

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040204

食鹽未知數 X

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者： 高一 陳品成 高一 王奕森 高一 杜雨錡	指導老師： 劉宗憲
---	------------------

關鍵詞：結晶、食鹽、X

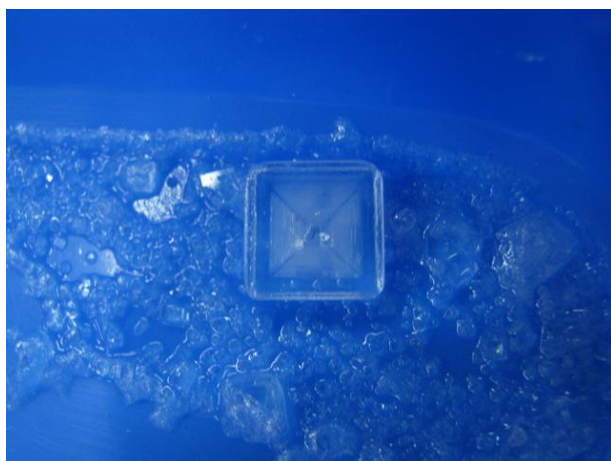
摘要

本實驗探討 NaCl 的結晶在各種環境下所發生的變化。研究改變結晶的變因，例如：溼度、溫度、水質或是加入海水常見的鹽類（像是 $MgCl_2$ 、 $CaCl_2$ ）。我們添加了丙酮、乙醇、正己烷等有機溶劑，研究並討論影響食鹽 X 條痕之因素。實驗結果認為形成的最佳條件為單純的飽和食鹽水（不添加其餘物質）25ml，加上環境通風，並於乾燥之地養成，此外可以在 250ml 的相同環境中找到完整以及有口形的結晶。

除了觀察結晶型態，試圖找出結晶的方式跟位錯形成的原因，為能破解其結晶體上層之 X 條痕以及沒有條痕跟口形位錯的結晶情形。經實驗、討論與資料整合後，我們推論 X 以及口形之形成是因為結晶位錯的關係，經過來自各方壓力影響後，結晶在中心點產生滑移的現象，並加以擴大。

壹、研究動機

之前在做密度實驗的時候，不小心將飽和食鹽水灑出，忘記清理，過了周末之後回到實驗室，發現除了細小的白色顆粒外，還有一些正方形的白色結晶，且兩個對角線各有一條透明的條痕，形成了一個 X，也因此，開始了我們對食鹽結晶的研究。當我注意到圖一中間的 X 時，我很好奇食鹽為甚麼會長這樣，而在研究過程中，我們也找到了大雅國中的“食鹽的 x 檔案”，於是我們決定研究並提出食鹽結晶更完整的解釋。



圖一：食鹽 X 結晶圖

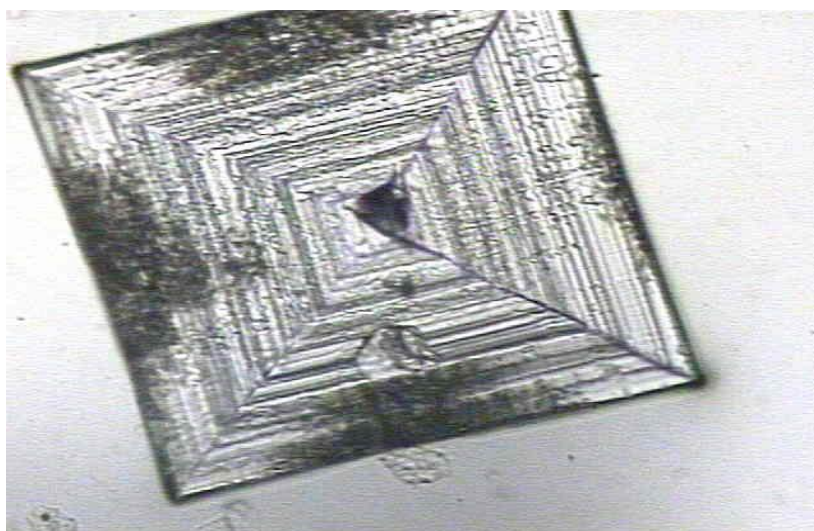
以下是結晶與課程相關的單元。

表一

科目名稱	年級	內容	作品應用部分
基礎化學	高一	溶解度	物質的溶解度
		沉澱反應	結晶過程
選修化學	高三	晶體	離子晶體的形狀

貳、研究目的

我們使用的物質為食鹽 NaCl ，來研究食鹽結晶的形成機制，食鹽可以溶於水，降溫後會有大量的物質溶解出來，而且有方正的結晶形狀。以此物質研究結晶如何形成晶形的原因，並利用此機制完成食鹽的大結晶，也研究中間 X 條痕、口形以及完整沒有位錯是如何生成的。並且和另一份報告作比較，解釋位錯的原因。(如圖二)



圖二：食鹽結晶放大圖

參、研究設備及器材

一、使用器材：(參閱表二)

表二 使用器材

研究設備	數量	備註
溫度計	2	
燒杯	3	250ml 、50ml 、25ml
攪拌棒	2	
百利箱	2	作為封閉的養晶環境
培養皿	20	作為晶體養晶場所
量筒	2	測量加入的物質體積
攝影機	1	拍攝結晶生長過程
腳架	1	
複式顯微鏡	1	觀察結晶體
除濕機	1	製造乾燥環境

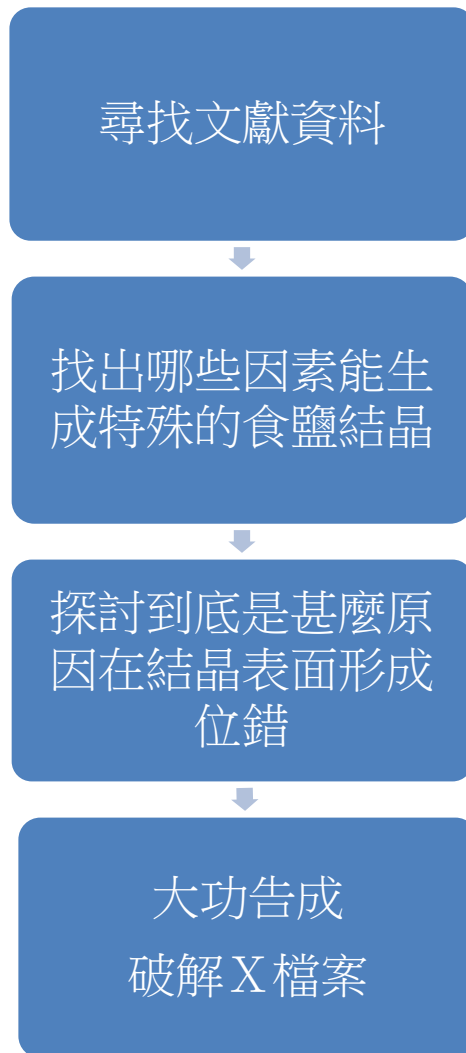
二、使用藥品：(參閱表三)

表三 使用藥品

研究藥品	數量
氯化鈉(NaCl)	2kg
氯化鎂	50g
氯化鈣	50g
酒精	100ml
丙酮	100ml
正己烷	100ml

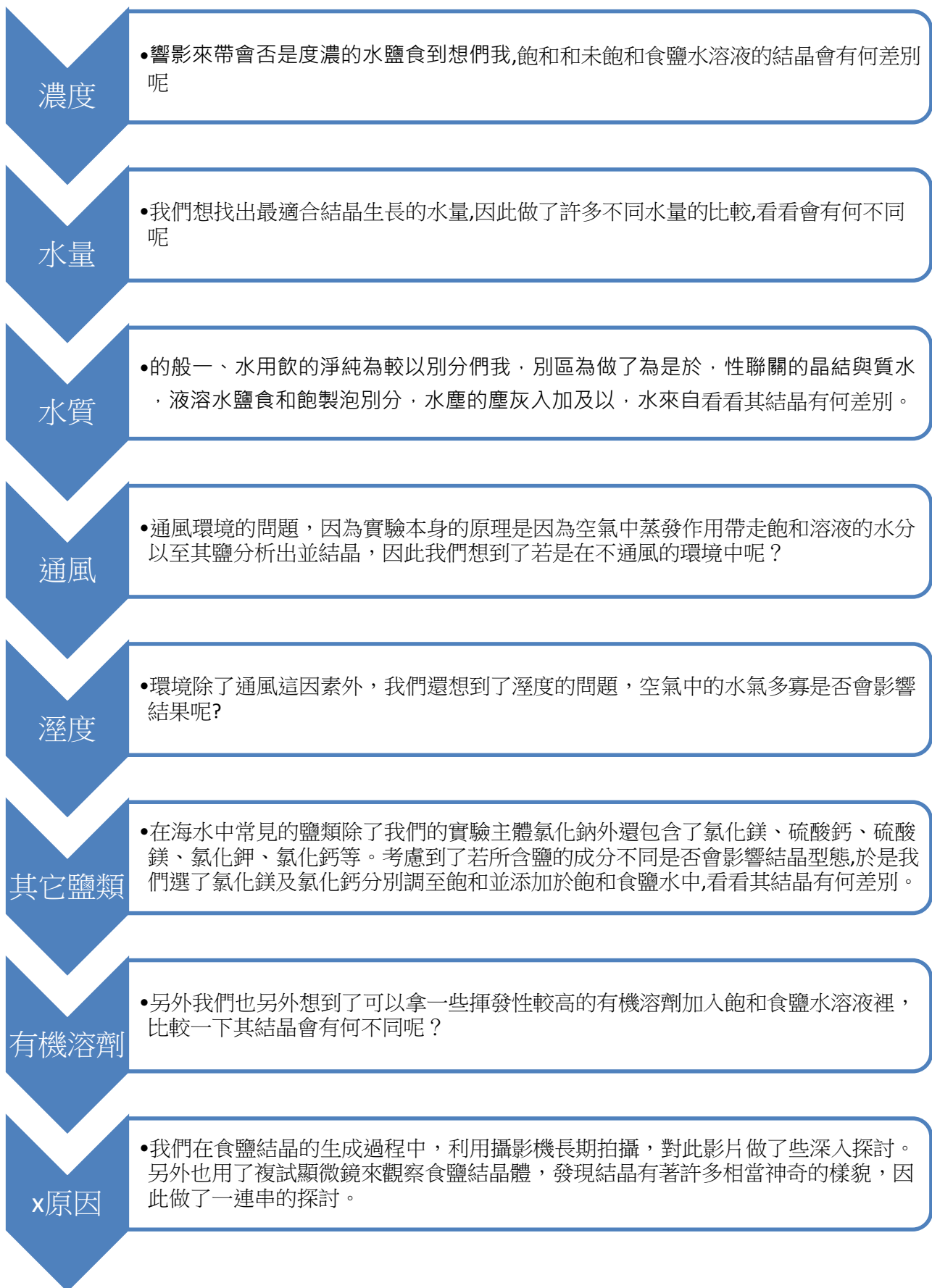
肆、研究過程或方法

一、研究過程



表四 研究步驟

由於在自然界中，因為濃度、水量、水質、濕度等等的條件持續在變化，很難達到一個理想的結晶狀況，也因此我們想要研究食鹽結晶的變因，藉此推估理想的食鹽結晶要在何種情況下才可生成。我們的實驗步驟如下：

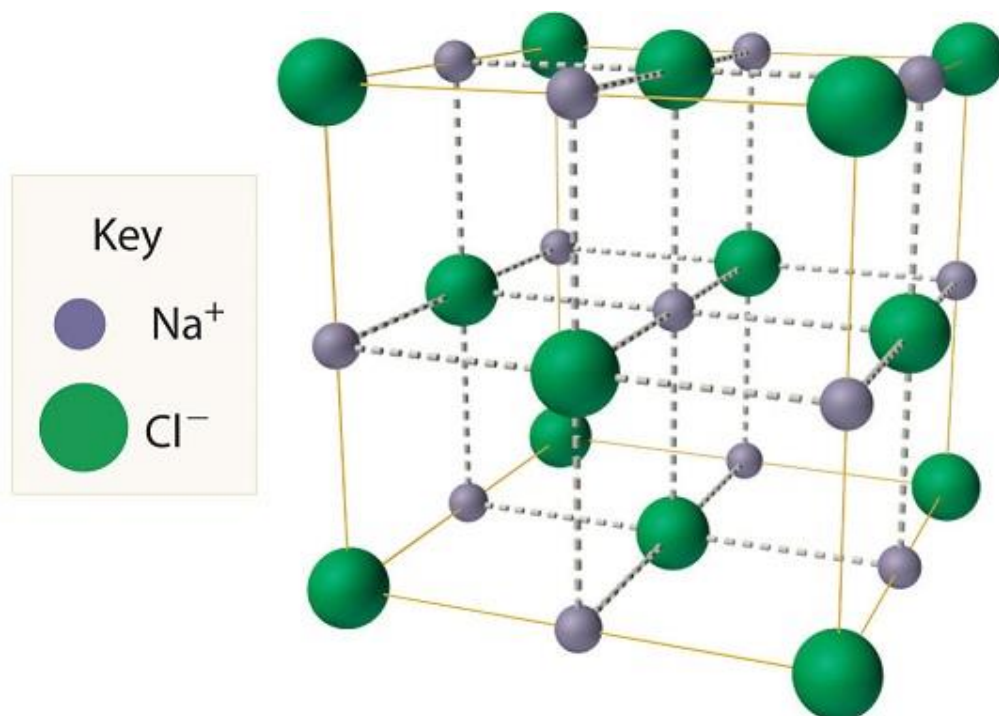


表五實驗步驟

結晶是指由飽和的溶液中經由沉澱或是蒸發，所形成的晶體構造，結晶主要可分為以下七種

1. 三斜晶體：三結晶軸互相斜交。其長度均不同。
2. 單斜晶體：三結晶軸均不等長，其中兩軸互相斜交，但皆垂直於第三軸。
3. 斜方晶體：三結晶軸均不等長，互相垂直。
4. 正方晶體：三結晶軸互相垂直，其中兩軸等長，另一軸不等。
5. 三方晶體：等長三軸互相傾斜，且傾角相等。
6. 六方晶體：三軸等長，且相交成 60 度角。另一不等長的軸則與此平面垂直。
7. 等軸晶體：三軸相等，且相互垂直。

根據結晶的構造來看食鹽的結晶則是第 7 種，但是我們所製造出來的食鹽較符合 3 的描述。



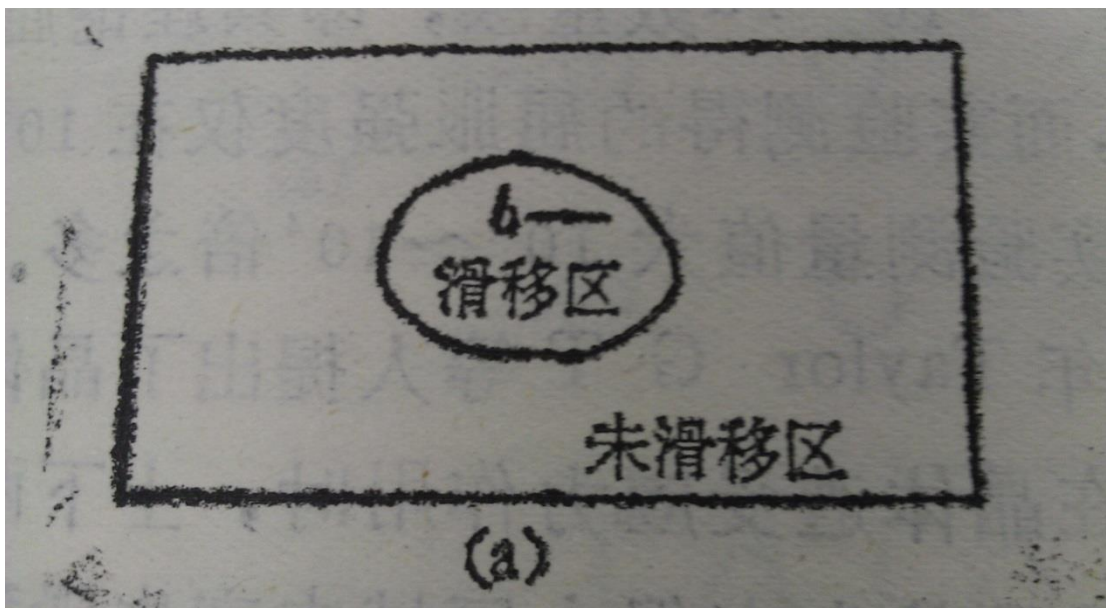
圖三：食鹽結晶結構圖

這是理想的構造（如圖三）



圖四：食鹽結晶圖

實際上生成的的晶體(長：寬：高=0.5：0.5：0.3cm) (如圖四)



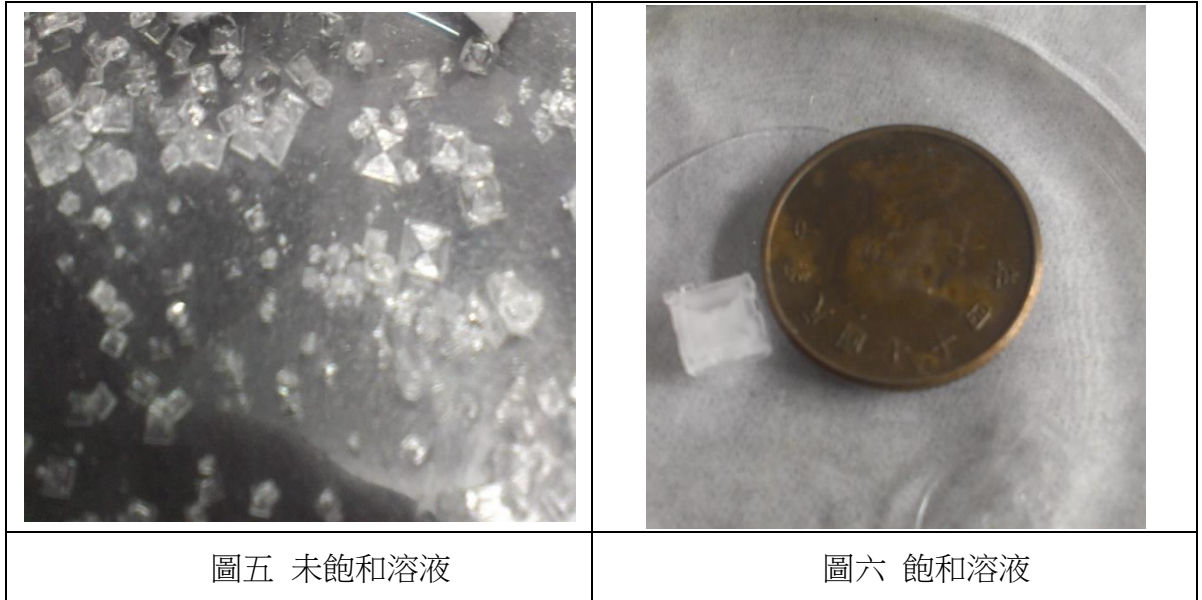
關於 X 的形成，我們覺得也許跟晶體的位錯有關，也就是一種線缺陷，當晶體遭受外力（水壓）影響時，若超過晶體的所能承受的最大強度，晶體的一部份相對於另一部份產生滑移現象，即使外力消失後仍不會恢復。

滑移一般沿著晶體最密集處進行，而滑移面為原子最大的晶面，其發生時並非上下兩層一起發生，而是由其中一區產生滑移後再與未滑移區形成位錯，只要一開始滑移便會一直向前持續直到面的盡頭。(如上圖 b)

伍、研究結果

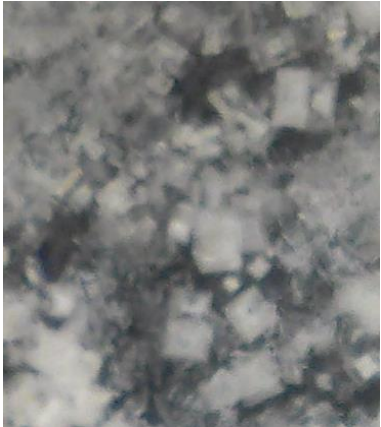
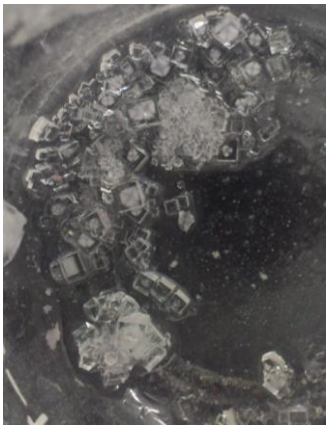
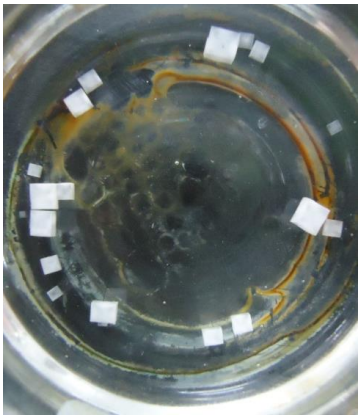

一、各種因素對於食鹽結晶影響的探討

(一)不同濃度對食鹽結晶的生成影響



我們一開始以飽和溶液與未飽和溶液放置兩天作比較。放置多天後可能會有灰塵或其他雜質影響結晶的形成。經實驗結果發現，未飽和溶液的結晶(圖五)較為混亂，不像飽和溶液(圖六)的結晶般方正且大小一致性較高，因此在往後的實驗中我們都以飽和溶液作為基礎。

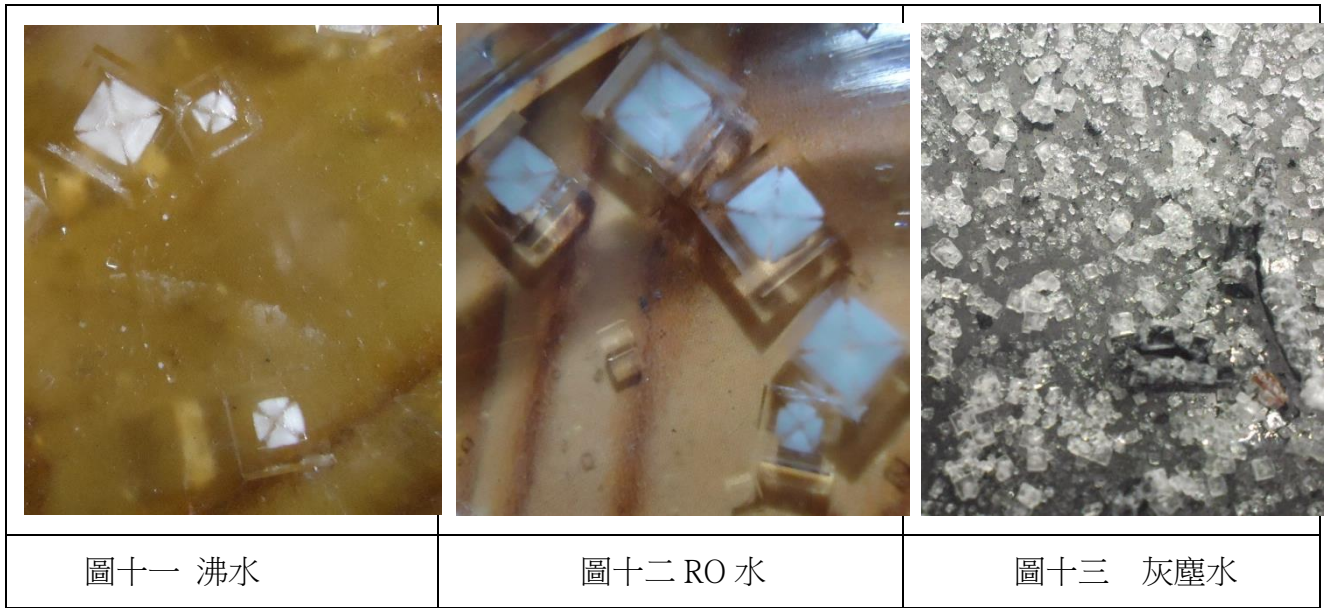
(二)不同水量對食鹽結晶的生成影響

	
圖七 250ml 的飽和食鹽水	圖八 50ml 的飽和食鹽水
	
圖九 25ml 的飽和食鹽水	圖十 10 ml 的飽和食鹽水

經實驗結果發現，250ml、50 ml、25ml 以及 10ml(圖七至圖十)有結晶產生，而其中 50 ml、25ml 和 10ml 有 x 的形成，我們因此可以得知水量太多飽和溶液，會導致結晶較難以形成正方體，而其中又以 25ml 最漂亮且完整，250ml 無法形成 x 且結晶體不完整，50ml 太薄且 x 不明顯，10ml 則結晶較大但不完整，因此水量太少會導致飽和食鹽水無法完整結晶。我們依此實驗結果可判斷 25ml 的水量較適合飽和食鹽水結晶生長，因此在往後的實驗中我們都以 25ml 的水量作為基礎。

另外我們也觀察到 x 剛開始由小顆粒形成，過數日之後便整個大顆粒也有 x 的形成，再過數日後發現他上下表面都呈平滑面，但是 x 明顯的在結晶體中了，是個相當有趣的現象，因此結晶體在形成 x 後還是持續的再生長

(三)不同水質對食鹽結晶的生成影響



經實驗證實，以沸水(圖十一)泡製的溶液之結晶周圍較清澈透明，且中間較純白，雖然三者中間皆為白色，但其結晶透明部分較其他二者為多；而 RO 水泡製的溶液(圖十二)，除前面所提白色部分多寡的差別外與沸水幾乎無異，所以我們在接下來的實驗中以 RO 水為溶劑；而關於加入灰塵(圖十三)使其看起來髒髒的塵水方面反而較讓我們意外，原以為它的結晶會灰灰的，但沒想到只是生長速度慢很多、結晶較小，雖然還是白色但幾乎沒有透明的地方了，仔細觀看發現有些結晶正中心有像是沙粒的黑點，卻也沒影響到之後結晶的顏色。因此我們覺得，水質清澈與否對於結晶的乾淨度有一定影響，但若為較大的像是沙粒灰塵等對於結晶的影響反而就沒那麼大了。

(四)不同通風環境對食鹽結晶的生成影響



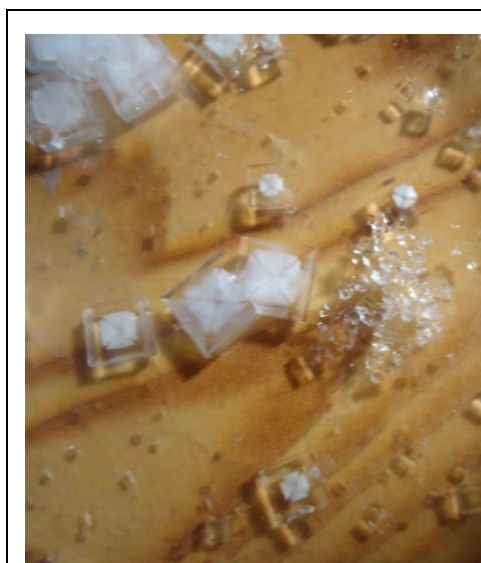
圖十四 通風的環境



圖十五 封閉的環境

經過兩天時間的放置，在窗台邊(圖十四)的兩組都已有明顯結晶了而箱中的另外兩組(圖十五)卻無動靜，因此更加證實了在此實驗中通風的重要性，使我們在往後的實驗中都格外注意通風這方面。

(五)不同濕度環境對食鹽結晶的生成影響



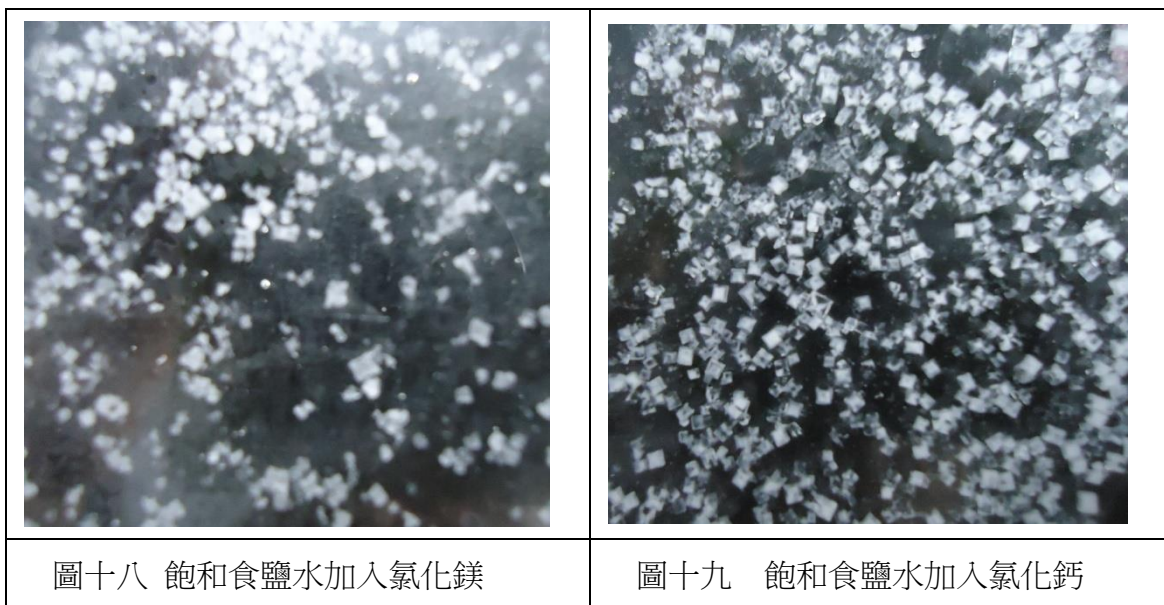
圖十六 未開除濕機



圖十七 開除濕機

依實驗結果發現，在封閉的房間中另外開除濕機(圖十七)，結晶速度明顯增快比未開除濕機(圖十六)的好，半天就形成了正方體結晶，相當的快速。另外我們也觀察到在連日下雨的天氣中，難以生成結晶，但一萬里晴空，出現太陽時，結晶便開始形成了，我們依此實驗結果可判斷溼度會影響飽和食鹽水結晶生長，而較乾燥的氣候蒸發速率也會較高所以較適合結晶的生長

(六)不同鹽類對食鹽結晶的生成影響



觀察其實驗結果後，我們發現兩者的結晶都偏白且中間有X條痕，其中添加氯化鎂(圖十八)的結晶更為白，甚至可說幾乎無透明處，且大小形狀不一，有些方有些則呈顆粒狀，方形結晶的中間會有X形成但因結晶過白而不太明顯；而添加氯化鈣的食鹽結晶(圖十九)，與添加氯化鎂的結晶相較起來長成較快且也較為工整，透明處較多，有些甚至不太多白色的地方，而其共通點是都有X形成。而添加這兩種鹽類的結晶都普遍長得多而小，不像一般食鹽結晶可到邊長 $0.3 \sim 0.5 \text{ cm}$ ，大概只及一般結晶的 $1/15$ 而已，經實驗結果得知添加了氯化鎂及氯化鈣的食鹽水溶液其結晶較小。

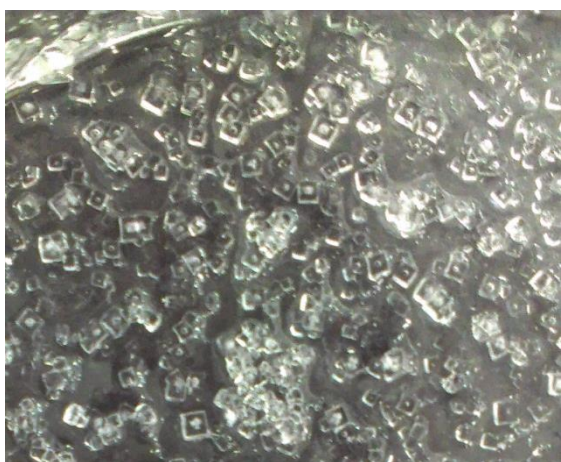
(七)不同有機溶劑對食鹽結晶的生成影響



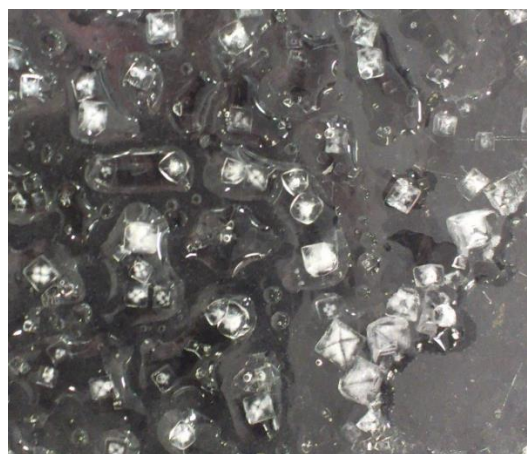
圖二十 飽和食鹽水加入酒精



圖二十一 飽和食鹽水加入丙酮&酒精



圖二十二 飽和食鹽水加入丙酮

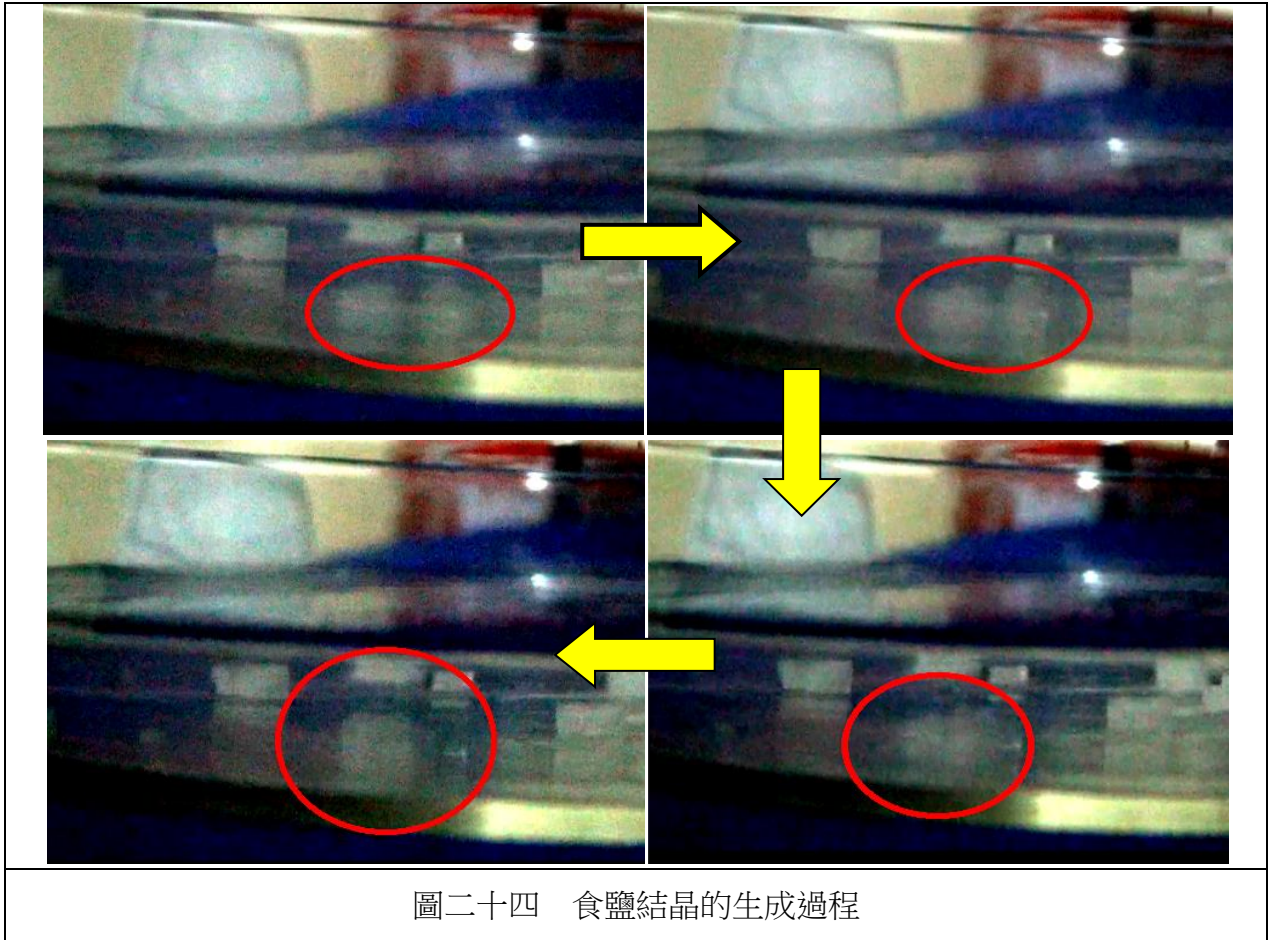


圖二十三 飽和食鹽水加入正己烷

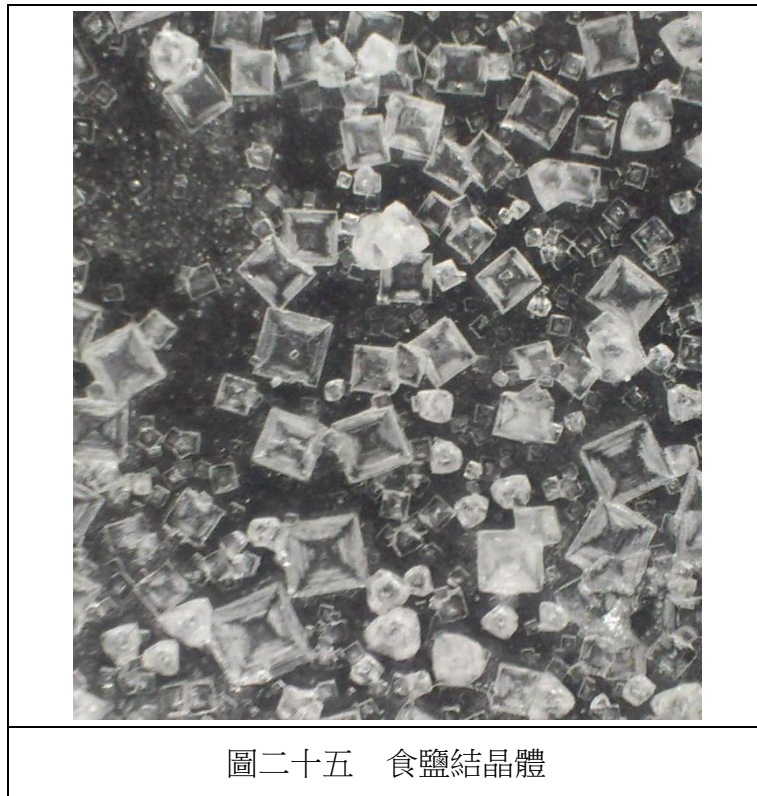
依食鹽結果發現均有白色結晶形成，且均有 x ，但數量都不多，我們在其中發現添加正己烷(圖二十三)會導致 x 的中心偏離中央，而丙酮初期形狀不一定，至中期後才出現 x ，酒精的 x 中心成透明純淨的圓形，結晶較丙酮成功(表面呈 x 較多)，而丙酮加酒精則形成 x 的結晶又更少了，以上四項的共同特徵是結晶體形狀較不固定，常形成一些奇型怪狀。我們依此實驗結果可判斷加入有機溶劑較不適合，且會對 x 的形成產生影響。

二、X 的生成原因

我們在食鹽結晶的生成過程中，利用攝影機長期拍攝，意外的拍攝到了一些有趣的現象，因此我們就開始對此畫面開始做了些深入探討。

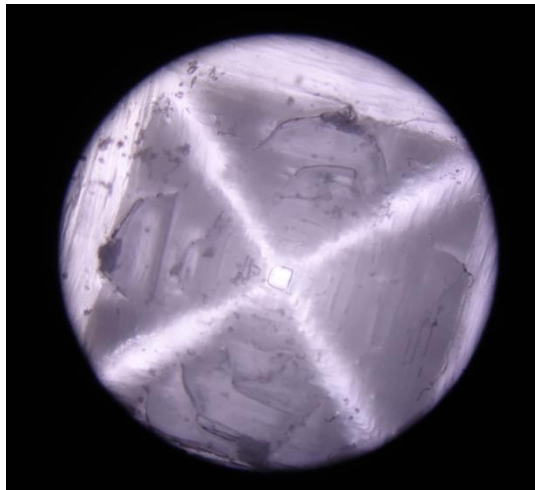


依此分割畫面(圖二十四)可得知食鹽結晶是在水底下先成白色霧狀物質，然後與臨近的相同白色霧狀物質做結合，兩個物質緩緩靠近成單一個體，然後停滯在一處，開始形成了結晶體，另外我們也能依此畫面判斷結晶時由外長到內，緩緩形成食鹽結晶體。

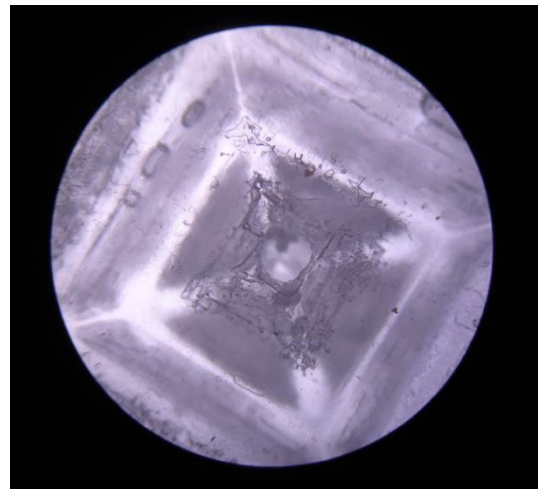


我們在結晶實驗結果中發現有結晶成此現象(圖二十五),結晶體中間成凹陷且成透明狀, x 很明顯的只長外圍, 因此可以判斷結晶體是由外向內長。

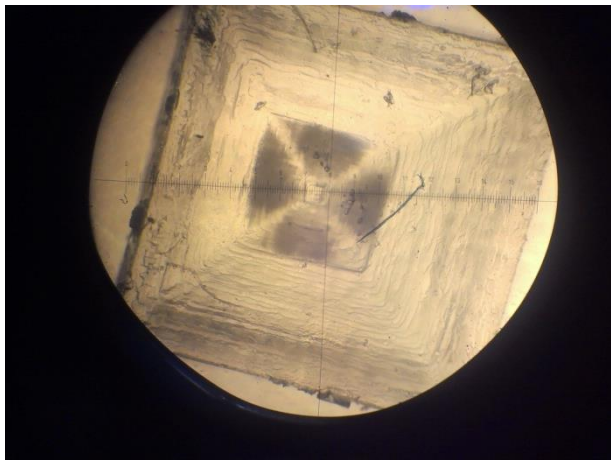
陸續形成完整結晶後, 我們開始對於那些小小結晶的樣子有的相當高的好奇, 因此用了複試顯微鏡來觀察, 意外發現結晶的不管上面或下面都有著許多相當神奇的樣貌, 因此我們就開始做了一連串的探討。



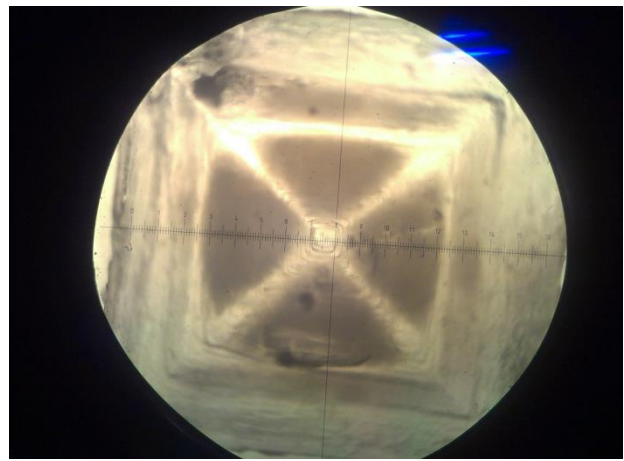
圖二十六 X食鹽結晶體的正面



圖二十七 X食鹽結晶體的反面



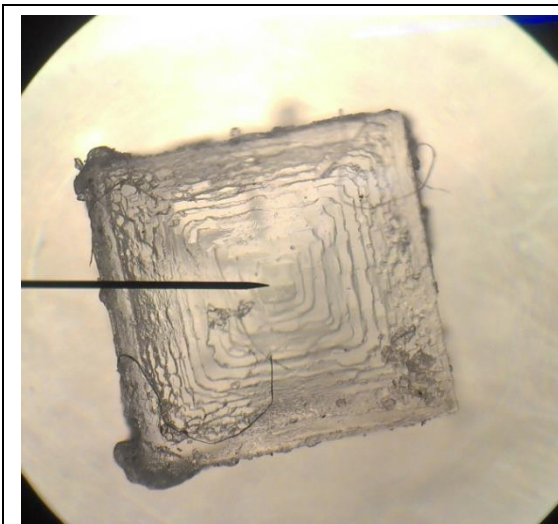
圖二十八 X食鹽結晶體



圖二十九 X食鹽結晶體

我們先拿了有形成X的白色食鹽結晶體做觀察，在觀察數個表面有X的結晶體後(圖二十六、二十七)，我們發現結晶的中央都有個小方圈(口形位錯)，不管正面反面的可以看得到，另外可以看到有條明顯的條痕就從這個小方圈往結晶體的四個角擴散，兩個對角線交叉，形成一個X，

接著我們觀察在白色正方體結晶外還有一個透明純淨的外圍包覆的食鹽結晶(圖二十八、二十九)，可以看到X依舊沿著中間的小方圈繼續擴大生長，延伸到結晶體的四角，形成一個較大的X。

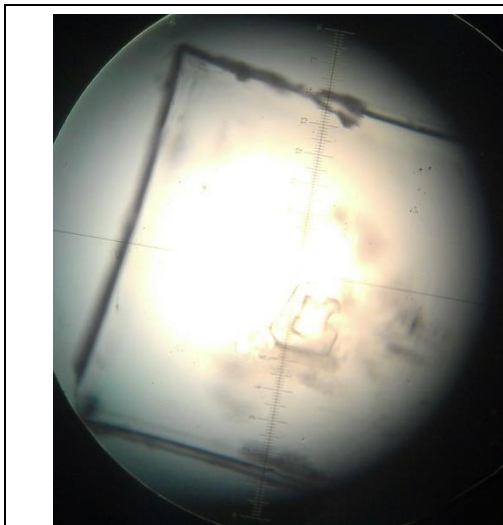


圖三十 口形位錯的結晶體

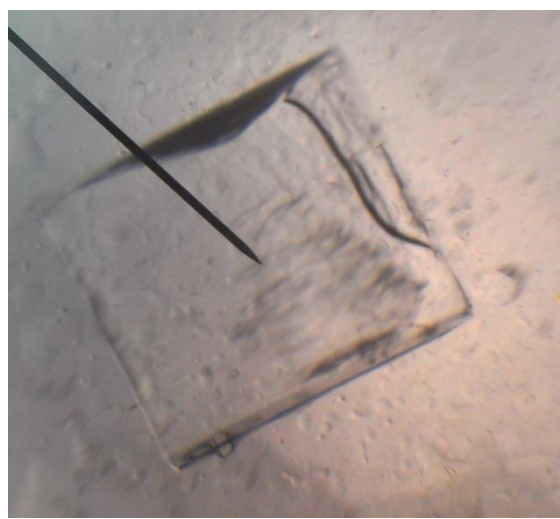


圖三十一 口形位錯的結晶體

我們對於口形位錯的存在感到相當驚奇，因此我們找了沒有形成X的食鹽小結晶來觀察(圖三十、三十一)，觀察了數個沒有形成X的食鹽小結晶後，我們發現口形位錯形成在結晶的中央，且周圍有一層一層堆疊的的結晶層。



圖三十二 未形成任何位錯的結晶體



圖三十三 未形成任何位錯的結晶體

接著我們認為因水壓影響結晶程度大，所以再找出 250ml 的結晶，看起來未形成任何位錯，使用顯微鏡觀察發現並沒有任何位錯產生(圖三十二、圖三十三)。

陸、討論

根據我們針對各項操作變因所進行的反覆實驗我們歸納出各類操作變因對結晶的影響

一、各種因素對於食鹽結晶影響的探討

(一)不同濃度對食鹽結晶的生成影響

我們發現飽和食鹽水的結晶較未飽和食鹽水方正，且大小一致性較高也較為完整，結晶速率比較快。探討原因在形成結晶需要達到飽和溶液後，水分蒸發結晶才會形成，而未飽和需要較多的時間形成飽和溶液，灰塵以及其他雜質會影響結晶的狀態。

(二)不同水量對食鹽結晶的生成影響

經實驗結果發現，250ml、50 ml、25ml 以及 10ml 均有結晶的產生，250ml 及 50ml 結晶體較細小而破碎，10ml 結晶體則面積較大但較薄且不完整，因此是以 25ml 為最佳的水量，可因此而判斷其水量太多或太少都會影響著結晶的生成。水量的多寡最主要的是水的表面張力以及重力作用，水量太少表面張力不夠形成的結晶較薄，水量過多重力擠壓結晶也較不大。

(三)不同水質對食鹽結晶的生成影響

觀察之後，我們得知了沸水所生成的結晶和自來水所形成的結晶差不多，兩者結晶體都長得相當完整，至於塵水，結晶明顯得比前面兩個小，結晶呈灰白色，可因此判斷雜質會影響結晶的生成，因此食鹽結晶需要乾淨的水質較能完整形成。

(四)不同通風環境對食鹽結晶的生成影響

經過此實驗，可以因此瞭解到生成結晶的過程需要通風的環境，通風也是相當重要的因素，在封閉的環境裡難以結晶。由於結晶需要在飽和溶液後再蒸發水分，所以在通風良好的環境蒸發才會順利進行。

(五)不同濕度環境對食鹽結晶的生成

此實驗結果使我們瞭解到環境中溼度也多多少少影響著結晶的生成，連綿細雨好幾天的天

氣，環境中的溼度因此提高，使結晶過了一個多禮拜都難以生成，相反的開著除濕機的環境，則一天多的時間就有結晶的產生，溼度越低蒸發越快，可因此判斷溼度也是影響著結晶生成的一大因素。

(六)不同鹽類對食鹽結晶的生成影響

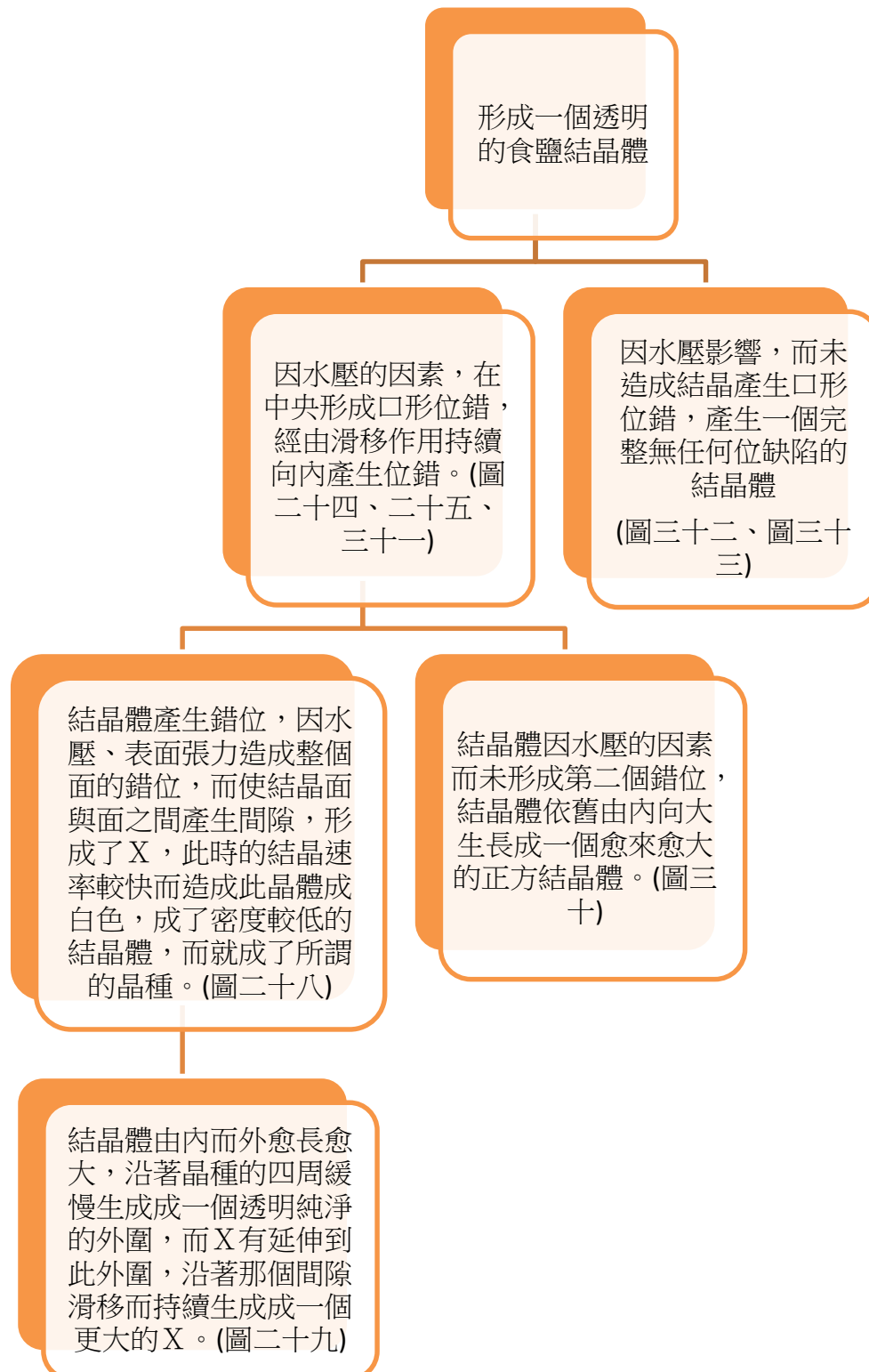
加氯化鈣的結晶較添加氯化鎂的結晶方正且完整，但較一般結晶小而白，且生成速度較氯化鎂為快。至於添加氯化鎂的食鹽水，結晶也是白色，但是結晶似乎會伴隨著時漸漸變小。兩者生成的狀況都很密集卻都不大，依食鹽結果我們可知道加入鹽類對於食鹽結晶生成X沒有任何幫助，因此可判斷食鹽水可不必加任何鹽類。

(七)不同有機溶劑對食鹽結晶的生成影響

飽和食鹽水加揮發性較高的有機溶劑，如酒精，生成的結晶跟一般的結晶差別並不太大，皆為中間為白四周為透明，但結晶速度較一般的快，但X較不明顯，形狀也較不固定。丙酮加飽和食鹽水，其結晶較為細小但方正，有X形成的結晶則較少。至於添加正己烷，其整體結晶較白，外圍透明部分也略顯白，其產生的結晶構造和酒精相似，依食鹽結果我們可知道加入有機溶劑對於食鹽結晶生成X沒有任何幫助，因此可判斷食鹽水可不必加任何有機溶劑。

二、X 的生成原因

由顯微鏡觀察的結果我們推論出以下結晶生成的狀況：



表六 X 的生成原因

柒、結論

我們在實驗中分別以濃度、水量、水質、環境、添加不同鹽類、添加有機溶劑等因素來探討，而其中環境的因素最能改變其結晶速率、結晶大小甚至於結晶的形狀，我們也得到一結論——要形成最漂亮、且較多 X 的結晶其最佳條件為飽和食鹽水 25ml 且無添加物、環境乾燥、並於通風之地養成，而幾乎沒有 X 位錯的環境為 250ml 的水量。

至於在食鹽結晶體上的 X 條痕我們得到的結論是因為位錯的關係，也就是一種晶體的缺陷，當初期的結晶形成時，會先形成一個透明結晶體，會受水壓的影響，而使結晶在正中心出現一個口形位錯，那便是造成 X 的前部曲，在形成口形位錯後，根據滑移的基本特性，會一直持續滑移直到面的盡頭，此時便形成我們所觀察到的結晶上一圈一圈的方框，在實驗中我們也有做出只有方框而沒有 X 的結晶，因此推論有口形位錯並不一定會形成 X 條痕，造成 X 的主因是因為結晶時各面受力的不同，此時結晶受到了水的壓力，進而發生了另一個位錯——由小方圈的四個角向外呈直線持續滑移到面的盡頭，也就形成最終我們所看到的方框加上 X 條痕了。另外結晶也會因水壓的因素，而未造成結晶產生口形位錯，產生一個完整無任何位缺陷的結晶體。

由於半導體材料最主要的物質為固體，許多製程方法也會產生結晶，故結晶的形狀跟半導體有著相當密切的關係，因此我們期望了解結晶體的錯位以及其中的形成原因，再討論其物理以及化學性質，希望能對於半導體產業能有相當程度的幫助，可以運用於半導體矽的結晶，在研究結晶錯位後，也許可以增進半導體的特性。

捌、參考資料及其他

1. 結晶學(民 80)。徐寶琨，閻衛平，劉明登。吉林大學出版社
2. 結晶學(第 3 版) 江本勝[日] 世界圖書出版公司 2000 年 06 月
3. 高中基礎化學一 葉名倉 南一出版社 2014 年 1 月
4. 高中選修化學上 葉名倉 南一出版社 2014 年 1 月
5. 結晶化學導論 錢逸泰 中國科學技術大學出版社 2005-08-01
6. 化工結晶過程原理及應用 葉鐵林 北京工業大學出版社 2006-4-1
7. 食鹽結晶的 X 檔案。台中市立大雅國中。第四十五屆中小學科學展覽會
8. 晶采世界。高雄市立高雄高工
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033110010312.pdf>
9. 鹽巴結晶。國立大里高中
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2007/03/2007033022472200.pdf>

【評語】 040204

針對食鹽探究結晶機制，對大食鹽單晶的培養頗具心得。可惜沒有將化學的微觀特質與養成晶體的量化結構數據結合，不然，亦可往結晶工程方面探究。