

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040215

國立新莊高級中學

指導老師姓名

陳偉民

梁明羽

作者姓名

吳治緯

黃至傑

蕭雨萱

許雯華

## 壹、摘要：

市售可重複使用的熱敷包是由過飽和醋酸鈉水溶液製成，爲什麼平常不會結晶，只有扳動金屬片時才會迅速結晶而放熱？一般書籍均以爲金屬片上粗糙的凹痕可做爲晶種<sup>(1-2)</sup>。也有人認爲是以金屬片發生的聲響引發結晶<sup>(3)</sup>。根據我們的研究，求出醋酸鈉溶液在過飽和度0~0.9之間是半穩定狀態。同時排除聲響、振動、凹痕作爲晶種等猜測，證明是由凹痕中彈出晶種引發結晶，而且我們發現長尾夾可以取代金屬片引發結晶，使自製熱敷包變的更容易。我們也證實醋酸鈉晶體的水合物不只三水合物一種。

## 貳、研究動機：

天冷了，熱敷包爲我們提供「即時」、「方便」的溫暖。化學課本上說，熱敷包內是醋酸鈉的過飽和水溶液，使用時只要扳動金屬片，就會迅速結晶而放熱<sup>(1)</sup>（圖1）！但是過飽和溶液不是不安定嗎？熱敷包怎麼放兩三天不結晶呢？那塊金屬片又有什麼魔法可以引發結晶呢？我們在化學課本上及一般書籍上查到的答案都說是金屬片上的凹痕作爲晶種，但有些參考資料則認爲聲音造成的震動會引發結晶。我們想以實驗找出醋酸鈉過飽和晶體穩定的原因及金屬片引發結晶的秘密。



扳動金屬片



液體結晶並開始放熱

圖 1

## 參、研究目的：

本研究想找出下列問題的答案：

1. 聲波可否引發熱敷包的結晶？
2. 振動可否引發熱敷包的結晶？
3. 過飽和醋酸鈉水溶液穩定的原因？
4. 金屬片表面凹痕引發熱敷包結晶的真正原因？
5. 可否找出其他能引發結晶的物件以取代有凹痕的金屬片？
6. 熱敷包中沈澱的醋酸鈉晶體究竟含幾份結晶水？

## 肆、研究設備及器材：

### 一、實驗設備及器材

1. 加熱板
2. 手提電腦一部
3. 函數信號產生器 (FUNCTION GENERATOR GFG-8015G)
4. 繩波產生器 (PASCO scientific Vibration Generator WAVE DRIVER II WA-9753)
5. 超音波洗淨機 (LEO ULTRASONIC STERI-CLEANER LEO-802)
6. 750 介面 (Science Workshop 750 interface CI-7500)
7. 功率放大器 (PASCO POWER AMPLIFIER II CI-6552A)
8. 溫度感測器 (PASCO scientific TEMPERATURE SENSOR CI-650B)
9. 熱敷包 (日裔 近江兄弟 冷熱敷包 Omi Reusable Hot/cold Pack)

10. 夾鏈袋 (1、2 號)
11. 膠帶
12. 錐形瓶
13. 燒杯
14. 磁攪拌子
15. 顯微鏡(Olympus Educational Microscope Model CH20)
16. 數位相機(Nikon Coolpix 4500)

## 二、實驗藥品：

1.  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (試藥壹級) 島久
2.  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (試藥壹級) 島久
3. 蒸餾水

## 伍、研究過程或方法：

### 研究一：聲音是否引發熱敷包結晶？

#### (一) 金屬片扳動時的聲音

1. 扳動金屬片時用電腦將 金屬片發出的聲音錄下來。
2. 將市售熱敷包加熱溶解後再冷卻到室溫，在不觸動金屬片的情況下，將錄好的聲音重複播放，觀察是否結晶。

#### (二) 利用函數信號產生器



圖 2

1. 將函數信號產生器發出的聲音透過繩波產生器提供振動(圖 2)，將熱敷包架在繩波產生器的振動桿上，調整音頻(1,10,100,300,700,1K,3K,5K,10KHz)，每個音頻振動 3 分鐘，再觀察熱敷包是否結晶？同時利用溫度感測器測量溫度變化。
2. 自製過飽和醋酸鈉水溶液 (三水合醋酸鈉：水的重量比=10:1)，裝於夾鏈袋中，重複上述步驟，觀察是否結晶。

#### (三) 超音波洗淨機

1. 將熱敷包置於超音波洗淨機內振盪(圖 3)，觀察是否結晶。
2. 自製過飽和醋酸鈉溶液 (三水合醋酸鈉：水的重量比為 10:1)，置於 50mL 的錐形瓶中，將瓶口封起後置於熱水浴中加熱至溶解。待冷卻後，將此溶液置入超音波洗淨機振盪，觀察是否結晶。



圖 3

### 研究二、振動是否引發熱敷包結晶？

透過功率放大器接繩波產生器傳達振動(圖 4)，在夾鏈袋內裝入自製的過飽和醋酸鈉溶液，將其放在繩波產生器上，透過 750 介面及功率放大器在電腦上控制輸出電壓 10 伏特的振幅，調整頻率(1,10,100,300,700,1K,3K,5K,10K Hz)，每個頻率振動時間為 3 分鐘，觀察是否結晶並用溫度感測器偵測溫度變化情形。



圖 4

### 研究三、過飽和醋酸鈉水溶液為何穩定？

我們參照醋酸鈉在不同溫度下的溶解度，如表 1<sup>(5)</sup> 所示，配製不同濃度的過飽和醋酸鈉水溶液，如表 2、表 3。測試各濃度下過飽和醋酸鈉水溶液的穩定程度。凡是僅憑聲音、振動就會引發結晶的就列為「不穩定」；凡是聲音、振動不會引發結晶，但投入晶種會引發結晶的，就列為「半穩定」；凡是聲音、振動、投入晶種都不會引發結晶的，就列為「穩定」。實驗時室溫為 20°C 左右。

表 1：醋酸鈉在各溫度下對水的溶解度

T (°C)	三水合醋酸鈉中的 CH <sub>3</sub> COONa/100g H <sub>2</sub> O	三水合醋酸鈉：水 重量比	無水醋酸鈉中的 CH <sub>3</sub> COONa/100gH <sub>2</sub> O	無水醋酸鈉：水 重量比
0	36.3	0.79	119	1.19
10	40.8	0.93	121	1.21
20	46.5	1.10	123.5	1.235
30	54.5	1.41	126	1.26
40	65.5	1.91	129.5	1.295
50	83.0	3.04	134	1.34

60	-	-	139.5	1.395
70	-	-	146	1.46
80	-	-	153	1.53
90	-	-	161	1.61
100	-	-	170	1.70
110	-	-	180	1.80
120	-	-	191	1.91
123*	-	-	193	1.93

\*飽和溶液的沸點

表 2、用三水合醋酸鈉配製  
的過飽和水溶液

編號	CH <sub>3</sub> COONa · 3H <sub>2</sub> O: H <sub>2</sub> O 重量比
1	3 : 1
2	5 : 1
3	7 : 1
4	10 : 1
5	15 : 1
6	20 : 1
7	25 : 1
8	30 : 1
9	35 : 1
10	40 : 1

表 3、用無水醋酸鈉配製  
的過飽和水溶液

編號	CH <sub>3</sub> COONa : H <sub>2</sub> O 重量比
1	0.8 : 1
2	1 : 1
3	1.25 : 1
4	1.35 : 1
5	1.4 : 1
6	1.5 : 1
7	1.8 : 1
8	2.0 : 1
9	2.3 : 1
10	2.5 : 1

#### 研究四、金屬片表面的凹痕的作用

##### (一) 觀察凹痕

1. 取出熱敷包內的金屬片，分別用肉眼及顯微鏡觀察金屬片的形狀及上面的刻痕。

##### (二) 用膠帶把凹痕貼起來

1. 將熱敷包上的金屬片取出，用透明膠帶將金屬片上的刻痕貼起來。
2. 自製醋酸鈉的過飽和水溶液：稱取 10 克醋酸鈉三水合物 (CH<sub>3</sub>COONa · 3H<sub>2</sub>O)，置入 50mL 的錐形瓶中，加入 1 克的蒸餾水，將錐形瓶口封起後置於熱水浴中加熱直至溶解。
3. 將上述的過飽和水溶液趁熱倒入夾鏈袋中，同時將貼好膠帶的金屬片一同置入夾鏈袋並封起。
4. 待此過飽和溶液冷卻後，扳動金屬片，觀察是否結晶。

##### (三) 觀察扳動金屬片的現象

1. 將自製的過飽和醋酸鈉水溶液倒入夾鏈袋中，並將金屬片在熱蒸餾水中反覆扳動洗淨放入此袋，測試結晶析出的情形。
2. 將袋中金屬片移到袋子上端角落，使不接觸到過飽和水溶液，仔細觀察扳動金屬片時有何現象？

#### (四) 捕捉晶種

1. 取出熱敷包內的金屬片用熱蒸餾水洗淨，再放至裝有過飽和醋酸鈉水溶液的夾鏈袋中，扳動至過飽和溶液大量結晶後，用鑷子夾取少量晶體，用顯微鏡觀察晶體形狀。
2. 重新加熱溶解，趁熱用熱蒸餾水洗淨過的鑷子夾出金屬片，將金屬片的表面附著的液體輕輕擦拭乾淨後，再放到乾淨的夾鏈袋中，用顯微鏡下仔細觀察凹痕，扳動金屬片，觀察是否有晶種彈出，用顯微鏡觀察並拍攝晶種形狀。

#### (五) 放熱曲線比較

將過飽和水溶液再度加熱溶解後，趁熱用熱蒸餾水洗淨過的鑷子夾出金屬片，將金屬片的表面附著的液體輕輕擦拭乾淨後，凌空對著另一杯過飽和醋酸鈉水溶液扳動，以溫度感測器測量其放熱曲線。再扳動另一熱敷包內金屬片，測量放熱曲線。比較兩條放熱曲線。

### 研究五 可取代金屬片的物件

1. 我們仿造熱敷包上的金屬片，找一個能前後扳動並且在扳動時能發出聲音的塑膠片(圖 5)，用刀片在上面製造類似的凹痕，將塑膠片放入裝有過飽和的醋酸鈉溶液的夾鏈袋中試驗，觀察結晶析出的情形。



圖 5

2. 分別取鱷魚夾、別針、長尾夾(圖 6)放入裝有過飽和的醋酸鈉水溶液的夾鏈袋中，反復一壓一放，觀察是否引發結晶。

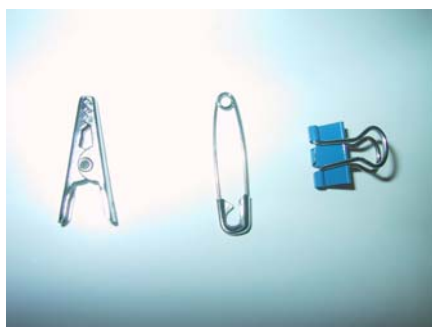


圖 6

### 研究六、對析出的晶體測量熱重損失

1. 我們將配製的不同濃度過飽和溶液，扳動金屬片，使其大量結晶，取一個表玻璃事先稱重，將析出的晶體倒於表玻璃上並攤開，放在40°C的烘箱將晶體間多餘的水烘乾，隔天秤重記錄之。
2. 將記錄完重量的晶體連同表玻璃一起移至 160°C的烘箱加熱 1 小時，使水分完全失去，再記錄重量，計算損失的水重與原來的重量百分比。

## 陸、研究結果：

### 研究一 聲音是否引發熱敷包結晶？

1. 透過實驗中各種可能的聲音方法測試，包括錄製的扳動金屬圓片及函數信號產生器發出的聲音測試，都無法使熱敷包產生結晶。
2. 在超音洗淨機振盪測試方面，在振盪的過程中發現，溶液中出現一些小氣泡，而金屬片有時會隨著溶液振動而轉圈，並與過飽和溶液產生摩擦，在振盪時間夠久（超過 20 分鐘）的情況下，才有機會在金屬片附近造成結晶，而且不是每次都會。自製的過飽和醋酸鈉水溶液，發現在沒有金屬片的情況下，無論用超音波洗淨機振盪多久還是沒有結晶產生。

### 研究二 振動是否引發熱敷包結晶？

振動測試方面，在我們設定的振動條件下，都無法使過飽和醋酸鈉溶液產生結晶。

### 研究三 過飽和醋酸鈉水溶液為何穩定？

I. 用三水合醋酸鈉配的過飽和水溶液：

在 20°C 時， $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3 \text{H}_2\text{O} / \text{H}_2\text{O} = 1.10$  恰飽和，此時的  $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$  溶解度 = 46.5g/100g $\text{H}_2\text{O}$ ，我們將此時的  $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$  的重量比定為平衡時的濃度  $S_t = 0.465$ ， $Q_t$  為過飽和溶液中的  $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$  的重量比，可由下列公式一求得，將  $Q_t - S_t$  得到溶液的過飽和度<sup>(6)</sup>。表 4 為所有不同濃度的過飽和度及平衡狀態。

$$Q_t = \left( w_t \times \frac{82}{136} \right) / \left( w_t \times \frac{54}{136} + W_{\text{H}_2\text{O}} \right) \quad \begin{array}{l} W_t : \text{取的三水合醋酸鈉重量} \\ W_{\text{H}_2\text{O}} : \text{加入的水重} \end{array}$$

公式一

表 4、用三水合醋酸鈉配的不同濃度的過飽和水溶液之穩定程度

編號	三水合醋酸鈉：水 重量比	$\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$ 重量比 $Q_t$	過飽和度 $Q_t - S_t$	溶液穩定狀態
1	3 : 1	0.83	0.365	半 穩 定
2	5 : 1	1.01	0.545	
3	7 : 1	1.12	0.655	
4	10 : 1	1.21	0.745	
5	15 : 1	1.30	0.835	
6	20 : 1	1.35	0.885	
7	25 : 1	1.38	0.915	
8	30 : 1	1.40	0.935	不 穩 定
9	35 : 1	1.42	0.955	
10	40 : 1	1.43	0.965	

## II. 用無水醋酸鈉配的過飽和溶液:

在 20°C， $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O} = 1.235$  恰飽和，溶解度 = 123.5/100g $\text{H}_2\text{O}$ ，平衡時的濃度  $S_a = 1.235$ ， $Q_a$  為過飽和溶液中的  $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$  的重量比，將  $Q_a - S_a$  得到溶液的過飽和度。表 5 為不同濃度的各水溶液的過飽和度及穩定程度。

表 5、用無水醋酸鈉配製不同濃度的過飽和水溶液之穩定程度

編號	無水醋酸鈉：水 重量比	$\text{CH}_3\text{COONa}/\text{H}_2\text{O}$ $Q_a$	過飽和度 $Q_a - S_a$	溶液穩定狀態
1*	0.8 : 1	0.8	-	半 穩 定
2*	1 : 1	1	-	
3	1.25 : 1	1.25	0.015	
4	1.35 : 1	1.35	0.115	
5	1.4 : 1	1.4	0.165	
6	1.5 : 1	1.5	0.265	
7	1.8 : 1	1.8	0.565	
8	2.0 : 1	2.0	0.765	
9	2.3 : 1	2.3	1.065	不穩定
10	2.5 : 1	2.5	1.265	

\* 編號 1、2 在當時溫度下對無水醋酸鈉是未飽和狀態

## 研究四、金屬片表面的凹痕的作用

### (一) 觀察凹痕

1. 金屬片是具凹凸面的圓弧狀造型，以利使用時可以正反兩面扳動，上面的刻痕是沿著金屬圓片及中心，向各個方向散開的細小狹縫所組成，將圓片置於燈光下並透過放大鏡觀察，發現用肉眼無法看見狹縫有透光的現象。我們進一步用放大倍率為 10×10 的顯微鏡觀察金屬片的狹縫，顯示狹縫並未穿透至另一面。



圖 7

### (二) 用膠帶把凹痕貼起來

若將金屬片上的刻痕貼起來，不論按壓多少次，金屬片發出的聲音仍然無法使過飽和醋酸鈉溶液結晶。



### (三) 觀察扳動金屬片的現象

1. 在夾鏈袋中裝入我們配製的過飽和醋酸鈉水溶液，同時將金屬片用熱蒸餾水洗淨後置入，發現扳動金屬片竟無結晶發生，扳動 2~3 次才有結晶產生（我們稱之為首度結晶）。將結晶再度加熱溶解，冷卻至室溫，在觀察袋子確定晶體全溶解的情況下才觸及鐵片，結果扳動金屬片一次就可以引發結晶（我們稱之為再度結晶），甚至只要透過袋子摩擦金屬表面，或用手指按住金屬片再放開，即可引發大量結晶。重複加熱溶解及降溫，每次的情形都一樣。
2. 基於以上觀察，我們猜測一定是金屬片的凹痕能隱藏晶種，為了證實此假設，在扳動金屬片前，將袋中的金屬片移到袋子上端角落，使不接觸到過飽和水溶液再扳動，仔細觀察，發現扳動金屬片的瞬間有白色針狀的物質從凹痕射出，掉落到溶液中，隨即引發大量結晶。

### (四) 捕捉晶種

1. 被引發的大量結晶目視為針狀，圖 8 為顯微鏡下拍攝到的晶體，放大倍率均為 10X10 倍。

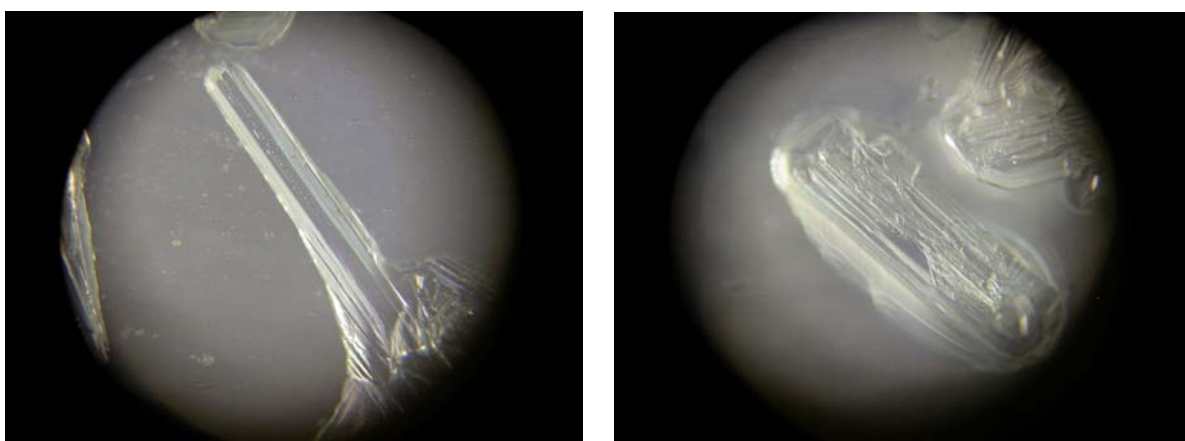
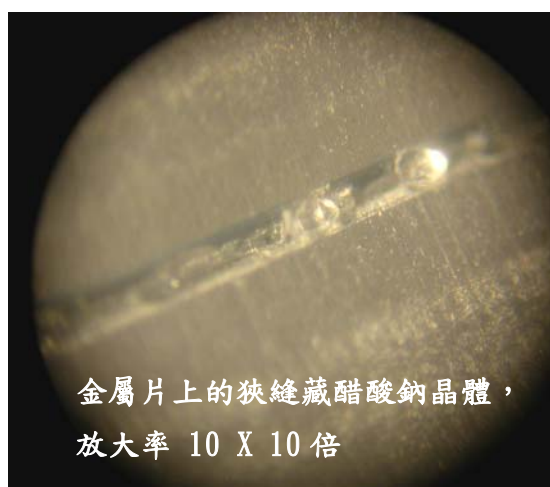
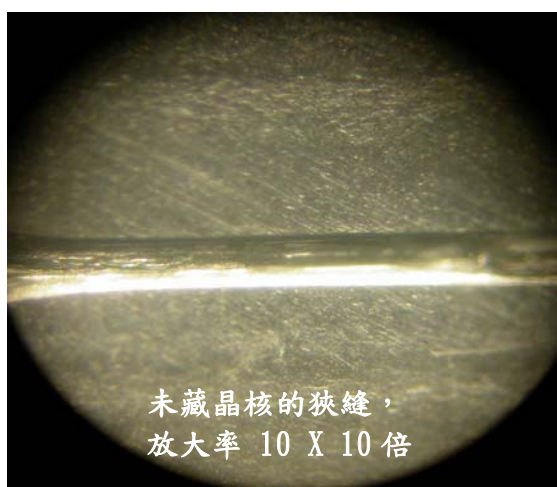


圖 8

2. 圖 9 為一系列在顯微鏡下觀察到的金屬片凹痕及由凹痕中彈出的晶體



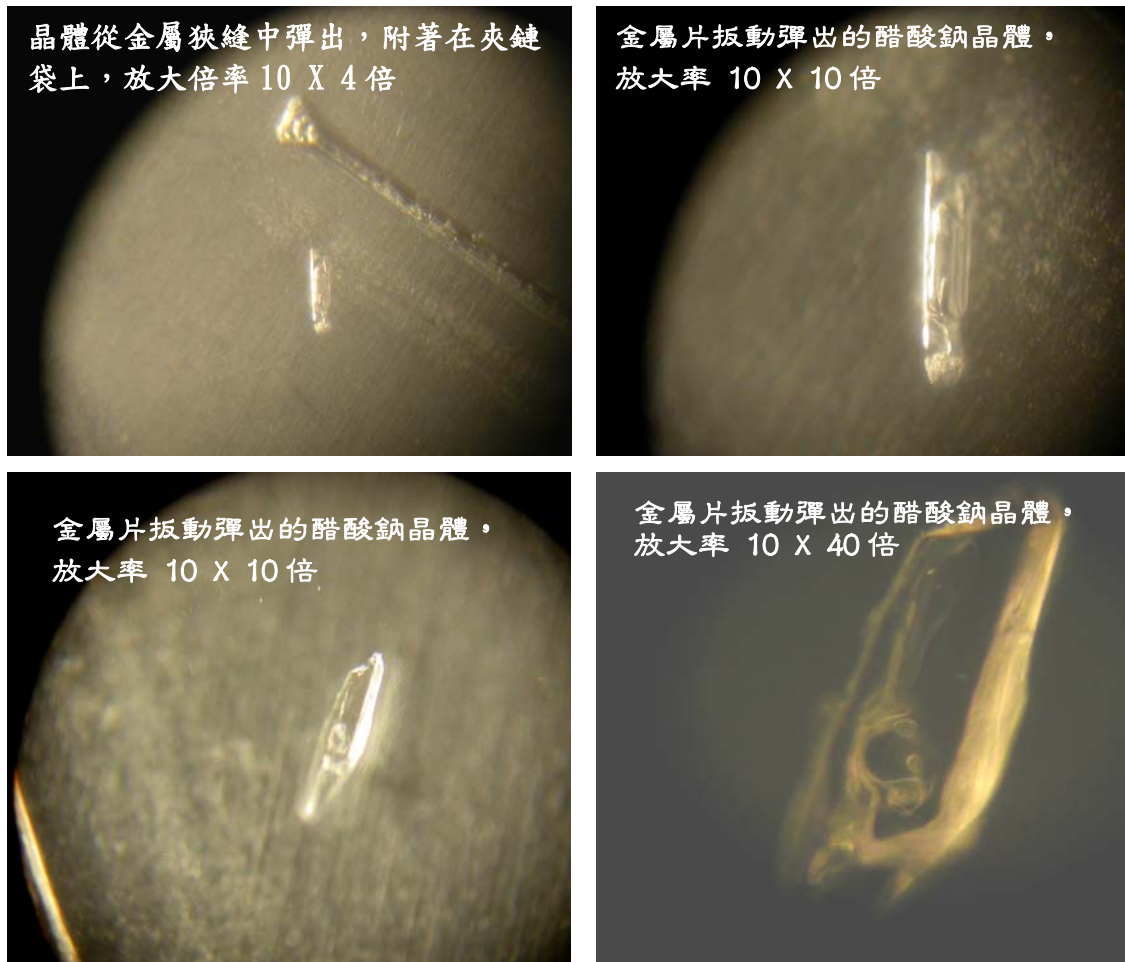


圖 9

(五) 放熱曲線比較

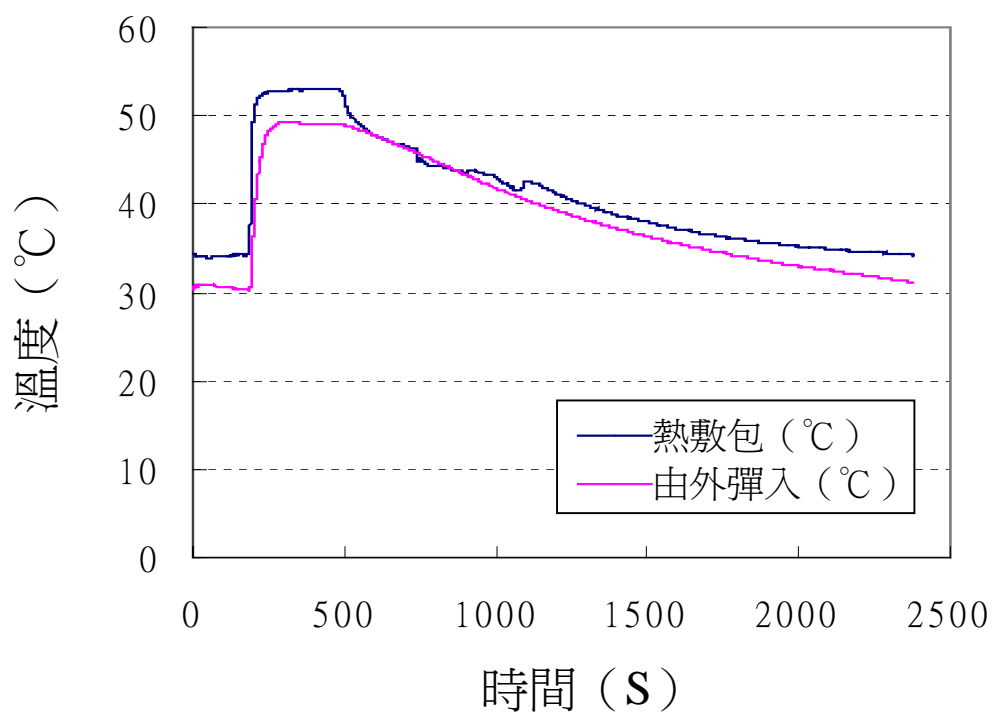


圖 10 放熱曲線比較

## 研究五 可取代金屬片的物件

1. 我們自製有凹痕的塑膠片、鱷魚夾、別針來回扳動數十次均無法對過飽和醋酸鈉水溶液引發結晶。
2. 用熱蒸餾水洗過的長尾夾大約扳動 4~6 次，可引發首度結晶（圖 11），但加熱使其重新溶解後，通常扳動 1 次就引發再度結晶，據觀察，結晶是發生在圖 11 的 A 或 B 處附近。

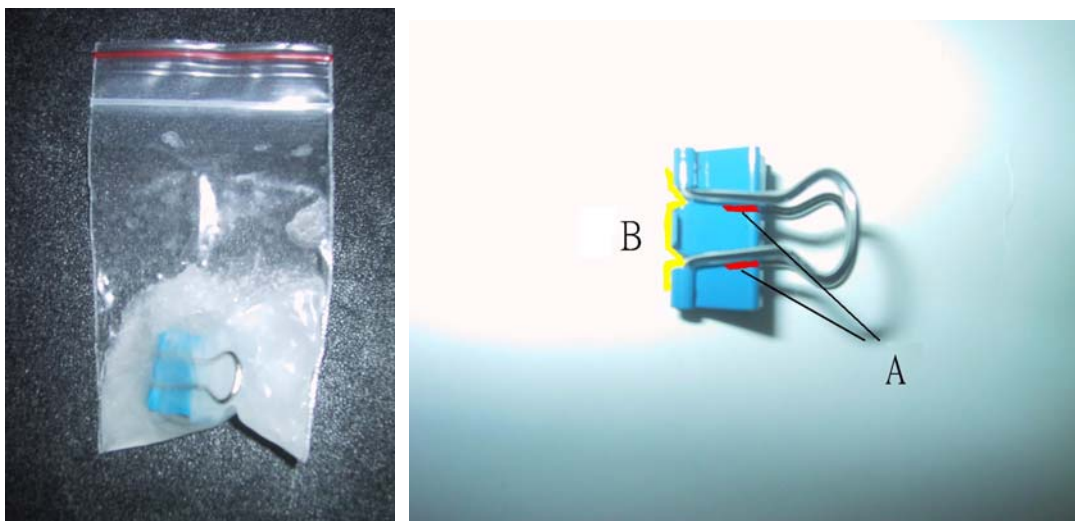


圖 11

## 研究六、對析出的晶體測量熱重損失

用三水合及無水醋酸鈉配製的過飽和水溶液，用金屬片扳動析出的晶體，置於 160°C 烘乾前後的重量如表 6、表 7。

表 6

編號	三水合醋酸鈉：水	烘乾前重量 $W_1(\text{g})$	烘乾後重量 $W_2(\text{g})$	重量損失 (%)	結晶水
1	3 : 1	3.04	1.46	52.0	4.9
2	5 : 1	4.85	2.53	47.8	4.2
3	7 : 1	7.46	3.98	46.6	4.0
4	10 : 1	9.83	5.74	41.6	3.2

表 7

編號	無水醋酸鈉：水 重量比	烘乾前重量 $W_1(g)$	烘乾後重量 $W_2(g)$	重量損失 (%)	結晶水
1	0.8 : 1	2.76	1.24	55.1	5.6
2	1 : 1	3.03	1.51	50.2	4.6
4	1.35 : 1	4.11	2.15	47.7	4.2
5	1.4 : 1	11.08	5.48	50.5	4.7
7	1.8 : 1	4.26	2.34	45.1	3.7
8	2.0 : 1	4.62	2.66	42.4	3.4
9	2.3 : 1	5.2	3.12	40.0	3.0
10	2.5 : 1	5.48	3.38	38.3	2.8

## 柒、討論:

- 典型的溶質的溶解度與溫度的關係曲線如圖 12 所示，在 AB 線以下，不論丟入多少溶質皆溶解，在某個特定溫度下，溶質的濃度  $Q$  沿著 RST 線由下往上升。當  $Q=S$  時，溶質在溶液中的量恰達飽和，此時多加的溶質不會再溶解，濃度保持一定。可藉著升高溫度使溶質的濃度繼續上升，降到原特定溫度時，溶質的濃度  $Q$  會在  $S$  與  $T$  中間，在 AB 與 CD 曲線間屬於半穩定範圍，其中溶質的濃度超過它平衡溶解度  $S$ ，溶液處於過飽和狀態，但除非有固體溶質存在此溶液中，否則在有限的時間內，不會有沈澱發生，此時可藉著加入晶種使沈澱發生，使  $Q$  減少到  $S$ 。當  $Q>T$  時，也就是 CD 線以上的則處於不穩定範圍，溶液產生自發性的沈澱，直到  $Q=S$  <sup>(6)</sup>。

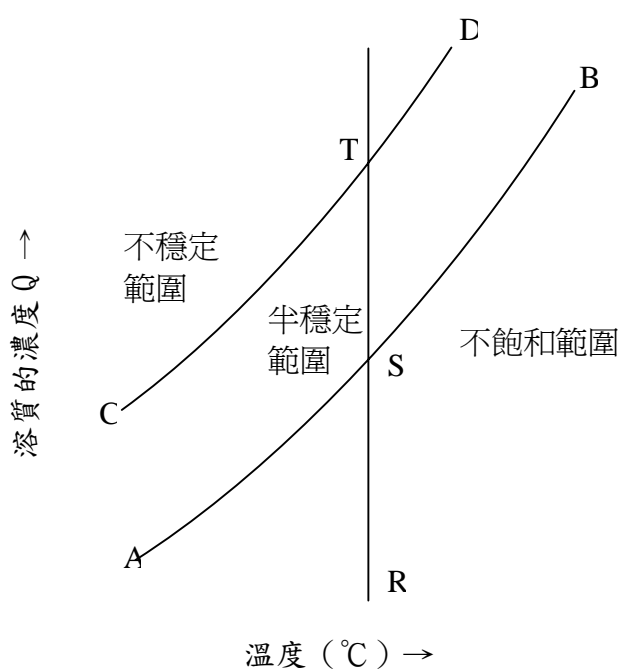


圖 12、溶液穩定狀態與溫度之間的關係 <sup>(6)</sup>

2.我們配製不同濃度的過飽和醋酸鈉水溶液，來找出其過飽和的半穩定及不穩定範圍，由表 1 的資料顯示三水合與無水醋酸鈉的溶解度相差很大，所以我們分別討論此兩物種水溶液穩定狀態與過飽和溶液濃度的關係。圖 13、14 分別是三水醋酸鈉水溶液與無水醋酸鈉水溶液過飽和度 ( $Q-S$ ) 對過飽和溶液中的  $\text{CH}_3\text{COONa} / \text{H}_2\text{O}$  重量比( $Q$ )作圖，我們可以看到兩者的半穩定區都很寬，這就是其安定的主因，在半穩區的過飽和水溶液經聲波或振動均不易引發結晶，只有投入晶種才會引發結晶。圖 15 是把圖 13、14 繪製在一起，我們可以看到市售熱敷包中過飽和水溶液的濃度就落在兩者的半穩定態的重疊區域，所以相當安定，可放置數日不易自行結晶。

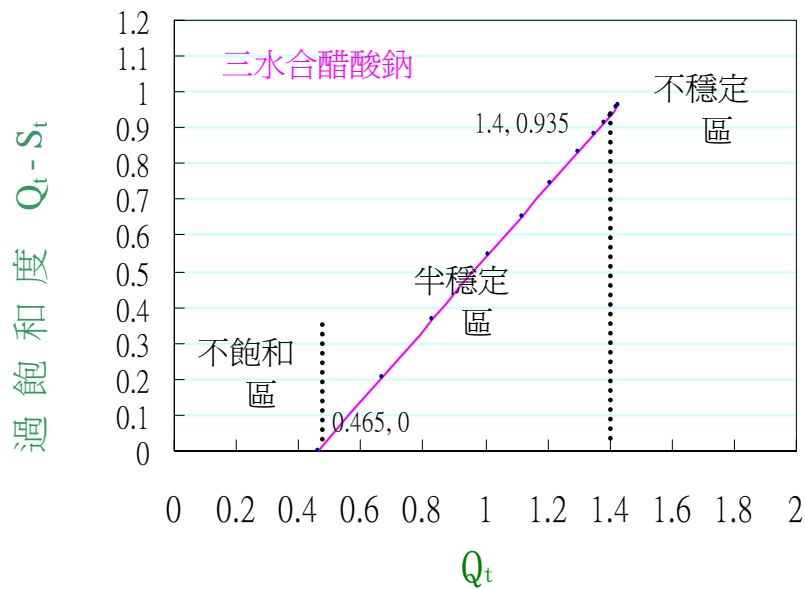


圖 13

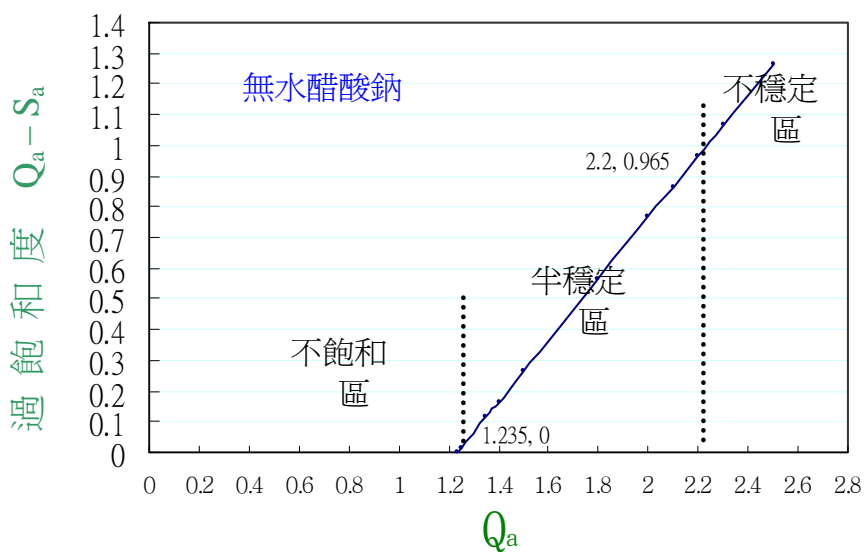


圖 14

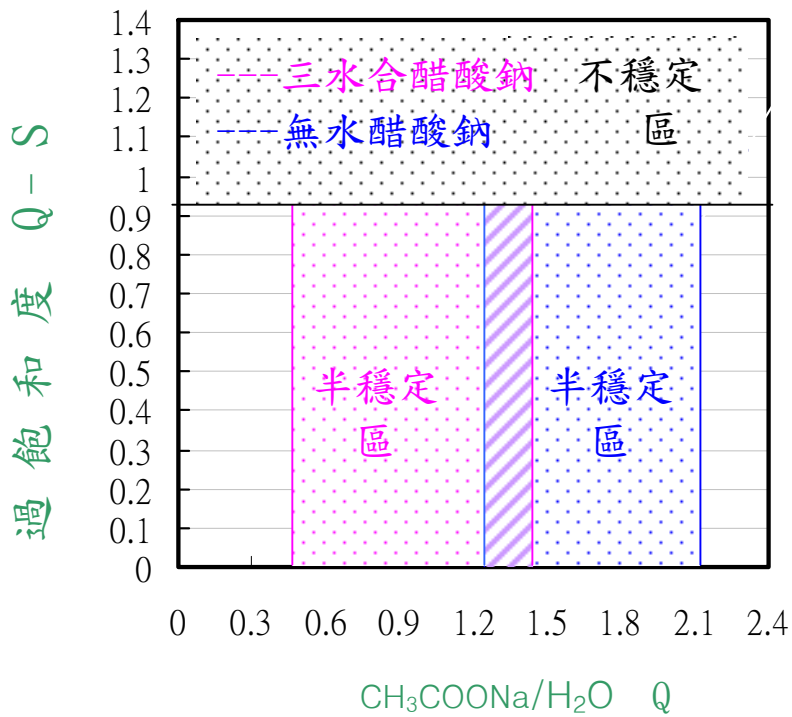
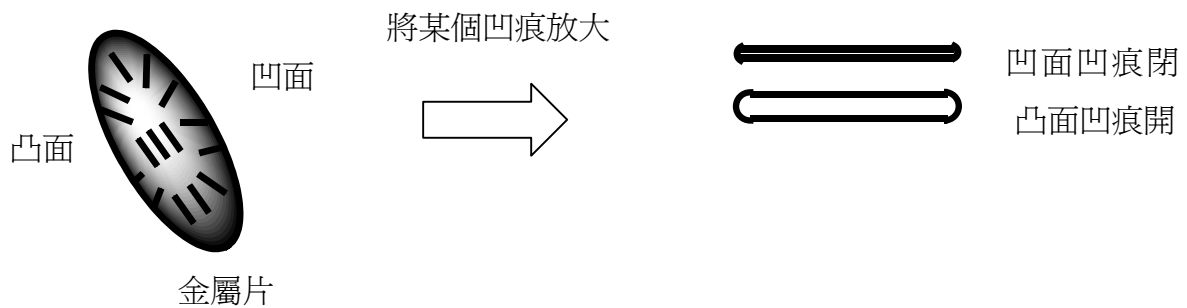
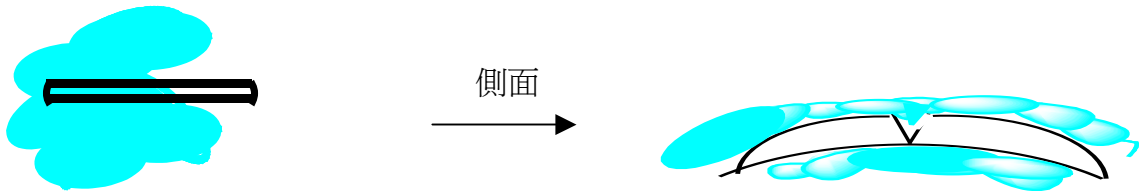


圖 15

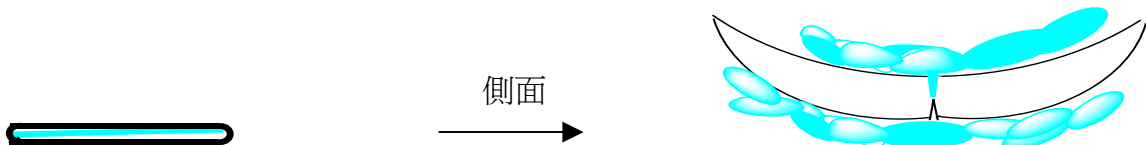
3. 根據我們的觀察，可用圖 16 表示金屬片凹痕生成晶種的過程（圖形未按比例繪製）。



I. 過飽和水溶液滲入張開的凹痕中，附著在凹痕四周



II. 第一次扳動金屬片後，張開的凹痕關閉，在關閉過程中使得過飽和溶液被困在凹痕內形成晶種。



Ⅲ. 再次扳動金屬片，晶種彈出造成整個過飽和溶液迅速結晶放熱。



圖 16、金屬片造成晶種的過程

4. 以目視觀察水合醋酸鈉晶體為針狀，與文獻記載之單斜晶系相符<sup>(7)</sup>。在研究四中，我們確實捕捉到晶體，經由顯微鏡觀察並拍照。且在過飽和水溶液上方凌空扳動金屬片所引發的放熱曲線與原熱敷包放熱曲線幾乎完全相符。種種證據顯示，金屬片的凹痕中隱藏晶種才是引發結晶的真正原因。
5. 我們找出另一項可以引發結晶的物件是長尾夾，以長尾夾與金屬片相較可看出兩者相似處：兩者都能一壓一放，均有足夠的凹痕或狹縫可供隱藏晶種。且兩者首度結晶均較困難，要多次壓放，才能引發結晶，而再度結晶則容易的多。歸納起來看，因首度結晶前沒有隱藏的晶種，所以較困難。再度結晶時，已有隱藏的晶種所以較容易。找出長尾夾可以取代金屬片，使我們非常振奮，因為有凹痕的金屬片製作不易，我們用塑膠片自行刻痕，就無法取代它。由於長尾夾取得容易，今後我們可自行製作可重複使用的熱敷包。
6. 根據研究六，醋酸鈉中所含結晶水可能不只  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  一種，可能有  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  或含更高結晶水之水合物，這符合文獻所載<sup>(5)</sup>。

## 捌、結論：

1. 三水醋酸鈉過飽和水溶液與無水醋酸鈉過飽和水溶液的半穩定區都很寬，這就是其安定的主因，在半穩區的過飽和水溶液經聲波或振動均不易引發結晶，只有投入晶種才會引發結晶。市售熱敷包中過飽和水溶液的濃度就落在兩者的半穩定態的重疊區域，所以相當安定，可放置數日，不易自行結晶。
2. 金屬片造成聲音或振動並不是引發結晶的原因，事實上金屬片的凹痕內藏有晶種，扳動金屬片的目的是讓晶種快速彈出來。用長尾夾可取代有凹痕的金屬片，因為長尾夾有許多縫隙，而扳動長尾夾時，引發的振動也可以將晶種彈出。
3. 由過飽和水溶液中析出的醋酸鈉水合物可能不只一種。

## 玖、參考資料及其他：

1. 楊永華、張麗英、羅世焜、何金錫 編著，高級中學 化學（下），初版三刷，台北市，三民書局股份有限公司，36~37 頁，九十三年一月
2. 余岳川，生活與化學，初版，台北市，台灣書店，81~88 頁，民 86
3. <http://www2.nsysu.edu.tw/sysuchem/expt/life/bmovie/msatu.htm> 過飽和溶液 93 年 3 月
4. <http://www.qqhrmc.net.cn/jingpincheng/huaxue/book4-5.htm> 第四章 实验技术 93 年 3 月
5. Bassam Z. ShaKhashiri, Crystallization from Supersaturated Solution of Sodium Acetate Chemical Demonstrations VOLUME 1. A Handbook for Teachers of Chemistry, P 27~30
6. Douglas A. Skoog, Donald M. Weet 原著，張荅旭、陳英旭 譯，分析化學基礎（上），中央圖書出版社，163~166 頁，六十三年六月初版
7. John A. Dean, Lange's HandBook of Chemistry, 11th Ed., 鍾山，台北市，民 63

## 評語

040215 高中組化學科

引發結晶的伏兵

引發結晶之機制部分尚有探討空間。