



# Chemistry

## 探究與實作分享 — 結晶大賽

謝道任 老師

國立科學工業園區實驗高級中學

教育部高中化學學科中心

taotao@nehs.hc.edu.tw



掃描QRcode，  
下載最新電子檔

### 前言

國立科園實中開設選修課「生活化學」已行之有年，在施建輝老師等前輩的經驗傳承與自己的創意融入，承先啓後維持著優良的傳統，是學生選課時相當熱門的一門課！我將「生活化學」的課程內容整理，作品入選102學年度全國高中學校本位特色選修課程教學計畫及實施（普通高級中學課務發展工作圈，2013年11月）。之後微調了部分課程，加入更多不同的元素，再參加教育部普通高級中學課程化學學科中心104年度特色課程徵選（2015年6月），亦獲得不錯的肯定。有鑑於107學年度課綱將有重大改變，選修課的比例將大幅增加，化學等自然科學學科也將注重「探究與實作」。但一般教學現場往往因教師習慣、課程進度的壓力、實驗室管理人員不足等問題，能讓學生做完課綱選編的實驗已屬可貴，更遑論選修課，從無到有原本就不是件簡單的事，所有課程內容必須自行設計安排，教師所面臨的挑戰就更大！很開心有此機會與大家分享，哪怕是一個再簡單不過的小實驗，相信透過一些巧思與包裝，也會激出不一樣的火花，而讓學生充分享受到實驗帶來的學習樂趣與成就感。

高一的選修課程規劃，如表一所示，重點在於培養基礎實驗能力與強調「做中學」的概念，因此一開始進行「實驗室安全」、「濃度配製」等課程，像是驗證各種有刻度的玻璃器皿之準確度、學習利用液體酸（如鹽酸）和固體鹼（如氫氧化鈉）配製溶液，並透過「酸鹼滴定」的方式檢驗濃度的正確性。再來接下來幾次則安排簡單易操作、與課程相關且饒有趣味的實驗，期能讓學生熟悉各種器材，進而具備良好的實作能力。再加上做實驗同時也是「競賽」，透過每次實驗的結果分列名次並累積分數，如此一來會使學生更加投入各項課程。本文將著重在「結晶」，說明如何實施相關課程。



圖一：硫酸銅結晶



表一：高一特色選修課程規劃（節錄）

| 主要實驗內容           | 學習重點                                                                                             | 備註            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| (一)分組、認識化學實驗室及安全 | <ul style="list-style-type: none"> <li>每3人一組，填寫分組資料表</li> <li>「找碴活動」介紹實驗室安全</li> </ul>           |               |
| (二)配藥與稀釋         | <ul style="list-style-type: none"> <li>介紹各種有刻度的玻璃器皿與如何使用及清洗</li> <li>透過「酸鹼滴定」檢驗濃度的正確性</li> </ul> | 確證硫酸的未知濃度     |
| (三)結晶大賽          | <ul style="list-style-type: none"> <li>溶解度、過濾法、花形濾紙摺法</li> </ul>                                 | 結晶重量競賽        |
| (四)疊疊樂大賽         | <ul style="list-style-type: none"> <li>過飽和溶液</li> </ul>                                          | 塔高競賽          |
| (五)煉金術           | <ul style="list-style-type: none"> <li>將銅幣變金幣</li> </ul>                                         | 金幣選美比賽        |
| (六)波以耳的五彩溶液      | <ul style="list-style-type: none"> <li>以校園植物自製酸鹼指示劑</li> <li>比色法</li> </ul>                      | 比對未知pH值溶液的正確性 |

註：高一特色選修課程規劃一學期共16週，合計32小時。

## 結晶大賽開始

### Part 1

結晶種類：硫酸銅、氯化鈉

實驗時間：2節課

相關課程：基礎化學(一) 第一章 物質的組成  
「物質的分離與純化」、實驗一  
物質的分離「結晶、過濾」

特別亮點：一星期慢慢長，結晶大又漂亮

## 一. 硫酸銅結晶

### 原理與概念

定溫、定壓時，一定量溶劑所能溶解的溶質達最大量，形成「飽和溶液」。而此溶解的量則稱為該溶質在該溫、壓下的「溶解度」。於是利用物質之溶解度對溫度變化的差異，先在較高溫度下配製成飽和溶液，待溫度降低，溶解度也隨之降低，多出的溶質便會慢慢析出長成晶體。

### 步驟說明

1. 取未飽和的硫酸銅溶液100 mL，加熱維持在40°C，然後再加入一些硫酸銅固體。

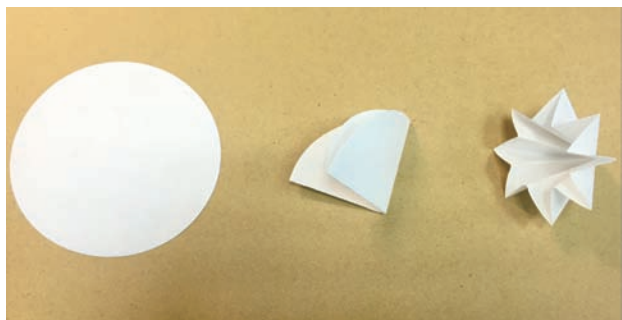
這個步驟不是直接秤取定量的硫酸銅固體溶於定量水配成飽和溶液，上述的方式有幾個好處，學生可了解到：(1)未飽和溶液可再溶更多溶質、(2)溶液中一旦有固體殘留則表示已形成飽和溶液。另外則是可消耗掉實驗室中曾經配好卻沒用完的硫酸銅溶液，例如：製作化學電池時，常會配製硫酸銅溶液。至於要再加幾克硫酸銅固體呢？端看取得之未飽和硫酸銅溶液的濃度而定。而當最後取出硫酸銅結晶，剩下的溶液亦可回收，留做將來進行同樣實驗時使用。

2. 徐徐蒸發掉一些水，但不使固體析出，以形成更高濃度的硫酸銅溶液，接著趁熱過濾以去除不溶物等雜質（圖二）。



圖二：學生過濾硫酸銅溶液

建議硫酸銅溶液剩下70~80 mL即可，若水太少則可能一降溫，固體太快析出而無法長成漂亮結晶。順帶一提，可於學習單中提問討論「花形濾紙」（圖三）相較於國中所使用的濾紙摺法（對摺再對摺，撕掉部分 $\frac{1}{4}$ 扇形）有何優點。



圖三：濾紙

3. 將製作好的棉線繩結，秤重後放入硫酸銅溶液中，封上保鮮膜並戳破數個小孔，靜置一週，等待析出結晶（圖四）。



圖四：結晶中的硫酸銅溶液

繩結的製作方式：剪一段棉線，一端綁在牙籤中心，另一端則視硫酸銅溶液多寡來決定其長度，原則是放入時恰巧使繩結在溶液中心為最佳。打上一個結，沾凡士林在兩指間揉開，在除了繩結外的棉線其他地方均勻塗抹，這是因為競賽規則是「結晶必須長在繩結上」，若析出於杯底或其他地方皆不算數。製作好的繩結必須先秤重，登錄在事先準備好的「增重記錄表」，如表二所示。而為確保繩結不會掉落燒杯中導致失敗，放置時兩端建議以膠帶固定之。待最後取出吸乾水分後再秤重，便可一較高下。

表二：增重記錄表（硫酸銅）

| 組別  | 結晶前，<br>繩結重 (g) | 結晶後，<br>總重 (g) | 增重 (g) |
|-----|-----------------|----------------|--------|
| 第1組 |                 |                |        |
| 第2組 |                 |                |        |

註：依總組數增加表格列數。

4. 週間要求學生務必持續觀察結晶生長的情形並詳細記錄，2~3天後萬一仍無結晶，則撕去保鮮膜以利水分蒸發，好讓結晶順利長成（圖五、六）。



圖五：長成的硫酸銅結晶，  
（左）一大串、（右）一大塊



圖六：美麗的硫酸銅結晶

## 學生常問

1. 繩結可以不塗凡士林嗎？

2. 可以不蓋保鮮膜嗎？

前者的回答是可以，但也可能因此讓硫酸銅析出在繩子上而失去長成大結晶的機會，塗與不塗讓學生自行決定；而後者則是提醒萬一小動物或雜質誤入成了晶種，結晶因此不長在繩結上，那就得不償失了！

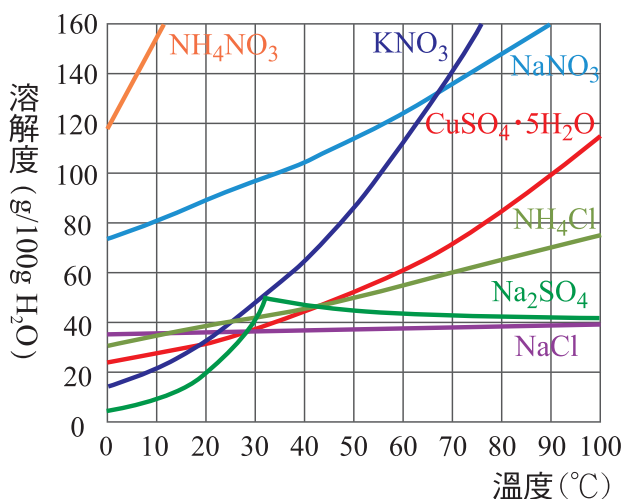




## 二. 氯化鈉結晶

### 原理與概念

參看圖七：提高溫度對於氯化鈉的溶解度影響不大，換句話說，要用上述硫酸銅結晶的方式得到大顆的氯化鈉結晶顯得有些困難，所以可以採用北一女中周芳妃老師設計之「擴散養晶法」。其原理是：水是一種極性很大的溶劑，而乙醇的極性較水來得低，因此氯化鈉易溶於水，但較不溶於乙醇。在較高溫度下，配製一杯飽和的氯化鈉水溶液，利用蒸氣擴散的方式，使一些極性較小的溶劑分子，例如：乙醇，慢慢進入到飽和的氯化鈉水溶液中，降低整體溶劑的極性，使得氯化鈉的溶解度也漸漸變小，於是氯化鈉晶體就慢慢析出。利用這個方法養晶的速度很慢，但較容易得到晶面大而整齊的離子晶體。



圖七：各種物質的溶解度曲線

### 步驟說明

#### 1. 配製一杯50 mL的飽和氯化鈉水溶液。

雖然提高溫度對於氯化鈉的溶解度影響不大，但仍建議可在高溫下配製，畢竟溫度較高，氯化鈉還是溶得多。而為避免氯化鈉晶體因降溫就析出，故可在後面步驟完成後才移除加熱裝置、趁熱過濾掉不溶的部分。須特別注意的是最後盛裝飽和氯化鈉水溶液的燒杯要能放進第3步驟的有蓋塑膠大罐子裡。

2. 製作一個棉線繩結，方法同前，放進飽和氯化鈉水溶液前一樣先行秤重並登錄重量（同表二），好進行競賽。
3. 取一有蓋塑膠大罐子，倒入10 mL藥用酒精，將小燒杯小心地放入大罐子內，蓋緊蓋子，使之完全密閉。將此裝置靜置至少一週等待晶體析出（圖八）。



圖八：結晶中的氯化鈉溶液

如圖八所示，有蓋塑膠大罐子一個20元，可在一般雜貨商店買到。先預備好大塑膠盆，當學生準備好飽和氯化鈉水溶液與繩結後，直接在大塑膠盆內進行組裝，完成後便不再移動以免其他不必要的狀況發生。不建議使用丙酮等較低極性的溶劑，因為塑膠大罐子之材質，一般為聚丙烯（PP），可能會溶於丙酮。



圖九：利用擴散養晶法長出氯化鈉結晶



圖十：美麗的氯化鈉結晶，  
（左）一大串、（右）大顆粒



## Part 2

結晶種類：硝酸鉀

實驗時間：1節課

相關課程：基礎化學(二) 第二章 物質的構造  
與特性「離子鍵與離子晶體」

特別亮點：挑戰30分鐘內親眼目睹長出結晶

### 三. 硝酸鉀結晶

#### 目的

透過這個實驗，學生自行操作可在30分鐘內快速長出針狀的硝酸鉀結晶，並且逐漸加長變粗，驚呼之餘，也能歸納出離子晶體之特性。

#### 步驟說明

1. 取15 mL純水倒入100 mL燒杯中，加入6.0克硝酸鉀固體，攪拌使其溶解，若未能完全溶解，則加熱至40℃使其完全溶解。

參看表三：以在20℃為例，100克水可溶31.6克硝酸鉀，因此15 mL純水應可溶4.74克，故加入6.0克硝酸鉀固體加熱使其完全溶解，再冷卻靜置必定能長出硝酸鉀結晶。

表三：硝酸鉀對水的溶解度

|         |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
| 溫度 (°C) | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   |
| 溶解度     | 13.9 | 21.9 | 31.6 | 45.3 | 61.3 |
| 溫度 (°C) | 60   | 80   | 90   | 100  | —    |
| 溶解度     | 106  | 167  | 203  | 245  | —    |

註：數據來自維基百科，溶解度單位為克 / 100克水。

2. 摺一花形濾紙，趁熱過濾上述硝酸鉀溶液以去除雜質，濾液收集至另一個乾淨的100 mL燒杯中。
3. 靜置冷卻等待硝酸鉀結晶析出。

此需要耐心等待，學生往往因為心急而拿起燒杯觀察，卻因此晃動整個結晶系統，提醒學生「只可遠觀，不可褻玩焉！」若真的等不及要更快看到結晶，可以在燒杯下墊濕紙巾或直接冰浴，但如此一來就無法目睹慢慢析出的針狀結晶了。

## 注重實驗紀錄學習

設計2個實驗記錄，並節錄了一些成果，特別是繪製硝酸鉀結晶的部分，生動而真實。學生眼見為憑，做過就知道，對於離子晶體自然而然就有了更深一層的體會與認識。

### 一. 實驗紀錄

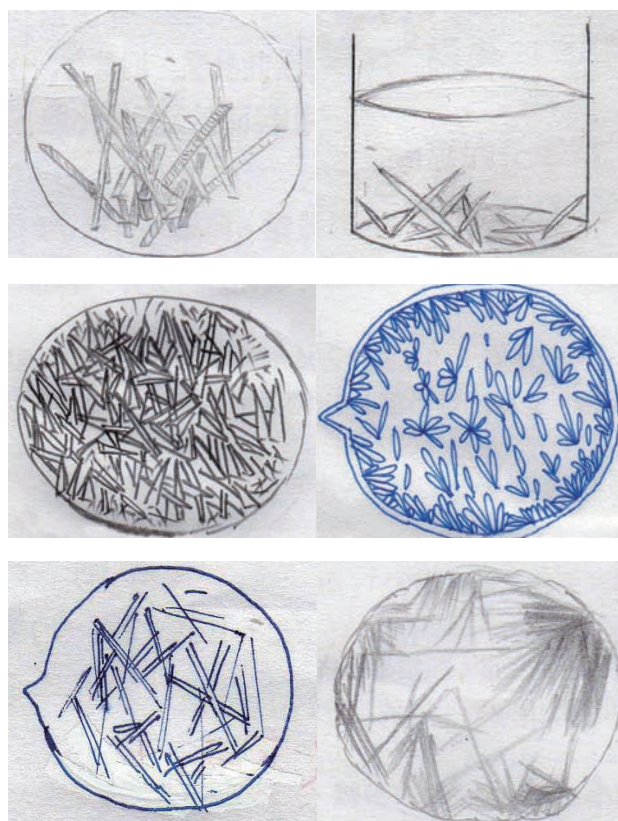
#### 描述硝酸鉀結晶析出的情形(圖十一)

起初只是一些小屑屑，後來越長越大了，像還沒下鍋的米粉一樣。  
從小顆粒開始結晶，慢慢增長形成針狀，再慢慢加粗變成柱狀。

無色 → 細線 → 變長、變厚 → 長柱體

圖十一：學生們的描述

#### 繪製硝酸鉀結晶(圖十二)



圖十二：學生們的畫作



## 二. 學習單問題與討論示例

### Part 1 學習單問題與討論

1. 在上述實驗中，析出硫酸銅結晶、氯化鈉結晶的原因分別為何？
2. 棉線上除了繩結以外的地方，為什麼要塗上凡士林？
3. 「花形濾紙」在過濾時有何優點？
4. 欲養出更大的晶體，應注意哪些條件？

### Part 2 學習單問題與討論

1. 慢慢析出的硝酸鉀結晶之外觀形狀為何？與小顆粒的硝酸鉀相比，有無異同之處？
2. 透過長成硝酸鉀結晶的實驗，整理歸納離子晶體有哪些特性？

## 結語

以上是針對「結晶」這個主題，在探究與實作上所做的教學實施與安排，感謝許多前輩的經驗累積，整理提供給各位老師參酌運用，歡迎交流指教。當您看到學生們的回饋：「雖然處理過程複雜，但能得到較完整、晶面較整齊的晶體，就如同俗諺『慢工出細活』之道理，惟有付出心力和時間用心完成一件事，才有好的成果」、

「透過不難的實驗過程，可以清楚地看見硝酸鉀的晶形，也可以觀察到離子晶體的一些特性，是此次實驗最大的收穫」、「看到硝酸鉀從原本不起眼的白色顆粒，在溶液中變成美麗的針狀結晶，覺得很多事情都要經過一定的淬鍊才能成功，而且化學的世界真神祕」……，就會覺得不管課綱如何改變，相信只要教師做好準備，勇於嘗試，教學必定能更愉快，成果更豐碩。期待下次再來分享其他有趣的主題吧！

#### 圖片來源

圖一：shutterstock

圖二、四～六、八～十二：謝道任老師提供