

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030213

探究直流電加熱不同金屬產生燃燒條件及其改
進教材中有關空氣中氧含量之實驗設計

學校名稱：臺中市私立衛道高級中學

作者： 國一 曾得嘉 國一 陳世恩 國一 王繹程	指導老師： 吳弘任
---	------------------

關鍵詞：無碳燃燒、氧氣、二氧化碳

摘要

本研究探索鎂、鋅、鋁、鐵四種金屬通直流電加熱燃燒的可能性後，巧妙設計出一個鎂帶與鋼絲絨組合的方式，透過乾電池點燃鋼絲絨再加熱鎂帶產生燃燒現象，可用以檢驗空氣中氧氣的含量，實驗結果發現空氣的氧氣含量約 19.6%，與理論值 21%相當接近。若將鋼絲絨換成電熱絲，通直流電加熱鎂帶也成功在純二氧化碳中燃燒。我們修改課本教材中蠟燭燃燒水面上升實驗，經由通電加熱鋼絲絨成功點燃密閉空氣管柱中的蠟燭，我們證實水面上升約 79.7%因素是空氣熱脹冷縮造成的。本實驗設計出一個簡易金屬組合裝置，在密閉容器中能高溫點火，這將可以重新應用於許多有關密閉氣體反應的實驗，並可進行定量氣體化學反應前後總體積變化，具有實驗教學上的價值。

壹、研究動機

原本我們實驗是想要探究鑽木取火的條件，但嘗試過從松木、檫木、紅檜、樟木...等木材，以及各種引火物如：松木屑、稻草、山毛櫸屑、檜木屑、松木屑、合成木屑...等，都不易產生燃燒，於是我們在網路上搜尋有關燃燒的相關影片，發現愈細緻與愈乾燥的木屑似乎較容易引燃火種，但鑽木升火變因多，在學校設備不足情況下，不易進行鑽木升火燃燒定量研究。我們在搜尋生火的資料過程中看到以電池可以讓鋼絲絨燃燒的影片，引發我們想要探究通電如何讓金屬燃燒的控制條件，因為電流與電壓的大小是比較容易定量的實驗方法。

因為影片中是使用鋼絲絨，我們去採購鋼絲絨的時候發現鋼絲絨有不同粗細，因此我們採購了 0 號與 2 號兩種鋼絲絨，我們檢查了鋼絲絨的材質可以被磁鐵所吸引，所以確認鋼絲絨主要為鐵所構成。我們知道金屬活性大小鎂、鋁、鋅的活性皆大於鐵，因此我們也同時量測這三種金屬的性質，來找出金屬通電產生燃燒現象的控制條件。在國小翰林版五下自然與生活科技課本(2013)中，有一個實驗是燃燒的蠟燭倒置一個密封廣口瓶後蠟燭會逐漸熄滅，此實驗顯示當瓶中空氣被燃燒的蠟燭消耗完之後蠟燭就會熄滅。在此課本中另兩個實驗，一個是蠟燭燃燒水面上升實驗，一個是在夾鏈袋中放入沾水鋼棉，鋼棉會生鏽，在生鏽的過程中會消耗氧氣。此外在南一版國中 2 上自然與生活科技(2012)實驗空氣的組成與性質中，有一個實驗是利用鋼絲絨置入於長試管底部並倒置於水槽中，靜置數天後鋼絲絨生鏽消耗試管中的氧氣造成水面上升，藉以量測空氣中氧氣含量。但是，此方法需要較長的時間，並且無法確認鋼絲絨是否已消耗完試管中的氧氣。因此，我們想是否可以用燃燒鋼絲絨的方式來加速鋼絲絨的氧化速率，並且燃燒現象熄滅後較易觀察，就可以計算出空氣中的氧氣含量。

 <p>圖③ 前後的燃燒情形，有什麼差別？為</p>	
<p>國小翰林版五下自然與生活科技課本 (p.25,2013)</p>	<p>國小翰林版五下自然與生活科技課本 (p.23,2013)</p>
 <p>實驗結果 (三天後) 鐵製物品在自然的環境下</p>	 <p>取一小團鋼絲絨置於長試管底部，將試管倒立於裝水半滿的燒杯中（如圖 A），幾天之後，發現試管內產生了一些變化（如圖 B）。請問：鋼絲絨的外觀有何變化？實驗過程中，試管內的水位會上升，但是到達一定高度就不再增加。為什麼會產生這種現象？</p>
<p>國小翰林版五下自然與生活科技課本 (p.43,2013)</p>	<p>南一版國中 2 上自然與生活科技 (p.53,2012)</p>

為瞭解教材中有關燃燒的相關內容，我們將課程綱要中有關燃燒的內容條例如下：

表一. 國小到國中有關「燃燒」主題的教材內容

編號	學群	類別	科目名稱	教材大綱	內容綱要	內容綱要細目
1.	九年一貫課程 (小學低年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	改變與平衡	214 溫度與熱量	熱源：1a.知道「熱」的來源很多，太陽、燃燒、摩擦等，均可產生熱，並會使用溫度計。
2.	九年一貫課程 (小學中年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒及物質的氧化與還原	空氣與氧化：2a.認識燃燒需要空氣。
3.	九年一貫課程 (小學高年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒及物質的氧化與還原	空氣與氧化：3a.認識燃燒是物質與氧劇烈反應，能舉例說明生活中利用隔絕空氣來防止物質燃燒或氧化變質。

4.	九年一貫課程 (小學高年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	空氣與氧化：3b.經由實驗推 究生鏽可能的原因及防鏽的 方法。
5.	九年一貫課程 (小學高年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	燃燒與滅火：3c.知道燃燒的 要件(燃點、可燃物、助燃物 —通常為氧氣)。
6.	九年一貫課程 (小學高年級)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	燃燒與滅火：3d.知道火災發 生時的處理方法與應變措施 及常見的滅火原理。
7.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	物質與氧的反應：4a.能以實 驗說明燃燒與氧化作用就是 物質與氧化合，生成氧化物。
8.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	物質與氧的反應：4b.藉由實 驗知道金屬或非金屬元素與 氧反應的活性不同。
9.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	物質與氧的反應：4c.藉由實 驗知道常見的化合物與氧的 反應。
10.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	物質與氧的反應：4d.藉由實 驗知道還原就是氧化物失去 氧的反應，就是氧化的逆反 應。
11.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	金屬冶煉：4e.能由蒐集資料 中瞭解重要冶金工業製程中 的氧化還原反應。
12.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生活科技學習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	化學電池與電解：4f.認識化 學電池的使用方式(包括充電 與放電)。

13.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生 活科技學 習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	呼吸作用：4h.瞭解呼吸作用 是一種氧化作用。
14.	九年一貫課程 (國中階段)	自然與生 活科技學 習領域	自然界的 作用	交互作用	225 燃燒 及物質的 氧化與還 原	氧化還原的應用：4i.能認識日 常生活中氧化還原的應用(例 如利用強氧化劑漂白衣物)。

貳、研究目的

- 一、透過電池不同的電壓與電流來偵測對不同金屬燃點的影響。
- 二、如何做出一個無碳燃燒來測試空氣中氧的含量。

參、研究設備及器材

實驗藥品與器材：

鋁片x2	20 倍放大鏡x1
鋅片x2	銼刀x1
鐵片x2	羽毛刀x1
鎂帶x1	布手套一包
游標卡尺x1	護目鏡x3
鋅粉 1 瓶	電池座x12
鎂粉 1 瓶	橡膠手套一盒
鋁粉 1 瓶	三腳架x1
鐵粉 1 瓶	坩鍋x6
交流電轉直流電變壓器x1	陶瓷纖維網x1
電子顯微鏡x1	酒精燈x1
三用電表 575.0931x1	變性酒精（工業用）一瓶
鱷魚夾x4	刮勺x1
鋼絲絨 2 號一包	攝影棚x1
鋼絲絨 0 號一包	計時器x1
9V 乾電池x2	塑膠尺x1
1.5V 乾電池x36	工程用計算機x1
打氣筒x1	打火機x1
剪刀x1	燃燒匙x4

砂紙x1	空鋁罐x1
吸管x2	100ml 量筒x1
膠帶x1	玻璃水槽x1
鑷子x1	大試管x2
迴紋針x2	自製暗箱x1
乾冰	液態氮
吹風機中的電熱絲	蠟燭

附註：交流電轉直流電變壓器在使用於本實驗時，因為金屬電阻低所以造成變壓器短路保險絲燒毀，因此使用乾電池代替。未來進行實驗時若將三號電池改成一號電池，則可以減少電池組並聯使用的數量。




肆、實驗結果與討論

一、測量金屬片的電阻







金屬	長度	電阻
鋅片	10 公分	0.2 Ω
鐵片	10 公分	一片 0.2Ω、一片 0.3Ω
鋁片	10 公分	0.3 Ω
鎂帶	10 公分	0.6 Ω
鋼絲絨	10 公分	14.3 Ω (由於鋼絲絨非常細，所以取三段測電阻再取平均值)

二、實驗一：2 號鋼絲絨通電加熱實驗

- (一) 將 2 號鋼絲絨剪成一小段，共取 6 段 (0 號鋼絲絨較 2 號鋼絲絨細)。
- (二) 我們採用市售 3 號碳鋅電池進行實驗，分別測 9V、7.5V、6V、4.5V、3V、1.5V 共 6 種不同的電壓，利用固定電壓通電加熱的方式嘗試能否讓鋼絲絨燃燒。
- (三) 實驗進行時，為了讓燃燒狀況在相機下可以清楚被記錄，因此我們自製一個暗箱，把鋼絲絨放於箱子裡進行實驗，再利用錄影的方式做紀錄。
- (四) 實驗結果如下表




		
0 號鋼絲絨在電子顯微鏡下的照片	2 號鋼絲絨在電子顯微鏡下的照片	實驗箱裡面




		
實驗箱外側，上方為攝影孔	手於實驗箱中進行實驗	鋼絲絨在實驗箱中燃燒的狀況

電壓（理論值）	9V	7.5V	6V
電壓（實際值）	9.07V（6 顆三號電池串聯）	7.54V（5 顆三號電池串聯）	6.02V（4 顆三號電池串聯）
可否燃燒	可	可	可
通電加熱後照片			
電壓（理論值）	4.5V	3V	1.5V
電壓（實際值）	4.50V（3 顆三號電池串聯）	2.98V（2 顆三號電池串聯）	1.47V（1 顆三號電池串聯）
可否燃燒	可	否	否
通電加熱後照片			

三、實驗二：0 號鋼絲絨通電加熱實驗

- （一）將 0 號鋼絲絨剪成一小段，共取 6 段（2 號鋼絲絨較 0 號鋼絲絨粗）。
- （二）實驗過程同實驗一。
- （三）實驗結果如下表

電壓	9V	7.5V	6V
電壓（實際值）	9.14V（6 顆三號電池串聯）	7.53V（5 顆三號電池串聯）	5.97V（4 顆三號電池串聯）
可否燃燒	可	可	可
通電加熱後照片			

電壓	4.5V	3V	1.5V
電壓（實際值）	4.46V（3顆三號電池串聯）	2.99V（2顆三號電池串聯）	1.51V（1顆三號電池串聯）
可否燃燒	可	可	否
通電加熱後照片			

四、實驗三：鎂片和鎂粉通電與酒精燈點火燃燒之差別


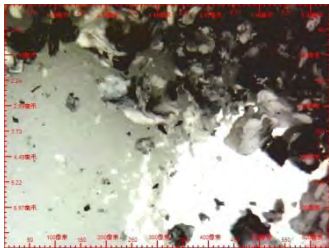
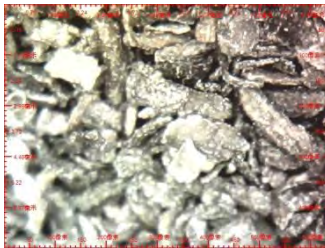

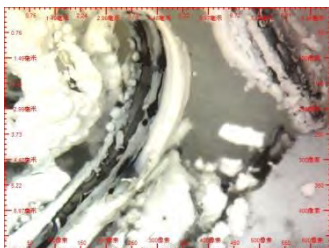

（一）鎂片和鎂粉酒精燈點火燃燒之結果

1. 鎂片經酒精燈燃燒後，完全燃燒。
2. 鎂粉經酒精燈燃燒後，完全燃燒。

（二）鎂片和鎂粉通電之結果

1. 鎂粉經加壓使顆粒更緊密後，使用三用電表量測顯示鎂粉無導電性，原因推測為表層已氧化，故無法導電。
2. 實驗中多次測試鎂片(5 cm)18V、24V、12V (通電 2 min)後，均無法使鎂片產生燃燒現象。

（三）電子顯微鏡(25x)

	實驗前	以酒精燈直接加熱	通電
鎂粉		 完全燃燒	 無法量測有電流通過現象
鎂片		 完全燃燒	 有量測到電流通過

五、實驗四：鋁片和鋁粉酒精燈點火燃燒與通電之比較

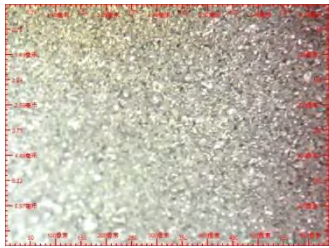
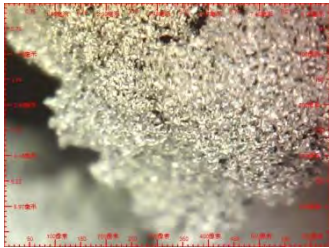
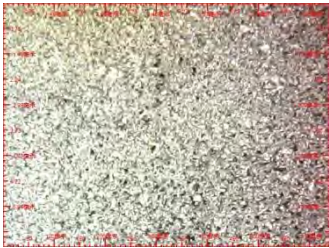
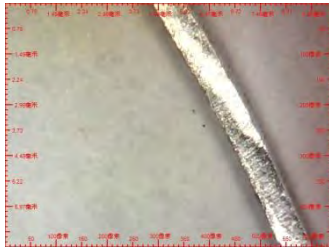
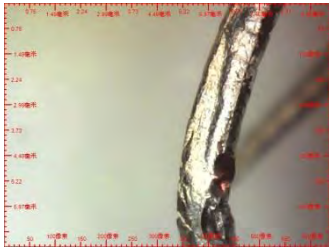

(一) 鋁片和鋁粉酒精燈點火燃燒之結果

1. 鋁粉經酒精燈燃燒後，表面略有氧化並結塊。
2. 鋁片(5 cm)經酒精燈燃燒後，微熔而表面略有氧化。

(二) 鋁片和鋁粉通電之結果

1. 鋁粉經加壓使顆粒更緊密後，使用三用電表量測顯示鋁粉無導電性，原因推測為表層已氧化，故無法導電。
2. 實驗中多次測試鋁片(5 cm)18V、24V、12V (通電 2 min)後，均無法使鋁片產生燃燒現象。

(三) 電子顯微鏡(25x)

	實驗前	以酒精燈直接加熱	通電
鋁粉		 表面略有氧化並結塊	 無法量測有電流通過現象
鋁片		 微熔而表面略有氧化	 有量測到電流通過

六、實驗五：鋅片和鋅粉通電與酒精燈點火燃燒之差別

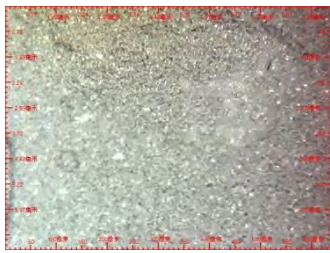
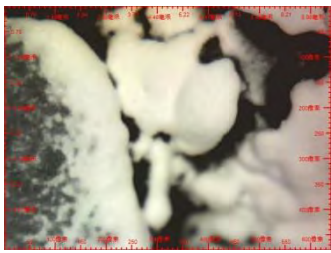
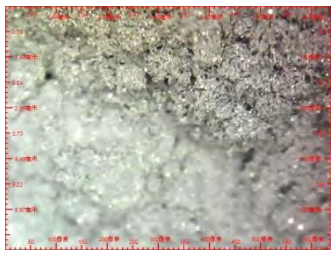


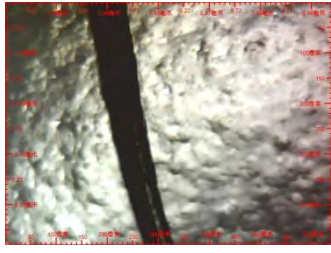
(一) 鋅片和鋅粉酒精燈點火燃燒之結果

1. 鋅片經酒精燈燃燒後，表面明顯氧化。
2. 鋅粉經酒精燈燃燒後，內層與表面皆氧化。

(二) 鋅片和鋅粉通電之結果

1. 鋅粉經加壓使顆粒更緊密後，使用三用電表量測顯示鋅粉無導電性，原因推測為表層已氧化，故無法導電。
2. 實驗中多次測試鋅片(5 cm)18V、24V、12V (通電 2 min)後，均無法使鋅片產生燃燒現象。

(三) 電子顯微鏡(25x)

	實驗前	以酒精燈直接加熱	通電
鋅粉			
		內層與表面皆氧化	無法量測有電流通過
鋅片			
		表面明顯氧化	有量測到電流通過

七、實驗六：鐵片和鐵粉通電與酒精燈點火燃燒之差別

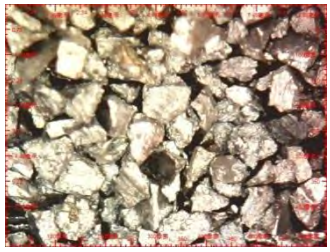
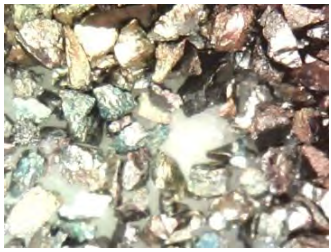
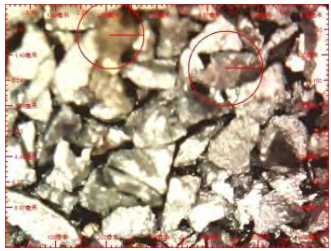
(一) 鐵片和鐵粉酒精燈點火燃燒之結果

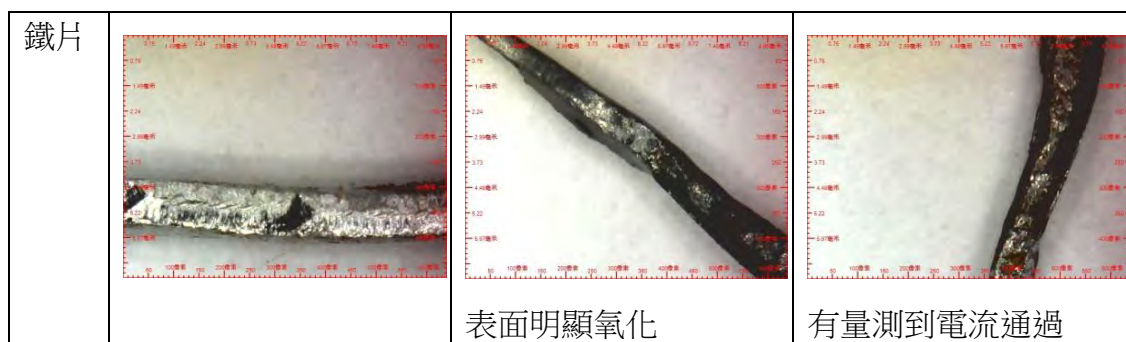
1. 鐵片經酒精燈燃燒後，完全燃燒。
2. 鐵粉經酒精燈燃燒後，完全燃燒。

(二) 鐵片和鐵粉通電之結果

1. 鐵粉經加壓使顆粒更緊密後，使用三用電表量測顯示鐵粉無導電性，但經過壓實後，有些微導電性，因推測鐵粉顆粒較大，壓實後可以進行導電，但導電效果不佳。
2. 實驗中多次測試鐵片(5 cm)18V、24V、12V (通電 2 min)後，均無法使鐵片產生燃燒現象。

(三) 電子顯微鏡(25x)

	實驗前	以酒精燈直接加熱	通電
鐵粉			
		內層與表面皆氧化	可測到微量電流通過



前述數個金屬線通電與加熱實驗，最困難的地方製造粗細相同的金屬細線，因為粗細不同，所以定量比較上仍顯困難。採購來的金屬粉末也有相同的問題，觀察鐵粉的顆粒，就比鎂粉、鋅粉與鋁粉來的粗(如前項各圖所示)，所以在定量實驗比較上有其困難度。

金屬	鎂	鋁	鋅	鐵
電阻率(20°C)	$4.39 \cdot 10^{-8}$	$2.65 \cdot 10^{-8}$	$6.02 \cdot 10^{-8}$	96.1
$\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$

資料來源：維基百科

小結：物質的物理導電特性與化學反應活性之間並非線性關係，因此無法僅單一金屬通電加熱燃燒來進行氧氣消耗實驗，我們進一步嘗試是用金屬組合的方式，看是否可以導致金屬燃燒。

八、實驗七：以電流加熱鋼絲絨引燃鎂帶製造無氧燃燒條件用以測量空氣中氧含量之探究

傳統檢測空氣中是否有五分之一為氧氣的方法是以放置於水槽中點燃的蠟燭燃燒時，在其上方倒蓋一個玻璃器皿，觀察水面上升的高度。但是這種方法非常的不準確，因為蠟燭燃燒時上方有熱空氣，因此倒蓋後水面上升主要是因為空氣熱脹冷縮的緣故，而非瓶中空氣的氧氣被消耗。其次蠟燭為碳氫化合物，燃燒時會產生二氧化碳，二氧化碳基本上難溶於水，因此也不能以此方法很正確的測量出空氣中的氧氣含量(洪振方，1994)。為了解決空氣中氧含量的簡易測定方法，我們必須使用消耗掉氧氣但不會產生二氧化碳的方法，方法是以金屬燃燒的方式進行，因為金屬燃燒不會產生二氧化碳，也不會產生其他氣體，僅會消耗掉空氣中的氧氣。但是若以在水槽中燃燒的金屬再倒蓋一個玻璃器皿，仍無法解決熱空氣造成熱脹冷縮的效應，因此需要倒蓋玻璃器皿於水槽中，然後再點燃欲燃

燒的金屬。但是非常不容易點燃金屬，因為一般的金屬必須在極高的溫度下才能燃燒，為了解決這個問題我們利用前面實驗已發現的鋼絲絨通電燃燒的方法試圖來挑戰這個實驗設計。

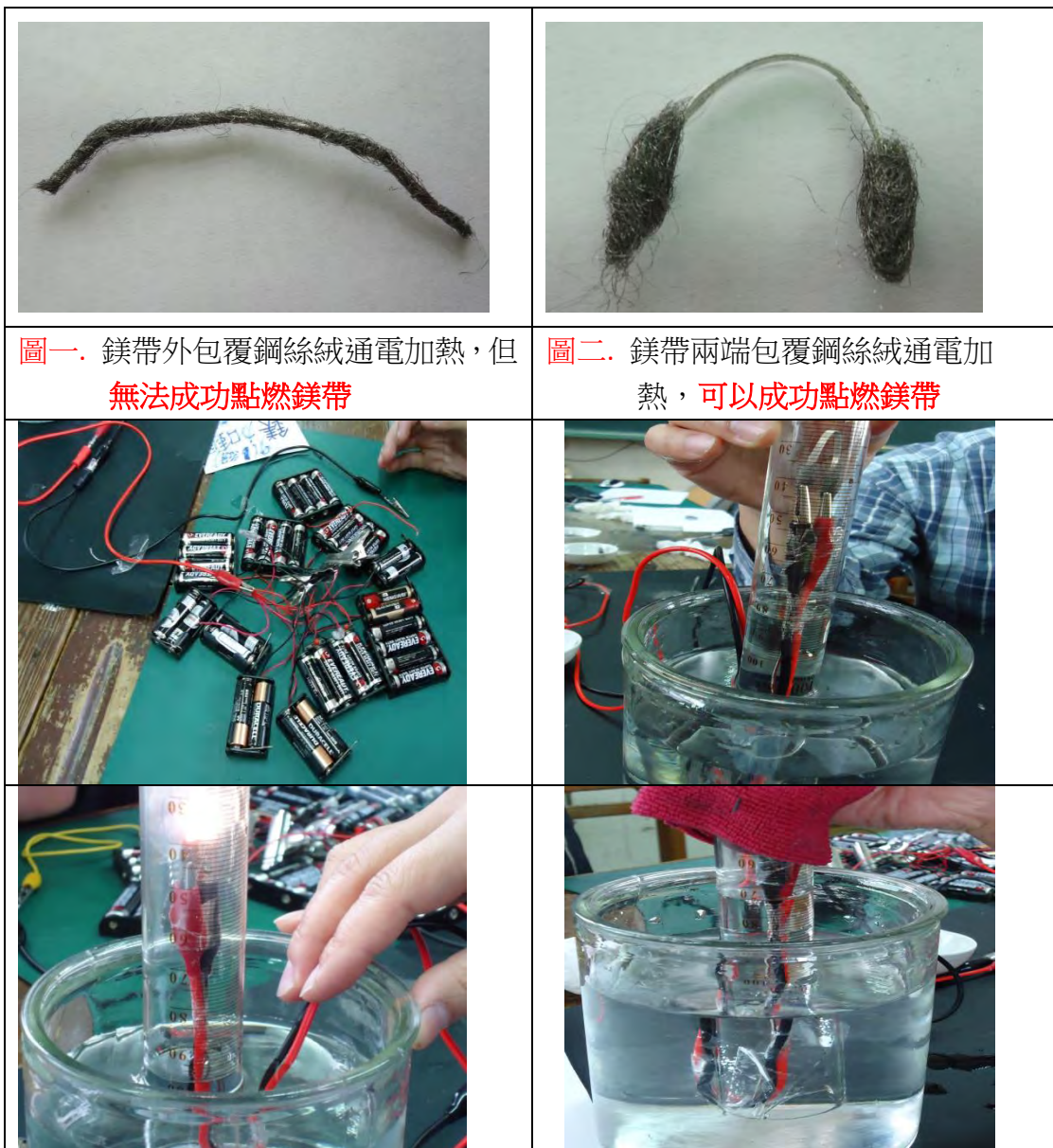
我們曾直接在倒置於水槽的玻璃量筒中通直流電來點燃鋼絲絨，但是鋼絲絨很快就熄滅了，雖然通電後使鋼絲絨燃燒可以消耗空氣中的氧氣，但迅速熄滅的鋼絲絨還是無法驗證空氣中的氧氣含量。鎂帶劇烈燃燒可以消耗掉大量的氧氣，但是鎂帶無法以通電的方式使其燃燒，除非以巨大的電流通過，於是我們在設備有限的情況以及實驗安全的考量下，無法測試到底需要多大的電流才能讓鎂帶燃燒。

在我們快要放棄的情況下嘗試將鎂帶包覆在鋼絲絨內，試圖以燃燒的鋼絲絨再點燃鎂帶，但我們試過如下頁(圖一)，鎂帶外包覆鋼絲絨仍無法將鎂帶點燃，雖然鎂帶燃燒很劇烈，但是鎂帶的燃點相當的高，所以不易點燃。我們經過多次的錯誤嘗試，偶爾感覺鎂帶似乎快要被點燃但仍然失敗，最後我們在多次錯誤嘗試中將鋼絲絨包覆在鎂帶外，製作成一個類似耳機造型的設計如下頁(圖二)，最後成功的點燃鎂帶。

接下來我們就將此裝置放置於倒置的玻璃量筒中，然後使用了四顆三號電池組成的六伏特的電池組並聯九組(這可以一號電池組取代)，以提供穩定的電壓與電流。定量來說，市售鎂帶長度 5 公分再剪成兩細長條，一條重量平均約 0.42 公克(長度 5 公分、寬度 0.17 公分)，耳機造型鋼絲絨一邊的重量約 0.06 公克，兩者組合就可以成功的點燃鎂帶。

我們將此裝置放置於玻璃量筒中，並倒置於水槽內，此時玻璃量筒的空氣體積是 90 毫升，我們通電將鋼絲絨點燃並持續將鎂帶點燃，當燃燒的火焰熄滅後，我們放置冷卻至室溫，量測到量筒內的體積為 73 毫升，因此可以知道消耗掉了 17 毫升的氧氣。我們重新測量鱷魚夾所占的體積約 3.1 毫升，因此反應前空氣總體積為 86.9 毫升，推算空氣中氧氣的含量為 19.6% (圖三)，國中課本中說明空氣中的氧氣含量為 21%，本實驗約有 6.7% 的誤差，未來仍可加強測量的精準度，

以減少誤差情形。基本上我們的實驗已可量測出空氣中氧氣的含量，未來可以依據本實驗結果再加以改進。



圖三. 本實驗設計出一個鎂帶與鋼絲絨組合的方式，透過乾電池點燃鋼絲絨再加熱鎂帶，讓鎂帶產生燃燒現象，能製成簡易的無碳點火裝置，可用以檢驗空氣中氧氣的含量。

實驗完成後，在撰寫報告的過程中，查詢相關資料發現中華民國第四十六屆中小學科學展覽會作品說明書「步步高升-證明空氣中氧氣含量及新反應器研製」是利用鋼絨絲與銅片組成通電加熱以進行空氣中氧含量的測定，因為銅片無法燃

燒，因此是以通電加速氧化的方式進行空氣中氧氣含量測定。本實驗是以通電加熱鋼絲絨點燃鎂帶的方式，燃燒會伴隨大量的光放出，因此鎂帶燃燒後的觀察會比未燃燒的銅片更容易進行實驗觀察。

實驗的初衷是研究摩擦生火，因此我們努力朝向「燃燒」現象進行研究。找出通電加熱成功點燃鎂帶後，我們才進一步設想這樣的裝置可以進行實際應用。因此組合教科書所學過的相關內容，進行空氣中氧含量的測定。當然這個空氣中氧含量測定方法並不是唯一的，如前述科展報告中通電加速金屬氧化就可以消耗掉空中的氧氣，但這個以「無碳『燃燒』」的方法測定空氣中氧含量，是尚未找到相關科展資料的，因此仍有其獨特性。並且這樣的實驗設計可以在密閉空間中製造簡易的「無碳燃燒」的點火裝置，這可以應用於需要密閉容器「無碳點火」上，仍非過去的實驗可以取代。此外本裝置應可以應用在充滿二氧化碳密閉氣體中，進行通電加熱點火，讓我可以看見鎂帶在無氧但含二氧化碳混合氣體中燃燒的情形。

九、實驗八：以電流加熱鋼絲絨引燃蠟燭燃燒以測量空氣中氧含量之探究

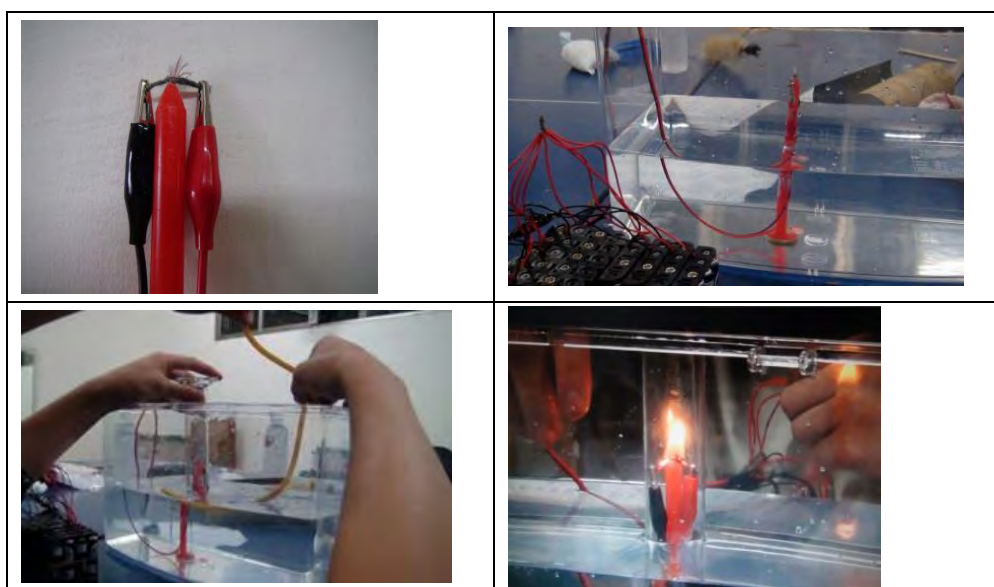
根據實驗七以直流電加熱鋼絲絨點燃鎂帶，製造無碳燃燒條件可以測量空氣中氧含量 19.6 %，國小自然與生活科技課本，以蠟燭燃燒加入倒置的廣口瓶看水位的上升來代表空氣中含氧量。

我們依據課本實驗方式，利用點燃的蠟燭放上倒蓋量筒的實驗方法，量得水面上升減少的體積約 25.7%，比預期的理論值 21% 還高，顯然不合理。探究其原因是因為此方法會受到很多的因素干擾，其中包含了物理因素(如倒蓋熱空氣後冷縮，使得每次廣口瓶上升的高度都不一樣)，與化學因素(例如蠟燭燃燒消耗氧氣，但產生二氧化碳、或是燃燒不完全產生一氧化碳)，於是我們改良了蠟燭燃燒測量空氣中氧含量之裝置(如圖四)，在倒立的量筒中，以電流加熱鋼絲絨引燃蠟燭燃燒，如此設計可以移除蠟燭燃燒時受到熱脹冷縮導致水面上升的物理因素影響，只剩下化學因素的影響。

我們將裝置放置於玻璃量筒中，並倒置於水槽內，此時玻璃量筒的空氣體積是 100 毫升，我們通電將鋼絲絨引燃蠟燭燃燒，當燃燒的火焰熄滅後，我們放置冷卻至室溫，量測到量筒內的體積為 93 毫升，我們校正因燃燒前後蠟燭加上鱷魚夾裝置在水面上的體積之變化 (燃燒前的體積為 4ml，燃燒後的體積為 2ml)，因此可以知道只減少掉了 5 毫升的氣體體積 (減少 5.2%)。

量筒直接倒蓋燃燒蠟燭減少 25.7% 空氣體積 (蠟燭的大小影響火焰的大小，因此不同的蠟燭結果也會不同)，直接點燃密閉量筒中的蠟燭僅減少 5.2% 氣體體積，因此熱脹冷縮物理因素影響甚鉅，本實驗方法可定量出物理因素熱脹冷縮影響因素，因此以本實驗而言，水面上升高度的影響的熱脹冷縮物理因素占 79.7% $\{(25.7\% - 5.2\%) / 25.7\}$ ，這樣的實驗觀察設計來說明空氣中的氧含量仍不恰當。

此外，密閉點燃蠟燭燃燒若減少的氣體因反應前空氣總體積為 96 毫升，推算由實驗空氣中氧氣消耗的量為 5.2%，與空氣中的氧氣含量為 21% 有很大的差距，推測可能的原因是蠟燭燃燒無法消耗空氣中所有的氧，而且燃燒產生二氧化碳，甚至是一氧化碳 (兩氣體均不易溶解於水中) 使得水位上升不如預期。如此可見用蠟燭燃燒來測量空氣中氧含量是不準確且誤差很大，與實驗七的結果差很大，由此可知實驗七的裝置是非常難能可貴的。



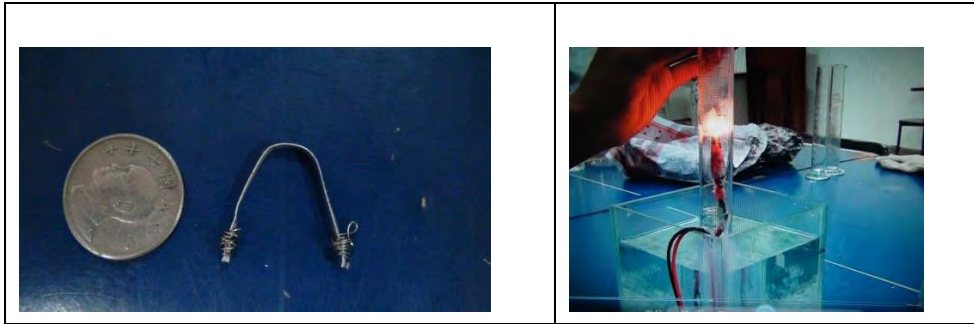
圖四. 改良了蠟燭燃燒測量空氣中氧含量之裝置

十、實驗九：電池直流電加熱吹風機裡的電熱絲成功引燃二氧化碳中的鎂帶燃燒

根據實驗七推論，鎂帶可以在二氧化碳中燃燒並測量二氧化碳之含量，於是我們使用了四顆三號電池組成的六伏特的電池組九組，先並聯四組與並聯五組然後將兩件串聯產生 12v 的電壓，我們用鋼絲絨加熱數十次皆未能成功點燃二氧化碳中的鎂帶，但教科書 (高中南一版選修化學下冊，102 年 1 月日初版，p.31) 有描述鎂帶可以在二氧化碳中燃燒，因此設想應該是鋼絲絨的溫度仍不夠高。

在我們多次無法解決要放棄時，有同學提議家中故障吹風機中的電熱絲是否可以通直流電加熱，但吹風機都是使用交流電且電壓 110 伏特，不知是否能成功，在姑且一試的情況下，竟然真的成功點燃二氧化碳中的鎂帶並使之燃燒。電熱絲線纏繞鎂帶(如圖五)，我們將裝置放置於倒立的玻璃量筒中(此玻璃量筒已經由乾冰由固態變成氣態產生之二氧化碳氣體所充滿)(如圖五)，並倒置於水槽內，直流電通電後約一分鐘後鎂帶有燃燒，當燃燒的火焰熄滅後，我們放置冷卻至室溫，實驗了五次的結果讓我們很意外的是，發現氣體減少的體積平均僅約 6%。理論上， $2\text{Mg}_{(s)} + \text{CO}_2(g) \rightarrow 2\text{MgO}_{(s)} + \text{C}_{(s)}$ ，因此二氧化碳氣體體積應該可以完全減少，但實驗結果則不然。

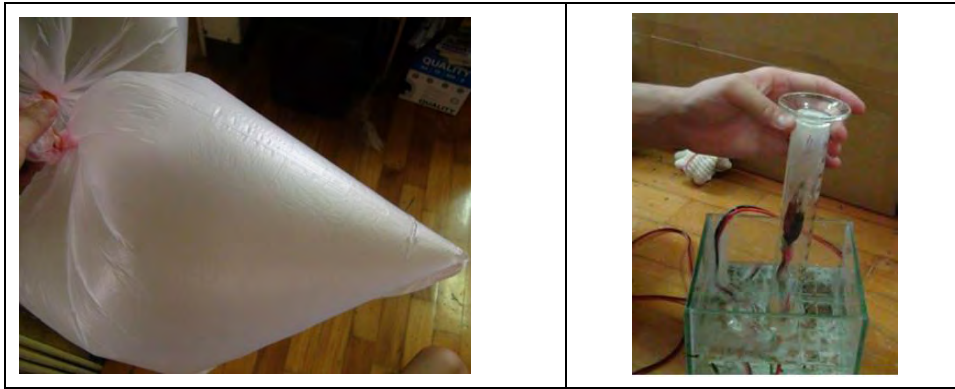
推測原因可能是鎂在二氧化碳中燃燒後，有可能產生一氧化碳氣體。但是，教科書中化學反應方程式，或是一般參考書籍僅列出鎂在二氧化碳中燃燒會產生黑色的碳顆粒，並未列出產生一氧化碳的反應式 ($\text{Mg}_{(s)} + \text{CO}_2(g) \rightarrow \text{MgO}_{(s)} + \text{CO}_{(g)}$)，本次實驗受限於檢驗儀器與設備，未來可以持續探究其原因。



圖五.我們將吹風機裡面的加熱線纏繞鎂帶，我們將裝置放置於倒立的玻璃量筒中(此玻璃量筒已經由固態乾冰變成氣態產生之二氧化碳氣體所充滿)，並倒置於水槽內，直流電通電後約兩分鐘後鎂帶有燃燒。

十一、實驗十：觀察純氮下以電流加熱鋼絲絨是否能引燃鎂帶燃燒

在我們快要完成實驗報告前，查詢文獻竟發現鎂帶在高溫的環境下，竟然也可以在安定的氮氣中燃燒，這和我們所學氮氣是穩定氣體概念不同。我們思考這將嚴重影響空氣中的氧氣測定，因為空氣中含有大量的氮氣。如實驗八之裝置將空氣改成**純氮的情況下**，以電流加熱鋼絲絨是否能引燃鎂帶燃燒，實驗四次結果顯示:三次都沒有成功，只有一次鎂帶略有火光(不到一秒)。顯示**鋼絲絨無法成功點燃鎂帶(圖六)**，因此鋼絲絨與鎂帶的組合無法在氮氣中燃燒，可以將此一因素排除，也讓我們順利完成實驗全部的實驗報告。



圖六.蒐集以液態氮氣蒸發後由塑膠帶蒐集的裝置以及設備(鎂帶未燃燒成功)

(氮氣來源：感謝皮膚科診所醫師借我們醫療用液態氮，我們將氣化的氮氣裝入塑膠袋中帶回來進行實驗)

表二. 實驗結果彙整說明表

電池直流通電 加熱點火裝置	瓶中氣體	點燃金屬結果	實驗意義
鋼絲絨	空氣	無法成功燃燒鋼絲絨	鋼絲絨通電會通紅放光，但迅速熄滅，不易連續燃燒。
鋼絲絨加鎂帶	空氣	成功燃燒鎂帶	可以做為教材實驗設計來呈現空氣中氧含量的快速簡單實驗設計
鋼絲絨加蠟燭	空氣	成功燃燒蠟燭	教材中蠟燭燃燒水面上升的實驗，可以減少倒蓋熱空氣造成熱脹冷縮導致水面上升的變因
鋼絲絨加鎂帶	二氧化碳	無法成功燃燒鎂帶	鋼絲絨加熱溫度，無法讓鎂帶與二氧化碳進行燃燒反應
電熱絲加鎂帶	二氧化碳	成功燃燒鎂帶	在高溫下，讓鎂帶與二氧化碳進行燃燒反應。
鋼絲絨加鎂帶	氮氣	未成功燃燒鎂帶	加熱鋼絲絨溫度，無法讓鎂帶與氮氣進行燃燒反應

伍、結論

1. 用愈細的顆粒(鎂)原本是愈容易導電的，但因其表面已氧化，故使其無法導電。由此可知雖然活性大小：鎂 > 鋁 > 鋅 > 鐵，但實際以直流電加熱金屬時，並非活性越大越容易點燃，燃點高低並非僅由活性大小來決定，因此本研究結果可以發現實際操作上並非僅由單一理論來決定。電阻大小與燃點高低是導致燃燒是否容易進行的關鍵因素，電阻低的金屬導電加熱溫度不易升高，但電阻低的鎂也因燃點高而不易直接通電燃燒，因此本研究找出其電阻與燃點最佳的組合金屬鋼絲絨與鎂帶。
2. 通電加熱鋼絲絨的燃燒實驗並不容易維持燃燒狀態，若僅以通電加熱鋼絲絨來製造無碳燃燒以測定空氣中的氧含量無法成功。經由反覆測試我們最後找出鋼絲絨與鎂帶巧妙組合後，經由通電點燃鋼絲絨後，再點燃鎂帶以消耗空氣中的氧氣，經由實驗定量測定後發現可以量測出混合氣體中的氧含量。如此的設計便可以改變教科書中有關空氣中有關氧含量的實驗呈現方式，因此實驗極具意義與價值。
3. 鋼絲絨通電加熱蠟燭燃燒使水面上升方法，相較於教科書的設計，可以減少物理熱脹冷縮的影響因素，是一個有用的實驗設計方式。
4. 在純二氧化碳氣體中，我們發現電池直流電加熱鋼絲絨與鎂帶的組合不可以燃燒，但直流電加熱電熱絲與鎂帶的組合可以燃燒，這是與過去所學二氧化碳不助燃的概念不同。但二氧化碳中燃燒鎂帶讓整體氣體減少體積不如預期，是否是因為生成一氧化碳仍有待確認。
5. 在純氮氣體中，我們發現電池直流電加熱鋼絲絨與鎂帶的組合不可成功燃燒鎂帶，因此空氣中燃燒鎂帶消耗氧氣實驗，鎂帶應該是優先與氧氣反應，而非優先與氮氣進行化學反應。

陸、參考資料及其他

1. 洪振方(1994)。從孔恩異例的認知與論證探討科學知識的重建。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版。
2. 步步高升-證明空氣中氧氣含量及新反應器研製，中華民國第四十六屆中小學科學展覽會作品說明書-國中組理化科，臺南市立崇明國民中學。

【評語】 030213

該團隊研發點燃鎂條之電熱裝置。該實驗設計難度中等，但在對談中發現，學生對電熱裝置及引燃原理已有深度的理解。並研究鎂在 CO_2 中燃燒的機制，值得嘉許。