

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

團隊合作獎

080204

回溫「鹼」值「晶」彩

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者： 小五 黃子睿 小五 陳亮維 小五 蔡政諺	指導老師： 范暄昊 張 慎
---	-----------------------------

關鍵詞：鉍明礬結晶、回溫實驗、自製簡易光照盒

摘要

本研究針對鉍明礬結晶進行討論，並探究最佳的鉍明礬結晶條件。先嘗試使用不同的懸吊線來吊晶種，再加入糖、鹽、酸、鹼探究鉍明礬結晶品質，之後採用不同的降溫方式觀察鉍明礬的結晶成效。實驗發現鉍明礬水溶液加入適量的氫氧化鈉，一開始會觀察到水溶液有混濁的現象，但過了一至二天後會出現晶型完整且透度極高的優質結晶。溫度也會影響鉍明礬的結晶品質，60°C飽和水溶液緩慢冷卻會得到品質良好的鉍明礬結晶。同時，我們利用自製的簡易光照盒觀察結晶的品質。

壹、研究動機

在聖誕節的時候，我們會買紙樹開花的材料，每天等著它能夠整樹都是五彩繽紛的顏色，有時候在咖啡廳可以看到上有著跟鑽石一樣漂亮的攪拌棒，我好奇地問爸媽，爸媽跟我說這是「冰晶棒棒糖」。哇！是糖！糖的結晶呢！我們可以做又透又亮的結晶嗎？能做得跟鑽石一樣亮晶晶的結晶嗎？我們找了結晶的資料，討論後我們使用鉍明礬來做為這次結晶的研究。

貳、研究目的

- 一、 探究不同材質的垂線與位置對鉍明礬水溶液懸晶的成效。
- 二、 探究不同水中添加物與酸鹼性對鉍明礬結晶之成效。
- 三、 探討不同溫度的調控對鉍明礬結晶之成效。
- 四、 採用簡易的自製光照盒，探究鉍明礬結晶品質之成效。

參、研究設備及器材

			
銨明礬	鉀明礬	硫酸銅	尿素
			
食鹽	糖	檸檬酸	氫氧化鈉
			
刮勺	廚房紙巾條	棉線	銅膠帶
			
塑膠長筒	燒杯	加熱攪拌器	磁石攪拌子
			
玻璃罐	冰棒棍	UV膠	電子秤
			
半天球儀模型	5mw雷射筆	恆溫水槽	

肆、研究過程與方法

一、本研究架構圖如下圖所示。

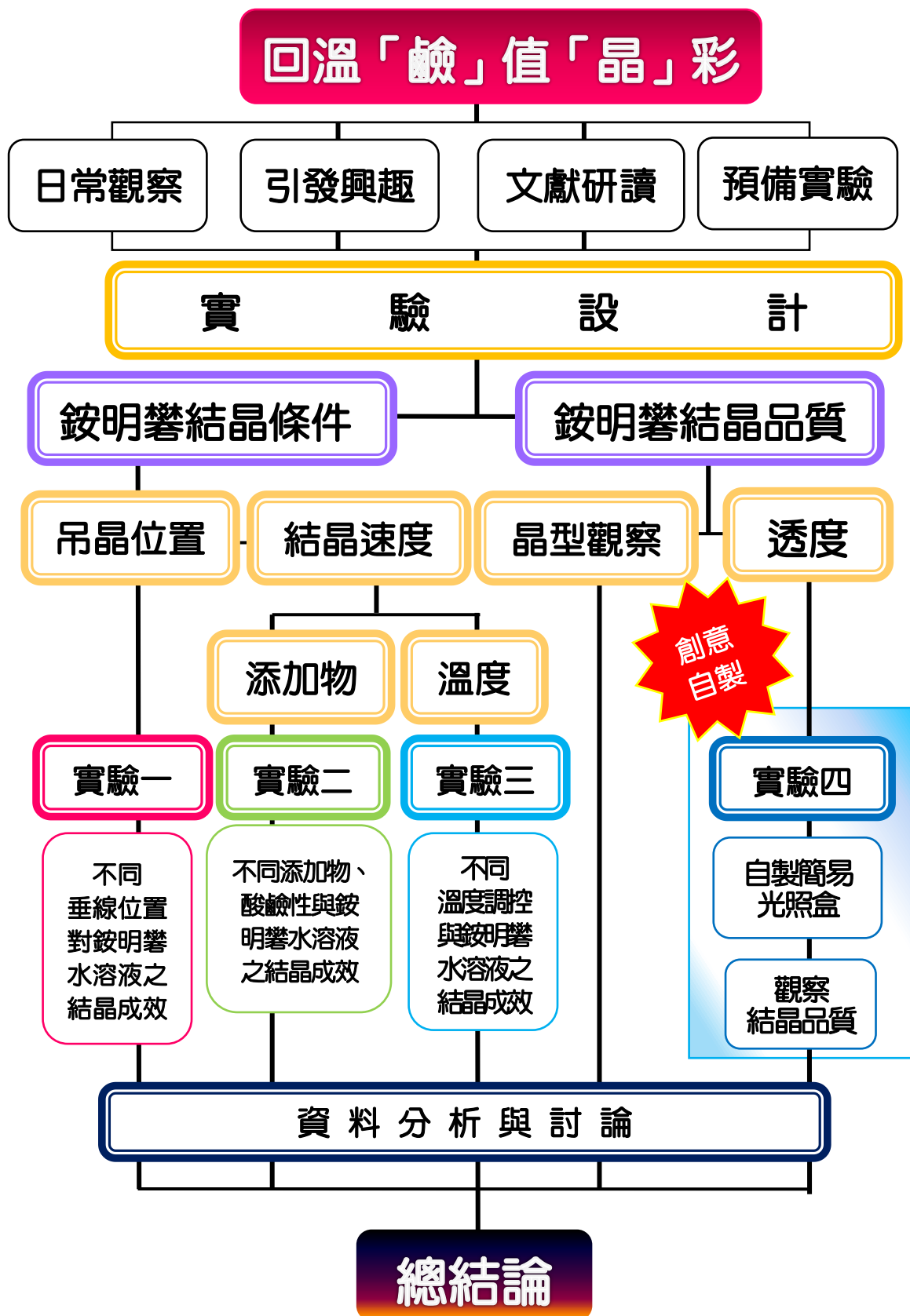


圖4-1-1 研究架構圖







二、預備實驗

(一) 預備實驗一 探討一般市售可結晶物質之各種晶型

我們搜尋了網路資料，查到一般可結晶的化學物質以明礬為主，其中最常使用的有硫酸銅(藍礬)、銨明礬、鉀明礬。生活中的糖與食鹽都可食用的結晶，另外我們查到紙樹開花的原料是尿素，於是我們調製了上述之過飽和溶液，進行初步的結晶實驗，探討晶型。

在做結晶的同時，我們也紀錄了上述之物質在各溫度的溶解量，紀錄於下表A，晶型如下所示：

表A 各物質之水溶液於不同溫度之溶解量(單位：公克)

名稱 \ 溫度(°C)	30	40	50	60	70	80	晶型
食鹽	14.6	32.6	40.6	46.0	46.0	46.0	
糖	5	34.9	103.2	125.2	153.7	195.5	
尿素	25.0	55.0	75.0	105.0	145.0	187.0	
銨明礬	13.0	30.0	37.5	50.0	79.0	120.0	
鉀明礬	2.0	4.0	15.0	35.0	55.0	72.0	
硫酸銅	5.0	10.0	20.0	35.0	68.0	106.7	

(二) 晶型探討的過程中，我們發現到：

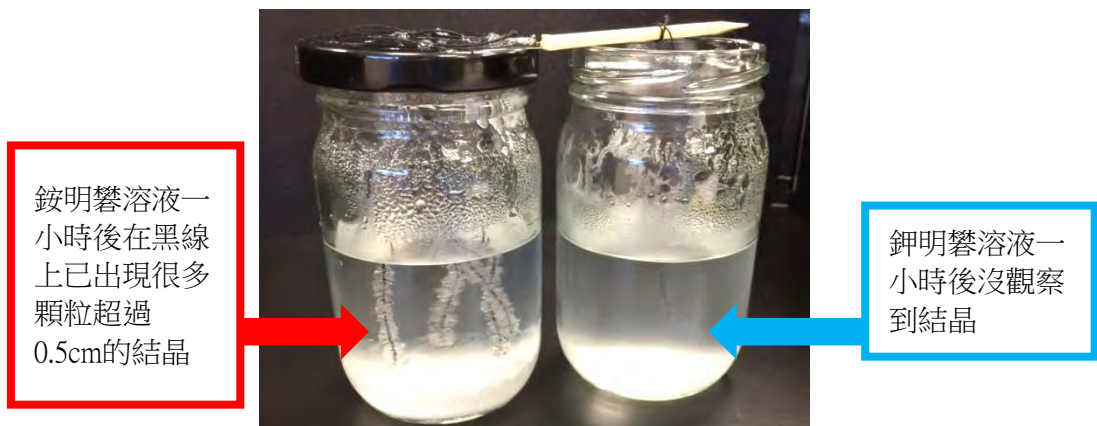
1. 溫度升高，鹽的溶解量增加有限，且結晶顆粒很小顆，不容易觀察。
2. 尿素的結晶雖然是絲狀，但是因為水中溶解太多的尿素，降溫後導致整個燒杯全部結晶，非常不容易取出觀察。
3. 銨明礬與鉀明礬溶液都可以在室溫下結晶比較大塊，因此我們使用銨明礬與鉀明礬溶液進行結晶比較。
4. 硫酸銅的結晶雖美，但銅離子具有微量毒性，且結晶大小差異懸殊。

(三) 預備實驗二之一 鉀明礬與鉍明礬的溶解與結晶比較

我們在室溫下使用燒杯盛裝100ml水，同時加熱到60°C，加熱期間陸續加入鉀明礬與鉍明礬到過飽和狀態，觀察發現：

1. 在同溫同水量(100ml)條件下，鉀明礬過飽和溶解量只有 35g，比鉍明礬的 50g 少。
2. 鉀明礬溶液顏色過於混濁，不易觀察容器底部是否已經有沉澱物，無法精準判定鉀明礬溶液是否已經達到過飽和。
3. 鉀明礬結晶速度慢，且結晶的時間等待較漫長，大約 1 小時後才出現浮晶。
4. 相較之下，鉍明礬溶液達到過飽和後不久，液面就出現 0.1cm 大小的浮晶。且在一小時後在黑線上已出現很多顆粒超過 0.5cm 的結晶，且透明度也比較高，但是懸吊在鉀明礬溶液中的黑線卻沒觀察到結晶。

綜合以上實驗發現，我們決定選擇用鉍明礬來做我們後面的實驗！



圖A 鉍明礬與鉀明礬溶液結晶情形

我們之後依照不同溫度的溶解量，調製出30°C、40°C、50°C、60°C、70°C與80°C的鉍明礬溶液進行室溫冷卻降溫，過7天觀察結晶情形整理如表B所示：

表B 七天後鉍明礬水溶液觀察紀錄

水溫(°C)	30	40	50	60	70	80
溶解量	13g	30g	37.5g	50g	79g	120g
懸晶重	0g	0g	0g	10.04g	27.17g	25.84g
結晶發現	只有一顆小顆，超透明的沉晶	完全無懸晶，沉晶很少	完全無懸晶，沉晶較少	懸晶中等，結晶很透明，均勻分佈在線上	懸晶中大顆，但是不透明	懸晶非常大，但很不透明

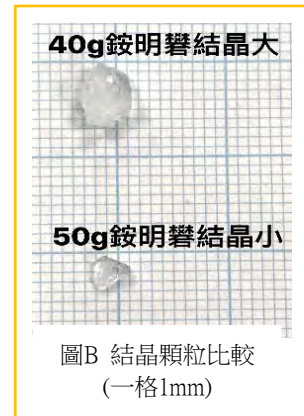
(四) 預備實驗二之二 鉍明礬的溶解與結晶比較

我們延續預備實驗二之一，將原先鉍明礬水溶液做七天的靜置，我們發現到：

1. 100mL水加入鉍明礬加熱到80°C後室溫冷卻，結晶顏色呈現白色，容易碎裂。
2. 100mL水加入鉍明礬加熱到30°C、40°C與50°C時無懸晶，但是數天後30°C鉍明礬水溶液底層出現一顆非常透明的沉晶，讓我們感到驚喜！

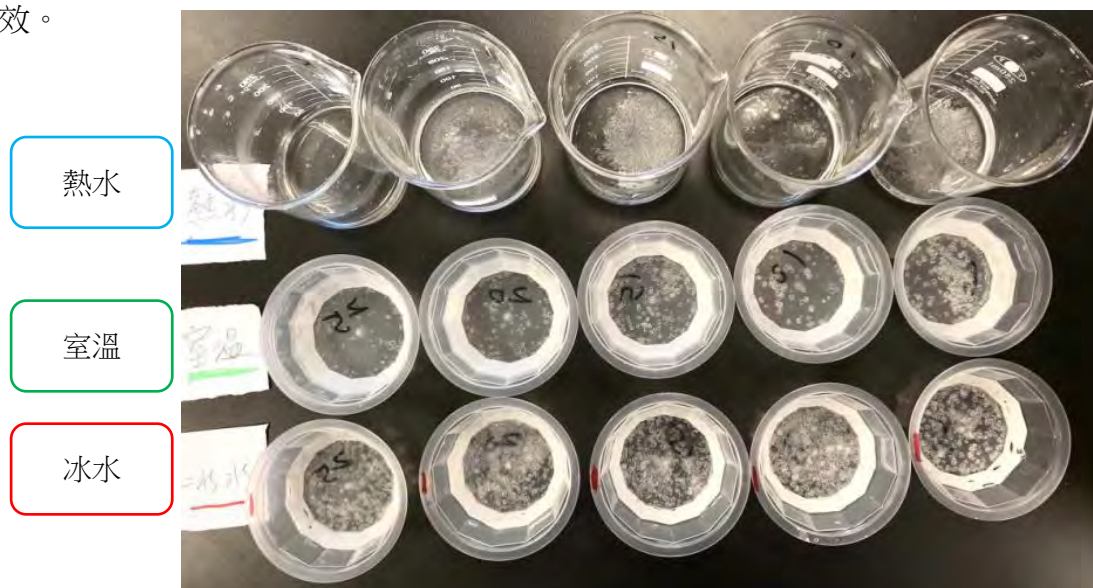
3. 100mL水加入40g與50g的鉍明礬加熱60°C溶解，結晶效果也有所不同。40g的鉍明礬溶液結晶較大顆，但是結晶呈現霧狀不透明，相較之下，50g鉍明礬水溶液結晶較小，但是結晶的透明度反而比較高。文獻資料顯示：如果鉍明礬結晶是白色，代表結晶速度快且晶體品質不佳；結晶越透明，代表結晶的結構越完整。因此我們實驗的研究採用鉍明礬水

溶液均加熱攪拌到60°C進行結晶。



(五) 預備實驗三 不同冷卻方式與鉍明礬水溶液之結晶成效

本實驗採用平面結晶(無吊晶)的方式進行實驗，我們使用250ml的水，再加入125g的鉍明礬加熱攪拌到60°C，均分5杯為一組，共三組，分別進入熱水(約45°C隔水加熱)、室溫冷卻(23°C，對照組)與冰水(2°C)，進行不同冷卻方式與鉍明礬水溶液之結晶成效。

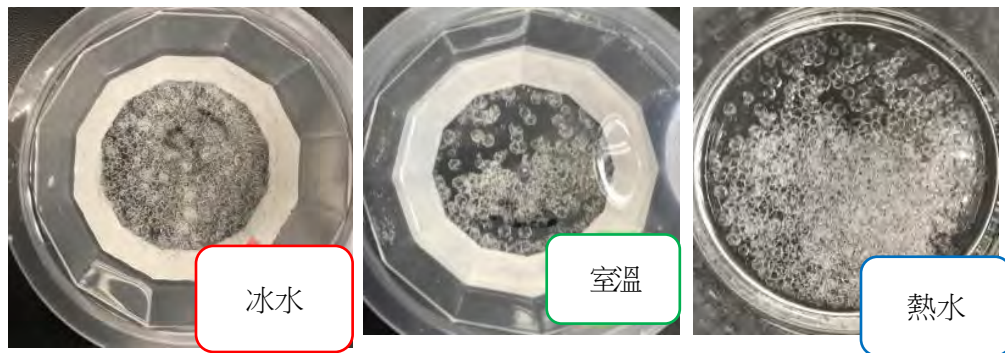


圖C 進行不同冷卻方式與鉍明礬水溶液之結晶成效(2小時後)

由圖C的結晶成效，實驗發現：

1. 冰水冷卻的方式由於溫度過低，與60°C有極大的溫差，因此在5分鐘內就開始產生結晶。
2. 熱水的結晶數量很少，結晶顆粒也比較小顆。

經過1晚的時間，我們再次觀察結晶情形，我們發現冰水的結晶偏白且顆粒大小不一致，熱水的結晶顆粒大小幾乎一致，而且比較透明，如圖D所示。由預備實驗三可以得知：溫度下降越慢，越能增加結晶的品質，即結晶的密度高，顏色越透明。



圖D 不同冷卻方式對鉍明礬水溶液之結晶成效(一晚後)

三、實驗一. 不同垂線材質、位置與鉍明礬水溶液之結晶成效

此實驗我們使用塑膠量筒作為容器，再以棉線、銅膠帶與廚房紙巾條放入量筒內作為垂線，分別放置於量筒的上、中、下三個位置，如下圖所示。再使用燒杯調製鉍明礬 50 克放入 100ml 水裡加熱攪拌到 60°C 後，倒入塑膠量筒中，以常溫冷卻的方式等候觀察紀錄結晶情形。

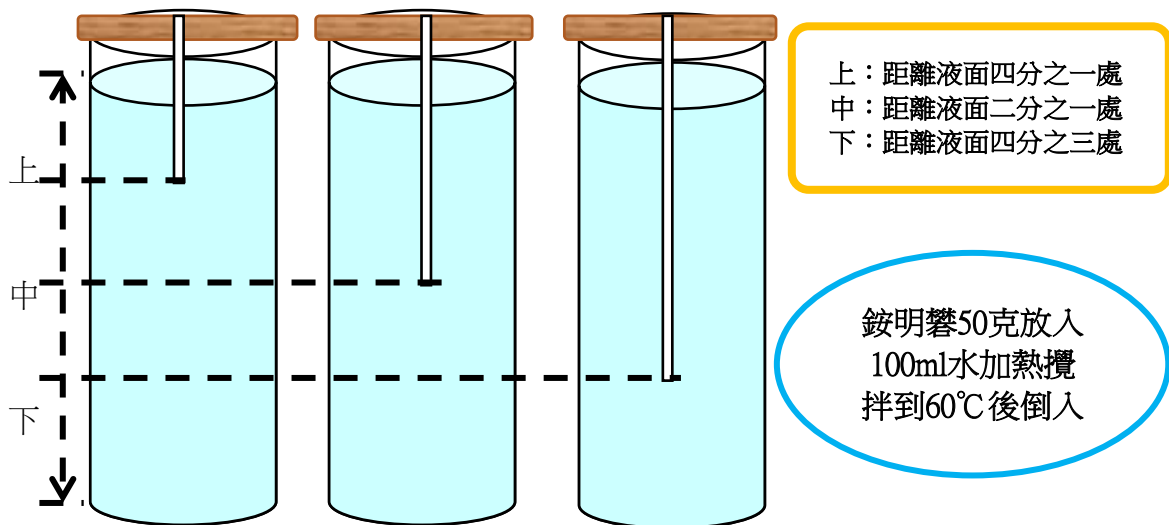


圖 4-3-1 實驗一不同垂線懸吊放置示意圖

表 4-3-1 不同垂線材質、位置與鉍明礬水溶液之結晶 單位：公克

量筒編號	垂線材質	垂線懸吊位置	沉晶	懸晶	晶體總重
1	銅線	上	25.0	1.0	26.0
2	棉線	上	19.1	6.4	25.5
3	廚房紙巾條	上	21.7	4.2	25.9
4	銅線	中	10.9	13.4	24.3
5	棉線	中	14.7	16.4	29.2
6	廚房紙巾條	中	16.4	12.6	29.0
7	銅線	下	29.2	-	-
8	棉線	下	32.4	-	-
9	廚房紙巾條	下	31.1	-	-



圖4-3-2 晶種懸垂於不同位置的結晶實驗(一)



圖4-3-3 晶種懸垂於不同位置的結晶實驗(二)

由上圖、表數據顯示，我們發現：

- (一) 銅線的結晶量較少，棉線最多。我們會認為是棉線與廚房紙巾條上有許多的植物纖維縫隙可以讓鉍明礬附著結晶。
- (二) 棉線比廚房紙巾條的結晶情況更好，衛生紙浸泡過久會造成懸晶斷裂。
- (三) 基於以上發現，我們決定使用棉線來做懸晶的垂線，觀察紀錄結晶情形，可以清楚發現到：垂線懸吊位置在「下」的位置結晶量大幅提升，於是我們靜置一晚後，觀察瓶內結晶情形如圖4-3-3所示。我們發現：垂線懸吊位置在「下」的位置的結晶情況反而不佳，結晶已經和底部沉晶結合，無法用來觀測記錄。

討論：我們經過實驗一的實驗結果，決定使用棉線當作垂吊的垂線，並放置於鉍明礬水溶液的「中」位置進行之後的結晶實驗。

四、實驗二. 不同添加物、酸鹼性與鉍明礬水溶液之結晶成效

(一) 加入糖與鹽對鉍明礬水溶液的結晶成效

在預備實驗一的內容，我們有觀察到鹽與糖的結晶，我們心想：如果同一個溶液裡溶解二種不同物質是否會影響結晶成效？因此我們使用不同濃度的鹽水與糖水各100ml，均加入等量50g的鉍明礬溶液，加熱至60°C後常溫冷卻，經過2天後觀察底部結晶，實驗結果於下圖4-4-1與圖4-4-2所示：

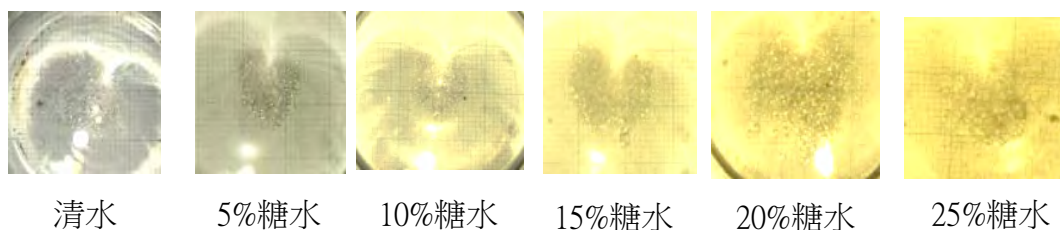


圖4-4-1 經過2天後不同濃度糖水與鉍明礬溶液結晶成效

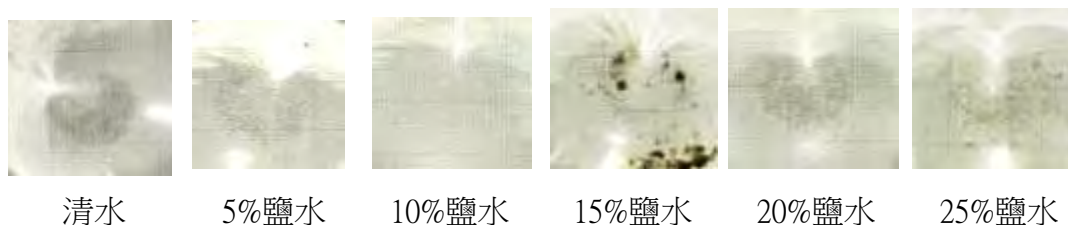


圖4-4-2 經過2天後不同濃度鹽水與鉍明礬溶液結晶成效

從實驗二的結果我們發現到：

1. 糖水與鉍明礬溶液結晶，會比清水與鉍明礬溶液的結晶的速度還要慢，可是最後在底部的結晶會比較多顆。
2. 鹽水與鉍明礬溶液結晶，會比清水與鉍明礬溶液的結晶的速度還要慢，可是最後在底部的結晶會比較少但是比較大顆。
3. 結晶進行到第五天時，鹽水與鉍明礬的溶液開始出現白色的鹽結晶，如下圖4-4-3所示。
4. 糖水與鉍明礬溶液裡除了鉍明礬結晶之外，無形成糖的結晶。

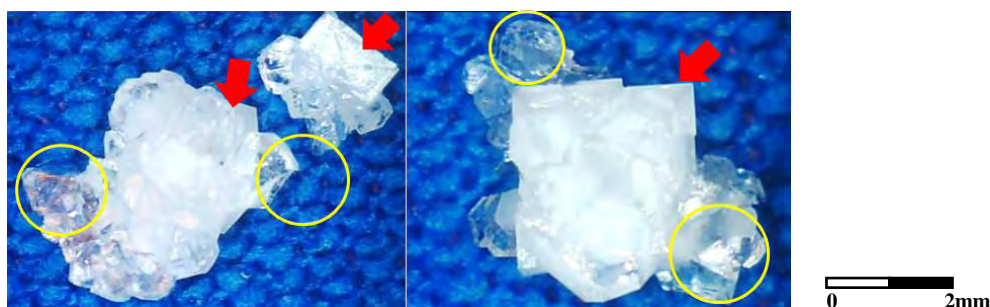


圖4-4-3 顯微攝影鹽結晶(紅色箭頭處)與鉍明礬結晶(黃色圈起處)

(二) 討論

鹽與鉍明礬會各自結晶的跡象，這實驗發現真的令人感到驚喜。但是我們會思考著：我們使用的鹽與糖都是中性，如果改變溶液的酸鹼性是否會影響鉍明礬的結晶？或是有什麼意外的發現？於是我們進行不同酸鹼性與鉍明礬水溶液之結晶成效。

(三) 不同酸鹼性與鉍明礬水溶液之結晶成效

我們將6杯100ml鉍明礬水溶液(50g鉍明礬/100ml水)，加熱攪拌到60°C後，其中三杯分別加入氫氧化鈉0.4g、2g與4g；另外三杯分別加入檸檬酸1.92g、9.6g與19.2g，靜置一段時間並觀察底部結晶情況，鉍明礬水溶液的pH值變化如下表4-4-1所示。

表4-4-1 60°C 鉍明礬水溶液加入檸檬酸與氫氧化鈉後的pH值變化

①	②	③	④	⑤	⑥
1.92g檸檬酸	9.6g檸檬酸	19.2g檸檬酸	0.4g氫氧化鈉	2g氫氧化鈉	4g氫氧化鈉
2.4	2.2	2.1	3.1	3.4	3.8

(鉍明礬溶液於60°C之pH值測得為2.7)

從上述之實驗資料顯示：

1. 鉍明礬溶液於60°C之pH值測得為2.7，屬於酸性水溶液。
2. 鉍明礬溶液加入檸檬酸後，溶液呈現淡黃色，結晶速度與清水的鉍明礬溶液差不多。
3. 鉍明礬溶液加入氫氧化鈉後，溶液變成混濁白色，起初無任何結晶。過了一天後，在④與⑤的垂線上發現許多結晶，而且整顆結晶是透明的，如圖4-4-4所示，讓我們感到驚喜！
4. 我們發現到鉍明礬溶液加入檸檬酸後的結晶晶型呈現白色微透明且形狀不規則，晶型較不完整且易碎。(下圖4-4-5)

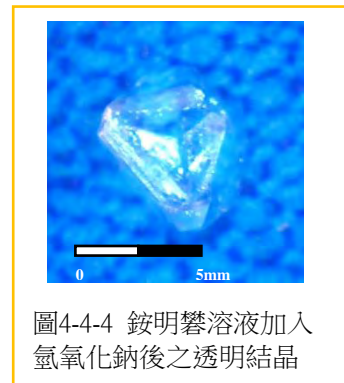


圖4-4-4 鉍明礬溶液加入氫氧化鈉後之透明結晶

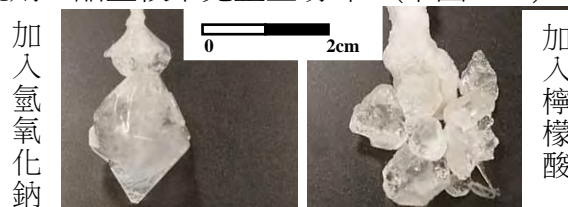


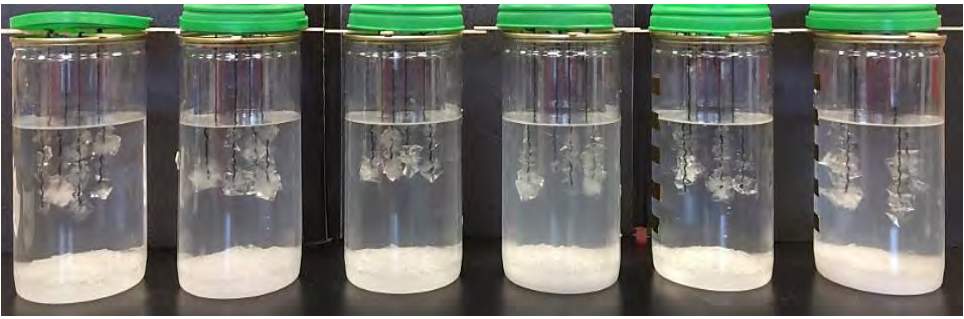
圖4-4-5 鉍明礬溶液加入氫氧化鈉與檸檬酸後結晶比較



(四) 鉍明礬水溶液加入不同濃度氫氧化鈉之持續探究

實驗中使用1000mL水、放入4個垂線，配製好鉍明礬水溶液，分別加入氫氧化鈉20g、24g、28g、32g、36g與40g，放置一天後觀察結晶情形並秤重，整理如下表4-4-2。

表4-4-2 鉍明礬水溶液與不同濃度氫氧化鈉一天後鉍明礬結晶情形與總重

編號	1	2	3	4	5	6
加入氫氧化鈉(克數)	20	24	28	32	36	40
圖示						
總重量(g)	30.7	33.58	23.19	28.77	24.96	33.88

實驗發現編號5容器內的鉍明礬水溶液產生結晶非常完整、品質優良的八面體結晶，幾乎透明如同鑽石。如下圖4-4-6所示：



圖4-4-6 編號5容器內結晶非常完整、品質優良的八面體結晶

五、實驗三. 不同溫度調控與鉍明礬水溶液之結晶成效

(一) 回溫實驗步驟

溫度下降越慢，越能增加鉍明礬結晶的品質，即鉍明礬結晶的密度高，顏色越透明。我們對於溫度調控產生疑問：一天的溫度會有所不同，照理來說結晶溶液的溫度有所升降才是，從預備實驗已經知道鉍明礬在不同的溫度下，溶解於水的量也不同。那如果自然冷卻之後，我們再升溫一次、再室溫冷卻一次，會影響結晶嗎？於是我們進行回溫實驗，實驗步驟如下：

1. 使用100ml水加入50g鉍明礬加熱攪拌至60°C，共6個樣本。
2. 室溫冷卻一晚後取出懸晶吸水秤重。
3. 再使用恆溫水槽調控溫度至45°C，浸泡2小時。
4. 從恆溫水槽取出在室溫冷卻一晚。
5. 隔日再觀察結晶情形，取出懸晶吸水秤重。

回溫實驗秤重記錄如表4-5-1所示，比較回溫前與回溫後的結晶如圖4-5-2與4-5-3所示：

表4-5-1 回溫實驗秤重記錄表 (重量單位：公克，容量單位：毫升)

編號	①	②	③	④	⑤	⑥
量筒重	23.88	23.27	23.4	23.3	23.3	23.26
容量	105	105	105	105	105	105
室溫冷卻結晶	8.75	13.97	16.94	9.05	17.59	15.75
恆溫槽2小時後	3.56	9.22	11.26	1.00	11.87	9.72
再次室溫冷卻結晶	6.72	13.54	15.34	2.54	14.83	12.64
下降比率(%)	23.2	3.1	9.4	71.9	15.6	19.7

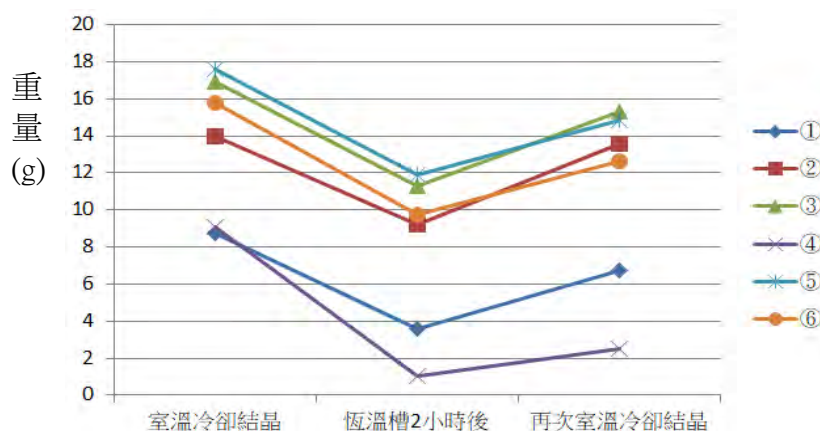


圖4-5-1 回溫實驗秤重記錄圖

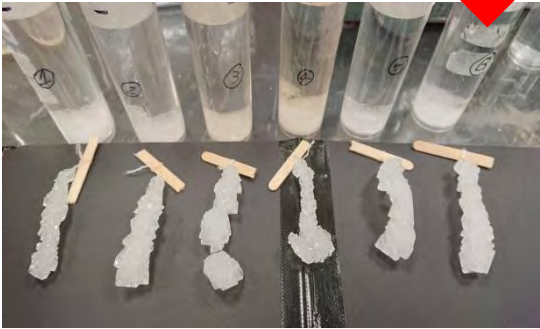


圖4-5-2 回溫前結晶

圖4-5-3 回溫後結晶

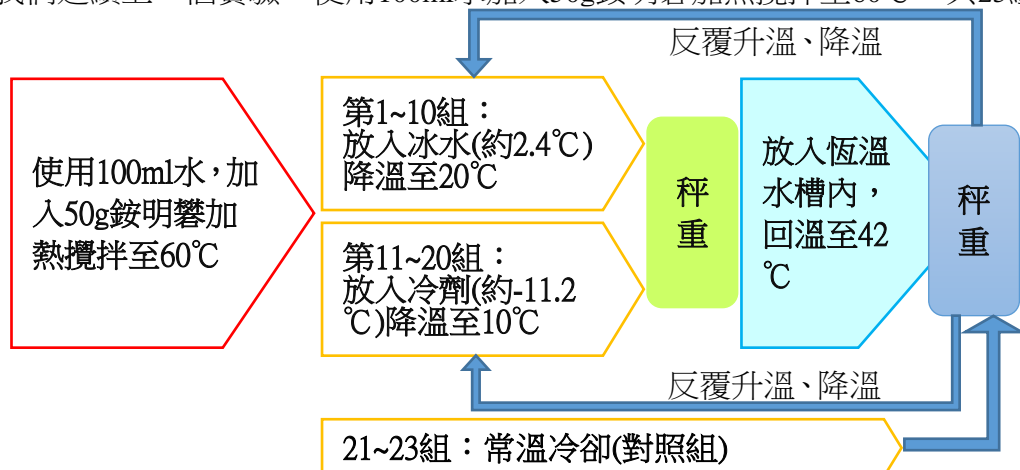
(二) 在回溫實驗結果中，我們可以發現到：

1. 從室溫 22°C 回溫到 45°C 後，所有的結晶量下降非常多。
2. 回溫後再次結晶的情況，有4個樣本(編號2、3、5、6)跟之前的結晶落差沒有很大，但是結晶的品質反而比較好，顏色也比較透明，不容易碎裂。
3. 其中2個樣本(編號1、4)的回溫後結晶落差較大，但是都有留下比較結構完整的結晶。

我們思考著：如果在短時間內增加重複的回溫次數是否能夠增加結晶的品質？結晶的透度會增加嗎？於是我們進行下一個實驗。

(三) 短時間內不同溫度升降的回溫實驗步驟流程

我們延續上一個實驗，使用100ml水加入50g鉍明礬加熱攪拌至 60°C ，共23組：



彙整秤重紀錄如表4-5-2與圖4-5-6所示，實驗詳細數據請參閱本研究之實驗日誌：

表4-5-2 短時間內不同溫度升降的回溫實驗秤重紀錄表(單位：克)

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
一冰	0.96	0.93	0.86	0.88	0.70	0.85	0.85	0.82	0.66	0.90
一溫	1.11	1.05	1.05	1.13	1.05	1.04	1.20	1.05	0.82	1.04
二冰	1.15	1.16	1.21	1.19	1.23	1.17	1.23	1.24	0.90	1.08
二溫	1.10	1.27	1.38	1.34	1.61	1.35	1.63	1.36	1.00	1.18
編號	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
一冰	0.86	0.83	0.88	1.44	1.71	1.50	1.26	1.43	0.77	1.75
一溫	1.05	0.96	1.22	1.05	1.96	1.67	1.56	1.45	1.00	1.76
二冰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
二溫	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

註：一冰表示第一次放入冰水後到20°C與10°C，二溫表示第二次放入恆溫水槽後瓶內水溫到42°C

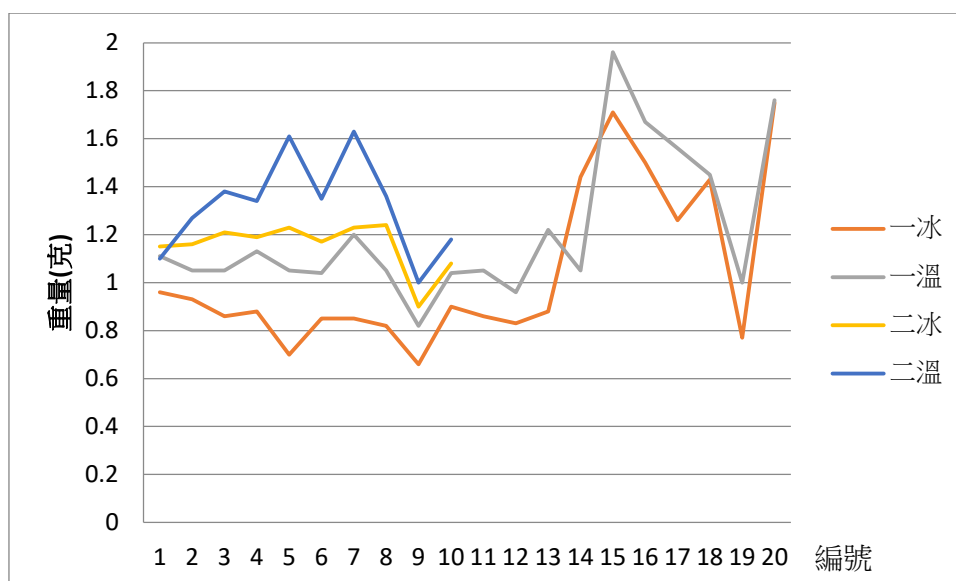


圖4-5-6 短時間內不同溫度升降的回溫實驗重量變化圖

(四) 結果：

由上表4-5-2數據資料顯示，

1. 編號1至編號10的結晶在第一次與第二次回溫結晶時的結晶狀況相差甚大，第二次回溫的結晶情況也大多呈現白色，而且容易碎裂。

- 反覆的溫度升降雖然有助於結晶的產生，但是結晶效果不佳，尤其是編號11至編號20的結晶，幾乎呈現白色，而且非常容易碎裂，從水中取出秤重就造成部分結晶碎裂落下。
- 對照組編號21至編號23的室溫冷卻的結晶分別為0.82g、0.65g與0.75g。

(五) 討論：

由上述實驗佐證，可以得知：

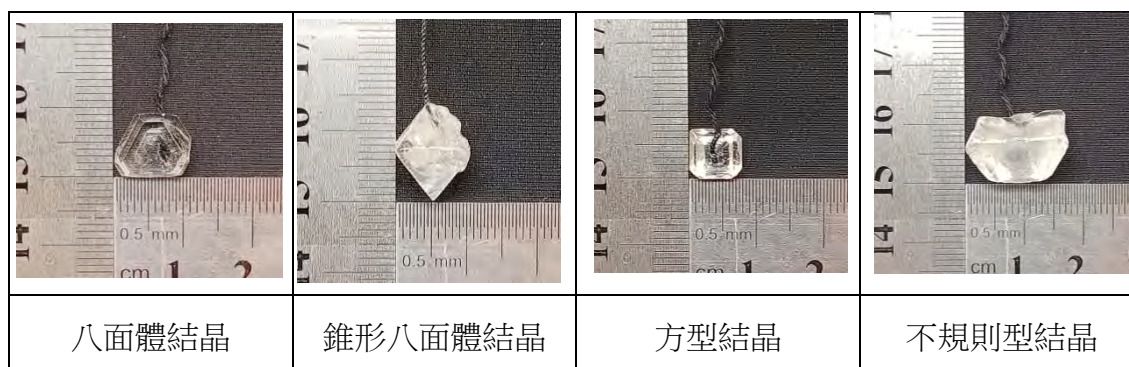
- 如果要產出透度高的結晶，溫度不能在短時間內快速降溫或快速升溫。
- 第二次回溫的結晶不佳，反而會浪費時間。
- 緩慢的降溫、回溫後再次冷卻的結晶品質反而比原來的良好許多！**

至於結晶的透度該如何以具體的方式呈現證明？我們將自製簡易光照盒判斷晶種結晶品質。

六、實驗四. 自製簡易光照盒判斷晶種結晶品質

(一) 鉍明礬晶型觀察

從預備實驗開始，觀察到鉍明礬的結晶有分為下列四種：



(二) 自製無天球光照盒

- 設計：我們將紙箱內壁貼黑紙，自然懸吊鉍明礬結晶，透過雷射筆的照射，發現到有光點散出，我們希望光的來源路徑要等長，因此設計出正六面體(正方體)的光照盒，每一面的中心點為光源，用攝影機記錄光照情形。

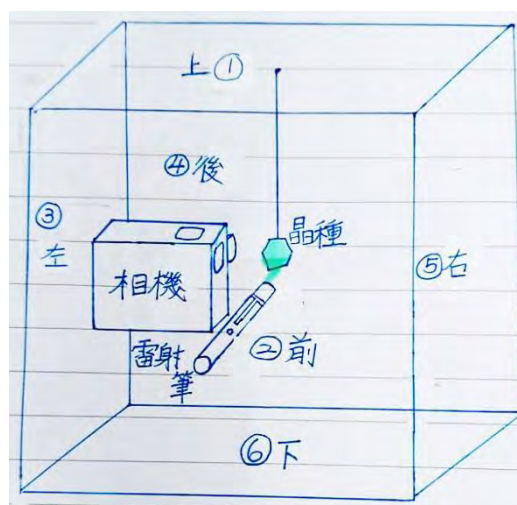


圖4-6-1 無天球光照盒手繪設計圖

2. 晶種挑選：我們將懸吊晶種先依照結晶完整程度初步篩選，之後再將晶型完整的鉍明礬結晶分成三類：透明、半透明與模糊，並測量長度、寬度與高度。

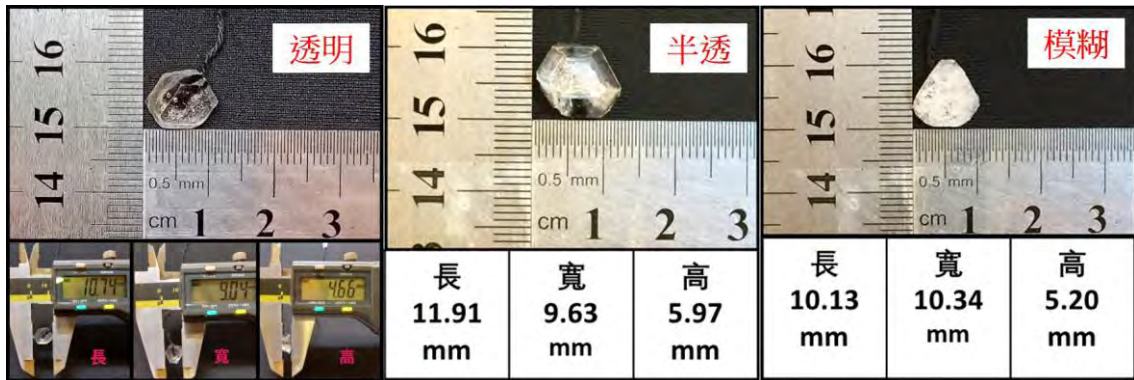


圖4-6-2 測量鉍明礬結晶長度、寬度、高度

3. 照射：

- (1) 依照圖4-6-1的六個方向，先取「透明」鉍明礬結晶晶種懸吊於光照盒正中央進行照射，成果如下圖4-6-5。實驗後從照片中討論，以角度的關係決定之後以「1、2、3」三個照射方向(請參照圖4-6-3)，配戴墨鏡使用雷射光分別照射光照盒內的懸吊晶種。

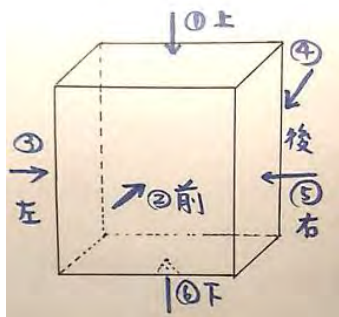


圖4-6-3 無天球光照盒照射方向 圖4-6-4 使用無天球光照盒進行實驗

入射方向	1	2	3
照射情形			
入射方向	4	5	6
照射情形			

圖4-6-5 六個入射方向於「透明」鉍明礬結晶晶種照射

(2) 實驗中以「1、2、3」三個照射方向(請參照圖4-6-3)，用雷射光分別照射光照盒內透明、半透明與模糊的懸吊晶種。說明書以圖4-6-6為例，實驗記錄細目請參閱本研究之實驗日誌。

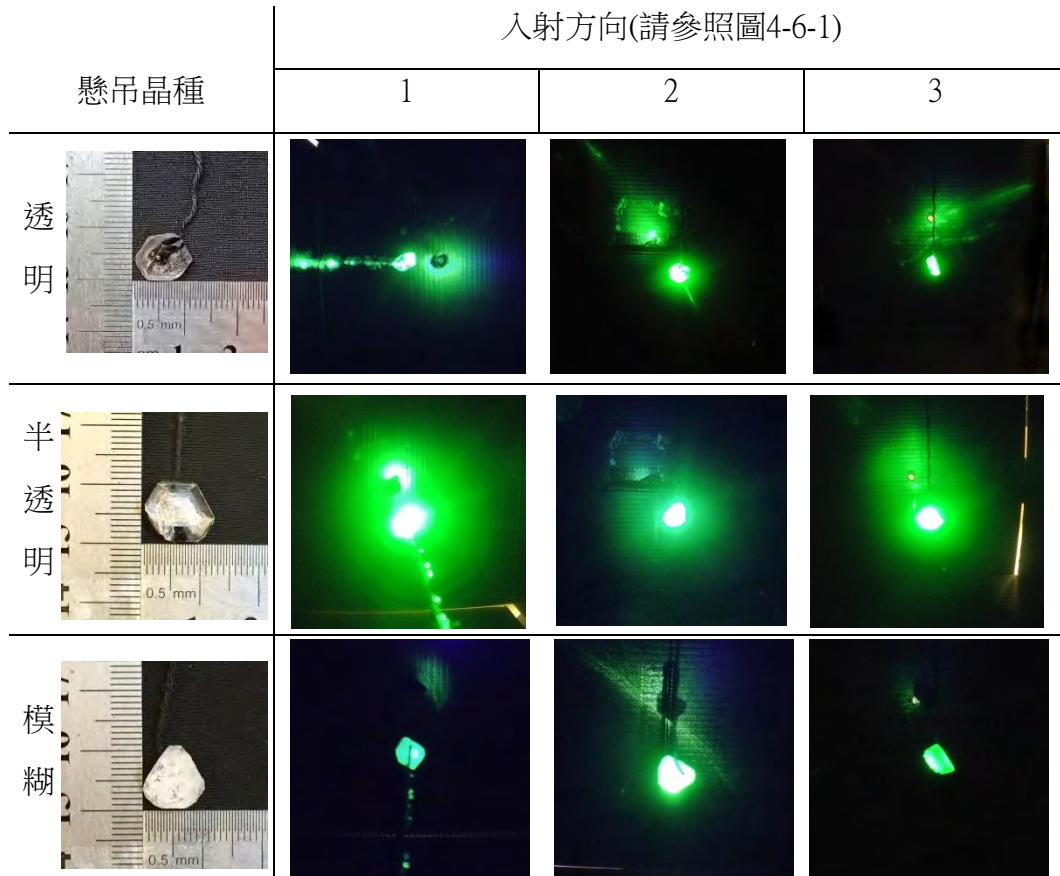


圖4-6-6 第二代光照盒照射不同透度之懸吊晶種

(三) 自製無天球光照盒的照射實驗光點現象，我們發現到：

1. 透度較高的鉍明礬結晶在光束的照射下幾乎是直接穿過的光束，非常耀眼。
2. 模糊的鉍明礬結晶在光束的照射後反而在晶體內開始發散，光束無法穿透晶體。
3. 半透明的鉍明礬結晶在光束照射下，光束雖然可以穿透晶體，但是會有光暈的現象。

(四) 自製有天球光照盒

1. 設計：因此我們再調整設計，使用天球並製作成簡易有天球光照盒(手繪設計圖如圖4-6-7與4-6-8所示)；將晶體懸吊於中央，配戴墨鏡並透過雷射筆照射，記錄檢視結晶透度品質。

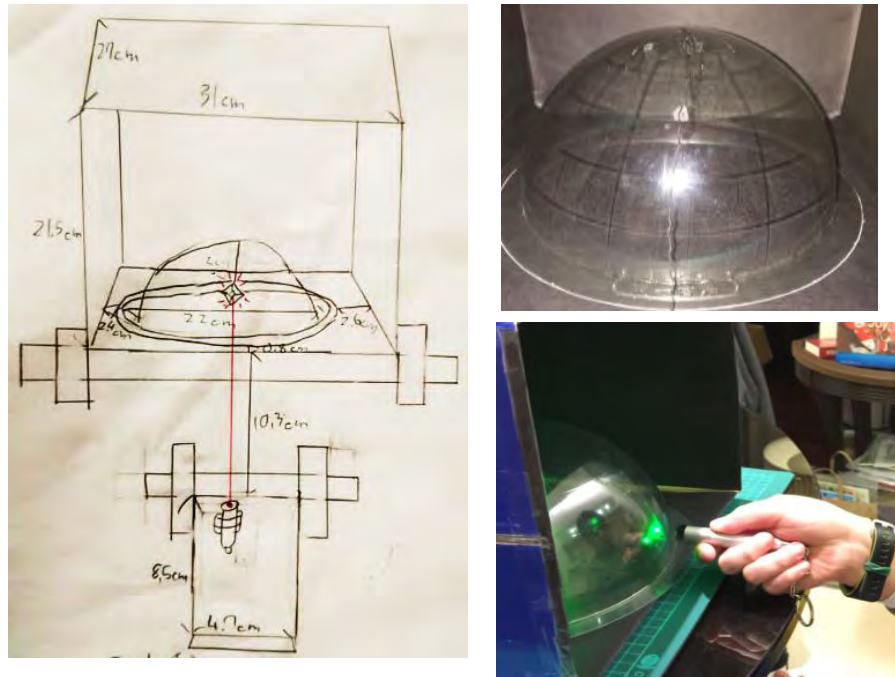


圖4-6-7 自製有天球光照盒：手繪半球設計圖與實際天球光照盒



圖4-6-8 自製有天球光照盒：手繪全球設計圖與實際天球光照盒

2. 照射：

自製簡易的有天球光照盒分為「全球」與「半球」的設計，在實驗中使用紅光與綠光雷射筆做為光束來源，天球光照盒之實驗設計、實驗記錄與實驗剪影細目請參閱本研究之實驗日誌，說明書以圖4-6-9為例。

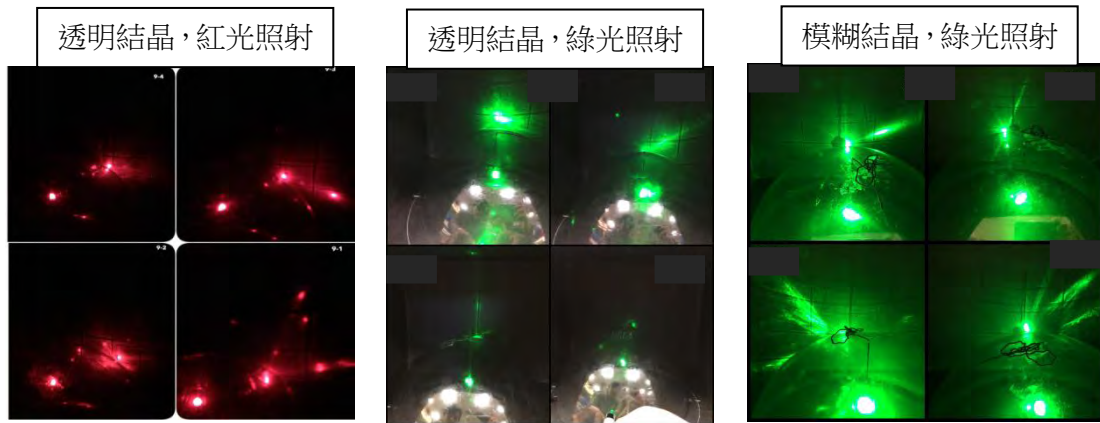


圖4-6-9 自製簡易的有天球光照盒照射鉸明礬結晶剪影

(五) 自製有天球光照盒的照射實驗光點現象，我們發現到：

1. 以雷射筆綠光進行測試的效果比紅光好。
2. 透度較高的鉸明礬結晶在光束的照射下因生散射、折射或反射光束至天球表面的「光點」數偏低，幾乎是直接穿過的光束。
3. 反之，透度較低的鉸明礬結晶在光束的照射下因散射、折射或反射光束至天球表面的「光點」數多且凌亂，甚至無法產生光點，光束直接在晶體內發散。

(六) 自製有天球光照盒照射四種鉸明礬的結晶

實驗中以圖4-6-3的「1、2、3」三個照射方向，用雷射光分別照射光照盒內八面體結晶、錐體八面體、方型結晶與不規則型懸吊晶種，觀察照射情形如下圖4-6-11所示：



圖4-6-10 有天球光照盒


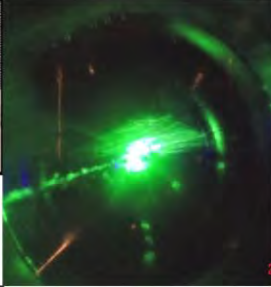
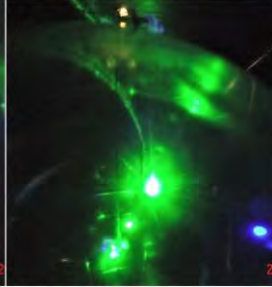
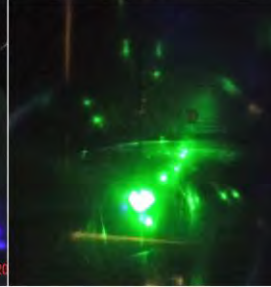

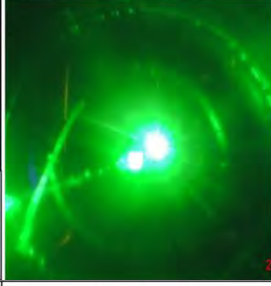
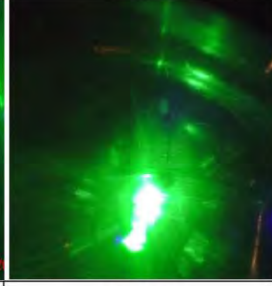


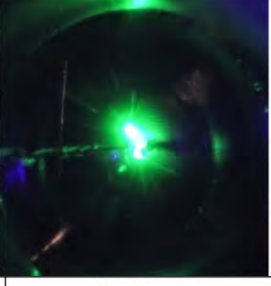

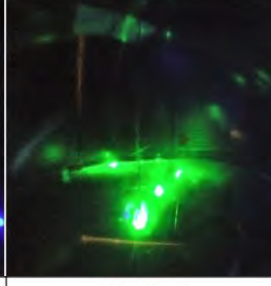
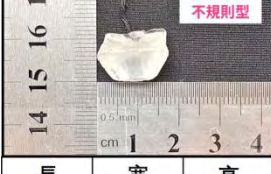
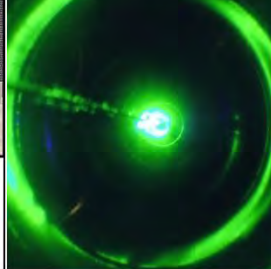
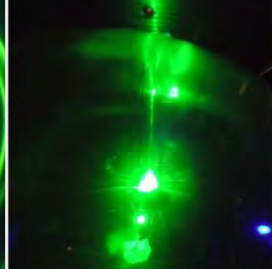

懸吊晶種		入射方向(請參照圖4-6-3)		
八面體結晶		角度 1	角度2	角度3
				
長 10.66 mm	寬 9.86 mm	高 4.41 mm		
錐形八面體結晶		角度 1	角度2	角度3
				
長 11.21 mm	寬 10.28 mm	高 13.27 mm		
方型結晶		角度 1	角度2	角度3
				
長 7.53 mm	寬 7.28 mm	高 4.93 mm		
不規則結晶		角度 1	角度2	角度3
				
長 15.25 mm	寬 10.34 mm	高 8.75 mm		

圖4-6-11 觀察有天球光照盒照射四種鉍明礬的結晶晶型

伍、研究結果與討論

一、垂線懸吊位置影響到結晶的重量

- (一) 盛裝鉍明礬水溶液的容器中，鉍明礬的濃度在容器底部最高的，但垂線懸吊位置在「下」的位置的結晶反而會和底部沉晶結合，無法取出觀測記錄。
- (二) 垂線懸吊位置在「上」的位置會浪費掉容器底部的高濃度溶液。

二、鹽水、糖水與鉍明礬溶液的結晶情形，發現鹽與鉍明礬會各自結晶

- (一) 鹽水與鉍明礬溶液混和後，最先的結晶是鉍明礬結晶。
- (二) 隨著自然蒸發、水量減少，持續結晶第五天後出現鹽的結晶。
- (三) 鹽的結晶為白色，附著於鉍明礬結晶的表面上，顆粒大小不到1mm。
- (四) 一星期後的鹽結晶陸續增加且附著於鉍明礬結晶，原先較早結晶的鹽結晶有變大顆的趨勢。

三、鉍明礬溶液加入酸性或鹼性物質對結晶的影響

- (一) 鉍明礬水溶液於60°C之pH值測得為2.7，屬於酸性水溶液。加入檸檬酸雖然增加了結晶量，但是結晶品質不佳。
- (二) 即使鉍明礬水溶液加入了強鹼的氫氧化鈉，所有的結晶過程仍然是在酸性的環境。
- (三) 鉍明礬水溶液加入氫氧化鈉攪拌後會產生白色霧狀的顆粒，經過我們查鉍明礬的資料與鉍明礬相關的化學反應，得知：

1. 鉍明礬正確的名稱為硫酸鋁鉍。
2. 白色霧狀的物質是推測為氫氧化鋁，暫時存在於水溶液中(右圖5-3-1)。
3. 因為溶液仍然是在酸性環境裡，所以氫氧化鋁會持續與酸性物質做反應，過一段時間後會變澄清。
4. 由於氫氧化鋁延遲的結晶時間，讓鉍明礬可以有較多的時間可以附著與結晶，因此產生了接近透明、品質良好的鉍明礬結晶。



圖5-3-1 鉍明礬溶液加入氫氧化鈉攪拌後會產生白色霧狀的顆粒

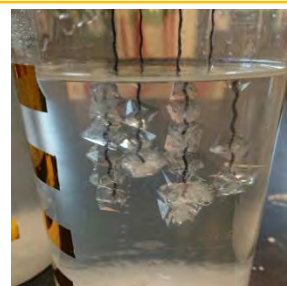


圖5-3-2 鉍明礬溶液加入氫氧化鈉後會產生品質良好的結晶

(四) 進行10個懸晶的結晶實驗，為何只能加溫到40°C？反而不是60°C？

1. 原因是因為我們在加熱到60°C的時候，黏著在晶種的瞬間膠或熱熔膠都會因為溫度過高而造成晶種與垂線分離，非常容易造成實驗失敗。
2. 即使溶液溫度在40°C，也會造成部分晶種與垂線分離(如下圖5-4-1)，因此數據只到120分鐘就結束實驗了。
3. 在90分鐘到120分鐘的時間內，結晶大量產生，尤其是晶種的下半部已經結晶成錐形，到150分鐘會更明顯，如圖5-4-2與圖5-4-3所示。

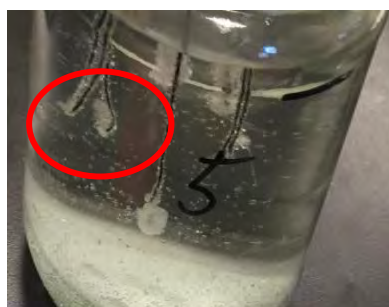


圖5-4-1 部分晶種與垂線分離(圈起處)

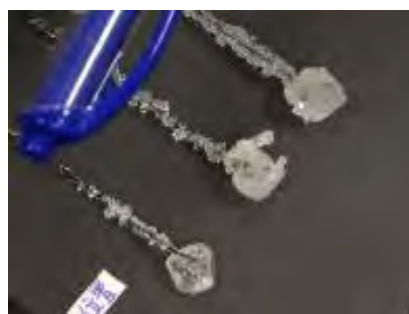


圖5-4-2 90分鐘後晶種下半部開始結晶成錐形



圖5-4-3 結晶從90到120分鐘後開始大量結晶，晶種下半部出現錐形(紅框標示處)

四、溫度的調控也有助於鉍明礬結晶的品質

- (一) 溫度的緩慢下降或是暫時性高溫的保溫裝置(例如：保麗龍盒)都可以營造出溫度下降緩慢的環境，讓溶液中的鉍明礬能夠有足夠的時間可以結晶。
- (二) 回溫後再結晶的鉍明礬雖然重量有下降，但是晶形較完整、透度也增加。
- (三) 其中編號1與編號4在回溫45°C 2小時後，結晶大量減少，我們推論是：一開始第一次室溫冷卻的結晶狀況就不理想，結晶品質不佳，因此當溫度上升後結晶大量減少。編號1與編號4再第二次結晶後雖然懸晶重量比第一次室溫冷卻的結晶少很多，但是棉線上的懸晶透度增加，即結晶的品質提升。
- (四) 溶液溫度的提升反而讓原本棉線上小顆的雜晶溶解，等到第二次室溫冷卻的再次結晶可以提升結晶的品質。

五、自製簡易的光照盒，探究鉍明礬結晶透度有成效。

(一) 紅光雷射筆能量比較低，照射到模糊的結晶後光線變弱許多。

(二) 綠光雷射筆能量比較高，照射到透明的結晶可以直線穿過；照射到模糊的結晶則是在天球上出現許多大小不一致的光點(圖5-5-1)。

(三) 我們在顯微攝影下可以清楚看到六角形的結構(圖5-5-2)，而且具有立體的晶型結構。也觀察到鉍明礬結晶過程是一層又一層的結晶，因此可以推論：要得到品質良好的鉍明礬結晶，就要讓結晶時間的延長。

(四) 鉍明礬結晶在無天球光照盒與有天球光照盒並使用雷射筆照射，都能觀察到結晶的品質，如圖5-5-3所示。使用有天球光照盒照射模糊晶種和半透晶種時，會產生比較多光點和比較大範圍的光暈；照射透明的晶種光點和光暈都較少。

(五) 有天球的光照盒照射鉍明礬結晶的效果比無天球的光照盒明顯，可以幫助判讀鉍明礬結晶的品質。



圖5-5-1 雷射光照射懸吊模糊晶種

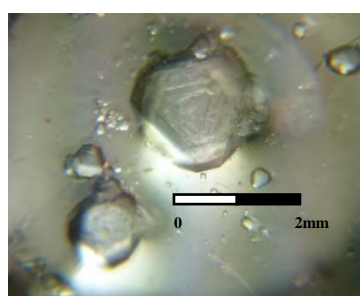


圖5-5-2 顯微攝影下的鉍明礬結晶

透明結晶1	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3
半透結晶1	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3
模糊結晶1	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3

圖5-5-3 無天球光照盒與有天球光照盒照射三種不同品質的鉍明礬結晶

陸、總結論

- 一、以棉線垂吊於溶液裡「中」的位置，將鉍明礬水溶液加入適量的氫氧化鈉，靜置一天後可以得到晶型完整、透度高的優質結晶。
- 二、鉍明礬水溶液溫度的提升，讓原本棉線上小顆的雜晶溶解，再次冷卻結晶可以提升結晶的品質。
- 三、透過自製的簡易光照盒，並以綠色雷射光照射鉍明礬結晶，可初步判斷結晶的品質。



柒、未來展望

- 一、晶種養成與結晶的方式，可以觀察一般市售的水晶晶洞，瞭解再探究。
- 二、對於剩下的鉍明礬結晶，能回收再利用，以裝飾品或其他應用的方式呈現。



捌、參考資料

- 一、國民小學自然與生活科技領域教科書。南一書局。2017。
- 二、晶晶計較—明礬結晶的奧秘。中華民國第56屆中小學科學展覽會。國小組化學科。
- 三、藍色夢幻—硫酸銅結晶的研究。中華民國第57屆中小學科學展覽會。國小組化學科。
- 四、藍晶閃耀—探索單結晶、雙結晶、包心結晶形成的條件。中華民國第58屆中小學科學展覽會。國小組化學科。
- 五、葉名昌 (2008 年 11 月 8 日)。晶體的生長。科學 Online—科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>

【評語】 080204

本作品主要探究最佳的銨明礬結晶條件，嘗試使用不同的懸吊線來吊晶種，在糖、鹽、酸、鹼條件下探究銨明礬結晶品質，之後採用不同的降溫方式觀察銨明礬的結晶成效，並利用自製簡易光照盒來辨別晶體成長的優劣，相當有趣。下列幾項建議供作者參考：

1. 歷年來有關明礬結晶的參展作品或相關文獻報導已有非常多，建議作者可比較與文獻作品研究方向及結論的異同處，並強調本作品有別於其他報導或作品的重要發現。
2. 使用光照盒來探究銨明礬結晶透明度屬於定性描述，無法呈現定量的數據。
3. 可討論添加物對銨明礬結晶品質的化學或物理影響。
4. 實驗為何選擇這些變因，應說明。同時，如何判定成效及為何要做這些量測，亦應說明清楚。

摘要

本研究針對鉍明礬結晶進行討論，並探究最佳的鉍明礬結晶條件。先嘗試使用不同的懸吊線來吊晶種，再加入糖、鹽、酸、鹼探究鉍明礬結晶品質，之後採用不同的降溫方式觀察鉍明礬的結晶成效。實驗發現鉍明礬水溶液加入適量的氫氧化鈉，一開始會觀察到水溶液有混濁的現象，但過了一至二天後會出現晶型完整且透度極高的優質結晶。溫度也會影響鉍明礬的結晶品質，60°C飽和水溶液緩慢冷卻會得到品質良好的鉍明礬結晶。同時，我們利用自製的簡易光照盒觀察結晶的品質。

壹、研究動機

在聖誕節的時候，我們會買紙樹開花的材料，每天等著它能夠整樹都是五彩繽紛的顏色，有時候在咖啡廳可以看到上有著跟鑽石一樣漂亮的攪拌棒，我好奇地問爸媽，爸媽跟我說這是「冰晶棒棒糖」。哇！是糖！糖的結晶呢！我們可以做又透又亮的結晶嗎？能做得跟鑽石一樣亮晶晶的結晶嗎？我們找了結晶的資料，討論後我們使用鉍明礬來做為這次結晶的研究。

貳、研究目的

- 一、探究不同材質的垂線與位置對鉍明礬水溶液懸晶的成效。
- 二、探究不同水中添加物與酸鹼性對於鉍明礬結晶之成效。
- 三、探討不同溫度的調控對鉍明礬結晶之成效。
- 四、採用簡易的光照盒，探究鉍明礬結晶透度之成效。

參、研究過程與方法

一、研究架構圖

回溫「鹼」值「晶」彩



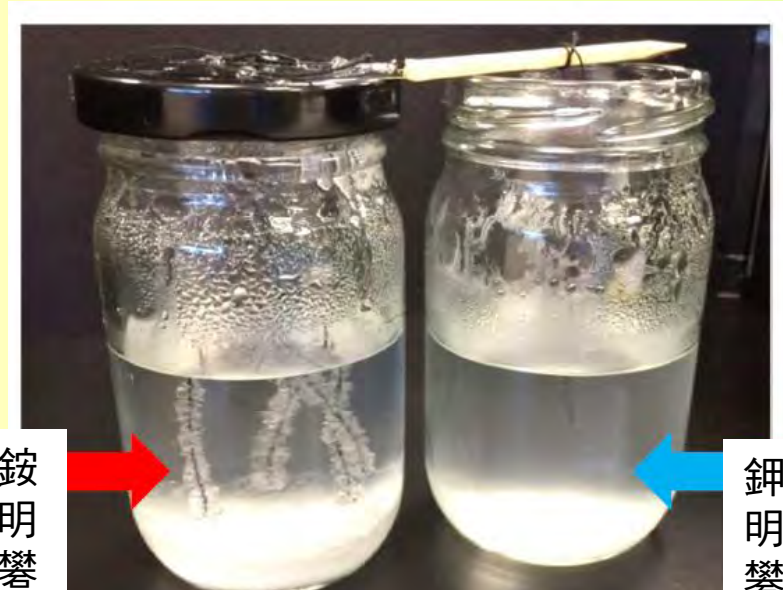
二、預備實驗

探討一般市售結晶藥品之各種晶型

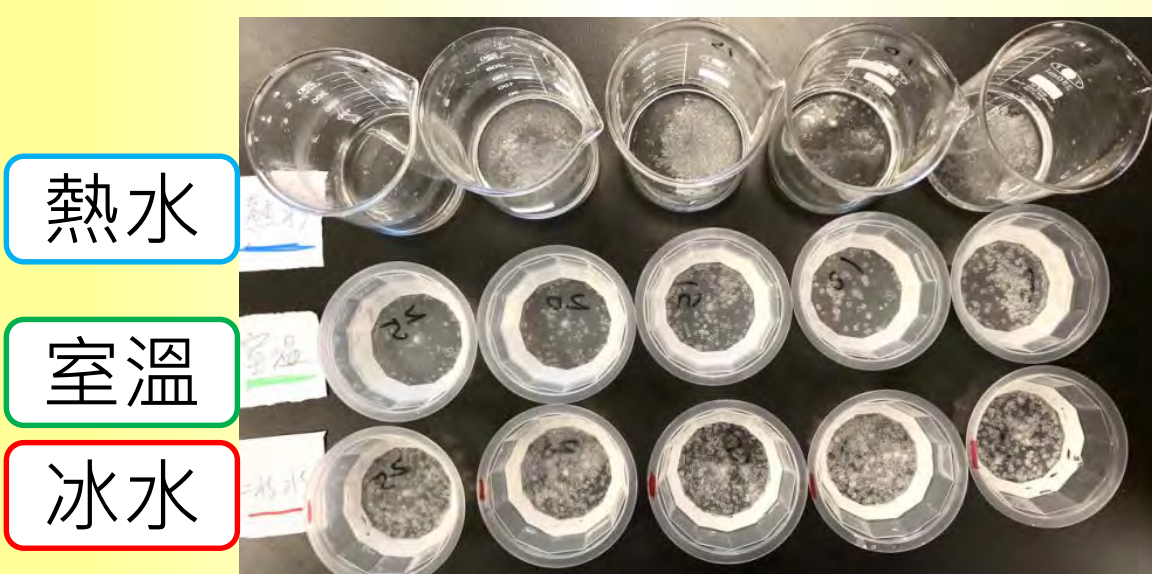
鉀明礬與鉍明礬的溶解與結晶比較

各物質之水溶液於不同溫度之溶解量(單位:公克)

溫度 (°C)	30	40	50	60	70	80	晶型
食鹽	14.6	32.6	40.6	46.0	46.0	46.0	
糖	5.0	34.9	103.2	125.2	153.7	195.5	
尿素	25.0	55.0	75.0	105.0	145.0	187.0	
鉍明礬	13.0	30.0	37.5	50.0	79.0	120.0	
鉀明礬	2.0	4.0	15.0	35.0	55.0	72.0	
硫酸銅	5.0	10.0	20.0	35.0	68.0	106.7	



不同冷卻方式與鉍明礬水溶液之結晶成效

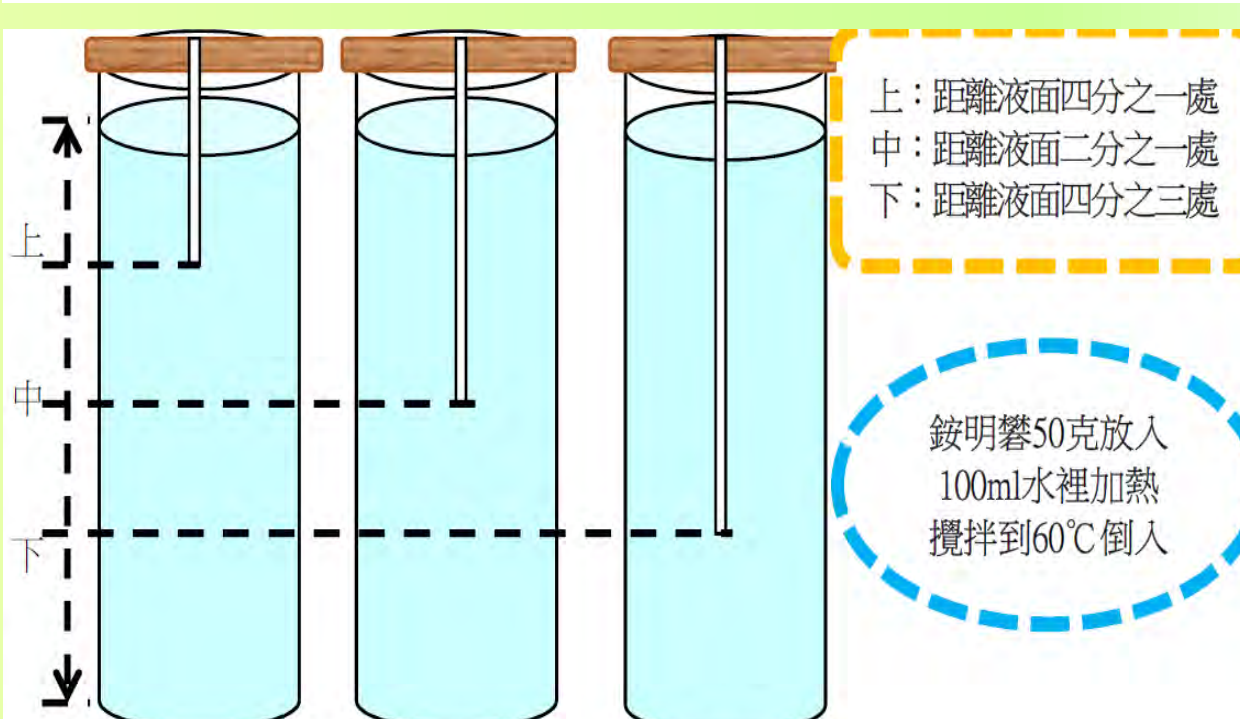


溫度下降越慢，越能增加結晶的品質，即結晶的密度高，顏色越透明。

三、實驗一

不同垂線材質、位置與鉍明礬水溶液之結晶成效

此實驗我們使用塑膠量筒作為容器，再以棉線、銅膠帶與廚房紙巾條放入量筒內作為垂線，分別放置於量筒的上、中、下三個位置，如下圖所示。再使用燒杯調製鉍明礬50克放入100ml水裡加熱攪拌到60°C後，倒入塑膠量筒中，以常溫冷卻的方式等候觀察紀錄結晶情形。



不同垂線材質、位置與鉍明礬水溶液之結晶 單位: 公克

量筒編號	垂線材質	垂線懸吊位置	量杯淨重	量杯+沉晶	沉晶	懸晶	沉晶+懸晶
1	銅線	上	23.8	48.8	25.0	1.0	26.0
2	棉線	上	23.8	42.9	19.1	6.4	25.5
3	廚房紙巾條	上	23.8	45.5	21.7	4.2	25.9
4	銅線	中	23.8	34.7	10.9	13.4	24.3
5	棉線	中	23.8	36.5	14.7	10.4	25.2
6	廚房紙巾條	中	23.8	40.2	16.4	12.6	29.0
7	銅線	下	23.8	53.0	29.2	-	-
8	棉線	下	23.8	56.2	32.4	-	-
9	廚房紙巾條	下	23.8	54.9	31.1	-	-



- (一) 垂線懸吊位置在「下」的位置結晶量大幅提升。
 - (二) 靜置一晚後，我們發現：垂線懸吊位置在「下」的位置的結晶情況反而不佳，結晶已經和底部沉晶結合，無法用來觀測記錄。
- ※我們經過實驗，決定使用棉線當作垂吊的垂線，並放置於溶液的中央處進行之後的結晶實驗。

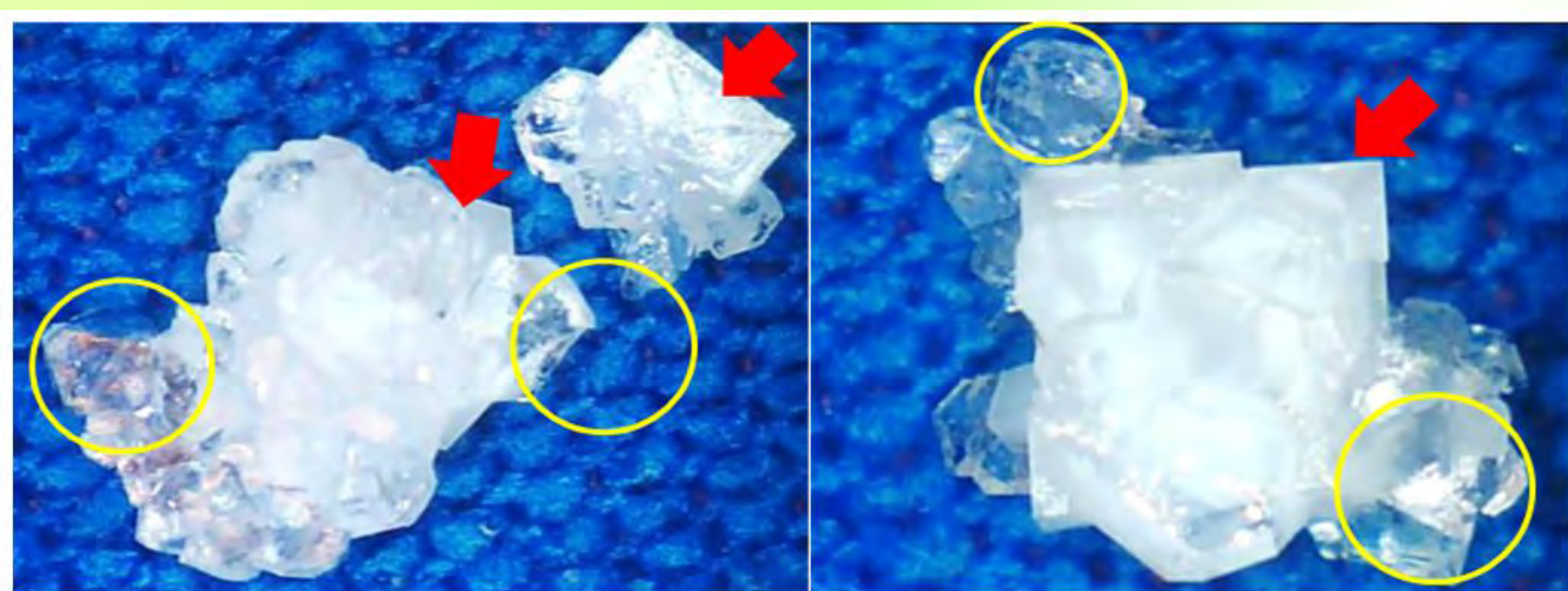
四、實驗二

不同添加物與酸鹼性對鉍明礬水溶液之結晶成效

加入糖與鹽

使用不同濃度的鹽水與糖水各100ml，均加入等量50g的鉍明礬溶液，加熱至60°C後常溫冷卻，觀察底部結晶。

1. 糖水與鉍明礬溶液結晶，會比清水與鉍明礬溶液的結晶的速度還要慢，可是最後在底部的結晶會比較多顆。
2. 鹽水與鉍明礬溶液結晶，會比清水與鉍明礬溶液的結晶的速度還要慢，可是最後在底部的結晶會比較少但是比較大顆。
3. 結晶第五天時，鹽水與鉍明礬的溶液開始出現白色的鹽結晶。



顯微攝影鹽結晶(紅色箭頭處)與鉍明礬結晶(黃色圈起處)

加入酸與鹼

鉍明礬溶液加入酸性與鹼性物質後2分鐘內pH值變化

編號	①	②	③	④	⑤	⑥
添加物	1.92g 檸檬酸	9.6g 檸檬酸	19.2g 檸檬酸	0.4g 氫氧化鈉	2g 氫氧化鈉	4g 氫氧化鈉
pH值	2.4	2.2	2.1	3.1	3.4	3.8

(鉍明礬溶液於60°C之pH值測得為2.7)

鉍明礬溶液加入酸性與鹼性物質後晶型觀察

添加物	加酸	加鹼	清水
照片			
觀察	鉍明礬溶液加入檸檬酸後的結晶晶型呈現白色微透明且形狀不規則，晶型較不完整且易碎。	鉍明礬溶液加入氫氧化鈉後的結晶晶型完整。顯微攝影下的鉍明礬結晶品質最佳，透度非常高。	鉍明礬溶液的結晶晶型多變，有透明的與白色的結晶。
結論	鉍明礬溶液加檸檬酸、加氫氧化鈉與清水的結晶相較之下，鉍明礬溶液加入氫氧化鈉後的結晶晶型完整，透度非常高，品質非常好，如同鑽石般的耀眼。		

鉍明礬水溶液加入不同濃度氫氧化鈉之持續探究

表4-4-2 鉍明礬水溶液與不同濃度氫氧化鈉一天後鉍明礬結晶情形與總重

編號	1	2	3	4	5	6
加入氫氧化鈉(g)	20	24	28	32	36	40
圖示						
總重量(g)	30.70	33.58	23.19	28.77	24.96	33.88

實驗發現編號5容器內的鉍明礬水溶液產生結晶非常完整、品質優良的八面體結晶，幾乎透明如同鑽石。



五、實驗三。

不同溫度調控與鉍明礬水溶液之結晶成效

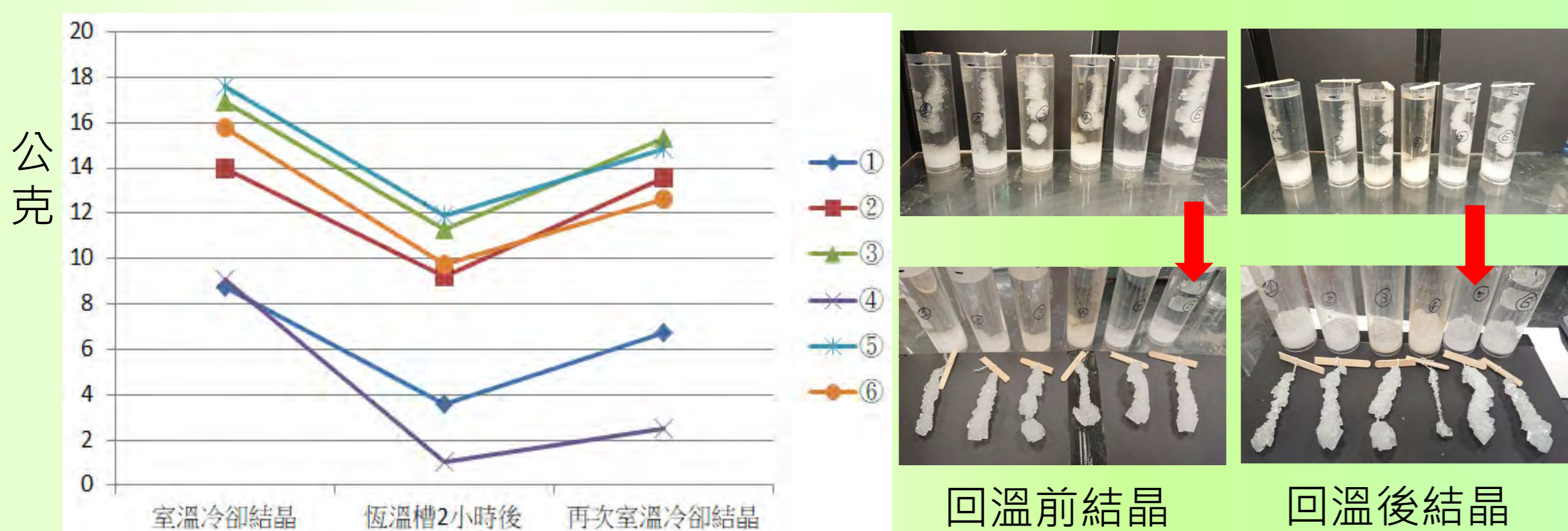
長時間不同溫度升降的回溫實驗

回溫實驗

1. 使用100 ml水加入50 g鉍明礬加熱攪拌至60°C至完全溶解，共6個樣本。
2. 室溫冷卻一晚後取出懸晶吸水秤重。
3. 再使用恆溫水槽調控溫度至45°C，浸泡2小時。
4. 從恆溫水槽取出再室溫冷卻一晚。
5. 隔日再觀察結晶情形，取出懸晶吸水秤重。

回溫實驗秤重記錄表(重量單位：公克·容量單位：毫升)

編號	①	②	③	④	⑤	⑥
量筒重	23.88	23.27	23.40	23.30	23.30	23.26
容量	105	105	105	105	105	105
室溫冷卻結晶	8.75	13.97	16.94	9.05	17.59	15.75
恆溫槽2小時後	3.56	9.22	11.26	1.00	11.87	9.72
再次室溫冷卻結晶	6.72	13.54	15.34	2.54	14.83	12.64
下降比率(%)	23.2	3.1	9.4	71.9	15.6	19.7



短時間內不同溫度升降的回溫實驗

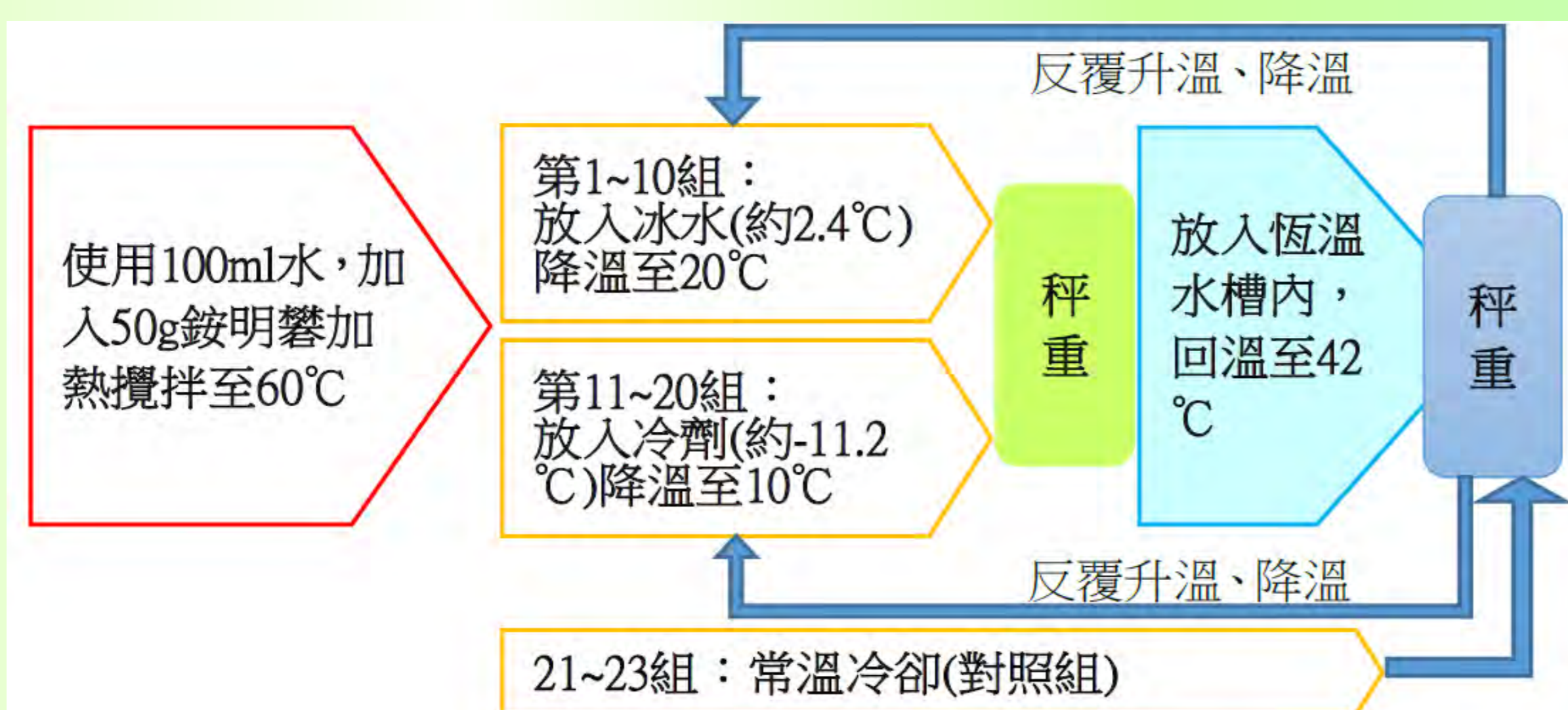
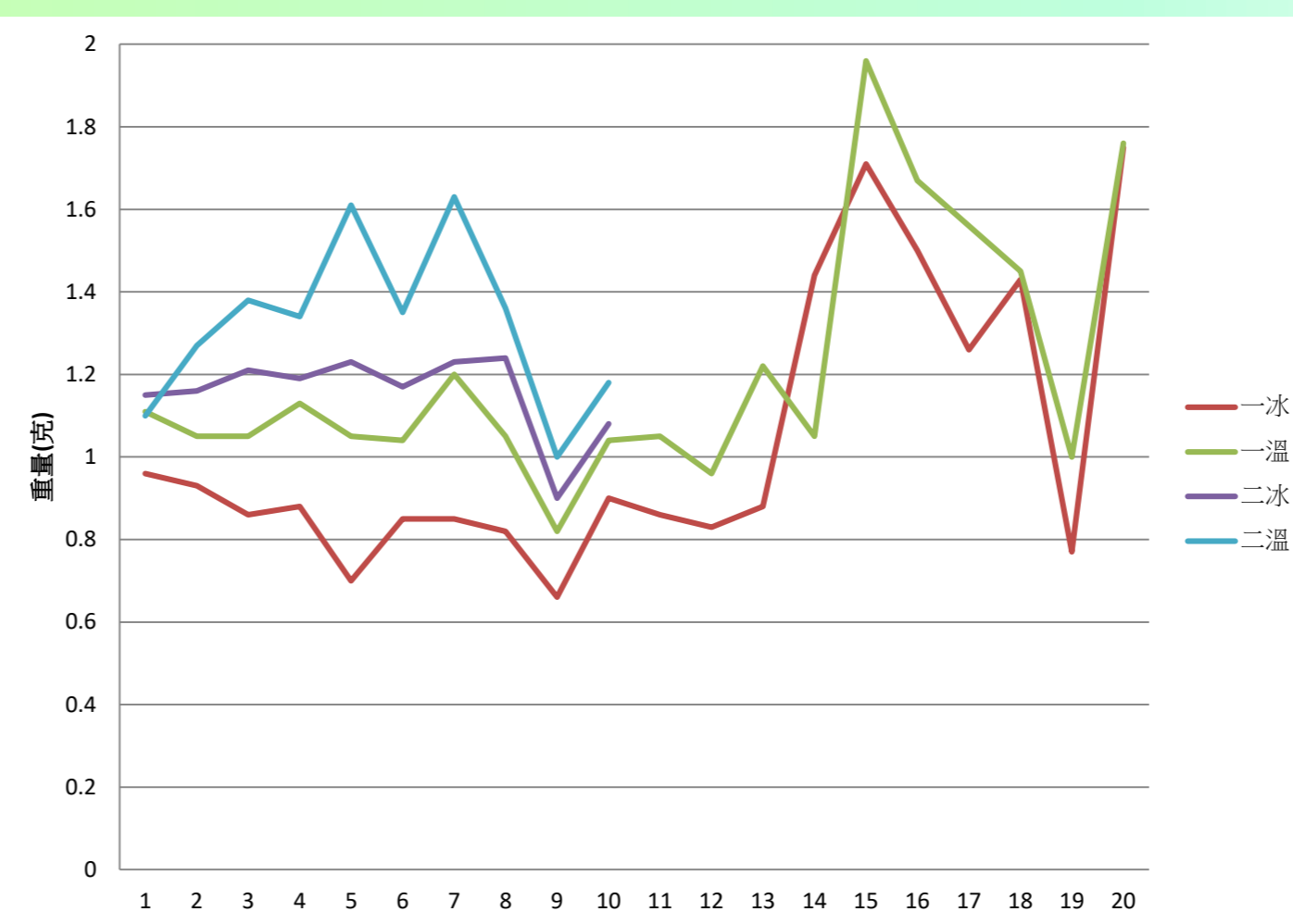


表4-5-2 短時間內不同溫度升降的回溫實驗秤重紀錄表(單位：克)

降溫至 20°C	編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	結晶品質最佳
一冰	0.96	0.93	0.86	0.88	0.70	0.85	0.85	0.82	0.66	0.90		
一溫	1.11	1.05	1.05	1.13	1.05	1.04	1.20	1.05	0.82	1.04		
二冰	1.15	1.16	1.21	1.19	1.23	1.17	1.23	1.24	0.90	1.08		
二溫	1.10	1.27	1.38	1.34	1.61	1.35	1.63	1.36	1.00	1.18		
降溫至 10°C	編號	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	結晶量最多但品質最差
一冰	0.86	0.83	0.88	1.44	1.71	1.50	1.26	1.43	0.77	1.75		
一溫	1.05	0.96	1.22	1.05	1.96	1.67	1.56	1.45	1.00	1.76		
二冰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
二溫	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

註：一冰表示第一次放入冰水後到20°C與10°C，二溫表示第二次放入恆溫水槽後瓶內水溫到42°C



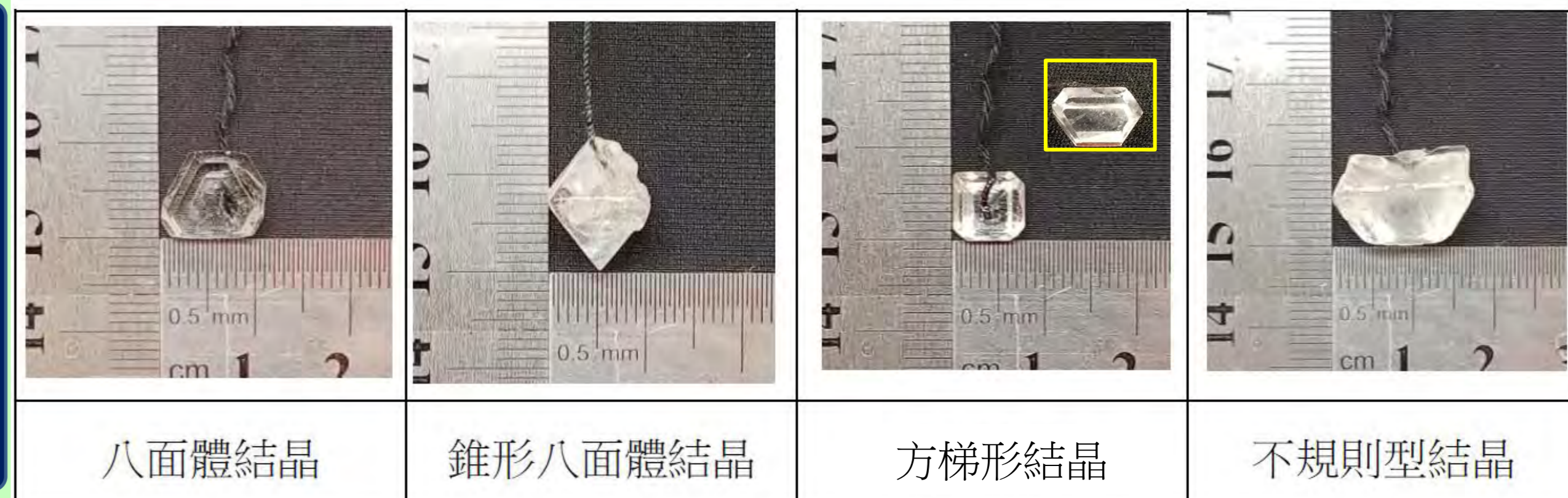
由實驗佐證：

- (一) 如果要產出透度高的結晶，溫度不能在短時間內快速降溫或快速升溫。
- (二) 二次回溫的結晶品質並沒有提升，反而會浪費時間。
- (三) 緩慢的降溫、回溫後再次冷卻的結晶品質反而比原來的良好許多！

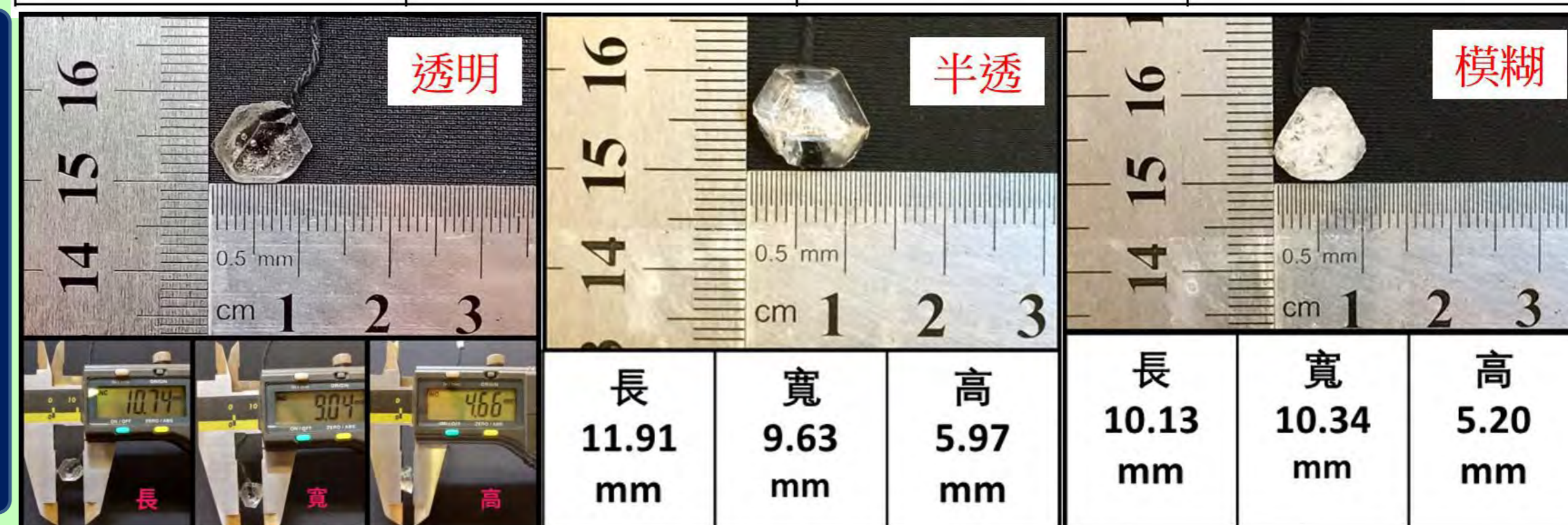
六、實驗四。

自製簡易光照盒判斷晶種結晶品質

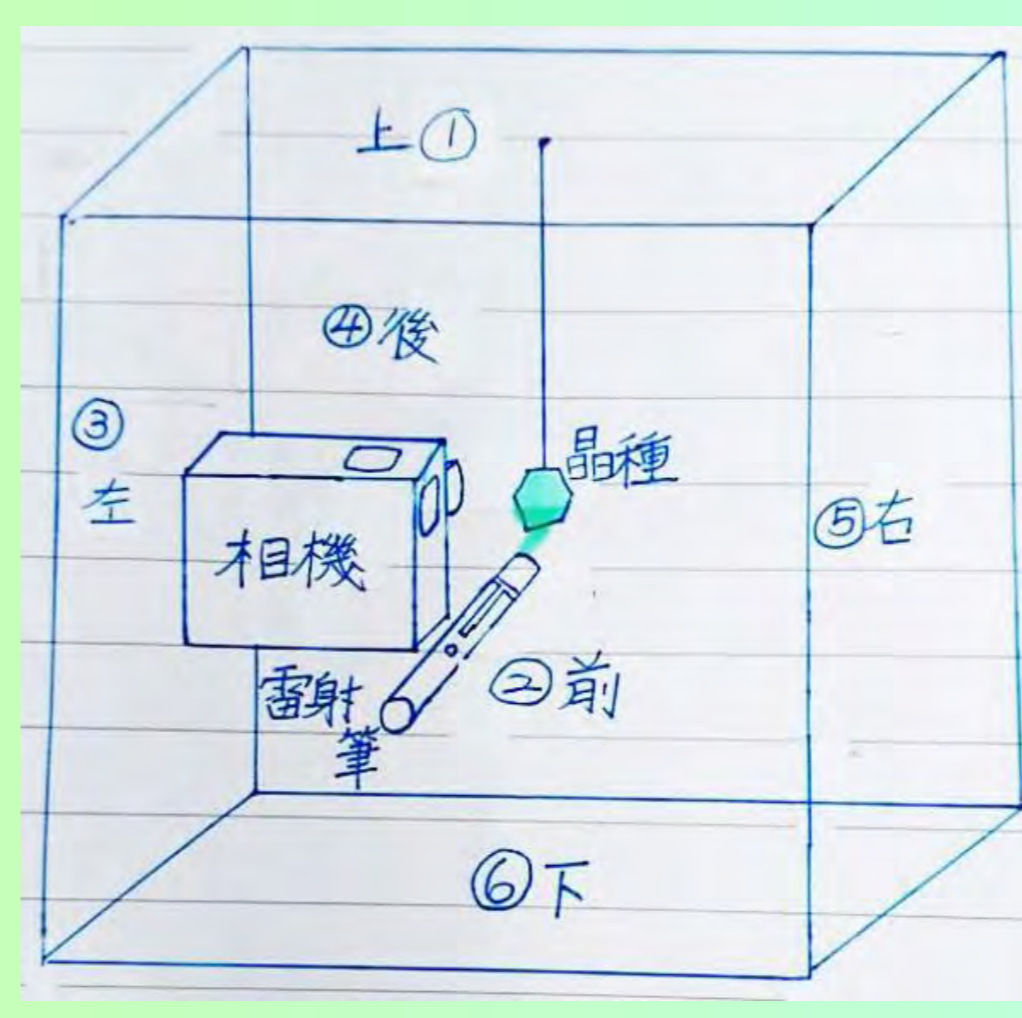
晶型觀察



晶種挑選

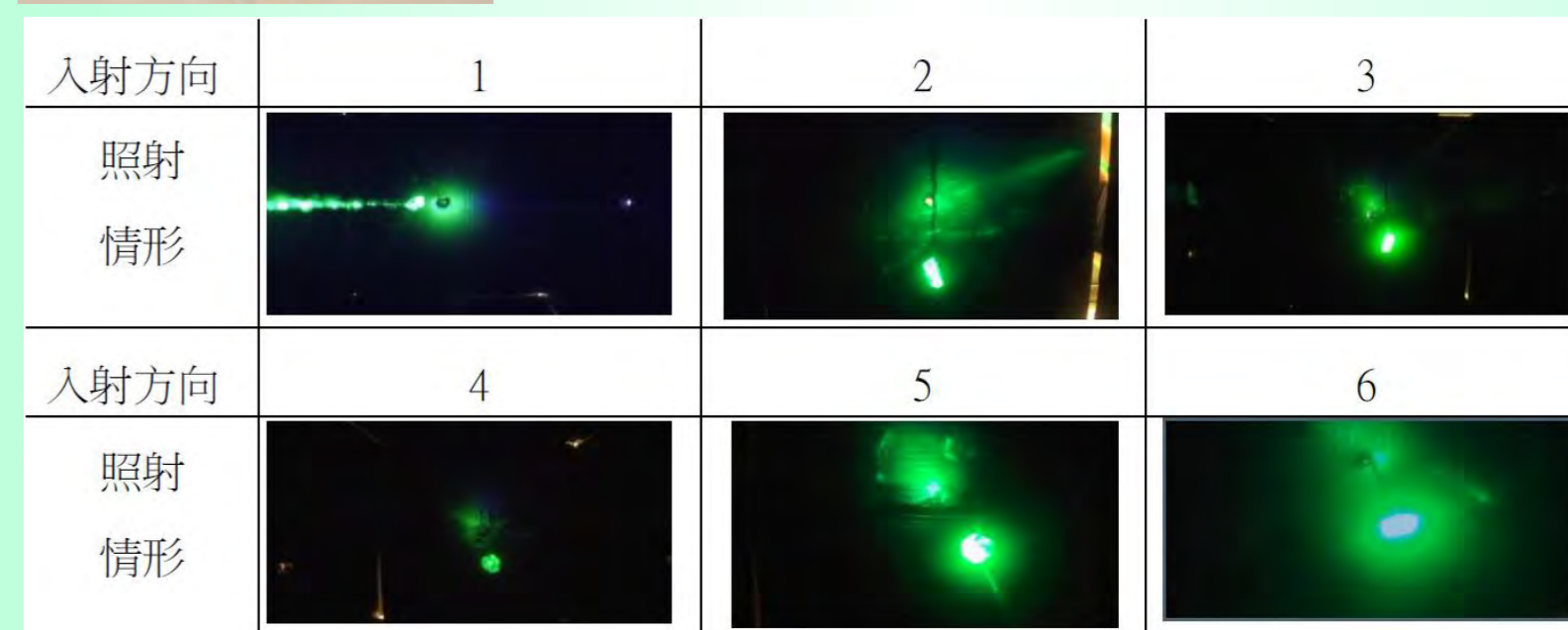


自製無天球光照盒

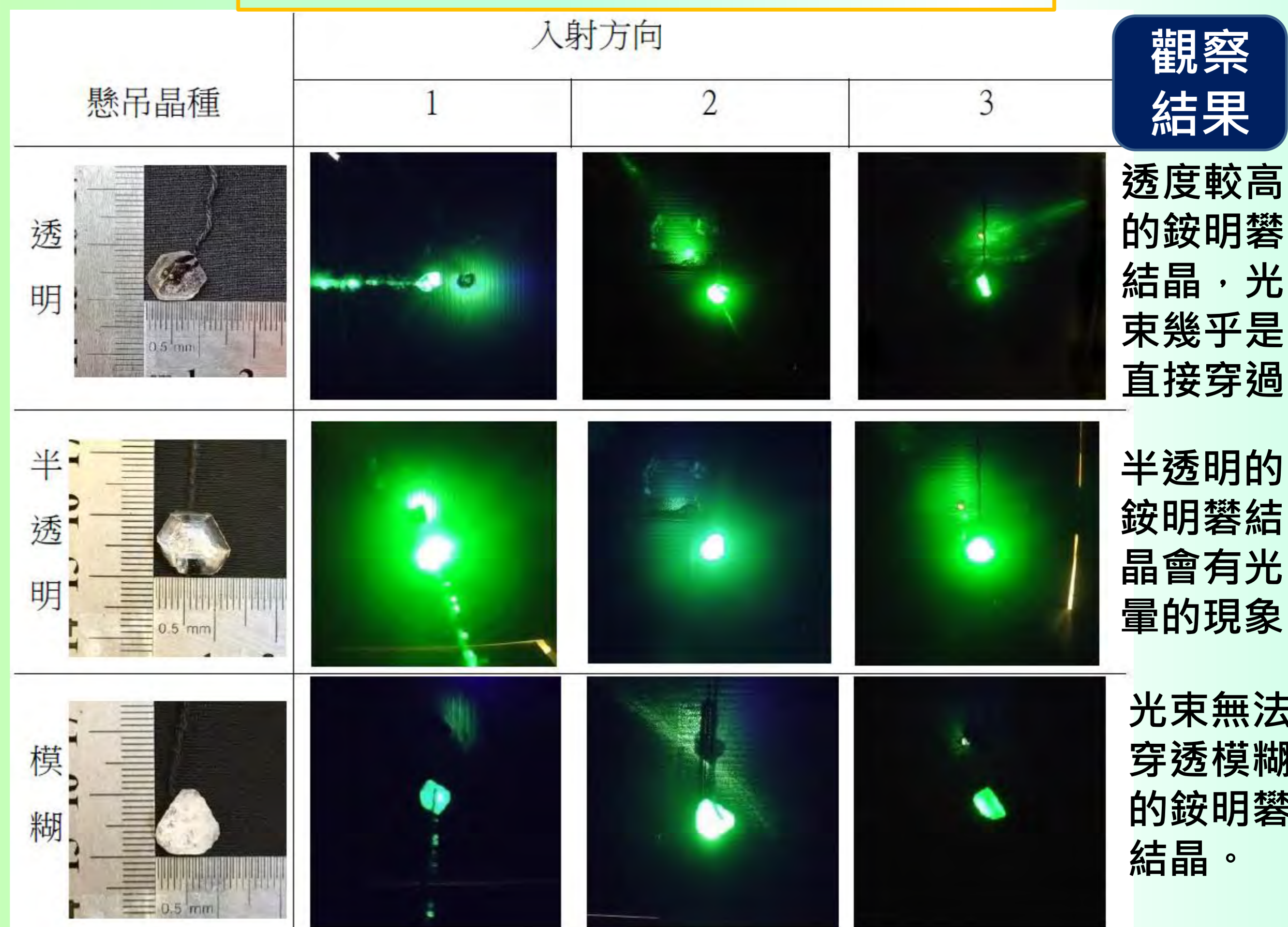


無天球光照盒手繪設計圖

以六個入射方向照射「透明」鉍明礬結晶晶種

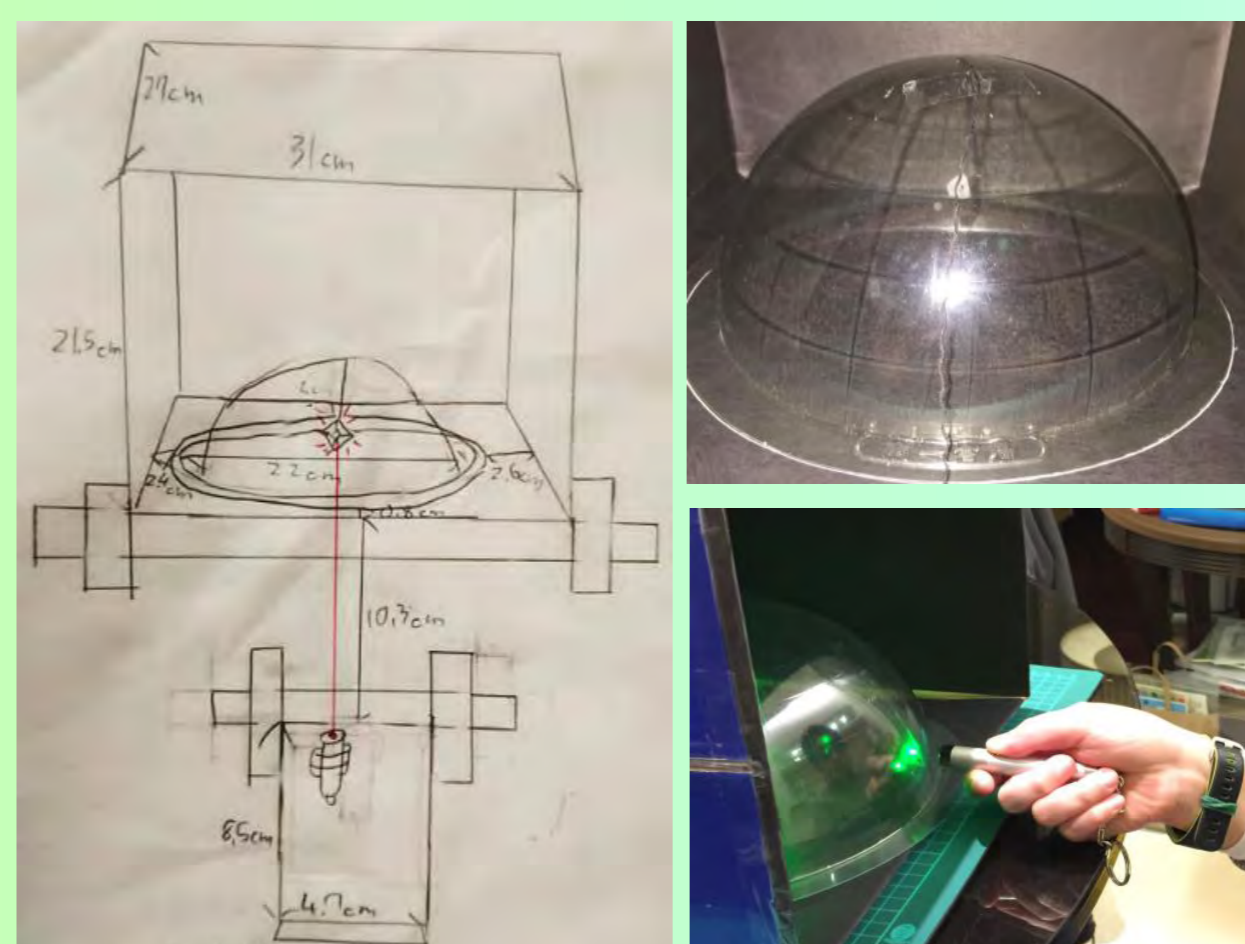


無天球光照盒照射不同透度之懸吊晶種

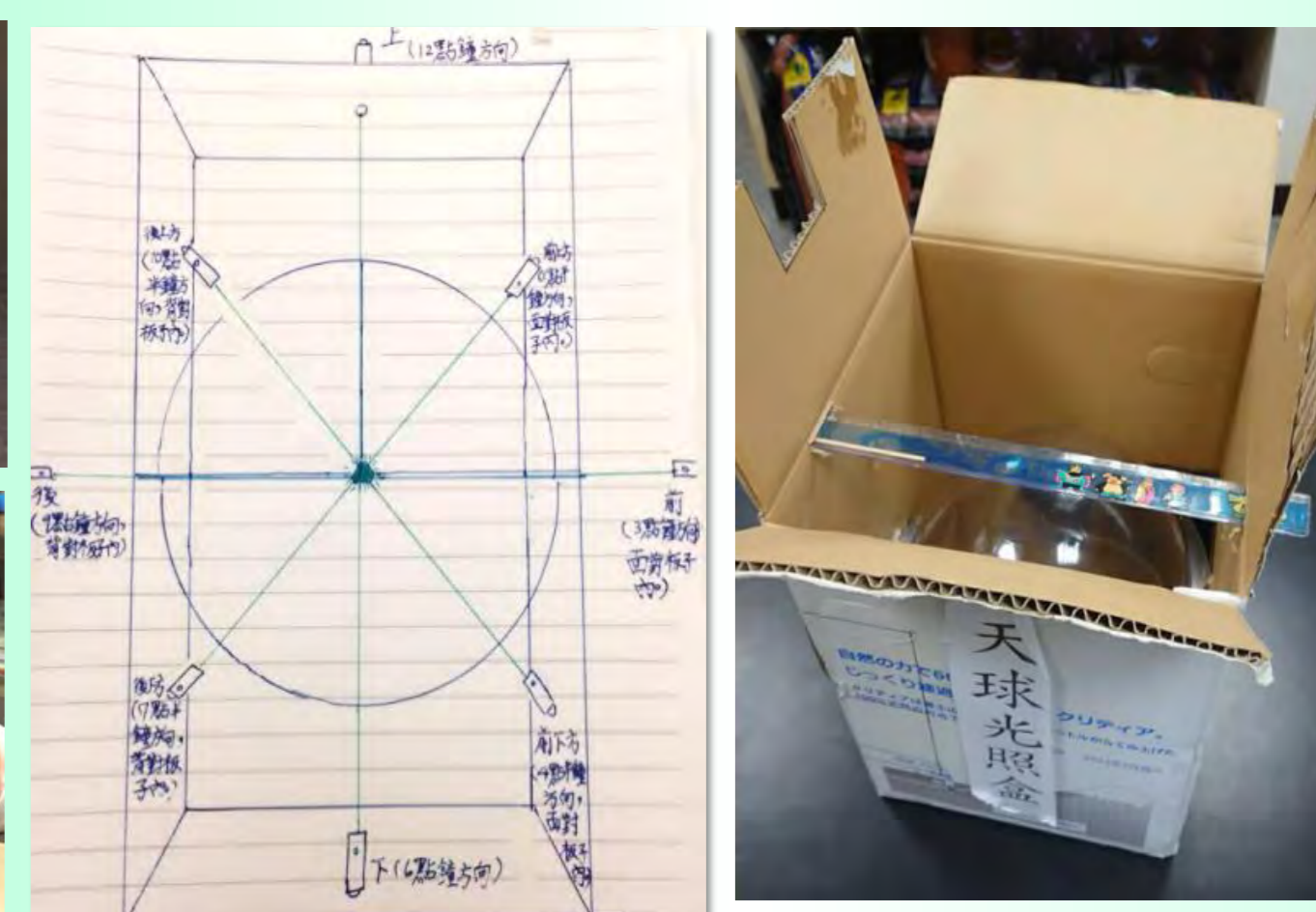


自製有天球光照盒

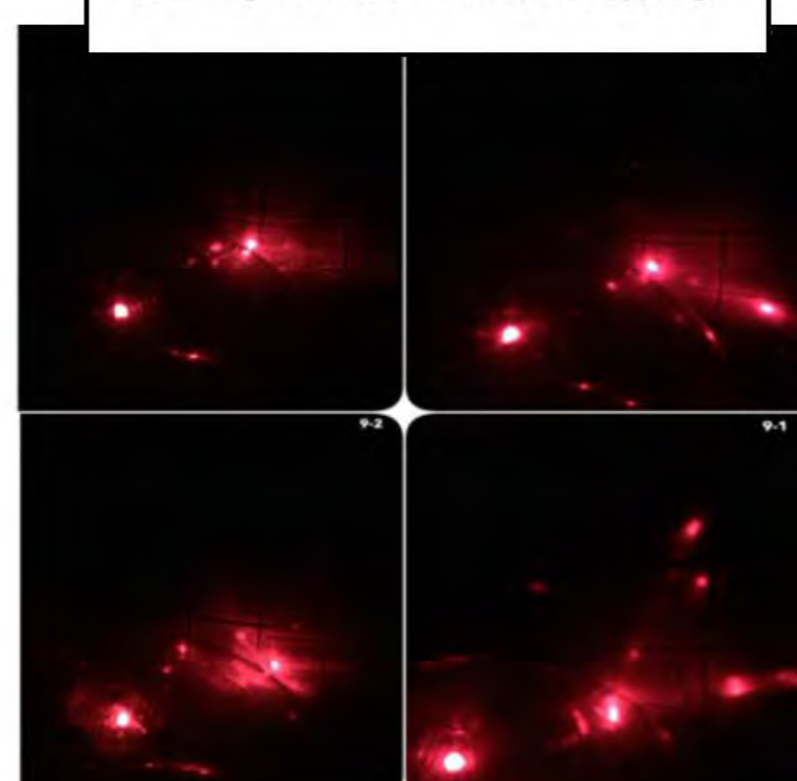
半球設計



全球設計



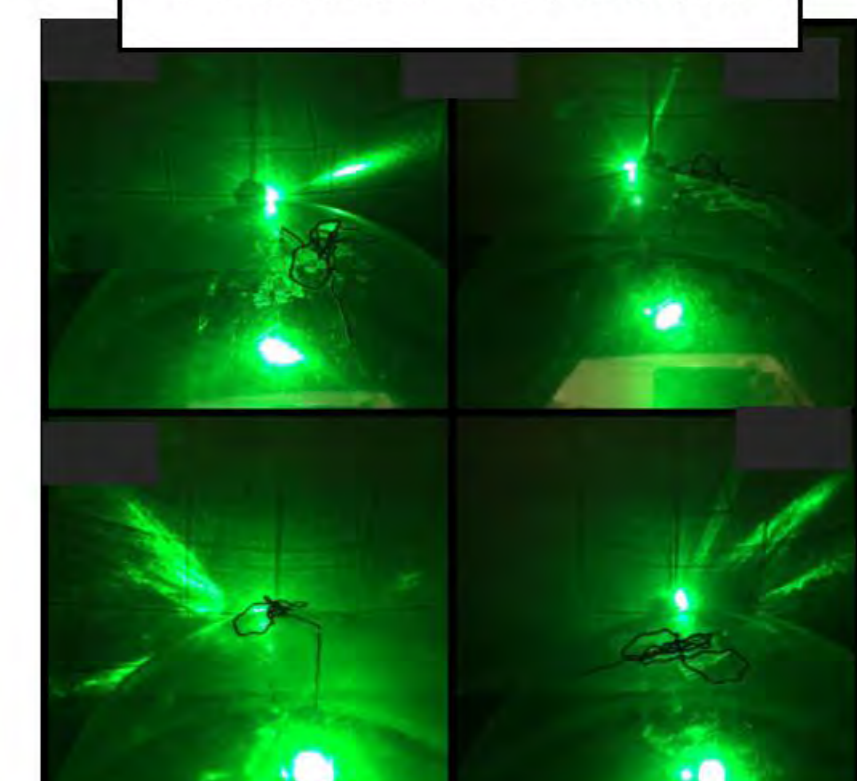
透明結晶·紅光照射




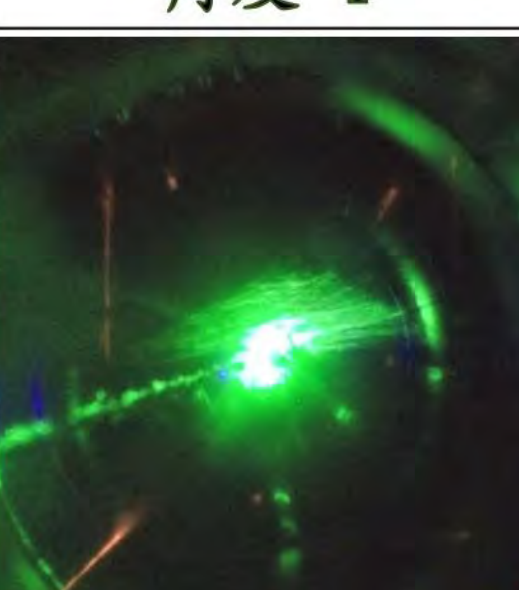
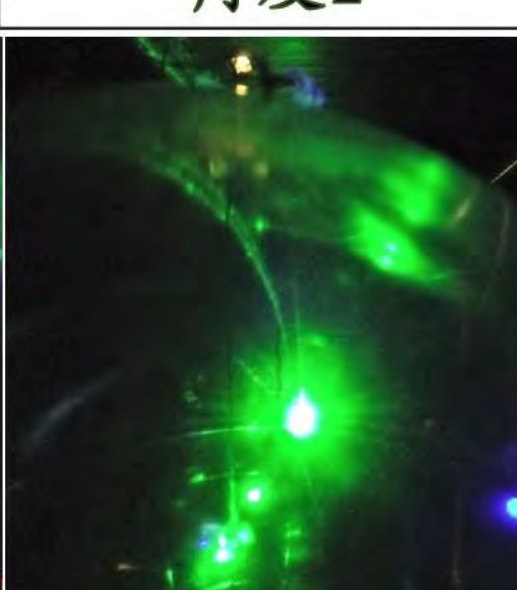
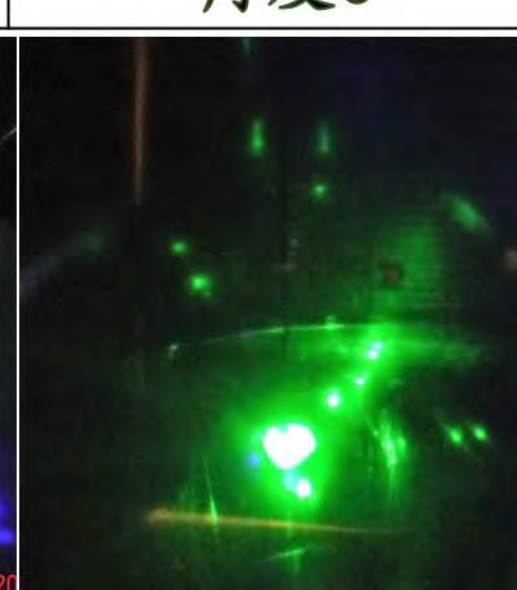
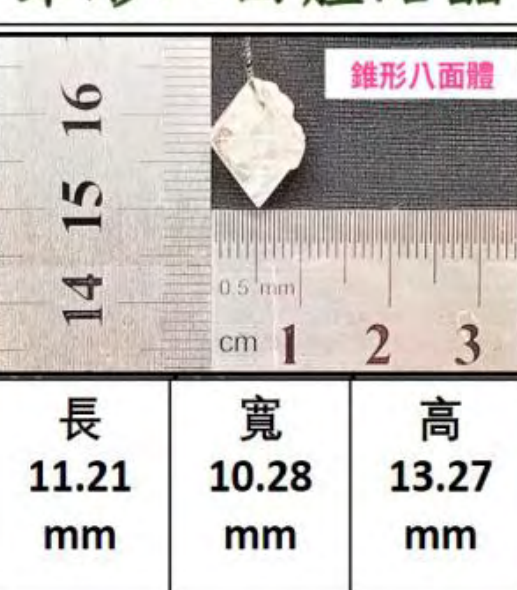
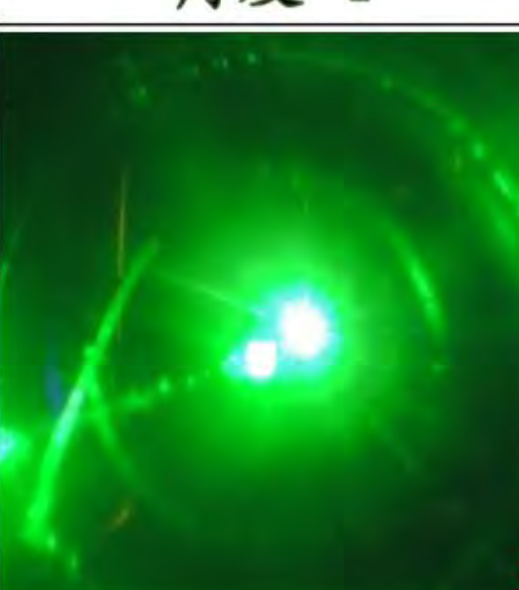
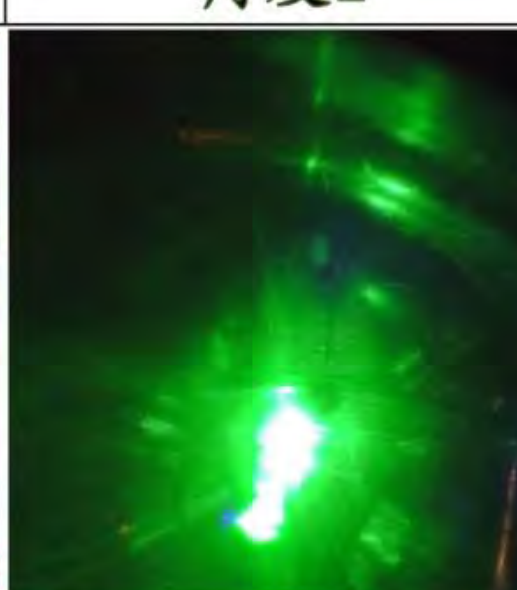

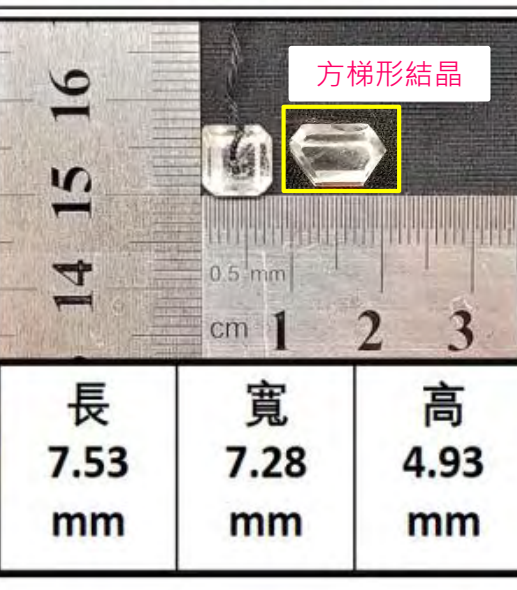
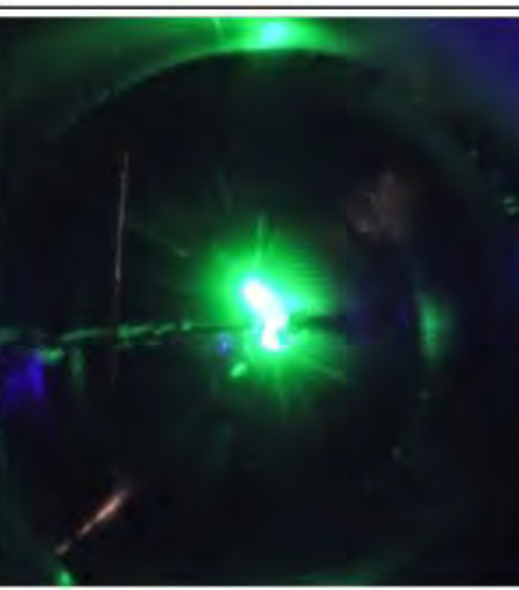

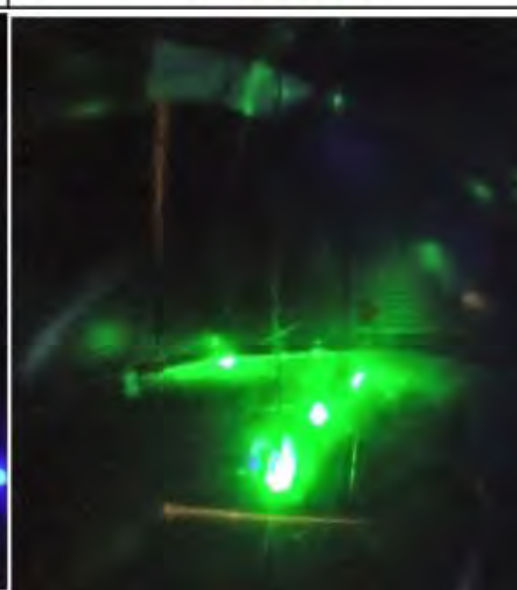
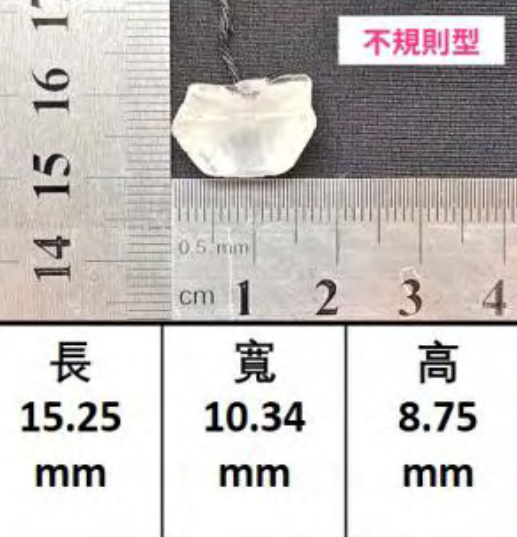
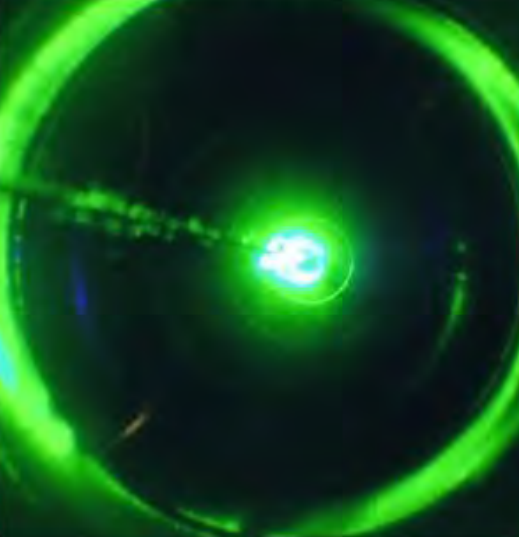
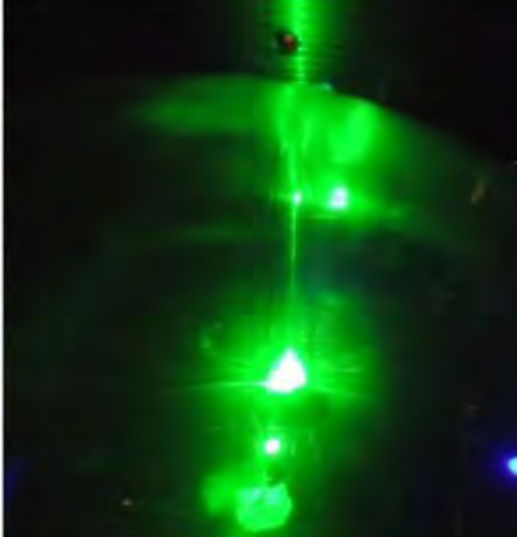

透明結晶·綠光照射



模糊結晶·綠光照射



觀察有天球光照盒照射四種鉍明礬的結晶晶型

八面體結晶	角度 1	角度 2	角度 3
 長 10.66 mm 寬 9.86 mm 高 4.41 mm			
錐形八面體結晶	角度 1	角度 2	角度 3
 長 11.21 mm 寬 10.28 mm 高 13.27 mm			
方型結晶	角度 1	角度 2	角度 3
 長 7.53 mm 寬 7.28 mm 高 4.93 mm			
不規則結晶	角度 1	角度 2	角度 3
 長 15.25 mm 寬 10.34 mm 高 8.75 mm			

結論：透過有天球光照盒照射鉍明礬結晶，有效檢視晶體的不同晶型。

肆、研究結果與討論

一、垂線懸吊位置影響到結晶的重量

- (一)雖然濃度在容器底部會是最濃的，但是垂線懸吊位置在「下」的位置的結晶情況反而不佳，無法取出，無法用來觀測記錄。
- (二)垂線懸吊位置在「上」的位置會浪費掉容器底部的高濃度溶液。

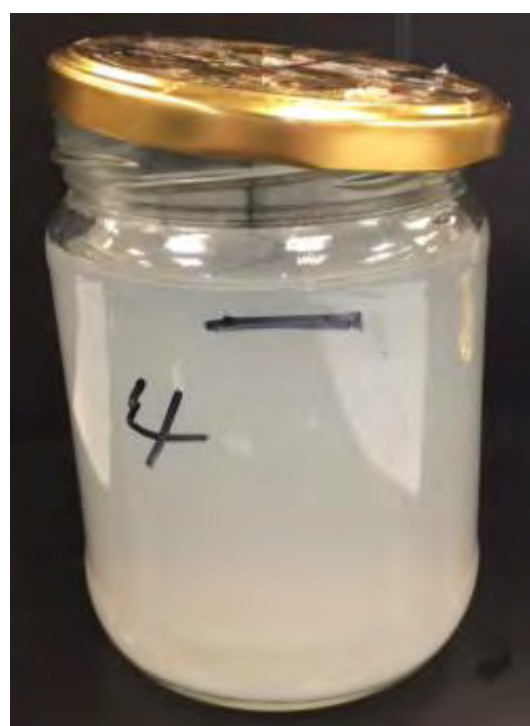
二、鹽與鉍明礬會各自結晶

- (一)鹽水與鉍明礬溶液混和後，最先結晶是鉍明礬結晶。
- (二)隨著自然蒸發、水量減少，持續結晶第五天後出現鹽的結晶。
- (三)鹽的結晶為白色，附著於鉍明礬結晶的表面上，顆粒大小不到1 mm。
- (四)一星期後的鹽結晶陸續增加且附著於鉍明礬結晶，鹽結晶有變大的趨勢，但是仍小於5 mm。

三、鉍明礬水溶液加入鹼性物質的結晶影響

鉍明礬溶液加入氫氧化鈉攪拌後會產生白色霧狀的顆粒，經過我們查鉍明礬的資料與鉍明礬相關的化學反應，得知：

- (一)鉍明礬正確的名稱為硫酸鉍。
- (二)白色霧狀的物質是推測為氫氧化鋁，暫時存在於水溶液中(右圖)。
- (三)因為溶液仍然是在酸性環境裡，所以氫氧化鋁會持續與酸性物質做反應，過一段時間後會變澄清。
- (四)由於氫氧化鋁延遲的結晶時間，讓鉍明礬可以有較多的時間可以附著與結晶，因此產生了顏色接近透明、品質較好的鉍明礬結晶。



四、溫度的調控有助於結晶品質

- (一)溫度的緩慢下降或是暫時性高溫的保溫裝置(例如：保麗龍盒)都可以營造出溫度下降緩慢的環境，讓溶液中的鉍明礬能夠有足夠時間可以結晶。
- (二)回溫後再結晶的鉍明礬雖然重量有下降，但是晶形較完整、透度也增加，結晶的品質提升。
- (三)溶液溫度的提升反而讓原本棉線上小顆的雜晶溶解，等到第二次室溫冷卻的再次結晶可提升結晶的品質。

我們可以推論是因為鉍明礬結晶的過程當中是一層又一層的結晶，在顯微攝影下可以清楚看到六角形的結構，而且具有立體的晶型結構。因此我們可以推論：溫度降得越慢，或是讓結晶時間的延長，產生的結晶越扎實，透度會越高。



五、自製簡易光照盒探究鉍明礬結晶透度

綠光雷射筆能量比較高，照射到透明的結晶可以直線穿過，些許因散射、折射或反射的光束而在天球上產生光點；照射到模糊的結晶則是在天球上出現許多大小不一致的光點。

我們可以透過自製簡易光照盒判讀鉍明礬結晶的品質。

亮點發現—回溫

探討溫度的調控對鉍明礬結晶的品質影響。



回溫前結晶

回溫後結晶

溫度的回升可以讓原本較小顆的雜晶溶解，會附著大顆的鉍明礬結晶，提升結晶的品質。

亮點發現—「鹼」值


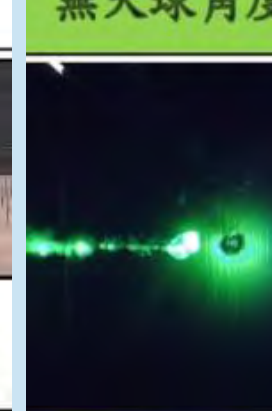

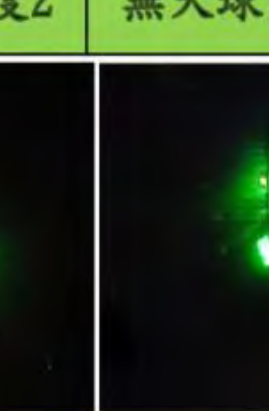


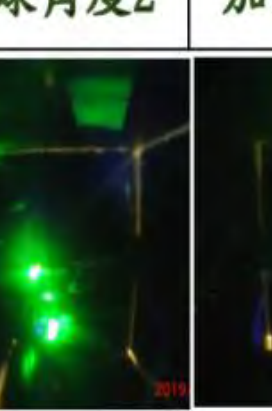

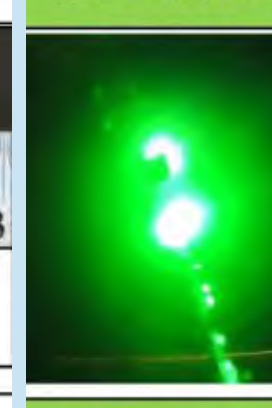

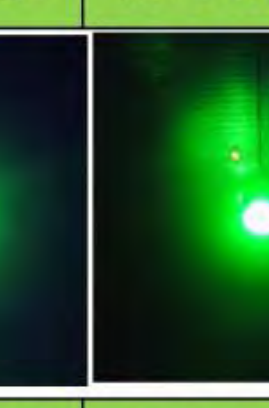
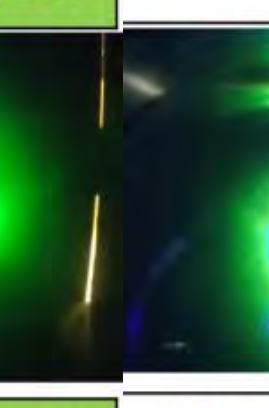



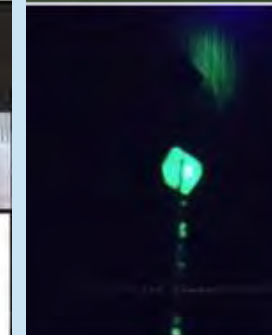

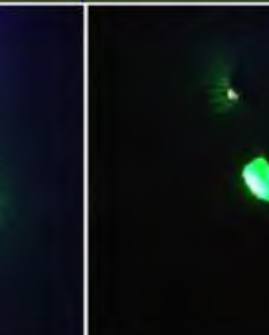
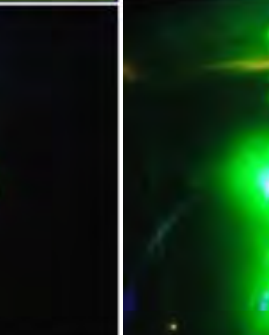


鉍明礬水溶液加入氫氧化鈉後的結晶成效



靜置一天後的的鉍明礬結晶品質優良，透度極高，耀眼如鑽石。

亮點發現—「晶」彩

比較無天球光照盒與有天球光照盒照射鉍明礬結晶的效果與判讀鉍明礬結晶的品質。

透明結晶1	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3
 長 10.74 mm 寬 9.04 mm 高 4.66 mm						
半透明結晶1	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3
 長 11.91 mm 寬 9.63 mm 高 5.97 mm						
模糊結晶1	無天球角度1	無天球角度2	無天球角度3	加天球角度1	加天球角度2	加天球角度3
 長 10.13 mm 寬 10.34 mm 高 5.20 mm						

有天球的光照盒照射鉍明礬結晶的效果比無天球的光照盒明顯，可以幫助判讀鉍明礬結晶的品質。

伍、總結論

- 一、鉍明礬水溶液加入適量的氫氧化鈉，以棉線垂吊於溶液裡「中」的位置，靜置一天後可以得到晶型完整、透度高的優質結晶。
- 二、鉍明礬水溶液溫度的提升，讓原本棉線上小顆的雜晶溶解，再次冷卻結晶可以提升結晶的品質。
- 三、透過自製的簡易光照盒，透過綠色雷射光光束照射鉍明礬結晶，可從散射、折射或反射的光束判斷結晶的品質。



我們持續探究晶種養成與結晶的方式，自製人造水晶晶洞與製作生活中的裝飾品。

