

# 玻璃片中的彩虹

## —7.6cm×2.6cm大尺寸單晶薄膜之製作

高小組物理科第一名

高雄師大附屬中學國小部

作者：嚴婉禎、黃聖筑、陳威宇、左懷湘  
指導教師：陳碧霞

### 一、研究動機

上自然課時，老師曾教過我們由明礬的過飽和溶液降溫得到明礬結晶的實驗，激發了我們進一步研究晶體成長的興趣。我們發現：當晶體的體積很小時（大約2mm左右），外型規則、形狀很漂亮、顏色很透明、晶瑩，像鑽石一樣美麗。老師告訴我們：這時候，“整塊晶體”中只有單一物質排列的方式，這種狀態稱為“單晶”。可是當我們繼續讓晶體逐漸長大時（大約5mm以上），就會有顏色不清澈（呈現白色），形狀雜亂、不規則的情形發生，就不再是單晶了。

我們希望能長出“一大塊的單晶”，可是都沒有成功。所以我們想換一個方式，先研究長出“一大片單晶”——“一大片薄薄的單晶”的方法，也就是研究製作大尺寸的單晶薄膜的方法。日常生活中，我們最常接觸到的薄膜，就是肥皂泡和水上浮著的油膜，它們都會顯示出七彩的顏色和條紋，這是光干涉的現象，因此我們想利用薄膜的光干涉現象，研究如何製作大尺寸的明礬單晶薄膜。

### 二、研究目的

- 1.學習晶體的性質和薄膜的光干涉現象。
- 2.研究出製作大尺寸明礬單晶薄膜的方法。
- 3.培養對日常生活中事務之觀察及思考，並能研究探討的態度。
- 4.學習如何做實驗和撰寫報告。
- 5.學習科學方法和態度。

### 三、研究設備及器材

- |         |        |         |         |         |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| (1)明礬   | (2)量筒  | (3)RO水  | (4)三樑天平 | (5)載玻片  |
| (6)防潮櫃  | (7)培養皿 | (8)溫度計  | (9)玻璃杯  | (10)加熱盤 |
| (11)吹風機 | (12)肥皂 | (13)洗手乳 | (14)洗碗精 |         |

### 四、研究方法及過程

我們將研究方法及過程分為基本研究及定量研究兩個階段：在基本研究中，研究了一般晶體的成長方法，學習如何觀察薄膜的特性，企圖發展出製作單晶薄膜的方法，在定量研究中，定量的研究了培養皿法、覆蓋法、三明治法等三種製作晶體薄膜的方法，並且有系統的研究溶液的濃度和晶體成長之間的關係。

#### 基本研究-1. 以過飽和溶液降溫法 研究晶體之成長

在玻璃杯中裝入攝氏80度的熱水，把明礬倒入熱水中，並加以攪拌，直到溶液過飽和為止（可以看到杯底有無法溶解的明礬粉末）。將纏有鐵絲的筷子放在杯上，調整鐵絲浸入水中約0.2公分，不要動筷子，開始觀察每五分鐘記錄一次。

#### 基本研究-2. 觀察三種泡沫薄膜的光干涉現象

各取一些肥皂、洗手乳、洗碗精。加水攪拌及拍打使每樣溶液產生泡沫，並到陽光下及日光燈下觀察泡沫顏色的變化。

#### 基本研究-3. 載玻片上的薄膜製做

①拿一片載玻片到陽光下，觀察有沒有七彩的顏色。

②抹一層稀薄的洗碗精溶液在載玻片上，觀察有沒有七彩的顏色。

#### 基本研究-4. 兩片載玻片間的薄膜製作

在載玻片上塗抹一些稀薄的洗碗精溶液，或滴幾滴稀薄的洗碗精溶液在載玻片表面，再用另一片載玻片蓋上去，將多餘的溶液吸乾，觀察是否有光干涉的現象。

#### 基本研究-5. 兩片載玻片間空隙的光干涉現象研究

將兩片載玻片疊在一起，中間不滴任何液體，觀察是否有光干涉的現象，依照上一個步驟中發展出來的“三明治法”，製作一組水的液體薄膜，觀察是否有光干涉現象，用細長的螺絲起子輕壓上述兩組載玻片，觀察光干涉現象的變化。

#### 基本研究-6. 以加熱法製作品體薄膜

將少量明礬溶於溫水中，攪拌至完全溶解（避免產生氣泡），製作一組明礬的“三明治液體薄膜”樣品，將樣品放在加熱盤上加熱，觀察它的干涉條紋變化。

#### 基本研究-7. 以蒸發法製作品體薄膜

準備四組載玻片及一杯稀薄的明礬溶液，製作第一組“三明治液體薄膜”的樣品，再製作第二組樣品，但故意讓載玻片中有一些氣泡，將明礬溶液中再加入一些明礬，製作第三組樣品，再將溶液倒掉四分之三，加水至原容量，製作第四組樣品，將上述四組樣品放入防潮櫃中蒸發，兩天之後拿出觀察。

### 定量研究-1. 實驗溶液的配置

準備十個量筒。量100c.c.的RO水及2公克的明礬加入1號量筒中，攪拌使明礬完全溶解，作為1號溶液。作出2、3號一直到10號溶液，每一號溶液的明礬的濃度均是前一號溶液濃度的4分之1。

### 定量研究-2. 培養皿法的晶體薄膜製作實驗

- 1.在直徑6cm的培養皿中，需要加入8c.c.的水才能將底部完全覆蓋，使液體均勻分佈在培養皿的底部，溶液若是少於8c.c.，液體表面張力的作用會使得溶液呈現一塊區域有溶液、一塊區域沒有溶液的局部分佈，而不均勻。
- 2.準備十個直徑6cm的培養皿，各取出8c.c.的1至10號溶液，倒入對應的培養皿中，使溶液均勻的分佈在培養皿的底部，將培養皿靜置不動觀察溶液蒸發後晶體的情況。

### 定量研究-3. 覆蓋法的晶體薄膜製作實驗

- 1.在7.6cm×2.6cm的載玻片，需要2c.c.到3c.c.的水，才能將表面完全均勻覆蓋，若是少於1.8c.c.，液體表面張力的作用會使溶液呈現區塊狀的局部分佈，而不均勻，溶液若是多於3c.c.，就會流出，但是卻不知道殘留的溶液還有多少，這種無法掌握的情形，是我們不願意接受的。
- 2.各取出2c.c.的1至10號的溶液，滴在十個載玻片上，使溶液均勻的分佈在載玻片的表面，將載玻片靜置不動，觀察溶液蒸發後結晶的情況。

### 定量研究-4. 三明治法的晶體薄膜製作實驗

用1至10號的溶液，製作10組三明治液體薄膜，將它們放在防潮櫃內，觀察溶液蒸發後晶體的情況。

## **五、研究結果**

### 基本研究-1. 以過飽和溶液降溫法 研究晶體之成長

十分鐘：水面浮有微粒。十五分：杯中液體在中央部份由下向上流動。外緣的液體則由上而下流動，中央和外緣互相循環流動。二十分：鐵絲尖端有一點細小結晶。三十分：鐵絲上的結晶擴大至大約1mm。三十五分：水面上的明礬結成塊狀往杯底落下。四十分：杯壁有明礬結塊，鐵絲上的結晶擴大至大約2mm。五十分：鐵絲上的結晶繼續擴大至大約3mm。六十分：沒有變化，停止實驗。

### 基本研究-2. 觀察三種泡沫薄膜的光干涉現象

在陽光下及日光燈下，三種泡沫上都有七彩顏色的區域或線條在閃動。紅、綠兩種顏色較明顯。

### 基本研究-3. 載玻片上的薄膜製做

只有一片載玻片時，沒有七彩顏色。設法在載玻片上抹一層薄薄的洗碗精溶液，經過幾次反覆觀察，仍然沒有看見七彩的顏色。

#### 基本研究-4. 兩片載玻片間的薄膜製作

塗抹法不易得到均勻的液體薄膜，而會得到塊狀的區域分佈，其間充塞有各種大小的氣泡，若在載玻片中央，只滴幾滴溶液，再將另一載玻片小心覆蓋上去，利用液體將玻璃間的空隙填滿，並將空氣排擠出去，很容易得到均勻的液體薄膜，而且在載玻片中看到七彩的細紋，呈封閉曲線狀，也是紅、綠色較清楚。

#### 基本研究-5. 兩片載玻片間空隙的光干涉現象研究

- 1.將兩片載玻片疊在一起，中間不滴任何液體，發現會有七彩的條紋，這是光干涉的現象，用螺絲起子輕壓樣品，發現條紋會向外側擴張，越用力壓它，擴張得越多，而且條紋會變粗，粗到可以看到七彩顏色的分佈。將起子拿起來時，干涉條紋又會恢復原來的形狀。
- 2.水的“三明治”液體薄膜中，有時可以發現非常細的條紋，但是大部分的樣品中看不到，用起子輕壓，也看不到什麼變化，要很用力去壓，才會出現干涉條紋，將起子拿起來，不會立即恢復原來的情况，而是非常慢的恢復。

#### 基本研究-6. 以加熱法製作品體薄膜

- 1.將“三明治液體薄膜”的樣品放在加熱盤上，開啟電源，數十秒後就產生了變化。先是中間產生了七彩條紋，後來七彩的區域就快速擴張，而線條也漸漸增大、增多，當加熱盤大約60度時，關掉電源，使它冷卻，一分鐘後，便在玻璃片中間及部份邊緣都產生了七彩的條紋。
- 2.重複實驗發現：約四十秒便出現條紋，很快就擴大到整片樣品，每次的紋路都不同，加熱盤的溫度不易控制，會產生白色的粉末，或使薄膜破裂。

#### 基本研究-7. 以蒸發法製作品體薄膜

- 1.四個樣品都很透明，而且都可以看到干涉條紋，可見得都是不錯的單晶薄膜，溶液最濃的3號樣品，所顯現出的七彩紋路最為清楚。
- 2.另外拿兩片同一盒的載玻片，不滴任何液體，將其重疊放在一起，稱為樣品A，樣品A的中間部份有七彩條紋，但紋路淡而不清楚，且範圍小。
- 3.可以明顯看出4號跟樣品A的差別，可見得4號溶液雖然稀薄，仍會影響載玻片的干涉條紋，也就是說：雖然看不到晶體薄膜，但是它確實是存在的。

#### 定量研究-1. 實驗溶液的配置

1號溶液：其濃度大約是2%，以下均以1號溶液為基準表示各溶液的濃度。2號：25%。3號：6.3%。4號：1.6%。5號：0.4%。6號：萬分之9.8。7號：萬分之2.4。8號：萬分之0.6。9號：萬分之0.15。10號：百萬分之3.8。

## 定量研究-2. 培養皿法的晶體薄膜製作實驗

除濕92小時後觀察。(室溫26.2度，濕度52%)

- 1號皿：有兩塊分開的塊狀晶體，白色不透明。
- 2號皿：形成了兩塊較大的單晶及一些細細碎碎的小塊微粒。
- 3號皿：在一角形成一片很薄、白色的晶體，在中央有液體乾的痕跡。
- 4號皿：在一角形成白色的晶體，也有液體乾的痕跡，但比3號的痕跡還要深。
- 5、6號皿：在邊緣形成一塊白色半透明的、很薄的晶體。
- 7號皿：邊緣有一塊白色晶體，液體乾的痕跡分佈較6號大。
- 8、9號皿：邊緣有一塊晶體，整片都是很均勻的乳白色。
- 10號皿：邊緣有一塊白色晶體，但有裂開的痕跡。

## 定量研究-3. 覆蓋法的晶體薄膜製作實驗(蒸發48小時)

- 1號樣品：白色粉末分佈在邊緣，中央的顏色較淡，分佈很不均勻。
- 2號樣品：全部都結成了薄薄的白色晶體，分佈也很不均勻。
- 3號樣品：有一層半透明的晶體，但沒有將玻璃片蓋滿，沒有七彩的條紋。
- 4號樣品：有一層很淡的透明晶體，有點像薄膜，但沒有七彩的條紋。
- 5號樣品：膜很薄分佈不均勻，沒有干涉條紋，玻璃片上卻有規則的、方向一致的液體乾涸的痕跡。
- 6至9號樣品：有一層半透明晶體及規則的液體乾涸的痕跡，沒有干涉條紋。
- 10號樣品：有一層分佈很不均勻的晶體，而且較淡，沒有干涉條紋。

## 定量研究-4. 三明治法的晶體薄膜製作實驗

- 1號樣品：中央有一塊狹長的單晶，但單晶上沒有干涉條紋，在它的外圍有很細的七彩條紋，載玻片黏住分不開。
- 2號樣品：中央也有一塊單晶，面積約為1號樣品的1/5，外圍也有指紋般的干涉條紋，條紋由粗到細向內集中。
- 3號樣品：可以看出彩色的條紋遍佈整片玻璃，所以這是單晶薄膜。
- 4至10號樣品：均可以清晰的看出指紋般、呈圓弧形的彩色干涉條紋遍佈整片玻璃，它們都是單晶薄膜。

## **六、討論及建議**

### 基本研究-1. 以過飽和溶液降溫法 研究晶體之成長

- 1.過飽和溶液降溫法很難掌握。長晶的結果和溫度及降溫的速度都有關，每次實驗的結果都不太一樣。

2. 單晶的形狀是很規則的幾何形，完全透明，像鑽石般晶瑩亮麗。若不是單晶，形狀會不規則、排列雜亂，整體呈現出不透明的白色。
3. 通常晶體小於5mm時，會是很好的單晶；大於5mm之後通常都不會是單晶。因此，過飽和溶液降溫法幾乎長不出大尺寸的單晶。

#### 基本研究-2. 觀察三種泡沫薄膜的光干涉現象

1. 老師藉由這個實驗教我們薄膜及光干涉的觀念。
2. 當白光照射在很薄的薄膜上時，反射光會使薄膜呈現出彩虹般七彩的區域或線條，稍微移動光源、或薄膜（物體）、或移動視線，七彩的區域或線條的形狀也會改變，這就是光干涉的現象。
3. 因此在一個物體上看白光的反射光時，如果觀察到彩虹般的光干涉現象，這個現象告訴我們：這個物體中或物體上有一層像肥皂泡沫一樣薄的薄膜。

#### 基本研究-3. 載玻片上的薄膜製做

1. 只有一片載玻片時，沒有光干涉現象，因此沒有薄膜存在，如果以後出現光干涉現象，必然是由於我們在載玻片上製造或產生了一層薄膜。
2. 實驗時必須注意清潔，不能摸載玻片表面以及必須用新的載玻片試片。
3. 我們原想在載玻片上塗抹或滴上一層液體，再設法製成薄膜，這個實驗顯示——根本沒辦法，由於液體的表面張力很大，使得液體在載玻片上凝聚，而不會攤平覆蓋，就不會得到厚度均勻的薄膜。
4. 我們實驗過：若想將載玻片完全覆蓋，需要用2至2.5c.c.的水，亦即水的厚度大約是1至1.2mm非常厚！
5. 這個實驗也顯示：若要用溶液製造一層薄膜，必須克服表面張力的困擾，這是非常重要的結論，他啟示了我們以後發展的方向。

#### 基本研究-4. 兩片載玻片間的薄膜製作

1. 由於有液體的區域可以看到七彩條紋的光干涉現象，可以知道：這是一個薄膜的區域“在兩片載玻片之間製作薄膜”——這是我們“克服表面張力”的方法，我們稱之為“三明治法”。
2. “三明治法”液體薄膜製作法是指：“在一片載玻片中央，只滴幾滴溶液（聚成一塊），然後再將另一片載玻片覆蓋上去，利用液體將空氣排擠出去，並將玻璃間的空隙填滿，將會得到均勻的液體薄膜”，這是我們由實驗中研究出來的做法，它是這個實驗最成功的地方。

#### 基本研究-5. 兩片載玻片間空隙的光干涉現象研究

1. 這個實驗是要了解：只有兩片載玻片沒有液體薄膜時，是不是也有光干涉現象？以確定上個步驟中的光干涉現象確實是由液體薄膜所造成的。

2. 只有兩片載玻片、沒有液體時，也會有光干涉現象！這時候的薄膜是載玻片間的空氣薄膜，空氣薄膜也會發生光干涉現象！真是太神奇了！
3. 雖然只有兩片載玻片沒有液體薄膜時也有干涉條紋，但是加入了液體之後，如果仍然會觀察到光干涉現象，表示液體的部份仍然是很薄的，“三明治”水薄膜中看不到干涉條紋，表示這些薄膜都太厚了。
4. 用起子壓載玻片的實驗顯示：干涉條紋會隨著載玻片間的距離而改變。載玻片之間越靠近，也就是說薄膜越薄，條紋越粗，老師告訴我們：每一條條紋代表一個載玻片間的距離，或是薄膜的厚度，因此我們可以藉由觀察干涉條紋的形狀和粗細，來了解實際上薄膜厚度變化的情形。
5. 只有兩片載玻片時就有干涉條紋，因此對於實驗的薄膜而言，這些載玻片其實是不平的，表面是凹凹禿禿、或高高低低的，更糟的是：我們試過四種廠牌的載玻片，它們都“一樣差”！不只如此，同一盒中，每片載玻片表面凹禿的情形都不一樣，這些可能會對實驗造成不良的影響。

#### 基本研究-6. 以加熱法製作品體薄膜

這一實驗是要嚐試：是否可以用加熱法，將液體薄膜中的水份抽出，以製作品體薄膜，加熱法並不穩定，很難做定量的研究，改換嚐試別的方法。

#### 基本研究-7. 以蒸發法製作品體薄膜

1. 蒸發法也是將液體薄膜中的水份蒸發出來，以製作固態的晶體薄膜。
2. 蒸發法終於可以製作單晶的薄膜了。我們宣稱它是晶體——因為它是由溶解了固態純物質的溶液製作的；它是單晶——因為它整體非常均勻，而且晶瑩透明；它是薄膜——因為它上面會看到光干涉現象。
3. 利用防潮櫃蒸發水份的確是很好的方法，蒸發法的優點是製作方法簡單而且穩定，易於做定量的實驗。

基本研究至此結束。在這些過程中，我們學到了什麼是晶體、如何判斷單晶，什麼是光干涉現象、如何判斷薄膜的厚薄，我們在實驗過程中發展出了“三明治法”的液體薄膜製作方法。研究出用蒸發法由液體薄膜製作單晶薄膜是比較好的方法。至此我們發展完成了製作大尺寸單晶薄膜的方法，以下我們再定量的研究“培養皿法”、“覆蓋法”和“三明治法”等三種方法中，由溶液蒸發製作品體薄膜的情形，以及溶液濃度的影響。

#### 定量研究-1. 實驗溶液的配置

我們所配置出來的10種溶液，其濃度分佈非常大，10號溶液的濃度是1號溶液的百萬分之3.8。

## 定量研究-2. 培養皿法的晶體薄膜製作實驗

1. 樣品未乾時，表面浮有白色的粉末。乾涸後結成白色的晶體，不是單晶，分佈不均勻。所有樣品都看不到干涉條紋，因此都不是薄膜。
2. 我們發現明礬含量越多，濃度越大的液體，液體的表面張力變越大。
3. 我們猜測1號和2號皿中濃度高，部份溶液蒸發後，表面張力使溶液流動、凝結為兩塊，結晶後成了兩塊晶體。3號以後的樣品，濃度太小，表面張力不大，無法凝結為塊狀結晶。6號以後結晶的情形很相像，可能是溶液濃度太小，不會影響表面張力，使得乾涸的情形幾乎一樣。
4. 這個實驗不能作出薄膜是由於溶液蒸發的時候，受到表面張力的效應，溶液會聚集在一個角落，而不會均勻分佈。
5. 2號樣品明顯看出它是單晶；2號樣品的濃度，可能最適合成長單晶。
6. 10號樣品的濃度是1號的百萬分之3.8，非常稀薄，其中的明礬非常少，但明顯的看到結晶，而且不是單晶。可見得不是溶液稀薄或是物質的量少就會結成單晶。

## 定量研究-3. 覆蓋法的晶體薄膜製作實驗

1號樣品：有白色的晶體分佈在玻璃片的四周，中間只有一些淡淡的粉末，可見得表面張力使得溶液是由中間向外側乾的。5號樣品之後：晶體都是一整片的分佈在玻璃片上，可能是因為表面張力較小，沒有像1、2號樣品那麼明顯的集中，晶體上有一條一條液體乾涸的痕跡，可見溶液是由一邊逐漸蒸乾的，而不是均勻的乾涸，因此覆蓋法無法作出均勻的單晶薄膜。

## 定量研究-4. 三明治法的晶體薄膜製作實驗

1. 這組實驗中，除1、2號樣品之外，都看到干涉條紋，都是單晶薄膜。
2. 我們還是非常疑惑：除了干涉條紋之外，還有沒有方法可以幫我們確定“的確是有明礬單晶薄膜存在的”。老師就教我們做了一些計算：

假設三明治法中載玻片間液體薄膜的厚度是千分之一毫米，我們算出其中的液體是千分之1.98cc。由於三號溶液的濃度是九號的4200倍；而且九號培養皿溶液為8cc；三號三明治的明礬和九號培養皿中的明礬“幾乎相同！”既然九號培養皿中的晶體（不是單晶）可以明顯的看到，可見得三號三明治中的明礬也不少；我們看不到是因為：它是晶瑩透明的單晶。此外，三號三明治的明礬比九號覆蓋法、十號培養皿及十號覆蓋法樣品更多許多倍，而那三個樣品中的明礬均清晰可見，更是可以有信心的說：三明治樣品中真的是有明礬單晶的。

3. 我製作的薄膜非常薄，不知道有什麼簡單的方法可以測量其厚度。



4. 觀察3到10號的干涉條紋及其變化，並不能得到溶液濃度和薄膜厚度的關係。這是由於載玻片的平整度太差了，嚴重干擾了干涉條紋。載玻片不夠厚，吾足以支持平整的形狀（足夠平整的玻璃要一千元以上）。

#### 對未來研究的建議：

基於以上的研究結果及經驗，我們對未來的研究者提供下列幾項建議：

1. 我們無法探討薄膜厚度，困難之一是：明礬單晶薄膜是透明的。如果換有顏色的材料，可能會易於研究。例如：乾燥的硫酸銅晶體是藍色的。
2. 購買較平整的玻璃片進行實驗。雖然較平整的玻璃片價格很貴，不過它可以將實驗做的更好，如果經費足夠，還是應該買較好的玻璃片。
3. 在培養皿法的二號樣品中，居然會長出單晶。這個結果暗示我們：在研究塊狀單晶成長時，二號溶液的濃度可能是蠻值得嚐試的。

## 七、結論

我們成功的研究出了製作大尺寸明礬單晶薄膜的方法。研究過程中發現：由明礬溶液蒸發、成長單晶薄膜時，溶液的表面張力會成為妨礙。我們發展出了“三明治法”製作液體薄膜，藉以克服表面張力的困擾。所謂的“三明治法”液體薄膜製作法是指：“在載玻片中央滴幾滴溶液（聚成一塊），再將另一片載玻片覆蓋上去；利用液體將空氣排擠掉，並將玻璃間的空隙填滿，就會得到均勻的液體薄膜了”。然後再將樣品放在防潮櫃中蒸發，自液體薄膜中長出單晶薄膜。這個方法的優點是過程和器材都很簡單，而且作出來的單晶薄膜品質穩定。

我們長出7.6cm×2.6cm的明礬單晶薄膜。它整塊的色澤都透明而晶瑩，因此我們判斷它是單晶；它在日光燈下會顯現出七彩的光干涉條紋，所以我們知道它是非常薄的均勻薄膜。由於載玻片的平整度差異很大，我們無法由干涉條紋判斷薄膜的厚度；我們也不知道有什麼簡單又便宜的方法可以測量它的厚度。這些都是以後可發展的方向，我們也還要繼續研究如何成長大尺寸的塊狀單晶。

## 八、參考資料

1. 師院實小，“晶生有道”，第三十四屆全國科展作品說明書。
2. 旗津國小，“燦爛耀眼的鑽石”，第三十三屆全國科展作品說明書。
3. 李信元等人，“小泡泡大學問”第三十三屆全國科展作品說明書。
4. “吹泡泡遊戲”，薪寶圖書公司。
5. “光的世界”，圖卜出版社

## 評語

作者利用透明度及干涉條紋鑑定單晶薄膜的存在頗有創意。研究分基本研究及定量研究，作者對定理溶液的配製頗為清楚。現場說明表現亦佳。