

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

030210

櫛次鱗「鈹」-探討影響鈹結晶的因素與抗磁性
能力之關係

學校名稱：新北市立中山國民中學

作者： 國二 徐以恩 國二 游京樺	指導老師： 賴婕妤 蘇彥學
-------------------------	---------------------

關鍵詞：鈹結晶、抗磁性

摘要

本實驗目的為探討不同製作條件下，對鈹結晶顏色的影響。

研究發現，鈹結晶的顏色會受到冷卻速率影響。冷卻速率的部分，正常環境下坩堝熔化的鈹結晶多是金色，不鏽鋼的多是藍紫色，放入水中會得到銀色結晶，冷卻時加熱溫度越高的鈹結晶，藍色部分越多。色光照射對鈹結晶的顏色沒有影響。只有加入陰離子表面活性劑時，成功的製作鈹結晶，顏色為金色。

冷卻時的溫度會導致表面的氧化層（三氧化二鈹）表現出不同的相，加熱溫度越高，藍紫色的 γ -phase 所佔的比例越高，金色 α -phase 比例越少。而金色部分抗磁性較強，藍色較弱，未來希望可以將鈹結晶抗磁性應用於水處理清除碳酸鈣沉澱物等物質，能對生活與環境有所幫助。

壹、前言

一、研究動機

我們對結晶很感興趣，在查詢資料的過程中發現金屬鈹能結晶出美麗的晶體，根據資料發現，鈹是一種半金屬，且具抗磁的特性，在重結晶的過程中會因不同的因素而影響結晶體（互動科學院，2016）。

我們查資料的時候發現，鈹結晶的生成，會受冷卻速度、冷卻方式還有結晶體與剩下的鈹液體分離的時間會影響，除此之外，根據鈹化合物的結晶資料指出，結晶時若加入表面活性劑，會對晶體本身有所影響。此外，結晶顏色又是否會影響鈹的抗磁性呢？這些都令我們非常地感興趣。

二、研究目的

查詢資料的過程中，得知鈹是一種對人體和環境沒有太大危害的環保綠色元素，於是我們想要藉由研究鈹的結晶條件，以及不同晶體顏色，對抗磁性的影響，瞭解鈹的更多特性，進一步找到可應用的事物。

三、待答問題

根據上述目的，我們提出了五個待答問題：

- (1) 不同的冷卻方式，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (2) 不同的色光照射，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (3) 加入表面活性劑，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (4) 不同顏色的鉍結晶，是否與抗磁性能力有關連？
- (5) 不同的冷卻速率，是否影響氧化鉍的相？

貳、研究設備與器材

本研究的鉍結晶，透過不同的處理，完成鉍的結晶，以下將對研究設備、器材與材料進行介紹。

首先，本研究主要材料—鉍金屬（如附圖 2-1），鉍金屬的外觀看起來銀白色有光澤，熔點低（ $271.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），在室溫下無延展性，導電、導熱性差，且具有抗磁性。熔化結晶後，表面會因氧化層厚度不同，導致不同波長的光受到不同程度的反射，出現五彩繽紛的顏色。



圖 2-1 加熱前的鉍金屬

根據文獻（無名氏，2022），鉍結晶表面的氧化層為三氧化二鉍（ Bi_2O_3 ），不同顏色表現是三氧化二鉍的不同相，三氧化二鉍加熱到 727°C 時，會由 α 相轉為 δ 相，冷卻時則有兩種可能，第一種是在 650°C 時轉為 β 相， 303°C 時回到 α 相；第二種是在 639°C 時轉為 γ 相， 500°C 時回到 α 相，但假如冷卻速度緩慢， γ 相可能保持到室溫。三氧化二鉍也具有抗磁性。

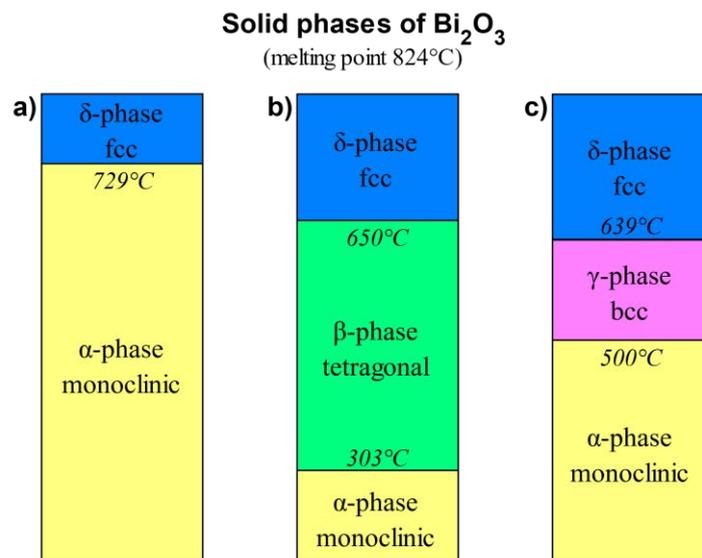


圖 2-2 加熱時氧化鉍相的變化（無名氏，2022）

此外，鉍具有較強的抗磁性能力，抗磁性又稱反磁性，當施加外加磁場時，會發生電磁感應，所產生電流使物質原子中的電子加速產生與外加磁場相反的磁矩，表現出與外加磁場排斥的特性，可以將抗磁性應用在水處理，用以清除水管中的碳酸鈣沉澱物。

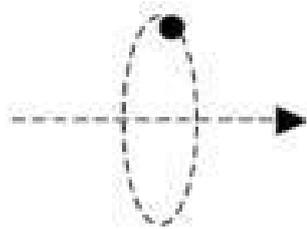


圖 2-3 抗磁性示意圖（杜怡君，2014）

根據不同的結晶條件，本研究選定冷卻方式、色光照射（湖南柿竹園有色金屬有限責任公司，2018），以及表面活性劑的添加與否，來製作鉍的結晶，進一步討論不同顏色的鉍結晶，是否會影響鉍的抗磁性。

研究階段一與階段二中，研究為比對鉍結晶的顏色，研究使用色差儀（LINSANG LS170）搭配塗層測厚儀（標智 GM211）進行測試。色差儀是基於分光光度計之原理所設計的一種辨色儀器，用以鑑別樣品顏色在色彩空間的位置。可將樣品與標準色樣比對，獲得與標準色樣的差異值。

測厚儀的部分，則是以超音波脈衝反射原理來進行厚度測量的，用以檢測鈹結晶表面覆蓋的氧化層厚度，進一步確認顏色與氧化層厚度之間的關聯。

本研究所使用之其他研究設備與器材如表 2-1 所示：

表 2-1

研究設備及器材

品項	用途
熔化鈹的容器	不鏽鋼碗(口徑 5.43cm)、坩鍋(口徑 5.53cm)
硼砂	熔化金屬的輔助原料，
卡式爐(瓦斯罐)、烤網	加熱熔化鈹
鈹金屬	熔化製作鈹結晶
品項	用途
鐵鎚、畚斗、抹布	物理性破壞體積較大的鈹金屬
鑽石砂輪	物理性破壞鈹金屬
色差儀	比對鈹結晶的色調
塗層測厚儀	檢測鈹結晶表面之氧化層厚度
電子秤	秤量鈹金屬與表面活性劑的質量
碼表	紀錄實驗時間
刮杓、鑷子	將鈹結晶後的氧化層撥開
電子天秤、磁鐵、滴定管架	測量鈹結晶的抗磁性
照射鈹晶體的 LED 燈	白光、紅光(620-750nm)、綠光(495-570nm)、藍光(450-495nm)
白紙	放置鈹結晶、磁粉及磁鐵
表面活性劑	十二烷基苯磺酸鈉、十六烷基三甲基溴化銨、乙二醇 8000
攪拌棒	攪拌熔化後的鈹

(續下頁)

參、研究過程或方法

一、研究架構

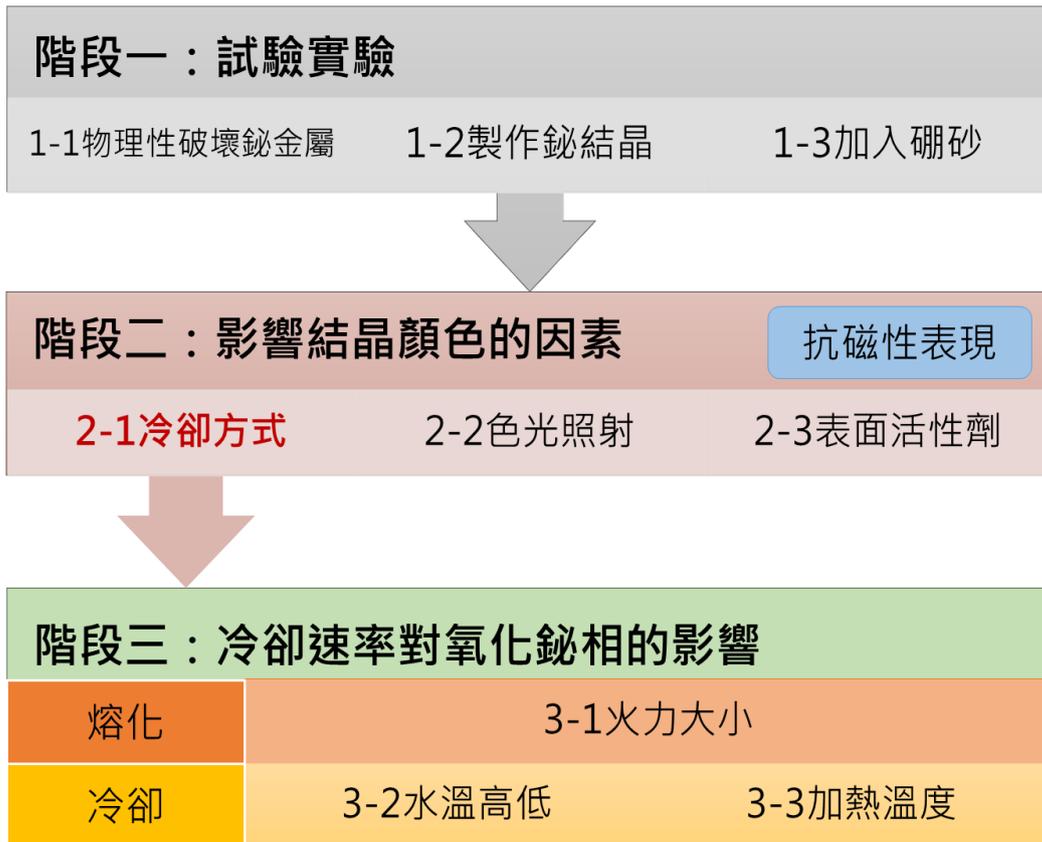


圖 3-1 研究設計

二、研究方法

正式實驗前，需先確認鈹金屬的特性，尤其市面購買來的鈹結晶，為一整塊的銀白色固體，在進行實驗前，必須先以物理性的方式，破壞鈹的結構，以進一步的秤重與實驗，並找出最快結晶且結晶較完整的方式。此外，根據蘇明德（2016）指出，硼砂有熔融金屬氧化物的能力，因為在焊接過程中，可用硼砂作為助熔劑除去金屬焊接處的氧化物，使金屬牢固地結合在一起。

知乎用戶（2019）提到，放入水中、室溫、稍微加熱三種不同冷卻方式，會影響鈹的結晶。此外，不同的色光照射下，對鈹的結晶顏色也可能有一定程度的影響。較特別的是，王莉瑋、袁佔輝、林棋、張於弛（2012）中提到，氫氧化鈹加入表面活性劑可以製備出粒粒分明的結晶顆粒。李桂水等人（2018）的研究中提到，鈹的化合物加入表面活性劑的目的是控制結晶的形狀，但對鈹在結晶時，是否可應用表面活性劑，則沒有直接且相關的研究，所以我們想做嘗試，探討鈹結晶加入表面活性劑是否有影響，或者改變鈹結晶的狀態。

而關於鈹化合物所選用的表面活性劑有非常多的種類，因此研究中我們選擇陰離子表面活性劑（十二烷基苯磺酸鈉(SDBS)）（趙平歌、張格紅、周孝德、汪文博、馬東華，2016）、陽離子表面活性劑（十六烷基三甲基溴化銨(CTAB)）（李桂水、胡旭敏、程麗君、郝亮，2018；趙平歌等人，2016）以及非離子型表面活性劑聚（乙二醇 8000(PEG8000)）（李桂水等人，2018）來做測試。

接下來則根據不同的結晶條件，選定冷卻方式、色光照射，以及表面活性劑的添加與否，進行鈹的結晶實驗。各實驗階段的詳細操作步驟，請見以下說明：

階段一：試驗實驗—確認鈹的特性，找出最快結晶而且結晶較完整的方式

1-1.物理性破壞鈹金屬

破壞鈹金屬的方式有兩種，第一種是用鐵鎚敲成小塊，另一種則是用鑽石砂輪切割，其中鑽石砂輪切割的過程中，容易產生大量的粉末，且因摩擦生熱的關係，使得表面容易黑掉。在多次嘗試之後，發現使用鐵槌敲碎的方式，較為方便快捷。

我們所使用的結晶方法是重結晶法（東海大學有機化學實驗室，2021）。重結晶是指將晶體溶於溶劑或熔融以後，又重新從溶液或熔體中結晶的過程。

1-2.製作鈹結晶

1. 將鈹金屬 20g 放到不鏽鋼碗與坩堝中
2. 用卡式爐加熱至完全熔化
3. 撥開氧化層
4. 將熔化的鈹金屬倒入乾淨的坩堝中，放置於室溫冷卻
5. 撥開氧化層
6. 分離固態及液態的鈹

1-3.加入硼砂熔化鈹

1. 將鈹金屬 20g 與 0.3 克硼砂放到坩堝與不鏽鋼碗中，加熱至熔化
2. 撥開氧化層
3. 將熔化的鈹金屬倒入乾淨的坩堝中，放置於室溫冷卻
4. 再次將氧化層撥開至完全凝固
5. 紀錄最終鈹的結晶晶型及顏色
6. 測量各個鈹結晶的抗磁性能力

階段二：影響結晶顏色的因素

2-1.不同的冷卻方式，對鈹結晶顏色的影響

1. 將鈹金屬放入不鏽鋼容器中，加熱至熔化
2. 撥開氧化層
3. 熔化的鈹金屬倒入乾淨坩堝中，以不同方式（水中、室溫、稍微加熱）冷卻
4. 再次將氧化層撥開至完全凝固
5. 紀錄最終鈹的結晶晶型及顏色
6. 測量各個鈹結晶的抗磁性能力

2-2.不同的色光照射，對鈹結晶顏色的影響

1. 將燈泡（紅、綠、藍、白）固定在卡式爐上，另將裝置至於黑暗環境中加熱
2. 拉上窗簾並關燈
3. 20 克的鈹金屬加入不鏽鋼碗和坩堝中熔化
4. 將熔化的鈹金屬倒入乾淨的坩堝中，放置於室溫冷卻
5. 再次撥開氧化層
6. 比較不同色光照射環境下結晶的結果
7. 測量各個鈹結晶的抗磁性能力

2-3.加入不同的表面活性劑，對鈹結晶顏色的影響

1. 將鈹金屬放入不鏽鋼容器中，加熱至熔化
2. 各加入三種不同的表面活性劑（SDBS、CTAB、PEG8000）
3. 將熔化的鈹金屬倒入乾淨的坩堝中，放置於室溫冷卻
4. 將氧化層撥開
5. 熔化的鈹金屬冷卻後，將剩餘的液體從固體晶體中分離出來
6. 紀錄最終鈹結晶的晶型及顏色
7. 觀察加入三種不同表面活性劑的鈹結晶的狀態
8. 測量各個鈹結晶的抗磁性能力

根據李聖巖（2011）表示，磁性物質有四種，分別為反磁性(diamagnetism)、順磁性(paramagnetism)、鐵磁性(ferromagnetism)以及反鐵磁性(antiferromagnetism)，而鈹是一種具有抗磁性的金屬。會產生抗磁效應的原因是抗磁性物質中每一個電子軌道上的電子都是成對的，個別電子繞行原子核所產生的磁矩會相互抵消，使得抗磁性物質本身並不具有磁性。

反之，若有外加磁場於抗磁性物質時，軌道上的電子會失去平衡，而產生淨磁矩，此淨磁矩的方向應與外加磁場的方向相反。

有關不同顏色的鈹結晶，對抗磁性表現的影響，器材架設如圖 3-2，則操作方式如下：

1. 準備一個電子天秤、強力磁鐵與滴定管架
2. 將強力磁鐵懸浮與於電子天秤上，並固定在滴定管架，保持在同樣的高度
3. 將鈹結晶放置於電子天秤上遠離磁鐵處，紀錄讀數
4. 將鈹結晶推至磁鐵下方，紀錄讀數
5. 鈹結晶在磁鐵下方讀數－鈹結晶在電子天秤邊緣讀數
6. 每個鈹結晶的測量，重複三次
7. 紀錄實驗數據，取平均值



圖 3-2 抗磁性器材架設

研究中，抗磁性能力的測量方法，是把一個強力磁鐵懸掛在電子天秤上方，搭配滴定管架的輔助，是以強力磁鐵與電子天平保持一定的距離，使得磁鐵下方保有一定的空間，可以在不接觸待測平面的情況下，放置鈹結晶於強力磁鐵的正下方。此時天平的讀數會是負數，是由於磁鐵的磁力將秤盤向上拉的緣故。

接著把要測量的鈹結晶放到電子天秤上遠離磁鐵處測量並記錄讀數，最後把鈹結晶推到磁鐵下方，因鈹結晶產生抗磁性將秤盤往下壓，電子天秤的讀數會增加，記錄此時的讀數。將鈹結晶在磁鐵下方讀數－鈹結晶在電子天秤邊緣讀數，即可得到鈹結晶抗磁性的強弱。數值愈大，表示抗磁能力愈好。

測量時，因鈹結晶的抗磁性測量為以數據的變化量來表示，與鈹結晶原本的重量無直接關係，所以鈹結晶的重量可忽略不計。

階段三：冷卻速率對氧化鈹相的影響

3-1. 熔化時不同火力大小，對鈹結晶顏色的影響

1. 鈹金屬放入不鏽鋼容器中，以不同火力（大火、中火、小火）加熱至熔化
2. 撥開氧化層
3. 將熔化的鈹金屬倒入乾淨的坩堝中，放置於室溫冷卻
4. 再次將氧化層撥開至完全凝固
5. 紀錄最終鈹的結晶晶型及顏色

3-2. 倒入不同水溫的水中冷卻，對鈹結晶顏色的影響

1. 將鈹金屬放入不鏽鋼容器中，加熱至熔化
2. 撥開氧化層
3. 將熔化的鈹金屬倒入不同溫度的水中
4. 再次將氧化層撥開至完全凝固
5. 紀錄最終鈹的結晶晶型及顏色

3-3. 冷卻時不同溫度加熱，對鈹結晶顏色的影響

1. 將鈹金屬放入不鏽鋼容器中，加熱至熔化
2. 撥開氧化層
3. 將熔化的鈹金屬倒入放在加熱板上的乾淨坩堝中，加熱不同溫度冷卻
4. 再次將氧化層撥開至完全凝固
5. 紀錄最終鈹的結晶晶型及顏色

整合上述的實驗內容，由試驗實驗確認鈹的各項特性，找出最快結晶而且結晶較完整的方式；進一步測試，不同的影響因子對鈹結晶的顏色的反應，依序進行試驗實驗、影響結晶顏色的因素，與冷卻速率對氧化鈹相的影響。階段二與階段三的實驗處理及組別，如表 3-1 所示：

表 3 -1

實驗處理及組別

處理	內容
階段二：影響結晶顏色的因素	測量抗磁性能力
實驗 2-1：冷卻方式	
水中	將熔化後的鈹倒入裝水的桶子裡
室溫	熔化的鈹倒入乾淨的坩堝
稍微加熱	熔化的鈹倒入放在加熱板上乾淨的坩堝
實驗 2-2：色光照射	
紅光(620-750nm)	紅色 LED 燈泡固定在爐火上方
綠光(495-570nm)	綠色 LED 燈泡固定在爐火上方
藍光(450-495nm)	藍色 LED 燈泡固定在爐火上方
白光	白色 LED 燈泡固定在爐火上方
黑暗	加熱環境完全黑暗
實驗 2-3：表面活性劑	
SDBS（陰離子）	熔化鈹金屬時，加入定量的 SDBS
CTAB（陽離子）	熔化鈹金屬時，加入定量的 CTAB
PEG8000（非離子）	熔化鈹金屬時，加入定量的 PEG8000
階段三：冷卻速率對氧化鈹相的影響	
實驗 3-1：不同火力	
小火	將鈹金屬以小火熔化
中火	將鈹金屬以中火熔化
大火	將鈹金屬以大火熔化
實驗 3-2：水溫高低	
4°C	熔化的鈹倒入 4°C 的水中
25°C	熔化的鈹倒入 25°C 的水中
75°C	熔化的鈹倒入 75°C 的水中
實驗 3-3：不同溫度加熱	

(續下頁)

處理	內容
75°C	熔化的鈹倒入放在 75°C 加熱板上的坩堝
100°C	熔化的鈹倒入放在 100°C 加熱板上的坩堝
150°C	熔化的鈹倒入放在 150°C 加熱板上的坩堝
200°C	熔化的鈹倒入放在 200°C 加熱板上的坩堝

三、資料蒐集與分析

資料蒐集完全後，質性觀察資料整理成表格；量化資料則會以 Microsoft Excel 2016 進行分析。以下針對兩大類資料分析並說明：

(1) 質性資料

研究中，會記錄鈹金屬熔化的狀況，包含溫度、狀態與色澤等，簡單描述研究中所的各項發現並比對。待鈹結晶完成後，再一次紀錄結晶的顏色表現、結晶形狀與狀態等。待所有資料整理後，再與量化得到的數據比較。

(2) 量化資料

研究中，主要會以兩種儀器來蒐集數據：色差儀、塗層測厚儀、電子天秤。將各數據資料整合後，取平均值，進行比對分析。實驗結果所呈現的每一個數據，皆為經過三次測量後，所取得的平均值。

本研究使用 CIE Lab 色彩空間紀錄色差儀測量的顏色，CIE Lab 色彩空間是基於一個顏色不能同時既是綠又是紅、也不能同時既是藍又是黃這個理論而建立。根據精測計量儀器設備有限公司（2021），所有顏色都可以通過 Lab 色空間感知並測量。

表 3-2

色差儀各數值之相關含意

數值	代表意義	正(+)	負(-)
L 值	亮度（黑、白）	偏亮（偏白）	偏暗（偏黑）
a 值	紅綠	偏紅	偏綠
b 值	黃藍	偏黃	偏藍

資料來源：整理自精測計量儀器設備有限公司（2021）。色差儀 lab 值含義的意思及判定標準。佛山市。

搭配 Image J 圖像處理軟體(<https://ij.imjoy.io/>)，以更準確地判讀鈹結晶的顏色。

統整實驗中所用到的各項檢測工具與項目，如表 3-3 所示：

表 3-3

各實驗檢測工具及項目

資料類別	檢測工具	檢測項目
質性	實驗者	結晶狀態
量化	色差儀	鈹結晶顏色
	塗層測厚儀	氧化層厚度(μm)
	電子天秤、強力磁鐵	抗磁性強弱

肆、研究結果

本研究目的為瞭解鈹結晶在不同結晶條件下，對顏色的影響，以及抗磁性能力的表現是否有差異，以下依序呈現研究結果。

一、階段一：試驗實驗

由物理性的破壞鈹金屬，到製作出完整的鈹結晶。經過多次的測試後，觀察鈹結晶的狀態，以及各項數值的變化，同時，藉由硼砂熔融金屬氧化物的能力，加入硼砂進行熔化鈹金屬的步驟。可發現金色的氧化層 b 的表現大部分偏向黃色；藍色氧化層 a 與 b 的表現，皆得到正值的結果，數值意義表示偏紅與偏藍，與我們觀察到的藍紫色有些相符，不同加熱容器所得到之鈹結晶顏色結果如表 4-1：

表 4-1

不同加熱容器所得到的鈹結晶之顏色比對

加熱容器	氧化層顏色	L	a	b	照片 (RGB 值)	
坩堝	有加硼砂	金色	+43.35	+8.54	+22.96	 (166, 154, 140)
		藍色	+44.31	+21.12	-8.09	
	沒加硼砂	金色	+52.52	+2.47	+25.23	 (146, 139, 129)
		藍色	+45.28	-3.80	-14.59	
不鏽鋼鍋	有加硼砂	金色	+6.97	+0.67	+25.39	 (174, 160, 142)
		藍色	+47.55	+14.38	+4.94	
	沒加硼砂	金色	+36.44	+10.61	+4.73	 (122, 107, 97)
		藍色	+43.42	+12.89	-10.55	

由於各顏色變化是因為鈹結晶熔化過程中，會因氧化反應形成氧化層，透過色差儀與肉眼交叉比對，可以大致推出，鈹結晶的氧化層有三種顏色，分別是藍色、紫色與金色，其中藍色與紫色肉眼無法清楚區分，所以統稱為藍色。而不同加熱容器所得到的鈹結晶，藉由塗層測厚儀對比抗磁性數據，所得到的結果如表 4-2 所示。初步由數據的表現可推測，氧化層厚度金色小於藍色，抗磁性能力則是金色大於藍色。

表 4-2

不同加熱容器所得到的鈹結晶之氧化層厚度與抗磁性關係

加熱容器	熔化時間(分)	氧化層厚度		抗磁性	
		金	藍	金	藍
坩堝					
有加硼砂	9:56.25	297.0	387.0	0.027	0.019
沒加硼砂	3:44.89	133.0	305.0	0.020	
不鏽鋼鍋					
有加硼砂	6:15.67	315.0	361.7	0.015	0.010
沒加硼砂	2:13.90	126.3	411.3	0.017	

小結試驗實驗，發現不鏽鋼鍋內的鈹金屬，完全熔化所需的時間比坩堝花的時間短；而不論是坩堝或者不鏽鋼鍋，多次的測試發現，在鈹金屬呈現熔融狀態後，加入 0.3g 硼砂持續進行加熱，則完全融化所需時間都比未加入硼砂的時間來得長，會影響結晶的表現，呈現些許的燒焦狀態。

二、階段二：影響結晶顏色的因素

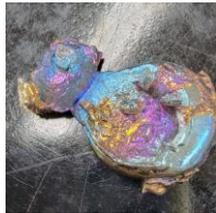
實驗 2-1：冷卻方式

確認鈹金屬的基本特性後，將熔化後的鈹金屬，分別在水中、室溫下，以及稍微加熱的情況下冷卻，由不同的冷卻環境，觀察鈹結晶的顏色變化與狀態，得到之鈹結晶的顏色結果如表 4-3 所示。

實驗結果顯示，在水中冷卻的效果比較特別，伴隨著小小的爆裂聲，整體的鈹結晶呈現不規則狀，並且完全為銀色的狀態，不含任何一點其他的色彩，相對其他狀況下所得到的鈹結晶，厚度較薄且易脆。而在室溫的處理下，所得到的鈹結晶，則帶有金色及藍色的表現；最後則是稍微加熱的測試中，鈹結晶則顯示較多的金色部分。

表 4-3

不同冷卻方式所得到的鈹結晶之顏色比對

冷卻方式	氧化層顏色	L	a	b	照片 (RGB 值)
水中	金色				
	藍色				
	銀色	+66.94	+1.90	+6.75	
室溫下	金色	+46.44	+14.34	+9.88	
	藍色	+63.75	-9.18	-3.52	
	銀色				
稍微加熱	金色	+51.93	+2.67	+25.92	
	藍色				
	銀色				

經由色差儀及肉眼交叉比對所得到的氧化層顏色，則可得到三種顏色，分別是金色、藍色與銀色。又藉由塗層測厚儀對比抗磁性數據，則所得到的結果如表 4-4 所示：

表 4-4

不同冷卻方式所得到的鈹結晶之氧化層厚度與抗磁性關係

冷卻方式	熔化時間(分)	氧化層厚度		抗磁性			備註
		金	藍	金	藍	銀	
水中	3:45.90					0.001	銀色部分的是鈹金屬原本的顏色，而非氧化層的顏色。
室溫下	3:50.55	451.3	408.2			0.026	
稍微加熱	6:51.14	186.7		0.015			

由上表可發現，在三種不同冷卻方式的處理下，以室溫下冷卻得到的鈹結晶較完整，為金色、藍色的表現，而將熔化後的鈹金屬，放入水中熔化，則鈹結晶呈現不規則的片狀，且全為銀色的表現，但因鈹的金屬狀態表現為銀色，推測水中環境冷卻下的鈹結晶，沒有氧化層的產生；而稍微加熱狀態下所得到的鈹結晶，則呈現出金色的變化。

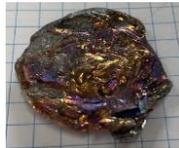
實驗 2-2：色光照射

接下來，則以色光照射作為變項，加熱熔化鈹金屬與冷卻的過程中，在黑暗的空間，搭建不同顏色（紅光、綠光、藍光）的燈泡進行照射。除此之外，另購置同樣瓦數（9 瓦）的白光燈泡，與在完全黑暗的環境下進行實驗，作為對照組進行比較。其中在黑暗環境下，操實驗操作困難度較高，所以有引入些許的光源進行實驗，此光源的強度非常微弱，距離整個實驗裝置仍有一段距離，其影響忽略不計。

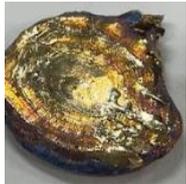
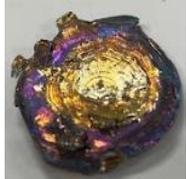
經過多次的試驗，不同色光照射所得到的鈹結晶之顏色變化，與色差儀所得到的相關數值，結果如表 4-5，可發現氧化層皆為金色或藍色的表現。

表 4-5

不同色光照射所得到的鈹結晶之顏色比對

色光種類	氧化層顏色	L	a	b	照片 (RGB 值)	
紅光	坩堝	金色	+47.52	+16.72	+24.22	 (129, 119, 108)
		藍色	+40.91	+13.09	-2.28	
	不鏽鋼鍋	金色	+44.62	+11.80	+11.48	 (142, 123, 100)
		藍色	+46.14	+18.53	-11.93	
綠光	坩堝	金色	+50.27	+11.35	+15.37	 (107, 93, 80)
		藍色	+48.50	+7.26	-20.40	

(續下頁)

色光種類	氧化層顏色	L	a	b	照片 (RGB 值)
不鏽鋼鍋	金色	+47.53	+4.25	+15.37	 (117, 108, 100)
	藍色	+43.77	-1.60	-14.11	
藍光					
坩堝	金色	+37.47	+4.48	+5.28	 (130, 118, 93)
	藍色	+37.02	+5.17	-16.60	
不鏽鋼鍋	金色	+40.46	+5.89	+7.48	 (117, 108, 100)
	藍色	+28.28	+17.07	-2.89	
白光					
坩堝	金色	+40.31	+4.25	+7.48	 (129, 119, 110)
	藍色	+42.28	+15.28	-10.03	
不鏽鋼鍋	金色	+42.86	+8.81	+9.03	 (144, 126, 100)
	藍色	+40.21	+10.84	-8.93	
黑暗環境					
坩堝	金色	+37.59	+7.27	+7.15	 (170, 157, 152)
	藍色	+46.55	+3.32	-14.13	
不鏽鋼鍋	金色	+47.49	+8.01	+16.42	 (147, 130, 106)
	藍色	+40.02	+3.20	-20.77	

由上表可發現，綠光照射下所得到的鈹結晶，藍色區塊佔的部分較多，而其他的色光或者黑暗環境處理下，鈹結晶的顏色分布相似，皆以中心點為金色，向外延展出藍色或紫色的變化。進一步藉由塗層測厚儀檢測，對比抗磁性數據，所得到的結果如表 4-6 所示。

表 4-6

不同色光照射所得到的鈹結晶之氧化層厚度與抗磁性關係

色光種類	熔化時間(分)	氧化層厚度		抗磁性	
		金	藍	金	藍
紅光					
坩堝	12:08.21	276.0	335.3	0.022	0.015
不鏽鋼鍋	6:01.71	130.7	330.0	0.020	0.019
綠光					
坩堝	4:32.08	285.3	231.3	0.026	0.016
不鏽鋼鍋	2:50.89	378.3	323.9	0.031	0.018
藍光					
坩堝	5:24.48	111.3		0.019	
不鏽鋼鍋	3:10.12	171.0	264.7	0.021	0.018
白光					
坩堝	4:20.30	108.0	238.7	0.017	0.012
不鏽鋼鍋	2:21.21	171.0		0.017	0.016
黑暗環境					
坩堝	20:30.16	114.3	335.7	0.017	0.015
不鏽鋼鍋	5:21.87	287.7	343.7	0.019	0.016

整合所有的色光照射數據，發現金色的氧化層厚度似乎較藍色來得薄，這項結果與試驗實驗的結果吻合，但在綠光的處理下，則得到相反的結果，還需要更多的數據來說明，比對不同環境處理下的鈹結晶，RGB 數值差異不大，初步判定色光照射對於鈹結晶的顏色，並沒有太大的影響。而在抗磁性能力方面，呈現出的變化量皆非常的小，比較起來，金色較藍色的部分來的強，同樣符合試驗實驗所得到的數據。

值得注意的是，熔化時間方面，各組所花的時間相近，不過在黑暗環境下，坩鍋的鈹金屬熔化時間，較不鏽鋼鍋來得長，直到 20 分鐘後，鈹金屬才完全熔化。除此之外，黑暗環境下的不鏽鋼鍋，所花費的熔化時間，與其他不同色光照射處理下的組別相比，所耗費的時間相對也較長一些。

實驗 2-3：表面活性劑

根據李桂水、胡旭敏、程麗君、郝亮（2018）的研究指出，鈹的化合物可加入表面活性劑，以控制結晶的形狀，甚至改變化學性質，如碳酸氧化鈹（ $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ ）可利用以陽離子表面活性劑十六烷基三甲基溴化銨（CTAB）與陽離子表面活性劑十二烷基硫酸鈉（SDS）。

而在鈹金屬本身，相關的文獻較少提及，因此實驗選用了三種不同性質的表面活性劑，加入熔化的鈹金屬，觀察結晶的形狀或表面，是否會因表現活性劑的添加而達到修飾效果，實驗結果如表 4-7 所示：

表 4-7

加入表面活性劑所得到的鈹結晶

表面活性劑種類	說明
SDBS（陰離子）	無法與鈹融合，結晶為金色
CTAB（陽離子）	鈹金屬與表面活性劑分別結塊
PEG8000（非離子）	無法熔化，容器底部有燒焦，有白煙冒出且有臭味

由上表可發現，加入以上三種表面活性劑，對於鈹結晶的晶型沒有影響，只有陰離子表面活性劑有結晶，為金色，沒有未加入表面活性劑的鈹結晶來的顏色多元。

總結階段二，冷卻方式是影響鈹結晶顏色的主要因素，色光照射影響並不大，而加入表面活性劑則是不一定能製作出鈹結晶，在下一階段會選擇冷卻方式，做進一步的探討。

三、階段三：冷卻速率對氧化鈹相的影響

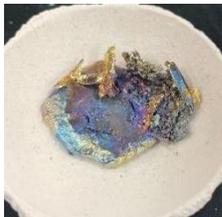
在上一階段實驗中，確認了鈹結晶的顏色主要受冷卻方式的影響，而冷卻方式直接導致了冷卻速率的不同，所以在此階段實驗中，會更細部探討冷卻速率對鈹結晶顏色的影響，分成控制熔化時與冷卻時的條件，控制熔化條件，是利用卡式爐的不同火力熔化。而控制冷卻的條件，則是分別在不同水溫的水中，以及不同溫度的加熱情況下冷卻，觀察並記錄鈹結晶的顏色變化與狀態。

在上一階段實驗，已經確定氧化層厚度、抗磁性強度與鈹結晶的顏色三者之間的關聯，所以在接下來的實驗當中，就不再進行測試，專注探討冷卻的速率對鈹結晶表面氧化鈹相的影響，並由鈹結晶的製作過程，分成兩階段探討：鈹金屬的熔化與鈹結晶的冷卻進行實驗。

實驗 3-1：火力大小（熔化）

卡式爐是實驗中用來熔化鈹金屬的工具，控制熔化時卡式爐的火力，或許也會間接地影響到冷卻的速率，在足夠熔化鈹金屬的狀況下，調整卡式爐的火力，以大火、中火與小火來熔化鈹結晶，完成後紀錄實驗結果，如表 4-8 所示。

表 4-8
不同卡式爐火力所得到的鈹結晶之顏色比對

不同火力	小火	中火	大火
照片 (RGB 值)	 (152, 154, 162)	 (159, 154, 147)	 (134, 134, 130)

使用小火、中火與大火加熱，所得到的結晶以肉眼看來多為藍色，經過 Image J 的塗層分析後，小火的顏色偏藍，中火的顏色偏紅，大火的則偏綠。

實驗 3-2：不同水溫（冷卻）

實驗 2-1 中，曾經探討倒入水中冷卻，與加熱冷卻對鈹結晶的影響，在此階段中，會在更細項的探討這兩項因素。實驗 3-2 研究將熔化的鈹結晶倒入 4°C、25°C 的水中，觀察所得到的鈹結晶的差別，實驗結果見表 4-9。

表 4-9
不同冷卻水溫所得到的鈹結晶之顏色比對

不同水溫	4°C	25°C
照片		

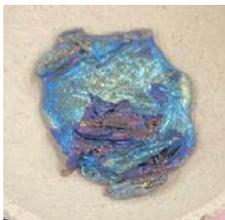
在冷卻溫度的實驗結果當中可發現，25°C 的水中冷卻所得到的晶體多為片狀，顏色為銀色；在 4°C 的水中冷卻所得到的晶體多為粉狀，呈片狀的也比較小，顏色與 25°C 的相同，皆為銀色的呈色。

實驗 3-3：加熱溫度（冷卻）

實驗 3-3 將熔化的鈹金屬倒入置於加熱板上的坩堝中，分別加熱 100°C、150°C，觀察並記錄最終的結晶，實驗結果如表 4-10 所示。

表 4-10

不同加熱溫度所得到的鈹結晶之顏色比對

加熱溫度	100°C	150°C
照片（RGB 值）	 <p>(110, 107, 105)</p>	 <p>(147, 156, 161)</p>

根據實驗中所拍攝的影片，氧化層顏色變化的順序為先由銀色轉為金色，部分金色再變成紫色，部分最後會再轉變為藍色，最終可能達到淺藍色。實驗結果顯示，在 100°C 的加熱下，鈹結晶雖然大部分也呈現藍色，但金色的區域還是比 150°C 的實驗來的多一些，且 150°C 的實驗中，淺藍色的區域也更多，而在室溫下冷卻的鈹結晶，金色的部分又更多，由此推論，冷卻的環境溫度越高，鈹結晶就越容易達到藍色。

伍、討論

一般製作鈹結晶，最後所形成的晶體都是階梯狀，表面不平整，但我們為了讓實驗更加精準，搭配了塗層測厚儀和色差儀進行測量，而表面凹凸不平的晶體不利於做測量所以我們結晶的形狀是做成圓形，且表面較平整，但不影響氧化層的生長。以下分別就待答問題進行實驗結果討論。

一、 不同的冷卻方式，是否會影響鈹的結晶顏色？

放入水中冷卻的實驗，知乎用戶（2019）是將剛成形的鈹結晶放入水中，所形成的結晶會是金色，但鈹結晶在凝固的瞬間就決定顏色，所以我們將完全熔化的鈹倒入水中，鈹接觸到水面時發出爆裂聲，並濺出水花，表面顏色為銀色，形狀不規則。在後來室溫冷卻的實驗中，其中一個冷卻用的坩堝底部有沒乾的水，熔化的鈹倒入坩堝時，也發出了爆裂聲，凝固後底部也是銀色。

如圖 5-1 所示，左側銀色結晶是冷卻乾鍋底部未乾的結果，右側是正常狀況的結晶（金色）。所以我們推測，鈹凝固時碰到水，凝固之後會是銀色。



圖 5-1 坩堝底部未乾結晶

在正常環境下之結晶的實驗發現，坩堝熔化的結晶顏色多為金色，不鏽鋼熔化的結晶多為藍紫色。根據碰撞學說（陳義忠，2021），化學反應是反應粒子互相碰撞來發生反應，但不是所有碰撞都能引起反應，只有有效碰撞才能。而高溫會使粒子的振動頻率與振幅提升，也提升有效碰撞的機率，反應速率提升。

我們推測不鏽鋼加熱較均勻，溫度較高，氧化速率較快，氧化層較厚，結晶顏色為藍紫色；相反，坩堝加熱較不均勻，溫度可能較低，氧化速度慢，氧化層較薄，顏色為金色。整合鈹結晶的顏色表現如圖 5-2 顯示，鈹結晶的顏色有金色、藍色與紫色，以及無氧化層的銀色，對比塗層測後厚儀的檢測結果，藍紫色的氧化層厚度較厚(平均厚度 324.2 μm)，金色較薄(平均厚度 246.1 μm)。

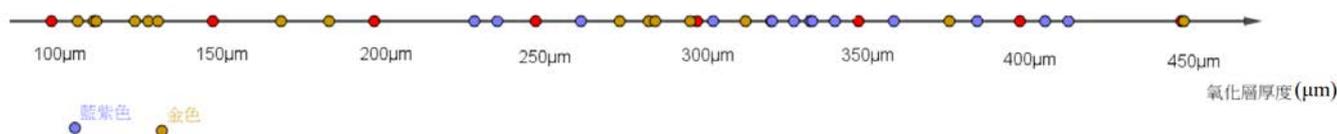


圖 5-2 肉眼觀察顏色與塗層測厚儀測量數值關係

二、 不同的色光照射，是否會影響鈹的結晶顏色？

在我們的實驗中，照射綠色光的結晶藍色部分較其他的色光環境下的多，但有可能是其他的原因所導致，例如：環境的溫度、卡式爐的火候等。總體來說，照射色光對鈹結晶的影響並不大，比較 RGB 的數值，各結晶在不同色光的處理下，差異小，這點與江承義等人（2020）的研究結果相符。此外，照射色光的時間長短（湖南柿竹園有色金屬有限責任公司，2018），或許也是一個影響因素，還有待實驗證實。

三、 加入表面活性劑，是否會影響鈹的結晶顏色？

在陰離子表面活性劑的實驗中，得到的鈹結晶是金色。我們推測是因為表面活性劑降低了熔化的鈹的溫度，所以鈹結晶為金色，非表面活性影響。而在之前的實驗中，我們把表面活性劑與鈹結晶同時加入容器加熱熔化，但結果發現，表面活性劑燒焦，鈹金屬無法完全熔化，經過多次的測試與調整，才修改成現在的實驗步驟。修正實驗步驟前的實驗結果如表 5-1 所示。

表 5-1

實驗三修正前之加入表面活性劑所得到的鈹結晶

表面活性劑種類	說明
SDBS（陰離子）	無法熔化，容器底部有燒焦
CTAB（陽離子）	有部分熔化的金屬鈹結晶為銀色(圖 5-3)
PEG8000（非離子）	無法熔化，容器底部有燒焦，有白煙冒出且有臭味



圖 5-3 陽離子表面活性劑實驗鉍結晶

加入表面活性劑的實驗中，和不同表面活性劑一起加熱熔化的鉍，只有一種成功熔化，且結晶形狀不完整，因加熱時的溫度很高，可能會改變、破壞表面活性劑的結構而無法表現出表面活性劑對鉍結晶的影響。

文獻中（趙平歌，2016），作者以水熱合成的方法製作氧化鉍晶體，並以表面活性劑修飾晶型。表面活性劑在水熱合成這種液相反應中可以溶於水形成膠束，使合成的晶體形貌均勻。然而在我們的鉍結晶實驗裡，固態鉍熔化為液態鉍，表面活性劑不會容於液態鉍，更不會形成膠束，所以表面活性劑不會對鉍結晶產生與氧化鉍相同的影響。

四、 不同顏色的鉍結晶，是否與抗磁性能力有關連？

在我們的實驗中，鉍結晶的顏色會以色差儀做測量，但測量金色部分顯示的顏色，卻與肉眼觀察到的不相符，原因有可能是這款色差儀不適用於測量金屬材質的顏色，也可能是鉍結晶表面凹凸不平造成測量上的誤差。

實驗中使用的抗磁性測量方法，是以把鉍結晶放置在磁鐵下產生的抗磁力，減掉磁鐵對磅秤產生的磁力，這裡只參考讀數的變化，去比較抗磁性能力的大小。但各個實驗處理下的鉍結晶，因為要保持測量環境在同樣的條件下，例如同樣的厚度、同樣的距離，所以測量到的數值，可能會有誤差。

而在測試放入水中冷卻所得的結晶時發現，這個銀色結晶的抗磁性是全部結晶中最小的，所以我們推測，鉍結晶的抗磁性大小和結晶的大小厚度有關。

經過測試，我們發現同一個鈹結晶金色的部分抗磁性都大於藍色的部分，我們推測因為藍色結晶氧化層較厚，抗磁性較小；金色結晶氧化層較薄，抗磁性較大。氧化層厚度是鈹結晶顏色的成因，而氧化層厚薄會影響抗磁性強弱，所以鈹結晶的顏色與抗磁性確實有關聯。而一塊結晶中，金、藍色分布的比例可能也會對抗磁性能力有影響，所以可以用電腦程式，搭配 Image J（謝銘修，2021），拍照來測量計算出比例。

綜合以上，製作鈹結晶時，有很多的變因會影響結晶的結果，例如：環境溫度、鈹金屬顆粒大小與卡式爐的火力等。目前研究思考，若能利用鑽石刀，將鈹金屬切割成小塊，代替鈹結晶以熔點以下的溫度加熱氧化，還可以加上放置時間的變因，最後觀察氧化層，可以更精準明確的觀測到各項變因對於氧化層顏色的影響。

五、 不同的冷卻速率，是否影響氧化鈹的相？

為證明鈹結晶表面氧化層成分為三氧化二鈹，將鋁箔紙（反應式： $\text{Al} + \text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Bi} + \text{Al}^{3+}$ ，還原電位 = 1.369）包住 20g 的鈹金屬，至於坩堝上，用卡式爐加熱十五分鐘融化，待冷卻後打開鋁箔紙，觀察發現表面的氧化程度明顯地低於暴露在空氣中的鈹結晶，少部分出現氧化，可能是鋁箔並未完全密封，有氧氣進入造成，證明表面為鈹的氧化物：三氧化二鈹。



圖 5-4 鋁箔包住鈹加熱

三氧化二鈹能夠保存到室溫的相，有 α -phase 與 γ -phase 兩種，與實驗結果鈹結晶出現金色與藍紫色的氧化層相符，推論 α -phase 為金色， γ -phase 為藍紫色。文獻中提到：鈹結晶的顏色呈現是因氧化層厚度不同，實驗中也測量到，金色部分氧化層較薄，藍色氧化層較厚，推測三氧化二鈹的不同相，與厚度有關連， α -phase 可能較薄， γ -phase 可能較厚。加熱的溫度越高，藍色的比例越高，推論這是因為氧化鈹的 γ -phase 需加熱至 729°C，在冷卻才能得到，在溫度較低時，例如室溫下，較少部分可以達到 γ -phase，更多部分是 α -phase 所以呈現金色。

陸、結論

根據實驗，鈹結晶的顏色會受到冷卻速率的影響，綜合各實驗的操作變因，可得到以下幾點結論：

- 一、金屬鈹在不鏽鋼容器中熔化較快，在坩堝中熔化較慢
- 二、在正常環境中不鏽鋼的結晶多為藍紫色；坩堝多為金色
- 三、放入水中冷卻會得到銀色的鈹結晶，水溫越高結晶較完整
- 四、色光照射對於鈹結晶顏色沒有太大差異
- 五、只有在加入陰離子型的表面活性劑，鈹金屬有部分熔化，出現金色的鈹結晶
- 六、冷卻時溫度越高，藍色部分越多
- 七、對比鈹結晶的氧化層厚度：藍色(平均厚度 $324.2 \mu\text{m}$) > 金色(平均厚度 $246.1 \mu\text{m}$)
- 八、對比金色及藍色的鈹結晶之抗磁性強度：金色 > 藍色

總結我們的研究目的與問題，如圖 6-1，只有冷卻方式會對鈹結晶的顏色有影響，氧化層厚度是鈹結晶顏色的成因，而氧化層厚薄會影響抗磁性強弱：氧化層越厚，抗磁性越弱；氧化層越薄，抗磁性越強。

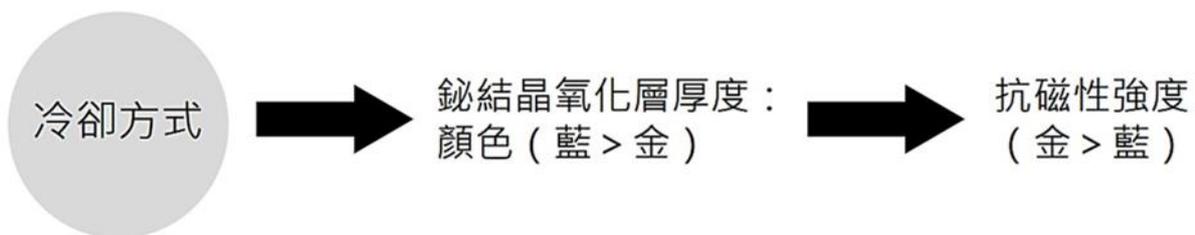


圖 6-1 研究結果與歸納

未來希望可以將鈹結晶的抗磁性應用於水處理以清除碳酸鈣沉澱物等物質（無名氏，2021），如圖 6-2 所示，藍色部分是管壁，材料為鐵或銅，水中的污垢容易因為氧化還原而附著在管壁上，如果有外加的磁場，污垢會脫落。透過鈹結晶的抗磁性，若將鈹做成塗層塗在水管壁上，在無磁場的狀況下，污垢會附著在塗層上，但有外加的磁場時，塗層與污垢會同時剝落，強化清潔的效果，對生活、環境有所幫助。

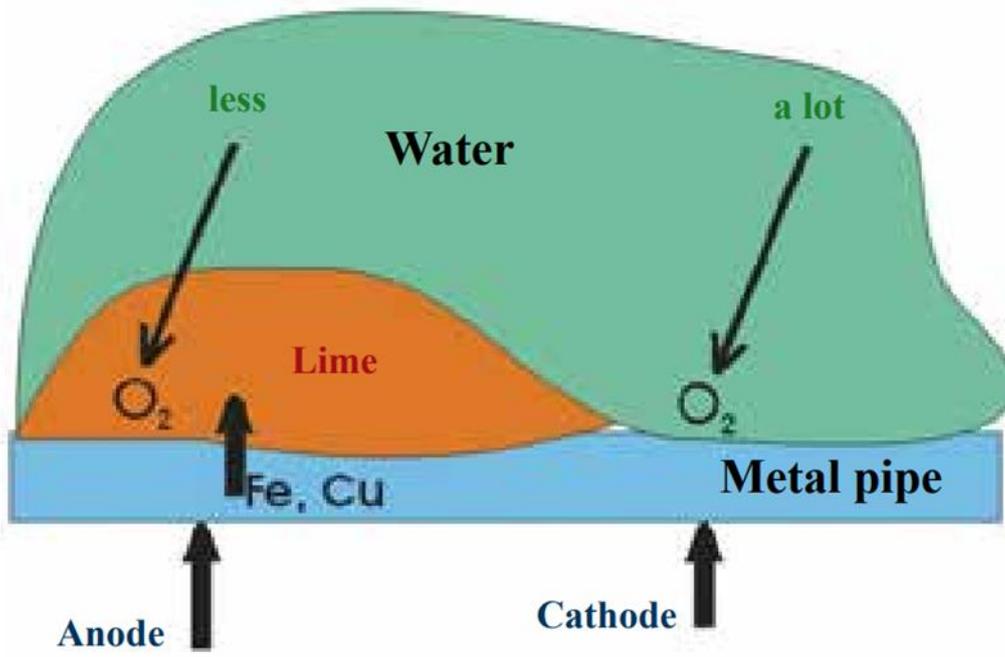


圖 6-2 水處理 (Hartmut Jünke, 2021)

柒、參考文獻

- Anne Marie Helmenstine(2021)。如何生長鈹晶體？。取自 <https://ppt.cc/f9FKtx>
- Hartmut Jünke(2021)。Physical water treatment - this is how it works. Retrieved from <https://ppt.cc/fDOVvx>
<http://muchong.com/html/200903/1215513.html>
http://www.mingdao.edu.tw/physics/pdf/matter_06.pdf
- Ruren Xu, Yan Xu(2017)。現代無機合成化學（第二版）。取自 <https://ppt.cc/fW0nfx>
- 小木蟲用戶（2021）。表面活性劑在水熱反應中的應用。取自
- 互動科學院（2016）。教你制彩虹晶體！滿足你對晶體的所有想像。每日頭條。取自 <https://kknews.cc/zh-tw/news/82vevl.html>
- 王莉瑋、袁佔輝、林棋、張於弛（2012）。綠色珠光顏料氫氧化鈹晶體的製備。中國陶瓷，12，51-53、90。
- 江承羲、羅煒竣、黃柏融（2020）。原形「鈹」露—探討鈹金屬的結晶現象。中學生網站。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/10/2020101423023926.pdf>
- 杜怡君（2014）。磁性基本特性磁性奈米線應用。化學與磁性（磁性特性與應用）。取自 <https://slidesplayer.com/slide/11249393/>
- 李桂水、胡旭敏、程麗君、郝亮（2018）。表面活性劑吸附陰極的製備及光催化性能。應用化學，35(6)，692-699。取自 http://yyhx.ciac.jl.cn/article/2018/1000-0518/1000-0518-35-6-692.html#outline_anchor_17
- 李聖尉（2011）。磁性物質（I）- 反磁性、順磁性（Magnetic Material - I）。高瞻自然科學教學資源平台。取自 <https://ppt.cc/fDYa5x>
- 奇石欣賞（2018）。你見過用金屬鈹培養的奇石嗎？如此神奇！每塊都是獨一無二的！。每日頭條。取自 <https://kknews.cc/zh-tw/collect/p66bpgp.html>
- 東海大學化學系（2021）。再結晶。東海大學有機化學實驗室。取自 <https://ppt.cc/fXJDTx>
- 知乎用戶（2019）。如何人為控制鈹晶體氧化膜顏色?知乎。取自 <https://ppt.cc/fazEFx>
- 查無旅人（2019）。玩鈹·歸召：徜徉神秘金屬結構。asusdesign。取自 <https://ppt.cc/fTy5Ax>
- 陳義忠（2021）。物質科學_化學篇(下)第六章 化學反應速率。取自
- 曾信彰（2021）。界面活性劑之原理及應用。取自 <https://ppt.cc/fUOXGx>
- 湖南柿竹園有色金屬有限責任公司（2018）。專利編號 201810335783.7。中國：中華人民共和國國家知識產權局。

無名氏（2021）。抗磁性：材料，應用，實例。WARBLETONCOUNCIL。取自

<https://zh.warbletoncouncil.org/diamagnetismo-3695#menu-4>

無名氏（2022）。三氧化二鉍。維基百科。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E6%B0%A7%E5%8C%96%E4%BA%8C%E9%93%8B>

無名氏（2022）。Bismuth(III) oxide。維基百科。取自

[https://en.wikipedia.org/wiki/Bismuth\(III\)_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Bismuth(III)_oxide)

精測計量儀器設備有限公司（2021）。色差儀 lab 值含義的意思及判定標準。佛山市。

趙平歌、張格紅、周孝德、汪文博、馬東華（2016）。表面活性劑修飾氧化鉍形貌及其超聲

降解性能研究。**環境科學學報**，36(8)，2876-2884。

講化學的小王（2019）。高中化學知識講解。每日頭條。取自 <https://ppt.cc/fhAOvx>

謝明修（2021）。ImageJ 簡介與應用之一-手機光譜儀圖譜。取自 <https://ppt.cc/fDhJux>

蘇明德（2016）。硼的自述。**科學發展**，523，50-58。取自 <https://ppt.cc/fTOI5x>

【評語】 030210

此科展作品探討鈹於不同的結晶條件下，對晶體顏色的影響。並利用天平自製測量抗磁性的器材，以測量不同顏色的鈹晶體，其抗磁性大小。本實驗具創意，若能配合理論說明實驗結果，將更為完整(例如：第十頁內文「測量時，因鈹結晶的抗磁性測量為以數據的變化量來表示，與鈹結晶原本的重量無直接關係，所以鈹結晶的重量可忽略不計。」這段話需要再清楚說明為何和原本重量無關)。研究動機和引言部分對於此一研究和過去研究有什麼不同之處須加強說明。參考文獻豐富但許多都來自個人網頁，正確性需再斟酌並確認。

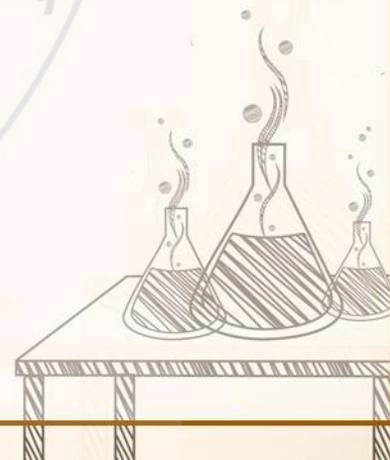
作品簡報

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

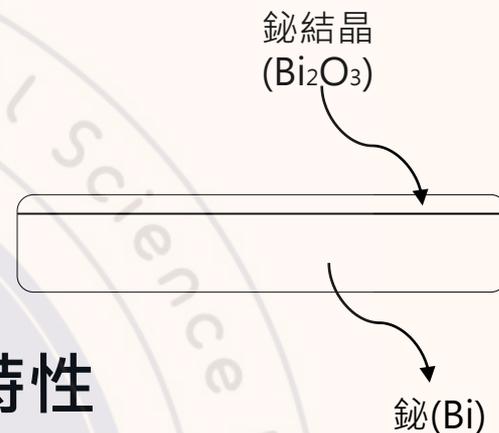
櫛次鱗「鈹」

探討影響鈹結晶的因素與抗磁性能力之關係

國中組 化學科



研究目的與問題

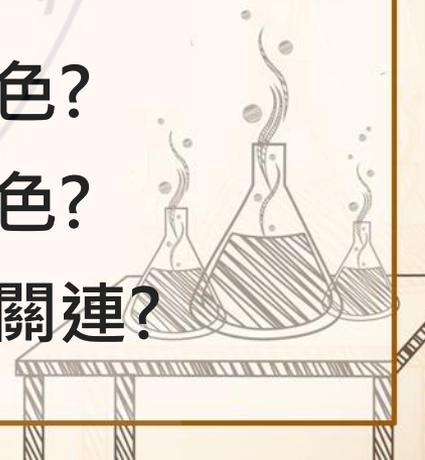


研究目的

- 研究鉍的結晶條件；瞭解鉍的更多特性
- 不同晶體顏色與抗磁性能力之間的關係

待答問題

- (一)不同的冷卻方式，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (二)不同的冷卻速率，是否影響氧化鉍的相？
- (三)不同的色光照射，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (四)加入表面活性劑，是否會影響鉍的結晶顏色？
- (五)不同顏色的鉍結晶，是否與**抗磁性**能力有關連？



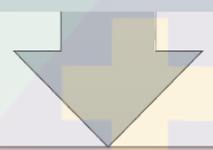
研究架構

階段一：試驗實驗

1-1 物理性破壞
鈹金屬

1-2 製作鈹結晶

1-3 加入硼砂



階段二：影響結晶顏色的因素

抗磁性表現

2-1 冷卻方式

2-2 色光照射

2-3 表面活性劑



階段三：冷卻速率對氧化鈹相的影響

熔化

3-1 火力大小

冷卻

3-2 水溫高低

3-3 加熱溫度



試驗實驗：物理破壞鈹→鈹結晶→加入硼砂

● 重結晶法

- 將晶體溶於溶劑或熔融以後，又重新從溶液或熔體中結晶的過程。

加熱熔化

冷卻撥開
氧化層

將剩餘的
液體從固
體晶體中
分離

紀錄顏色
變化並比
較

測量抗磁
性能力

鈹金屬 + 硼砂

色差儀、塗層測厚儀

色差儀各數值之相關含意

數值	代表意義	正(+)	負(-)
L值	亮度(黑、白)	偏亮(偏白)	偏暗(偏黑)
a值	紅綠	偏紅	偏綠
b值	黃藍	偏黃	偏藍

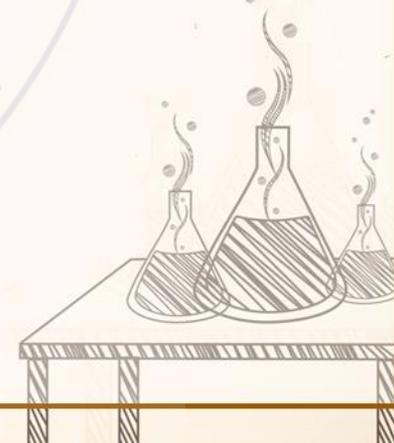
資料來源：整理自精測計量儀器設備有限公司

▼ 抗磁性測量



試驗實驗：確認鈹的特性

- 熔化鈹金屬的容器
 - 耗費時間：不鏽鋼 < 坩鍋
 - 結晶顏色：不鏽鋼得藍色；坩鍋得金色
- 氧化層及顏色的關係
 - 金色 b 值多為正值 = > 黃色
 - 藍色 a b 值皆為正值 = > 藍紫色 (與觀察到的相符)
- 氧化層厚度：金色 < 藍色
- 抗磁性能力：金色 > 藍色



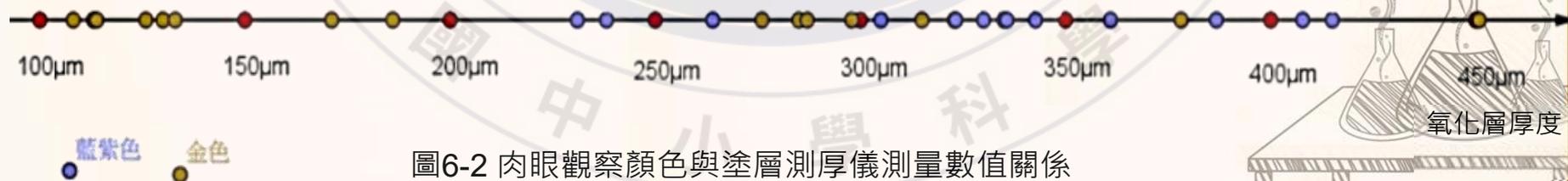
2-1 冷卻方式

冷卻方式	水中	室溫下	稍微加熱
照片 (RGB值)	 (0)	 (124,121,123)	 (148,128,99)

▼ 碰到有水的坩堝



- 冷卻時碰到水 - 銀色
- 碰撞學說 - 溫度高反應較快
 - 不鏽鋼加熱較均勻，溫度高，氧化層厚→藍紫色；坩堝加熱較不均勻，溫度低，氧化層較薄→金色



2-2 色光照射

色光種類		照片(RGB值)		色光種類		照片(RGB值)	
紅	坩堝		(129,119,108)	藍	坩堝		(130,118,93)
	不鏽鋼鍋		(142,123,108)		不鏽鋼鍋		(117,108,100)
綠	坩堝		(107,93,80)	白	坩堝		(129,119,110)
	不鏽鋼鍋		(117,108,100)		不鏽鋼鍋		(144,126,100)

2-3 加入表面活性劑

表面活性劑種類	說明
SDBS	無法與鈹融合，結晶為金色
CTAB	鈹金屬與表面活性劑分別結塊
PEG8000	無法融化，底部有燒焦，冒白煙，有臭味

- 結晶金色 - 表面活性劑降低溫度
- 無法修飾晶型
 - 加熱溫度過高 - 表面活性劑結構破壞
 - 無法形成膠束

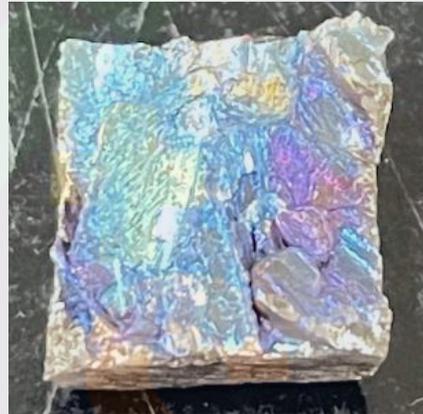
▼陰離子表面活性劑的結晶



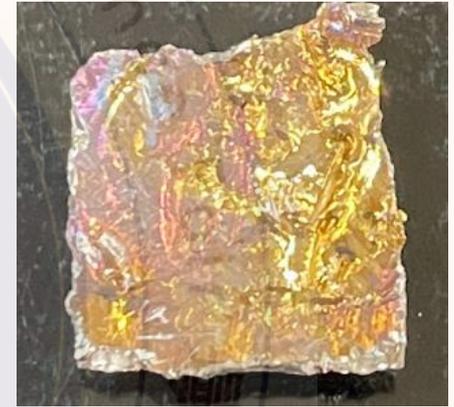
抗磁性測量

樣本	平均值	
	藍色	金色
一	0.0163	0.0170
二	0.0120	0.0220
三	0.0203	0.0230

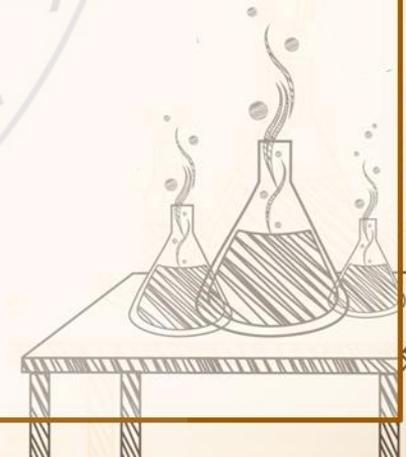
▼ 樣本二 - 藍色



▼ 樣本二 - 金色



- 將鉍結晶顏色較均勻部分切割成1*1正方形
，測量抗磁性
- 藍色鉍結晶，抗磁性小於金色鉍結晶

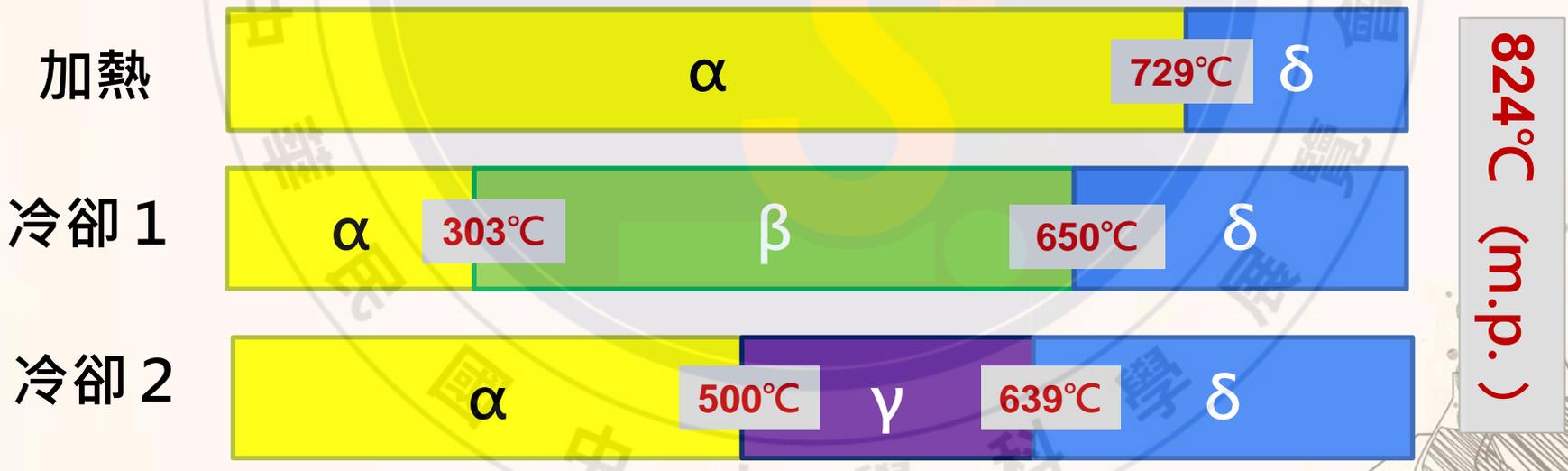


階段三：冷卻速率對氧化銻相的影響

- 表面氧化層 - 三氧化二銻
- 鋁箔包住銻金屬加熱熔化
 - 氧化部分明顯變少，顏色變淡



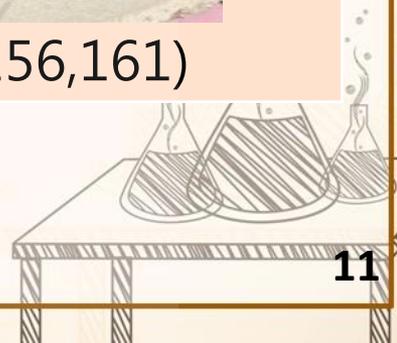
▲ 鋁箔包住處理



階段三：冷卻速率對氧化鈹相的影響

水溫高低	25°C	4°C
照片		
加熱	100°C	150°C
照片 (RGB值)	 (110,107,105)	 (147,156,161)

- 溫度越高，藍色越多
- 推測藍色為 γ -phase 金色為 α -phase



總結

- 一. 水中冷卻：銀色的鈹結晶（水溫高結晶較完整）
- 二. 色光照射：太大差異
- 三. 陰離子表面活性劑：結晶 - 金色（其餘無結晶）

	藍色	金色
冷卻溫度	高	低
氧化層厚度	厚	薄
抗磁性強度	弱	強
氧化鈹相	γ -phase	α -phase

