

# 利用明礬沈底晶體研究單晶的成長 再向單晶體挑戰....

國中組 第三名

縣市：高雄市

校名：高師大附中

作者：嚴婉禎、鮑可軒

趙鴻、陳威宇

指導教師：蕭淑娟、許麗雪



嚴婉禎（照片中右側帶眼鏡的女生）我目前就讀於高師大附中國中部二年級，之前為本校國小部學生。我從小六便開始參加科學展覽，都榮獲佳績。此外，我對於寫作、音樂及電腦方面都頗有興趣。希望將來能參加國際性的科展活動，擴充更多的科學知識。

鮑可軒（照片中左側沒帶眼鏡的女生）我出生於台北市，因為父親工作的關係，後來全家遷至高雄市，就讀於高師大附中國小部，目前為國中部二年級學生。喜好研究自然科學，以及閱讀文藝作品，平常的休閒活動是彈鋼琴及游泳。

趙鴻（照片中左側沒帶眼鏡的男生）我是一個單純快樂的男孩，從高師大附小到附中，我的童年，少年足跡遍及校園。我愛電腦，今年幸運的加入青梅竹馬的同學所作的"單晶研究"，體驗了鏗而不捨，分工合作以及良師指引的重要，我們得獎了，努力有得。

陳威宇自傳（照片中右側帶眼鏡的男生）我畢業於高師大附小，現在就讀於國中部二年級。小學六年級參加全國科學展覽競賽物理組獲得全國第一名，國一獲得高雄市科展物理組第二名，國二更上一層獲得高雄市科展物理組第一名，全國第三名。在準備科展的過程中，我得到了一個寶貴的經驗 --- 「努力不一定會成功，但成功一定要努力。」

**關鍵詞：明礬、單晶、晶體、顯微**

## 一、研究動機

我們研究晶體成長已經有五年的时间了，我們的研究和其他研究晶體的科學展覽作品不同之處在於 --- 我們專門研究單晶的成長，而且只研究明礬單晶的成長，這幾年來也都有獲得不錯的成果及成績。明礬單晶非常的美，這是剛開始時這個主題吸引我們的原因 --- 它的形狀很漂亮、外型很規則又富有變化、色澤晶瑩、透明，非常迷人；再加上它原料取得容易、沒有毒性、價格便宜，而且參考資料豐富，使得我們對這項研究一直都非常地有興趣。

前幾年的研究，我們都以"如何成長出大尺寸的單晶"為目標，並且設法對單晶的結構做仔細的觀察及測量，去年我們發現"沉底晶體"是非常值得深入探討的題材。所謂的沉底晶體是指：晶體成長的過程中，沈積在容器底部成長的晶體。這一類的晶體，外型大都呈平坦的六邊形（或切角三角形），形狀規則，單晶結構完整、良好（色澤晶瑩、透明）。尤其是平坦的特性，使我們可以用顯微鏡對晶體的結構進行精密的觀察及測量，讓我們能做更仔細的定量研究，這在科展的研究深度上，是一大進步。

我們去年的研究，雖然曾經對沉底晶體的成長方式提出一些粗淺的解釋，但是仍然還有不少疑惑。今年我們除了繼續深入探討之外，還希望能對晶體的成長進行"動態觀測"，亦即希望能在顯微鏡之下"直接"觀察和測量晶體的成長，以彌補過去只能在晶體成長完成之後、進行靜態觀測之不足。這個目標將使得我們必須發展更好的顯微鏡影像擷取、影像儲存及影像處理的技術、發展更精確的控制晶體成長的技術，以及研讀更多的有關晶體結構及成長的資料。這些對我們來說都是高難度的挑戰，如果可以克服其中的困難，我們就可以直接觀察、記錄、測量及探討晶體的成長，這在我們的研究中又將是一次非常重大的突破及進展。

## 二. 研究目的

1. 學習晶體及單晶的知識。
2. 研究沈體晶體的形狀及成長。
3. 利用沈底晶體的成長研究單晶的成長方式。
4. 學習顯微鏡影像擷取、影像儲存及影像處理的技術。
5. 培養對日常生活中事物之觀察與思考、並能進一步深入研究、探討的態度。
6. 學習如何做實驗及撰寫報告。
7. 學習科學的方法及態度。

## 三. 研究設備及器材

一般性器材：溫度計、濕度計、滴管、計時器、放大鏡、鑷子、線。

準備實驗 --- 製作沉底晶體：250 c.c. 燒杯、飽和明礬溶液、鑷子、培養皿。

研究-1. 沉底晶體的厚度與面積之關係實驗：投影機、游標尺、電子秤。

研究-2. 沉底晶體的立體復原實驗（利用沉底晶體成長大塊晶體）：沉底晶體、飽和明礬溶液。

研究-3. 沉底晶體的直立成長實驗：沉底晶體兩塊、飽和明礬溶液、瓶子、鑷子、玻璃片。

研究-4. 沉底晶體的顯微觀測實驗：顯微鏡、載玻片、顯示器、電腦、影像處理軟體、CCD取像器(NT\$ 3000元)、靜態影像擷取卡(NT\$ 3000元)。

## 四、實驗

### (一)準備實驗——製作沉底晶體

#### A.研究方法及過程

準備一杯飽和明礬溶液，讓它靜置幾天，慢慢蒸發，需注意儘量防止灰塵掉入。當觀察到杯底有晶體析出時，挑出幾顆形狀完整的晶體；再準備第二杯飽和明礬溶液，把挑出來的晶體放入杯中，靜放幾天讓它慢慢的成長。如果杯底有別的小顆晶體形成時，要把它們拿出來，以免影響原本晶體的生長。當晶體長到 5 mm 以上之後，把它們拿出來，放到顯微鏡下觀察它的形狀，並做記錄。

#### B.實驗結果

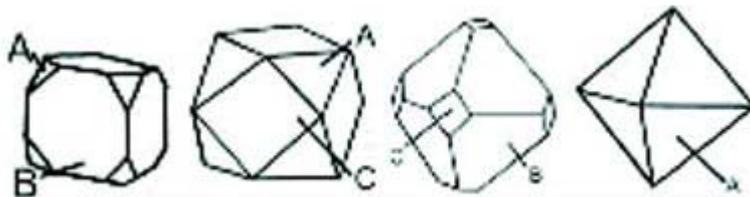
我們所長出來的沉底晶體大部份呈六邊形的扁平狀，少部份是四邊形。



#### C.實驗結果討論

##### 晶體成長的討論

1.根據 HOLDEN AND SINGER："CRYSTALS AND CRYSTALS GROWING" 的說明，明礬晶體的成長可分為下圖中由右至左的四個階段。



2.通常稱第三階段為理想晶體，第四階段為完整晶體。

3.明礬晶體的四個階段的連續變化，是由第一階段的切角正方體開始的，其中八邊形面的成長速率比三角形面的成長速率快了許多，因此在成長的過程中，相對的看起來會覺得 --- 三角形面逐漸長大，同時八邊形面（相對的）逐漸縮小為正方形，晶體成長進入第二階段。

4.在第二階段中，正方形面快速的縮小，致使第二階段中的三角形面的三個頂角被拉開而成為六邊形，晶體成長進入第三階段。

5.最後正方形面長成一個點而消失，留下三角形面，成為第四階段的完整正八面體。

### (二)沉底晶體的厚度與面積之關係實驗

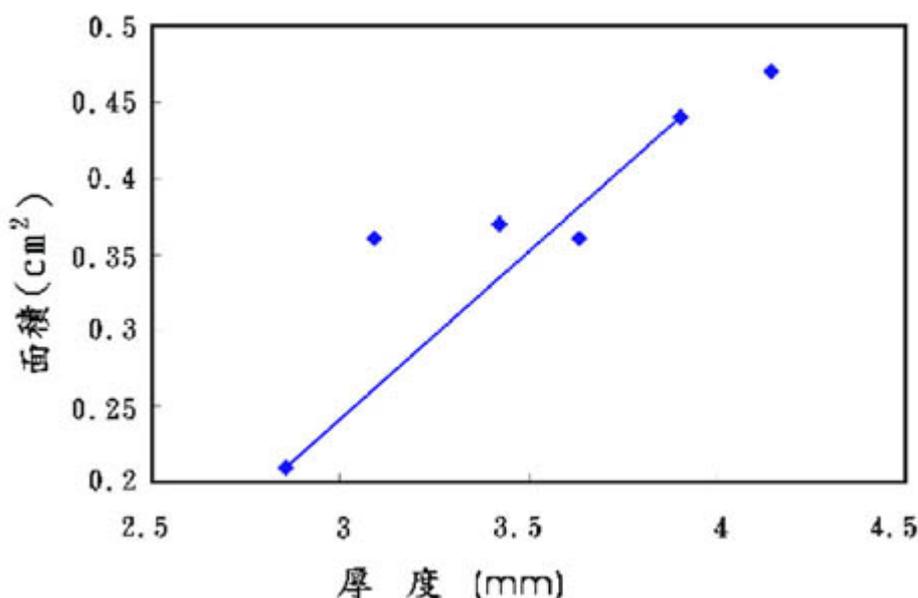
## A.研究方法及過程

在這個實驗中我們想了解的是：沉底晶體的成長有沒有一定的規則？如果有，這個規則會由哪種性質表現出來？經過討論之後，我們想到：沉底晶體的扁平狀成長可能暗示我們沉底晶體在成長時爲了維持扁平形狀，它的水平成長速率和垂直成長速率可能有一定的關係。這種關係可能會由沉底晶體的厚度和面積顯示出來。因此我們想到：測量沉底晶體的厚度和面積，研究看看他們之間有沒有關係？

## B.實驗結果及討論

我們把量測的數據（厚度和面積）繪製成圖，橫軸爲厚度，縱軸爲面積。大部分的數據幾乎在一直線附近，斜率爲21.9（斜率的單位爲  $\text{mm}$ ），也就是說 --- 沉底晶體的面積和厚度可能是成線性的關係。

沉底晶體的厚度與面積關係圖



這個實驗結果告訴我們：沉底晶體的成長有一定的規則，水平和垂直方向的成長速率有某一關係，使得沉底晶體一直維持特定比例的扁平形狀；不會長成細細長長的柱狀，也不會長成又大、又平、又扁的盤狀。這個"面積和厚度的比值"--- 21.9 可能意味著：沉底晶體的水平成長速率爲垂直成長速率的 4.7 倍。這個比例維持了沉底晶體爲扁平的形狀，而且會繼續扁平的成長。我們的沉底晶體有大到將近 2 cm 的樣品，它們都會繼續維持原有的扁平六邊形的形狀。

我們認爲：造成沉底晶體水平及垂直成長速率不同的原因可能是 --- 沉底晶體底邊的面被杯底擋住，不能垂直底面、向上下成長，只能向側方做水平成長，側邊的面持續往外延伸，使得整個晶體成爲扁平狀；但是，成長時爲了要維持晶面間的角度不變（晶面角守恆），垂直的方向也必須相對的做某一個比例的成長，因而造成了水平及垂直成長速率之間的比例。這個想法仍需未來做更多的實驗驗證。

我們以後還可以研究：在不同的成長時期（晶體的尺寸不同時），這個"面積--厚度比值"是否會改變。以及，不同形狀沉底晶體的"面積--厚度比值"及"水平--垂直成長速率比"是否相同。

## (三)沉底晶體的立體復原實驗

### A.研究方法及過程

大塊的沉底晶體已經長得相當扁平了，如果把它懸掛放回飽和明礬溶液中，它還會不會長成立體的形狀？它還記不得它原來的樣子？我們將一7 mm、六邊形沉底晶體，懸入飽和溶液中，觀察晶體成長。

## B. 實驗結果

第二天晶體的形狀已經有些改變。一週後，長成第三階段理想晶體的形狀。晶瑩剔透，單晶結構完整良好。恢復成立體的形狀了！



## C. 實驗結果討論

1. 沉底晶體已經很大、很扁平了，還記得原來的樣子！還可以恢復立體的形狀！晶體似乎有記憶！它在杯底受到環境影響而長成扁平狀，一旦回到適合立體成長的環境中又會再長回立體的形狀！
2. 在恢復的過程中，六邊形面長得最快、面積逐漸變小，其他面長得較慢，反而越來越大，最後達到平衡，恢復原來的立體形狀。
3. 我們還觀察到：較大的六邊形面上都呈現角錐狀的成長，各角錐像一層層的梯田。我們猜測：六邊形面較大時，巨觀的看它是整個面垂直於表面成長的，但是在微觀的層次，整個面上是局部、各別成角錐狀成長的。



## (四) 沉底晶體的直立成長實驗

### A. 研究方法及過程

上一節中立體復原實驗的結果一再地刺激我們去探索這個困惑著我們的個問題 --- 為什麼沉底晶體會長成扁平狀？為什麼不會長成立體的形狀？它下方的六邊形面受到杯底的妨礙，不能做立體成長，這一點我們了解。但是，它上方的六邊形面沒有受到任何約束啊！為什麼不長成立體狀呢？為什麼不會長成半顆理想晶體的形狀，而只會長成扁平的形狀？是什麼因素抑制了上方六邊形面的成長？

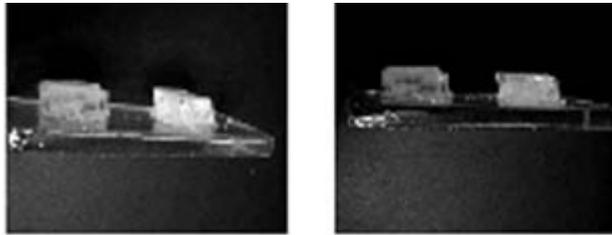
一個可能的解釋為：由於受到重力影響，溶液在杯中的濃度呈現水平層狀地梯度分布，杯底的濃度比較高，越遠離底部濃度就會稍低；因此，晶體就會因為濃度的因素而使得水平方向的成長速率較快。但是我們對這個解釋仍不滿意。我們認為是其他的原因抑制

了上方六邊形面的成長。我們一直想做一個探討這個問題的實驗。經過長久的思索之後，我們想到 --- 讓晶體"直立"著長！把扁平的沉底晶體直立起來，看看它會長成什麼樣子！如果沈底晶體的平面成長是受到溶液濃度水平分佈的影響，那麼直立成長時，六邊形面在不同的水平高度的區域就可能會產生不同的變化。



## B. 實驗結果

經過幾天的觀察，發現晶體一直在長大，長出來的形狀和原先在底部長的形狀是一樣是扁平的六邊形。晶體厚度0.5 cm，寬度約1.1 cm，除了面積厚度持續擴大，仍然保持著扁平六邊形的形狀。



## C. 實驗結果討論

1. 這個實驗非常成功 --- 沉底晶體長成扁平狀，並不是因為它是平放著長的，讓它直立著成長，它仍然長成扁平狀。
2. 不管晶體成長方向如何，若有一面被擋住，它就會長成扁平狀。
3. 沈底晶體底部的面被定型，不能按照理想晶體的成長方式生長，所以它只能換個方式生長。上方的六邊形面長的很慢，有某一種因素抑制了它的成長，使得沉底晶體變為扁平狀。
4. 晶面角守恆定律可能是抑制上方六邊形面成長的原因。

## (五) 沉底晶體的顯微觀測實驗

### A. 研究方法及過程

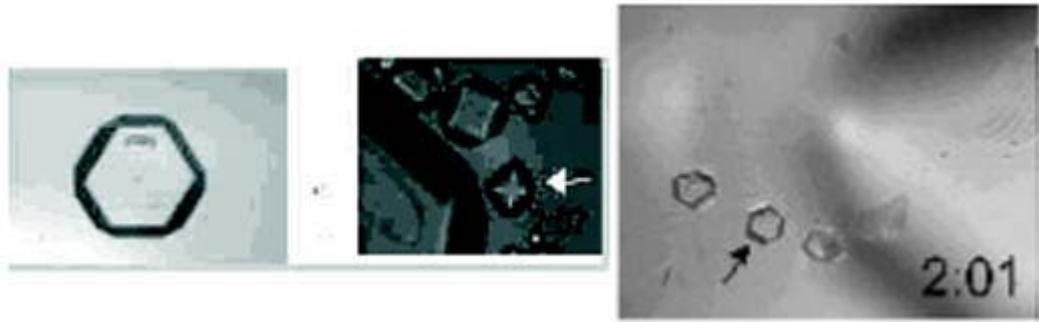
滴幾滴飽和明礬溶液到載玻片上，20分鐘後放到顯微鏡下，尋找獨立的晶粒觀察其成長。用CCD取像器將顯微鏡中影像接到顯示器放大做更仔細地觀察。再用影像擷取卡送入電腦記錄晶體成長的情形。

### B. 顯微鏡下晶體的形狀

顯微鏡下的沉底晶體大都是六邊形，少數是四邊形。顯示液滴中的沉底晶體也是屬於第三階段。

液滴表面也有一些晶粒，它們已經是第三階段的晶體了。由於表面只有一邊有溶液，因

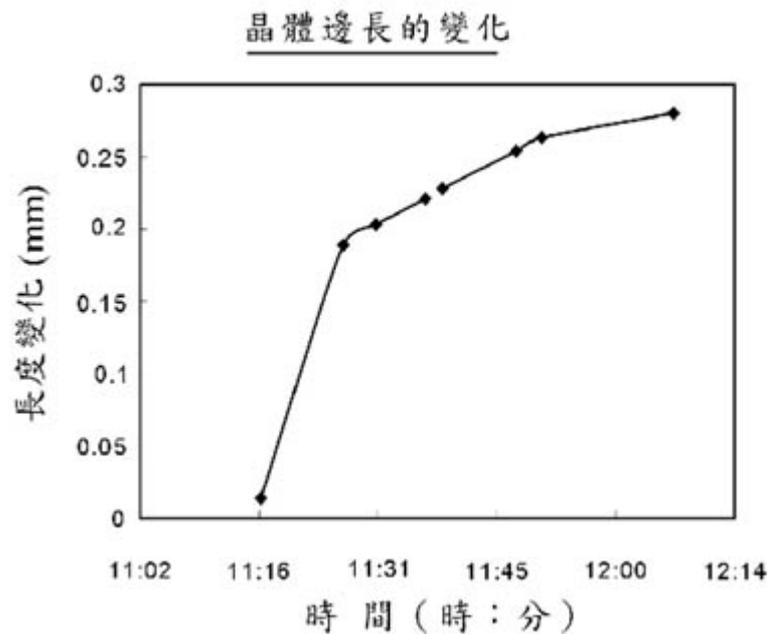
此晶體會長成扁平狀，而且扁平的物體受到液面表面張力較大，較能浮得起來。沉底晶體可能是在表面先長成扁平狀，才沉落到杯底的。圖中晶體的大小類似（0.04 mm），可能是液滴表面晶體的臨界尺寸，再大之後就會沉落了。



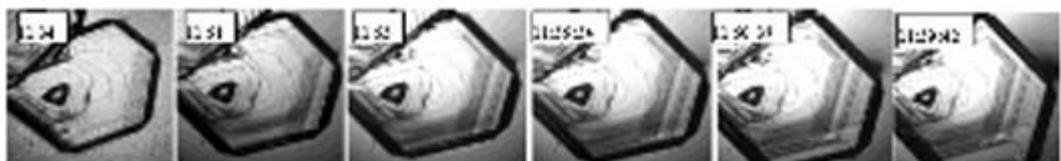
### C. 六邊形沉底晶體的成長



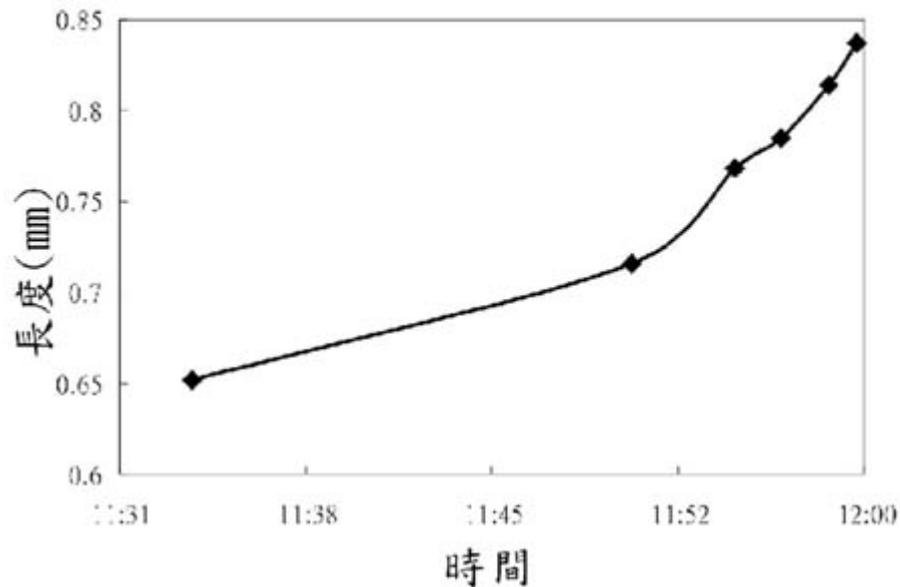
由圖中可看出：晶體邊長的成長速率是越來越慢的。剛開始的成長速率很快，成長速率每分鐘約17.5 微米，可能是由於此時溶液過飽和析出的明礬分子很多，但同時在成長的晶體並不很多，因此各個晶體可以大量吸收分子快速成長。但是到了11:31時，邊的成長速率每分鐘只有 3.5 微米，到了11:37時，邊的成長速率變得更慢了，每分鐘只長了 3 微米，可能是由於越到後期，同時成長的晶體越多，爭食明礬分子的結果，使得大家都長得很慢。



### D. 溶液乾涸時沉底晶體的層狀成長

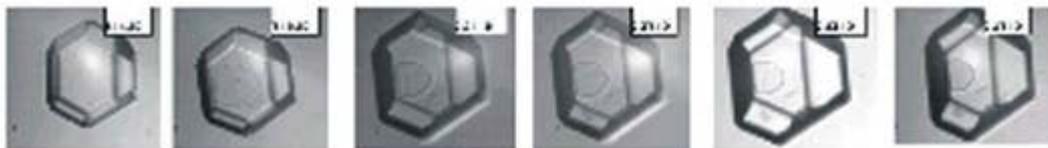


## 晶體層狀成長速率



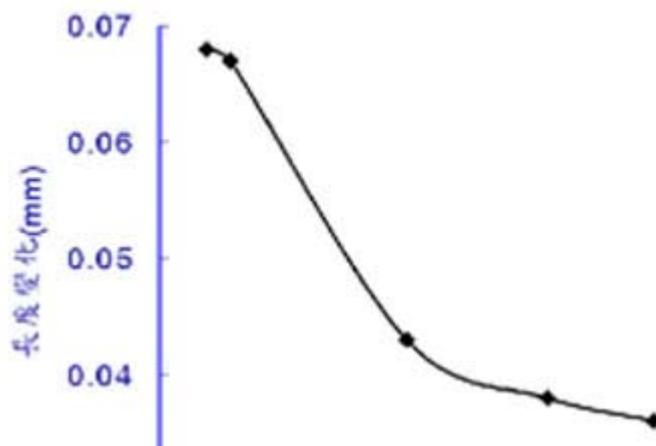
晶體層狀成長的速率是開始時比較慢，到了後來就快了許多。我們推想這是因為：溶液快要乾涸時，和剩餘溶液的體積比起來，溶液蒸發的較快，明礬的濃度急速過飽和，因而使得晶體的成長速率加快。和上個實驗中六邊形沉底晶體的成長對比起來，這是兩種完全不同的成長形式，前一種是越長越慢，這一種是越長越快，這種差異只有用精密的定量量測和分析才能得知，可見得我們的實驗是非常成功的。

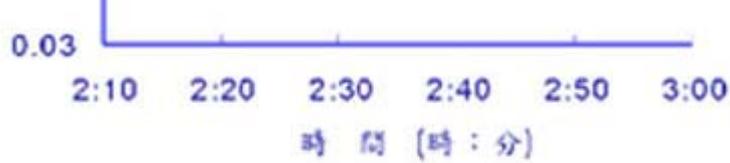
### E. 晶仁成長的實驗（沉底晶體下表面的成長）



我們從圖中可看出：晶仁剛開始縮小時，速率比較快，大約每分鐘縮小1.6 毫米，20分鐘後，縮小的速率就變慢了，大約每分鐘縮小0.2 毫米。我們的推斷是：開始時，晶體體積較小，質量較輕，溶液比較容易滲入下表面，因此晶仁縮小得較快；等到晶體長得較大，質量較重之後，溶液不易滲入下表面，晶仁縮小的速率就明顯地遲緩了。圖形中曲線的趨勢顯示：晶仁最後可能會趨近一個值（在此大約為 0.03 mm）而不再收縮。因此在晶體的面上留下一個成長的痕跡。每一層晶仁的趨近值不同，而在表面上留下層狀的痕跡。我們目前仍然無法了解為什麼每一層的厚度都幾乎相同，可以在以後繼續研究。

### 晶仁成長速率





## 五、結論

我們承襲了去年在沉底晶體的研究中所獲得的啓示，今年繼續對沉底晶體的成長進行四項更深入的研究，希望藉由這些實驗能對單晶的成長有更進一步的了解。

第一項實驗是研究沉底晶體的面積與厚度，發現二者之間成線性的關係，斜率為21.9。這個比例維持了沉底晶體為扁平的形狀，而且還會繼續扁平地成長。這個結果也暗示我們 --- 沉底晶體的成長過程中，有一個因素在抑制它的立體成長，使得它只能長成扁平狀，而且面積和厚度還需維持一定的比例。在這方面以後還需研究：在不同的成長時期（晶體的尺寸不同時），這個面積和厚度的比值是否會改變。以及，不同形狀面的比值是否相同。

第二項研究是沉底晶體的立體復原實驗，我們將一顆 7 mm 大，相當扁平的沉底晶體，懸掛放入明礬溶液中，它居然復原了！長回立體的形狀！回到適合立體成長的環境中，它又會再長回立體的形狀！以後還可以仔細研究晶體由扁平恢復到立體的詳細過程。

在這項研究中還發現到：當明礬晶體的六邊形面較大時，巨觀的看，它是整個面垂直於表面成長的，但是在微觀的尺度下，整個面上是局部、各別成角錐狀的成長。實際的原因仍需進一步研究。

沉底晶體下方的六邊形面由於受到杯底的妨礙，不能做立體成長。但是，上方的六邊形面沒有受到任何約束，為什麼不能長成立體狀呢？為什麼不會長成半顆理想晶體的形狀，而只會長成扁平的形狀？為了探討這個迷惑，第三個實驗是把沉底晶體黏在玻璃片上，讓它直立著成長！結果它從 7 mm 長到 11 mm，仍然還是扁平的形狀！可見得 --- 沉底晶體長成扁平狀，並不是因為它是平放著長的。和立體復原實驗對照起來，直立成長的實驗告訴我們：不管晶體成長的方向如何，若是有一面被擋住，妨礙它的成長，它就會長成扁平狀。因此，我們可以藉由控制面的成長，進而控制晶體成長的方向及形狀，這也是一個可以繼續深入研究的主题。

在去年的研究中，我們只能在沉底晶體成長完成之後、在顯微鏡之下進行靜態觀測，今年我們購置了一個 CCD 取像器及電腦靜態影像擷取卡，希望能對晶體成長進行動態的觀測，做更深入的定量研究。利用這一套設備，我們進行了 --- 顯微鏡下晶體的形狀、六邊形沉底晶體的成長、溶液乾涸時沉底晶體的層狀成長以及沉底晶體下表面的成長等四項觀測，顯示我們可以即時地、長時間地、觀察、記錄、測量、研究晶體的尺寸及成長速率，讓我們能對晶體做更仔細的定量研究，這在科展的晶體研究上，是一大進步。用這種方法研究晶體的動態成長很成功，有許多新的發現，但是也有更多的問題有待深入研究。

今年的研究非常成功，對晶體的成長更加了解、學到了許多有關晶體的知識，了解到很多有關晶體的結構及生長方法，也對固態的物質更加了解。最重要的是 --- 我們對晶體成長更有興趣了！我們明年及以後還要繼續深入的研究！

## 評語

作者從小學開始一直很有恆心與毅力去研究晶體的成長，且著重在單晶的方面，本作品以顯微攝影來觀察晶體(單晶)的成長，並予以計算出成長率，其研究精神與科學態度值得嘉許。

## 六. 參考資料

1. A. HOLDEN AND P. SINGER, "CRYSTALS AND CRYSTAL GROWING", Anchor Books, NY, 1960.
2. 馮端及馮步雲, "晶態面面觀----漫談凝聚態物質之一", 牛頓, 台北市, 1996.
3. 臺灣師大物理系物理教學示範實驗室<<游標尺的使用和讀法>>  
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/indexTree.html>
4. 國立台灣科教館網站：<http://www.ntsec.gov.tw/works.html>
5. 歷屆科展說明書.

民國80年 第31屆 高中組化學科：晶體的吸引力

民國82年 第33屆 初小組化學科：燦爛耀眼的鑽石

民國83年 第34屆 高小組化學科：晶生有道

民國85年 第36屆 高中組化學科：長晶的奧祕

民國87年 第38屆 國中組化學科：你在看我嗎？～晶瑩剔透之美

民國87年 第38屆 高小組物理科：玻璃片中的彩虹

--- 7.6 cm x 2.6 cm大尺寸 單晶薄膜之製作

民國88年 第39屆 國中組物理科（高雄市）：向單晶挑戰

---大尺寸明礬單晶的成長以及單晶成長方式的顯微量測

回到目錄頁 [../Index.htm](http://www.ntsec.gov.tw/works.html)