

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030210

還我”原”色，反璞歸真

學校名稱：臺南市立新東國民中學

作者： 國二 楊宴姍 國二 陳佩蓁	指導老師： 邱崇修 侯琮閔
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：硫化銅、氧化還原、指示劑

還我”原”色，反璞歸真

摘要

自然界有些物質，其化學主成分相同，外觀與物理性質卻相異，如「同素異形體」；有雜質的礦物也有此現象，如黃銅礦的外觀色彩與條痕色不同。因此，需藉助化學定性與定量的分析，方能鑑定其成分。本實驗的金色樣品，嘗試以稍微繁複的流程，進行分析之後，確認其主成分。

研究結論如下：

- 一、還原回銅粉的最環保方式：先以鹽酸溶出雜質，過濾乾燥後，透過燃燒轉為氧化物，並以碳進行還原，再以浮選法與過濾可得！若以硝酸與之反應後再電解，則過程無可避免有酸性氣體產出。
- 二、儘管”CuS”為黑色，但外觀金色的本樣品，主成分可能也相同。
- 三、硫化銅的產生，推測可能是：先前硫粉燃燒時形成的SO₂氣體，排出瓶內O₂後，沸騰中的硫與蒸氣浸入銅粉罐悶燒而形成。

壹、研究動機

記得小時候，我十分好奇電視上的魔術師們精采又神奇的表演，爸爸說魔術師有時只是懂得運用一些科學原理，再加上勤加練習後，熟能生巧地以快速的手法讓觀眾驚奇！

有一次我們在幫忙清掃實驗室時，看到老師皺著眉頭，好像很苦惱的樣子，一問之下，原來是有一罐銅粉在進行物質氧化反應的實驗過程中被污染了，我們打開那瓶蓋一看，原本應該呈現紅棕色的銅粉都變成像金粉似的，十分亮眼。那時，我們剛好教到氧化還原，不禁心中湧現一個念頭，讓我們嘗試將銅粉還原出來，解決老師的苦惱。

於是我們就此展開科學的探究！兩人商議之後，訂下研究目標，並著手設計實驗去澄清和驗證自己的疑惑和想法。因此，我們想利用這一次科學展覽的機會來發表我的研究成果。

貳、研究目的

本研究的目的是有三：

- 一、將它還原回到原初銅粉的本象，找出幾個可以分離此物質成分元素的方法，並找出最經濟與環保的流程。
- 二、透過探究此金黃色的物質的物理與化學性質，鑑定此物質的主要組成。
- 三、藉由重複當初的實驗的差錯過程，重現當初的反應結果，探究當中可能的化學反應的機制。

參、研究設備及器材



項目	數量	項目	數量
電子秤 (微量)	1 台	秤量紙	1 盒
PH 計	1 支	氯化亞鈷試紙	1 捲
容量瓶(500ml)	1 個	醋酸鉛試紙	1 捲
滴定管	1 支	濾紙	1 盒
燒杯	數個	石蕊試紙	1 捲
薊頭漏斗(含橡皮塞)	數個	廣用試紙	1 捲
過濾瓶	數個	廣用試劑	1 瓶
錐形瓶	數個	藥用酒精(95%)	1 瓶
量筒	3 支	酚酞指示劑	1 瓶
硬試管	數支	氫氧化鈉(10M)	1 瓶
滴管	數個	氫氧化鈣(澄清石灰水)	1 瓶(500ml)
漏斗	數支	氫氧化銨(氨水)	1 瓶(500ml)
漏斗架	2 台	濃硝酸(14.5N)	1 瓶(500ml)
加熱架	1 台	稀硫酸(1M)	1 瓶(500ml)
蒸發皿	2 個	鹽酸(1M)	1 瓶(500ml)
玻璃棒	數支	硫代硫酸鈉(1M)	1 瓶(500ml)
橡膠軟管	6 條	硫粉	1 罐
電解用電極	2 附	碳粉	1 罐
石墨	4 支	銅片	數片

直流電源	兩台	食鹽	1 包
毫安培計	1 台	變質的銅樣品	1 罐
伏特計	1 台	導線	8 條

肆、研究過程或方法

本實驗前後分成三個部份來進行：

一、分析該物質的組成元素。

(一) 實驗一、檢驗其在粉末狀，或水溶液下可否導電。

(二) 實驗二、找出可以溶解它的溶劑。

(三) 實驗三、以適當溶劑溶解後，將其溶液進行電解，分析陰極所得之物質是否為銅金屬。

(四) 實驗四、以氨水溶解的過程當中，藉由醋酸鉛試紙的變色來檢驗是否含有硫元素。

二、找出更簡便的方法，將其還原出銅，並確認該物質的化學式。

(一) 實驗五、直接在空氣中燃燒，利用氧氣將其轉換成氧化物，並做定量分析。

(二) 實驗六、以碳粉進行氧化物的還原。

三、探究該物質形成的原因與機制。

(一) 實驗七、先於封閉試管內共同加熱硫粉與銅金屬片。

(二) 實驗八、先進行硫粉燃燒產生氣體後，再放入銅片封閉靜置一段時間。

➤ 驗證原先推測之可能的組成元素：

因為回想氧化實驗當天，加熱銅粉前，有進行硫與紅磷、碳、鋅粉的燃燒，依據銅的各種化合物形成條件，加上查閱了 Google 網路的圖片，我們認為該物質以”銅的硫化物”可能性最大，參閱了維基百科、化學相關書籍之後，決定先進行組成的定性分析。



實驗室的銅粉



硫化銅礦石(Google 網路)

《實驗一》檢驗其在粉末狀，或水溶液下可否導電。

【實驗步驟】

1. 以電壓 1.5(Volt)電池為電源，石墨當電極，將該粉末試料與豪安培計串聯，由安培計的讀數，檢驗是否導電。
2. 將該試料加入蒸餾水，重複 1 的連接，由安培計的讀數，檢驗是否可以導電。



伏特計為 5 伏特，安培計讀數為 0

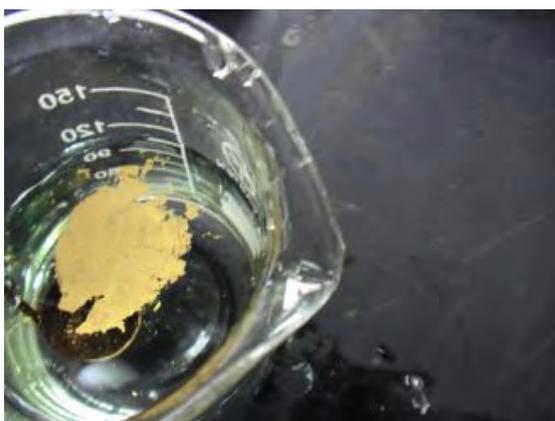


伏特計為 5 伏特，安培計讀數為 0

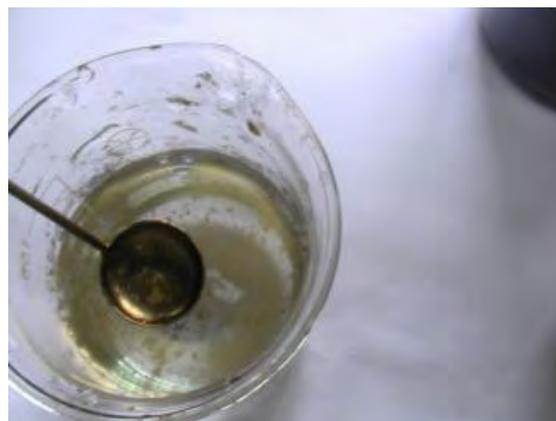
《實驗二》、找出可以溶解它的溶劑。

【實驗步驟】

1. 以蒸餾水為溶劑，充分攪拌後靜置十分鐘，觀察可否溶解。
2. 改以酒精為溶劑，充分攪拌後靜置十分鐘，觀察可否溶解。



攪拌後已半小時仍無法溶解



改用酒精只見樣品分散，但仍未溶解

3. 改以硝酸為溶劑，為安全起見，先將裝置裝妥後，穿戴好必要的防護措施後，再加溶劑作測試：

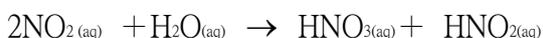
(a)將樣品放入過濾瓶後，插入薊頭漏斗後，加入少許蒸餾水，使水面略高於薊頭漏斗底部，以橡皮管連結一樣的裝置，但於該薊頭漏斗添加高濃度之氫氧化鈉(NaOH)溶液，並另外加入少許的廣用指示劑。

(b)將濃硝酸(HNO₃)水溶液緩緩由樣品所在之過濾瓶緩緩加入，觀察是否溶解，並觀察氫氧化鈉溶液的過濾瓶是否有氣體產出，廣用指示劑的顏色是否有什麼樣的改變。

藥劑：

[HNO₃]=14.5(M) [NaOH]=10(M) CuS 取 9.6(g)

可能的化學反應式：



左端加入濃硝酸，搖動瓶子數次使其均勻反應後，左瓶逐漸顯現藍色，可能是銅離子，但底部仍然混濁，右端廣用試劑已變色。



半小時後，懸浮之金色粉末逐漸消失，轉為黑色，底部呈現藍色，上方有紅棕色的氣體，應為二氧化氮(NO₂)氣體



五個小時後，上方已無金色物質，底部藍色溶液，應為硝酸銅溶液能已形成硝酸銅溶液



再持續加入更的硝酸，靜置一天後已出現黃色物質，應為固態的硫



再持續加入更的硝酸後，黃色物質轉為白色

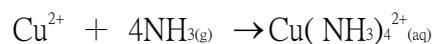
靜置兩天溶液已轉為淺藍色

(c)重新反應一次，並將濃硝酸(HNO₃)反應後之溶液，加入氨水(NH₄OH)，觀察是否產生沉澱，若有，則將沉澱物加熱，觀察其外觀顏色的變化；並將濾液再加入氨水，觀察是否有反應。



加入氨水(NH₄OH)後，有淺藍色的固體沉澱產生，可能是氫氧化銅(Cu(OH)₂)，將其過濾，取出部份的沉澱物保存，其餘放回溶液

溶液再加入氨水，靜置三天後溶液變得更藍。可能之反應式：



4. 改以氨水(NH₄OH)為溶劑，同樣為了安全起見，先將裝置裝妥後，再加溶劑作測試，並將步驟三的裝置，兩個過濾瓶中間，再加入一個過濾瓶，此過濾瓶(中間)內添加鹽酸(HCl)溶液，同時也添加數滴酚酞指示劑以便觀察，並使第一個過濾瓶產生的氣體，強制通入第二個過濾瓶中的溶液。此外，第三個過濾瓶內，配置硫代硫酸鈉(Na₂S₂O₃)溶液。

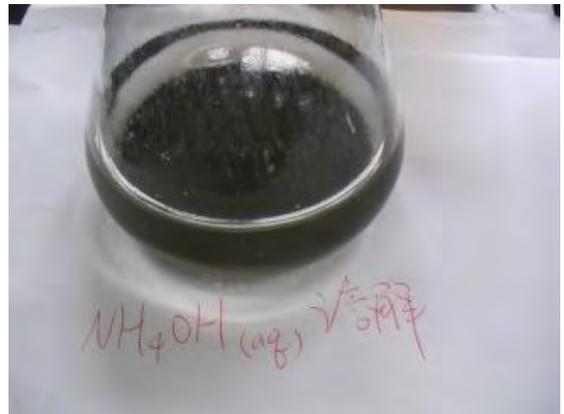
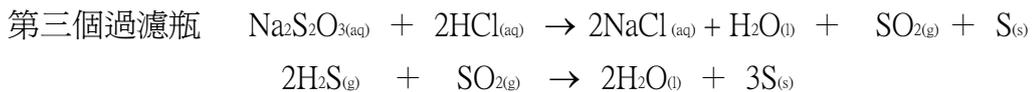
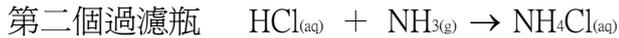
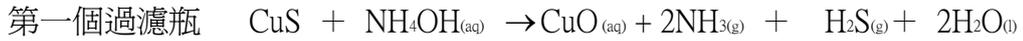
(a)將樣品放入過濾瓶後，插入薊頭漏斗後，加入少許蒸餾水，使水面略高於薊頭漏斗底部後，將氨水(NH₄OH)水溶液，緩緩由樣品所在之過濾瓶緩緩加入，觀察是否溶解。

(b)觀察中間之過濾瓶中的鹽酸水溶液之酚酞指示劑顏色是否顏色產生改變，若有轉變

成微紅色，可於第三個過濾瓶的薊頭漏斗逐步添加少許的鹽酸（HCl）溶液，以使其產生二氧化硫（SO₂）氣體，與第一個過濾瓶可能產生的具有毒性之硫化氫（H₂S）氣體反應，轉為硫（S）沉澱，減少毒性氣體的產生。

藥劑： [NH₄OH]=15(M) [HCl]=1(M) [Na₂S₂O₃]=1(M) CuS 取 9.6(g)

可能的化學反應式：



左邊加入氨水，第三個過濾瓶加入鹽酸，加入氨水後，左端金色物質轉為黑色的物質



傾出上方澄清水溶液，保留下方黑色物質，重新加入蒸餾水



將其過濾，依外觀推測可能為氧化銅，取濾紙上物質風乾後，保留以後試以碳進行還原

《實驗三》以實驗後所得之溶液，分析所得之物質是否有銅元素。

【實驗步驟】

1. (a)將實驗二中的硝酸銅(Cu(NO₃)_{2(aq)})溶液，以整流器為直流電源，電壓設定為 6(Volt)，以石墨為電極，在通風良好的環境下，對該溶液進行電解，觀察石墨電極的反應，

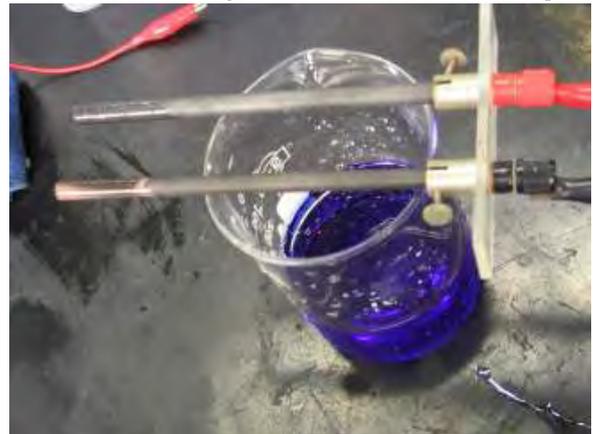
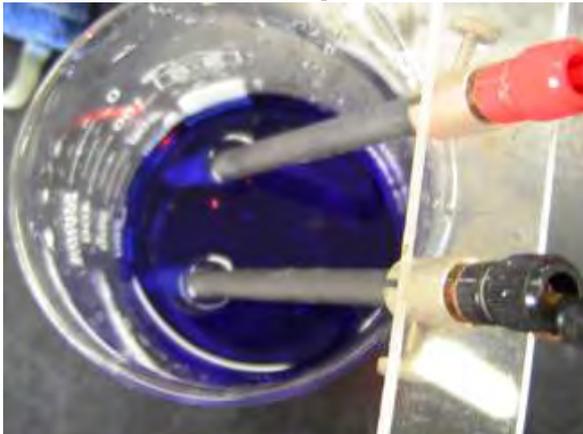
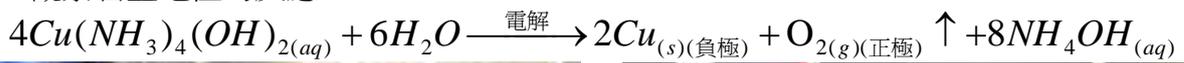
經過約半小時後，檢查電極的負極，是否有銅金屬還原。



將硝酸銅溶液進行電解，正極出現氣泡

負極發生還原反應，得到紅色光澤物質

(b)將實驗二中的氨銅($\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$)溶液，同上一個步驟，也行電解，經過約半小時後，觀察石墨電極的反應。



將加入氨水的硝酸銅溶液，放入石墨電極再次進行電解，正極也產生氣泡。

負極發生還原反應，也得到紅色光澤物質



上面為銨銅錯離子溶液電解的結果，下方為硝酸銅溶液電解的結果

2. 將步驟一陰極上的物質，將其分別浸泡稀鹽酸溶液、硝酸水溶液，觀察其反應

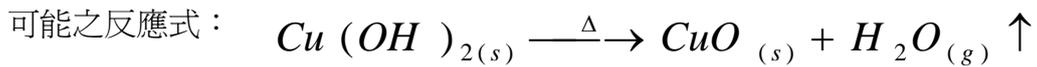


陰極所得物質，與 1(M)鹽酸 (HCl) 溶液無氣泡產生



陰極所得物質與高濃度硝酸 (HNO₃) 溶液反應很明顯，產生氣泡與紅棕色氣體。故此，推論該負極析出物，應為銅金屬

3. 再將實驗二.3(c)中的沉澱物質，直接加熱，觀察其反應。

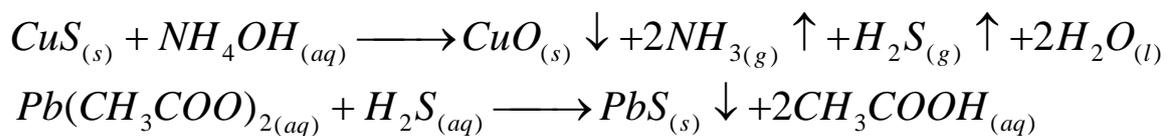


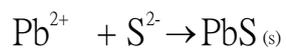
由實驗二.3(C)中的過濾得到的沉澱物，經加熱後，逐漸由淺藍色轉為黑色

《實驗四》以氨水溶解的過程當中，藉由醋酸鉛試紙的變色來檢驗是否含有硫元素。

【實驗步驟】將樣品(CuS)放入錐形瓶，並於瓶內貼上醋酸鉛試紙，再滴入氨水，觀察醋酸鉛試紙是否變色。

可能之反應式：





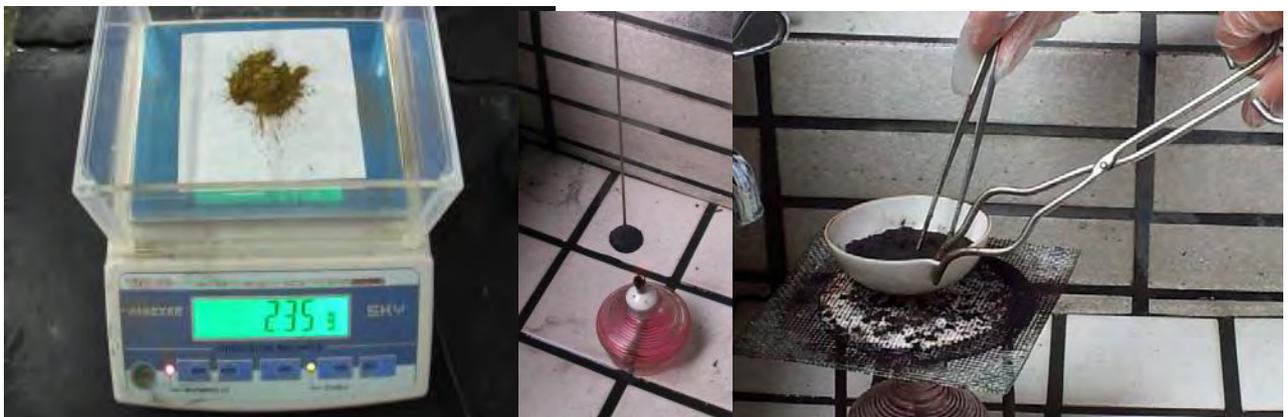
醋酸鉛 ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) 試紙部分轉變成黑色，可證明瓶內有硫化氫 (H_2S) 氣體生成。

➤ 找出快速還原的方法：

《實驗五》直接在空氣中燃燒，利用氧氣將其轉換成氧化物，並做定量分析。

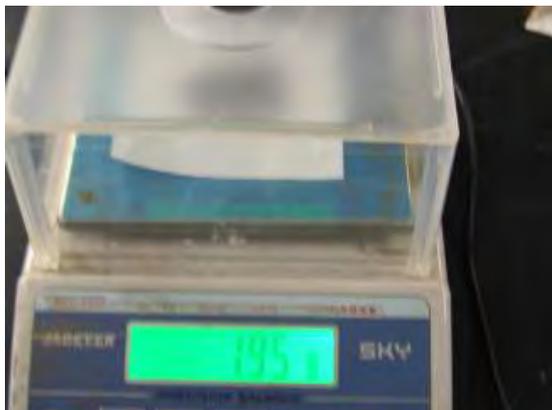
【實驗步驟】

1. 取若干質量的樣品，燃燒前先秤重，在通風良好處，直接以燃燒匙或蒸發皿加熱，爲了不被酸性氣體傷害，必需戴好護目鏡與防毒面具。

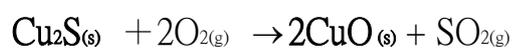
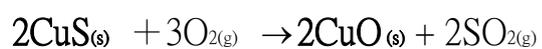


樣品質量 2.35(g) 若是 CuS ，則莫耳數合約 0.02438(莫耳)

2. 將其燃燒後的物質再秤重，比較重量是否減輕。



銅的硫化物燃燒的可能反應式：



燃燒後固體物質約為 1.95(g)，應為 CuO，該莫耳數合約 0.02434(莫耳)
樣品的莫耳數與反應後的 CuO 莫耳數吻合

《實驗六》以碳粉進行氧化物的還原。

【實驗步驟】

1. 將實驗五所得之固體物質放入硬試管，再加入莫耳數較多的碳粉，插上附有玻璃管的橡皮塞，固定在加熱架上，管口略為傾斜朝下，玻璃管出口以橡皮管導入裝有澄清石灰水的試管。



加熱試管，起初試管內出現白霧，應該是原本試管清洗時殘留的水蒸發之物質

2. 裝置妥當後，以酒精燈直接加熱硬試管，加熱時可注意試管內物質的顏色變化，也同時觀察澄清石灰水混濁的變化情形，以掌控反應是否完全。



試管內黑色物質逐漸變紅，應該是氧化銅 (CuO) 被碳 (C) 還原成銅 (Cu) 金屬
通入的氣體，讓澄清石灰水 (Ca(OH)₂) 逐漸混濁，該氣體應為二氧化碳 (CO₂)

3. 將試管內物質倒入已配製的飽和食鹽水，運用浮選法將懸浮的過量碳粉篩去，再一次進行過濾後，靜置數天，觀察沉澱物質。



沉澱的紅色物質應為銅金屬



自然蒸發可得乾燥後的銅粉

➤ 找出發生的原因：

《實驗七》直接加熱硫粉與銅金屬片，觀察可否形成金色物質。

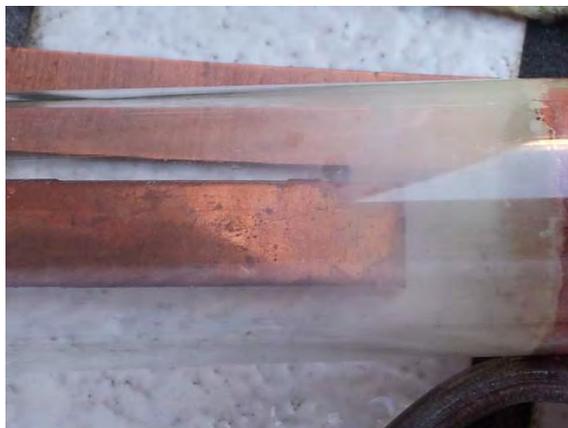
- 實驗步驟：1.將硫粉與銅金屬片置入試管，試管口塞住留有小孔的橡皮塞
2.試管口微微向下，固定試管後，直接加熱。



試管內硫粉，逐漸液化後，轉為沸騰，金屬片部分逐漸轉黑，該黑色物質滴入硝酸、氨水皆有反應，未出現金色物質

《實驗八》讓銅金屬片置入二氧化硫氣體中，觀察可否形成金色物質。

步驟：先進行硫粉燃燒產生氣體後，再放入銅片封閉靜置一段時間。



靜置一天後，僅有微量的黑色物質，刮取之後，滴入硝酸、氨水皆有反應

伍、研究結果

一、《實驗一》檢驗其在粉末狀，或水溶液下可否導電

兩者皆無法導電，已非易導電的銅金屬

二、《實驗二》找出可以溶解它的溶劑

無論是水還是酒精、沙拉油皆無法溶解，但可溶於硝酸與氨水。

三、《實驗三》分析陰極所得之物質是否為銅金屬

電解後，負（陰）極皆可得到紅色的光澤物質，測試其導電性佳，且與鹽酸無反應，但能與硝酸發生反應，並產生紅棕色的二氧化氮氣體；此外，藍色沉澱物加熱後，顏色由藍色轉變為黑色。

四、《實驗四》檢驗是否含有硫元素

將樣品與氨水反應後，醋酸鉛試紙有變色的反應，轉變為黑色。放置兩天後，打開後仍可聞到氨氣。

五、《實驗五》利用氧氣將其轉換成氧化物

質量大約 2.35(g) 的樣品，與其燃燒後的質量約 1.95(g) 固體產物，若分別以硫化銅與氧化銅來看待，其莫耳數大致吻合。

六、《實驗六》進行氧化物的還原

以碳粉還原後所得之物質，其質量大約 1.55(g)，以銅的分子量來換算莫耳數，與實驗五很吻合，而且其能與硝酸反應，但不與鹽酸反應，再次驗證樣品應該是硫化銅（CuS）無誤。

七、《實驗七》先於封閉試管內共同加熱硫粉與銅金屬片

因為實驗室已無單質的銅粉，只用銅片替代，加熱約二十分鐘，只得到黑色的物質，依據參考維基百科的硫化銅性質，黑色物質應該是硫化銅，但仍無法呈現出金色。

八、《實驗八》先進行硫粉燃燒產生氣體後，再放入銅片封閉靜置一段時間。

仍用銅片替代，靜置一天，只得到少許黑色的硫化銅，仍無法呈現出金色。

陸、討論

一、《實驗一》檢驗其在粉末狀，或水溶液下可否導電

固體粉末因已經不是純物質的銅原子，所以已失去自由電子，導致無法導電；蒸餾水也因為無法溶解該樣品，故而缺乏解離狀態的離子，所以依然無法導電。

二、《實驗二》找出可以溶解它的溶劑

因為硝酸與氨水皆能與其反應，產生氧化還原反應，所以可以溶解。

三、《實驗三》分析陰極所得之物質，確認該樣品是否有銅元素

電解後，負極皆可得到紅色的光澤的可導電物質，與鹽酸無反應，但能與硝酸發生反應，並產生紅棕色的二氧化氮氣體，應是銅金屬無誤。

四、《實驗四》檢驗是否含有硫元素

將該樣品與氨水反應後，有氣體能與試紙反應，產生黑色的硫化鉛，表示過程中有硫化氫氣體產生，方能與醋酸鉛反應。由此判斷，與氨水反應前的樣品，必定有硫元素。

五、《實驗五》利用氧氣將其轉換成氧化物

參與反應的原樣品與燃燒後的產物，將樣品以硫化銅（CuS）的分子量來換算其莫耳數，推估可得之氧化銅的質量，與實際加熱得出的黑色物質的質量大致吻合。

另外，同時也可以推測是硫化銅，而不是硫化亞銅（Cu₂S），因為若是硫化亞銅（Cu₂S），加熱後固體質量應該幾乎不變，故可以推論本樣品應該是硫化銅（CuS），而不是硫化亞銅（Cu₂S）

六、《實驗六》進行氧化物的還原

以碳粉還原後所得之紅色物質，可以導電，同時若以銅的分子量換算，與實驗五中的可能的氧化銅的莫耳數也大致吻合。此外，且確實能與硝酸反應，而不與鹽酸反應。再次推論本樣品應該是硫化銅（CuS）。

七、《實驗七》先於封閉試管內共同加熱硫粉與銅金屬片

因為只用銅片替代，加熱只得到黑色的硫化銅，無法呈現出金色的外觀，故而推測可能是加熱時間不夠，且顆粒大小影響其對光的反應，或者原樣品可能還存在分子量與銅相近的鋅元素成分。

八、《實驗八》先進行硫粉燃燒產生氣體後，再放入銅片封閉靜置一段時間。

因為實驗室已無單質的銅粉，仍以銅片替代，靜置一天，只得到少許黑色的硫化銅，仍無法呈現出金色，應該不是此種機制。

至此，不禁懷疑，或許本實驗的樣品，可能不是僅有銅的硫化物，可能尚有少量的雜質，因為硫化鋅的顏色為黃色，且鋅與銅的分子量極相近，加熱的反應產物形式很雷同。

柒、結論

物質的外觀與顏色，經常是我們辨識物質的憑藉，但自然界中有些礦物，其外觀顏色、密度、硬度、電阻等物理性質明顯有所差異，卻具有相同的化學成分，最常見的就是同素異形體。此外，含有雜質的礦物也有此現象，如黃銅礦的顏色為金黃，但條痕卻呈現黑色。因此，需要藉助化學反應來進行化學性質的定性與定量的分析，方能鑑定其成分的實驗式。

物質的分離，混合物多利用物理性質的差異將各純物質彼此分離，然後再將化合物以電

解或其他的化學方法來進行分離組成。在本實驗中的金色樣品，也嘗試以不同的方法與稍微繁複的流程，進行了化學分析後，確認其主要的成分。儘管”硫化銅”粉末狀態下呈現黑色，但外觀呈現金色的本樣品主要成分仍是”硫化銅”，但可能尚有少量的硫化鋅、硫化鐵等雜質。

將“硫化銅”還原成銅粉的方式，受限於中學實驗室的設備，汙染最少、成本最低的方式，仍是採用，在通風良好的環境下，直接在空氣中燃燒，轉成氧化銅之後，再以碳粉還原成銅，接著再以飽和食鹽水以浮選法將過量的碳粉先行去掉，最後過濾可得！若先以硝酸或氨水與之反應後，再行電解，也可以在負極析出銅，但還原出的銅部分會再與硝酸溶液反應變回銅離子，且電解過程無可避免有 NO_2 、 NO 或 NH_3 等氣體產出，造成更多空氣污染問題。

該樣品的產生原因，可能是：「先前氧化實驗時，硫粉、鋅粉、銅粉交替燃燒，由於硫燃燒時的二氧化硫，已排開銅粉罐內的氧氣，故而燃燒匙內沸騰中的硫與鋅、銅混雜悶燒而成，方導致金色物質的形成。」

雖然試圖找出如何製造本物質，無奈仍舊限於時間與材料不足，更受限於有限的知識和資源，本研究還有許多不足和缺憾之處，期待以後的研究者能再接再厲、精益求精，並請不吝賜教。

捌、參考資料及其他

壹、中文部分

林洪志（民 90）。分析化學。三民書局。

田扶助（民 83）電化學。五洲出版社。

Google 圖片

【評語】 030210

本研究以簡單的化學反應檢測受污染的含銅物質，並用還原法將銅析出，極具環保回收資源的意識，並且善用已知之化學反應，有不錯的表現。作回收金屬的第一步必須確認所含的元素，否則會產生未知的廢棄物，以及不預期的實驗危險。本實驗中的金黃色樣品，除了銅與硫之外，其他組成分未檢測出來，應該可以用離子檢測法或焰色試驗作檢測。