

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中 (職) 組成果報告表單

題目名稱：茂林彩蝶之光

一、摘要：

高雄市茂林區為著名的紫斑蝶勝地，翩翩飛舞的蝴蝶們，那穿梭在花叢間的身姿及翅膀在陽光下所綻放的色澤，在陽光的照射下，映出七彩斑斕的色彩，美不勝收。究竟是甚麼樣的原理，使蝶翼擁有如此之多的色彩？本實驗利用二氧化矽奈米粒子水溶液，在不同溫度、濃度及在溶液中添加酒精之三種不同參數下，在金屬圓片上，以熱蒸發法快速製造出排列最均勻、具最明顯結構色且易於觀察之光子晶體結構色，並探討溶劑蒸發時間、表面均勻度及結構色之關係。結合實驗數據，歸納出以下結論：

1. 溫度越高，溶液蒸發時間越短，蒸發速率越快；且因粒子受熱快速震動，使其均勻散布，表面均勻度越高，但結構色則越不明顯。綜合三種因素， 60°C 時呈現效果最好。
 2. 添加酒精，溶液蒸發時間越短，蒸發速率越快；且因酒精能減少咖啡圈效應，使其均勻散布，表面均勻度越高，但結構色則越不明顯。綜合三種因素，不添加酒精效果最好。
 3. 濃度越高，溶液蒸發時間越短，蒸發速率越快；樣品排列均勻度高且結構色越明顯。
- 日常生活中處處可見光子晶體，且光子晶體能有效幫助提升發光效率，雖然目前尚無法達成量產，但光子晶體應用於 LED 燈泡上是具高度研究價值且值得發展的重點。

二、探究題目與動機

打從有記憶以來，便對大地之母所孕育的一切深感好奇，特別是翩翩飛舞的蝴蝶們，那穿梭在花叢間的身姿及翅膀在陽光下所綻放的色澤，都使我們為之著迷，在讚嘆大自然的神奇之餘，也想去了解其背後運作的科學原理。在得知高雄市茂林區有著名的賞紫斑蝶勝地後，我們抱著期待的心情踏上了賞蝶之旅，在旅途之中，紫斑蝶群不經意地掠過天際，輕薄的蝶翼在陽光的照射下，映出七彩斑斕的色彩，美不勝收。這讓我們好奇，究竟是甚麼樣的原理，使蝶翼擁有如此之多的色彩？而該結構又是如何排列運作的呢？

在實驗室中，我們了解了蛋白石，它和紫斑蝶的翅膀一樣，在光線的照射下會綻放不同的色澤，我們得知它的結構是由二氧化矽的奈米粒子所交替排列而成的，所以我們便想利用二氧化矽奈米粒子水溶液，來製造易於觀察的光子晶體結構。



(圖一) 探究主題發想圖



(圖二) 問題變因選定圖

三、探究目的與假設

探討如何利用二氧化矽的奈米粒子水溶液，在金屬圓片上，以熱蒸發法快速製造出排列最均勻、具最明顯結構色之光子晶體。研究假設如下：

1. 加熱溫度越高，溶劑蒸發時間越短，越不均勻，結構色越淡。
2. 溶液添加酒精，溶劑蒸發時間越短，越不均勻，結構色越淡。
3. 溶液濃度越高，溶劑蒸發時間越短，越不均勻，結構色越淡。

四、探究方法與驗證步驟

1. 實驗設備與器材：



(圖三) 定溫加熱器



(圖四) 紅外線熱成像儀



(圖五) 金屬圓片



(圖六) 定量滴管



(圖七) 試管



(圖八) 顯微鏡 (1000 倍)

2. 實驗步驟：

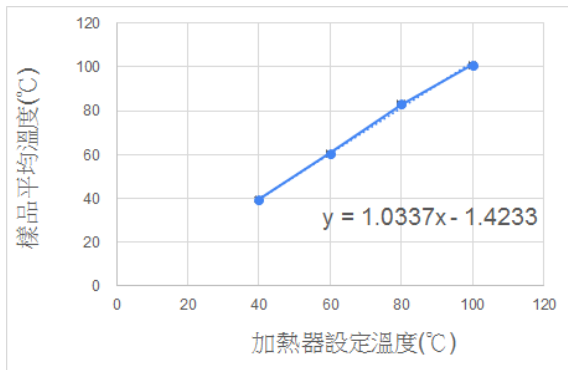
- (1) 將二氧化矽奈米粒子分散在純水中，再以純水稀釋至指定濃度。
- (2) 將金屬圓片使用定溫加熱器加熱至設定溫度，以紅外線熱成像儀觀察金屬圓片表面是否達設定溫度。
- (3) 將 0.1 毫升的二氧化矽奈米粒子水溶液滴在金屬圓片上，等待溶劑蒸發後，觀察表面堆疊出的光子晶體結構。

測試一：加熱溫度驗證實驗

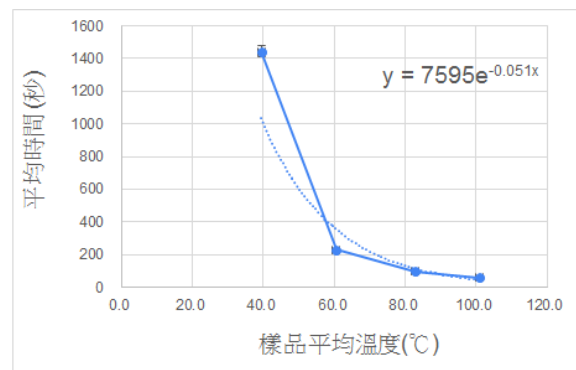
結果：

加熱器溫度與樣品溫度如圖九所示，在圖中，我們可以得知，加熱器溫度與樣品平均溫度呈線性關係，且由趨勢線所示，設定溫度和樣品溫度基本一致，因此，我們設定的加熱器溫度可視為樣品的實際溫度。樣品溫度與溶劑蒸發所需平均時間如圖十所示，在 40°C 時，蒸發所需時間為 1444.3 ± 36.0 秒遠大於在其他溫度時，而在 80°C 至 100°C 之間的溶劑蒸發所需

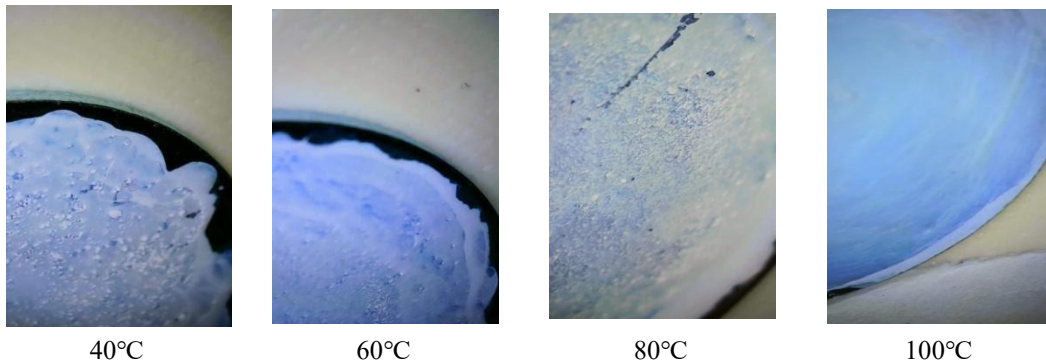
時間變化則不如 60°C 至 80°C 明顯，但整體呈指數關係，從趨勢線中可以得知，溫度越高時，溶劑蒸發速率越快，如 60°C 為 230.0 ± 9.8 秒；80°C 為 96.7 ± 6.7 秒；100°C 為 60.3 ± 5.0 秒且實驗數據愈接近趨勢線；反之，在溫度越低時，溶劑蒸發速率越慢，故實驗數據之誤差越大。



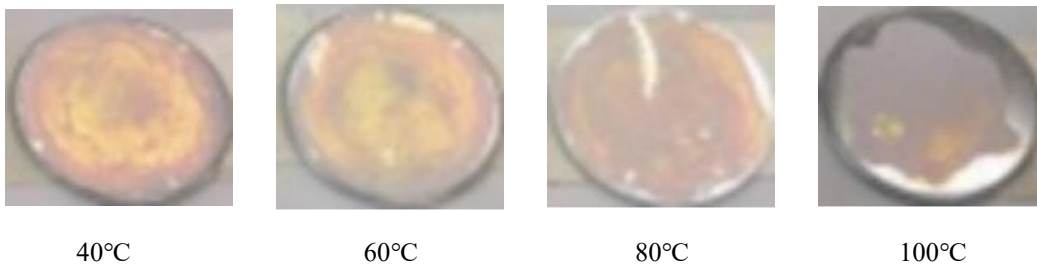
(圖九) 加熱器溫度與樣品溫度



(圖十) 樣品平均溫度與平均時間



(圖十一) 不同溫度之樣品實照 (濃度皆為 0.1g/ml，放大倍率：1000 倍)



(圖十二) 不同溫度之樣品結構色 (濃度皆為 0.1g/ml)

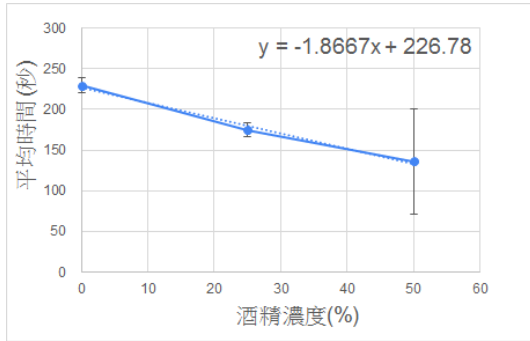
不同溫度之樣品實照如圖十一所示，在 40°C 時，均勻度較低；100°C 時，均勻度高。此結果顯示溫度越高，均勻度越大。不同溫度之樣品結構色如圖十二所示，在 40°C 時，顏色較偏紅，顯示溫度越低，結構色越明顯。

由上述實驗得知，加熱溫度越高，蒸發所需時間最少，蒸發速率越快，實驗數據之誤差越小；溫度越高，因粒子受熱快速震動，使其均勻散布，均勻度越好，但結構色不明顯，反之在結構色方面，溫度越低，粒子易聚集成堆使結構色越明顯，綜合以上三種因素，在 60°C 呈現效果最好。

測試二：酒精濃度驗證實驗

結果：

添加酒精濃度與溶劑蒸發所需平均時間如圖十三所示，在圖中，我們可以得知酒精濃度越高，蒸發所需平均時間越短。而這是因為水的沸點為 100°C ，酒精為 78.37°C ，所以增加酒精後，溶液的沸點也隨之下降。



(圖十三) 酒精濃度 (%) 與平均時間

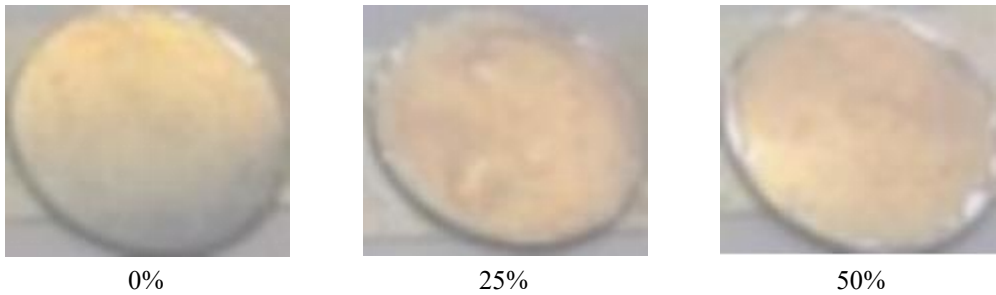


0%

25%

50%

(圖十四) 不同酒精濃度之樣品實照
(溫度皆為 60°C ，放大倍率：1000 倍)



0%

25%

50%

(圖十五) 不同酒精濃度之樣品實照 (溫度皆為 60°C)

不同酒精濃度之樣品實照如圖十四所示，在純水中，顆粒及環圈較明顯，顯示均勻度較低；50%酒精水溶液的顆粒極少，環圈也幾乎看不見，均勻度則較高。此結果顯示，酒精濃度和均勻度呈正相關。而這可能是因為咖啡圈效應。由咖啡圈效應可得知當滴狀液體在固體表面風乾後，會出現由內至外顏色逐漸加深環圈，蒸發效應在液滴內部會引發馬倫哥尼流。流動如果過於強烈，實際上會把溶質粒子重新分配到液滴中心。若要讓粒子累積在邊緣，液體中的馬倫哥尼流必須很弱。而其實水本身的馬倫哥尼流相當微弱，在水中添加介面活性劑更削弱了馬倫哥尼流。因此，提高酒精濃度會使液體的均勻度增加。

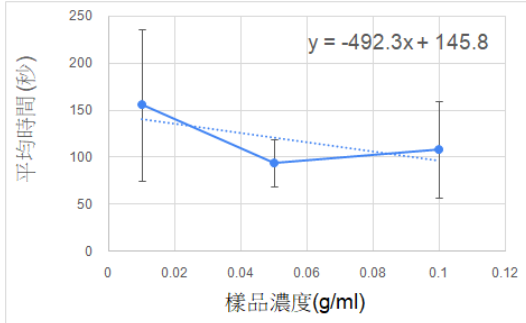
不同酒精濃度之樣品結構色如圖十五所示，在 0% 時，顏色偏紅，酒精濃度越低，結構色越紅。這可能是因兩者的表面張力不同，乙醇的表面張力為 22.55N/m ，水則為 72.75N/m ，而水的表面張力被酒精破壞，導致樣品變得極薄，所以樣品無法完全覆蓋金屬圓片，而觀察到的顏色也是金屬圓片所反射的光澤，並非樣品本身的結構色。

由上述實驗得知，酒精濃度越高，蒸發所需時間最少，蒸發速率越快，但實驗數據之誤差越大；酒精濃度越高，因削弱了馬倫哥尼流，使其均勻散布，均勻度越好，但表面張力被酒精破壞，結構色不明顯，綜合以上三種因素，不添加酒精呈現效果最好。

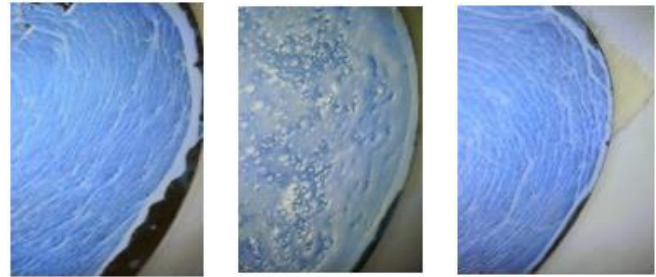
測試三：二氧化矽奈米粒子水溶液濃度驗證實驗

結果：

二氧化矽奈米粒子濃度與溶劑蒸發所需平均時間如圖十六所示，在圖中，我們可以得知，二氧化矽奈米粒子濃度為 0.05g/ml 時，蒸發所需時間最少，標準差最小；而二氧化矽奈米粒子濃度為 0.01g/ml 時，蒸發時間最長，但標準差也最大。



(圖十六) 樣品濃度與平均時間



0.01 g/ml 0.05 g/ml 0.1 g/ml
(圖十七) 不同二氧化矽奈米粒子濃度之樣品實照
(溫度皆為 60°C，放大倍率：1000 倍)



0.01 g/ml 0.05 g/ml 0.1 g/ml
(圖十八) 不同二氧化矽奈米粒子濃度之樣品實照 (溫度皆為 60°C)

不同二氧化矽奈米粒子濃度之樣品實照如圖十七所示。在二氧化矽奈米粒子濃度為 0.05 g/ml 時，樣品表面均勻度較低；而二氧化矽奈米粒子濃度為 0.01 與 0.1g/ml 時，樣品表面均勻度皆高。不同二氧化矽奈米粒子濃度之樣品結構色如圖十八所示。在濃度為 0.1g/ml 時，顏色較偏紅；而粒子濃度為 0.01g/ml 時，顏色則較偏黃。根據基材及溶液濃度方面考量，因基材為金屬圓片，在溶液濃度較低的清況下，所形成之薄膜不易完全覆蓋金屬圓片，故可能會反射金屬圓片本身的金屬色，致使表面薄膜無法完整展現其結構色；在溶液粒子濃度較高的清況下，所形成之薄膜可完全覆蓋金屬圓片，故較不易反射金屬圓片本身的金屬色，使薄膜能夠完整展現其結構色。

由上述實驗得知，二氧化矽奈米粒子濃度越高，蒸發所需時間最少，蒸發速率越快，但實驗數據之誤差皆大；粒子濃度越高或越低，使其均勻散布；但粒子濃度越低，表面形成的薄膜太薄無法完全覆蓋金屬圓片，結構色不明顯。綜合以上三種因素，二氧化矽奈米粒子濃度越高，蒸發時間越短、表面均勻度高且結構色越明顯。

五、結論與生活應用

結合上述實驗數據，歸納出以下結論：

1. 加熱溫度越高，蒸發速率越快，實驗數據之誤差越小，且因粒子受熱快速震動，使其均勻散布，均勻度越好，但粒子不易聚集成堆，使結構色不明顯，綜合以上三種因素，在 60°C 呈現效果最好。
2. 酒精濃度越高，蒸發速率越快，但實驗數據之誤差越大；且因酒精削弱了馬倫哥尼流，使其均勻散布，均勻度越好，但表面張力被酒精破壞，使結構色不明顯，綜合以上三種因素，不添加酒精呈現效果最好。
3. 二氧化矽奈米粒子濃度越高，蒸發速率越快，實驗數據之誤差皆大，且因粒子濃度越低，表面形成的薄膜太薄而無法完全覆蓋金屬圓片，使結構色不明顯。綜合以上三種因素，二氧化矽奈米粒子濃度為 0.1 g/ml 呈現效果最好

此外，光子晶體並非只能在學術上被觀察及研究，其實在日常生活中處處可見光子晶體。例如：晶體缺陷、共振腔、光子晶體光纖、電致變色、生物界的孔雀蛤及紫斑蝶、LED 燈泡、雷射腔的反射鏡等等，都是光子晶體在生活中的應用。而平時最常見的就是 LED 燈泡，因為目前傳統燈泡的發光效率仍比 LED 燈泡佳，因此如何提高發光效率便是現在研究 LED 燈泡的重點。而光子晶體便能夠有效地幫助提升發光效率，雖然目前的技術尚無法達成量產，但將光子晶體應用於 LED 燈泡上是具高度研究價值且值得發展的重點。

參考資料

- [1] 王淑卿 (2015)。臺灣最美的道路 - 紫斑蝶道。檢索自科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=64480>
- [2] 陳佳利 (2016)。蝶舞茂林。檢索自我們的島 <https://ourisland.pts.org.tw/content/2448>
- [3] 樂丕綱 (2015)。光波操縱師—神奇的光子晶體，科學月刊，545 (5 月號)，370-375。
- [4] 資劍、劉曉日 (2012)。孔雀羽毛與光子晶體，科學月刊，516 (12 月號)，935-937。
- [5] 陳健中、蘇炎坤 (2016)。光子晶體發光二極體，科儀新知，28 (2)，19-25。

註：

1. 報告總頁數以 6 頁為上限。
2. 除摘要外，其餘各項皆可以用文字、手繪圖形或心智圖呈現。
3. 沒按照本競賽官網提供「表單」格式投稿，不予錄取。
4. 建議格式如下
 - 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
 - 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於 12pt，不得低於 10pt
 - 字體行距，以固定行高 20 點為原則
 - 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖。