

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：「晶然成功」 錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 晶體

製備方法之探討

關 鍵 詞：晶體製備、錯 鹽

編 號：040216

學校名稱：

彰化縣私立精誠高級中學

作者姓名：

尤軒元、蔡昀澤、林均筠、莊樹穎

指導老師：

莊釗賢



「晶然成功」 錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 晶體 製備方法之探討

一、研究動機

寶石，光彩炫麗的外表深深吸引著我們。而晶體也像寶石一樣晶瑩剔透，因此引發我們的濃厚興趣。於是請教老師，是否能靠簡單的化學實驗來製造出美麗的晶體。根據老師表示，在高中化學實驗中有一種錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 的製備實驗，過去以來總是無法得到較理想的晶體，因此老師建議我們可以用這實驗為基礎，找出適當的方法來得到更理想的結果。

於是，我們重複課本裡的實驗步驟，按照教材中的內容，一步一步確實的操作。然而結果所得到的，卻是一沱一沱有如爛泥的糊狀物，無法稱之為晶體，而且其中還雜存著不同的藍色物質。我們發現晶體養成，似乎不是那麼容易，因此我們決定找出課本中實驗步驟的缺失，並加以修正，而且還要想出更適當的方法，來得到晶體。

二、研究目的

由於按照教材中的實驗步驟操作，總是無法得到理想的結果，因此我們決定找出適當的實驗方法，以得到更理想的成果。

三、研究器材設備及藥品

(一)器材設備：

項目	數量	項目	數量
Parafilm	1 捲	酒精燈	1 個
濾紙	1 盒	薊頭漏斗	3 個
燒杯	4 個	三樑天秤	1 座
滴管	4 支	滴定管座	3 座
玻棒	4 支	量筒 10ml	4 支
樣本瓶	8 瓶	陶瓷纖維網	1 個
吹風機	1 隻	磁石(攪拌器)	1 臺
橡皮筋	數條	半透膜(豬腸膜，化學膜，蛋膜)	各 1 片
三腳架	1 架	抽濾裝置(水流抽氣機，附側管之錐形瓶)	1 座

(二)藥品：

試藥	數量	試藥	數量
鹽酸($\text{HCl}_{(\text{aq})}$)	1 瓶	濃氨水(15M)	1 瓶
蒸餾水	1 瓶	藥用酒精(95%)	1 瓶
過錳酸鉀	0.474g	硫酸銅晶體($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	5.0 克

四、研究過程或方法

(一) 研究過程

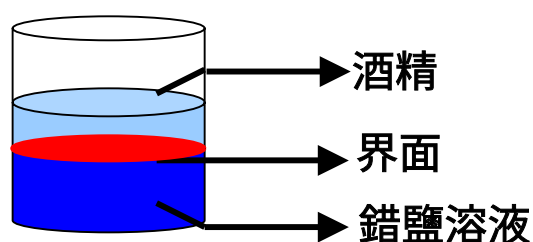
我們與老師討論後，發現課本中在培養晶體的部分所採用的步驟如下：「沿著器壁慢慢倒入酒精 8ml 以覆蓋整個溶液，切勿攪拌，以表玻璃覆蓋燒杯後，靜置過夜」。

原理一：因為酒精(乙醇)的介電常數小。由靜電力公式： $F = \frac{q_1 \times q_2}{\epsilon \times \gamma^2}$ (ϵ 為介電常數， γ 為兩帶電體の間距， q_1, q_2 為電荷)可以得知：今於兩帶電體之間置入某介質，則兩帶電體之間的靜電力(F)將因介質的介入而改變(因為 ϵ 值改變)；而靜電力與結晶產率兩者成正比，即靜電力愈大，產率愈高。因此，想要在錯鹽溶液中提高結晶產率，應選擇介電常數(ϵ)較小的溶劑，因為 ϵ 值越小，陰陽離子間的靜電力越大，因此形成晶體的產率就會增加。所以，在錯鹽溶液中加入酒精，可降低整個溶液的介電常數，而得到晶體。常見有機溶劑之介電常數如下表所示：

(表一) 常見有機溶劑之介電常數表

物質	水	甲醇	乙醇	正丙醇
介電常數	78.54	32.63	24.30	20.10
物質	丙三醇	氨	丙酮	乙醚
介電常數	42.5	22	20.70	4.34
物質	甲苯	苯	氯仿	四氯化碳
介電常數	2.38	2.27	4.81	2.24
物質	醋酸	醋酸酐		
介電常數	6.15	20.7		

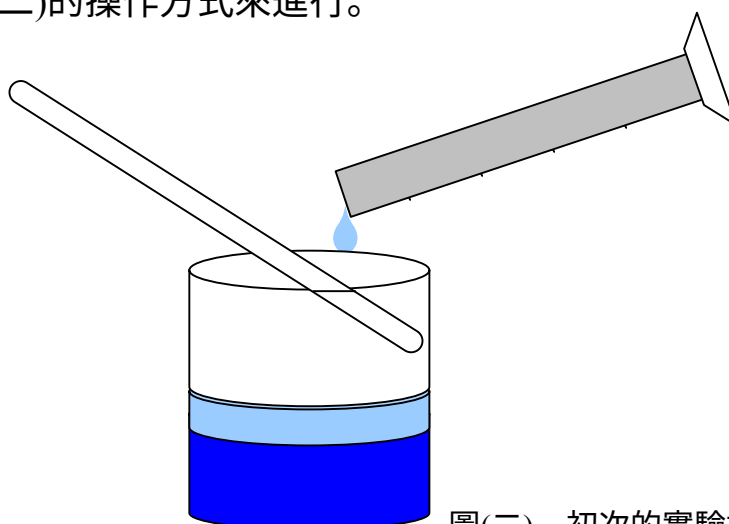
原理二：步驟中「沿器壁慢慢倒入酒精 8ml，以覆蓋溶液」，其原理是利用兩溶液的接觸面來進行反應，如下圖(一)所示：



圖(一) 利用兩液面間的界面來長出晶體

由原理一我們知道：酒精可以改變溶液的性質，而使得晶體生成。但是若驟然改變溶液的性質，則結晶速率過快，無法有足夠的時間讓晶體緩慢堆積，如此所得到的固體將不會是晶瑩剔透的晶體，而是一般的沈澱固體。因此，實驗課本中：「沿器壁慢慢倒入酒精 8ml，以覆蓋溶液」，為的就是利用界面中，少量被改變性質的溶液，來逐步形成晶體。

但是，當我們重複實驗課本的步驟操作後，我們所得到的是如爛泥般的糊狀物；於是，我們反覆思考整個實驗原理，發現：課本中的「沿器壁慢慢倒入酒精 8ml」這段敘述顯得不夠嚴謹；因為大多數的中學生，很可能會和我們一樣，將這段敘述以下圖(二)的操作方式來進行。



圖(二) 初次的實驗操作

結果我們自以為已經夠慢的加入方式，卻無法將界面完整形成，以達到「覆蓋溶液」的目的。而這或許也是過去學長姐所說這實驗不易完成的主要原因吧。

因此我們和老師討論過，針對「沿器壁慢慢倒入酒精 8ml」這一關鍵點，共同想出不同的方法來加以改善，茲將各方法的特點分述如下：

1. 滴定管滴入法：改以滴定管裝填酒精，並調整成緩慢的流速(約 1 秒 2 滴)，如此沿著器壁滴入。
2. 濾紙法(圓錐狀)：將濾紙折成圓錐狀，並將其倒置於燒杯中，再將酒精透過濾紙滴入，如此濾紙可以扮演緩衝的角色，能將酒精均勻且緩慢的沿著器壁加入溶液。
3. 滲透法：將酒精置於半透膜中，再利用半透膜細小的孔隙，讓酒精緩慢滲透至溶液中，逐漸改變溶液的介電常數，使晶體長出。
※備註：我們分別以化學膜、蛋膜、豬腸膜等不同的半透膜來進行此項試驗。藉以了解不同的半透膜其養晶效果的優劣。
4. 蒸氣擴散法：將錯鹽溶液置於充滿酒精蒸氣的密閉鐘罩中，利用針孔數針孔大小來控制酒精蒸氣的擴散，使酒精緩慢的擴散至溶液中，而逐漸改變溶液的性質，讓晶體慢慢長出。

(二) 實驗步驟

1. 共同實驗步驟說明：

在各項實驗中，有部分共同的實驗步驟重複出現，茲將各種實驗方法中，相同的實驗步驟說明如下：

- A. 配置錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶液：稱取硫酸銅晶體 $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ 5.0 克 (0.02 莫耳)，置於燒杯中；同時再將濃氨水 (15M) 8ml 與蒸餾水 5ml 一起倒入燒杯中，充分攪拌，待固體完全溶解後，得到一深藍色的溶液。

B.晶體處理：(1)將所得的晶體與溶液傾入抽濾漏斗中，打開水龍頭，以吸氣器迅速過濾。

(2)以 15M 氨水 5ml 及等量酒精的混合液將杯內殘留晶體沖洗至漏斗內，接著以酒精 5ml，再以丙酮 5ml 依序沖洗漏斗中的晶體，直至抽乾為止。最後秤重，計算產率。

2. 滴定管滴入法：

(1)配置錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶液：詳閱共同步驟 A。

(2)將 8ml 的酒精裝於滴定管中，調整滴定管流出口與燒杯的內壁接觸後，再調整滴定流速約為 1 秒 2 滴，使酒精緩慢流入燒杯內，直至滴完。實驗操作見照片(一)及照片(二)。

(3)酒精滴完後，將溶液靜置數小時，即有晶體析出，持續靜置隔夜。

(4)晶體處理：詳閱共同步驟 B。



照片(一)、(二) 滴定管滴入法的實驗操作

3. 濾紙法(圓錐狀)：

- (1)配置錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶液：詳閱共同步驟 A。
- (2)取一張濾紙，兩次對折，折成 1/4 圓，再修剪濾紙成開口大小與燒杯吻合並撐開使之形成圓錐狀，接著將濾紙嵌入燒杯中。(注意：濾紙須確實緊密貼於杯壁，且不可碰觸到溶液)。
- (3)接著將 8ml 酒精由滴管分次吸取，緩慢地自濾紙頂端處滴入，酒精會慢慢向四周擴散，然後沿著四周的杯壁流至液面，將試液蓋住，得到較好的界面，使得試液可與酒精接觸以緩慢的速度發生反應。(注意：在滴酒精的過程中，必須謹慎緩慢，不可大量快速地滴加，否則濾紙會因重量的急速增加而滑入燒杯，導致實驗失敗。)實驗操作見照片(三)。
- (4)酒精滴完後，將溶液靜置數小時，即有晶體析出，持續靜置隔夜。
- (5)晶體處理：詳閱共同步驟 B。



照片(三) 濾紙法(圓錐狀)的實驗操作

4.半透膜法：

◎化學膜

- (1)配置錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶液：詳閱共同步驟 A。
- (2)將化學膜泡水撐開，用橡皮筋將化學膜緊緊包在薊頭漏斗上，再使用 Parafilm 纏住接合處，以確保酒精不會外漏。見照片(四)。
- (3)將 8ml 酒精倒入薊頭漏斗中。
- (4)再將薊頭漏斗浸入溶液中，並用滴定管夾加以固定，靜置兩天。實驗操作見照



照片(四) 化學膜的實驗操作

片(五)、照片(六)及照片(九)。

(5)晶體處理：詳閱共同步驟 B。



照片(五)、(六) 化學膜的實驗操作

◎豬腸膜

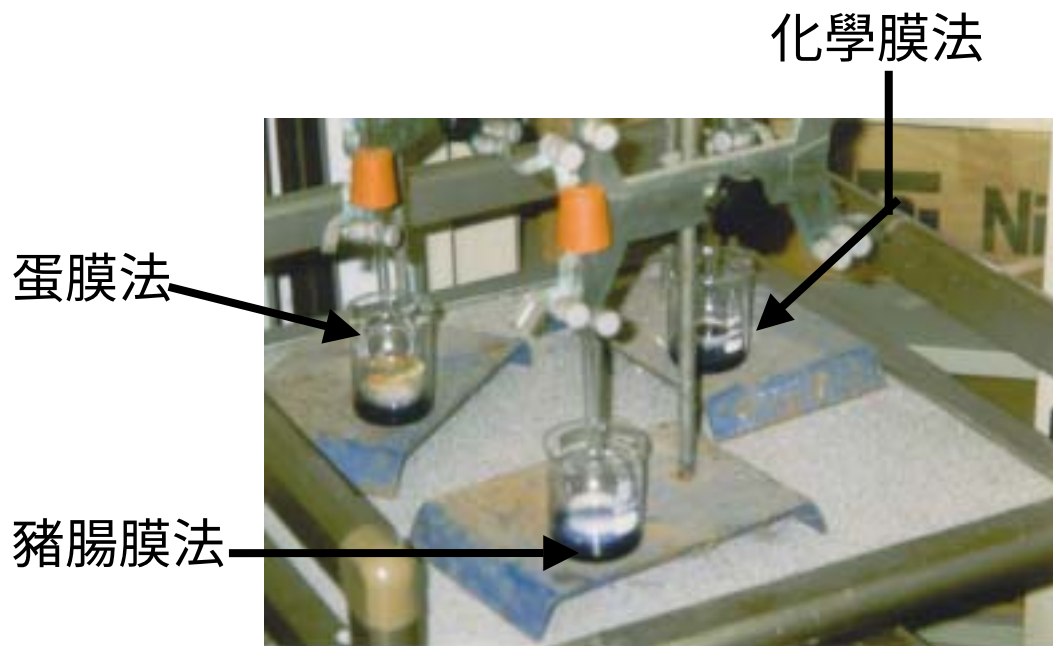
實驗操作完全相同於化學膜，僅將化學膜改以豬腸膜來進行實驗。實驗照片見照片(七)及照片(九)。

◎蛋膜

實驗操作完全相同於化學膜，僅將化學膜改以蛋膜來進行實驗。實驗操作見照片(八)及照片(九)。



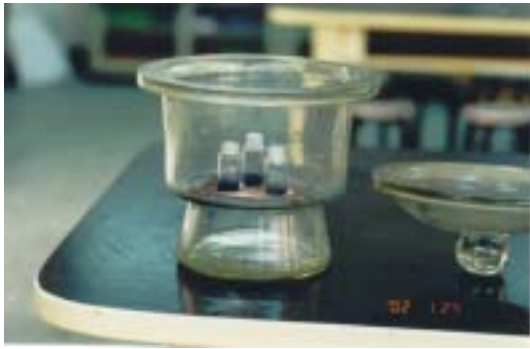
照片(七)、(八) 豬腸膜與蛋膜的實驗操作



照片(九) 三種半透膜的實驗操作

5. 蒸氣擴散法:

- (1) 配置錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶液：詳閱共同步驟 A。
- (2) 將試液分別倒入 3 個樣本瓶中，並以 parafilm 封住瓶口，再以細針在 parafilm 上刺 5、10、15 等小孔細。
- (3) 在密閉罩中倒入酒精，並將 5 孔、10 孔、15 孔等 3 個樣本瓶置入密閉罩裡。
- (4) 密閉罩內，在蓋子的接縫處塗上凡士林，以確保容器呈密閉狀態。實驗操作見照片(十)及照片(十一)。
- (5) 靜置數天，等待晶體形成。
- (6) 晶體處理：詳閱共同步驟 B。



照片(十)、(十一) 密閉罩的實驗操作

6.滲透速率測定：

- (1)稱取過錳酸鉀 0.474g。
- (2)配置成 0.03M，100ml 的過錳酸鉀溶液。
- (3)平均分配成四杯，25ml 的過錳酸鉀溶液。
- (4)將已封妥的化學膜、蛋膜、豬腸膜的薊頭漏斗架上滴定管架。實驗操作見照片(十二)。
- (5)同時加入 10ml 酒精並放入溶液中，漏斗底部封上 parafilm。
- (6)靜置 145 分鐘(2002/03/07，一點三十五分到四點)。
- (7)過濾陰乾再秤重。



照片(十二)
滲透速率測定的實驗操作

五、研究結果

(一) 錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 晶體的各種製備方法之比較

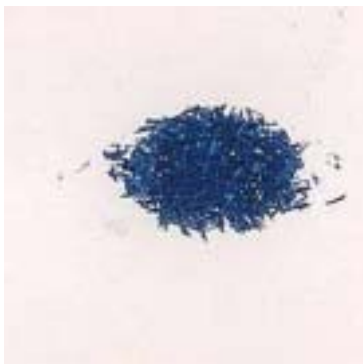
數 據 方 法		總重	濾紙重	實際值	理論值	產率 ($\frac{\text{實際值}}{\text{理論值}} \times 100\%$)	晶體形狀
滴定管法		4.178g	0.55g	3.628g	4.92g	73.73 %	大多為粉末， 見照片(十三)
濾紙法(圓錐狀)		4.367g	0.55g	3.817g	4.92g	77.58 %	晶體呈針狀，份 量少；大多為粉 末，見照片(十四)
半 透 膜	化學膜	4.403g	0.56g	3.843g	4.92g	78.10 %	晶體呈針狀，份 量少；大多為粉 末，見照片(十五)
	豬腸膜	4.861g	0.55g	4.311g	4.92g	87.62 %	晶體呈針狀，份 量較多，粉末較 少，見照片(十六)
	蛋膜	4.48g	0.54g	3.94g	4.92g	80.08 %	針狀晶體多，見 照片(十七 十八)
擴散法		4.72g	0.53 g	4.19g	4.92g	85.16 %	形狀完整，顆粒 大塊的晶體，見 照片(十九 二十)

表(二) 錯鹽晶體製備比較

晶體形狀



照片(十三) 此為「滴定管法」所培養的晶體形狀，大多為粉末狀，並無完整晶形。



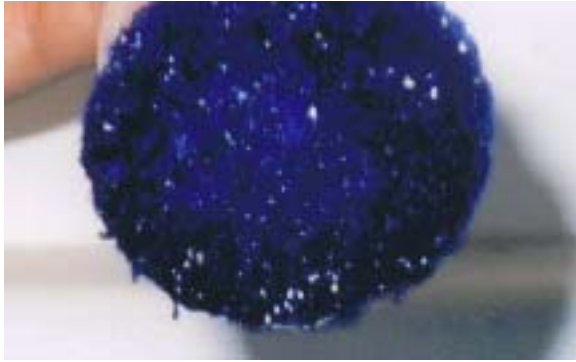
照片(十四) 左照片為濾紙法(圓錐狀)培養的晶體，針狀晶體及粉末參雜，粉末的量較多。



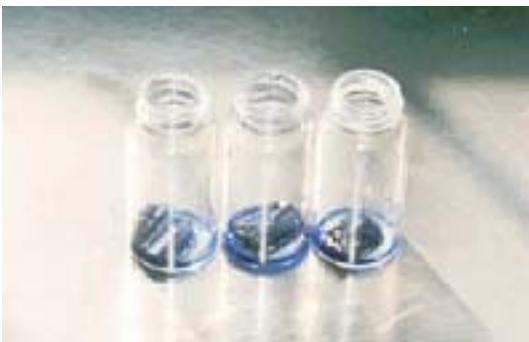
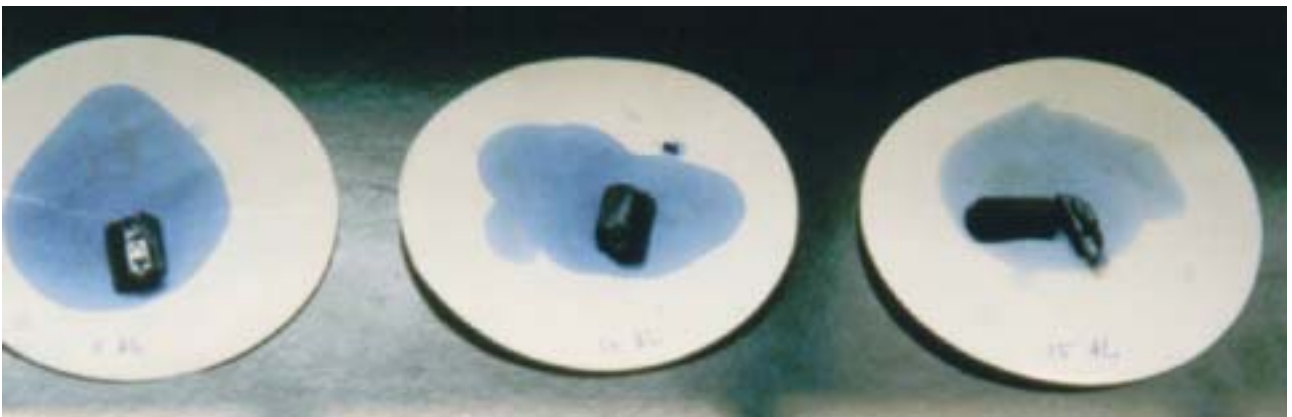
照片(十五) 左照片為化學膜培養的晶體，針狀晶體及粉末參雜，粉末的量較多，與濾紙法的結果相似。



照片(十六) 左照片為豬腸膜法培養出的晶體，針狀晶體的量多，實用性頗高。



照片(十七、十八) 上二張照片為蛋膜法培養出的晶體，晶形、光澤比化學膜所生成的晶體較佳，份量相當多。



照片(十九、二十) 上二張照片為擴散法培養的晶體。為形狀完整，顆粒大，光澤晶亮，質地堅固的晶體。

(二)元素分析之測定：

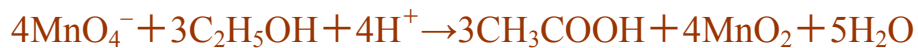
將各種方法所養出的晶體，送測元素分析，檢驗晶體純度。其中滲透法以豬腸膜的晶體為代表。

實驗法 測定項目		滴定管法	濾紙法(圓錐狀)	豬腸膜	擴散法
N%	實驗值	22.4%	22.9%	22.6%	22.6%
	理論值	22.7%	22.7%	22.7%	22.7%
O%	實驗值	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%
	理論值	13.1%	13.1%	13.1%	13.1%
S%	實驗值	32.6%	32.5%	32.4%	32.5%
	理論值	32.5%	32.5%	32.5%	32.5%
C% 空白 實驗	實驗值	7.4%	7.4%	7.4%	7.4%
	理論值	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%

表(三) 各晶體的元素分析值

(三)滲透速率之測定

利用過酸錳鉀的氧化力，在中性的條件下，與乙醇反應生成二氧化錳，測量二氧化錳的質量，反推乙醇自半透膜滲透出的量，反應方程式如下：



所得的數據如下表所示：

半透膜 \ 數據	總重(g)	濾紙重(g)	實際值(g)	濾液顏色	滲透速率比較
化學膜	1.443g	0.62g	0.823g	淡紅色接近 無色	最慢
蛋膜	2.193g	(0.61+0.61)g	0.973g	淡紅色接近 無色	最快
豬腸膜	2.086g	(0.61+0.60)g	0.876g	淡紅色接近 無色	次之

表(四) 滲透速率之測定

※備註：在過濾蛋膜與豬腸膜所得的產物時，由於第一次過濾時，有部分產物透過，為縮小誤差，再次取一張濾紙，將濾液再過濾一次。

六、討論

(一)各種方法之實用性

本科展的實驗目的，是針對高中化學實驗課程裡，有關於錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 晶體的製備，找出一個較為適當的實驗方法，以獲得更好的實驗結果與晶體，同時也希望我們找到的方法可以提供大家參考。對於各種製備方法的比較，我們可以從表(二)的結果整理中，得知各種方法的優缺點。分別從下列各項來分析討論：

1.從晶體的品質來看：

很明顯的，不論是晶體的形狀、大小與光澤，「擴散法」是最佳的方法。由於「擴散法」是利用酒精蒸氣，經由 parafilm 上的小孔擴散進入樣本瓶中，而緩慢地溶於溶液中，逐漸改變溶液的介電常數值，使溶液中的錯鹽離子，因溶液極性的逐漸改變，慢慢地堆積成晶體。

次佳的方法就屬「滲透法」。其中以蛋膜所得的晶體品質最佳，豬腸膜次之，而化學膜最差。

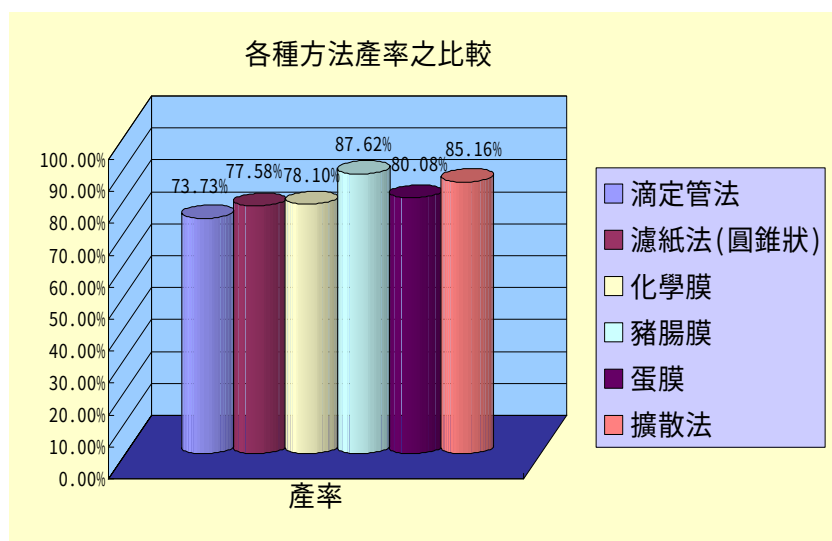
最差的方法就是滴定管法與濾紙法。改用這兩個方法加入酒精，均能形成非常完整的界面，但實驗結果仍然不佳。換言之，利用酒精與溶液兩液相間的界面，來培養晶體，不論加入酒精的速率有多緩慢，或是形成的界面有多完整，基本上利用此原理所得的晶體品質不佳，甚至可說是沒有得到晶體。造成此一結果，應該是利用酒精界面來改變溶液極性的速率仍是過快，使得晶體結晶速率過快，而無法得到理想的晶體。如果，想利用兩液的界面處來養晶，或許將接觸面積縮小，可以獲得較理想的結果。因此，實驗課本上所利用的方法，其失敗的主要原因，不在於加入酒精的方法或技巧，而是整個實驗設計原理不甚理想。

2.從產率來看：

接著，我們從產率來分析各種方法的優劣。我們將表(二)的產率資料繪成下

面的圖(三)，從圖(三)的柱形圖，我們可以很清楚地看出，各種養晶法以「滲透法」中的豬腸膜所得產率最高。再來是擴散法、滲透法的蛋膜…。但是，由於「擴散法」是利用酒精蒸氣緩慢擴散至溶液中，需要相當長的時間來進行晶體養成。所以，在產率方面，「擴散法」較豬腸膜差，也有可能是因為擴散法未完全反應完畢。

因此，若只考慮產率的高低，「滲透法」是最佳的選擇。



圖(三) 產率比較

3.從課程時間安排來看：

在高中課程中，實驗課的時間配當原則以一至二節課為主，也就是大多實驗設計需在一至二小時就可以得到實驗結果。因此，若以時間為主要考量點，「擴散法」就比較不適合。這是因為「擴散法」需相當長的時間，如果今天將 parafilm 上的針孔數減少或縮小，如此可以將酒精擴散的速率變慢，進而減緩溶液極性的改變速率；雖說速率越慢，晶體堆積會越好，品質也會越佳。可是，如此一來，晶體的培養時間將會拉長許多。這對於高中實驗課程的時間配當是相當不理想的。然而，經本組多次的反覆試驗，目前已經能將「擴散法」的養晶時間，縮短為四天的時間，即可大致完成。而「滲透法」約需兩天時間，至於「滴定管法」與「濾紙法」，大約需隔夜也就是一天內，即可完成。因此，針對錯鹽

[Cu(NH₃)₄SO₄·H₂O]晶體的製備，本組提供這四種方法應該相當符合高中實驗課時間上的需求。

(二)三種半透膜與晶體培養關係

「滲透法」的設計原理，即是利用半透膜上的細小孔隙，來控制溶劑分子或溶液中微小粒子的進出。而不同的半透膜有其大小不同的孔隙，因此，粒子的滲透速率也會有所不同。本組以化學膜、豬腸膜及蛋膜三種半透膜來進行養晶，藉此以比較出何者較適合錯鹽晶體的製備。理論上，半透膜上的孔隙較小者，酒精自內部滲透出來的速率也就較慢，如此，改變溶液性質的速率也會變慢；於是錯鹽粒子堆積成晶體的速率也就相對變慢，晶體的品質自然相當理想。經本組多次反覆實驗，發現本組所採用的這三種半透膜中，以蛋膜所養出的晶體，品質最佳；豬腸膜所得到的產率最好；而以化學膜不論是晶體的質或量均為最差。

起初，經小組討論認為：應該是化學膜的孔隙過大，以致於所得到的晶體品質不佳。相對的，應該是蛋膜的孔隙最小，所以得到最多且品質最佳的晶體。然而，後來測試了三種半透膜的滲透速率，我們發現：反倒是化學膜的滲透速率最小，而蛋膜的滲透速率最大！換句話說，應該是蛋膜的孔隙最大，而化學膜最小。這與原先所推論的觀點完全相反！我們也觀察到：三種半透膜在反應完成自溶液中取出時，部分溶液也會回滲至薊頭漏斗中，而其中以化學膜回滲的量最多。

原本我們是聯想到：這樣的結果是否與生物的半透膜具有「選擇性」的性質有關。是否因為蛋膜與豬腸膜是動物膜，具有選擇性，所以孔隙的大小，不是決定滲透速率的唯一因素。但是很快的，這個解釋馬上就被推翻了，原因是：生物的半透膜需在生物體中，在酶的催化下，才會具有選擇性。

最後，我們的推論：或許是因為化學膜可能含有某種成分，影響了錯鹽粒子結晶的過程，導致其雖然滲透速率最慢，卻無法形成理想晶體的反效果。然而本實驗的目的，主要是尋找出一個理想的養晶方法，雖然未能完成這方面的實驗求證，卻也成功提出各種方法的比較，同時也提供一個大家可以持續努力的方向。

(三)元素分析

將晶體送測元素分析，主要目的是為了求一個更有力的佐證。原因是：原本教材上的設計，是將錯鹽晶體加熱，觀察是否有產生氨氣及二氧化硫的特殊臭味，及生成黑色硫化銅 CuS ；用以區別複鹽 $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。經分析結果，本組所設計的各種養晶方法均能獲得純度極高的產物。

(四)擴散法之探討

以擴散法養晶，影響其晶體品質的主要因素，在於：1.針孔數的多寡，2.針孔的大小，3.擴散溶劑的性質。如果能適當調整出對於錯鹽晶體製備的最佳條件，如此便能得到理想的晶體。而本組實驗主要是操作針孔的數目與大小，找出能夠在數天便能生成品質不錯的晶體之條件。而事實上，擴散溶劑的種類與性質，也是一個非常有效的變因，若能找出一個適當的溶劑，相信也可以獲得效果很好的實驗結果。

※注意事項：

(一)不可使用蒸餾水清洗晶體

獲得晶體後，將晶體自母液取出，經過抽濾、沖洗、乾燥最後秤重，如此便能得到結果。抽濾可以將大部分附在晶體上的母液吸走；沖洗則是為了要洗去晶體上剩餘的母液與雜質。起初，我們曾犯了一個嚴重的錯誤，那就是以蒸

餾水來清洗晶體，結果不僅洗去了雜質，也洗掉了許多晶體。當初會這麼做，是因為按照課本以酒精與丙酮來清洗晶體，結果會使得晶體失去表面的光澤。於是我們決定改以蒸餾水來清洗晶體，因為我們認為：「晶體是一個排列緊密且結構完整的固體，以蒸餾水清洗可以完全洗去雜質與母液，雖然會稍微損失一些晶體，但應該影響不大。」結果，證明我們的選擇是錯的，而這也說明，錯鹽 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 固體對於水的溶解度極高，即使是晶體結構也會輕易的溶解在水中。

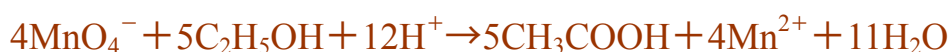
(二)溫度影響溶解度

在一次製備錯鹽溶液時，我們發現，在未加入酒精的情況下，竟然已有深藍色固體沉澱在燒杯底部，而且數量很多，可以說整個錯鹽固體析出。經過我們討論並追查原因，發現是因為當天溫度較低，水溫僅有 20°C 左右，於是，我們將溶液隔水加熱，當溫度未達 30°C 時，固體就能夠全部溶解。這現象顯示出：溫度變化對於錯鹽固體的溶解度有很大的影響。而這同時也引發我們另一個點子，那就是：利用溫度的控制來製備晶體。可惜，因為缺乏恆溫裝置，所以結晶速率很快，結果只能得到粉末固體，最後因時間急迫，所以後來我們並未朝這方向去努力。

(三)滲透速率實驗的硫酸會腐蝕半透膜

由於「滲透法」中，各種半透膜的孔隙大小影響著酒精的滲透速率，進而影響結晶速率與晶體品質，所以，我們必須測量酒精在不同的半透膜中，其滲透速率的大小。最初的設計是如此：酒精自半透膜中滲透到過錳酸鉀酸性溶液，使酒精與過錳酸根進行氧化還原反應，生成顏色極淡的 Mn^{2+} ，如此過錳酸鉀溶液的顏色就會被稀釋變淡，最後再以「比色法」來求出，反應後過錳酸鉀溶液的濃度，如此即可推算出過錳酸鉀的反應量，進而證明何種半透膜的滲

透速率快。化學反應方程式如下：



可是，當實驗進行時，我們發現一個致命的缺失，那就是：為了使反應在酸性條件進行，我們必須加入硫酸；結果，硫酸會腐蝕豬腸膜與蛋膜，使得腸膜與蛋膜變得坑坑洞洞的，出現了許多破洞，造成實驗結果嚴重的誤差。

於是，我們重新修正實驗設計，改以中性條件進行氧化還原反應，利用過錳酸根會生成二氧化錳固體，改以測量二氧化錳的重量，來反推過錳酸根的反應量，進而比較出酒精的滲透速率。化學反應方程式如下：



七、結論

因為對晶體的好奇與深感興趣，讓我們參與這次的科展實驗。由於學校課業繁重，我們只能利用課餘時間及寒假、春節假期，完成實驗操作、數據收集整理、報告撰寫、及最後的版面製作，真的很累，卻也非常的充實。這過程中我們學了很多，尤其是實驗技巧上的進步與化學知識的拓展。有些還是我們從未學過的觀念呢！感謝教育部提供這樣的學習機會，讓我們得以精進；更感謝學校提供良好的設備使我們能完成實驗；特別感謝學校各級師長的鼓勵與支持；最後感謝指導老師悉心的指導與同組夥伴大家的努力。

八、參考資料及其他

- | | | |
|-------------|--------------------------|----------|
| 1. 化學化工百科辭典 | 王禹文、林聖富、黃榮茂、楊得仁
曉園出版社 | 編譯
出版 |
| 2. 化學 | 曾國輝
藝軒圖書出版社 | 編譯
出版 |
| 3. 高中化學(三) | 國立台灣師範大學科學教育中心
國立編譯館 | 編譯
出版 |
| 4. 高中化學實驗手冊 | 國立台灣師範大學科學教育中心
國立編譯館 | 編譯
出版 |