

## 2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

☐國中組 ☒普高組 ☐技高組 成果報告格式

### 題目名稱：熱硫新生\_燒箔之美

#### 一、摘要

我們將銅金屬(銅箔或銅片)與硫，利用加熱(熨斗或加熱板)進行氧化還原反應，在金屬表面產生如彩虹般的燒箔現象。藉由控制加熱溫度、時間以及使用不同的銅來源和硫的來源，並應用 Vernier 威尼爾科學感應器 Go Direct RGB 顏色感測器紀錄燒箔顏色變化。使用市售硫磺布與銅箔加熱，熨斗溫度 140°C 以上，加熱 10~20 秒，或者自製硫磺皂濾紙在相似條件下，所形成的燒箔主要以紅銅色與青藍色為主。其所牽涉到的化學反應為銅箔或銅片與硫磺布上的硫進行反應，在金屬表面產生硫化銅與硫化亞銅；或者是銅金屬與蛋黃中的蛋氨酸所釋放出之硫化氫氣體反應，隨著反應時間或濕度產生不同變化。實驗結果驗證了燒箔的色彩源於光線在不同厚度銅的硫化物薄膜上的干涉，且顏色變化受加熱條件和觀察角度影響，出現類似與肥皂泡、油膜現象類似的結構色。最終目標是將科學知識應用於藝術創作與生活。

#### 二、探究題目與動機

在上藝術課時，老師介紹了一個中華傳統藝術：燒箔，把金屬箔(銅箔)加熱後會呈現如彩虹般的光澤！！我們對這波光粼粼視覺效果感到非常好奇，但仔細想想，國中時背過元素的活性大小：銅 > 汞 > 銀 > 鉑 > 金，銅的活性不是頗小的嗎？怎麼這麼容易就與其他物質反應了呢？而這金屬箔上面怎麼呈現這麼多彩的顏色？於是我們進一步查找資料並且詢問了老師這燒箔的製作方式，結果只需要將銅箔覆蓋在一塊特殊的布上，再利用熨斗在上面加熱，就能做出如此令人驚艷的作品！！我們在好奇心的驅使下決定開始深入探討這項艷麗的銅箔之美。參考了網路上包羅萬象的影片，並請教化學和藝術老師後，除了用市售的材料包來復刻製作燒箔，也想嘗試利用生活周遭的日用品與實驗室的精密儀器來做仔細的觀察與探究，進而揭開這層隱藏在藝術神秘面紗下的科學真相。



TAIWAN

#### 三、探究目的與假設

##### (一) 目的：

1. 研究燒箔實驗在不同反應條件下，銅與硫的化學反應。
2. 以 RGB 顏色感應器記錄燒箔顏色的變化。

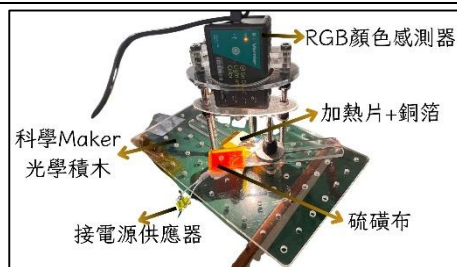
##### (二) 假設：

- 假設 1、燒箔的顏色會隨著加熱的溫度和時間產生不同的變化。
- 假設 2、不同銅來源，不同硫來源在相同條件下形成燒箔的顏色差異。
- 假設 3、觀看角度是否會對燒箔表面的顏色有影響。

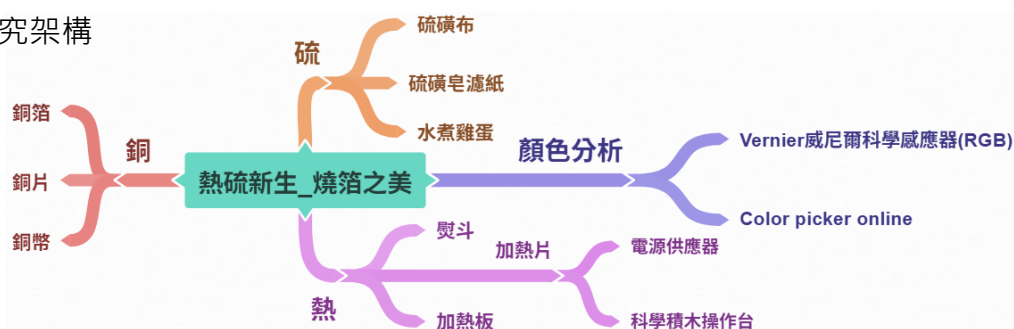
#### 四、探究方法與驗證步驟

##### (一) 實驗器材與設備

1. 銅：銅箔、銅片、銅幣；
2. 硫：硫磺布、硫磺皂濾紙、水煮蛋；
3. 加熱工具：熨斗、加熱片、加熱板；
4. 顏色偵測：Vernier 威尼爾科學感應器\_Go Direct 光和 RGB 顏色感測器、color picker online；
5. 實驗操作：科學 Maker 光學積木搭建之實驗操作平台、暗箱
6. 其他：紅外線測溫槍。



##### (二) 研究架構



##### (三) 研究方法

###### 1. 基本實驗操作

- (1) 選取銅來源(銅箔、銅片或銅幣)置於硫來源(硫磺布、硫磺皂濾紙或水煮蛋)上。
- (2) 加熱(熨斗、加熱片或加熱板)到所需溫度。
- (3) 在不同溫度下隨時間進行反應，使用 Vernier 威尼爾科學感應器 Go Direct RGB 顏色感測器或者 color picker online 進行顏色分析。

###### 2. 實驗結果

【實驗一】燒箔初體驗：銅箔與市售硫磺布，利用熨斗(158°C)加熱

我們利用圖片處理軟體 Photoshop，以熨斗加熱不同時間下，挑選燒箔主要三種顏色的色塊，並用方格法計算占比，整理於圖一。

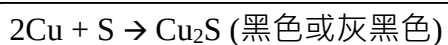
|      |  |     |               |                 |                 |
|------|--|-----|---------------|-----------------|-----------------|
| 10 秒 |  | RGB | (183, 55, 37) | (139, 102, 148) | (232, 162, 57)  |
|      |  | 色塊  |               |                 |                 |
|      |  | 占比  | 32.7%         | 25.3%           | 18.3%           |
| 20 秒 |  | RGB | (65, 95, 110) | (170, 153, 142) | (212, 116, 169) |
|      |  | 色塊  |               |                 |                 |
|      |  | 占比  | 33.3%         | 27.3%           | 20.6%           |

圖一 不同加熱時間下燒箔顏色的色碼、色塊與占比分析

結果分析：

- (1) 加熱 10 秒時，三主要顏色分別為紅銅色、紫色、黃橘色，燒箔顏色以 R 值偏高的暖色系為主，占比約 32.7%，色塊集中；
- (2) 加熱 20 秒，三主要顏色分別為青藍色、褐灰色、桃紅色，可以看到 B 值的提升，出現以藍較多的冷中性色系，占比約 33.3%，色塊分布較平均。
- (3) 兩者都有出現粉紫或桃紅的顏色，已經跟原本的銅顏色差異很大，主色調發生明顯轉移，可能與氧化還原反應或干涉膜厚度增加有關。而沒有硫磺布覆蓋的銅箔，用熨斗加熱後，依舊維持銅的顏色，RGB(144, 94, 66)，色塊為 。

銅進行氧化反應的活性雖然不大，但覆蓋硫磺布後，經由加熱，固態硫可以非常直接且快速地與銅反應形成硫化銅或硫化亞銅，因反應條件，產物比例有所不同，也進一步造成顏色變化不同。銅與硫的反應式如下：



但我們卻看到了除了黑色或灰黑色以外的顏色，紅棕色可能以  $\text{Cu}_2\text{S}$  為主，再來深棕色則為  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{CuS}$  的混合，最後若是偏深藍色，應該是以  $\text{CuS}$  為主。但這些多彩呈現連續色序，應該不是純粹化合物混合所致，其與所形成的物質可能已經在金屬表面形成薄膜化，因厚度不均，造成光的干涉所致，後續將進行這部分的驗證。

#### 【實驗二】探討以加熱片加熱，調整不同電壓下，隨著加熱時間對燒箔顏色的影響

為了方便可以即時記錄燒箔表面隨著加熱時間顏色的變化，我們使用科學 Maker 的光學積木，自行搭建了一個裝置：積木正上方架設 Go Direct RGB 顏色感測器，內置白色 LED 可提供均勻的照明，可以隨時偵測燒箔顏色，中間有一個可以旋轉移出移入的壓克力板，下方貼有硫磺布，可以將硫磺布壓在銅箔上進行反應，而最下方則是加熱片，連接電源供應器來控制溫度，銅箔則介於加熱板與硫磺布之間。讀取 RGB 色碼後，轉換為色塊，整理於圖二。

| 時間(s)<br>電壓(溫度) | 0                                                                                    | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5V (108°C)      |  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6V (124°C)      |  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 7V (148°C)      |  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |

圖二 加熱片不同 V (溫度)，燒箔顏色隨時間之 RGB 色塊橫條圖

結果分析：

- (1) 反應溫度 108°C 與 124°C：

- 色彩變化非常微弱，整體偏深紅褐色、甚至趨近黑色。

- 顯示這兩個溫度下，氧化層生成速率極慢，色澤變化不明顯。
- 時間延長 ( >180s ) 後略變暗，但幾乎無顯著色調改變。

推測原因，可能溫度不足以推動氧化層快速增厚，所生成的干涉色仍在紅外段或極暗色域，肉眼難以辨識。

(2) 反應溫度 148℃：

- 顏色變化快速且劇烈，從黃金色 → 深藍綠 → 藕紫 → 靛紫 → 深藍灰 → 深藍黑。
- 這是典型薄膜干涉的色譜演化，由於氧化層厚度隨加熱時間增加，造成干涉條件變化，產生不同色澤。

結論：由本實驗得知，若要得到有絢麗顏色的燒箔，溫度應該至少要高於 140℃，所以後續的實驗溫度，都以加熱板穩定控制在 140℃ 或 150℃。

### 【實驗三】探討不同銅來源對燒箔顏色的影響 (加熱板 140℃)

銅箔非常的輕薄，在移動硫磺布時，常常一不小心就會有破損的情形，很難再進一步繼續加熱與觀察。所以我們嘗試使用銅片來當作銅來源，看看是否也有與銅箔有類似的結果。由於是使用加熱板，所以銅片會先放在加熱板上，再覆蓋上硫磺布，以砵碼分別重壓 20s、30s、40s，再掀開硫磺布，以 RGB 顏色感測器紀錄銅片的 RGB 色碼值。燒箔照片與 RGB 色塊整理於圖三。

|    |     | 20s                                                                                 | 30s                                                                                 | 40s                                                                                 | 銅片<br>20s 30s 40s<br> |
|----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 銅片 | RGB | (214,142,41)                                                                        | (190,78,67)                                                                         | (157,179,128)                                                                       |                                                                                                           |
|    | 色塊  |  |  |  |                                                                                                           |
| 銅箔 | RGB | (174,106,9)                                                                         | (112,24,16)                                                                         | (157,179,128)                                                                       |                                                                                                           |
|    | 色塊  |  |  |  |                                                                                                           |

圖三 不同加熱時間銅來源形成燒箔之 RGB 色塊與燒箔的顏色變化

結果分析：銅片也是如同銅箔一樣，可以跟硫磺布進行氧化還原反應，也是有光干涉的情形。所以為了實驗處理方便，後續實驗我們使用銅片作為銅的來源。

### 【實驗四】使用硫磺皂與濾紙自製硫來源對燒箔顏色的影響

市售硫磺布無法得知裡面硫的含量，且與銅重複反應數次後，會漸漸反應殆盡。因此我們想自己自製硫磺來源。查找資料後，發現市面上有一種硫磺皂，我們可以取一定質量的硫磺皂，泡水形成懸浮液後，使用濾紙吸附後晾乾，就可以自製硫磺皂濾紙，其與銅片進行反應之燒箔 RGB 色塊整理於圖四。或許可以從濾紙的質量變化，了解實際參與反應的硫磺量。

|           |     | 20s                                                                               | 30s                                                                                | 40s                                                                                 |
|-----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 硫磺皂<br>濾紙 | RGB | (192, 37, 60)                                                                     | (171, 179, 128)                                                                    | (45,112,130)                                                                        |
|           | 色塊  |  |  |  |

圖四 以硫磺皂與濾紙製作燒箔的 RGB 色塊

結果分析：由圖四可以看出，我們自製的硫磺皂濾紙是可以替代硫磺布，且濾紙孔隙比布小很多，可以讓銅片與硫有更完整的接觸面積來進行反應，也希望未來可以進一步去控制硫的含量，達到更精確的反應計量。

#### 【實驗五】使用水煮蛋作為硫來源將銅幣進行染色

硫的來源，除了用硫磺布，可以用日常生活中的硫磺皂來自製，查找資料發現，居然也可以用雞蛋來提供硫來源。其反應程度受一些因素影響，我們針對了蛋黃克數(編號 1、2)、濕度條件(編號 1、4)以及反應時間(編號 1、3)進行了如表一的變因實驗。

表一 水煮蛋與銅幣的反應參數與結果

| 編號 | 蛋黃克數<br>(g) | 衛生紙濕度<br>(mL) | 反應時間<br>(min) | RGB 色碼          | 色塊                                                                                    |
|----|-------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 10          | 3             | 20            | (80, 78, 79)    |   |
| 2  | 5           | 3             | 20            | (114, 114, 116) |  |
| 3  | 10          | 3             | 40            | (98, 96, 98)    |  |
| 4  | 10          | 5             | 20            | (82, 83, 84)    |  |



結果分析：此反應是在室溫下進行，若沒有蛋黃，則硬幣沒有任何變化。硫主要來源是水煮蛋中之蛋黃，其含有蛋氨酸，在密閉容器中會分解釋放硫化氫氣體，可以與銅發生反應，形成黑色的硫化銅或棕色的硫化亞銅，其反應式如下：

(1) 初期（形成  $\text{Cu}_2\text{S}$ ，顏色偏棕色）： $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{H}_2$

(2) 長時間作用（形成  $\text{CuS}$ ，顏色變黑）： $\text{Cu}_2\text{S} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{CuS} + \text{H}_2$

蛋黃含量 10g 的，顏色較 5g 的偏深；而濕度部分，由於釋放出之  $\text{H}_2\text{S}$  為氣體，所以在蛋黃旁放置衛生紙，並滴加水，可以幫助  $\text{H}_2\text{S}$  溶於水，加速反應進行，加水 5mL 的顏色偏深；而反應時間，如上所述，40 分鐘的結果，顏色也比較偏深黑。此反應機制與硫磺布是不同的，硬幣上幾乎都是灰黑色，但最終在銅箔上也是有看到光干涉的多彩現象，值得再深入探究。

#### 【實驗六】不同角度拍攝燒箔的顏色變化(銅片、加熱板、反應溫度 $140^\circ\text{C}$ )

為了確認這燒箔顏色變化是來於光的干涉條件改變，我們嘗試由兩個不同的角度來觀看燒箔的顏色，其 RGB 色塊整理於圖五。



|          |                                                                                   | 0s                                                                                | 15s                                                                               | 30s                                                                                | 45s                                                                                 | 60s                                                                                 | 75s                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 拍攝角度 45° |  |  |  |  |  |  |  |
| 拍攝角度 90° |  |  |  |  |  |  |  |

圖五 不同角度觀看燒箔的顏色變化

結果分析：

- (1) 在相同角度下 ( 45° )，隨加熱時間推進，顏色變化顯著：從棕色 → 紅色 → 紫色 → 淺藍 → 深褐，這反映了薄膜厚度隨加熱有所變化，干涉條件改變。
- (2) 不同角度觀察有不同顏色變化趨勢，角度為 45°和 90°的觀察結果顏色不一致，這是薄膜干涉的關鍵特徵之一，因為干涉條件 ( 如光程差 ) 與入射角有關。
- (3) 干涉顏色會受到：① 薄膜厚度、② 觀察角度、③ 光波波長影響。本實驗改變了角度 ( 45° vs 90° ) 與反應時間 ( 間接改變厚度 )，觀察到顏色變化，驗證了燒箔絢麗的顏色來自於光干涉條件變化。

## 五、結論與生活應用

- (一) 經由實驗一和實驗二，發現溫度要高於 140°C 才會使銅箔有鮮豔的顏色變化，而 140°C ~ 150°C 是較容易觀察的溫度範圍。
- (二) 比對銅箔和銅片後發現顏色無較大的差異，且銅片較銅箔更容易實驗操作，所以後續實驗都以銅片為主。
- (三) 對比不同的硫來源，自製硫磺紙相較市售硫磺布的效果好，改善了硫磺布空隙大的問題，使作品的顏色更完整；而蛋黃的硫對比於其他兩樣效果就稍差，銅片無法有和硫磺布反應出來的一樣。
- (四) 可以明確地支持與驗證薄膜干涉現象的存在，因為同一物體在不同觀察角度顏色不同，顏色變化非單純加深或變淡，而是呈現彩虹樣的干涉色序。
- (五) 由這些實驗就可以控制燒箔的顏色，在製作燒箔之作品時可以得到自己想要的樣子。善用化學知識，更可以來與美術進行跨域結合。
- (六) 燒箔的結構色，可以運用在反光路面、店家招牌、汽車烤漆等等，當然作為藝術創作，可以有更豐富的色彩呈現。



## 參考資料

- 一、李貞慧，〈從「箔」的表現運用探究創作的可能性〉，2009 兩岸重彩畫學術研討會
- 二、禾少設計，網站：[樹革燒箔系列\\_箔與硫磺的昇華\\_燒箔](#)
- 三、Tengu craf 天狗，Youtube 影片：  
[\[実験\]加熱による銅の色変化 Experiment color change copper use oven.](#)
- 四、江淑芳、陳坤龍，極光巧克力炫目登場！光碟片彩虹的奧秘應用在極光巧克力製作，[臺灣網路科教館](#)生活科學補給站。