

# 2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100030

參展科別 工程學

作品名稱 電場中的小晶靈  
-高電壓電場中液滴的結晶現象

得獎獎項 大會獎：二等獎

就讀學校 國立高雄師範大學附屬高級中學

指導教師 許峰銘

作者姓名 吳珮瑜

關鍵字 電場(Electric field)、結晶(Crystal)、  
液滴(Droplets)

## 作者簡介



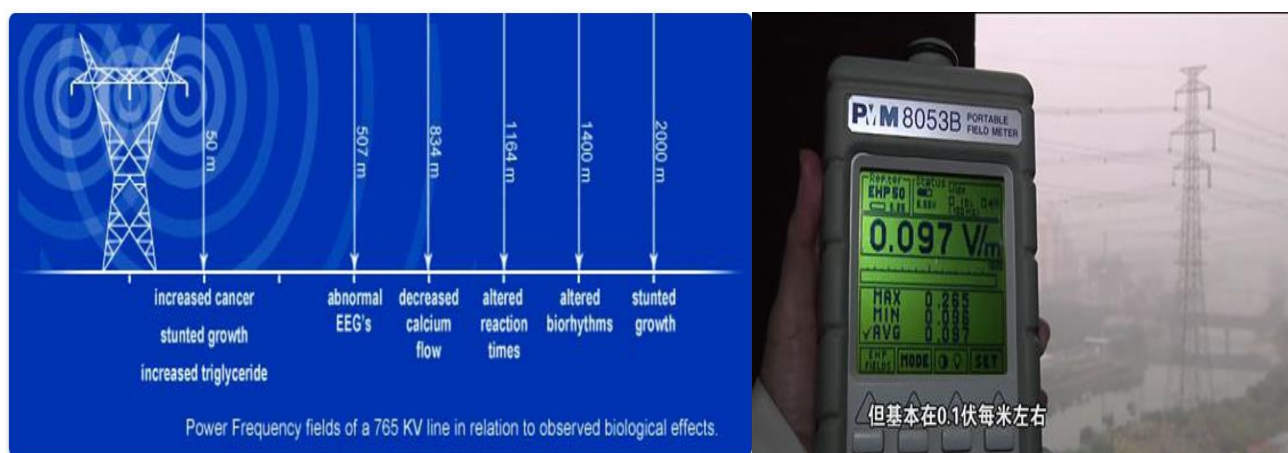
Hello, I'm Aler Wu. It's the fifth time I attend science fair. My project this time is "Crystal Growth in High-voltage Electric Field". I get the idea from the undocumented concerns about "High-voltage may have impacts on people". I learned a lot through the process doing this research, including the skills of using computer softwares, designing device and research methods(for example: SCL value), and—the most important thing—the ability to face the hardness and failures. Thanks for every one who gave me help and advices—especially is my instructor of this research-- I would never go so far without you.

## 摘要

本研究設計相機-顯微鏡-玻璃座平行銅片電場裝置，拍攝鹽類液滴在高電壓電場中的結晶現象，**並以色階曲線為基礎，發展出 SCL 值，來偵測晶體表面的性質。**實驗先找到能讓晶體成長趨向單顆且高透明的條件為：加蓋（低蒸發速率）、過濾、無施加電場與低熱 LED 光源。並應用蒸發速率差異，發現食鹽晶體的變速成長現象。蒸發快會形成階梯螺旋紋，蒸發慢，紋路消失，變成全透明晶體。將這裝置轉放在高電壓電場下可發現：晶體形狀發生改變（**晶體傾斜或碎晶**），透光度變差（**SCL 值變小**），可觀察到新生晶體邊緣，有條狀暗紋出現，但晶體成長速率變化不大。鹽晶析出反應會因些微的外在變化，而影響溶液中離子堆疊，在晶體表面出現陰影或不規則紋路。這種對外在環境有著高度反應的現象，**可以透過反應位能曲線圖來解釋**，正可以用來研究外界高壓電場如何對物質發生影響。

## Abstract

By studying salt crystallization in a high electric field, we try to understand the influence of environmental high voltage on crystal formation and hence the results of chemical reaction. We setup a uniform high electric field by using uniform plates and mosquito-zapper power supply to simulate a quasi-static high voltage in environment. We use the photos taken from the microscope and a sum-of-color-level method to quantitatively study the impact on transparency of crystals. The results show that the chemical reaction based crystal formation can be influenced under high electric field. So results of chemical reaction and hence the functions of human bodies are possible to be influenced by environmental high voltage (Fig 1).



First, I found that the conditions of producing high transparent crystals were: Filtering, no external electric field and using low temperature LED source. Besides, I found that the crystal had variable-rated growth phenomenon. A fast evaporation rate will form spiral patterns; On the contrary, a slow evaporation rate will make patterns disappear and turn it into a high transparent form.

Making use of color level in Photoimpact x3, I can compute the proportion of illumination of crystal surfaces. The higher the SCL (sum-of-color-level) value are, the lighter the color is (high transparency).

It was found that once we put the device into the high electric field, the shape of crystals changed (crystal tilt and be fragmented) (Fig 2) and the transmittance was deteriorated (SCL values decreased). Furthermore, we observed that there are dark streamlined patterns appeared at the edges of the new-grown crystals, but the growth rates changed little. The phenomenon of ion stacking in solution will be effected by slight external changes, which lead to appearing of shadows or irregular lines and patterns on the crystal surface.

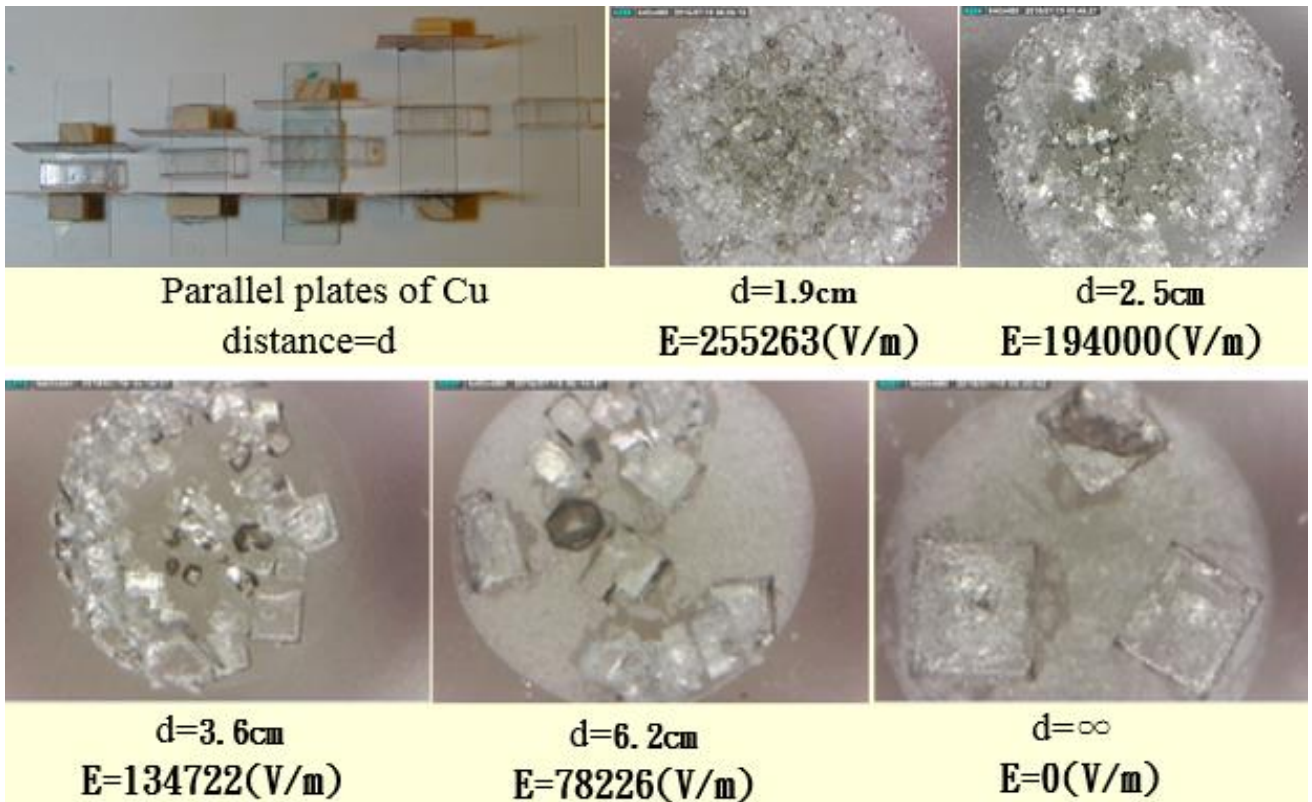


Fig.2: Crystals growing between different distances copper plates

# 壹、前言

## 一.研究動機

國中時我們曾學過，將塑膠吸管摩擦後靠近細小水流，可觀測到水流有偏轉的現象。而這是利用吸管與物體摩擦後，摩擦起電的“靜電原理”。曾經看過一篇科展報告，便是以此為發想，探討了水流與其他種類溶液，幾種極性較強與極性較弱之液體在有限平面的高電壓電場中所產生的現象。而我們以此為基礎，聯想到：如果有極性的液體，會在平行板電場中，因偶極距與不均勻電場產生作用力而偏轉，那麼若將液體改換成液滴，液滴的結晶現象是否會有所改變？是結晶的型態會產生改變？亦或會因正負離子分別被兩旁的平行電板所吸引，在電壓夠強時，甚至不會有結晶現象發生？而不同種類的液滴，又是否會有不同的結晶反應呢？許多家中附近有數萬伏特高壓電線經過的居民，懷疑家中成員一些特殊疾病（如白血病與身心病症）的產生與高電壓電場有關。電磁場無影無蹤，會波及無辜嗎？高電壓電場下的晶體成長能證明這個現象嗎？為了解開這些謎題，本研究設計了許多實驗，來一一找出這些疑問的謎底。

## 二.研究目的

本研究希望藉由探討高規則與高透明度鹽類晶體的培養條件，製作出單一液珠中的單一晶體。在利用發展出的此項技術，將鹽類晶體的成長放入數千伏特的高電壓電場中，探討“液滴在高電壓電場中的結晶現象”，是否在透明度，生長速度，表面紋路有受到影響？過程中以顯微鏡攝（錄）影觀察，並擷取靜態影像，以最小刻度 0.01mm 的載玻片做比例尺，觀測晶體，找出液滴在高電壓電場中結晶狀態的真相。

- (一) 找出能在飽和食鹽水珠中長出單一顆食鹽晶體的實驗條件：以初始食鹽飽和溶液有無過濾、晶體成長過程有無加蓋、有無施加電場、顯微鏡使用高熱鹵素燈光源或低熱 LED 光源為變因，以控制變因法設計出八組子實驗，觀察各組實驗中，單一液滴內晶體顆粒數、透明度、生長速度與表面紋路。
- (二) 利用已找出的單一顆食鹽晶體成長最佳的實驗條件，探討在同一顆晶體成長過程中，改變蒸發速率，造成食鹽晶體成長階段變化與變速成長現象：
- (三) 研究鹽類水珠液滴在高電壓平行板電場中，受到電場影響，產生的結晶變化。
  1. 在同一顆晶體成長中，階段性改變蒸發速率，影響食鹽晶體變速成長。在最後穩定成長階段，比較食鹽水液滴在有、無高電壓平行電場的不同條件中，結晶型態變化。

2.以溴化鈉、溴化鉀、氯化鉀、硝酸鈉、硝酸鉀鹽類液滴為研究對象，探討在有、無高電壓平行電場的不同條件中，全程結晶型態的變化。

(四) 嘗試以植物細胞吸收鈣離子後，會在細胞體內生成草酸鈣晶體的概念，尋找草酸鈣於細胞質中的最佳成長模式，於草酸鈣晶體成長條件確定後，再加入高電壓平行電場，觀察植物細胞的變化，並探討高電壓電場是否有擊碎植物體內晶體的功能。

## 貳、研究設備

(一) 儀器設備：相機、拆解後電蚊拍、木條、電線、電池、伏特計、微量滴管、挖洞透明盒、銅片、複式顯微鏡、自製支撐架、銅片

(二) 藥品：食鹽水 NaCl、硝酸鉀 KNO<sub>3</sub>、氯化鉀 KCl、氯化鋰 LiCl、碘化鈉 NaI、溴化鈉 NaBr、溴化鉀 KBr、硝酸鈉 NaNO<sub>3</sub>、氯化鈉 CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O

實驗器材	用途	實驗器材	用途
相機	拍攝實驗影片及照片	透明盒	利於在顯微鏡下觀察晶體
拆解後電蚊拍	組裝高電壓裝置	銅片	電極板，固定於固定夾上
木頭底座	固定拆解後的電蚊拍	電極接頭	高電壓裝置的正負極
電線	連接高電壓裝置及銅片	鑽石刀	裁切玻片
電池	提供電壓	筆記型電腦	數據分析、影像處理
三用電表	測量電壓	複式顯微鏡	觀察晶體成長
微量滴管	控制液滴大小	自製支撐架	支撐黏於木條上的透明盒
木工固定夾	固定銅片間距離	玻片	滴上液滴，置於透明盒中
Photoimpact 軟體	擷取影像，分析座標	測微尺載玻片	觀察晶體成長的長寬
Movie maker	動態影像觀察與分析	濾紙	過濾藥品溶液
樣品槽	植物體養殖與浸泡	量瓶及燒杯	調配溶液濃度
鑷子	夾取植物葉片	酒精	使植物脫去葉綠素



圖 01：第一代到第三代平行板電場裝置與觀察攝(錄)影裝置設計的演變過程

左一：第一代裝置的木製井字形平行銅片電場

左二：第二代裝置的實驗桌與三個木工固定架

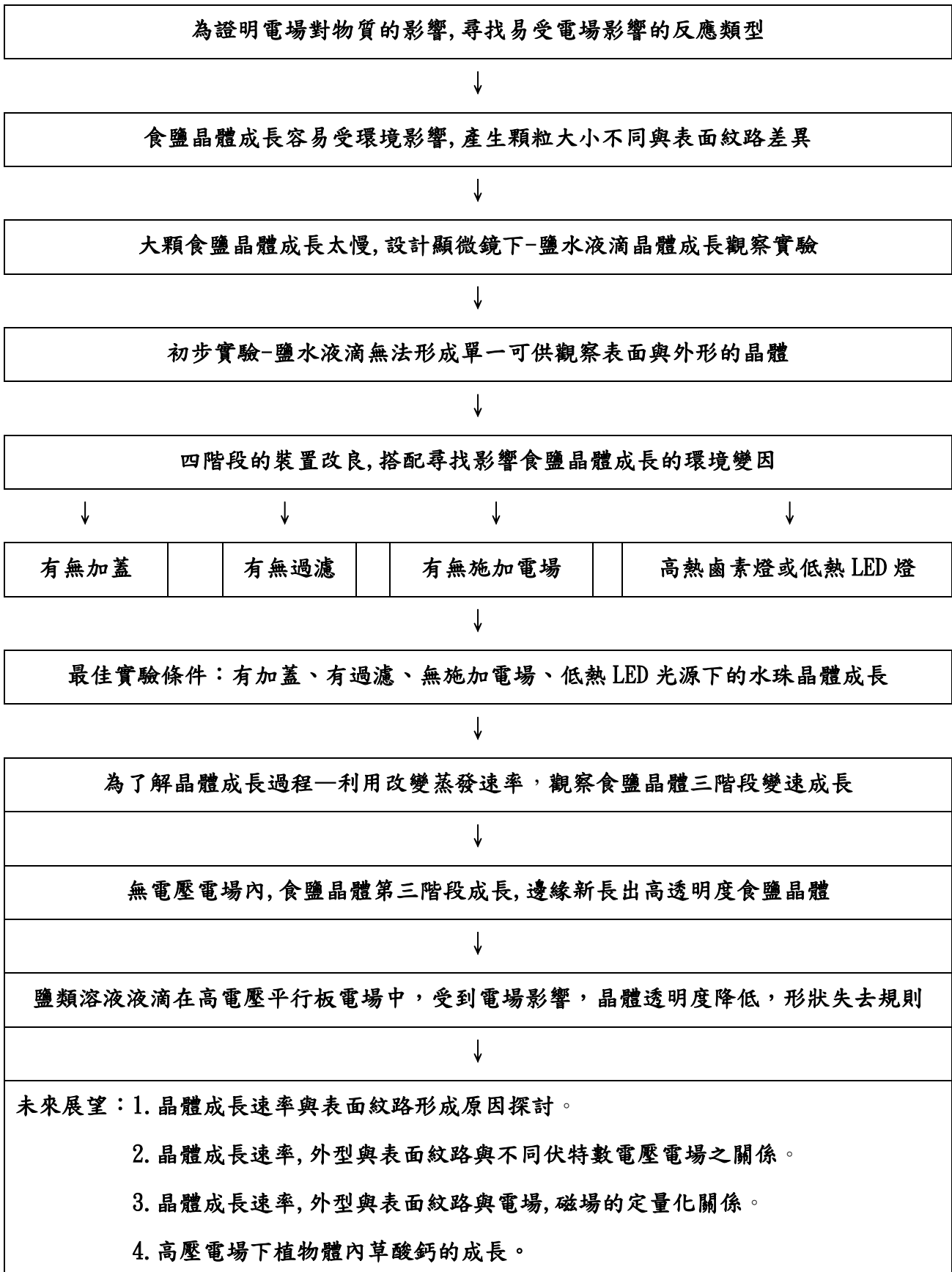
左三,左四：第二代-可攜式電子顯微鏡與木工固定架平行銅片電場-開放蒸發設計

右一,右二：第二代-可攜式電子顯微鏡與木工固定架平行銅片電場-密閉蒸發設計



# 參、研究過程與方法

## 一、研究邏輯架構：



## 二.研究方法：

- (一) 晶體的培養在化學工業上是非常重要的技術，要解析有機複雜分子的結構，需要把有機分子培養出單晶，再利用 X 光繞射法去解出各個原子之間的鍵長、鍵角，才能確定它的結構。而結構的差異往往會影響到這一個物質的化學性質。例如不同的蛋白質結構，就會有不同的催化能力。另外在各種新材料的研發中，晶體的培養也佔有重要的地位，例如長出完美的矽晶片，是決定電子零件是否良好的重要關鍵。
- (二) 傳統的燒杯蒸發結晶法，實驗耗時間太長，容易受天候變溫影響，使實驗不易控制。本研究使用的水珠結晶法，藉助低倍數顯微鏡，容易觀察結晶的細部變化。再加上以冷氣房、溫度計監控溫度，定量吸管取 0.01 毫升液體水珠固定體積，可使晶體長出時間縮短至數小時內。攝(錄)影後反覆看影像，可注意到結晶過程細節。在實際進行大型晶體培養之前，此方法可以先找出影響結晶的變因，節省實驗時間。
- (三) 本研究的實驗裝置由三部分組成，第一部分為高電壓電場電源，第二部分為平行板電場裝置，第三部分為顯微鏡觀察攝(錄影)裝置，並設計開發晶體透明度判斷法。

### (四) 第一代晶體透明度判斷方法設計：photoimpact x3 相片色階曲線處理判讀：

1.設計原理：photoimpact 可將影像轉變成色階分佈圖，顏色越重,色階圖越偏左。

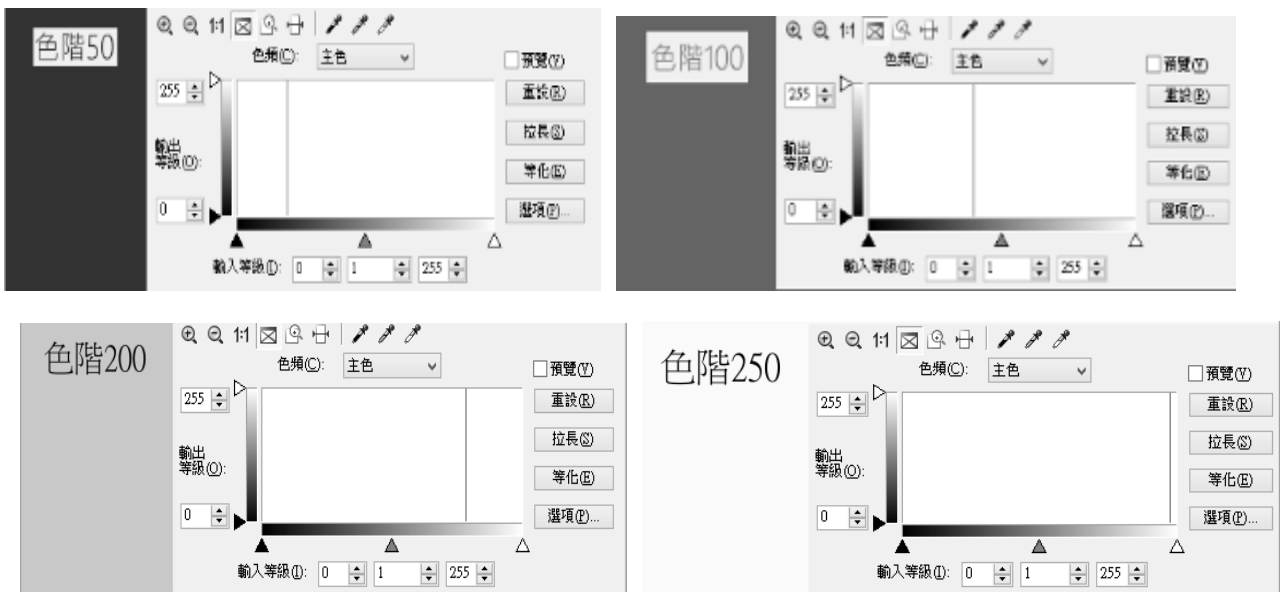
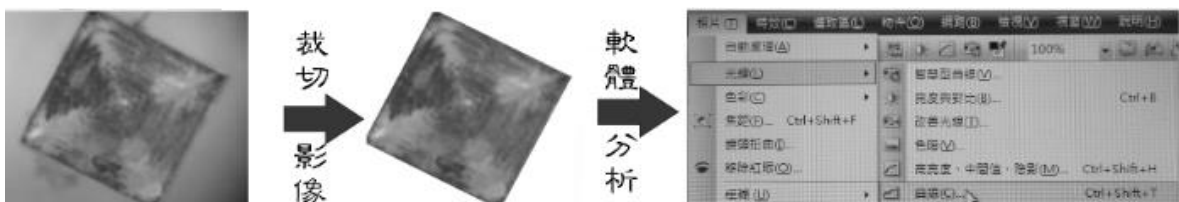


圖 02-1：photoimpact 色階設定分佈圖

### 2.影像處理方式



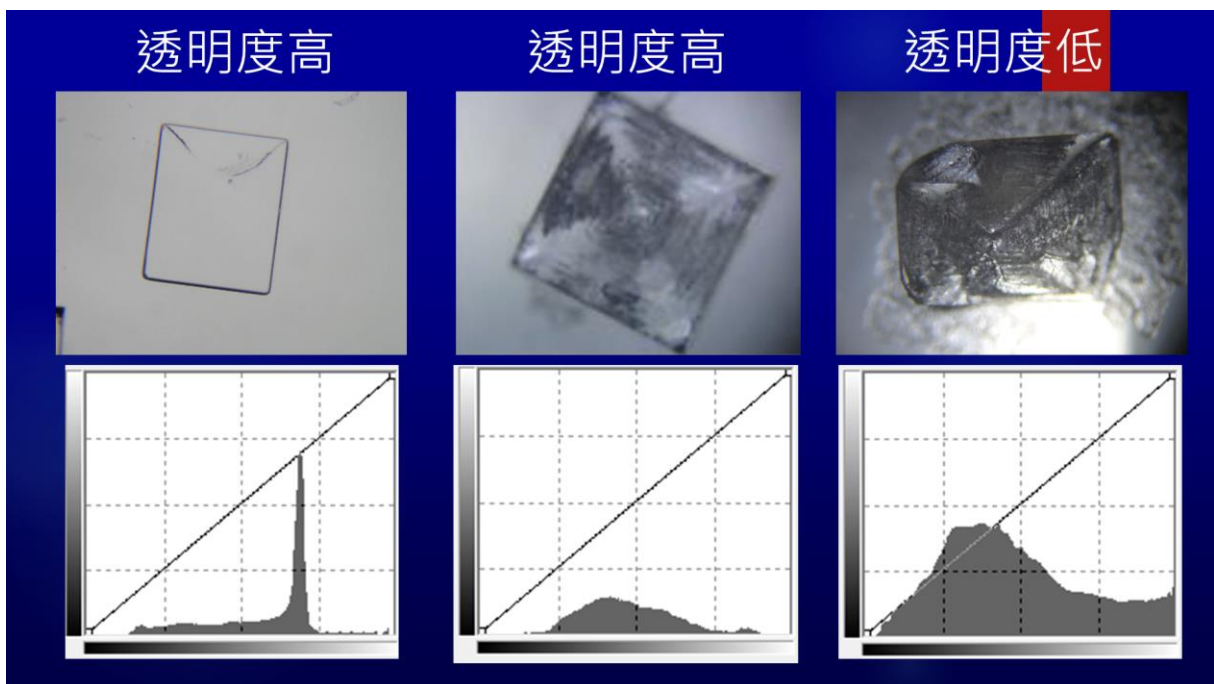
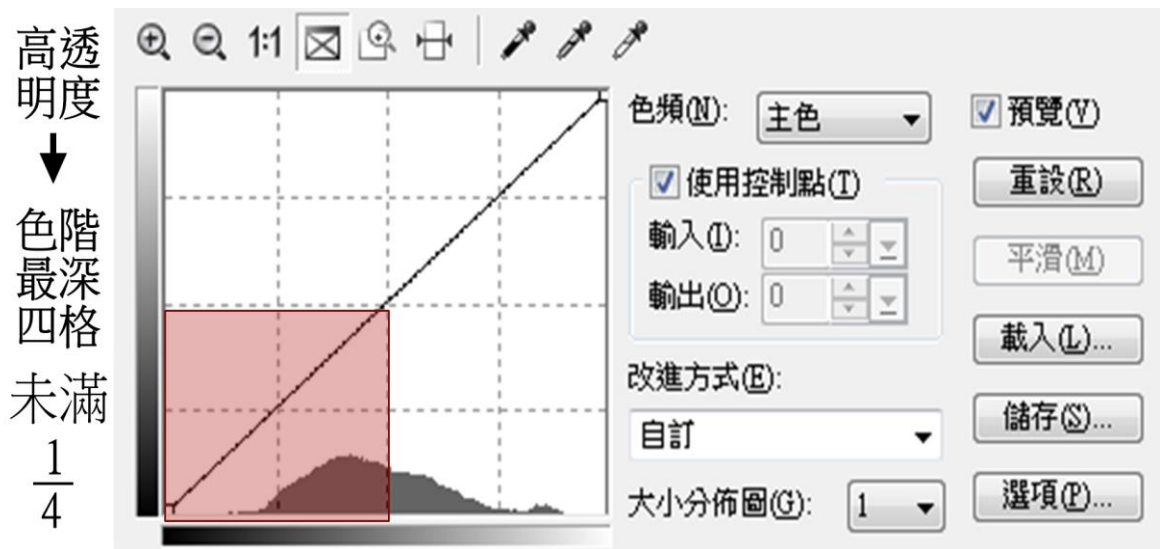
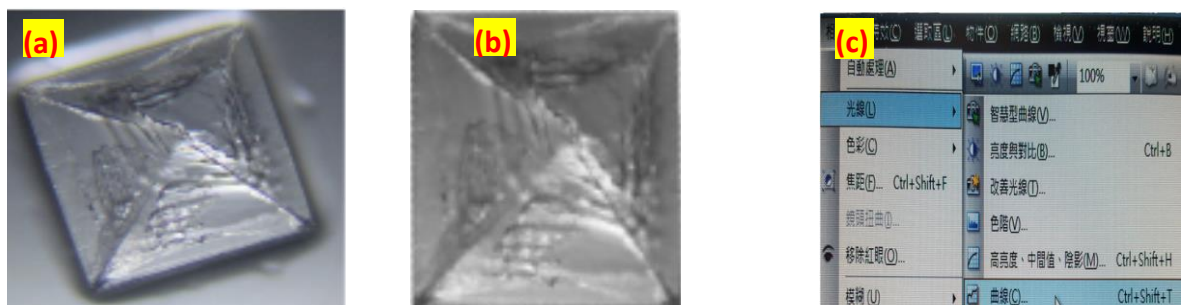
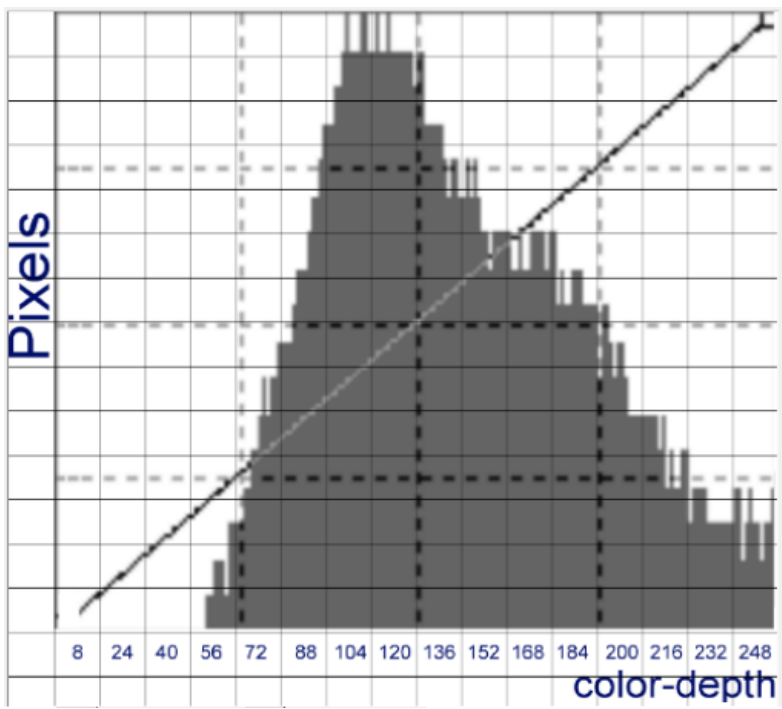
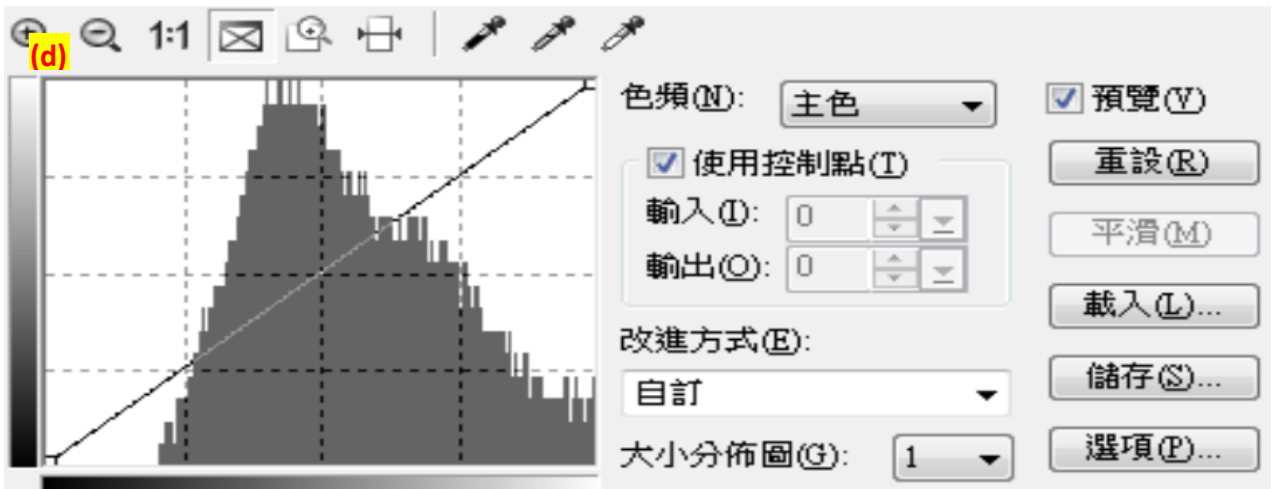


圖 02-2：photoimpact 色階分佈判斷透明度

(五) 第二代晶體透明度判斷方法設計: 運用 Photoimpact x3 軟體，將 256 階的光線亮度色階簡化為 16 階, 將每階的色階中間數乘以整個圖形中屬於此一色階像素比例, 計算所得的數值, 本研究定義為 **SCL value** (the sum of color levels), 計算方法如下:





color-depth A	the number of tiles B	A X B
8	0	0
24	0	0
40	0	0
56	0	0
72	0	0
88	1	88
104	2.5	260
120	5	600
136	9	1224
152	11	1672
168	10	1680
184	7	1288
200	3	600
216	1	216
232	1	232
248	1	248
<b>The sum of color-levels</b>		<b>8108</b>

圖 2-3: (a) Select the crystal area and run grayscale processing ; (b)~ (c) Calculate color levels cure in Photoimpact ; (d) Calculate the number of tiles for each color levels in each rank and the sum of color levels (SCL value).

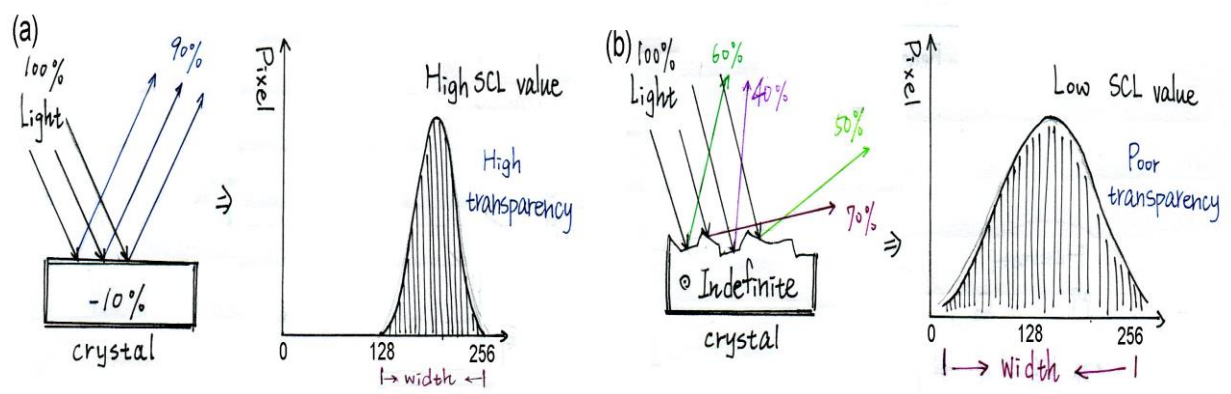


圖 2-4: SCL value 的原理

(四)設計高電壓電場電源（如圖 02）：利用已拆掉網子之電蚊拍與電線串聯製成的"高電壓裝置"，連接至金屬片並通電。

- 1.每支電蚊拍的電壓實測約 2800~3000 伏特，是一種變壓器反饋式的振蕩器，經變壓器次級升壓的電壓，又經由倍壓電路再升成二千多伏高壓。由於是高電壓，在正負兩極接近時，會有放電現象，晶體成長壓克力密封盒在實驗過程中也會被感應帶電，所以實驗全程需戴上橡膠手套。
- 2.每支電蚊拍使用 2 顆 1.5 伏特 AA 電池，在形成晶體環境電場時，約可使用 8 小時，所以每次實驗都需更換新電池。

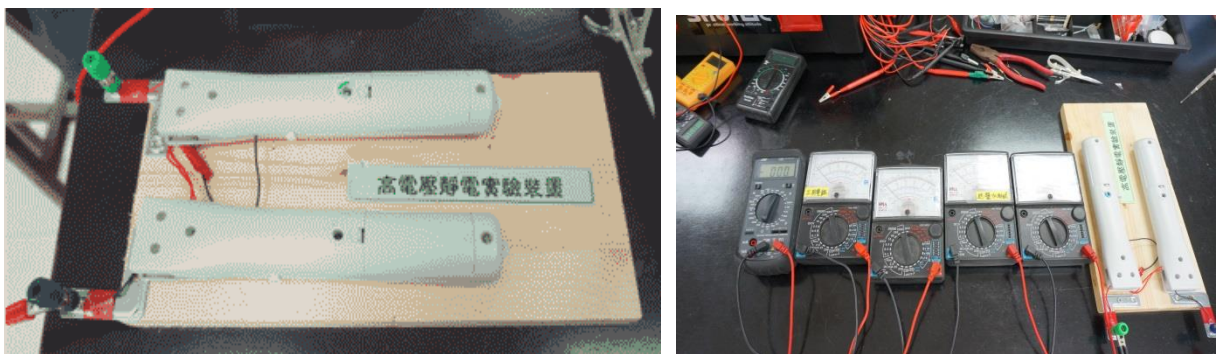


圖 02-4：高電壓裝置（左）與裝置接上串聯後的三用電表，測量其電壓（右）。

(五) 高電壓平行板電場裝置的設計：

- 1.第一代--木製井字形平行銅片電場（設計圖如圖 03）

實驗後發現以下缺點：

- (1) 顯微鏡載物台上的金屬部分與木架沾濕容易導電。
- (2) 銅片太小，不容易影響（對準）晶體盒內的液珠。
- (3) 木架容易卡住，無法使用顯微鏡載玻片鏡台上，左右上下移動之功能，來找到目標晶體。

- 2.第二代-可攜式電子顯微鏡與木工固定架平行銅片電場：

（如圖 04），固定後裝上可攜式顯微鏡連接至電腦觀察。

- (1) 組裝裝置，固定並使三個固定架成平行。須注意三者空間縱看成一直線。
- (2) 固定木條及可攜式顯微鏡，再把銅片縮進置適當距離，兩銅片距約 1.5 cm。
- (3) 以微量滴管(0.01 c.c)將飽和液滴滴於蓋玻片上並蓋上透明蓋。
- (4) 將可攜式顯微鏡連接至電腦，調整位置及焦距。最後開啟捕蚊拍電源。
- (5) 錄影並截圖，以 PhotoImpact 及 Excel 分析整理得到結果。

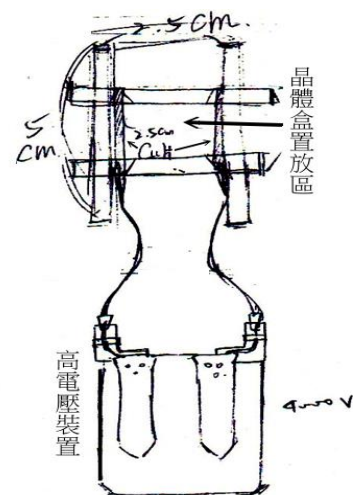


圖03：木製井字形平行銅片電場

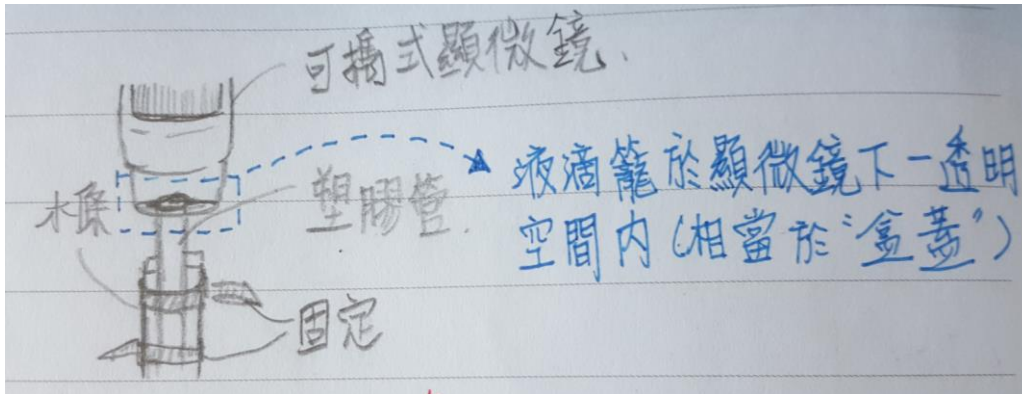
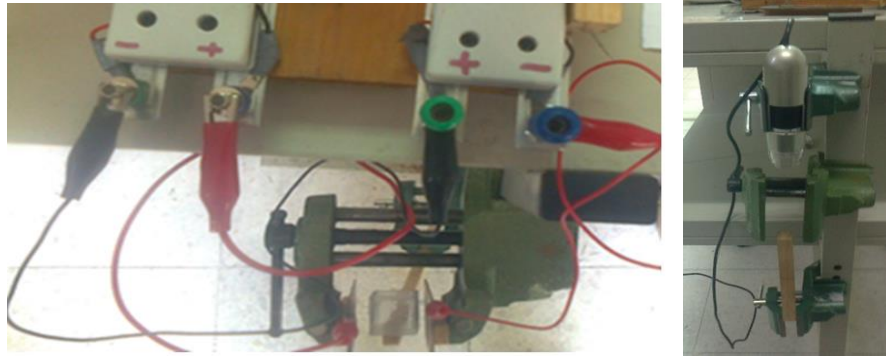


圖 04：高電壓裝置連接木工固定架平行銅片電場(左)與可攜式電子顯微鏡的擺法(右,下)。

3. 第三代-複式顯微鏡與木工固定架平行銅片電場：第二代裝置分析影像時，可攜式電子顯微鏡所拍攝的相片解析度不足，無法分析。於是決定撤除可攜式顯微鏡，保留原電場裝置，等待晶體結晶後，再取出盒中玻片，置於複式顯微鏡下觀察，以高解析度的相機進行記錄。如圖 05 所示。但無法錄影的缺點導致觀察結果不如理想。食鹽晶體生長變化有快有慢，無法錄影即時觀察，會造成結晶時間過久，晶體過於乾燥，表面的膜覆蓋上原本的結晶，導致實驗結果無法呈現。

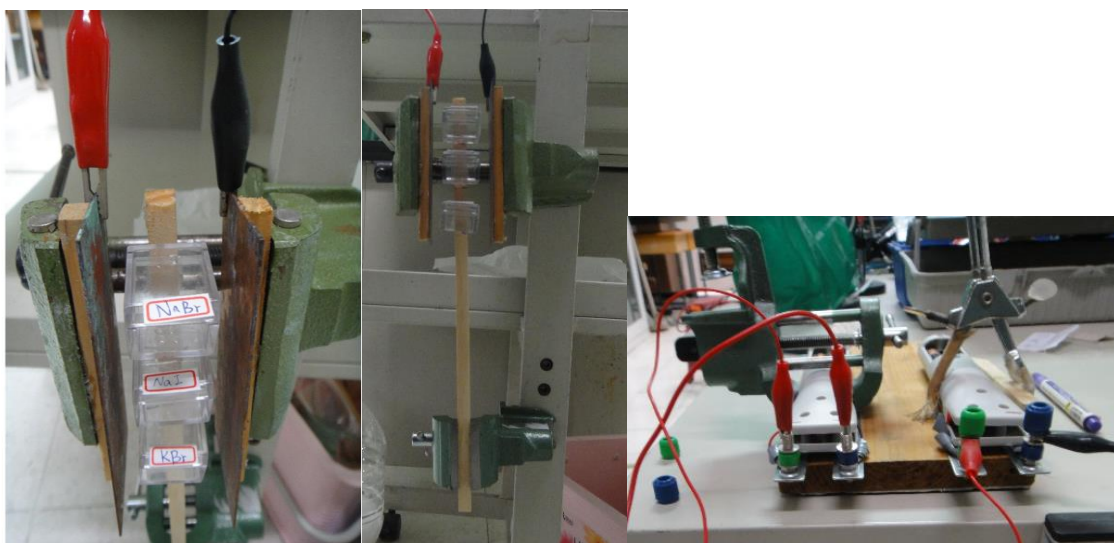


圖 05：撤去可攜式顯微鏡的第三代裝置，在平行電場中一次可做三種不同變因實驗

4.第四代-相機-複式顯微鏡與玻璃座平行銅片電場：為了能即時錄影，設計能放在顯微鏡台上的玻璃蒸發盒，以多個載玻片架起透明盒與銅片，直接放置於顯微鏡下以相機錄影拍下晶體結晶的過程。如圖 06~07 所示。

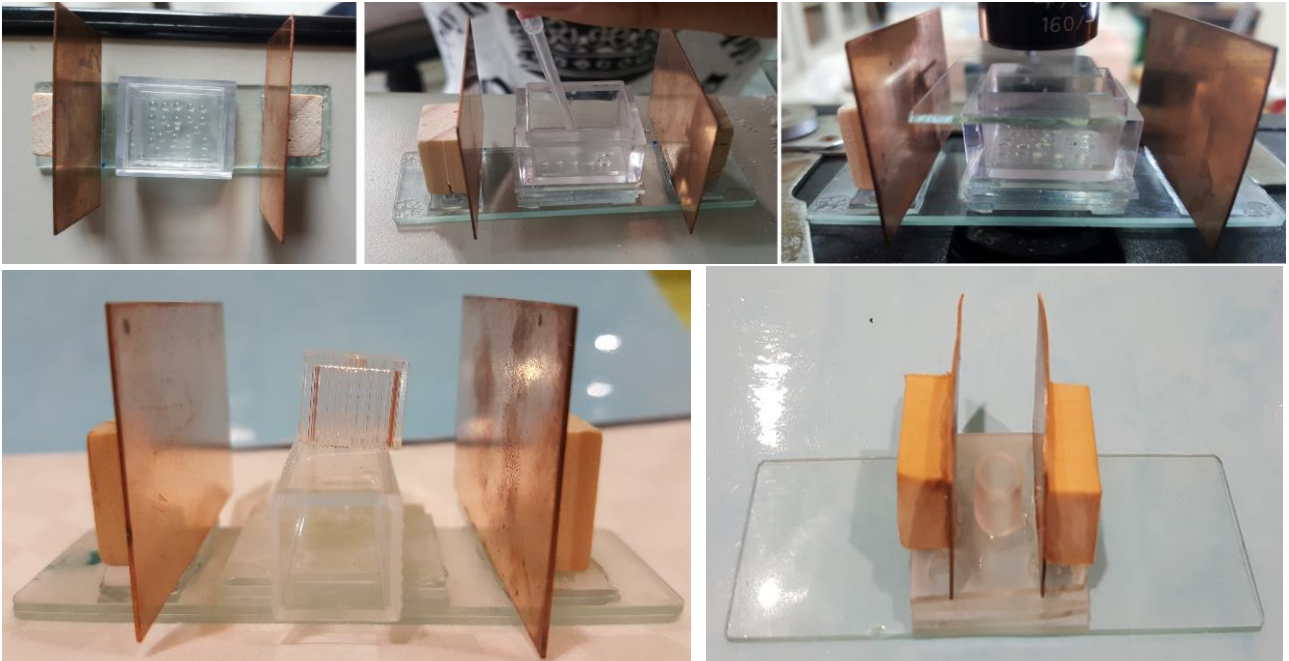


圖 06：玻璃座平行銅片電場第四代裝置，滴入液滴（左上、中上），晶體成長實況裝置（右上）  
玻璃座平行銅片電場第四代裝置其他改良，使銅片距離更近-縮小加蓋空間，4850 伏特，  
1.9cm~無限大銅板間距電場（左下），設計 4850 伏特，1.2 公分銅板間距電場，拍攝晶  
體表面變黑錄影實況（右下）

#### 一. 研究步驟：

- （一）將食鹽（或其他鹽類）放入水中攪拌溶解，直到有沉澱發生，持續兩天觀察沉澱依然存在，就可認定為飽和溶液。
- （二）以設定體積 0.01 毫升的微量吸管，吸取飽和食鹽水，將 0.01 毫升的水珠滴在玻璃片上，連續重複滴 10~20 顆水珠，再將有飽和鹽水珠的玻璃片放入玻璃座平行銅片電場密閉盒中。依設定的實驗條件，放入顯微鏡下做長時間觀察。
- （三）若是有電場之實驗，把電蚊拍電源，玻璃座平行銅片與電線串聯成迴路，製成高電壓電場裝置，按下按鍵，使電場持續穩定產生。
- （四）以相機錄（攝）影複式顯微鏡目鏡內畫面，觀察液滴結晶狀況。
- （五）紀錄測量前後電池電壓，室內溫度與相對溼度。
- （六）使用 photoimpact 軟體與測微尺載玻片換算顯微鏡下長度（0.5mm=軟體座標差 447）

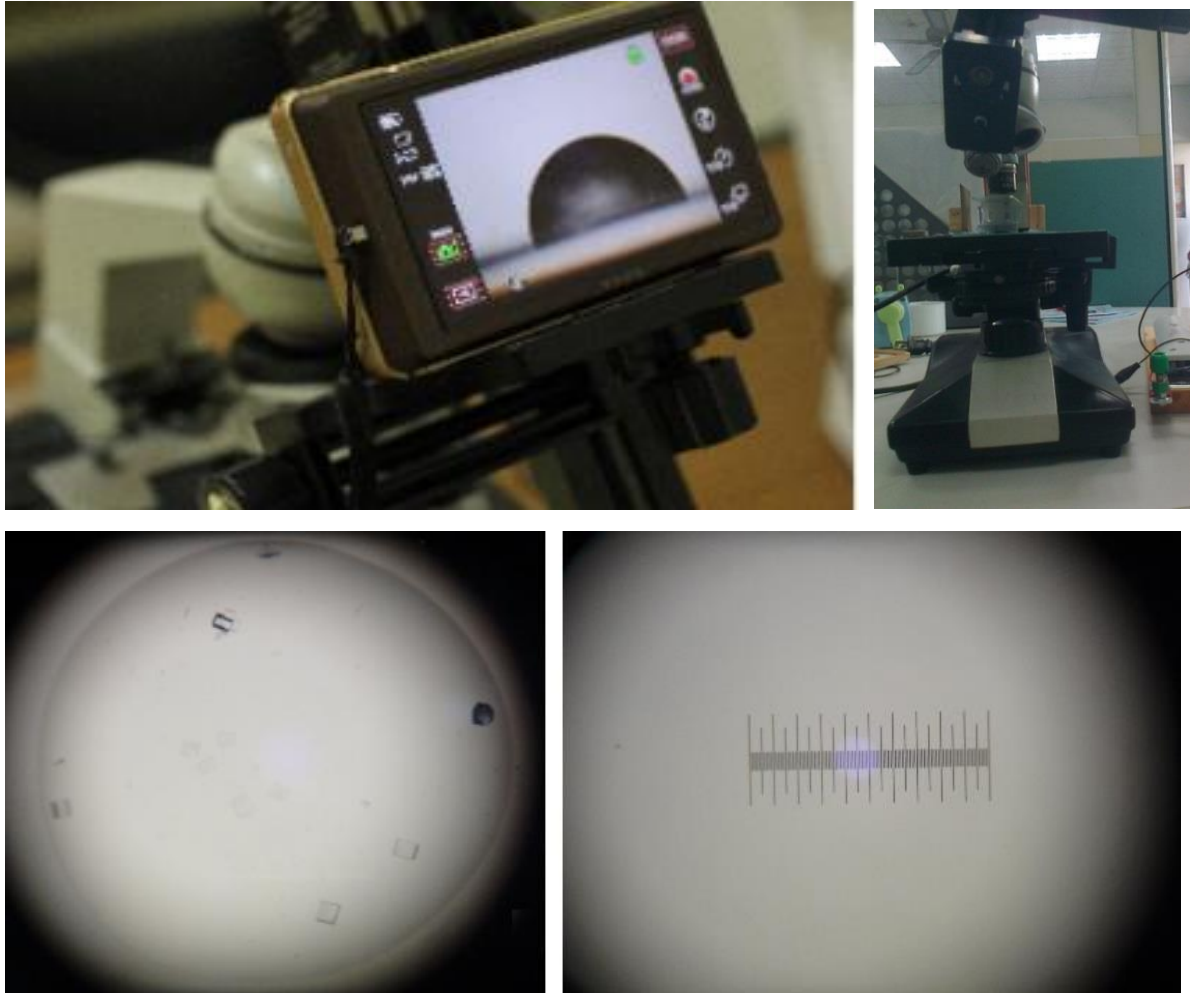


圖 07：第四代裝置：相機-複式顯微鏡的連接（左上）與鏡座上的玻璃座平行銅片電場（右上），水珠視野範圍（左下），與相同顯微鏡倍數下的載玻片測微尺（右下），用來估算晶體尺寸。

#### 四.研究預期目標：

常常會有報導：電磁場會影響身體的健康。但卻沒有足夠的實驗證據或理論來證明。在高中課本裡提到高電壓電場會影響水流的偏轉，但會影響到一般的物理和化學反應嗎？如果真的能影響，那麼高電壓電場真的有可能會影響到身體的健康。要證明這個現象，本研究選擇了鹽類析出結晶這個反應。因為些微的外在變化，都會影響溶液中離子的堆疊，而在晶體表面出現陰影與不規則平面，只有在穩定的成長環境中，鹽晶才能長出高透明度的固定外形。這一種對外環境有著高度要求的現象，正可以用來檢查外界的電磁場對物質的影響。於是我們開始進行了以下的實驗。



## 肆、研究結果與討論

### 一.找出能在水珠中長出單一顆食鹽晶體的實驗條件：

在研究晶體的外型、透明度跟電壓的關係之前。要先能夠發展出：每顆水珠裡只長一顆大型晶體。因為如果每顆水珠裡面長了很多顆晶體，每一顆顆粒太小或出現模糊或產生 X 紋路，就不容易做單一晶體形態的判斷。所以必須要先找出能在水珠中長出單顆食鹽晶體各種變因的組合的實驗條件，以供後續研究探討電場變因。

實驗條件	加蓋	過濾	施加電壓	顯微鏡燈光
研究 1-1	無加蓋	無過濾	無加電場	高熱鹵素燈
研究 1-2	無加蓋	無過濾	無加電場	低熱 LED 光源
研究 1-3	有加蓋	無過濾	無加電場	高熱鹵素燈
研究 1-4	有加蓋	有過濾	無加電場	高熱鹵素燈
研究 1-5	無加蓋	有過濾	有加電場	高熱鹵素燈
研究 1-6	有加蓋	有過濾	有加電場	高熱鹵素燈
研究 1-7	有加蓋	無過濾	無加電場	低熱 LED 光源
研究 1-8	有加蓋	有過濾	無加電場	低熱 LED 光源

#### (一) 研究 1-1：無加蓋、無過濾、無施加電場、高熱鹵素燈下的水珠晶體成長：

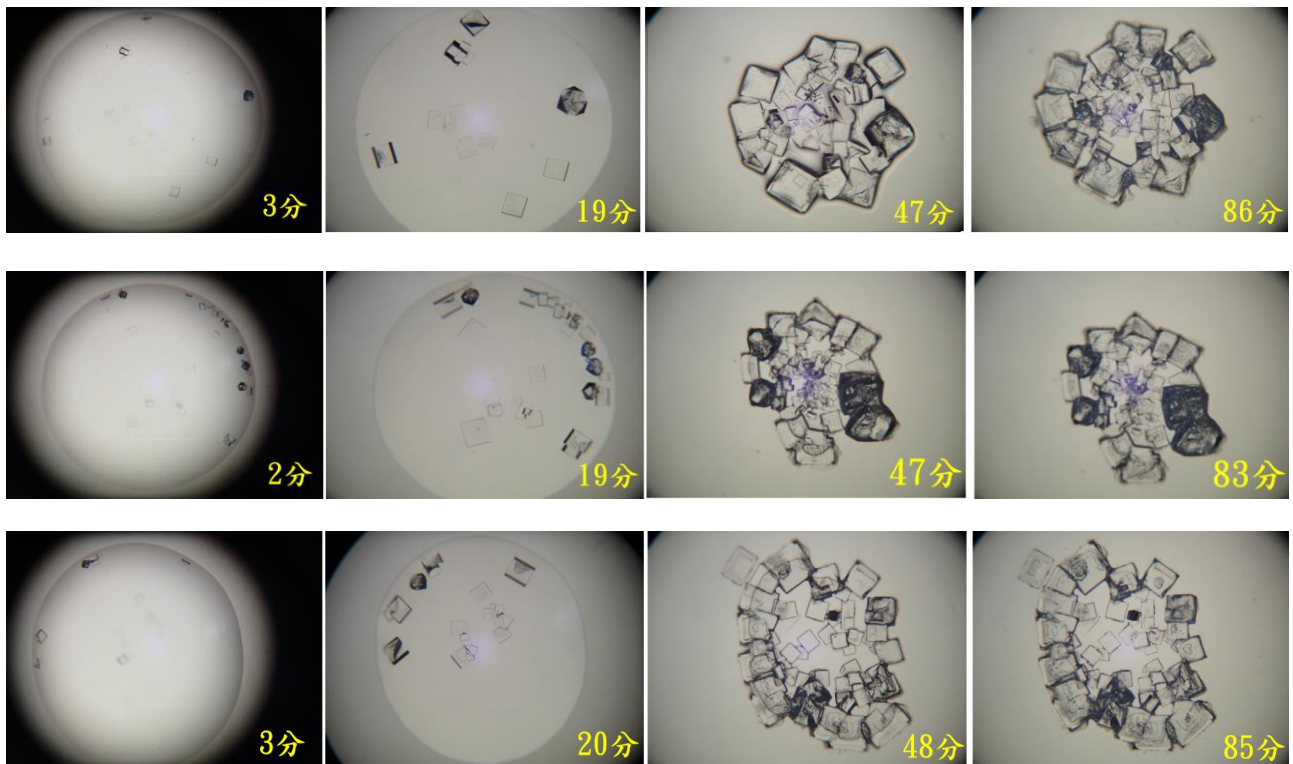


圖 08：研究 1-1 中水珠晶體成長隨時間變化的照片

(二) 研究 1-2：無加蓋、無過濾、無施加電場、低熱低熱 LED 光源下的水珠晶體成長：

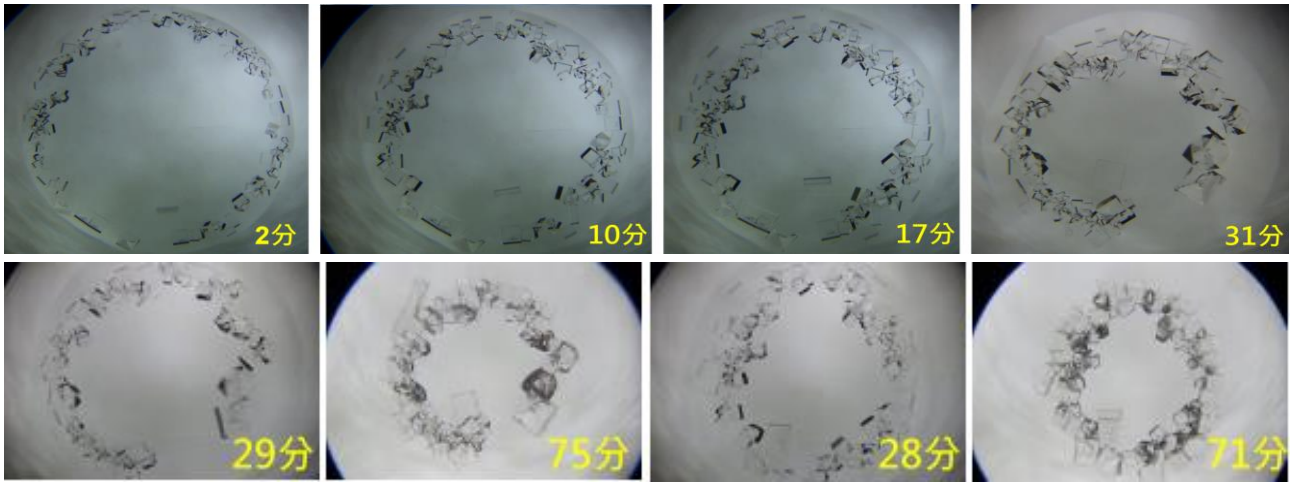


圖 09：研究 1-2 中水珠晶體成長隨時間變化照片（上：30 分鐘內變化；下：較長時間變化）

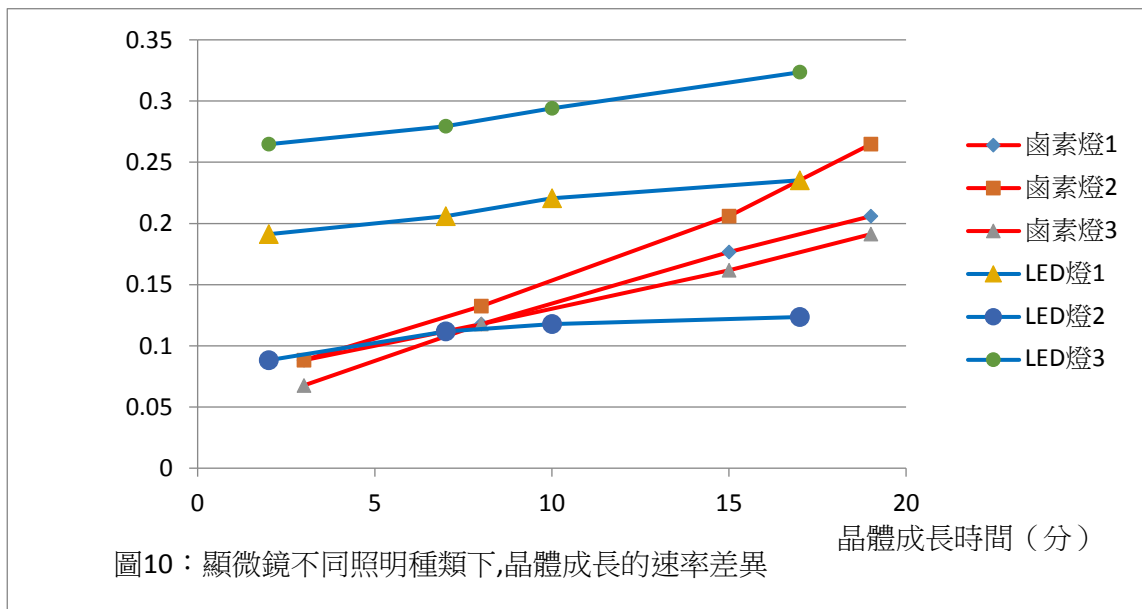


圖10：顯微鏡不同照明種類下,晶體成長的速率差異

在顯微鏡光源的實驗過程中，顯微鏡使用鹵素燈，載玻片的溫度會高達到 40~50°C。使用 LED 燈，溫度維持在室溫(約 20°C)。在高熱的鹵素燈下長出來的晶體顆粒較小，成長速率較快。而在 LED 燈下，晶體顆數較多，成長速率較慢。研判應該與鈉離子與氯離子的擴散有關。鹵素燈高溫，離子擴散快，容易到達較遠的晶種析出。LED 燈溫度低，離子擴散慢，不容易進行長程的移動，就在附近的晶種析出，造成晶體之間會互相競爭附近的離子，而導致成長速率變慢。但都不易生成目標中的單顆晶體。



圖 11：兩種不同光源的顯微鏡照明

(三)研究 1-3：有加蓋、無過濾、無施加電場、高熱鹵素燈下的水珠晶體成長：

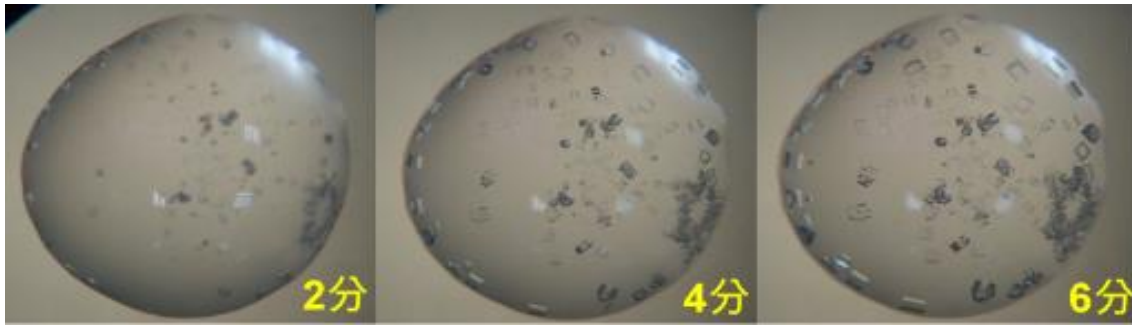


圖 12：研究 1-3 中水珠晶體成長隨時間變化的照片

(四)研究 1-4：有加蓋、有過濾、無施加電場、高熱鹵素燈下的水珠晶體成長：

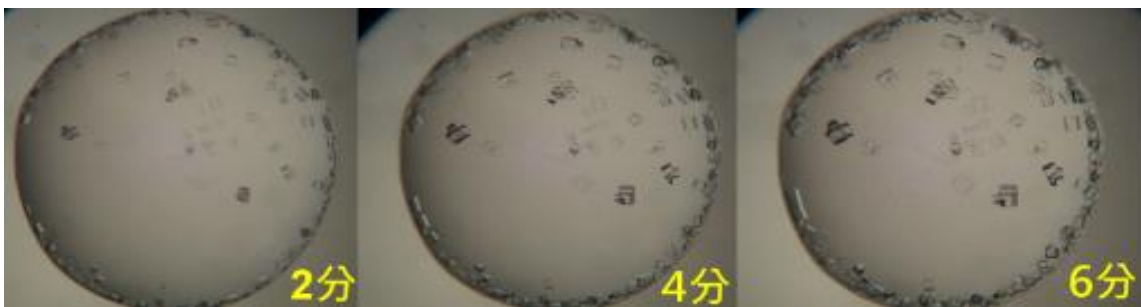


圖 13：研究 1-4 中水珠晶體成長隨時間變化的照片

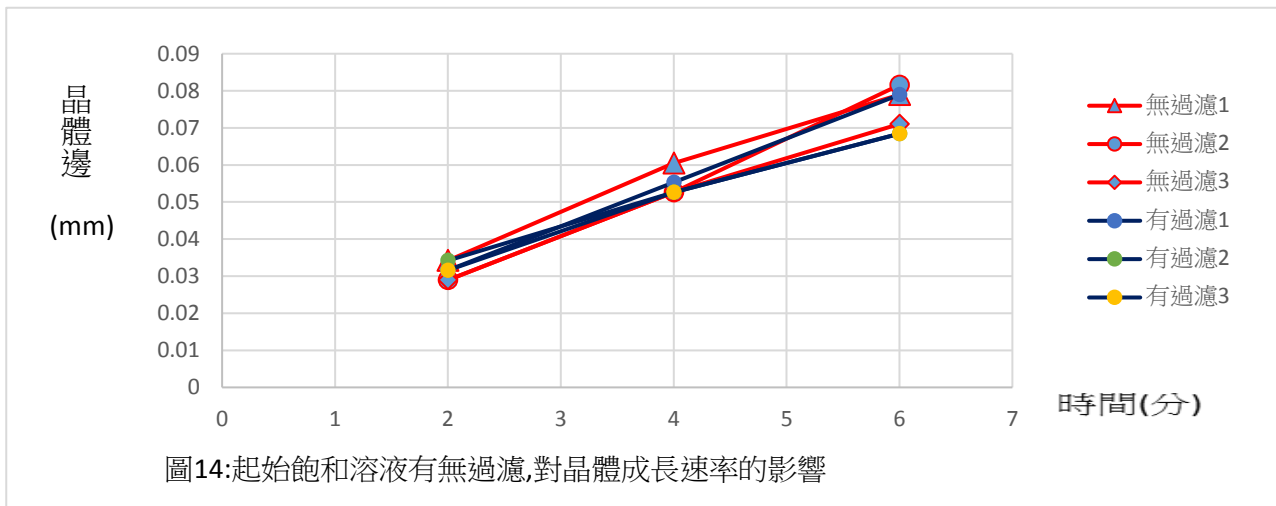


圖 15：以微量吸管吸取飽和食鹽水溶液, 吸取過程有過濾 (左) 與無過濾 (右) 的差別

在飽和食鹽水有無過濾的實驗中，研究結果顯示：兩者水珠中的晶體成長速率都大略相同，有過濾的水珠晶體較少，沒有過濾的水珠晶體較多，但都還是不能達到單顆晶體的目標。而且在滴水珠到載玻片的過程中，水的同時也在蒸發。無法避免一開始(加蓋前)的晶體生長。

(五)研究 1-5：無加蓋、有過濾、有施加電場、高熱鹵素燈下的水珠晶體成長：

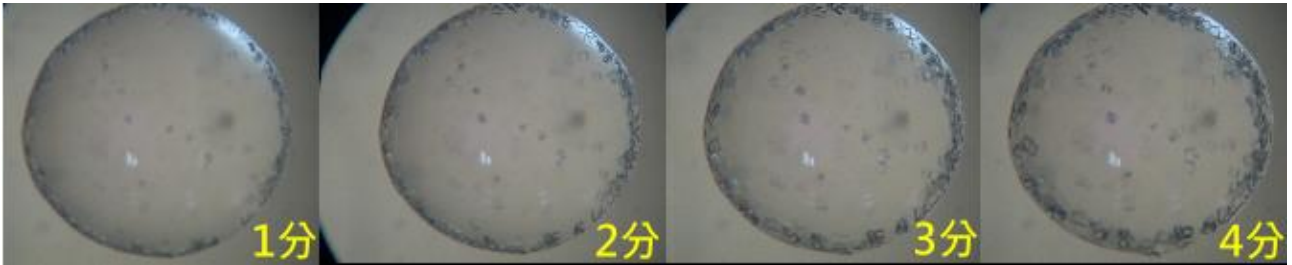


圖 16：研究 1-5 中水珠晶體成長隨時間變化的照片

(六)研究 1-6：有加蓋、有過濾、有施加電場、高熱鹵素燈下的水珠晶體成長：

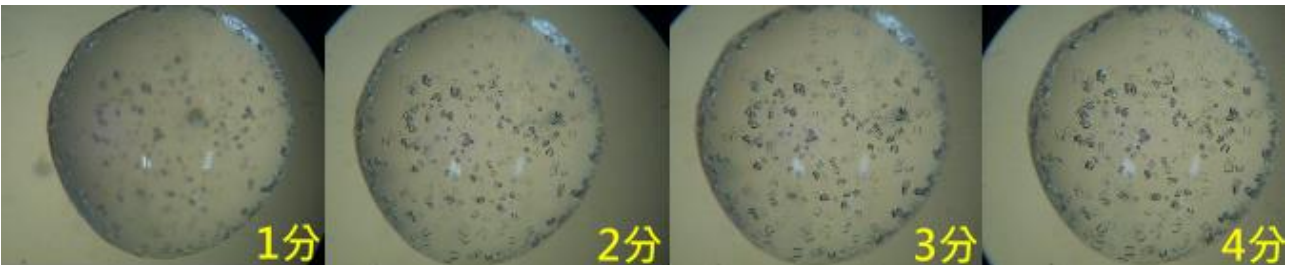


圖 17：研究 1-6 中水珠晶體成長隨時間變化的照片

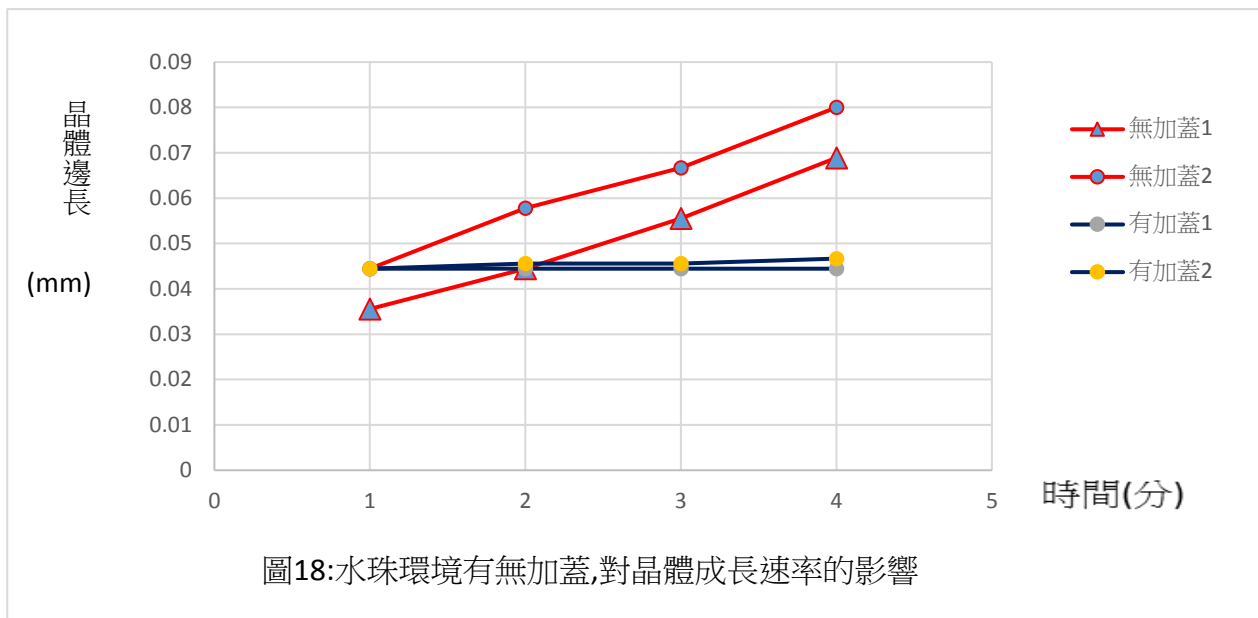


圖18:水珠環境有無加蓋,對晶體成長速率的影響



圖 19:水珠環境有無加蓋,五分鐘後,液滴邊緣長出晶體(左:有加蓋;右:無加蓋)

在蒸發過程有無加蓋的實驗中，研究結果顯示：在前五分鐘內，有加蓋的實驗水珠晶體的成長很慢(幾乎等於零)。沒有加蓋的實驗，水表面有蒸發，晶體才會成長，但都還是不能達到單顆晶體的目標。而且在滴水珠到載玻片的過程中，水的同時也在蒸發。所以如果一開始就用飽和的食鹽水溶液，沒加蓋前食鹽晶體就會長出來，加蓋後才停止生長。

#### (七)研究 1-7：有加蓋、無過濾、無施加電場、低熱 LED 光源下的水珠晶體成長：

在高溫的鹵素燈下，各種變因的組合都沒有辦法找出能長出單一顆晶體的條件。所以嘗試改用 LED 光源，搭配成長速率最慢的有加蓋變因，在有無加蓋的不同變因下，來試試是否能達到液滴中只長出單顆晶體的目標。

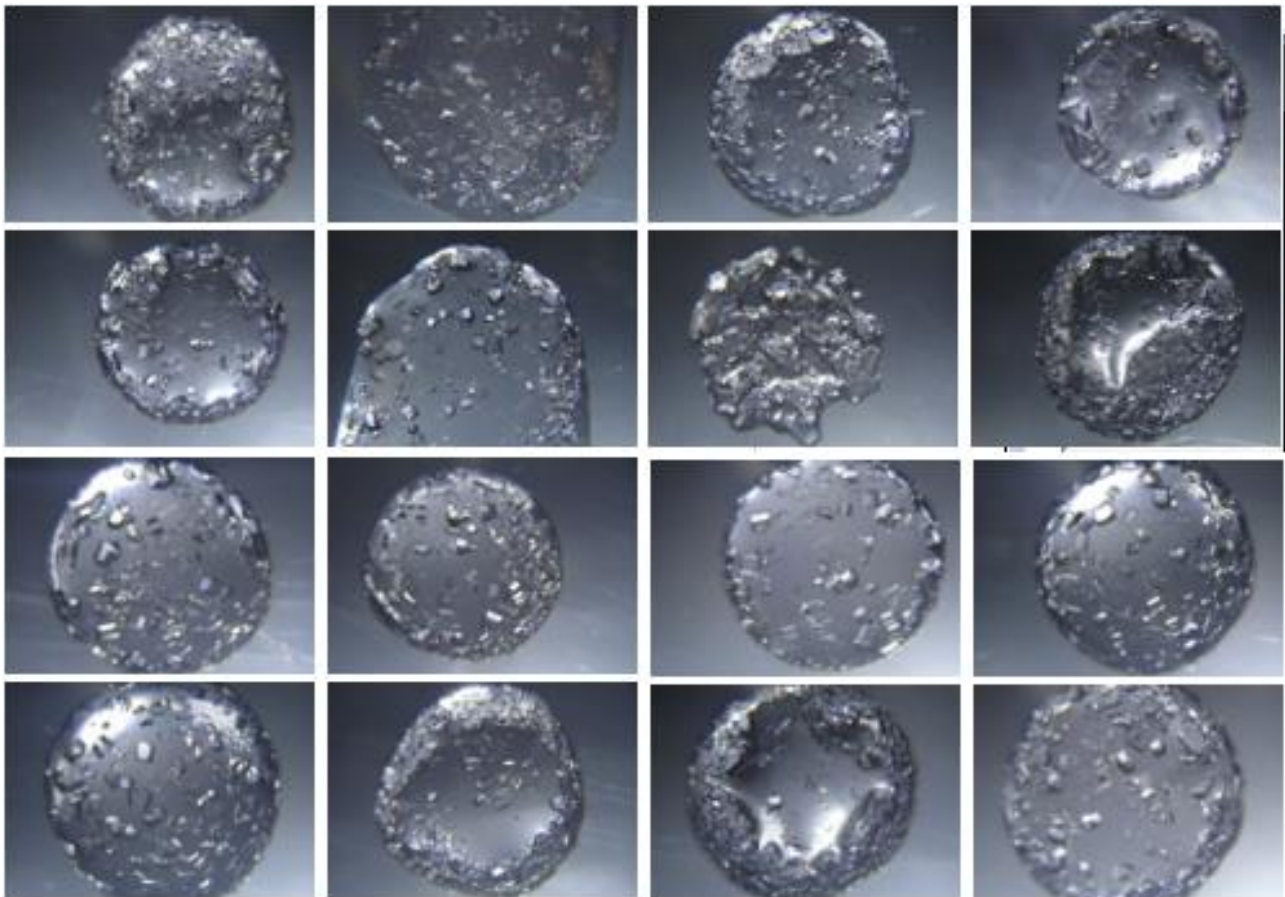


圖 20：研究 1-7 無過濾食鹽溶液的十六顆水珠晶體，在晶體成長時間 118 分鐘後的照片

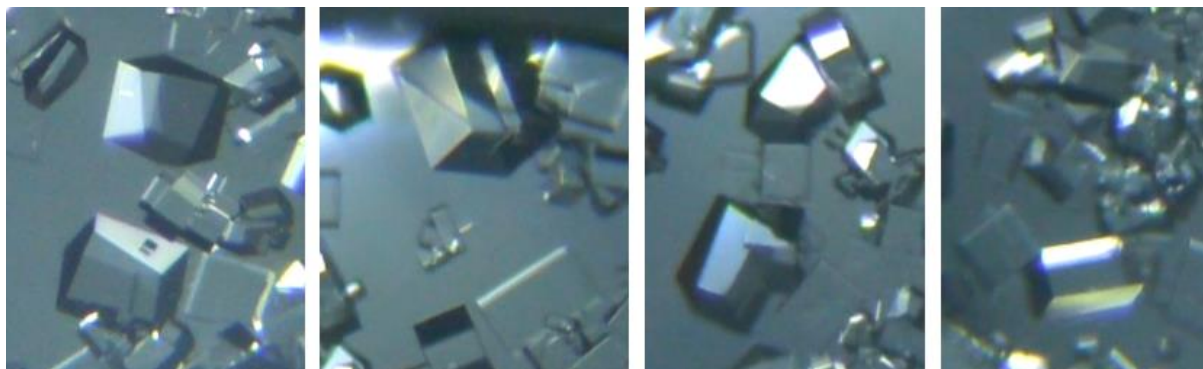


圖 21：研究 1-7 無過濾食鹽溶液，晶體成長時間 118 分鐘後，液滴邊緣長出晶體的照片

(八)研究 1-8：有加蓋、有過濾、無施加電場、低熱 LED 光源下的水珠晶體成長：

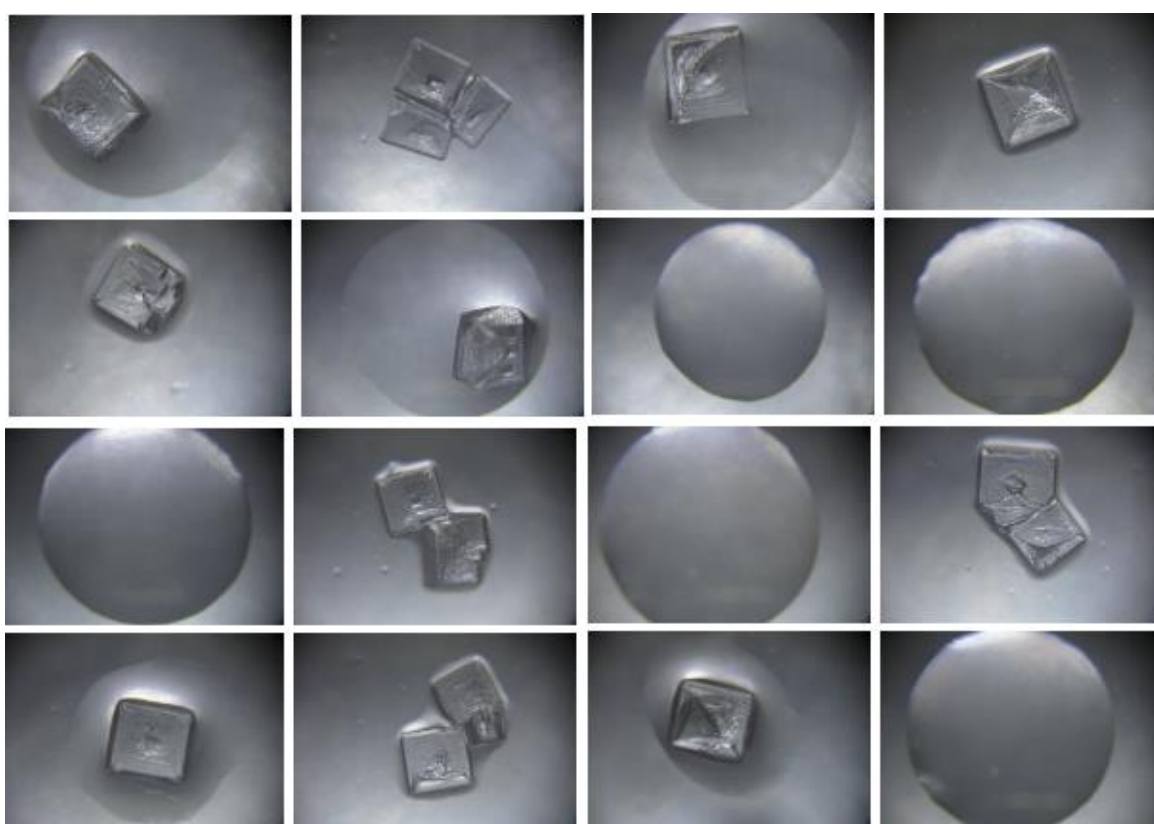


圖 22：研究 1-8 有過濾食鹽溶液的十六顆水珠晶體，在晶體成長時間 190 分鐘後的照片

加蓋後晶體的成長果然很慢，沒有過濾的液滴，產生晶體顆粒多，還是沒有辦法達到單一晶體的目的。但是在有過濾的實驗裡，研究顯示：因為過濾濾掉了液滴中眼睛看不見的微小時晶種，所以水珠內會維持一段無晶體的過飽和狀態(如圖 22 中，190 分鐘後，16 顆裡面還有五顆沒有晶體的水珠)，但是其他 11 顆晶體在液滴都產生了一到三顆的大型晶體，表面紋路十分清楚，可以供後續研究探討電場變因，接近研究設定的目標。而在圖 13 中:隔夜實驗 1120 分鐘以後，16 顆水珠都長出晶體。原本處於過飽和的五顆液滴，都產生了表面的透明度很差的膜狀或 X 字紋型晶體。

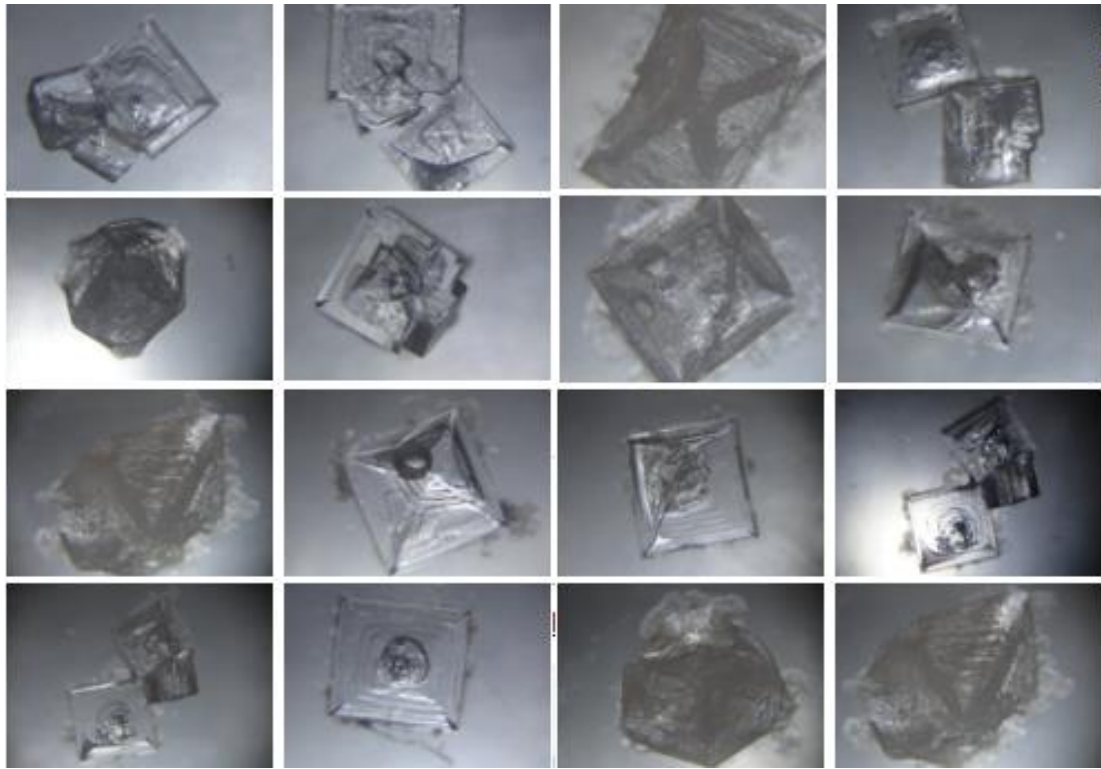


圖 23：研究 1-8 有過濾食鹽溶液的十六顆水珠晶體，在晶體成長時間 1120 分鐘後的照片

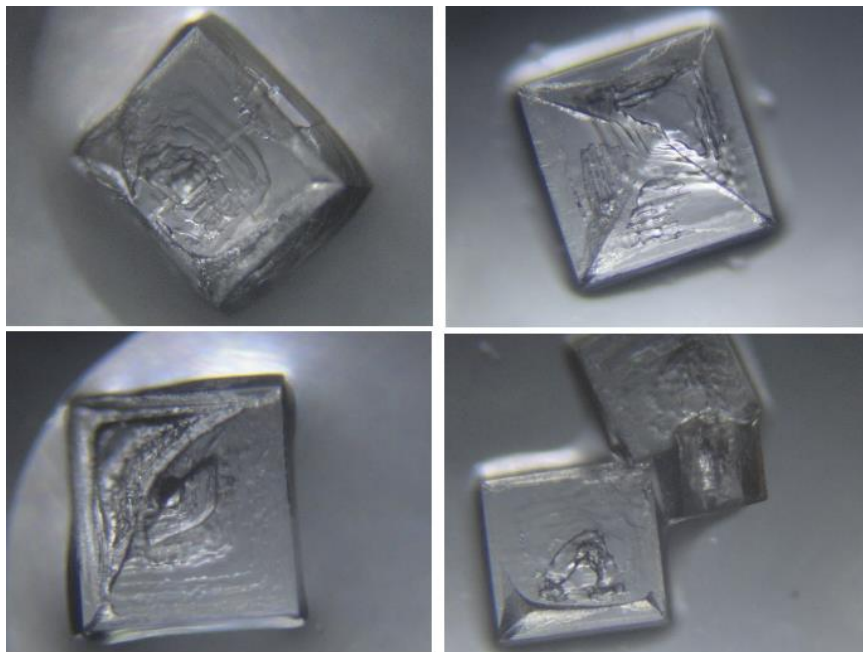


圖 24：研究 1-8 中，190 分鐘後液滴產生表面紋路清楚的大型晶體，可以供後續研究

綜合以上的研究結果與文獻，只要鹽水中有食鹽固體穩定存在，就會形成飽和食鹽溶液（圖 25 中 C 點），若液滴中沒有晶種（完全的過濾），食鹽水溶液會出現有過飽和現象，也就是隨著水份的蒸發，飽和濃度會往上升，跨越飽和曲線（圖 25 中 C 點），進入過飽和區（圖 25 中 BC 線段）。在過飽和區裡，還是不會有晶體析出，水蒸發時，濃度一直要往上升，不加蓋時蒸發快，蒸發越快，由 C 點升到 B 點的時間越短，碰到過飽和曲線時（圖 25 中 B 點），就一定要長出第一顆食鹽晶體，晶種一長出，濃度會在瞬間由 B 點降到 C 點，晶體會出現快

速成長期，長出透明度很差的膜狀或 X 字紋型晶體。回到 C 點後，就完全由蒸發速率來控制結晶速率，這個時候就不會有過飽和現象，離子只在第一顆食鹽晶體上析出（停在圖 25 中 C 點），單一顆鹽晶慢慢的長大，這樣子就可以達到研究目標中所要求的一顆水珠裡單一顆鹽晶的現象。

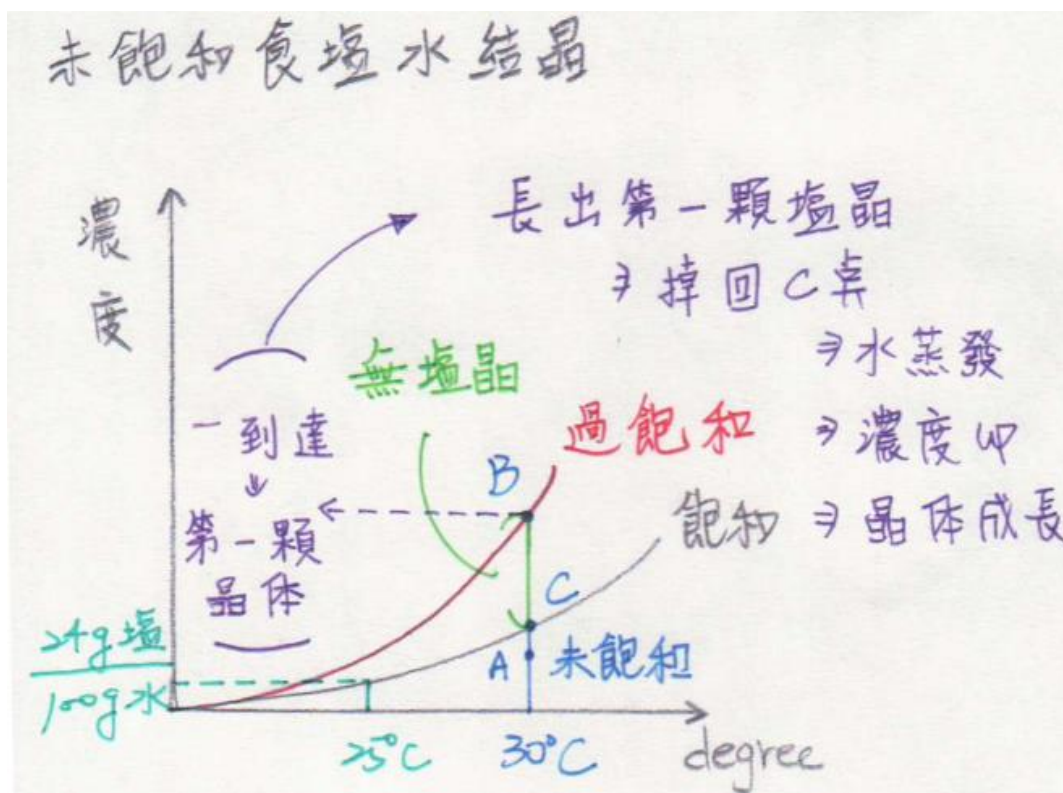
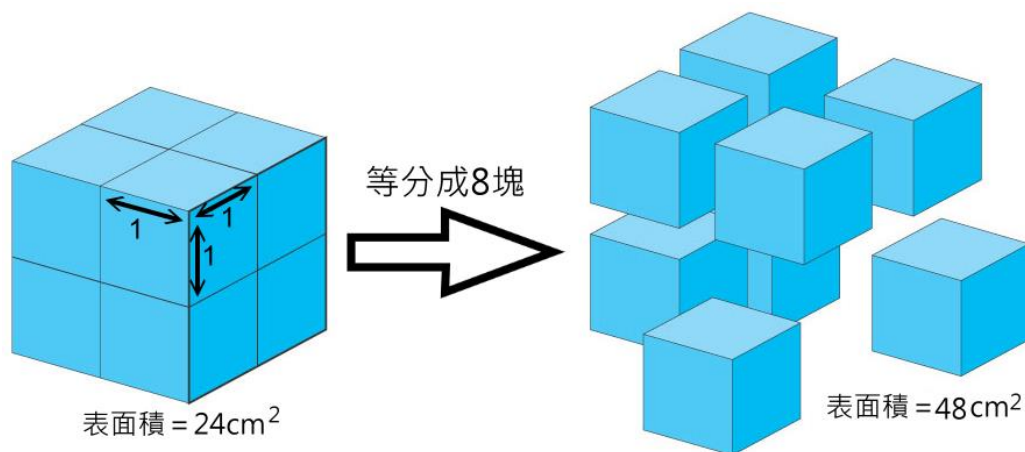


圖 25：食鹽水結晶溶解度曲線、過飽和度曲線與濃度變化示意圖

使用鹵素燈當顯微鏡的光源時，會導致晶體生長溫度較高。不利於食鹽晶體的析出（食鹽晶體析出是放熱反應）。所以在高溫的環境下，必須增加晶體表面積，才能夠快速的散熱。所以在高溫下 都只能長出小顆的晶體。當改用常溫 LED 燈作為光源時，環境溫度低，有利於散熱，就比較能夠有大的機會，去長出表面積較小的大型晶體。更進一步來說：當晶體生長在高電壓電場下，結晶反應位能高峰（過渡態能量）會被提升，過渡態與結晶生成態的能量差越大，要釋放的能量越多，如果晶體在短時間內要釋放的能量越多，勢必要有更大的表面積來散熱，而因此造成更碎的晶體。

(a)





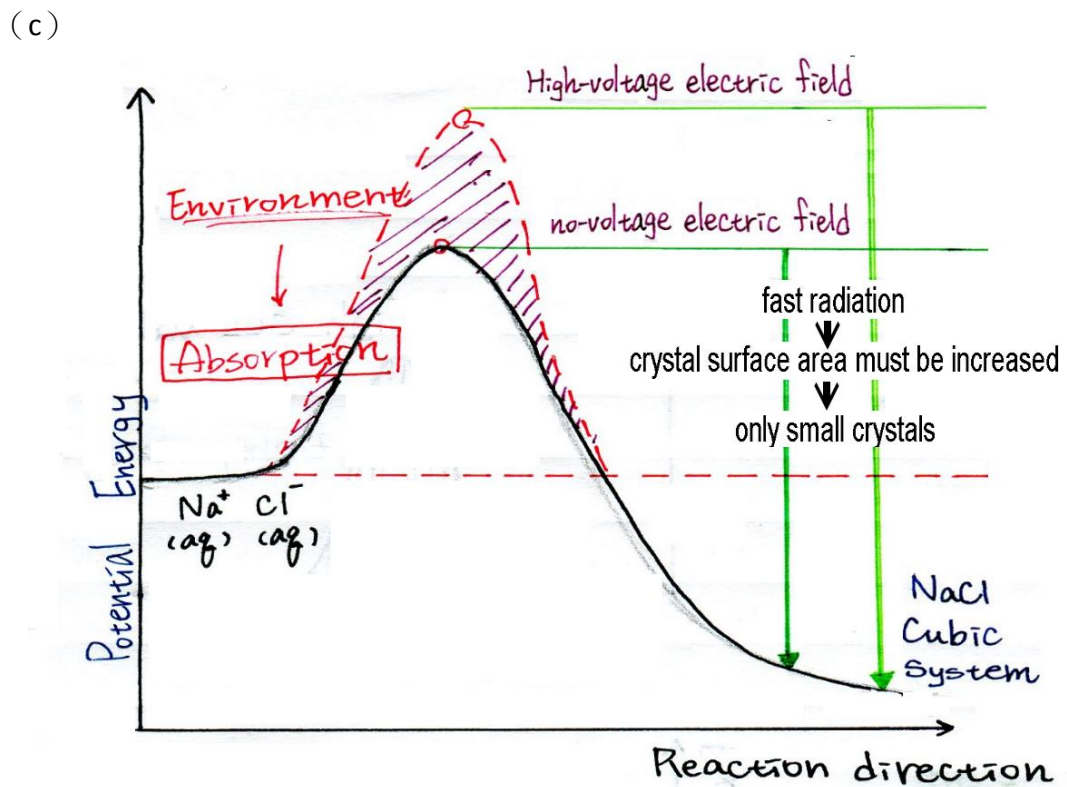
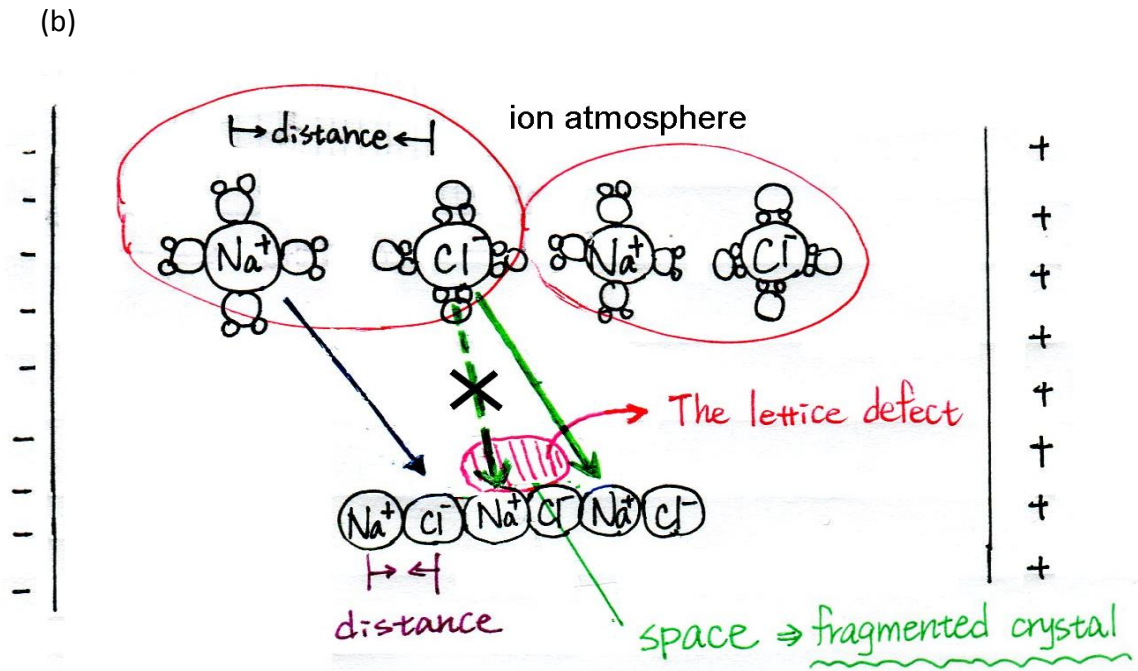


圖 26：(a)國中課本中有關表面積與顆粒大小關係的示意圖 (b)在電場下產生晶格缺陷導致碎晶或陰影（不透明度增加）的原因示意圖 (c)以反應位能圖解釋高電壓下產生更多碎晶的原因示意圖

在食鹽晶體成長分段實驗裡，應用蒸發速率的差異，研究晶體表面紋路，整理發現：蒸發速率快會形成階梯狀的螺旋紋，蒸發速率降低，螺旋紋就會消失，變成全透明的晶體。但在大顆晶體的中間，因為水珠蒸發降低溶液高度，當液珠高度低於晶體高度，周圍溶液離子就無法向中間擴散，溶質不夠而形成晶體中間的階梯螺旋紋凹陷（如圖 27）。

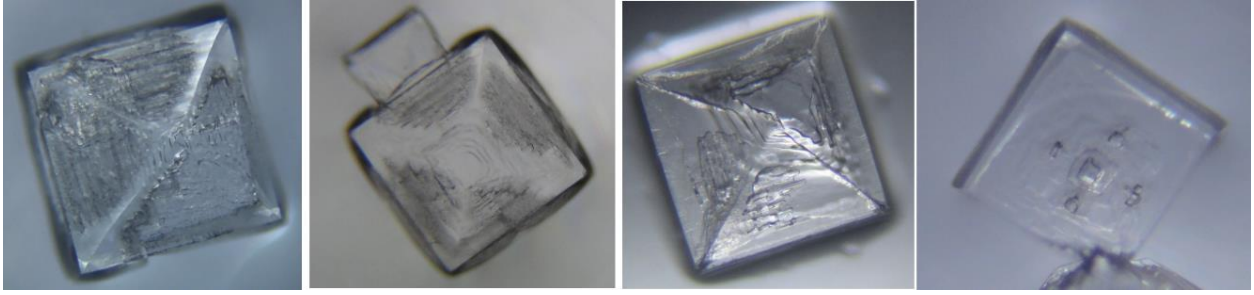


圖 27：不同情況下產生的食鹽晶體表面的階梯螺旋紋。左一,左二：溶質供應充足,產生中央隆起的階梯螺旋紋丘。右一,右二：溶質供應不足,產生中央凹陷的階梯螺旋紋谷。

階梯螺旋紋的成長機制，於 1949 年富蘭克 (F.C.Frank) 所提出，主要是在較低的過飽和度下與光滑界面的晶體生長機制 (如圖 28)。當鹽晶表面晶體析出發生缺陷產生螺型差異排列 (如圖 28 左一)，螺差排在表面形成的台階上不斷的吸附原子，以恆速向前推進，導致中央隆起物的生長，晶面上出現永遠填不滿的台階。這被稱為是二維核心的生長過程。研究影像中螺旋紋跟全透明的晶體，往往相鄰發生，表示兩者的生長條件應該接近，應該都是在低過飽和度的時候才會發生。降低蒸發速率，有助於減少螺旋階梯紋的產生，而進入晶體高透明度的成長階段。



圖 28：階梯螺旋紋的成長機制，主要是發生在較低的過飽和度下與光滑界面晶體上

## 二.探討在同一顆晶體成長中，改變蒸發速率，食鹽晶體成長階段變化與變速成長現象：

在第一階段的實驗中，已經找到單顆晶體成長的實驗條件組合。以此為基礎，來嘗試在食鹽晶體成長的過程中，以水蒸發速率改變晶體成長速率的手段看出，晶體表面呈現模糊狀或透明狀的差異。

### (一) 實驗設計：

- 1.控制變因組合：有過濾、無施加電場、低熱 LED 光源下的水珠晶體成長
- 2.操縱變因：分段時序控制蒸發速率

階段別	時間	操縱變因變化	預計達成目標
第一階段	60 分	加蓋,極少量蒸發 到達容器內飽和蒸氣壓 蒸發表面積 $0\text{cm}^2$	使鹽水液滴進入 過飽和階段
第二階段	30 分	不加蓋,快速蒸發 蒸發表面積 $4.0\text{cm}^2$	使鹽水液滴快速長出晶種 回到飽和狀態
第三階段	120 分	加蓋,慢速蒸發 蒸發表面積 $0.6\text{cm}^2$	使鹽水液滴在飽和狀態 慢速成長

(一) 實驗結果：

1. 第一階段：加蓋, 極少量蒸發

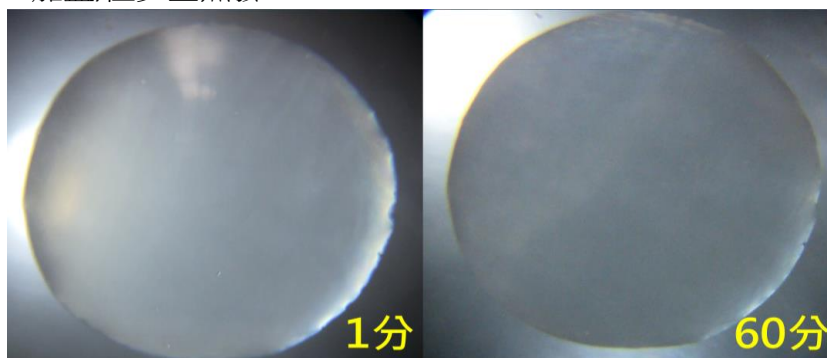


圖 29：第一階段 60 分鐘前後, 鹽水液滴進入過飽和階段的照片

2. 第二階段與第三階段比較：

	第二階段 (不加蓋, 快速蒸發 30 分鐘)	第三階段 (加蓋, 慢速蒸發)
樣本一		
樣本二		
樣本三		
樣本四		

圖 31：第二階段 (快速蒸發) 與第三階段 (慢速蒸發) 後, 晶體照片比較

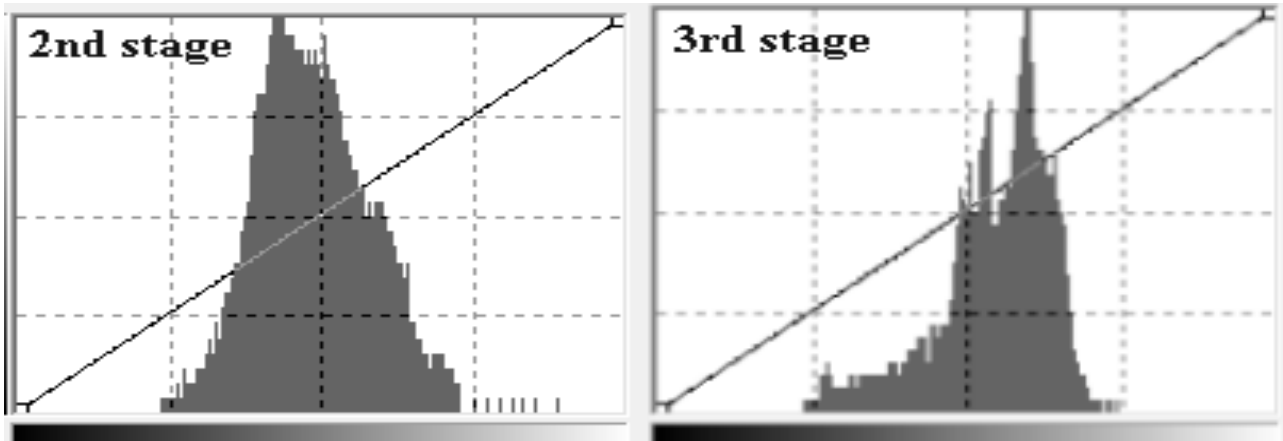


圖 29-1: 同一張影像中, 樣本一的色階曲線 (左: 第二階段生長, 右: 第三階段生長)

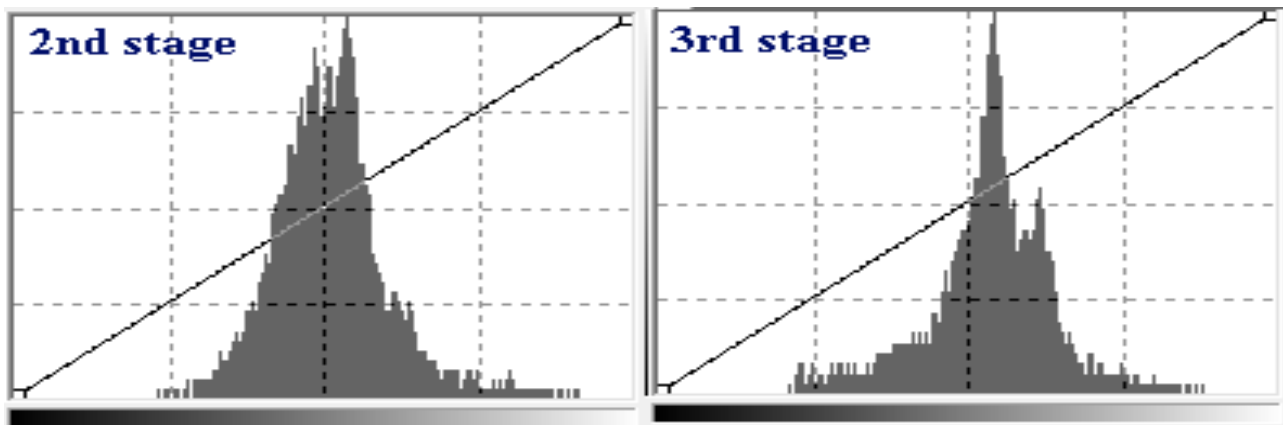


圖 29-2: 同一張影像中, 樣本四的色階曲線 (左: 第二階段生長, 右: 第三階段生長)

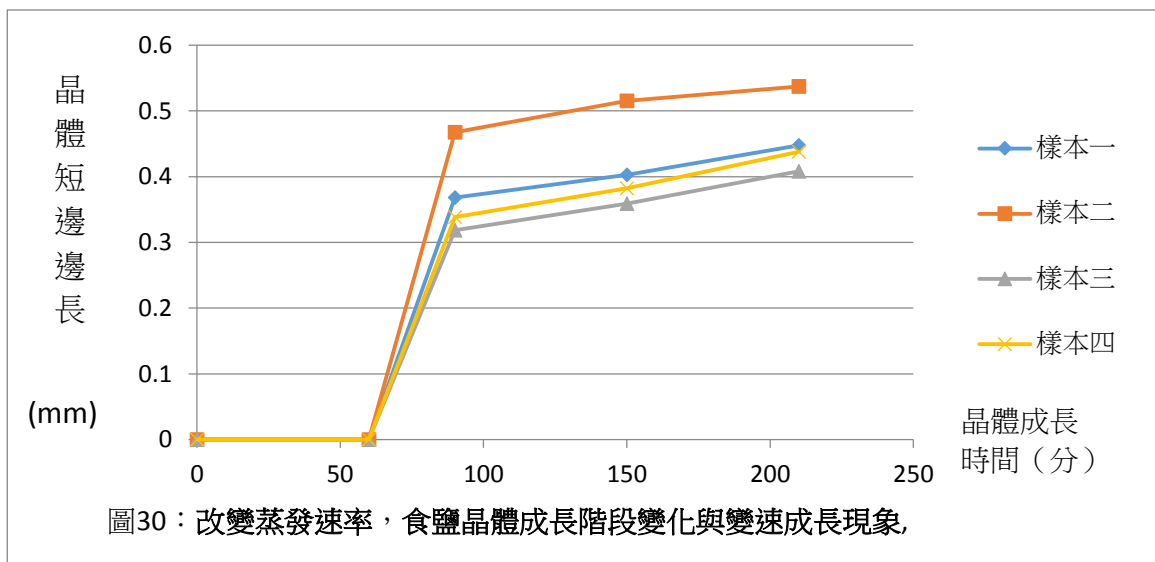


圖30：改變蒸發速率，食鹽晶體成長階段變化與變速成長現象

由以上的實驗中發現:新晶種的生成(60~90分鐘)和後續晶體變大的生長(90~210分鐘)是兩個不同階段的過程。第一階段的晶種長出,水蒸發使食鹽濃度升高到達過飽和度的這個門檻,晶種才會長出。而蒸發越快,到達門檻的時間越短,晶種能比較快出現。接下來,剛出現晶種的液滴,必須馬上將蒸發速率降低,才能在後續晶體變大的過程中,產生高透明度的晶體。如果在剛出現晶種的液滴中,維持相同的蒸發(或晶體成長)速率,就會在後續晶體的成長上,會造成表面模糊或是出現X字紋路的現象。所以在實驗過程當中,適時控制蒸發速率,第一階段晶種生成時間盡量短,第二階段的晶體成長速率盡量慢,晶體的成長就能夠趨向單顆且高透明的目標,而達成本研究的目的。

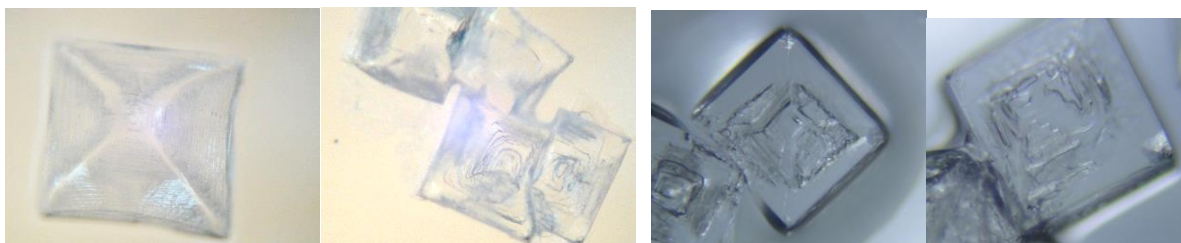


圖 32：晶種生成後，無降低蒸發速率（左）與有降低蒸發速率（右）生成之晶體差異

### 三. 研究鹽類水珠液滴在高電壓平行板電場中，受到電場影響，產生的結晶變化。

高中化學課本裡面提到:高電壓電場會影響帶有極性的水分子，水流在經過高電壓平行板電場時，會有偏轉的現象（如圖 33），以這種現象來解釋水分子帶有極性。鹽類水溶液裡的正離子與負離子，應該也會受到高電壓電場的影響，而在鹽類液滴中有正、負離子分離的現象。這個分離的現象對鹽類晶體的成長，是會長出更透明的狀況，還是會影響鹽晶的規則排列改變其外型，這是我們這個研究所要探討的。

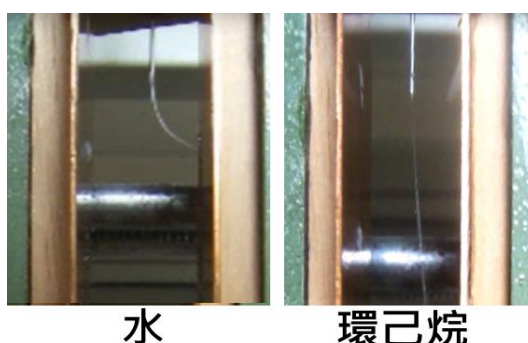


圖 33：高極性的水分子與低極性的環己烷分子在 2450 伏特高電壓電場下的液流偏轉

（一）研究 3-1：比較食鹽水液滴在有、無高電壓平行電場的不同條件中，結晶型態的變化。

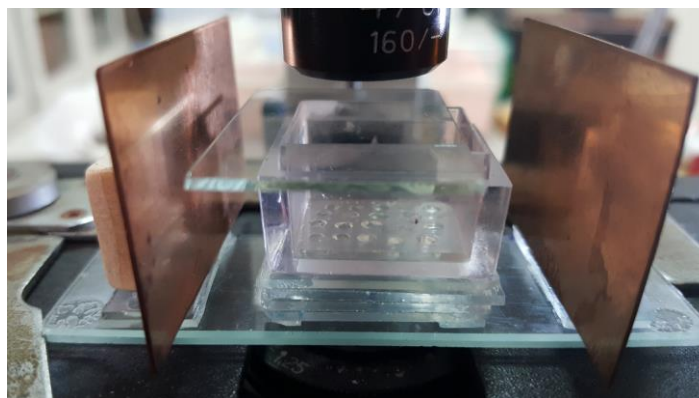


圖 34：研究 3-1 顯微鏡下，高電壓平行電場的液滴晶體成長實驗裝置（第三階段）

1. 控制變因組合：有過濾、分段時序控制蒸發速率、低熱 LED 光源下的水珠晶體成長

分段時序	時間	分段時序控制蒸發速率
第一階段	60 分	加蓋，極少量蒸發，蒸發表面積 $0\text{cm}^2$
第二階段	30 分	不加蓋，快速蒸發，蒸發表面積 $4.0\text{cm}^2$
第三階段	120 分	加蓋，慢速蒸發，蒸發表面積 $0.6\text{cm}^2$

2. 操縱變因：無施加電場（電壓=0 伏特），有施加電場（電壓=4850 伏特），銅片間隔 3.5cm, 銅片尺寸 30mm X 50mm X 1mm

3.實驗結果：(如圖 23,24,25)

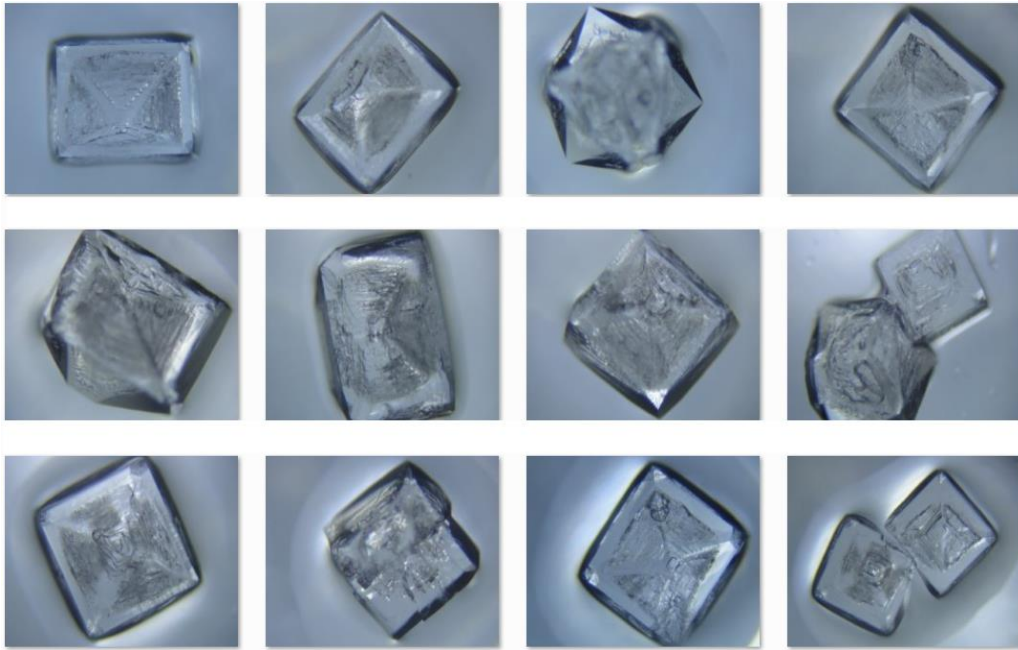


圖 35：顯微鏡下，無施加高電壓平行電場（電壓=0 伏特）的液滴晶體成長影像

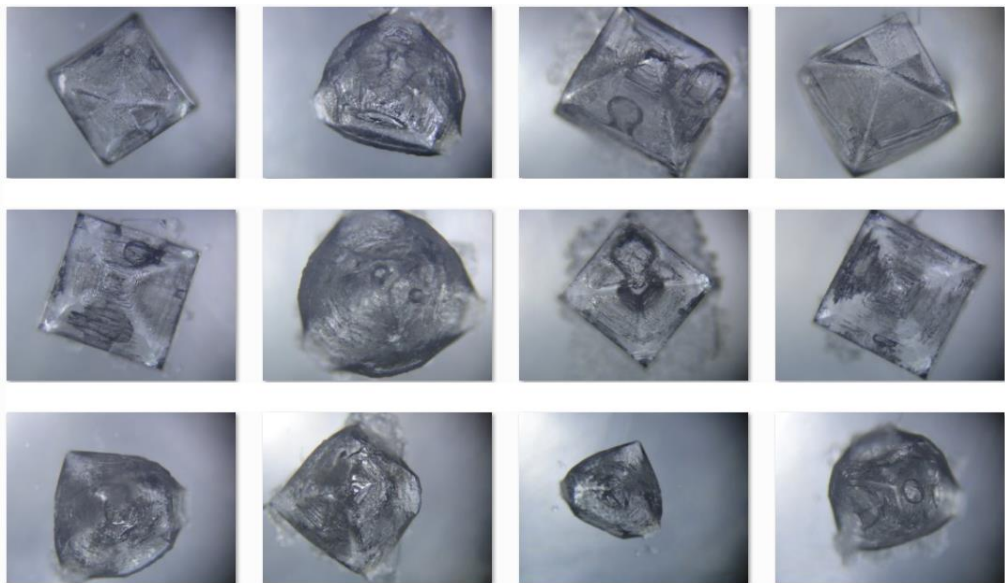


圖 36：顯微鏡下，有施加高電壓平行電場（電壓=4850 伏特）的液滴晶體成長影像

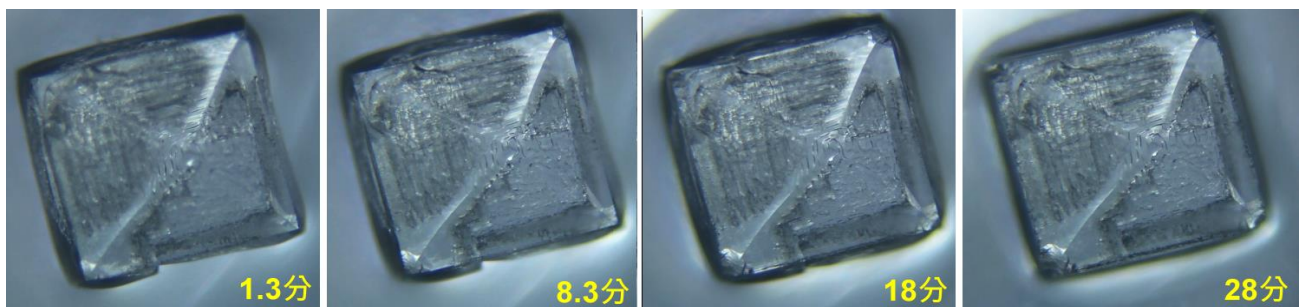
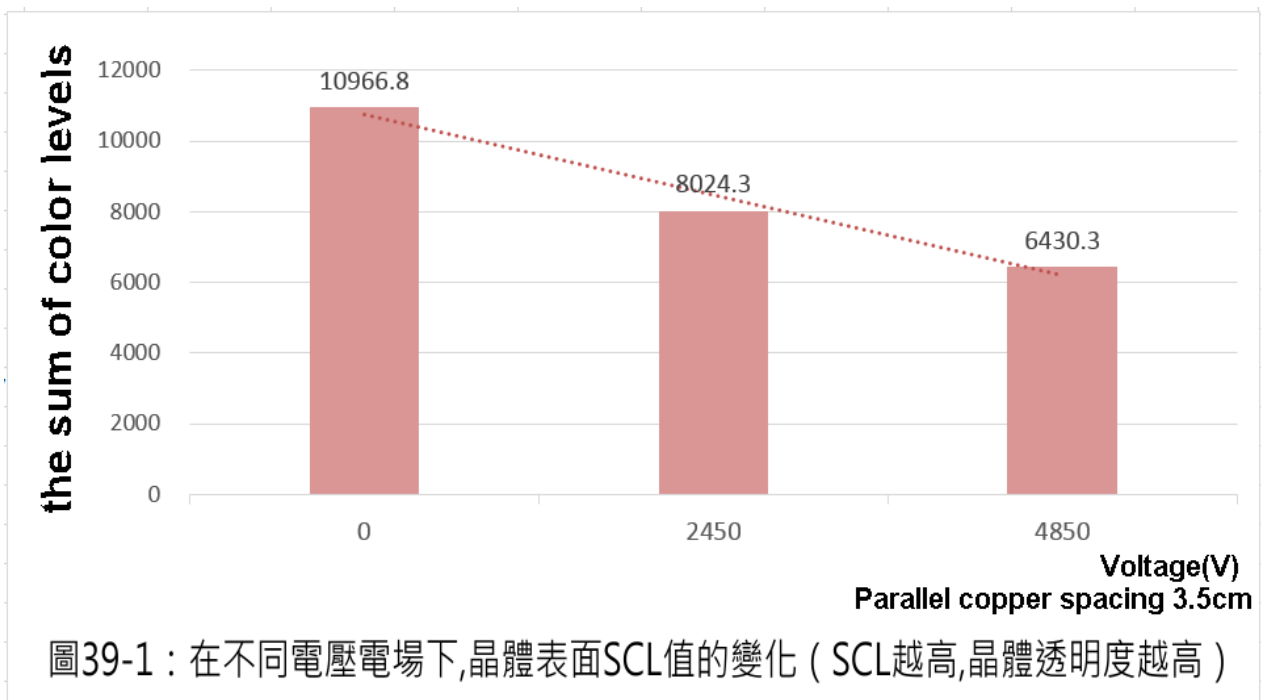
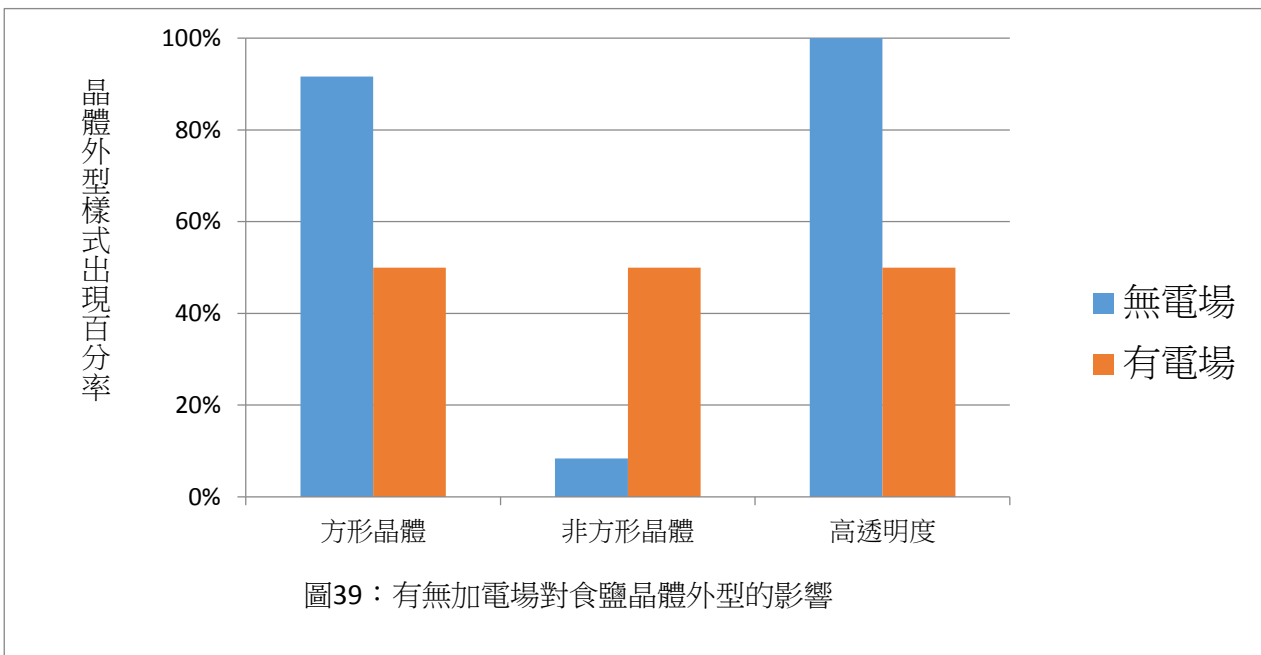
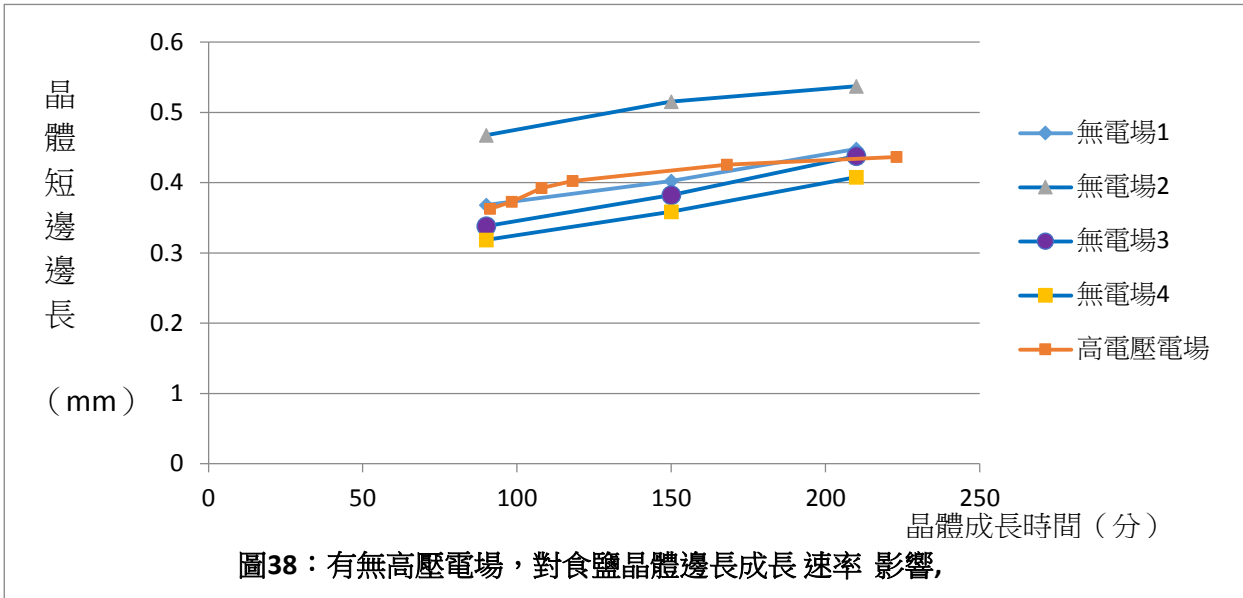


圖 37：施加高電壓平行電場（電壓=4850 伏特）的食鹽晶體自我修復晶形的成長影像



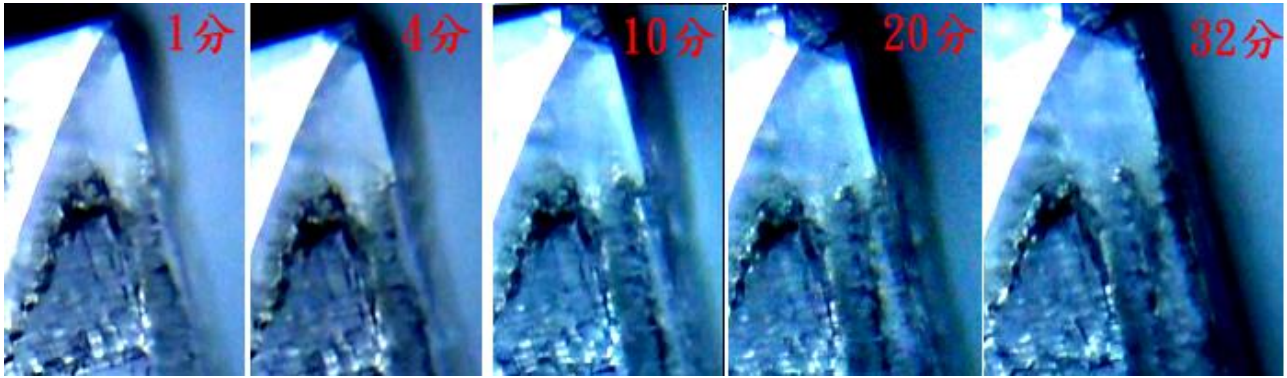


圖 40:有施加高電壓平行電場的食品鹽晶體, 邊緣新生部分的兩條暗紋成長過程

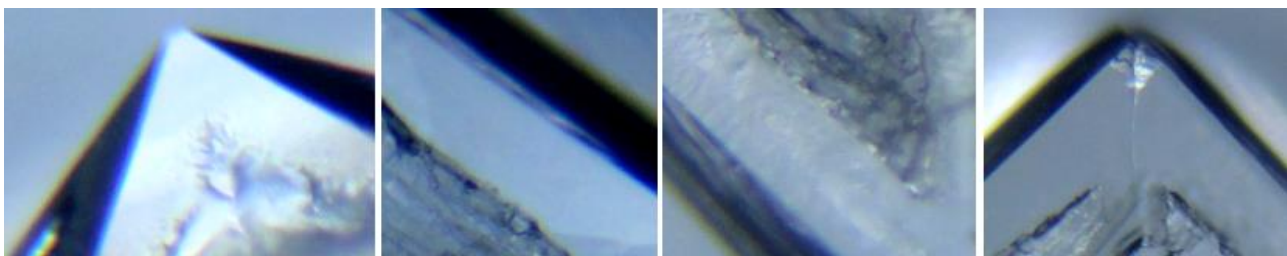


圖 41:無施加高電壓平行電場的食品鹽晶體, 邊緣新生部分的高透光度性質

實驗結果發現：在將近五千伏特的高電壓電場下，食鹽晶體成長後，形狀方形的機率降低，表面的紋路也比較複雜，在透光度方面也變得比較差。可以觀察到新生晶體邊緣，有條狀暗紋重複出現(如圖 40~41 之比較)。但晶體成長速率受影響不大。

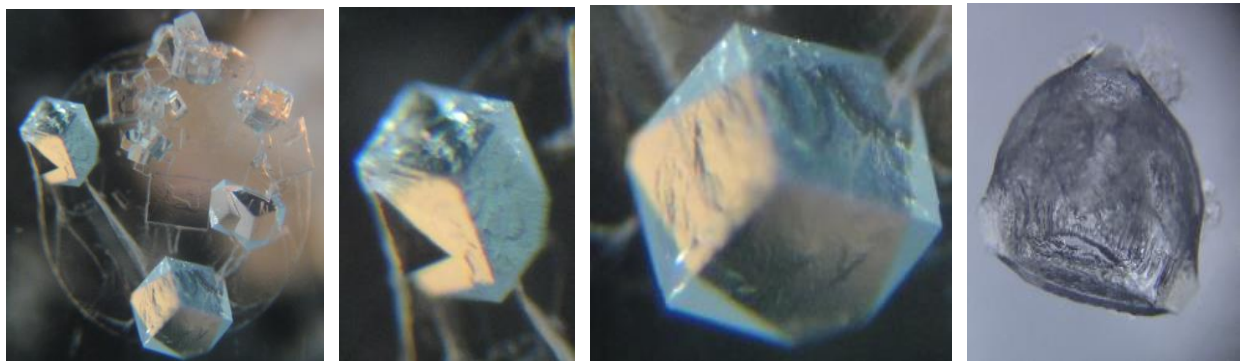


圖 42:有施加高電壓平行電場的食品鹽晶體, 晶面不平行底座, 容易誤判為晶形發生改變  
 左一:高電壓(4850 伏特)電場下, 水珠中長出多顆晶體, 可看出水珠原有邊界  
 左二:高電壓(4850 伏特)下, 水珠中長出的傾斜長方體晶體  
 左三:高電壓(4850 伏特)下, 水珠中長出的傾斜正立方體晶體  
 右一:在高倍率, 低立體感的影像中, 容易被誤判為晶形改變的傾斜立方晶體

在有加入高電壓電場的實驗中，常會發現有晶體形狀出現異常的現象。食鹽晶體晶形是正立方體，出現異常的現象，應該是晶體傾斜的拍攝角度的問題(如圖 42)，對比放大倍率較小的影像，可以發現:整顆食鹽晶體並不是平放在底座上，而呈現某個角朝上的現象。這種晶體，而被誤認為晶形發生改變。無高壓電場時，晶體平面會受到重力的影響，而平行於底座(如圖 42)。在高電壓電場下，晶體傾斜成長十分常見，可能是在高電壓電場下，食鹽晶體也產生了靜電感應，因為靜電力的吸引排斥 使得晶體方位發生傾斜。



(二) 研究 3-2: 比較其他鹽類液滴在有、無高電壓平行電場的不同條件中，結晶型態的變化。

1. 控制變因組合：有過濾、有加蓋、蒸發孔洞（鑽洞直徑  $2.0 = 1.984\text{mm}$ ）、自然光源下的水珠晶體成長。

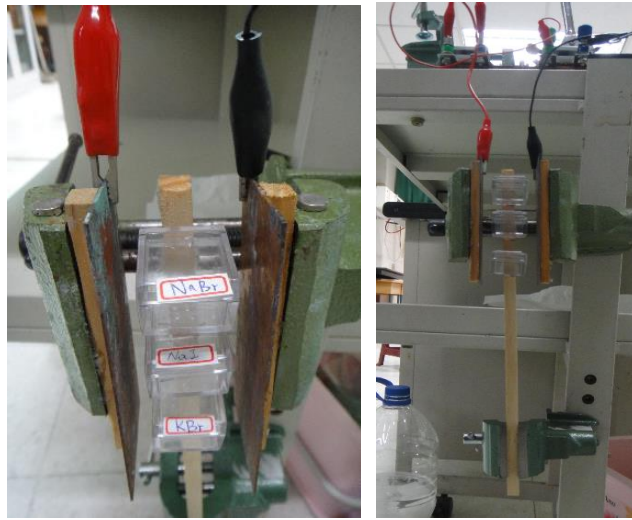


圖 43：研究 3-2 高電壓平行電場下，非食鹽液滴晶體成長實驗裝置

2. 操縱變因：無施加電場（電壓 = 0 伏特），有施加電場（電壓 = 4850 伏特）

3. 鹽類種類：溴化鈉、溴化鉀、氯化鉀、硝酸鈉、硝酸鉀

4. 實驗結果：如圖 46~58

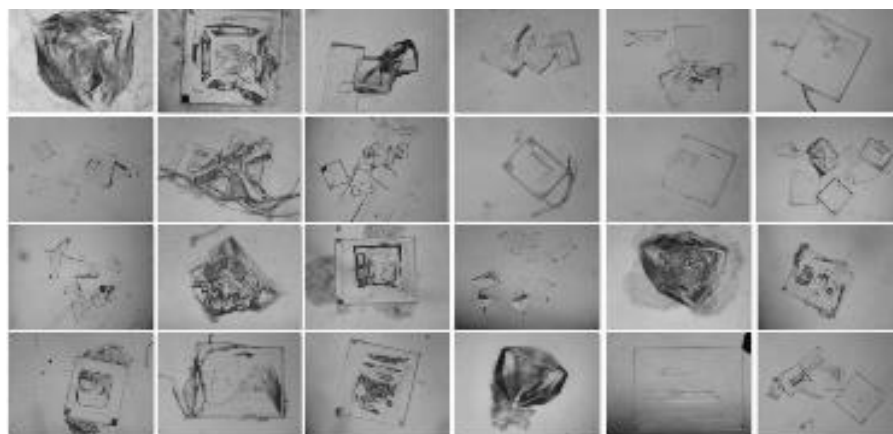
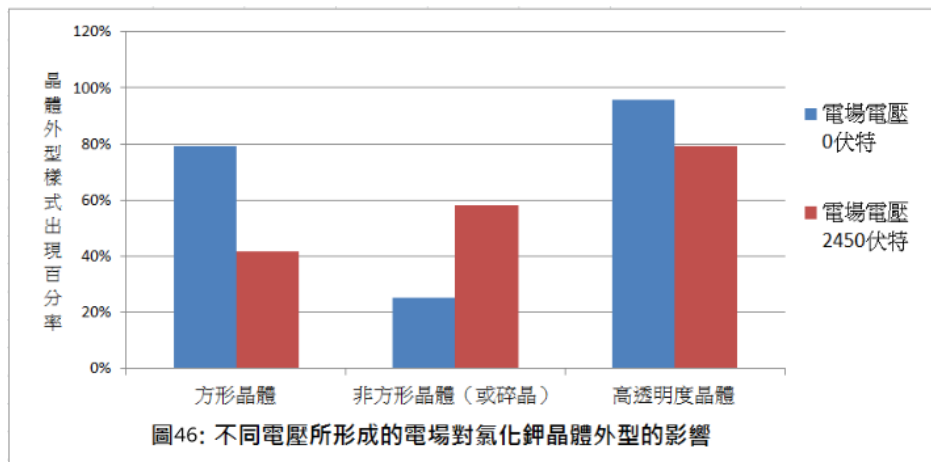


圖 47：顯微鏡下，施加高電壓平行電場（電壓 = 4850 伏特）的氯化鉀液滴晶體成長影像

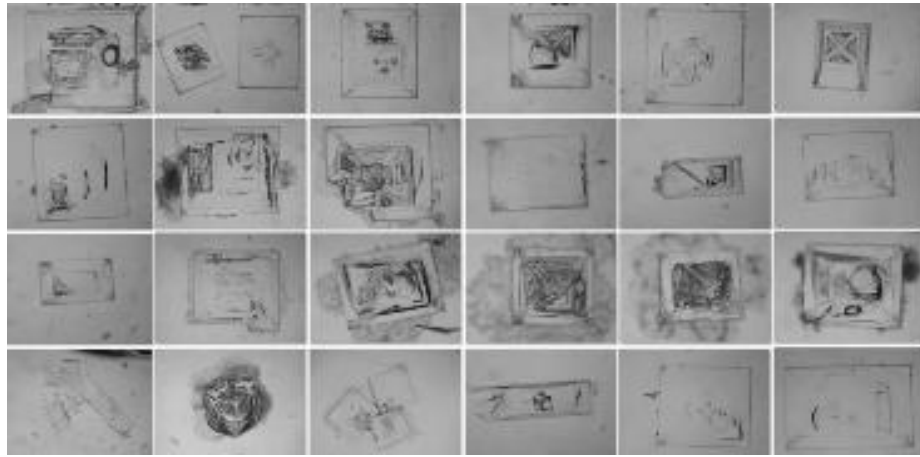


圖 48：顯微鏡下，無施加高電壓平行電場（電壓=0 伏特）的氯化鉀液滴晶體成長影像

4. 溴化鉀 鹽類液滴實驗結果：（如圖 49,50,51）

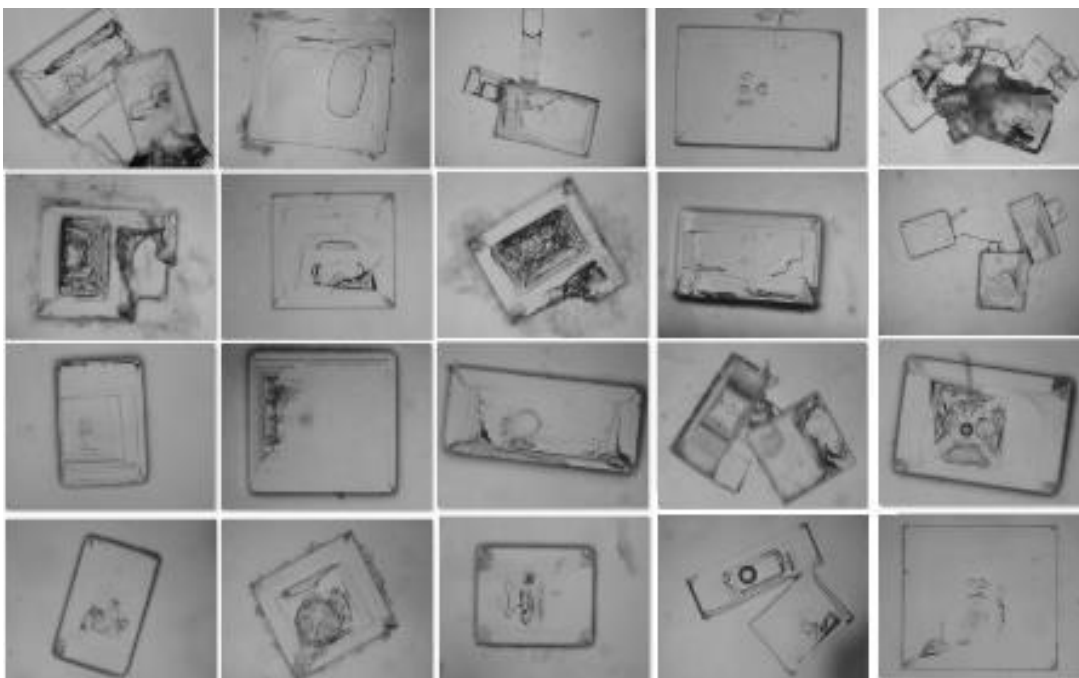
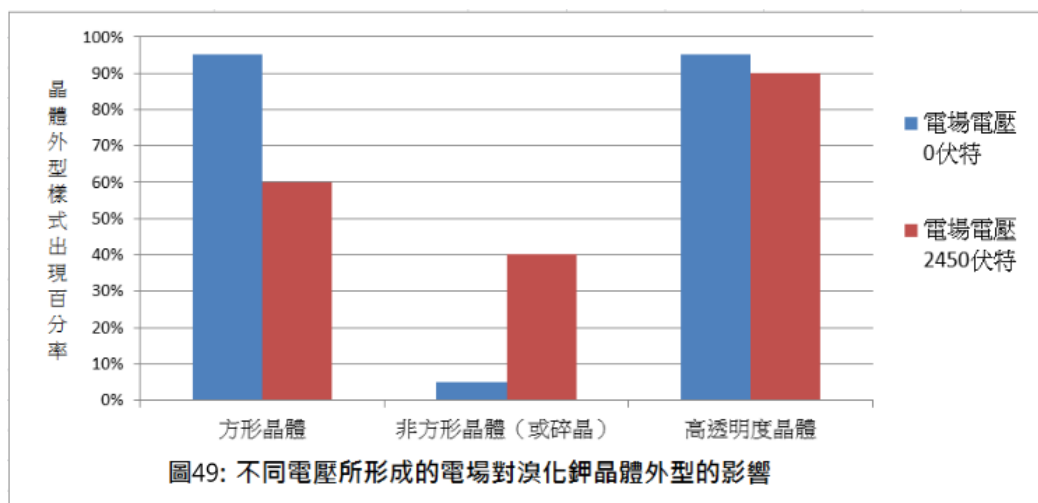


圖 50：顯微鏡下，施加高電壓平行電場（電壓=4850 伏特）的溴化鉀液滴晶體成長影像

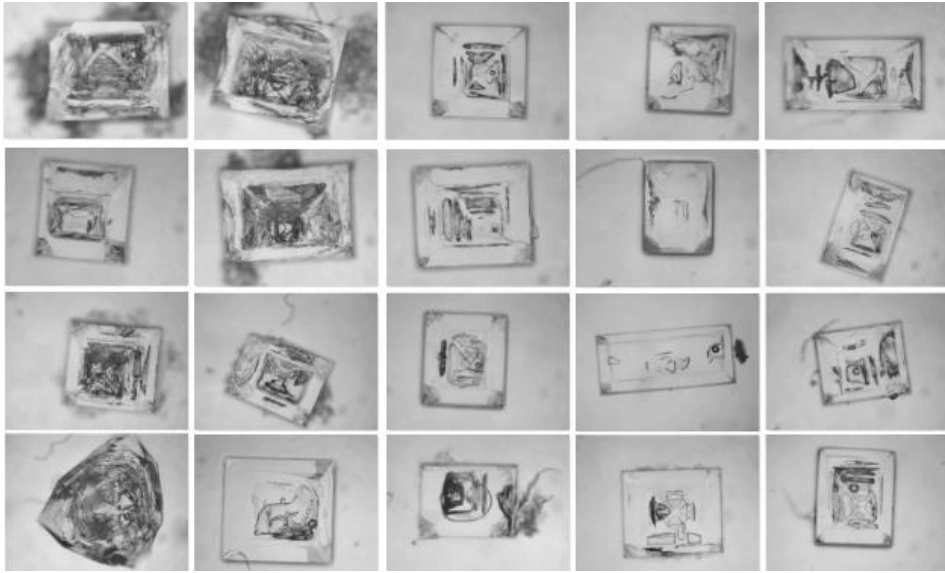


圖 51：顯微鏡下，無施加高電壓平行電場（電壓=0 伏特）的溴化鉀液滴晶體成長影像

5.硝酸鈉鹽類液滴實驗結果：（如圖 52,53,54）

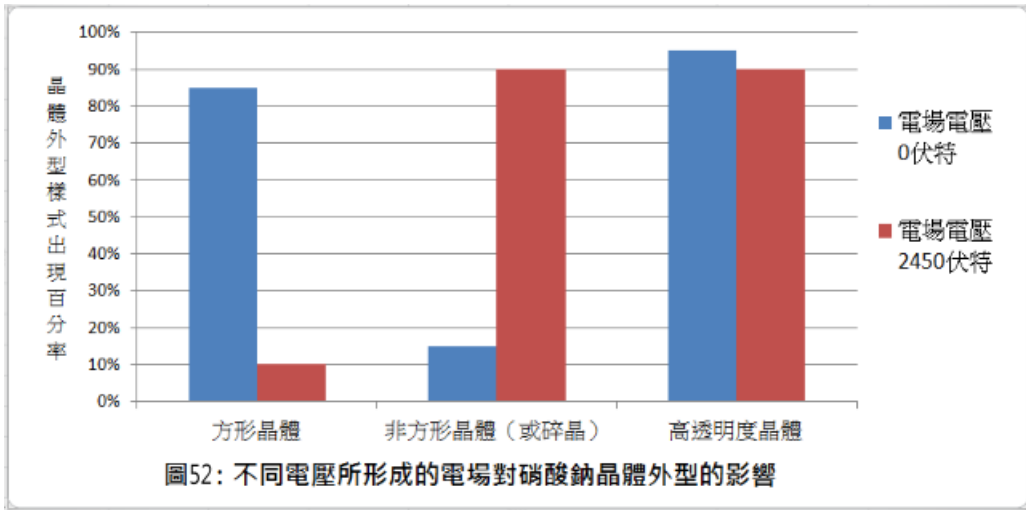


圖 53：顯微鏡下，施加高電壓平行電場（電壓=4850 伏特）的硝酸鈉液滴晶體成長影像

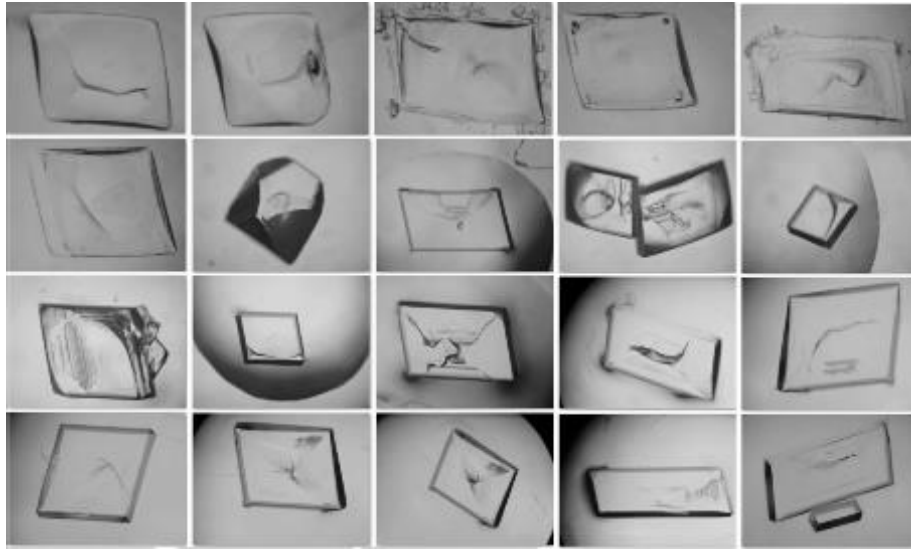


圖 54：顯微鏡下，無施加高電壓平行電場（電壓=0 伏特）的硝酸鉀液滴晶體成長影像

6. 硝酸鉀鹽類液滴實驗結果：（如圖 55,56,57）

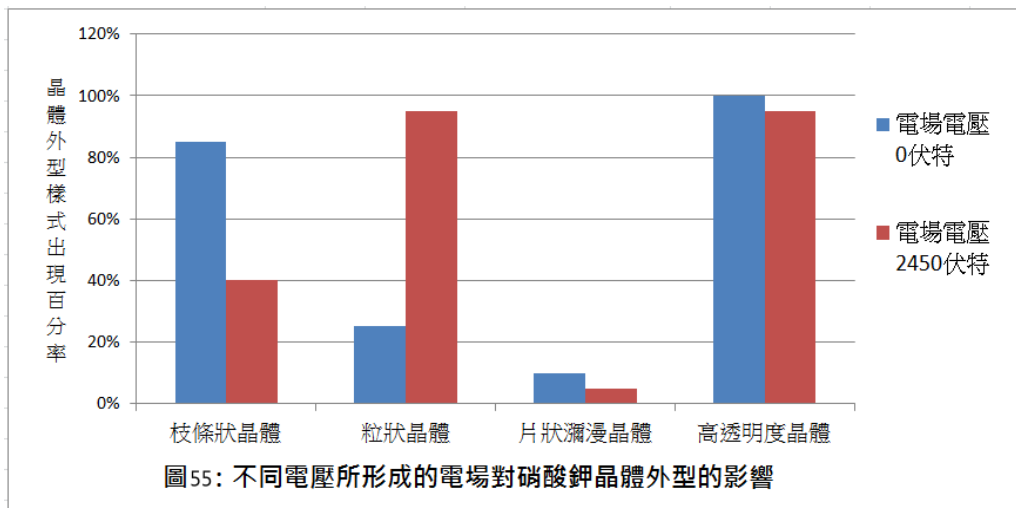


圖 56：顯微鏡下，施加高電壓平行電場（電壓=4850 伏特）的硝酸鉀液滴晶體成長影像

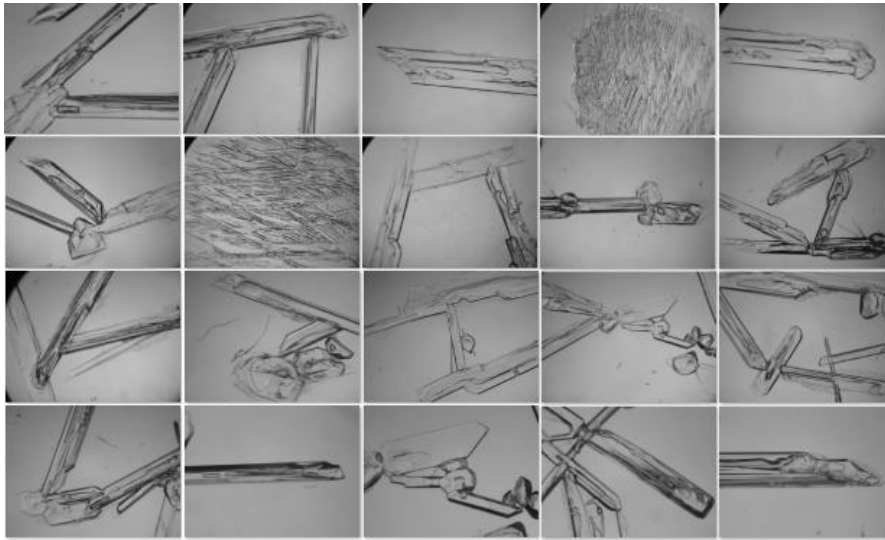
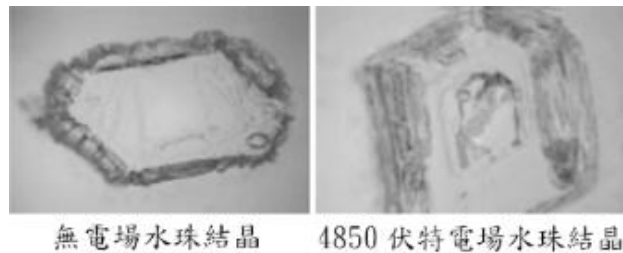


圖 57：顯微鏡下，無施加高電壓平行電場（電壓=0 伏特）的硝酸鉀液滴晶體成長影像

7. 溴化鈉鹽類液滴實驗結果：溴化鈉為水合鹽類，結晶時間較長（如圖 58）



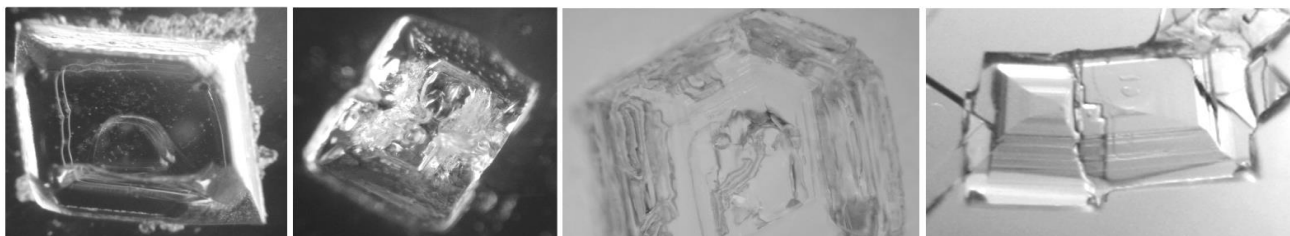
無電場水珠結晶      4850 伏特電場水珠結晶

圖 58：顯微鏡下，有無施加高電壓平行電場的溴化鈉液滴晶體成長影像

8. 高電壓電場對以上五種不同鹽類晶體生長的主要影響有所不同，整理如下：

	氯化鈉	氯化鉀	溴化鉀	溴化鈉	硝酸鈉	硝酸鉀
晶系	立方	立方	立方	單斜	三方	斜方
正常晶體外觀描述	扁立方體	扁立方體	扁立方體	六角扁立方體	平行（扁）四邊體	長條柱狀
高壓電場下晶體受到的影響	失去正方形外型 出現條紋 透明度大量降低	失去正方形外型 出現碎晶 透明度略降低	失去正方形外型 出現碎晶 透明度略降低	維持六角外型 出現條紋 透明度降低	平行四邊外型大量改變 出現碎晶 透明度略降低	長條柱大量斷成碎晶 透明度降低

沒有高電壓電場時，離子在水中是均勻分佈的，而在鹽類晶體中的離子是正負交錯配置的，如果用高電壓電場將液滴中的正負離子分離，會造成在鹽類晶體上結晶時，交錯配置受到了干擾。當晶體排列受到的干擾時，就很容易在晶體上產生缺陷。相對於均勻生長的部分，結晶缺陷會使折射率改變。光穿透路徑改變，產生從外觀上看出來晶體變黑。而降低原有實驗條件的透明度，也會在晶體的外形上形成階梯紋路與不平整的顆粒（如圖 59）。



**圖 59: 高電壓電場下成長帶有階梯紋路, 斷裂痕與不平整的顆粒的鹽類晶體。(左 1 為硝酸鈉; 左 2 為氯化鉀; 左 3 為溴化鈉; 左 4 為溴化鉀)**

在生物體內，有很多化學作用，也是因為正負電的互相吸引而發生，這些化學反應也有可能受到外界高電壓電場的影響而偏離原來的結果。已經有其他實驗證明，高壓電場對農作物產生影響。例如：高壓電場使水的浮力發生變化；大的水分子團變為小分子團(5kv)，並有序排列，使水分子容易通過種子皮，增加種子的呼吸作用；還有就是高壓電場影響種子內的水分子及一些生物大分子，提高種子內的自由基含量而影響種子的活力。

本研究進行高電壓電場下鹽類晶體成長實驗的另外一個目的，是想釐清很多科學文獻(或謠言)所描述的，電磁場對於生物的影響。在一般日常生活中，高電壓電場出現的機率並不高，而且必須要在近距離影響才會比較大。但是在鹽類晶體的成長上，這次的研究的確已經發現它會造成晶體成長的透明度降低與形狀改變。在能製造出高透明度的食鹽晶體的技術達成後，接下來要怎麼樣去收集更多的證據證明：高電壓電場或其他環境因素對於反應的干擾，是本研究未來的目標。希望可以找出這許多謠言背後的真相，

(三) 研究 3-3：鹽液滴在銅片平行板距離不同時,不同電場強度對晶體的影響

1.控制變因組合：有過濾、有加蓋、有施加電場（電壓=4850 伏特）、蒸發孔洞（鑽洞直徑  $2.0=1.984\text{mm}$ ）、自然光源下的水珠晶體成長。

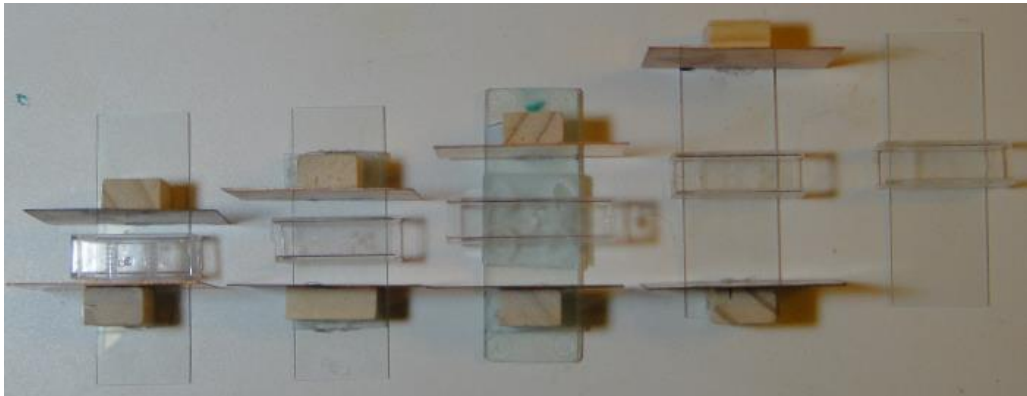
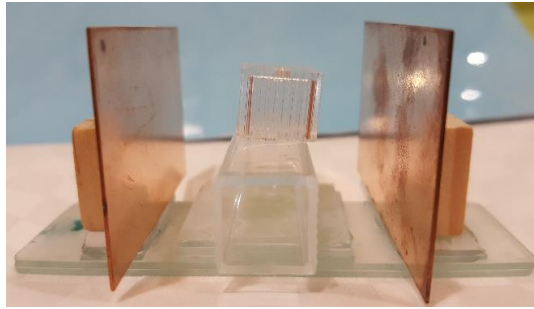


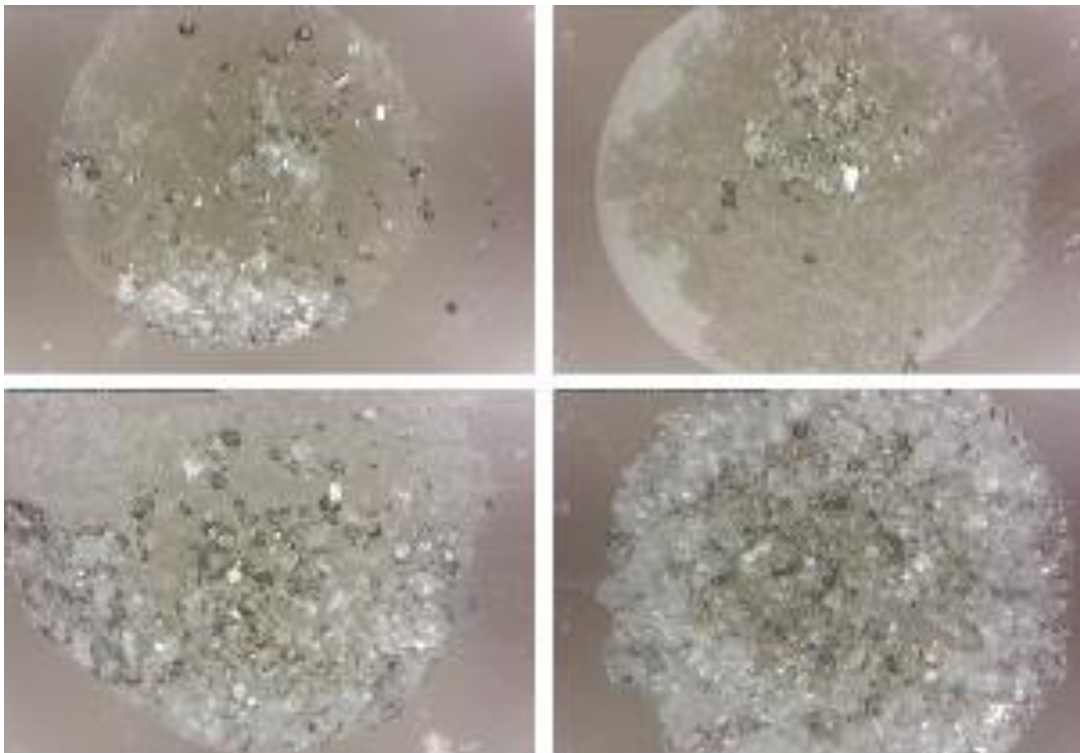
圖 60：研究 3-2 高電壓平行電場下，在銅片平行板距離不同晶體成長實驗裝置

2.操縱變因：銅片平行板距離  $d=1.9\text{cm}, 2.5\text{cm}, 3.6\text{cm}, 6.2\text{cm}$  , $d=\infty$

3.鹽類種類：氯化鈉

4.實驗結果：如圖 51

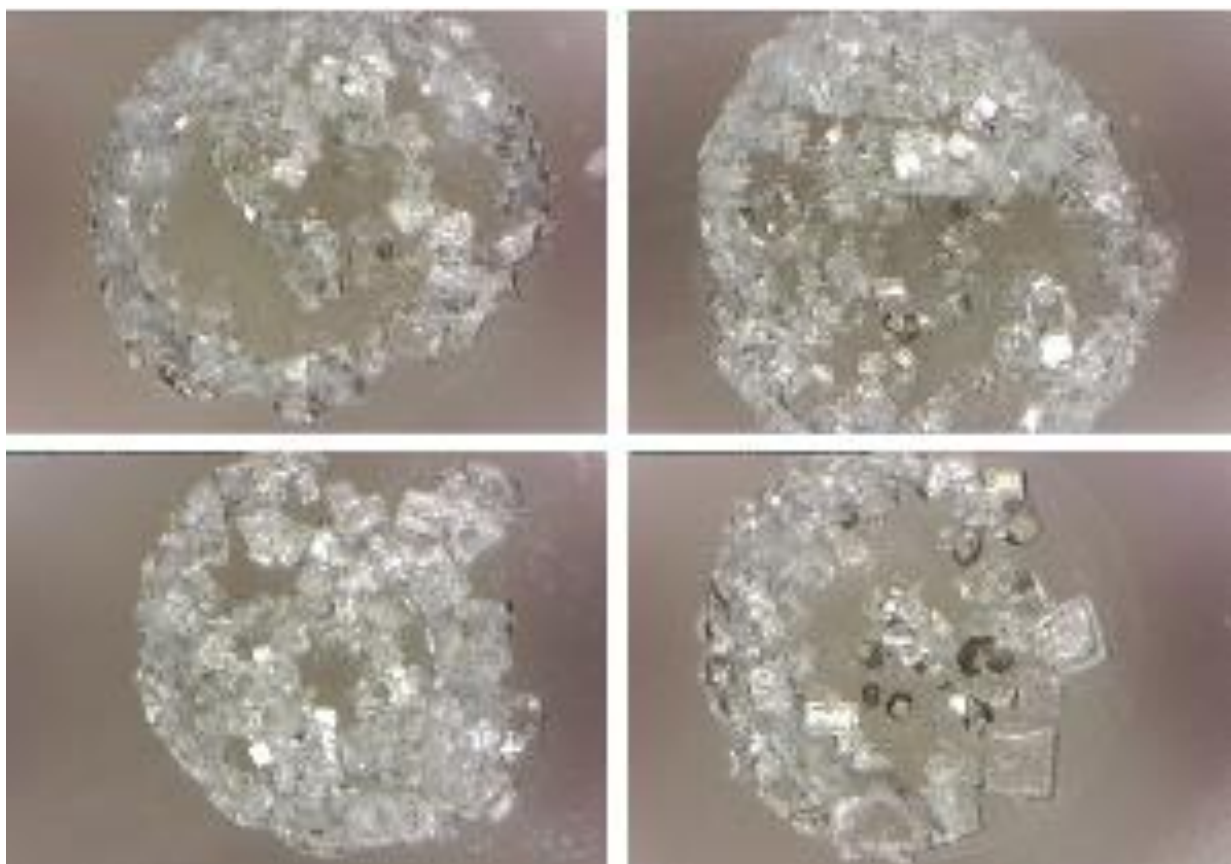
(1)  $d=1.9\text{cm}$   $E=255263\text{ (V/m)}$



(2)  $d=2.5\text{cm}$   $E=194000\text{ (V/m)}$

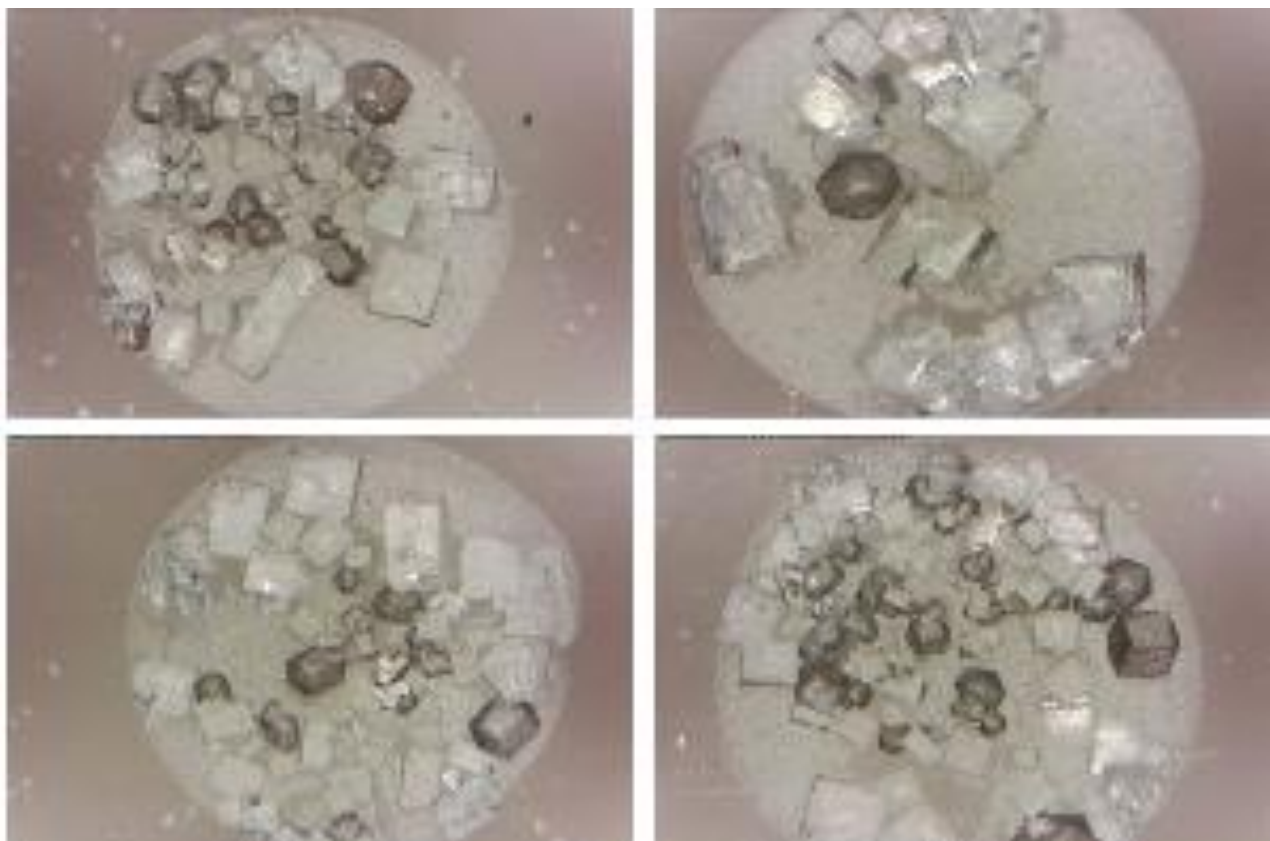


(3)  $d=3.6\text{cm}$   $E=134722\text{ (V/m)}$





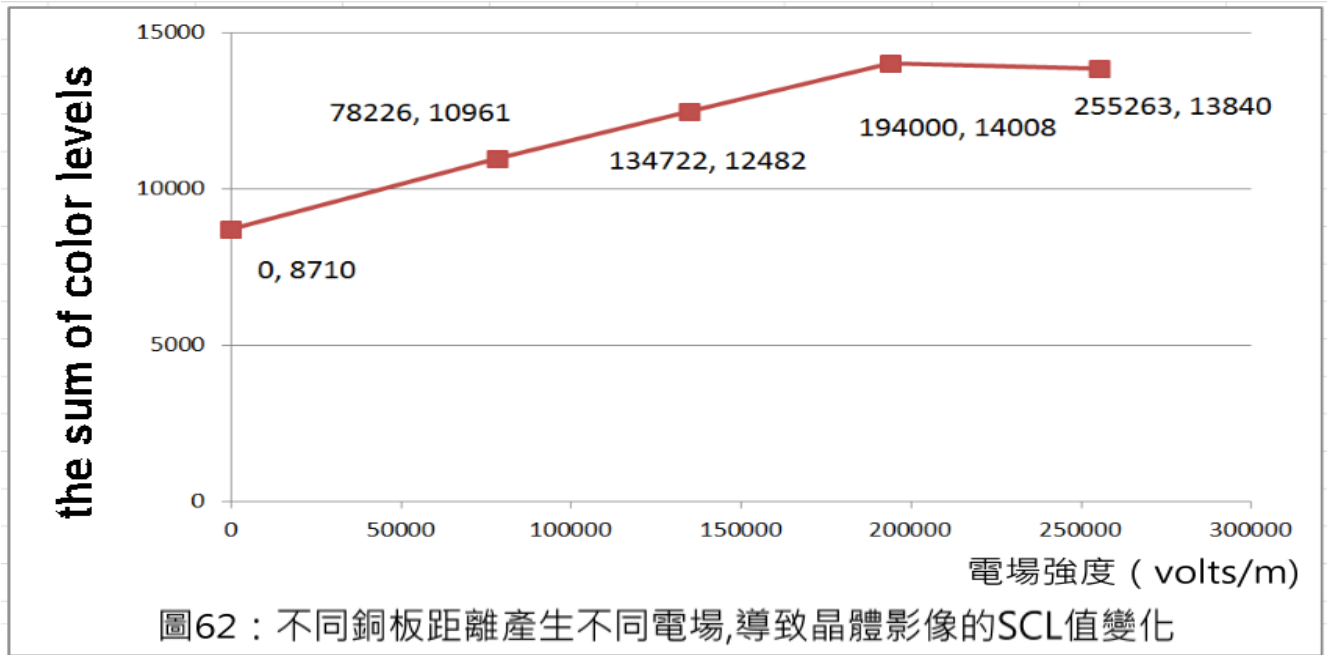
(4)  $d=6.2\text{cm}$   $E=78226\text{ (V/m)}$



(5)  $d=\infty$   $E=0\text{ (V/m)}$



圖 61: 高電壓平行電場下,食鹽晶體碎裂程度不同的比較



平行銅板距離越近或電壓愈大時,會在兩銅板之間形成強烈電場。實驗結果顯示:電場愈強產生碎晶,晶體變形與透明度變差的效應愈明顯。推測其原因為:沒有高電壓電場時,離子在水中是均勻分佈的,而在鹽類晶體中的離子是正負交錯配置的,如果用高電壓電場將液滴中的正負離子分離,會造成在鹽類晶體上結晶時,交錯配置受到了干擾。當晶體排列受到干擾時,就很容易在晶體上產生缺陷,使晶體變形或產生碎晶。相對於均勻生長的部分,結晶缺陷會使折射率改變。光穿透路徑改變,產生從外觀上看出來晶體變黑,而降低原有實驗條件的透明度。

## 伍、結論

- 一. 飽和食鹽溶液液珠晶體的成長，對外界的環境影響非常敏感。整個過程可以區分為兩個階段：新品種的生成與後續晶體的變大生長。水蒸發使食鹽濃度升高，要到達過飽和度的這個門檻，晶種才會長出。而蒸發越快，到達門檻的時間越短，晶種能比較快出現。接下來，剛出現晶種的液滴，必須馬上將蒸發速率降低，才能在後續晶體變大的過程中，產生高透明度的晶體。如果在剛出現晶種的液滴中，維持相同的蒸發（或晶體成長）速率，就會在後續晶體的成長上，會造成表面模糊或是出現X字紋路的現象。所以在實驗過程當中，適時控制蒸發速率，第一階段蒸發速率快，節省時間，讓溶液抵達過飽和晶種析出點，第二階段晶種生成時間盡量短，第三階段的晶體成長速率盡量慢，晶體的成長就能自我修復晶型(如圖 25), 而趨向單顆且高透明的目標，而達成本研究的目的。
- 二. 運用第四代裝置:相機-複式顯微鏡的連接與鏡座上的玻璃座平行銅片電場，可以找出食鹽晶體趨向單顆且高透明的目標的最佳條件：有加蓋、有過濾、無電場與顯微鏡的低溫 LED 光源。
- 三. 晶體的生長可分為晶體的晶核的生成與晶面上的堆疊成長。在三階段蒸發變速實驗中：食鹽的過飽和度小，使第一階段的蒸發中，晶體有延緩析出的現象。但晶核一旦生成，晶體的成長就會加速，來降低過飽和度，而使其他晶核不易生成，而進入第二與第三階段的成長。過濾是在去除殘留的晶種，讓晶體生長的第一階段以晶核的生成為主。
- 四. 食鹽晶體析出是放熱反應，使用鹵素燈當顯微鏡的光源時，高溫不利於食鹽晶體的析出。所以在高溫下，為了快速的散熱，必須增加晶體表面積，結果就是只能長出小顆的晶體。當改用常溫 LED 燈作為光源時，環境溫度低，有利於散熱，就比較能夠有大的機會，去長出表面積較小的大型晶體。
- 五. 應用蒸發速率的差異影響晶體成長實驗中的第二與第三階段：食鹽晶體會出現變速成長。蒸發速率快會形成階梯狀的螺旋紋，蒸發速率降低，螺旋紋就會消失，變成全透明的晶體。
- 六. 大顆晶體的中間，當液珠高度低於晶體高度，周圍溶液離子就無法向中間擴散，溶質不夠而形成晶體中間的階梯螺旋紋凹陷。
- 七. 在高電壓電場下，食鹽晶體成長後，形狀方形的機率降低，表面的紋路也比較複雜，在透光度方面也變得比較差。可以觀察到新生晶體邊緣，有條狀暗紋重複出現。但晶體成長速率受影響不大。晶體形狀出現異常的原因，應該是晶體傾斜的拍攝角度的問題(如圖 26)。可能是食鹽晶體被高電壓電場靜電感應，因為靜電力的吸引排斥，使得晶體方位發生傾斜。
- 八. 通電的平行銅板距離越近或電源電壓愈大時，會在兩銅板之間形成愈強的電場。實驗結果顯示:電場愈強產生碎晶，晶體變形與透明度變差的效應愈明顯。氯化鈉受到的影響以降低透明度為主。氯化鉀、溴化鉀、硝酸鉀受高電壓電場的影響以形成碎晶為主。硝酸鈉則以晶體變形最常出現。本研究證明了高電壓電場會造成晶體成長的透明度降低與形狀改變。在能製造出高透明度的食鹽晶體的技術達成後，接下來要怎麼樣去收集更多的證據證明：高電壓電場對於結晶反應的干擾機制與過程為何？這是本研究未來的目標。希望可以找出有關高壓電場謠言背後的真相。

## 陸、參考資料

1. K. G. Libbrecht, T. Crosby, M. Swanson (2002). Electrically enhanced free dendrite growth in polar and non-polar systems: *Journal of Crystal Growth* 240, 241-254
2. Kenneth G. Libbrecht and Victoria M. Tanusheva (1998). Electrically Induced Morphological Instabilities in Free Dendrite Growth: *Physical Review Letters* 81, 176-179
3. Tsutomu Takahashi (1969). Electric Surface Potential of Growing Ice Crystals: *Journal of the Atmospheric Sciences* 27, 453-462
4. 陳睿哲 (2001), crystal, 高雄市中小學科學展覽第 40 屆作品說明書。
5. 施博仁 (2003), evaporation, 高雄市中小學科學展覽第 44 屆作品說明書。
6. 曾國輝(1997), 化學, 台北市: 藝軒出版社
7. 孫偉、徐曉斌、張宏、徐傳驥(2013), 電場作用下水分子轉向極化和離子擾動對生物溶液相變過程的影響。西安, 西安交通大學電力設備電氣絕緣國家重點實驗室。鎮江, 江蘇大學電氣資訊工程學院
8. (1996) 中華民國中小學科學展覽第 36 屆優勝作品專輯。臺灣國立科學教育館。
9. 張克從、張雅惠 (1981), 晶體生長科學與技術。北京市科學出版社。
10. 包斯琴高娃、馬占新、敖敦格日樂(2009), 高壓電場處理作物種子技術及其應用研究。內蒙古呼和浩特, 內蒙古大學 經濟管理學院。內蒙古 呼和浩特, 內蒙古醫學院公共教育學院
11. 薛勝雄 (1989), 新細說化學, 台南市: 南一書局。
12. 蔡耀晉, 葉宗儒 (2011), 水滴中的晶靈, 中華民國中小學科學展覽第 51 屆作品說明書。臺灣國立科學教育館。
13. 中本資原 (著) 張本義 (譯) (1999)。最新晶析理論操作。台北市: 復漢出版社。
14. 楊寶旺、楊美惠等五人 (1993), "化學大辭典"。台北市: 高立出版社。
15. (1998) 中華民國中小學科學展覽第 38 屆優勝作品專輯。臺灣國立科學教育館。

## 【評語】 100030

本研究是有關於電場對於物質特別是鹽類溶液中結晶程序之影響，研究者發現不少很有趣之現象，很值得未來更深入之研究，究竟那些鹽類離子與電場之間的定量關係和其機理。