序後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程以及時間。

如圖一：

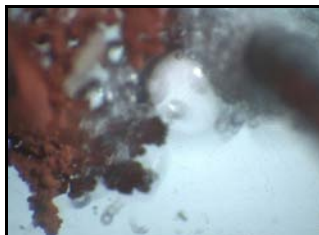
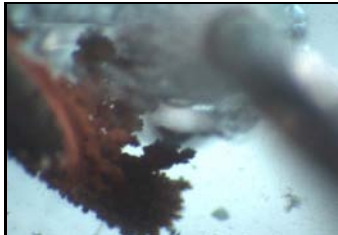


6.依上述步驟後增加電壓。

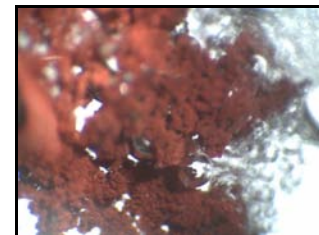
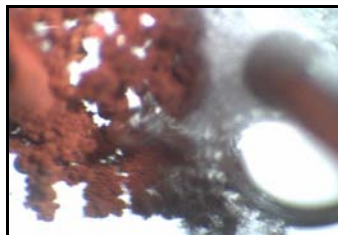
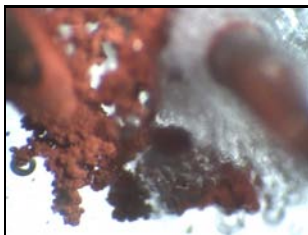
7.結果如下：(表二)

	3V	4.5V	6V	9V
硫酸銅藍色消失的時間(秒)	200秒	141秒	101秒	74秒
通過溶液的安培計之電流(mA)	35	90	110	135

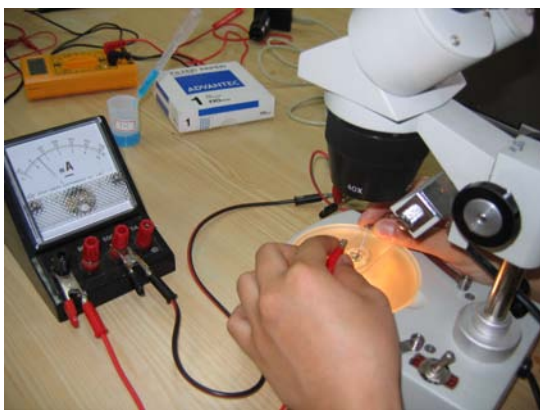
8.如下相片(如附件:視訊一):



(1)兩電極(未通電)(相片三) (2)通電後 5 秒(相片四) (3)通電後 10 秒(相片五)



(4)通電後 15 秒(相片六) (5)通電後 20 秒(相片七) (6)通電後 25 秒(相片八)



相片九



相片十

【結果與討論】

1.比較於傳統的電解實驗如下:

- 傳統型:需使用碳棒、1M的硫酸銅400ml。
- 改良型:只需投影片(長:4cm寬:2cm)、1M的硫酸銅五滴。
註:一滴約1/25ml,五滴為0.2ml,電極使用大頭針。

2.改良後不僅能更精確的觀察,從原本的硫酸銅用量400ml改變至0.2ml,減少用量1/5000倍之差,符合環保、減量化、無污染的目標,且電解所需的時間變短了。

註:在製作電解槽時為了將吸管接於載玻片上,只要在製作過程中失敗,全新的載玻片就得換過,且不方便於攜帶(容易碰撞破裂),故我們決定使用投影片。

3.由實驗結果得知電壓越大,電解速率越快。

4.由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣),負極會產生暗紅色的銅。

5.正極反應: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

負極反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

全反應: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 2\text{Cu}$

步驟二、探討不同體積的電解硫酸銅反應

實驗器材：1M硫酸銅溶液、毫安培計、投影片、吸管、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環

控制變因：以莫耳濃度均為1M的硫酸銅溶液，電壓固定為6V，且在同一天進行。

操縱變因：不同的體積(一滴、二滴、三滴、四滴、五滴)

- 1.準備一自製的凹槽投影片當作載玻片。
- 2.先將一滴1M的硫酸銅溶液滴入自製的凹槽載液面上。
- 3.將電線串連接至毫安培計並在兩端的鱷魚夾上，夾上大頭釘，當做兩電極，以手固定兩電極間的距離。
- 4.以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
- 5.準備好觀察的程序後，在通電的瞬間，開始攝影觀察電解的過程，並測量其時間。
- 6.依上述步驟，改變其體積，重複上述步驟2~5滴。
- 7.結果如下：(表三)

	一滴	二滴	三滴	四滴	五滴
通過溶液的安培計之電流(mA)	150	152	155	158	165
硫酸銅藍色消失的時間(秒)	102 秒	148 秒	201 秒	241 秒	298 秒

【結果與討論】

- 1.由實驗結果得知電解硫酸銅體積越大，電解速率越慢。
- 2.由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣)，負極會產生暗紅色的銅。

步驟三、探討不同濃度的電解硫酸銅反應

實驗器材：1M硫酸銅溶液、吸管、投影片、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環、毫安培計。

控制變因：一滴的硫酸銅溶液，電壓為6V，在同一天進行。

操縱變因：不同的莫耳濃度為(0.25M、0.5M、0.75M、1.0M)

- 1.準備一自製的凹槽投影片當作載液面。
- 2.先將一滴0.25M的硫酸銅溶液滴入自製的凹槽載液面中。
- 3.將電線串連接至毫安培計後在兩端的鱷魚夾夾上大頭釘，當做兩電極，以手固定兩電極間的距離。
- 4.以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
- 5.準備好觀察的程序後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程，並測量其時間。
- 6.依上述步驟後，改變其濃度。進行電解實驗結果如下表：(表四)

	0.25M	0.5M	0.75M	1M
硫酸銅藍色消失的時間(秒)	35秒	53秒	60秒	98秒
通過溶液的安培計之電流(mA)	20	45	65	100

【結果與討論】

- 1.由實驗結果得知電解硫酸銅時，濃度越大，藍色消失時間越長。
- 2.由觀察得知正極會產生氣泡(氧氣)，負極會產生暗紅色的銅。

步驟四、電解紫色高麗菜汁

實驗器材：高麗菜汁、投影片、吸管、顯微鏡、滴管、燒杯、筆記型電腦、顯微鏡接環、毫安培計

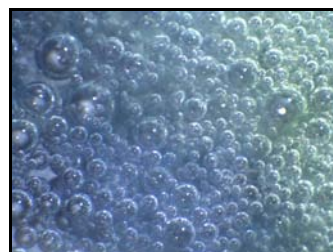
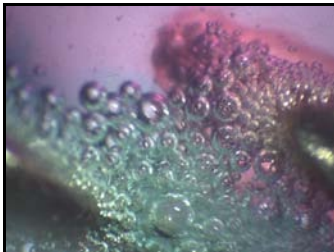
控制變因：一滴的高麗菜汁，固定電壓為6V，在同一天進行。

操縱變因：電解時間

- 1.準備高麗菜汁(約400c.c)
 - 2.準備一自製的凹槽投影片當作載液面。
 - 3.先將兩滴高麗菜汁滴入自製的載液面中。
 - 4.將電線接至毫安培計後在兩端的鱷魚夾上，夾上大頭釘，當做兩電極，以手固定兩電極間的距離。
 - 5.以解剖顯微鏡調好焦距，再將目鏡拿起，接上顯微鏡接環連接至筆記型電腦，予以觀察。
 - 6.準備好觀察的程序後，在通電的瞬間開始攝影觀察電解的過程。
- 電解過程如下相片(如附件:視訊二):



(1)兩電極(未通電)(相片十一)(2)通電後5秒(相片十二)(3)通電後10秒(相片十三)



(4)通電後15秒(相片十四) (5)通電後20秒(相片十五) (6)通電後25秒(相片十六)



相片十七



相片十八

【結果與討論】

1. 正極反應: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$

負極反應: $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2$

正極因產生 H^+ 局部變酸性PH值大約4.3時，而使顏色變紅色，負極因產生 OH^- 局部變鹼性PH值大約7.4時，而使顏色變藍綠色。

2. 通電 20 秒後產生太多氣泡，使得溶液的顏色混和在一起，不易分辨顏色變化。

步驟五、紫色高麗菜汁的變色與 pH 值的關係

實驗器材：pH 測量計、0.4M 氫氧化鈉水溶液、0.4M 鹽酸水溶液、塑膠滴管、燒杯、底片盒、紫色高麗菜汁、水

1. 取紫色高麗菜原汁 10 cc。

2. 在加入 6 cc 的蒸餾水，使其均勻混合(使其比例為 5:3)。

3. 以 pH 計測量出紫色高麗菜汁的 PH 值。

4. 再以滴管逐一(1、2、3……以此類推)滴入 0.4M 的鹽酸水溶液(或氫氧化鈉水溶液)。

5. 並同時測量滴入藥品時的 pH 值。

6. 結果如下表五

紫高麗菜汁顏色	深紅	紅	紫紅	紫	藍	藍綠	綠
pH 值	3.4 以下	3.4 ~ 4.3	4.3 ~ 5.6	5.7	7.4 ~ 8.6	8.6 ~ 9.0	9.0 以上

【結果與討論】

1. 高麗菜汁原來的 pH 值為 5.7。酸性部分：滴入鹽酸使溶液 pH 變為 4.3 ~ 5.6 時，溶液變成紫紅色，pH 變為 3.4 ~ 4.3 時變成紅色，pH 變為 3.4 以下時，變成深紅色。

2. 鹼性部分：滴入氫氧化鈉使溶液 pH 變為 7.4 ~ 8.6 時，紫高麗菜汁變成藍色，使溶液 pH 變為 8.6 ~ 9.0 時變成藍綠色，使溶液 pH 變為 9.0 以上時變成綠色。

【實驗三、探討微型化學反應的各項變因】

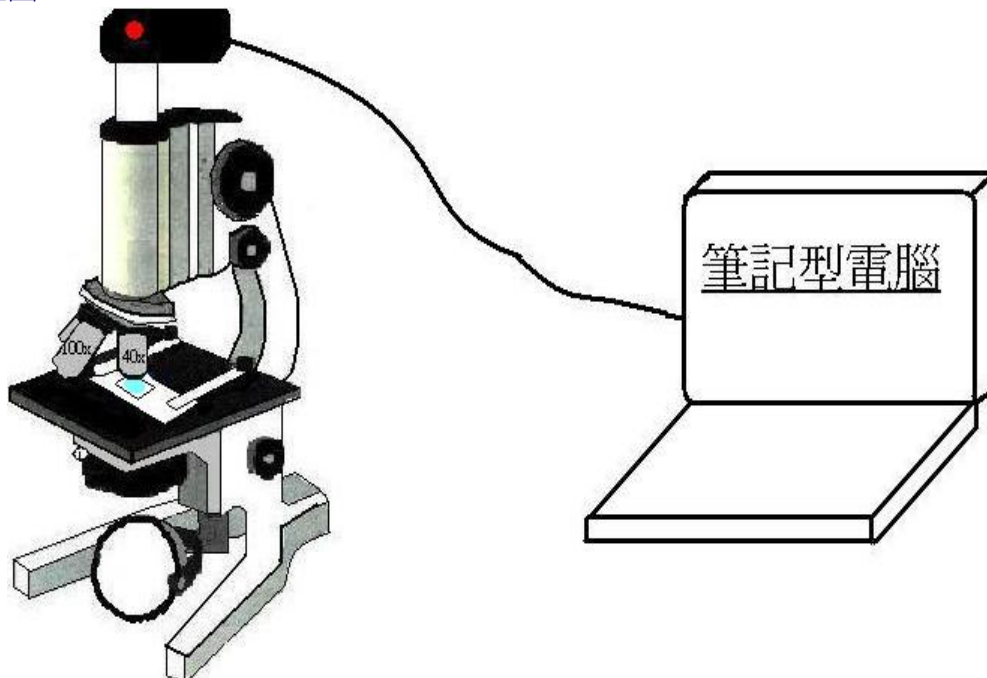
想法：由於課本也只是以肉眼來觀察沉澱實驗，這種方法既不客觀亦不準確，所以我們突發奇想地將化學反應放在顯微鏡下研究，並觀察在顯微鏡下的沉澱結晶。

步驟一、觀察顯微鏡下碳酸鈉與氯化鈣的反應，產生得碳酸鈣沉澱的形狀

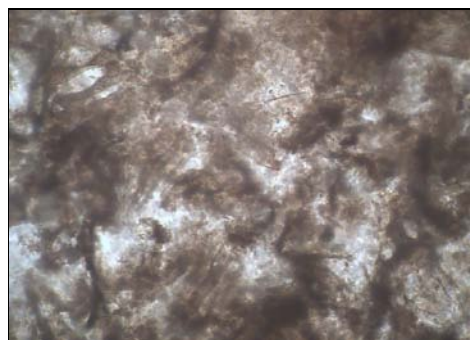
實驗器材：0.4M 碳酸鈉溶液、0.4M 氯化鈣溶液、高倍數的複式顯微鏡、投影片、
二支(3c.c)針筒、兩支注射針、筆記型電腦

- 1.用針筒吸起碳酸鈉溶液和氯化鈣溶液各 1c.c。
- 2.將載液面放置在顯微鏡的載物台上。
- 3.將碳酸鈉溶液滴一滴在載液面上。
- 4.將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(看到碳酸鈉溶液)。
- 5.再將氯化鈣溶液滴一滴在載液面上的碳酸鈣溶液中，使其反應。
並同時觀察碳酸鈣沉澱的反應情形，並拍攝其沉澱。結果如照片:
- 6 將物鏡換成 40 及 100 倍。

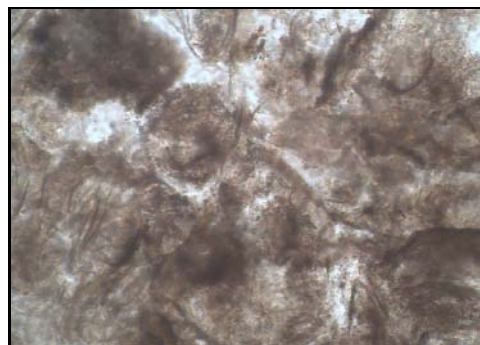
裝置圖二:



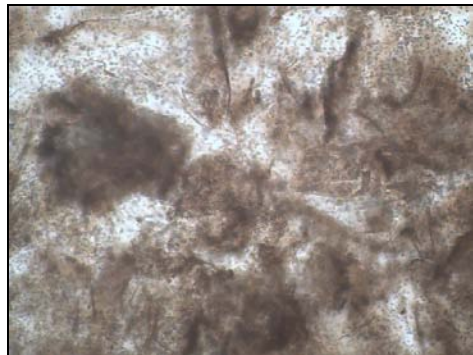
結果如相片:



10X(相片十九)



40X(相片二十)



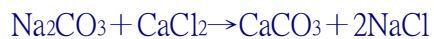
100X(相片二十一)



相片二十二

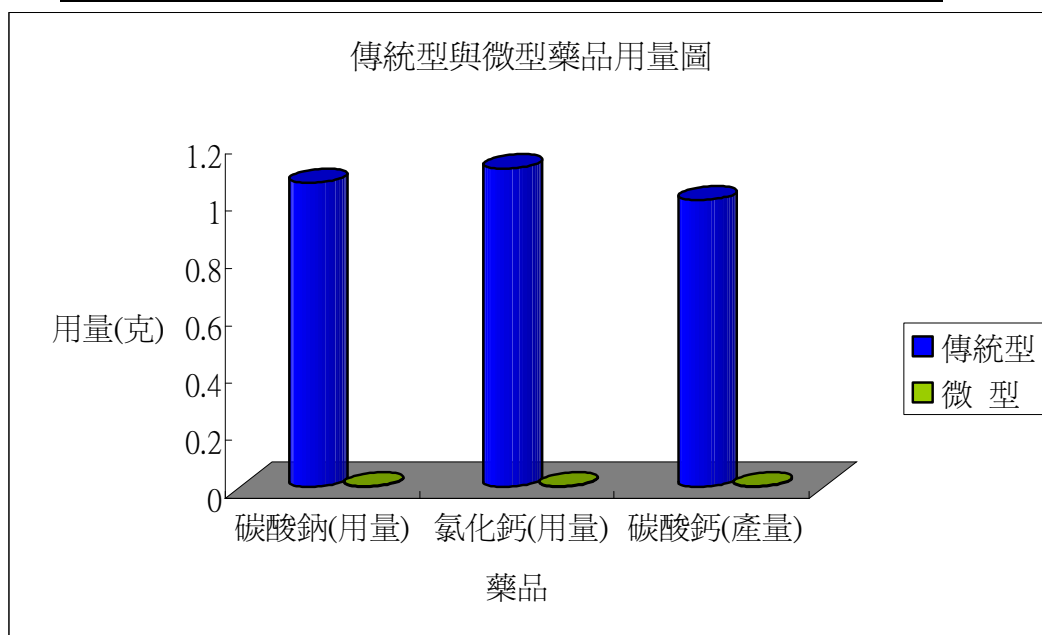
【結果與討論】

1.碳酸鈉與氯化鈣的化學反應式:



傳統型與改良後微型化學反應裝置的實驗用量、產量比較(表六)

	碳酸鈉(用量)	氯化鈣(用量)	碳酸鈣(產量)
傳統型	1.04 克	1.1 克	1.0 克
微 型	0.001696 克	0.00176 克	0.0016 克



圖三

2.傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型: $1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$; 微型: $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

碳酸鈉(1M 10ml)

$$1 \times 10 / 1000 \times 106 = 1.06$$

氯化鈣(1M 10ml)

$$1 \times 10 / 1000 \times 111 = 1.11$$

碳酸鈣

$$1 \times 10 / 1000 \times 100 = 1.00$$

3. 微型化學藥品用量與產量

碳酸鈉(0.4M 0.04ml)

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 106 = 0.001696$$

氯化鈣(0.4M 0.04ml)

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 111 = 0.001776$$

碳酸鈣

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 100 = 0.0016$$

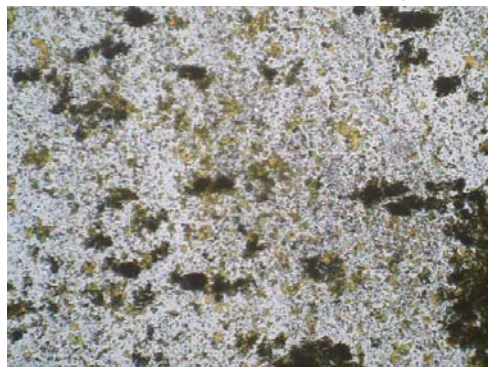
微型用量為傳統型的 0.0016 倍

4. 碳酸鈣沉澱結晶為圓形顆粒狀，顆粒微小，密集但不重疊，且粒子邊緣呈白色。
5. 為了尋找最適合觀察的濃度，我們嘗試以 0.4M、0.6M、0.8M、1.0M、2.0M 等不同的濃度，來觀察其反應沉澱的變化，結果發現 0.4M 的反應沉澱疏密程度較適當，透視度佳，反應時間不會太快，10 秒為較佳的觀察濃度，故選擇 0.4M 來當做此實驗的藥品濃度。
6. 在 40 倍或 100 倍下所觀察的結晶有些許的差異，其差異是在 100 倍下所看到的結晶較大，但光線較暗。

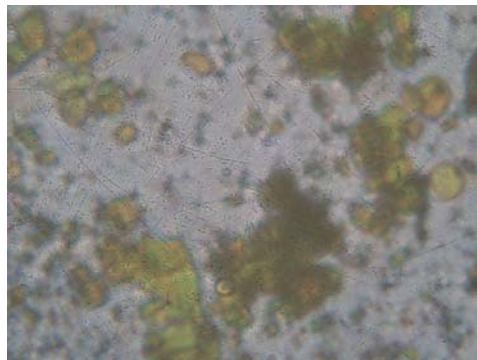
步驟二、觀察顯微鏡下碘化鉀和硝酸鉛反應產生的碘化鉛沉澱

實驗器材：0.4M 的碘化鉀溶液、0.4M 的硝酸鉛溶液、高倍數的複式顯微鏡、投影片、兩支針筒(3c.c)、兩支注射針、筆記型電腦

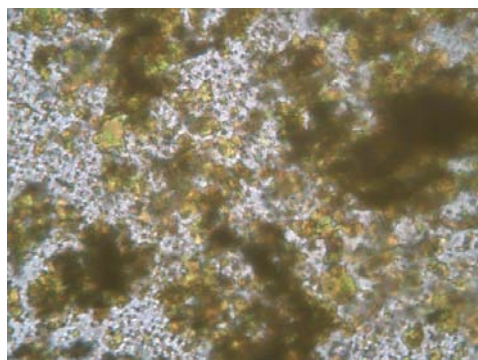
1. 用針筒吸起碘化鉀溶液和硝酸鉛溶液各 1c.c。
2. 將載液面放上已接顯微鏡接環的顯微鏡上。
3. 將碘化鉀溶液滴二滴在載液面上。
4. 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(可看到碘化鉀溶液的粒子)。
5. 滴硝酸鉛溶液使其反應。
6. 並同時觀察碘化鉀沉澱的反應情形。
7. 將物鏡換成 40 及 100 倍，結果如照片。



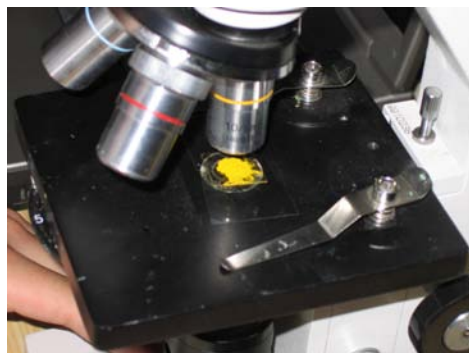
10X(相片二十三)



40X(相片二十四)



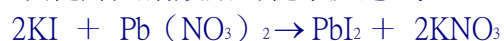
100X(相片二十五)



相片二十六

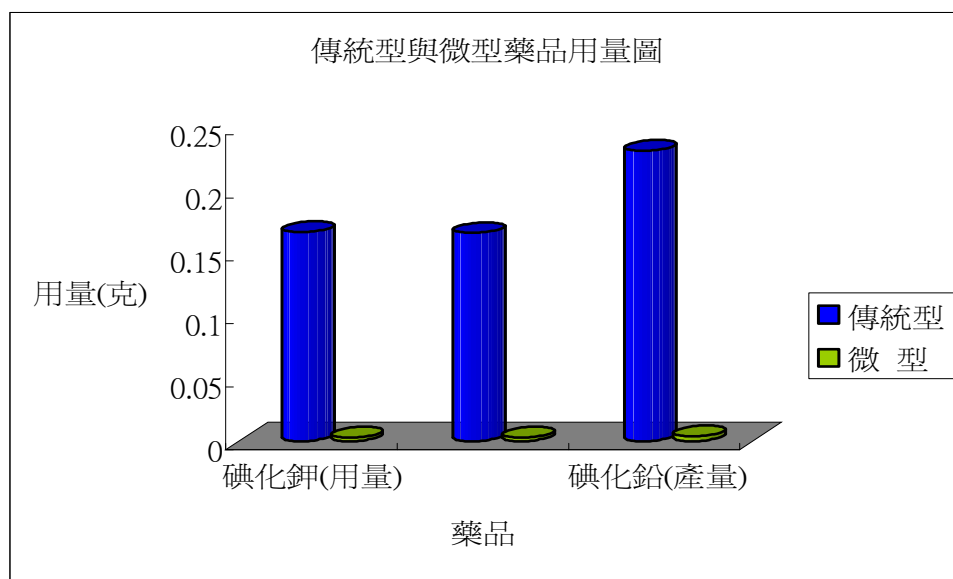
【結果與討論】

1. 碘化鉀與硝酸鉛的化學反應式:



傳統型與改良後微型化學反應裝置實驗用量、產量比較(表七)

	碘化鉀(用量)	硝酸鉛(用量)	碘化鉛(產量)
傳統型	0.166 克	0.1655 克	0.2305 克
微 型	0.002656 克	0.002648 克	0.003688 克



圖四

2. 傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型: $0.1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$ 微型: $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

碘化鉀(0.1M 10ml)

$$0.1 \times 10 / 1000 \times 166 = 0.166$$

硝酸鉛(0.1M 5ml)

$$0.1 \times 5 / 1000 \times 331 = 0.1655$$

碘化鉛

$$0.1 \times 5 / 1000 \times 461 = 0.2305$$

3. 微型化學藥品用量與產量

碘化鉀(0.4M 0.08ml)

$$0.4 \times 0.08 / 1000 \times 166 = 0.005312$$

硝酸鉛(0.4M 0.04ml)

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 331 = 0.005296$$

碘化鉛

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 461 = 0.007376$$

微型用量為傳統型的 0.016 倍

4. 我們比較顯微鏡下所看到的沉澱，發現 40 倍與 100 倍所看到的結晶相差不大，但 10 倍時其顆粒太小，不易觀察。

(1)10 倍：結晶細緻，呈金黃色，會反射出亮晶晶的光芒，形似金粉。

(2)40 倍：可看到的剖面型的結晶，大多聚集且重疊。約 3-5 分鐘後，結晶會較分散，透光度較佳，為最好觀察碘化鉛晶體的時間。

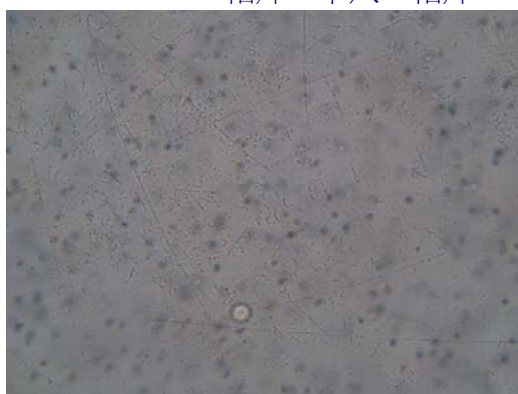
(3)100 倍：同 40 倍，雖然粒子較大，但光線較暗且較模糊。

5. 用量減少量，污染減少，較環保。

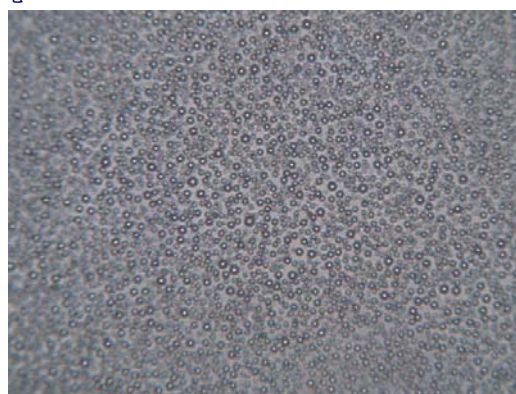
步驟三、觀察顯微鏡下硫代硫酸鈉與鹽酸反應產生硫沉澱

實驗器材：0.4 M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4 M 的硫酸溶液、高倍數的複式顯微鏡、高倍解剖顯微鏡、載玻片、兩支針筒(3c.c)、投影片、筆記型電腦

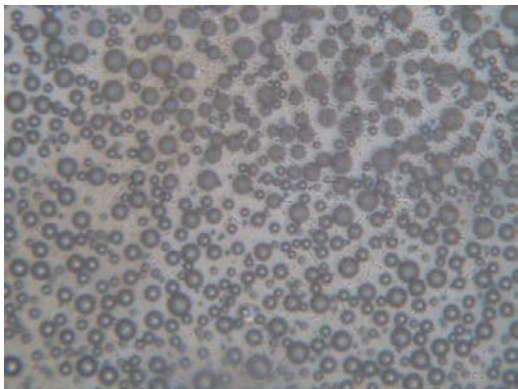
1. 在針筒內各吸入硫代硫酸鈉溶液及鹽酸各 1c.c。
2. 將載液面放上已接顯微接環的顯微鏡上。
3. 在載液面上滴二滴鹽酸。
4. 將 10 倍物鏡調整到最好的焦距(可看到鹽酸的溶液)。
5. 再將硫代硫酸鈉溶液滴一滴在載液面上的鹽酸中，使其反應，並同時觀察硫沉澱的產生情形。
6. 將物鏡(高倍解剖顯微鏡)換成 10、40 及 100 倍，結果如相片二十七、相片二十八、相片二十九。



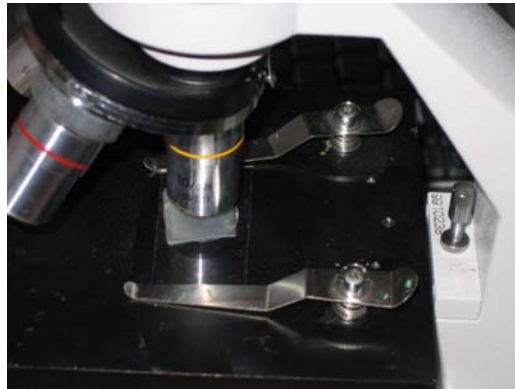
10X (相片二十七)



40X(相片二十八)



100X(相片二十九)



相片三十

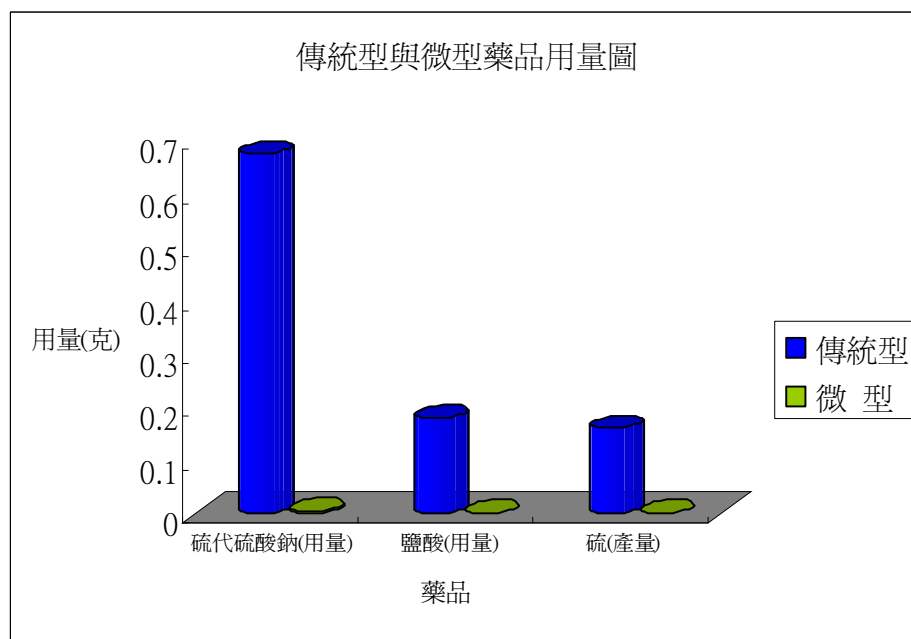
【結果與討論】

1. 硫代硫酸鈉與鹽酸的化學反應式:



傳統型與改良後微型化學反應裝置實驗用量、產量比較(表八)

	硫代硫酸鈉(用量)	鹽酸(用量)	硫(產量)
傳統型	0.675 克	0.18 克	0.16 克
微 型	0.00432 克	0.01152 克	0.000512 克



圖五

1.傳統型化學藥品用量與產量

(傳統型: $0.1 \times 10 / 1000 \times \text{分子量}$ 微型: $0.4 \times 0.04 / 1000 \times \text{分子量}$)

硫代硫酸鈉(0.1M 25ml)

$$0.1 \times 25 / 1000 \times 270 = 0.675$$

鹽酸(0.1M 50ml)

$$0.1 \times 50 / 1000 \times 36 = 0.18$$

硫

$$0.1 \times 25 / 1000 \times 32 = 0.08$$

2. 微型化學藥品用量與產量

硫代硫酸鈉(0.4M 0.04ml)

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 270 = 0.00432$$

鹽酸(0.4M 0.08ml)

$$0.4 \times 0.08 / 1000 \times 36 = 0.001152$$

硫

$$0.4 \times 0.04 / 1000 \times 32 = 0.000512$$

微型用量為傳統型的 0.0064 倍

3. 硫結晶在顯鏡下呈白色微小圓形顆粒，密集但不重疊，但硫結晶顏色較碳酸鈣深，而且發生反應時，溶液中沉澱(離子團)會流動，直到反應完成時才不會流動。

4. 在 40 或 100 倍下所看到的結晶較 10 倍大，型態並無多大的差別。

5. 0.4M 的硫代硫酸鈉與鹽酸反應，遮住標記的時間為 43.5 秒。

步驟四、探討硫結晶的顆粒大小

實驗器材：0.4 M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4 M 的鹽酸溶液、高倍數的複式顯微鏡、顯微接環、筆記型電腦、投影片、兩支針筒、兩支注射針

1. 將大頭針放在液面上，將 10 倍物鏡調整到最佳的焦距，拍下照片。

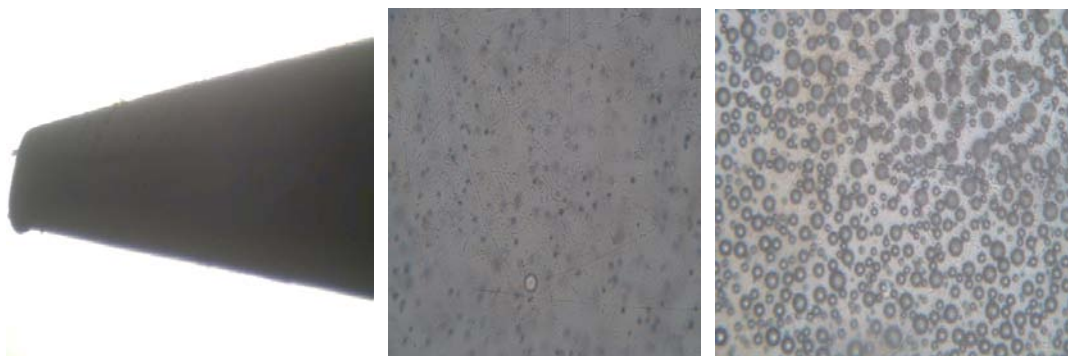
2. 滴入 0.4M 鹽酸及硫代硫酸鈉(2:1)，調整硫沉澱之最佳焦距，拍下照片。

3. 對照二張照片的大小，依比例算出硫沉澱的大小。

(1) 量出在照片上之硫沉澱(100X)直徑約 0.8cm。

(2) 量出大頭針 (10X) 照片上直徑大小約 9.6cm。

(3) 利用以上之數據，依比例算出硫沉澱大小(結果如下表九)



大頭針的直徑(10X)相片三十一 硫結晶(10X)相片三十二 硫結晶(100X)相片三十三

直徑 \ 種類	硫沉澱		大頭針直徑
	大顆粒	小顆粒	
顯微鏡下的直徑	0.8 公分(100X)	0.5 公分(100X)	9.6 公分(10X)
實際的直徑	6.7(微米)	4.2(微米)	0.08(公分)

註：大頭針實際的直徑是 0.08 cm
 $0.8 \text{ cm(硫)} \div 10 = 0.08(10X)$
 $9.6 \text{ cm(大頭針)} \div 0.08 \text{ cm(硫)} = 120 \text{ 倍}$
 $0.08 \text{ cm(大頭針)} \div 120 = 0.00067 \text{ cm} = 6.7 \mu\text{m}$

$0.5 \text{ cm(硫)} \div 10 = 0.05 (10X)$
 $9.6 \text{ cm(大頭針)} \div 0.05 \text{ cm(硫)} = 192 \text{ 倍}$
 $0.08 \text{ cm(大頭針)} \div 192 = 0.0042 \text{ cm} = 4.2 \mu\text{m}$

【結果與討論】

- 1.由於 100 倍物鏡的鏡面，對於大頭針來說直徑太小，故我們利用 10 倍物鏡來測量大頭針的直徑，用 100 倍物鏡來測量硫沉澱粒子的直徑大小，相對照和計算。
- 2.在實驗中，我們利用大頭針當比例尺來計算，得知硫顆粒的直徑大小約是 4.2 ~ 6.7 微米之間。

【實驗四、探討不同濃度下的微觀反應結晶】

想法：1.二年級曾做過許多化學反應的實驗，但至多只能以肉眼觀察到表面的顏色和速率的快慢。

- 2.在課堂上學過化合物的化學式，各種反應均有不同的化學反應式，因此決定使用顯微鏡來觀察其結晶有何不同。

步驟一、探討不同濃度的硫代硫酸鈉與鹽酸反應，產生硫結晶沉澱生成速率的差異
控制變因：相同溶液硫代硫酸鈉和鹽酸溶液用量比為 1:2，且在定溫，定壓下。

操縱變因：溶液之濃度分別為 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液。

實驗器材：玻片、筆記型電腦 0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1.0M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液、塑膠滴管、碼錶、3ml 針筒

- 1.將 0.2M 的鹽酸溶液滴入載液面中央，再滴入 0.2M 的硫代硫酸鈉溶液。
- 2.在滴入的瞬間開始調整物鏡(100 倍)與生成物間的焦距。
- 3.將目鏡換上顯微接環連接至電腦開始觀察。
- 4.完成紀錄後逐漸增加濃度(0.4M~1.0M)，操作方法如上，結果如表六、表七。
5. 0.4M 的硫代硫酸鈉和鹽酸溶液反應產生硫沉澱。
6. 遮住標記過程相片(如附件:視訊三)。



0 秒(相片三十四)



10 秒(相片三十五)



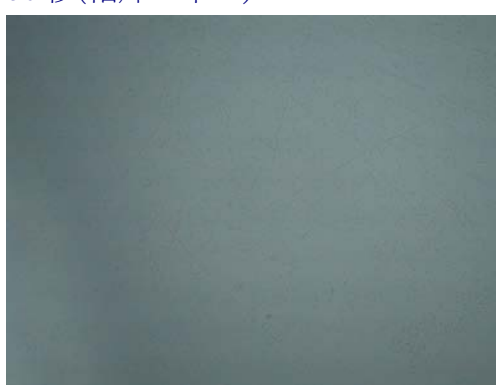
20 秒(相片三十六)



30 秒(相片三十七)



40 秒 (相片三十八)



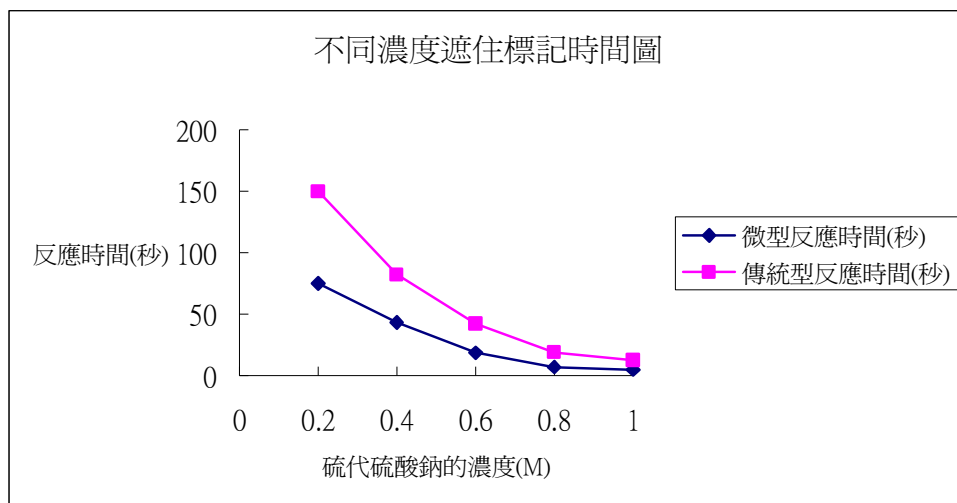
50 秒(相片三十九)

傳統型(表十)

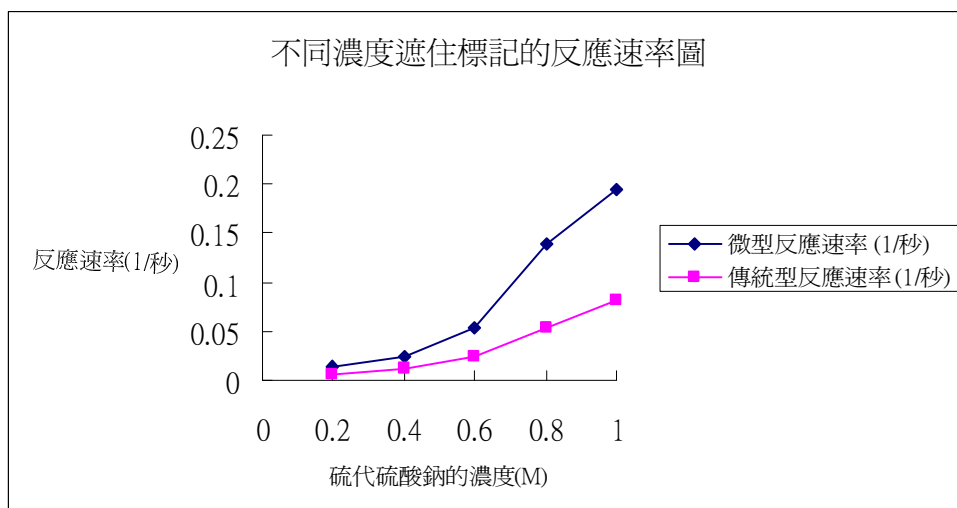
	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M
反應時間 (t)	150.05 秒	82.56 秒	42.38 秒	18.94 秒	12.46 秒
反應速率 (1/t)	0.006 秒	0.012 秒	0.024 秒	0.053 秒	0.081 秒

微型(表十一)

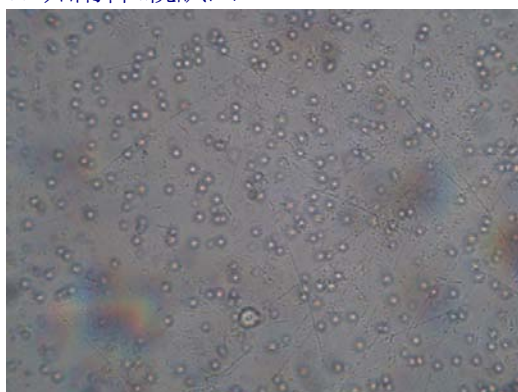
	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M
反應時間 (t)	75.47 秒	43.47 秒	18.54 秒	7.19 秒	5.13 秒
反應速率 (1/t)	0.013 秒	0.023 秒	0.054 秒	0.139 秒	0.195 秒



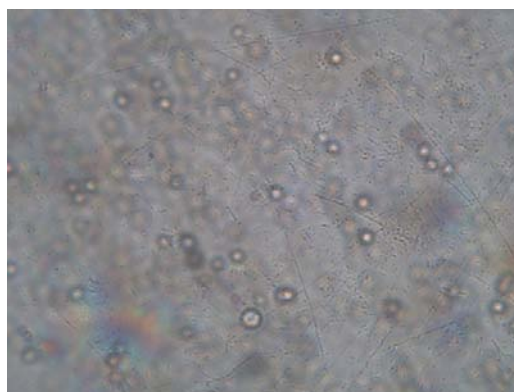
圖六



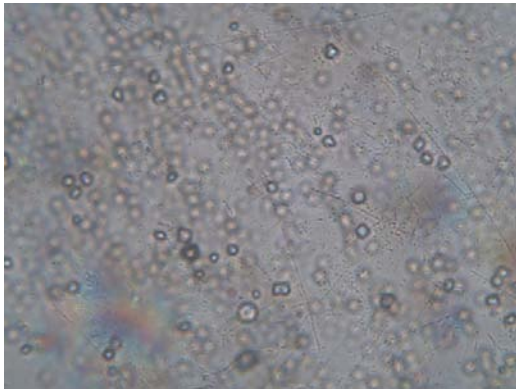
7. 如附件:視訊四



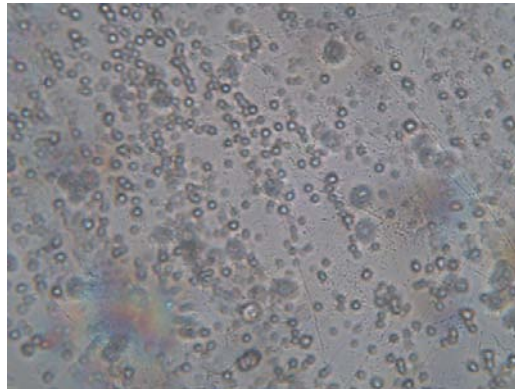
0.2M的硫結晶(相片四十)



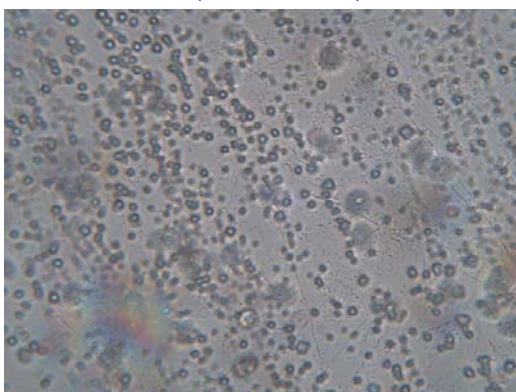
0.4M的硫結晶(相片四十一)



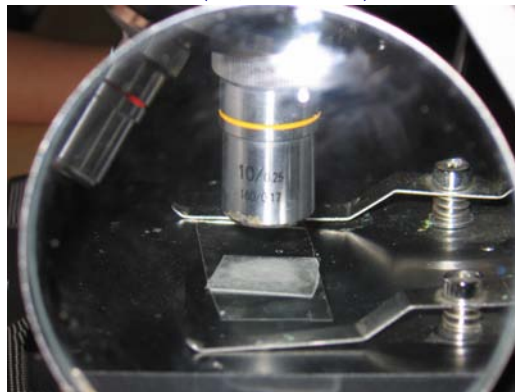
0.6M的硫結晶(相片四十二)



0.8M的硫結晶(相片四十三)



1.0M的硫結晶(相片四十四)



相片四十五

【結果與討論】

1. 我們發現濃度越大反應時間越短，速率越快。
2. 將目鏡換成顯微接環時，要觀察物體會因為剩下物鏡的倍數由原來的 1000 倍變為 100 倍，所以在電腦上所觀察的會比較小(較不易觀察)，但不同濃度間硫的結晶形狀差異不大。

【實驗五、探討不同溫度下的微觀反應結晶】

想法：

1. 根據課本上的碰撞學說可得知：
 - (1)反應物活性強。
 - (2)反應物顆粒小，接觸面積大。
 - (3)反應溶液濃度高，可增加粒子的碰撞機會。
 - (4)溶液溫度越高，越可使反應物超過最低活化能的粒子增加，使反應變快。
 - (5)含有正負催化劑。
 以上五點皆可使反應速率增快。我們決定以溫度高低作為這次實驗的操縱變因，看看溫度改變反應速率時，以肉眼觀察和在顯微鏡下觀察的時間變化與差異？溫度改變後，沉澱結晶的形狀有改變嗎？

步驟一、探討不同溫度下硫代硫酸鈉與鹽酸反應產生硫的速率及結晶形狀

控制變因：莫耳濃度均為 0.4M 的硫代硫酸鈉溶液及鹽酸。

操縱變因：不同溫度的反應實驗，來比較的時間、結晶形狀的差異

實驗器材：0.4M 的硫代硫酸鈉溶液、0.4M 的鹽酸、一個燒杯、兩根試管、兩支 3ml

的針筒、兩支注射針、熱水、高倍複式顯微鏡、投影片、碼錶、筆記型電腦、顯微鏡接環

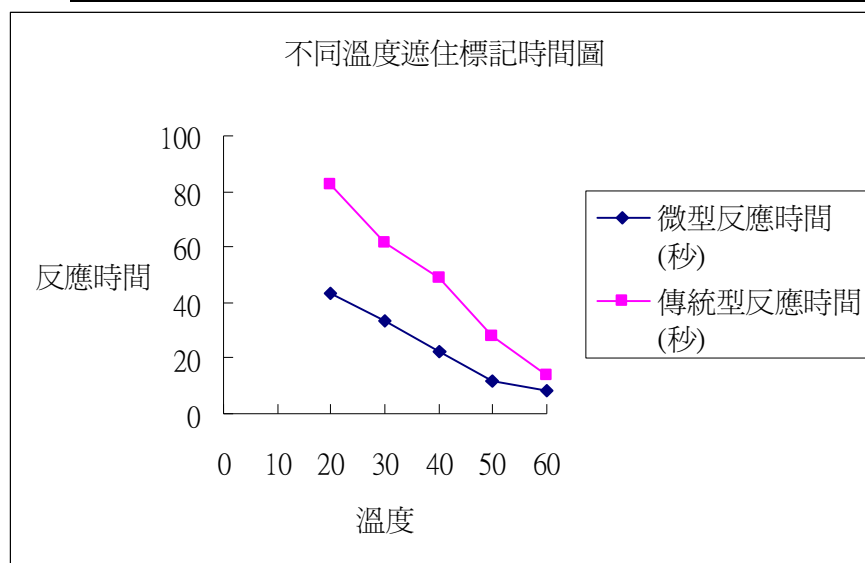
1. 在燒杯內裝熱水。
2. 在試管內置入 0.4M 的硫代硫酸鈉溶液及 0.4M 的鹽酸各 10 c.c，並將試管泡在熱水中。
3. 用溫度計測量溫度並將水溫調至 20℃、30℃、40℃、50℃、60℃時，分別以針筒各吸 2 c.c。
4. 將 20℃、30℃、40℃、50℃、60℃的鹽酸溶液滴 1 滴在載液面上。
5. 以顯微鏡找到最好觀察的焦距。
6. 再將硫代硫酸鈉溶液滴 1 滴在載液面上的硫代硫酸鈉中。
7. 蓋上蓋玻片，並觀察其沉澱過程與結晶。
8. 各溫度的沉澱遮住標記的時間結果如下表。
9. 各溫度的沉澱結晶遮住標記的時間結果如下照片(如附件:視訊五)。

傳統型(表十二)

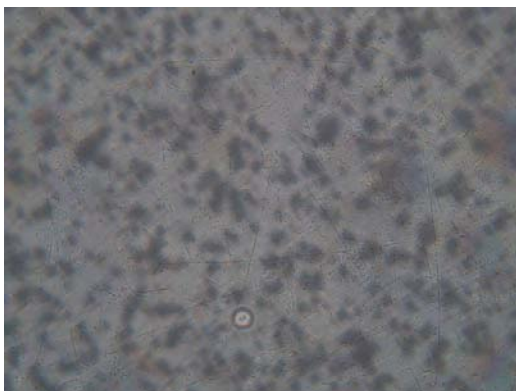
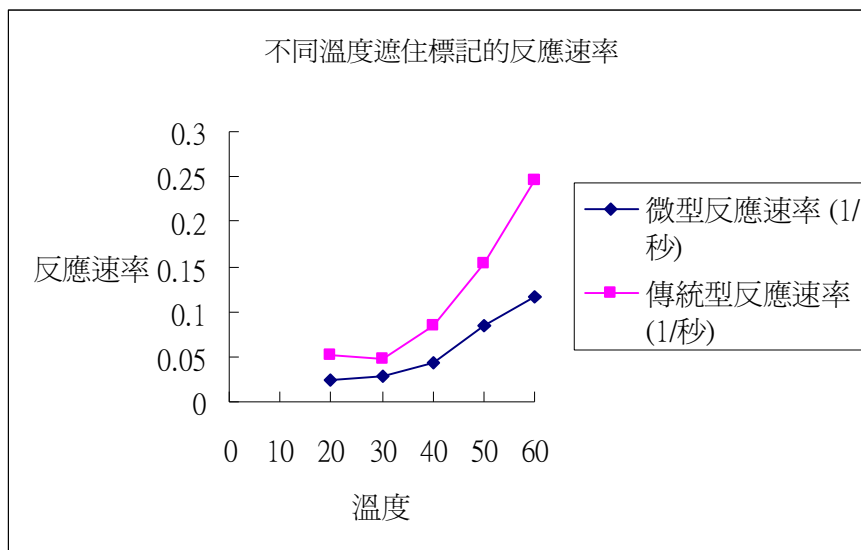
	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
反應時間 (t)	82.56 秒	61.52 秒	48.62 秒	27.64 秒	14.25 秒
反應速率 (1/t)	0.052 秒	0.048 秒	0.07 秒	0.08 秒	0.11 秒

微型(表十三)

	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
反應時間 (t)	43.47 秒	33.88 秒	22.48 秒	11.78 秒	8.56 秒
反應速率 (1/t)	0.023 秒	0.029 秒	0.044 秒	0.084 秒	0.116 秒
結晶形狀	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形	微小且圓形



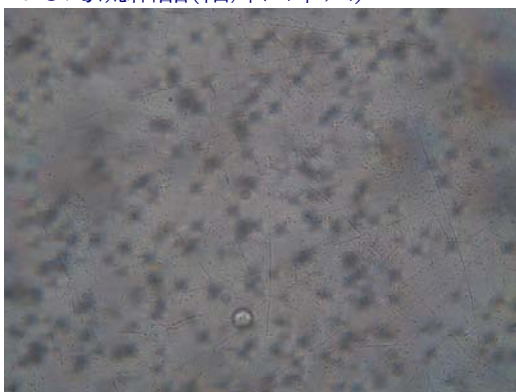
圖八



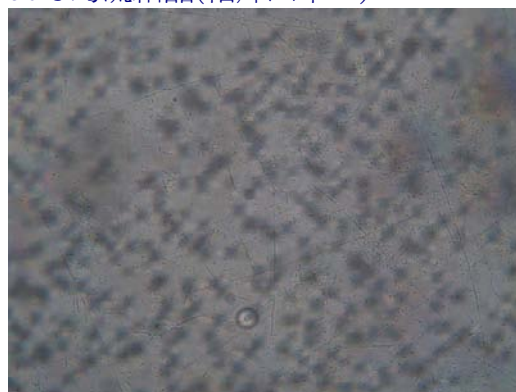
20°C的硫結晶(相片四十六)



30°C的硫結晶(相片四十七)



40°C的硫結晶(相片四十八)



50°C的硫結晶(相片四十九)



60°C的硫結晶(相片五十)



相片五十一

【結果與討論】

1. 由上表可以得知溫度越高，反應時間越短，反應速率越快。
2. 在顯微鏡下所看到的結晶沉澱，約比外在肉眼所看的反應沉澱快，速率差很多，因此若要精確，應以顯微鏡下所觀測的時間為準。
3. 在上表中，可以發現溫度只會改變其反應速率，而沉澱結晶形狀並不會因溫度高低而有所差別，但溫度越高，結晶粒子振動越快。

【實驗六、比較各種類型的聲波對沉澱結晶的影響】

想法：

1. 去年看到一本關於以聲波來觀察水結晶變化的書，於是靈機一動，想試著利用聲波改變化學反應沉澱的結晶形狀。
2. 既然想到利用聲波，那就必須找各種類型的 CD！我們找了 10 種音樂，分別是：蒙古女高音、海聲、輕音樂、布袋戲武曲、英文歌、搖滾樂、薩克斯風、莫札特、蟬叫、神隱少女等 10 種音樂來測試。
3. 反應容器是採用凹槽載液面，以載玻片當底座，上面用 3 秒膠將立可帶的零件黏起來，就完成了一個凹槽載液面。

步驟一、不同聲波對沉澱結晶的比較

實驗器材：0.4M 硫代硫酸鈉溶液、0.4M 鹽酸溶液、自製容器(載玻片、立可帶零件、3 秒膠)、顯微鏡、CD 播放機、針筒、燒杯、筆記型電腦、CD(音樂)、顯微接環

控制變因：均為 2 滴的鹽酸溶液，1 滴的硫代硫酸鈉溶液，同一溫度，同壓下。

操縱變因：不同音樂的聲波下的沉澱結晶形狀。

1. 先將凹槽載玻片擺好。
2. 再滴 2 滴鹽酸溶液至凹槽內。
3. 再滴 1 滴硫代硫酸鈉溶液開始反應。
4. 同時開始播放音樂。
5. 開始觀察結晶變化並調好焦距。
6. 調好焦距後將顯微接環接至電腦上。
7. 繼續觀察並拍照、錄影。
8. 實驗結果如下表。
9. 沉澱結晶如下照片(如附件:視訊六)。

各種類型的音樂對結晶的變化(表十四)

蒙古女高音	粒子顆粒大，型態似不規則圖形
海聲	顆粒大，排列極分散
輕音樂	呈圓形顆粒，疏落有致而不重疊
布袋戲武曲	密集，部分重疊，但有些許分散
英文歌	各種形狀都有(分散而不規則)
搖滾樂	結晶粒子分散，部分有稍微連結
薩克斯風 望春風	結晶粒子比其他音樂略為集中
莫札特	結晶粒子較集中，但比其他的配樂稀疏一點
蟬叫	結晶粒子分散，振動劇烈
神隱少女	結晶粒子較集中，振動較慢



蒙古女高音(相片五十二)



海聲(相片五十三)



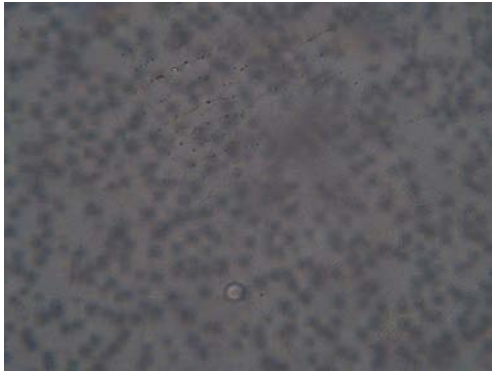
輕音樂(相片五十四)



布袋戲武曲(相片五十五)



英文歌(相片五十六)



搖滾樂(相片五十七)



薩克斯風 望春風(相片五十八)



莫札特(相片五十九)



蟬叫(相片六十)



神隱少女(相片六十一)



相片六十二

【結果與討論】

1. 由以上的照片可以得知，不同音樂會使沉澱結晶形狀不同，因為莫札特的音樂有很多樂器協奏的聲波及音色，所以才會產生那麼多種形狀；輕音樂則是因為較溫和，所以形狀較圓滑。
2. 不同的音樂會產生不同的聲波，使得硫結晶體受到不同的振動，因而產生不同的排列方式，由視訊中可以看出流動的差別，但很難形容與計算。

【實驗七、傳統化學反應與微型化學反應的比較】

步驟一：比較沉澱的化學反應

相片六十三



相片六十四



相片六十五



相片六十六

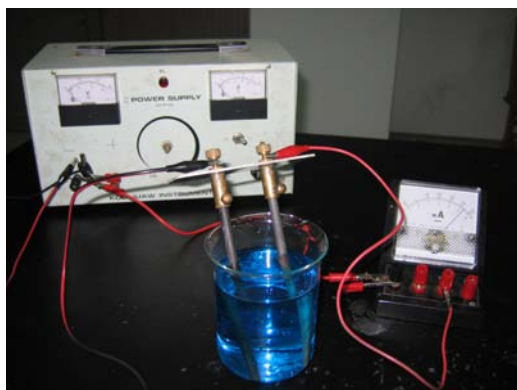
沉澱化學反應的比較(表十五)

	傳統型			微型		
反應方式	傳統教科書化學反應(碳酸鈣沉澱)	傳統教科書化學反應(碘化鉛沉澱)	傳統教科書化學反應(硫沉澱)	微型碳酸鈣沉澱反應	微型碘化鉛沉澱反應	微型硫沉澱反應
每組用量	30ml	15ml	75ml	0.08ml	0.12ml	0.12ml
變化時間	30 秒	6 秒	60 秒	5.21 秒	3.56 秒	5.13 秒
變化狀態	白色混濁	黃色混濁	乳黃色混濁	白色結晶	黃色結晶	乳黃色結晶
實驗後處理	倒入回收桶中	倒入回收桶中	倒入回收桶中	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液	因為反應溶液只有數滴量，不會造成大量廢液

【結果與討論】

1. 比較過傳統與微型的沉澱化學反應後，我們發現傳統的化學反應準備過程有點瑣碎，而且用量多。相較之下，微型過程非常簡單明瞭，用量也很少，不會造成大量廢液污染，環保又減量。
2. 以觀察實驗結果的方向來看，微型採用以顯微鏡觀察，跟傳統化學的觀察方法比較，發現微型的方式較方便，遮住目標物的時間也較短。

步驟二：比較電解硫酸銅實驗



相片六十七



相片六十八

電解硫酸銅的比較(表十六)

	傳統型		微型	
電解硫酸銅溶液方式	傳統教科書 碳棒間距 2cm	傳統教科書碳棒 間距 4cm	一滴微型電解實驗 電極棒間距 0.5 cm	一滴微型電解實驗 電極棒間距 1.0 cm
每組用量	1M 約 200ml	1M 約 200ml	1M 約 0.2ml	1M 約 0.2ml
電源電壓	6V	6V	6V	6V
電流(mA)	60mA	55mA	110mA	90mA
(+)極變化	看到少量氣泡生成	看到少量氣泡生成	看到大量氣泡生成	看到大量氣泡生成
(-)極變化	有金屬銅析出	有少量金屬銅析出	有金屬銅快速析出	有金屬銅快速析出
硫酸銅溶液藍色消失時間	20 分鐘仍有藍色	40 分鐘仍有藍色	不到 3 分鐘，藍色即消失	不到 5 分鐘，藍色即消失
廢液問題	剩下太多廢液，需做重金屬離子的沉澱處理	剩下太多廢液，需做重金屬離子的沉澱處理	全部都電解完，剩下水而已，因此沒有廢液問題	全部都電解完，剩下水而已，因此沒有廢液問題

【結果與討論】

1. 由上表可得知，傳統實驗方式不僅用量多，且反應時間過長，加上廢液問題，因此我們才會朝微型電解發展。
2. 微型電解硫酸銅的反應時間短、用量少，且方便觀察，實驗後污染少，處理容易。

步驟三:電解紫高麗菜汁

電解紫高麗菜汁的比較(表十七)

	傳統型	微型
電解紫高麗菜汁的反應方式	傳統電解紫高麗菜汁的反應方式電極距離 2cm	微型電解紫高麗菜汁的反應方式電極距離 0.5cm
每組用量	200ml	約 0.2ml

電源電壓	6V	6V
電流(mA)	10mA	20mA
(+)極變化	變紅色且有少量氣泡(氧)	變紅色且有大量氣泡(氧)
(-)極變化	變綠色且有少量氣泡(氫)	變綠色且有大量氣泡(氫)
廢液問題	倒入回收桶中	因為反應溶液只有數滴量，所以不會造成大量廢液

【結果與討論】

1. 實驗後，我們發現傳統的廢液量多處理不易，非常麻煩；微型則是用量少，污染小，且實驗迅速，易於觀察，可拍攝起來供全班觀看，故可作為教材。
2. 微型電解高麗菜汁，反應用量減為傳統型用量的 1/1000，用量少廢液也相對減少。

伍、結論

1. 我們在第一個實驗中，比較玻片、雙面膠、投影片、夾鏈袋等四種載液面應用於實驗的可行性，以做為以下實驗所選定的載液面。由於投影片易於取得，透光性也不錯，最重要的是其柔軟度佳，可用於觀察非常細微的物體(高倍物鏡需接觸到實驗溶液，也不怕磨損鏡頭)，所以本實驗以投影片作為載液面。若要以定量的方式觀察其化學反應，可選擇夾鏈袋做為反應裝置，它同時兼顧了載液面與蓋液面的性質，未來的化學反應裝置可往這方面發展。

2. 設計微型化學反應裝置

凹槽型: 雖然凹槽型化學反應裝置，不是非常適於沉澱反應，但可適用於電解反應。凹槽型化學反應裝置可將化學反應侷限於一定的範圍內，使液體不至於快速、劇烈的流動，如此也可方便進行微型電解實驗。

平面型: 投影片厚度適當，透光度佳，可清楚的看到化學反應的沉澱情形，又有柔軟不易破的特性，可克服物鏡會壓破蓋玻片的問題，可以以高倍物鏡觀察化學反應結晶。但若是以高倍物鏡觀察，必須相當接近，甚至接觸到反應溶液，所以在表面蓋液型(改良後)的微型裝置中，我們加裝了蓋液片，來解決此問題。

3. 在實驗二時，我們探討了電解硫酸銅的各項變因，並嘗試用紫色高麗菜汁來觀察其微型電解反應。先以電解硫酸銅部分說起，當電壓愈大時，則氣泡及金屬銅的生成速率皆變快。後者電解紫色高麗菜部份，在顯微鏡底下可清楚觀察到負極產生藍綠色的氣泡;正極產生紅色的氣泡，當電解20秒後，顯微鏡下的鏡頭幾乎被藍綠色氣泡佔滿。正極因產生 H^+ 局部變酸性PH值大約4.3，而使顏色變紅色，負極因產生 OH^- 局部變鹼性PH值大約7.4，而使顏色變藍綠色。總之，在顯微鏡下可精準的觀察到化學及電解反應，也可較準確且客觀的測量其反應時間。
4. 實驗三中探討了化學反應的沉澱的反應現象:

沉澱-碳酸鈣: 結晶為圓形顆粒狀，顆粒微小，密集但不重疊，粒子邊緣呈白色。

碘化鉛: 剖面型的結晶，但大多聚集且重疊。大約需 3-5 分鐘後，結晶較分散且透光度較佳，為最好觀察碘化鉛晶體的時間。

硫: 結晶在顯鏡下呈白色微小圓形顆粒，密集但不重疊。硫結晶顏色較碳酸鈣深，而且發生反應時，溶液中沉澱(離子團)會流動，直到反應完成時才不會流動。此流動狀態經查資料後，為愛因斯坦所提的布朗運動(分子間

的熱運動)。

在多次實驗中，我們發現反應溶液以 0.4M 為最佳濃度。反應沉澱時間約為 8-10 秒，且沉澱粒子較不密集，硫顆粒的直徑大小約為 4.2 ~ 6.7 微米。

5. 我們發現濃度越大反應速率就越快。將目鏡換成顯微接環視訊儀器時，要觀察的倍率會由原來的 1000 倍變為 100 倍，所以會和在顯微鏡上觀察的不太一樣。電腦螢幕上的顆粒會比較小。
6. 溫度對於硫酸銅反應沉澱結晶中，溫度越高，反應時間越短，反應越快。在顯微鏡下所時間較短，結晶沉澱約比外在肉眼所看的反應沉澱快很多，因此若要更客觀，應以顯微鏡下所觀測的時間為準。我們也發現了一個有趣的現象，因為溫度越高，所以粒子能量越大，溶液中的粒子流動越快，此與愛因斯坦所提的布朗運動理論的結果相符合。
7. 由聲波的實驗中，發現不同的音樂會使硫的結晶形狀及排列方式不同，而且在硫結晶的過程中會隨著聲音的節奏運動，這是很有趣的現象，推測其可能原因是硫結晶產生時受到不同的聲波振動，粒子受到不同的能量影響，其沉澱生成的方式因而產生不同的結晶形狀，其原理與布朗運動相同。
8. 我們在實驗七中比較了傳統型及微型化學反應。由以上的結果討論可以看出微型的反應溶液用量較傳統型大為減少，微型反應的用量約減少為傳統型反應的 1/625~1/5000 倍，由於實驗器材並不昂貴(只需要購買顯微接環)，故可將此實驗推廣，既環保(不會造成大量廢液)，又可減少反應時間，也可節省實驗藥品的花費。另一面來說，在顯微鏡下觀察化學反應，可抓到反應最精準的時間點並可觀察結晶粒子的狀態、排列方式。本實驗成功地將顯微鏡應用在化學領域上，是邁向化學微觀世界，另一種創新嘗試的方法。

陸、未來展望

在這次的實驗中，成功的在顯微鏡下觀察化學反應，並探討影響顯微化學反應的各項變因。最令人震撼的是-在微量的情況下完成電解實驗，並且觀察到沉澱結晶的狀態及顆粒直徑大小。

在探討化學反應時，我們觀察到反應進行時粒子會不斷流動，經查證後為愛因斯坦所提的布朗運動，並希望能繼續研究此運動，找出粒子的特定軌跡，但卻受限於顯微接環的解析度不高(只有 30 萬畫素)，故無法做深入探討，期望未來的研究可解決此問題，繼續為探討布朗運動而努力!

柒、參考資料及其他

1. 南一版國中自然第三冊第六章
2. 南一版國中自然第四冊第一章
3. 部編版國中理化第三冊第十三章
4. 第四十三屆全國科展國中組化學科第一名
5. 吳勝允(民 94)。舞動水上芭蕾-布朗運動-。科學研習月刊，44-1 期，P12~P15
6. 李育嘉(民 89)。漫談布朗運動。中央研究院數學所研究員

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 理化科

佳作

031613

微觀化學

南投縣立宏仁國民中學

評語：

內容很豐富，布朗運動部份相當有趣，未來可
考量定量之微觀化學。