

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

佳作

030203

『氫』、『銅』、『氣』時代～由自製氣體體積量測系統來探討硫酸銅加速鋅粉與鹽酸反應之機制

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國二 方忠怡 國二 涂妤宣 國二 吳威霖	指導老師： 韓顏吉 梁嘉岑
---	-----------------------------

關鍵詞：氫氣製備、硫酸銅、氣體體積測量

『氫』、『銅』、『氣』時代

～由自製氣體體積量測系統來探討硫酸銅加速鋅粉與鹽酸反應之機制

摘要

爲了找出硫酸銅加速鋅與鹽酸反應的機制，本組自製氣體體積量測系統，並設計實驗證實此系統可準確量測氫氣體積，誤差僅有 1.76%。實驗發現：在硫酸銅加速鋅與鹽酸的反應中，銅離子並非催化劑，且只有可被鋅還原的金屬離子，才有加速效果。鋅片在本身可解離的條件下，可經由導線將電子傳遞至銅，使銅端產生氫氣。

本組推得硫酸銅加速氫氣產生的機制如下：鋅先將銅離子還原，使銅附著在鋅上，電子由鋅傳遞至銅，再由銅傳遞至氫離子，而產生氫氣。後續實驗確認：銅是加速氫氣產生的關鍵，其可加速的原因：一、還原後的銅會附著在鋅上，形成許多孔隙，使反應總表面積增大；二、銅與鋅間只要有電子的傳遞，就可加速反應，銅的角色可能是加速鋅電子的釋放。

壹、研究動機

在國一的科學營中，老師讓我們體驗氫氣槍的實驗，結果發現利用鎂帶加醋酸可以產生氫氣，當時覺得很新奇。後來，在理化課本中學到活性大的金屬加酸會產生氫氣，我們對這個實驗非常有興趣，因此利用這一次科展的機會，來深入研究此項實驗。在嘗試的過程中觀察到硫酸銅會加快氫氣的產生，我們對此感到疑惑，因爲硫酸銅會與活性大的金屬反應，也就是會與酸中的氫離子競爭，故加入硫酸銅，理當使氫氣的產生速率降低才對，爲探索如此特別的現象發生，本組決定藉由實驗找出硫酸銅能加速鋅與鹽酸反應的機制。

貳、研究目的

1. 自製一個可精準量測氣體體積的系統，以做爲實驗研究的測量裝置。
2. 探討硫酸銅加速鋅與鹽酸反應的機制。
3. 比較硫酸銅影響鎂與鹽酸反應的情形，以推測其加速的機制。
4. 將活性不同的金屬以導線連接，觀察氫氣產生的情形，以了解金屬間相互影響的情形。
5. 以實驗證據推測出硫酸銅加速鋅粉產生氫氣的機制。
6. 驗證此反應機制的正確性。
- 7.

參、研究設備及器材

一、器材

		
<p>玻璃水槽</p>	<p>量筒</p>	<p>有側管之錐形瓶</p>
		
<p>針筒</p>	<p>USB 數位顯微鏡</p>	<p>AB 膠</p>
		
<p>電子秤(耐重 10Kg，精密度 1g)</p>	<p>封閉壓克力水槽(半徑 10cm、高 20cm)</p>	<p>水管及實驗器具</p>
		
<p>金剛固力膠</p>	<p>酸性速利康(防水)</p>	

二、藥品

		
<p>鎂粉(Mg)</p>	<p>硫酸銅($CuSO_4$)</p>	<p>鋅粒 (Zn)</p>
		
<p>鹽酸 (HCl)</p>	<p>硫酸鈉(Na_2SO_4)</p>	<p>鎂帶 (Mg)，寬 0.3cm</p>
		
<p>硫酸鉀(K_2SO_4)</p>	<p>鋅粉 (Zn)</p>	<p>硫酸鋅(Zn_2SO_4)</p>
		
<p>鋅片、銅片、鉛片</p>	<p>氫氧化鉀(KOH)</p>	<p>鉻酸鉀 (K_2CrO_4)</p>

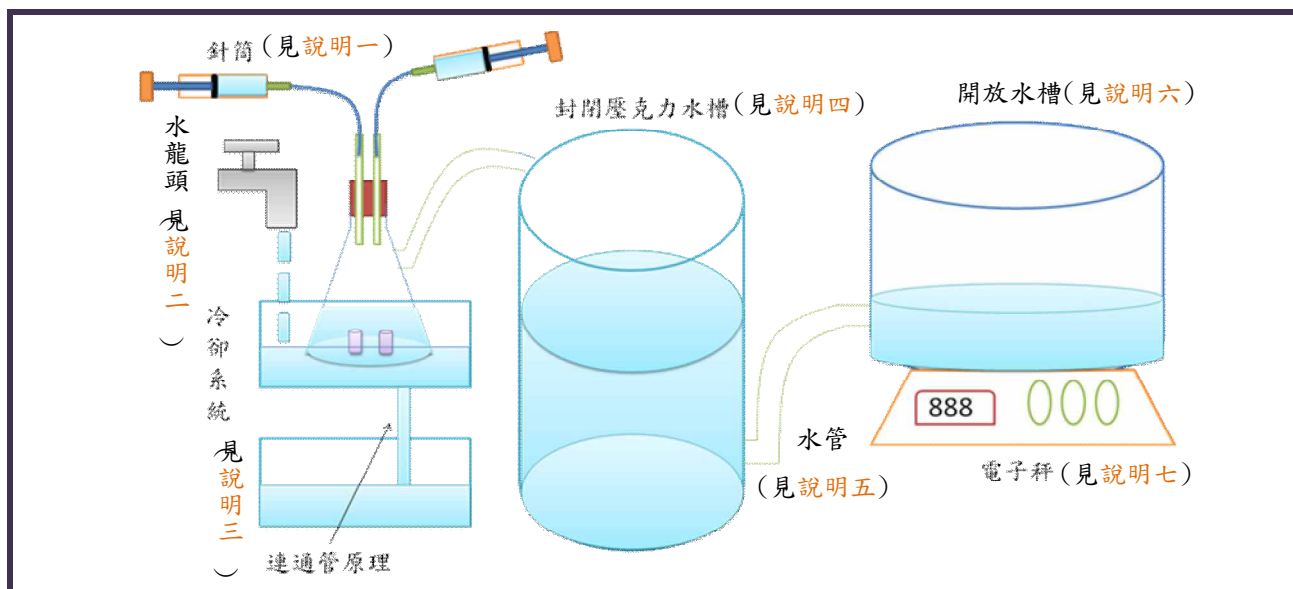
三、自製研究器材

1. 裝置照片



圖 1 實驗裝置圖

2. 各組件示意圖

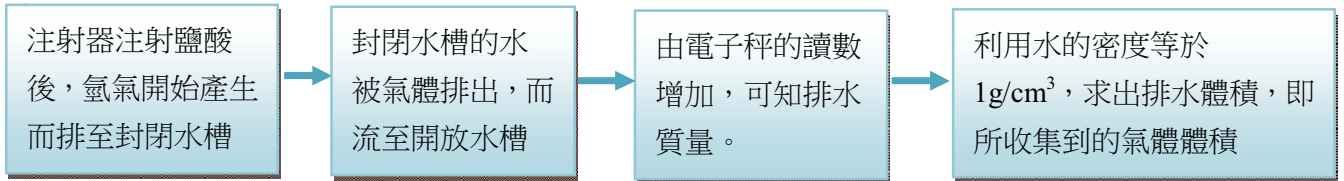


說明一	針筒：注射液體進入錐形瓶。	說明二	水龍頭：將常溫水沖入冷卻系統。
說明三	冷卻系統：使反應在固定的溫度下進行。	說明四	封閉壓克力水槽：排水集氣法收集氫氣。
說明五	水管：將被排出的水送至開放水槽。	說明六	開放水槽：收集被排出的水。
說明七	電子秤：秤得被排出的水質量，利用水的密度等於 1g/cm^3 ，求出排水體積。		

圖 2 自製氣體量測系統剖析圖

3. 量測氣體體積的流程與原理：

(1) 流程：



(2) 原理

I. 氫氣產生前的實驗裝置

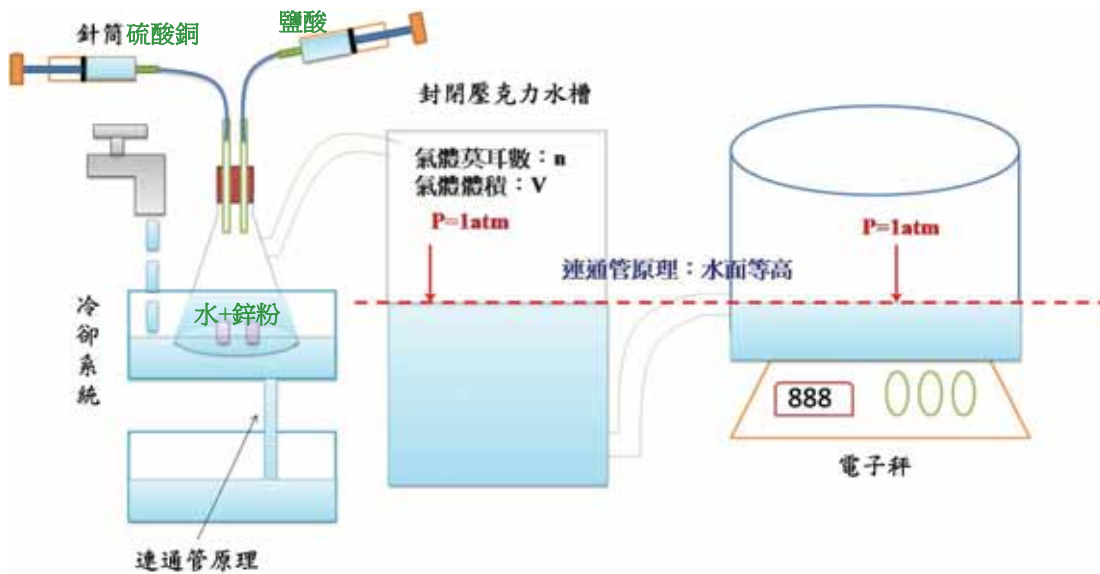


圖 3 氫氣產生前的實驗裝置與數據

II. 氫氣產生後的實驗裝置

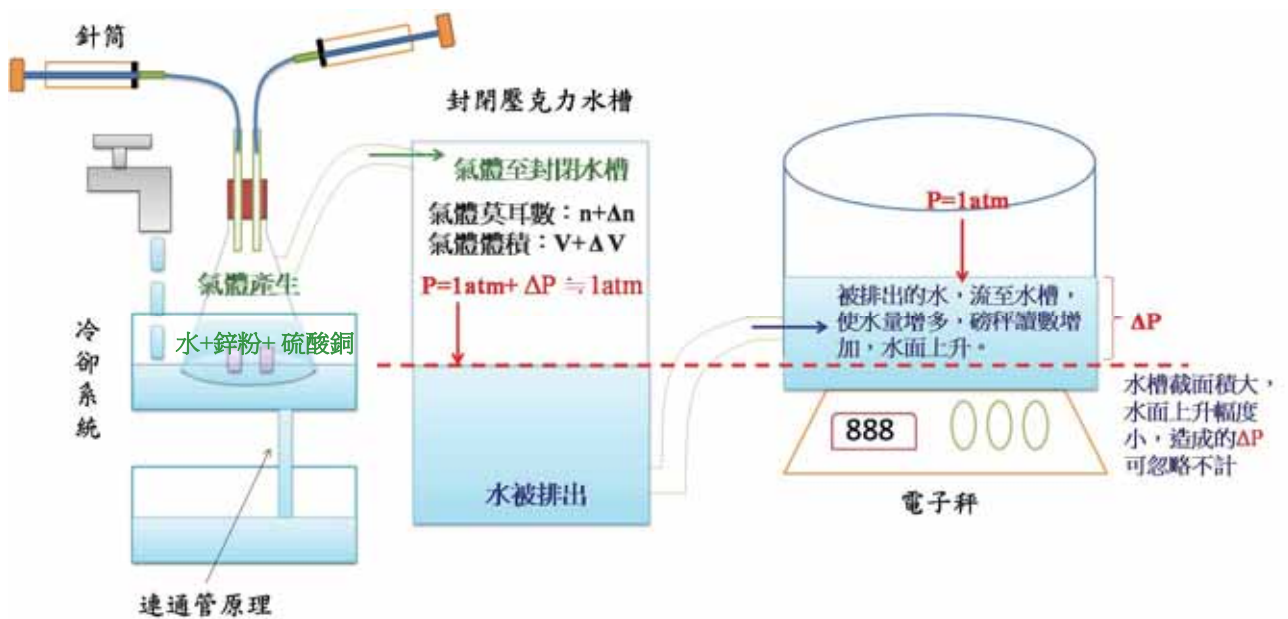


圖 4、氫氣產生後的實驗裝置與數據

肆、研究原理

一、 碰撞學說

1. 化學反應發生的條件是反應的粒子須先發生碰撞。
2. 碰撞不一定能產生反應，只有極少數的碰撞可引起反應，大部分的碰撞並未引起反應。
3. 能引起反應的碰撞稱為有效碰撞。
4. 產生有效碰撞的條件，碰撞粒子必須有：
 - (1) 足夠的能量：粒子的動能必須超過低限能，在一定溫度下，粒子具有一定的平均動能，但個別粒子的動能並不相等，而是從低能至高能呈曲線分佈，其中只有高於低限能的粒子才具有足夠的能量，可產生有效碰撞。
 - (2) 正確的碰撞位向

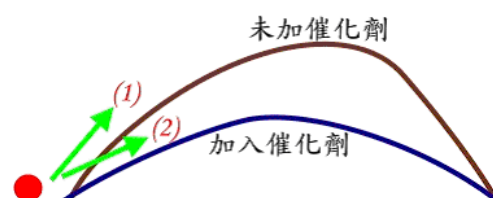
二、 影響反應速率的因素

1. **反應物的本性**：反應物本身的活性會影響到反應速率。
2. **濃度**：當反應物的濃度提高時，單位體積內粒子的數量增加，粒子碰撞的機會較多，因此反應速率較快。
3. **溫度**
 - (1) 溫度升高時，分子的動能增加，每一個分子運動的速率變快，單位時間內碰撞的次數增加，反應速率也就加快了。
 - (2) 溫度升高時，使反應速率加快主要的原因是分子的平均動能提高，超過低限能的粒子增加，因此能造成有效碰撞的分子變多，反應速率因此變快。
4. **壓力**：當壓力加大時，氣體的體積減少，單位體積中的氣體分子數增加，碰撞機會也會增加，反應速率也就加快了。
5. **催化劑**：催化劑是在化學反應中，能改變反應速率，但反應完後本身質量不變的物質。
 - (1) **催化劑的重要特性**：
 - I. 可改變反應速率。
 - II. 無法增加產率。

- III. 無法使不反應者發生反應。
- IV. 可逆反應中，催化劑會同時增加正反應及逆反應的速率，故不影響平衡狀態。
- V. 有選擇性。
- VI. 反應前後，催化劑的化學組成不變，質量也不變。

(2) 催化劑使反應變快的原因

分子碰撞需要足夠的能量及適當的碰撞方位，才能使反應發生，加催化劑，能使反應的低限能降低，因此能產生有效碰撞的分子就增加了，反應也因此變快。

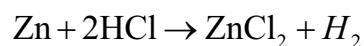
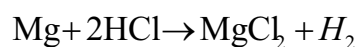


5. 接觸面積

反應物的接觸面積越大，碰撞機會較多，可提高反應速率。將固體磨細成粉狀可增加反應物的接觸面積，因而加快反應。

三、 氫氣製備

將活性大的金屬加入稀酸，可產生氫氣，以下為其化學反應式：



伍、實驗步驟

一、探討自製氣體體積量測系統的準確性

實驗一、以自製氣體體積量測系統收集鎂帶和鹽酸反應產生的氫氣。

1. 在有側管的錐形瓶中放入 0.2g 的鎂帶，並加入 30c.c.的水。
2. 將自製氣體體積測量系統架設好。
3. 推動針筒，將 4M、20c.c.的鹽酸注入有側管的錐形瓶，使之與鎂帶反應產生氫氣。
4. 以電子秤讀取數據，得知氫氣產生的體積，每 5 秒紀錄 1 次。
5. 改加入 0.4、0.6、0.8、1.0g 的鎂帶至有側管的錐形瓶中，重複步驟 2 到 4。

二、探討硫酸銅加速鋅與鹽酸反應速率的機制。

實驗二、探討添加硫酸銅的多寡對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 將氣體測量系統架設好。
2. 錐形瓶內固定加水 30cc，並倒入鋅粉重量為 6g。
3. 以兩根醫療用針筒分別注射 20c.c、4M 鹽酸與 30c.c 不同濃度的硫酸銅溶液。
4. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
5. 利用攝影機拍攝 6g 鋅粉、4M 鹽酸溶液 20cc、30cc 水混合及 6g 鋅粉、4M 鹽酸溶液 20cc、30cc 0.4M 硫酸銅溶液反應情形。
6. 利用 USB 數位顯微鏡觀察反應後的生成物。

實驗三、探討添加硫酸鈉、硫酸鋅、硫酸亞鐵對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 將氣體測量系統架設好。
2. 錐形瓶內固定加水 30cc，並倒入鋅粉重量為 6g。
3. 以兩根醫療用針筒分別注射 20c.c、4M 鹽酸與 30c.c、0.4M 的硫酸銅溶液。
4. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
5. 重複步驟 1 到 4，分別以 0.4M 硫酸鈉、硫酸鋅及硫酸亞鐵代替硫酸銅溶液。

三、比較硫酸銅影響鎂與鹽酸反應速率的情形，以推測其加速的機制。

實驗四、探討添加硫酸銅、硫酸鋅、硫酸鈉對鎂帶與鹽酸反應速率之影響

1. 重複實驗 5，但以 0.07g 的鎂帶代替鋅粉

四、將活性不同的金屬以導線連接，觀察氫氣產生的情形

實驗五、探討不同金屬片彼此連接之影響

1. 將銅片放入鹽酸溶液中浸泡，觀察氣泡產生情形，並拍照。
2. 將鋅片與銅片連接，放入鹽酸溶液中浸泡，觀察氣泡產生情形，並拍照。
3. 將鋅片與銅片以鱷魚夾導線連接，但只將銅片放入鹽酸溶液中浸泡，觀察氣泡產生情形。
4. 單純將鋅片與銅片，放入鹽酸溶液中浸泡，未以導線連接，觀察氣泡產生情形，並拍照。
5. 將鋅片與鉛片、鎂帶與鉛片、鎂帶與銅片以導線連接，分別放入鹽酸溶液中浸泡，觀察氣泡產生情形，並拍照。

五、確認硫酸銅加速鋅粉與鹽酸反應機制的正確性

追加實驗一、探討不同質量的銅粉對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 將氣體體積量測系統架設好，並在錐形瓶內固定加水 30cc。
2. 倒入質量為 6g 鋅粉與 0.4 克銅粉至錐形瓶後，以針筒注射 20c.c、4M 鹽酸至錐形瓶。
3. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
4. 將銅粉質量改為 0.6、0.8、2.0、4.0 克，重複步驟 1 到 3。

追加實驗二、探討銅粉顆粒大小對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 將氣體體積量測系統架設好，並在錐形瓶內固定加水 30cc。
2. 倒入質量為 6g 鋅粉與 1.905 克的大顆粒銅粉至錐形瓶。(1.905 克的銅粉=0.03 莫耳的銅粉)
3. 以針筒注射 20c.c、4M 鹽酸至有側管的錐形瓶。
4. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
5. 改加入 1.905 克的小顆粒銅粉，重複步驟 1 到 4。

追加實驗三、比較硫酸銅與銅粉對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 將氣體體積量測系統架設好。
2. 錐形瓶內倒入鋅粉重量為 7.962g。(7.962 克鋅粉=6 克鋅粉+0.03 莫耳鋅粉)
3. 以兩根醫療用針筒分別注射 20c.c、4M 鹽酸與 30c.c、1M 的硫酸銅溶液。
4. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
5. 與追加實驗二的數據作圖比較。

追加實驗四、比較鋅片連接鋅片與鋅片連接銅片後氫氣產生的速率

1. 將氣體體積量測系統架設好，並在錐形瓶內加水 70cc。
2. 將鋅片與銅片以導線連接，放入錐形瓶中，並注射 30c.c、6M 鹽酸至有側管的錐形瓶。
3. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
4. 將鋅片與鋅片以導線連接，重複步驟 1 到 3。
5. 單純放入鋅片，重複步驟 1 到 3。

追加實驗五、比較相同接觸面積下的「鋅粉」與「銅粉+鋅粉」的氫氣產生速率

1. 將氣體測量系統架設好。
2. 錐形瓶內固定加水 30cc，並倒入質量為 6g 鋅粉與 0.03 莫耳的銅粉(1.905 克)。
3. 以針筒注射 20c.c、4M 鹽酸至有側管的錐形瓶。
4. 記錄電子秤的讀數變化，每 5 秒紀錄一次。
5. 將 0.03 莫耳的銅粉改為 0.03 莫耳的鋅粉(1.962g)，重複步驟 1 到 4。

陸、研究結果

一、 探討自制氣體體積量測系統的準確性

實驗一、 以自製氣體體積量測系統收集鎂帶和鹽酸反應產生的氫氣。

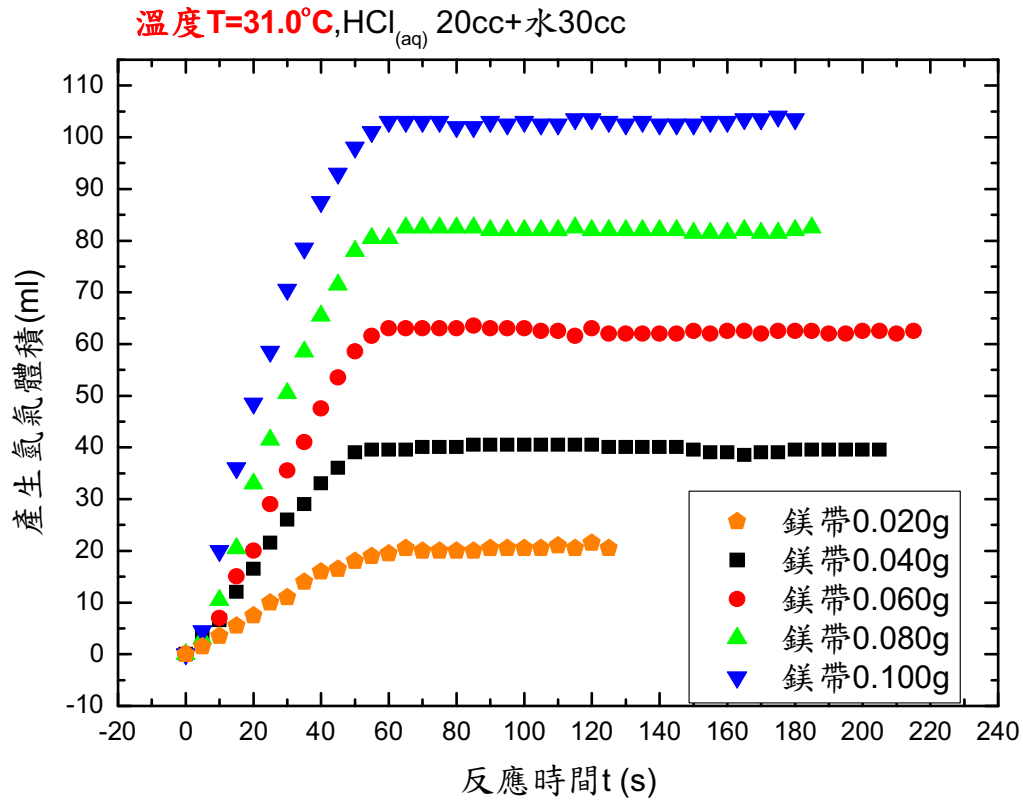


圖 5 不同質量的鎂帶與鹽酸反應時，氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 當關係曲線達水平，代表鎂帶已完全反應。
2. 所加入的鎂帶質量越大，收集到的氫氣體積就越多，且鎂帶質量變為原來的兩倍，完全反應後所收集到的氫氣體積就變為原來的兩倍。
3. 探討此氣體體積量測系統的誤差值，請見討論。

二、探討硫酸銅加速鋅與鹽酸反應速率的機制。

實驗二、探討硫酸銅的濃度對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

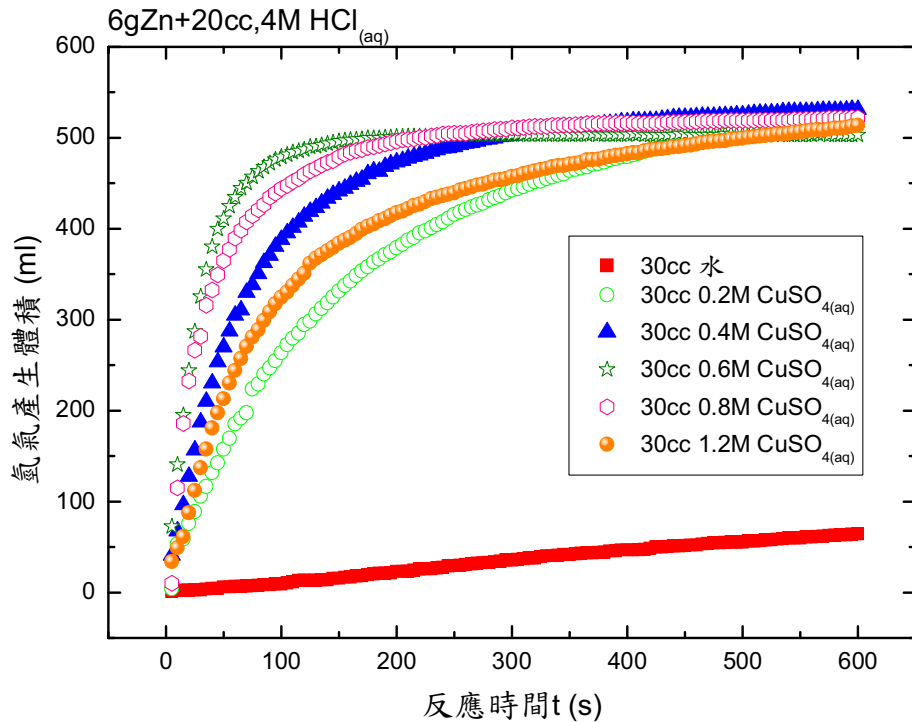


圖 6 添加不同濃度的硫酸銅溶液，產生的氫氣體積與時間關係圖。

說明：硫酸銅溶液濃度越高，產生氫氣的速率越快，但硫酸銅濃度為高於 0.8M 時，產生氫氣的速率反而變小。

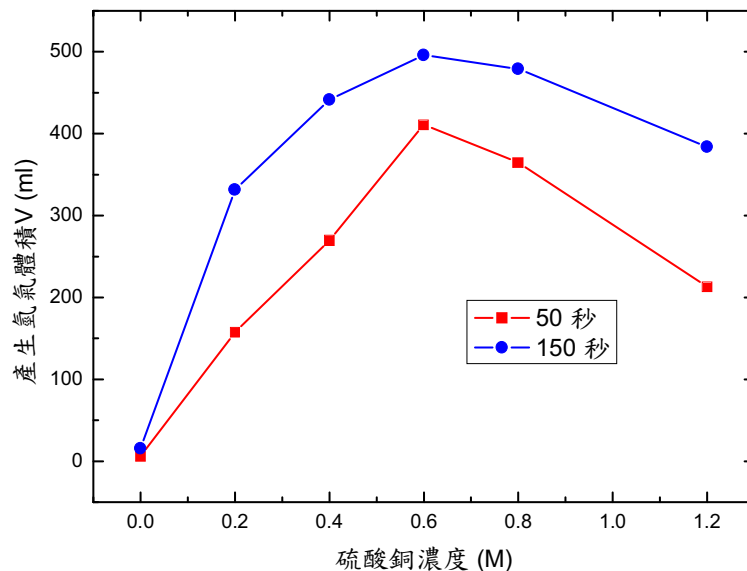
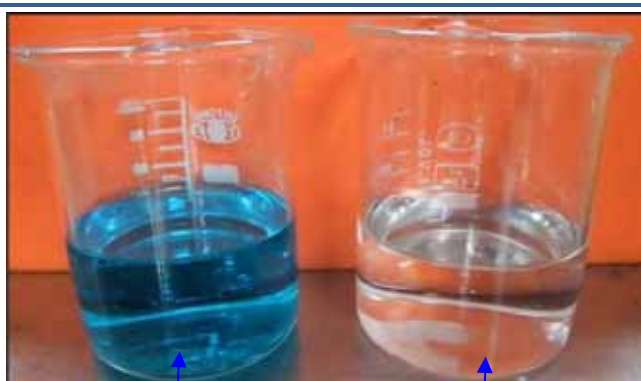


圖 7 固定時間下，所添加硫酸銅的濃度與產生的氫氣體積關係圖。

說明：若硫酸銅溶液濃度少於 0.8M，則硫酸銅濃度越大，產生氫氣的速率越快；若硫酸銅濃度在 0.8M 以上，則濃度越大，產生氫氣的速率反而變小，顯示硫酸銅濃度並非越高越好。

◇ 攝影機拍攝結果

左邊為 20c.c.4M 的鹽酸加 30c.c. 0.4M 的硫酸銅混合液，右邊為 20c.c. 4M 的鹽酸加 30cc 水的混合液，同時將 6g 的鋅粉倒入兩杯中，並以攝影機拍下其產生氣泡之情形。



實驗組：添加硫酸銅 對照組：無添加硫酸銅



同時加入 6g 的鋅粉



結構稀疏的銅快速上浮，藍色漸淡，氫氣產生



鋅粉沉在燒杯底部，氫氣產生緩慢



氫氣快速產生



氫氣產生速率較慢

說明：

1. 有添加硫酸銅的實驗組，在加入 6g 鋅粉後，銅快速還原，因結構稀疏，故往上浮，氫氣產生速率明顯變快。
2. 溶液藍色漸淡，顯示銅離子有參與反應且量逐漸減少，可知銅離子並非此反應的催化劑。

☆ 利用 USB 數位顯微鏡觀察反應後的生成物



說明：將硫酸銅溶液加入鋅粉與鹽酸的反應，反應後有紅色的銅產生，並附著在鋅上。

實驗三、探討添加硫酸銅、硫酸鈉、硫酸鋅、硫酸亞鐵對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

為了釐清銅離子在反應中的角色，因此改添加硫酸鋅、硫酸鈉、硫酸亞鐵，觀察氫氣產生之速率。

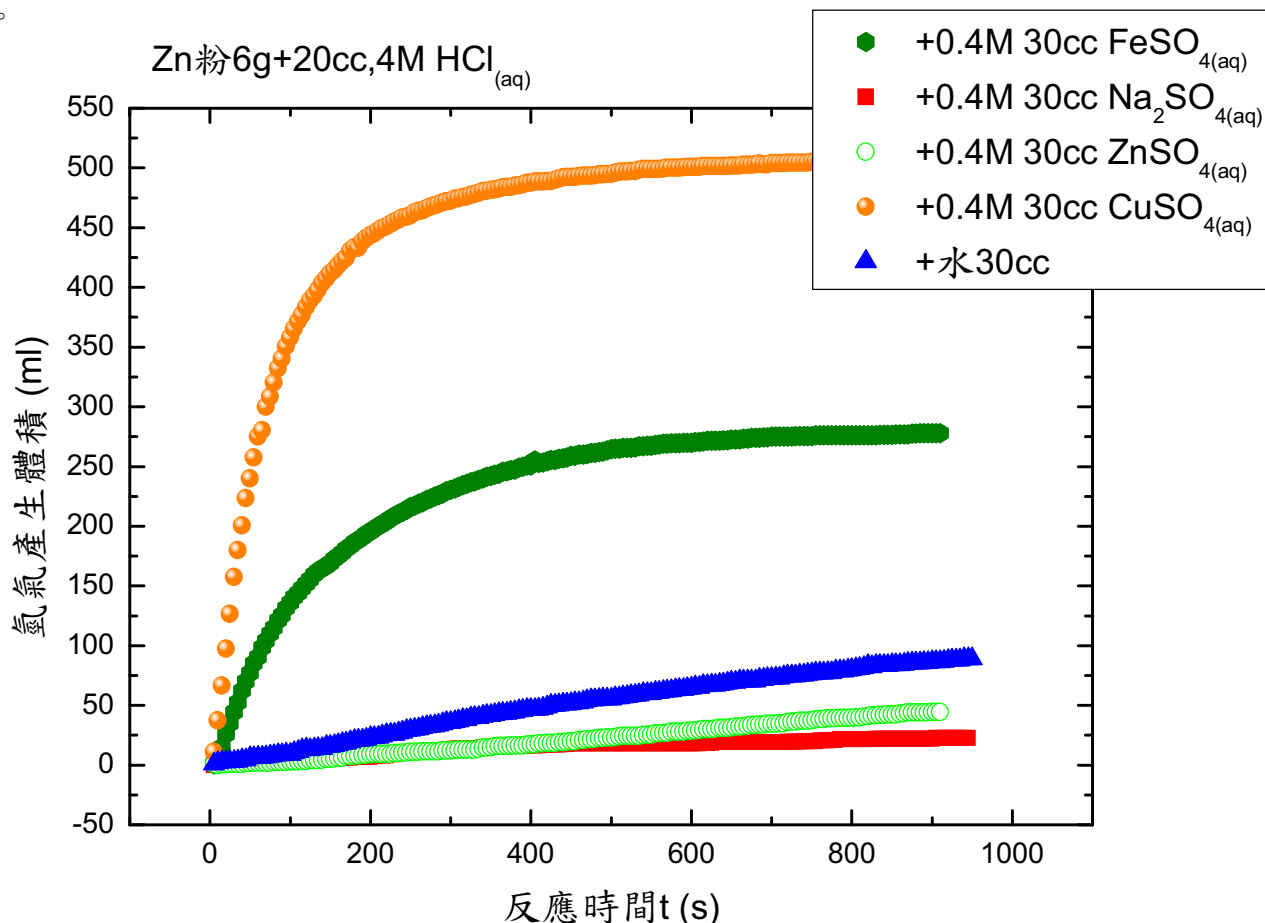


圖 8 在鋅粉與鹽酸的反應中，添加同濃度的硫酸鹽類溶液，反應產生氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 硫酸鋅及硫酸鈉並不會加速反應進行，證明還原電位高於或等於鋅者，無法加速反應。
2. 硫酸亞鐵與硫酸銅會加速反應的進行，證明還原電位低於鋅者，可加速氫氣的產生。

三、比較硫酸銅影響鎂與鹽酸反應速率的情形，以推測其加速的機制。

實驗四、探討添加硫酸銅、硫酸鋅、硫酸鈉對鎂帶與鹽酸反應速率之影響

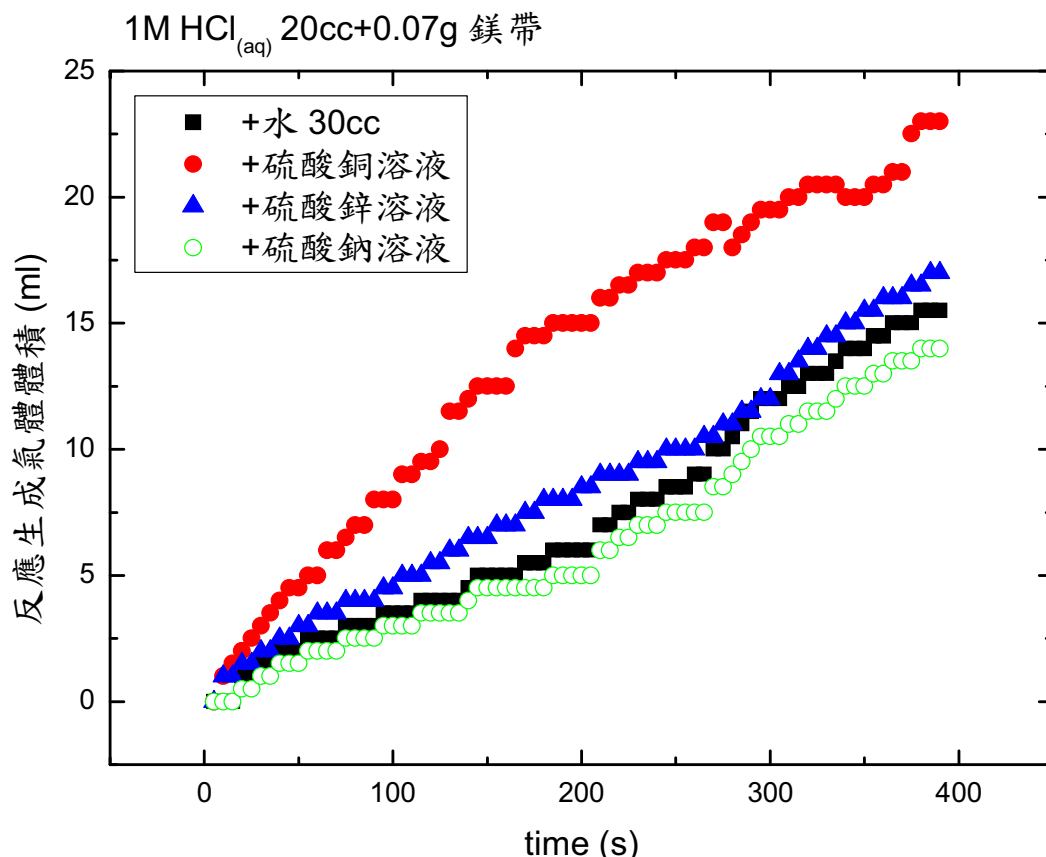


圖 9 在鎂帶與鹽酸的反應中，添加同濃度的硫酸鹽類溶液，反應產生氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 硫酸鋅與硫酸銅會加速反應的進行，證明還原電位低於鎂者，可加速氫氣的產生。
2. 加入硫酸鈉，氫氣並無加速現象，證明還原電位高於鎂者，無法加速氫氣的產生。

四、將活性不同的金屬以導線連接，觀察氫氣產生的情形

實驗五、探討不同金屬片彼此連接之影響

說明：活性比鋅小的金屬硫酸鹽，例如銅，會加速氫氣產生，本組猜測是否因鋅將銅離子還原成銅後，鋅與銅之間電子的轉移所造成的，因此使用鱷魚夾導線夾住不同金屬，放入鹽酸中觀察反應情形。

- ✧ 為了避免金屬片氧化而影響實驗結果，實驗前，皆先用砂紙磨光金屬片，再以三用電表確認金屬片可導電。
- ✧ 為避免鋅片的氣泡跑到銅片，因此將兩金屬片拉開，避免誤判。

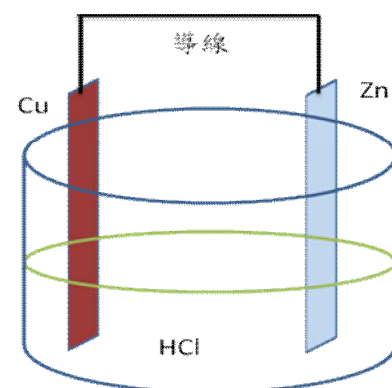
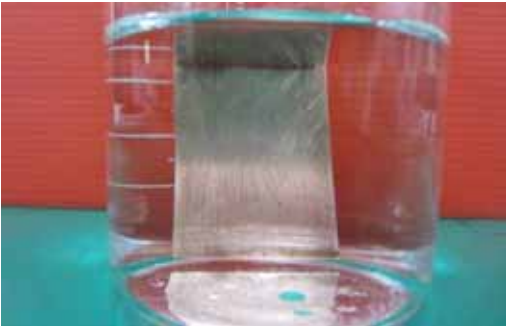





圖 10 實驗五的實驗裝置圖

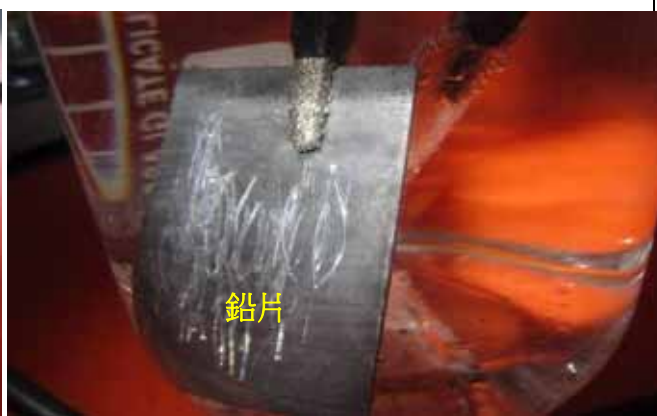
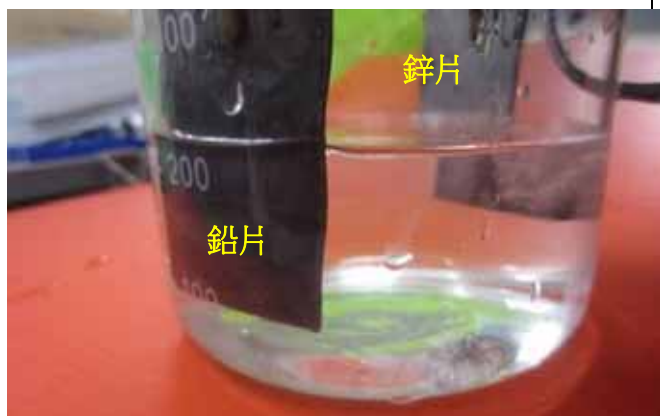
1. 以導線連接鋅片與銅片，觀察氫氣產生的情形

	<p>說明：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 單獨將銅片放入鹽酸中，銅片上並無氣泡產生。2. 銅的活性小，還原電位較低，較穩定，無法還原氫離子。
	<p>說明：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 將銅片放入鹽酸中，並連接燒杯外的鋅片，銅片上並無氣泡產生。2. 鋅的還原電位較銅高，但鋅在空氣中難解離，故電子無法從鋅片流至銅片。
	<p>說明：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 將鋅片、銅片放入鹽酸中，並以導線連接，銅片與鋅片皆有氣泡產生。2. 鋅片可經由導線影響銅，使銅片有氫氣產生。3. 鋅易失去電子而解離，電子經由導線到達銅片，再傳遞給氫離子，產生氫氣。
	<p>說明：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 單純將鋅片、銅片放入鹽酸中而無導線連接，銅片上無氣泡產生，而鋅片上有氫氣產生。2. 鋅片無法經由水中的鋅離子影響銅片。

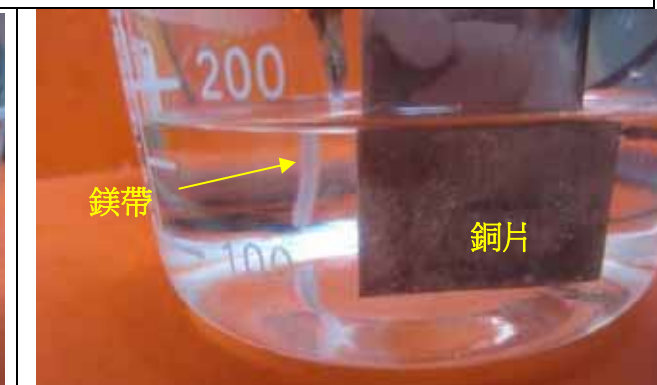
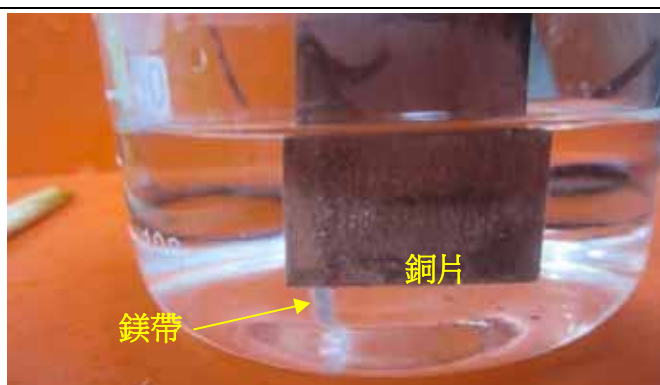
說明：

1. 單純將銅片放至在鹽酸溶液中，銅片並無法將氫離子還原。
2. 若讓鋅解離，且以導線連接銅與鋅，則鋅片可影響銅片，使銅片產生氫氣。
3. 鋅還原電位高，鋅的電子可經由導線傳給銅片，銅片再將電子傳給氫離子，使氫氣產生。

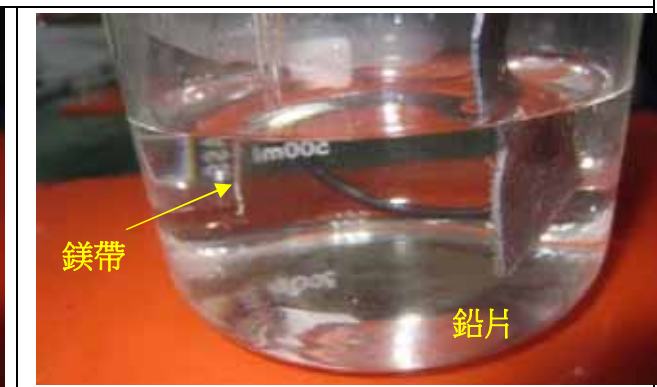
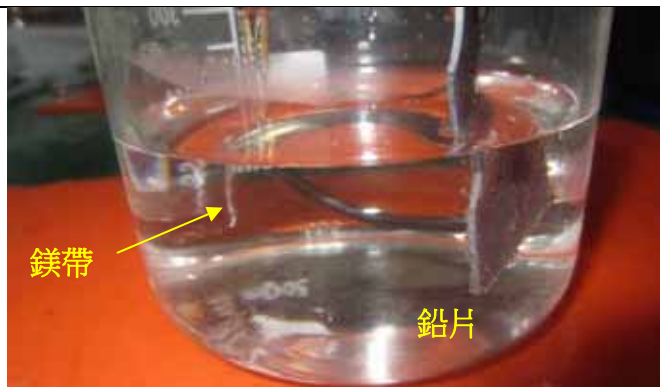
2. 嘗試以不同的金屬片相接，所得結果如下：



說明：改用鉛片，在鋅片處會有大量氣泡產生，但鉛片產生的氣泡非常少。



說明：一端夾著鎂帶，一端夾著銅片，放入鹽酸溶液中，發現鎂帶與銅片皆有氣泡產生。



說明：一端夾著鎂帶，一端夾著鉛片，放入鹽酸溶液中，發現鎂帶與鉛片皆有氣泡產生。

說明：

1. 若以導線連接銅片與鋅片，則在鋅片與銅片處皆有大量氫氣產生。
2. 若以導線連接鉛片與鋅片，則在鉛片處沒有氣泡產生，而鋅片有氫氣產生。
3. 若以導線連接銅片與鎂帶，則在鎂帶與銅片處皆有大量氫氣產生。
4. 若以導線連接鉛片與鎂帶，則在鎂帶與鉛片處皆有大量氫氣產生。
5. 本組推測：兩片金屬的還原電位差越大，電子傳遞的情形將越明顯，越能使活性較小的金屬片產生氫氣。

柒、討論

一、自製氣體體積量測系統

1. 此裝置的誤差來源

此裝置的誤差主要是由於產生的氣體將由封閉水槽排至開放水槽，造成兩水槽的水位不等高，故封閉水槽內的氣壓略大於 1 大氣壓 (見圖 11 紅色字體說明)。為了減少誤差，本實驗選擇截面積較大的開放水槽，如此一來，當氣體產生，水被排至開放水槽中時，水面上升幅度較小，兩水槽水位差較小，產生的水壓較小。以本實驗的水槽規格，經估計可知，產生 1000ml 的氣體，所產生的水壓約為 0.005 個大氣壓力，因此在合理的範圍內可以忽略不計。

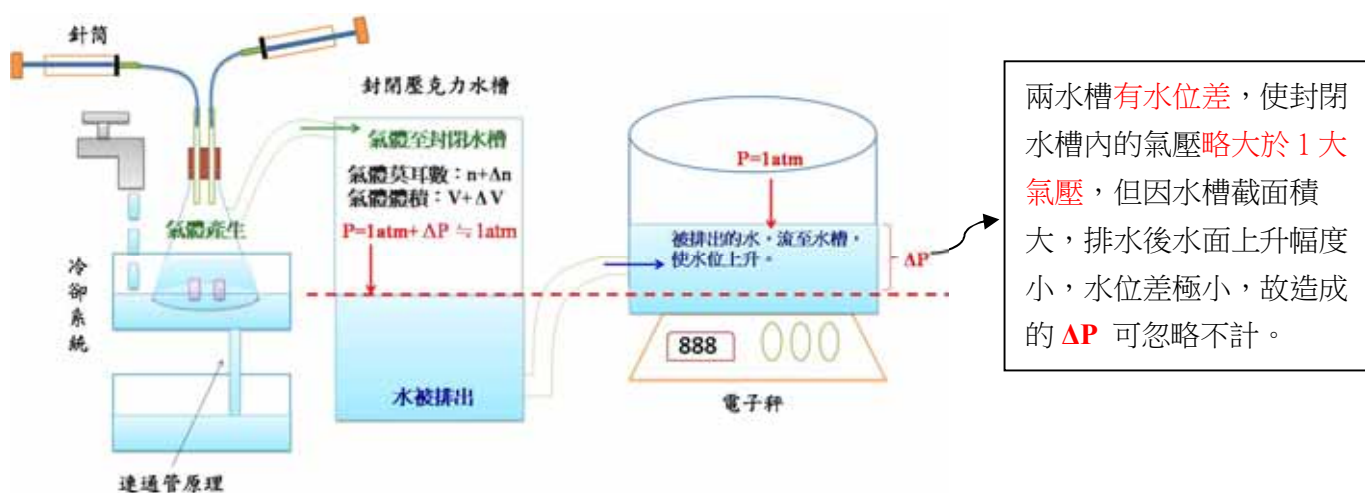


圖 11 自製氣體體積量測系統的誤差說明。

2. 如何計算所收集到的氫氣莫耳數

假設實驗前水槽內氣體壓力為 P ，氣體體積為 V ，氣體莫耳數為 n ，溫度為 T

反應產生氣體後壓力變為 $P + \Delta P$ ，氣體體積為 $V + \Delta V$ ，氣體莫耳數為 $n + \Delta n$ ，溫度為 T

由理想氣體方程式得知：

$$PV = nRT \quad \text{反應前}$$

$$(P + \Delta P)(V + \Delta V) = (n + \Delta n)RT \quad \text{反應後}$$

結論：因水位差所造成的 ΔP 很小，可忽略不計，故得： $P\Delta V = \Delta nRT$ 。也就是說藉由測量氣體體積的改變量，可求得所收集到的氫氣莫耳數。

3. 此系統在實際測量上的誤差值

- (1) 以實驗一：鎂帶與鹽酸反應的數據，對此系統進行誤差值的檢驗。
- (2) 以化學計量算出：鎂帶完全反應後所產生的氫氣體積，與實驗上所收集到的氫氣體積作比較，以確認此系統在實際測量上的誤差值。



由係數比可知：1 莫耳的鎂帶可產生 1 莫耳的氫氣，即所加入的鎂帶與產生氫氣的莫耳數相同，故可藉由加入鎂帶的莫耳數推得氫氣產生的莫耳數。

- (3) 本實驗在 1 大氣壓、30°C 的環境下完成，代入理想氣體方程式結果如下：

$$P \times \Delta V = \Delta n \times R \times T$$

$$1 \times \Delta V = \frac{M}{24.3} \times 0.082 \times (273+30)$$

M 為鎂帶質量， $\frac{M}{24.3}$ 為所加入的鎂帶莫耳數，也等於氫氣產生的莫耳數

$$\Delta V = 1.022M \text{ 公升} \rightarrow \Delta V = 1022M \text{ 毫升} \quad (\text{理論值})$$

- (4) 而實驗數據所得到的氫氣與鎂帶質量的關係直線方程式為 $\Delta V = 1040M$ 毫升 (實驗值)

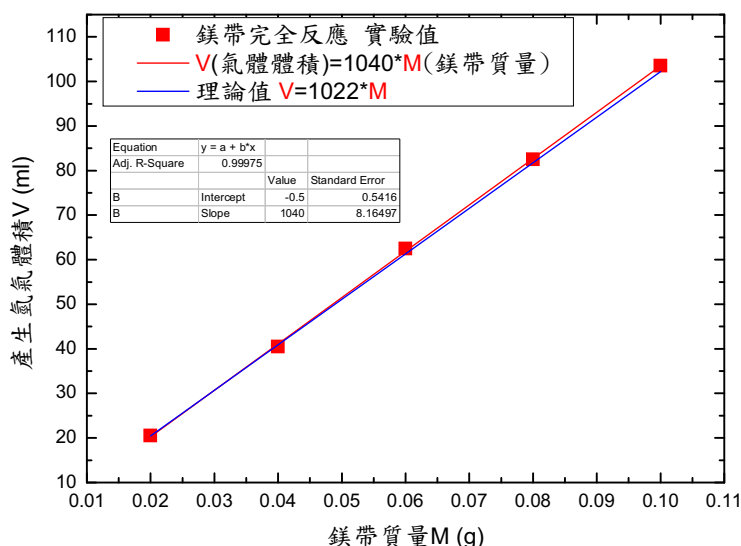


圖 12 自製體積量測系統實驗上所量測的氣體體積與理論值的比較圖

- (5) 比較實驗值與理論值：實驗值： $\Delta V = 1040M$ ；理論值： $\Delta V = 1022M$

$$\text{誤差} = \frac{\Delta V_{\text{實驗值}} - \Delta V_{\text{理論值}}}{\Delta V_{\text{理論值}}} = \frac{1040M - 1022M}{1022M} \times 100\% = 1.76\%$$

結論：誤差極小，故可知本組所設計之自製氣體體積量測系統，有高精確度。

二、探討硫酸銅加速鋅與鹽酸反應速率的機制。

實驗二、探討添加硫酸銅的濃度對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 綜合實驗 2 所得結論：
 - (1) 添加的**硫酸銅量並非越多越好**，太濃的加速效果反而不好。
 - (2) 鋅粉在與硫酸銅、鹽酸反應時，銅離子快速被還原成銅而上浮，溶液的藍色漸淡，而氫氣快速產生。
 - (3) 銅被還原後，有**附著在鋅粉上的現象**。
2. 銅離子有參與反應，且被還原成銅，因而**量減少**，故**銅離子並非此反應的催化劑**。
3. 經查標準還原電位表後發現：鋅離子還原成鋅的標準還原電位： -0.76V ；氫離子還原成的氫： 0V ；銅離子還原成銅： $+0.34\text{V}$ 。也就是銅的標準還原電位最大，還原趨勢最大，當鋅粉周圍有氫離子與銅離子彼此競爭時，**鋅粉會先將電子傳遞給銅離子**，使藍色的銅離子還原成紅色的銅。
4. 加入濃度 0.8M 以上的硫酸銅會使加速效果變差，推測原因為：銅離子會與氫離子競爭，而銅離子的還原傾向較大，故鋅先將銅還原，才還原氫離子，若硫酸銅濃度太大，鋅粉會消耗太多，使氫氣產生的速率變慢。

實驗三、探討添加硫酸銅、硫酸鈉、硫酸鋅、硫酸亞鐵對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

1. 硫酸鋅及硫酸鈉不會加速反應，而硫酸亞鐵與硫酸銅會加速反應的進行。
2. 硫酸鹽中的金屬離子，要是還原電位高於或等於鋅者，如：鈉離子、鋅離子，皆無法提高鋅粉反應產生氫氣的速率；而**還原電位低於鋅者**，如亞鐵離子與銅離子，則**可提高鋅粉反應產生氫氣的速率**。

三、比較硫酸銅影響鎂與鹽酸反應速率的情形，以推測其加速的機制。

實驗四、探討添加硫酸銅、硫酸鋅、硫酸鈉對鎂帶與鹽酸反應速率之影響

1. 加入硫酸鋅與硫酸銅會加速反應，證明還原電位低於鎂的離子，可加速氫氣的產生。
2. 加入硫酸鈉，氫氣的產生並無加速，證明還原電位高於鎂的離子，無法加速氫氣的產生。

3. 此實驗的結論與實驗 3 相同，證明了硫酸鹽中的金屬離子，要是還原電位較高，則無法提高金屬反應出氫氣的速率；若金屬離子的還原電位較低，則可提高金屬反應出氫氣的速率。
4. 綜合以上討論，可知：加入還原電位較鋅低的金屬離子，也就是可被鋅還原的金屬離子，才有加速鋅粉產生氫氣的效果。

四、將活性不同的金屬以導線連接，觀察氫氣產生的情形

實驗五、探討不同金屬片彼此連接的影響

1. 由實驗結果可知：
 - (1) 鋅片是經由金屬導線而影響到銅片，使銅有還原氫離子而產生氫氣的能力。
 - (2) 鋅片須在本身可解離的環境下，才能去影響到銅的還原能力。
 - (3) 兩片不同的金屬片，若還原電位差越大，則電子傳遞的情形將越明顯，即越能使低還原電位的金屬片產生氫氣。
2. 綜合以上結論，本組推測：因為鋅活性較高，故易解離出鋅離子與電子，電子經由導線傳遞給銅片，而銅片再將電子傳遞給水中的氫離子，使氫氣產生，如圖 13。

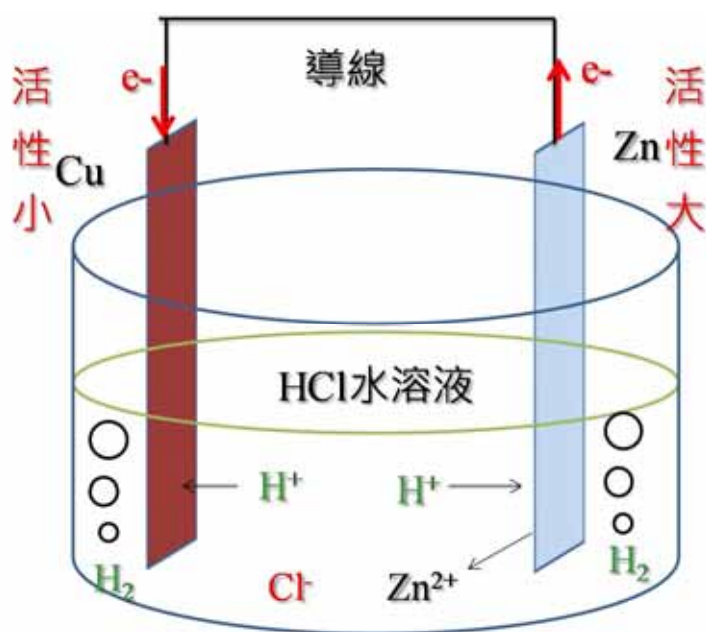


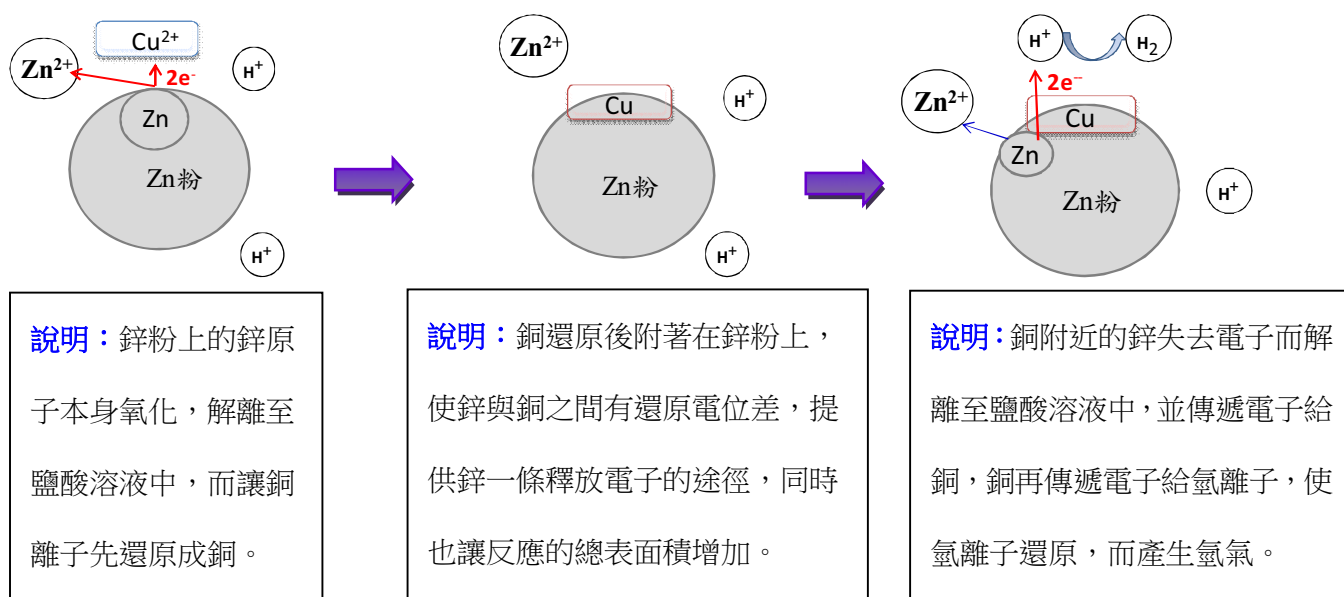
圖 13 鋅片經由導線影響銅片還原能力的示意圖

五、以現有的實驗證據與理論，推測出硫酸銅加速鋅粉產生氫氣的機制

1. 歸納現有的實驗證據，可得的結論如下：

- (1) 銅離子並非此反應的催化劑。
- (2) 硫酸銅濃度並非越高越好，加入太濃的硫酸銅加速效果較差。
- (3) 銅離子被還原後有**附著在鋅粉上的現象**。
- (4) 銅離子的還原趨勢大，當鋅粉周圍有氫離子與銅離子彼此競爭時，鋅粉會傾向將電子傳遞給銅離子，而**使銅離子先還原成銅**。(理論)
- (5) 加入還原電位較鋅低的硫酸鹽類金屬離子，也就是**可被鋅還原的金屬離子，才有加速鋅粉產生氫氣的效果**。
- (6) **鋅片在本身可解離的環境下，可經由導線，影響到銅的還原能力**。

2. 本組基於以上實驗證據與理論，推測硫酸銅加速鋅粉產生氫氣的機制如下：



此機制推得：加速氫氣產生的主角並非銅離子，而是銅。被鋅還原的銅附著在鋅粉上，使每一顆鋅粉都有如一顆小鋅銅電池，銅的附著提供鋅一條釋放電子的途徑，也讓反應的總表面積增加，使得氫離子有更多機會獲得電子而還原成氫。

本組由實驗證據與理論推測出上述反應機制，但此機制仍有許多疑點待實驗證明，為了驗證此機制的正確性，故做了以下實驗：

六、驗證此反應機制的正確性

疑點一、真的是銅加速了反應嗎？

追加實驗一、探討不同質量的銅粉對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

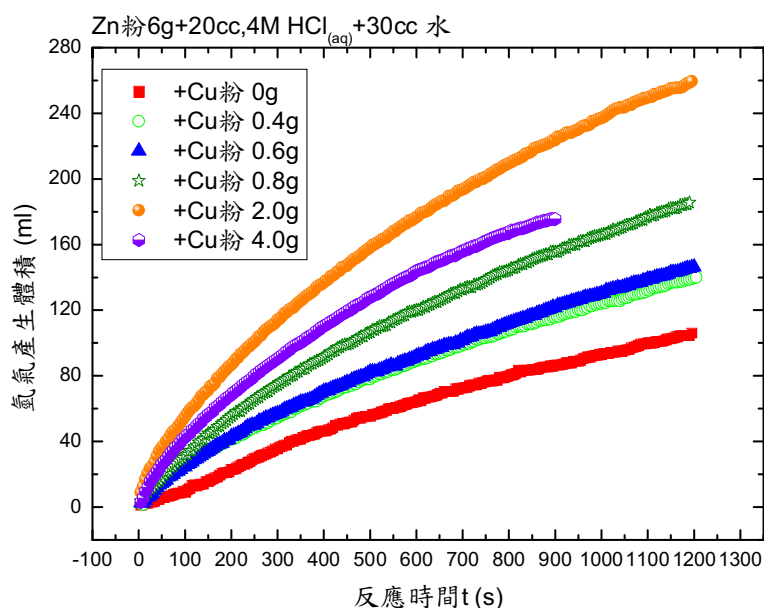


圖 14 在鋅粉與鹽酸的反應中，添加不同質量的銅粉，產生的氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 單純的銅粉，一樣可加速鋅粉與鹽酸的反應。
2. 銅粉在加速反應的過程中，不斷往水面上浮，推測是銅粉在加速反應的過程中，會與鋅粉結合，而產生結構稀疏的鋅銅塊，反應完後銅粉有附著在鋅粉上的現象。

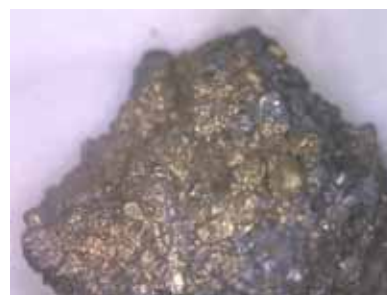
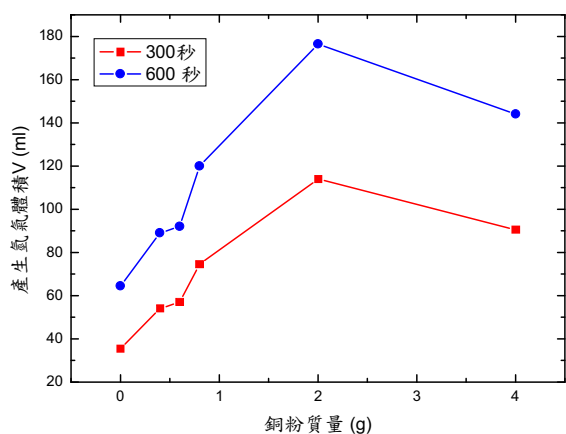


圖 16 銅粉附著於鋅表面

圖 15 固定時間下，所添加的銅粉質量與產生的氫氣體積關係圖。

結論：

1. 銅才是加速此反應的關鍵角色。
2. 硫酸銅之所以可以加速氫氣的產生，是因銅離子會被鋅還原成銅，而銅才加速了此反應。

疑點二、若加速反應的真正主角是銅，那為何銅能加速反應？

反應速率跟反應物本性、濃度、接觸面積、溫度、催化劑有關。本實驗環境為恆溫、且銅粉為固體，因此反應速率變快並非溫度、濃度的影響，根據上述機制，銅加速反應可能與銅增大反應面積、鋅銅間電子的傳遞或銅是此反應的催化劑有關，故須實驗以找到以下證據：

- (1) 銅增大鋅的反應面積而加速反應的證據。
- (2) 鋅銅間電子的傳遞加速了反應的證據
- (3) 銅有參與反應但反應前後量不變，也就是銅是此反應催化劑的證據。

追加實驗二、探討銅粉顆粒大小對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

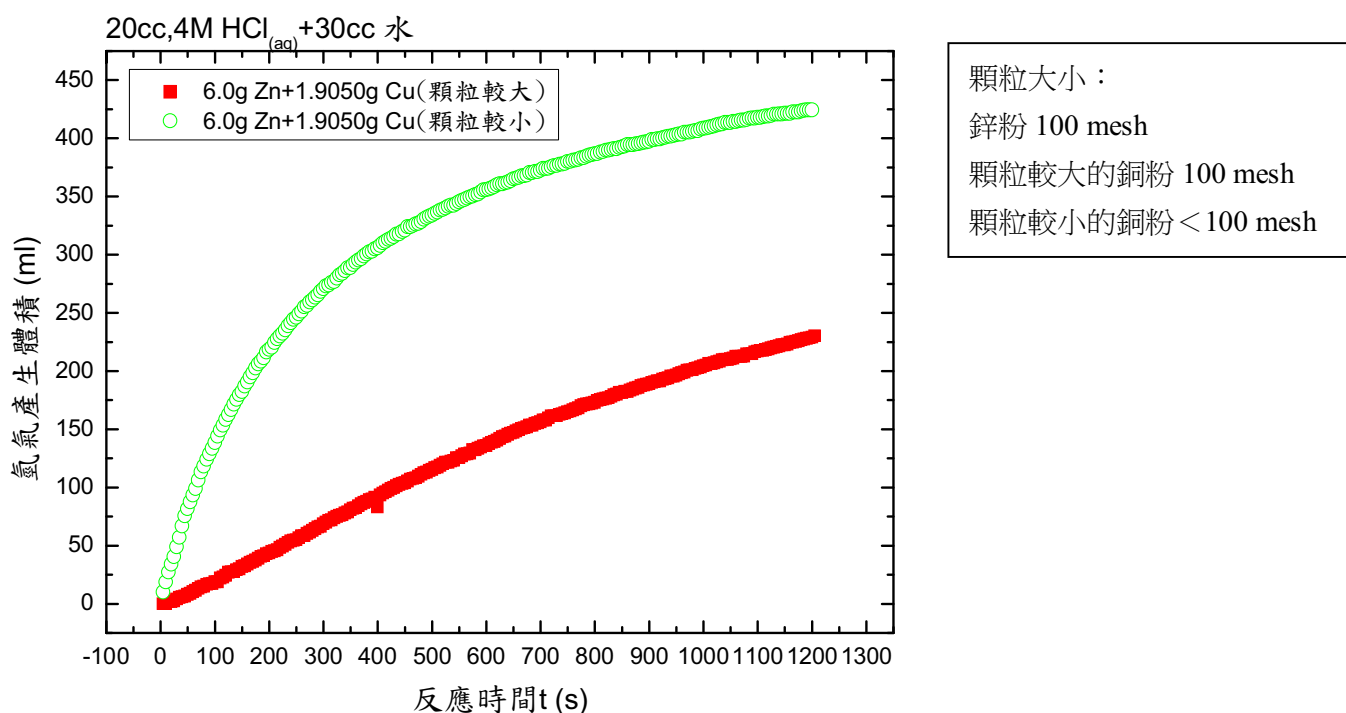


圖 17 鋅粉與鹽酸反應中，添加同質量但不同顆粒大小的銅粉，產生氫氣的體積與時間關係圖。

說明：銅粉顆粒越小，總接觸面積越大，其加速效果越明顯，故可知銅粉加速反應的原因，與銅粉總接觸面積有關。

追加實驗三、比較硫酸銅與銅粉對鋅粉與鹽酸反應速率之影響

硫酸銅被鋅還原的反應方程式： $1 \text{ CuSO}_4 + 1 \text{ Zn} \rightarrow 1 \text{ Cu} + 1 \text{ ZnSO}_4$

由此方程式可知：1 莫耳的硫酸銅可與 1 莫耳的鋅反應產生 1 莫耳的銅，且鋅與銅的還原電位差較鋅與氫大，代表銅離子的還原趨勢大，當鋅粉周圍有氫離子與銅離子彼此競爭時，鋅粉會傾向先將電子傳遞給銅離子，使銅離子先還原成銅，如圖 18：

故本組比較以下的反應中氫氣產生速率的差異：

反應一、6g 鋅粉+0.03 mole 大顆粒銅粉

反應二、6g 鋅粉+0.03 mole 小顆粒銅粉

反應三、6g 鋅粉+0.03 mole 鋅粉+0.03 mole 的硫酸銅

產生 0.03 mole 的銅

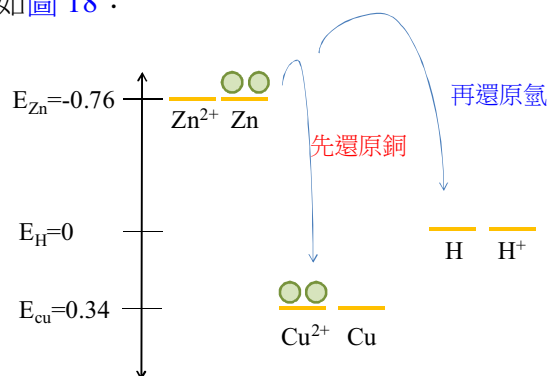


圖 18 鋅、氫與銅的還原電位圖。

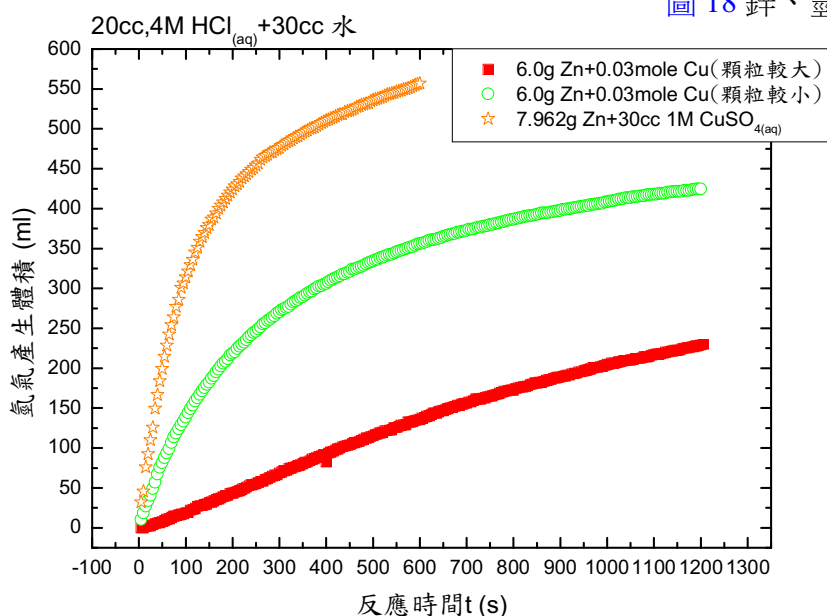


圖 19 鋅粉與鹽酸的反應中，分別添加硫酸銅溶液與銅粉，產生的氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 反應三中 0.03 mole 的硫酸銅會與 0.03mole 鋅粉反應，產生 0.03mole 的銅粉，故最後三個反應皆含 0.03mole 的銅粉，反應三中的銅是由硫酸銅還原而來，故附著在鋅粉上，且產生的銅有較多的孔隙，總接觸面積較大。
2. 硫酸銅還原所產生的銅加速效果較銅粉好，可知銅粉加速反應的原因，與銅的總表面積、銅與鋅的附著度程度有關。

追加實驗四、比較鋅片連接鋅片與鋅片連接銅片後氫氣產生的速率

反應一、單純鋅片與鹽酸反應

反應二、鋅片連接銅片與鹽酸反應

反應三、鋅片連接鋅片與鹽酸反應



圖 20 以導線連接鋅片與銅片，並加入鹽酸，收集鋅片與銅片所產生的氣體。

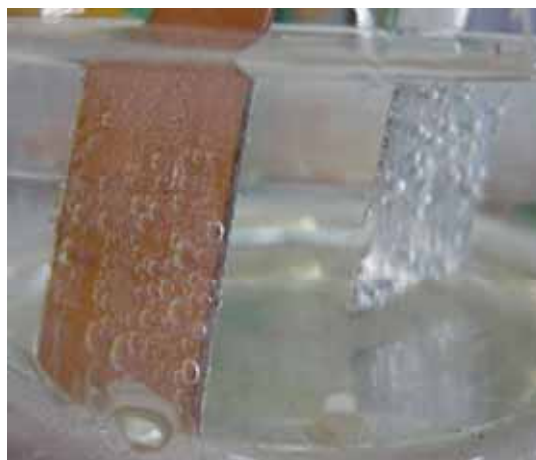


圖 21 鋅片與銅片皆產生氣體

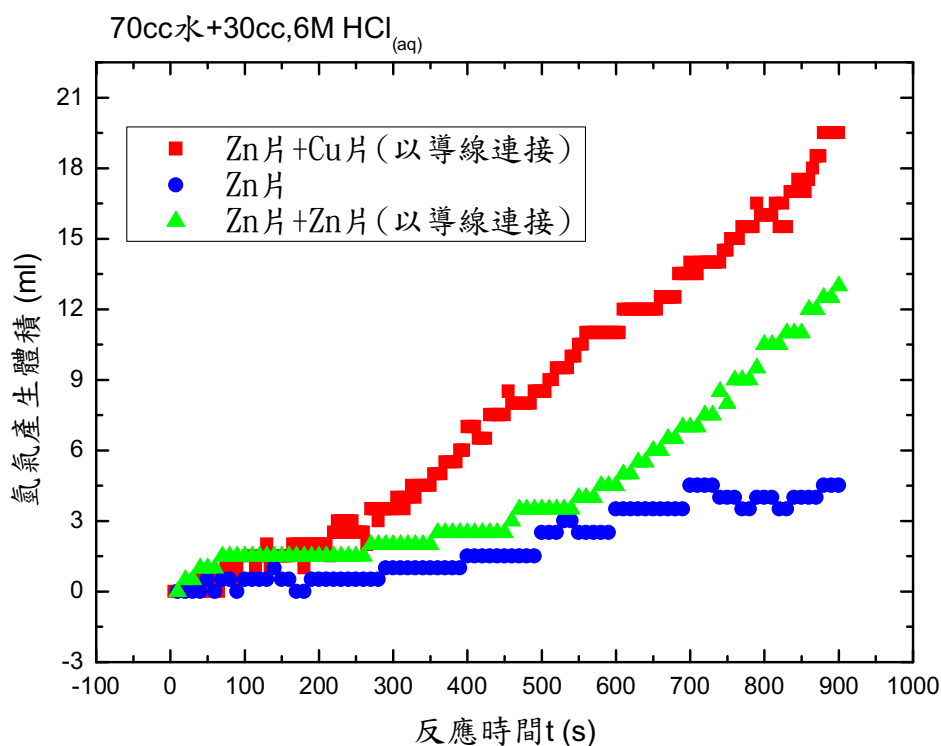


圖 22 單純鋅片、鋅片連接銅片、鋅片連接鋅片產生的氫氣體積與時間關係圖。

說明：

1. 鋅片連接銅片，則氫氣可在銅片與鋅片上產生，反應面積較大，故產生氫氣的速率比單純鋅片要快。

- 比較鋅片連接銅片與鋅片連接鋅片的實驗結果發現：兩反應中，金屬片與鹽酸的總接觸面積相同，但鋅片連接銅片的加速效果較明顯，代表銅片加速氫氣產生的原因，不只與接觸面積有關。
- 此實驗證明：銅片不需要與鋅片接觸，只要銅片與鋅片以導線連接，使電子可從鋅傳至銅，就會影響到鋅還原氫離子的速率，銅的角色可能是加快鋅電子的釋放，其細節仍須進一步探討。
- 由於銅片不需要與鋅片接觸也能加速反應，此結果降低了銅是催化劑的可能性。

追加實驗五、比較相同接觸面積下的「鋅粉」與「銅粉+鋅粉」的氫氣產生速率

反應一、6g 鋅粉 + 0.03 mole 銅粉

反應二、6g 鋅粉 + 0.03 mole 鋅粉

銅粉與鋅粉顆粒大小皆為 100 mesh，故總表面積相同。

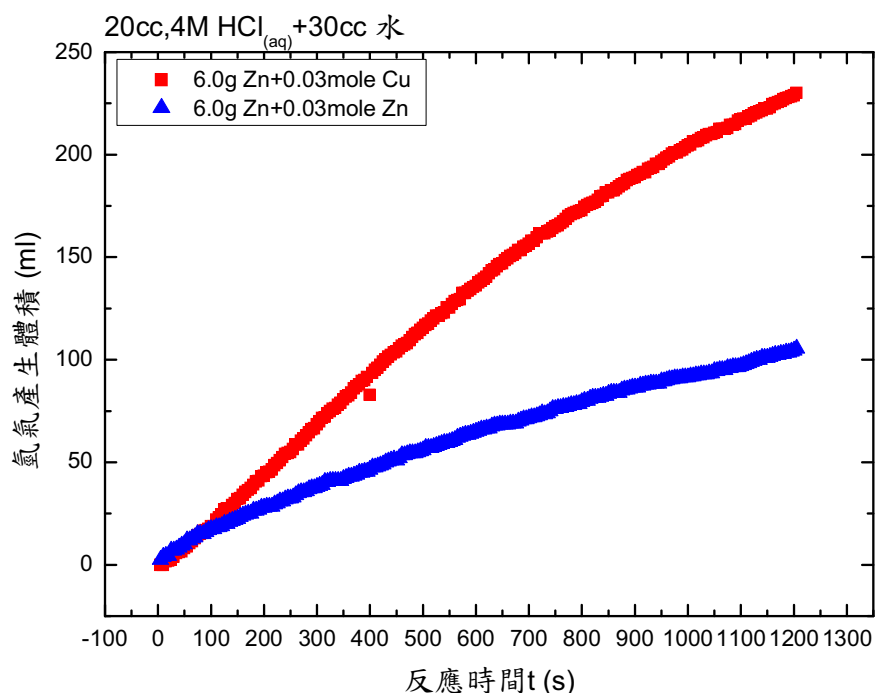
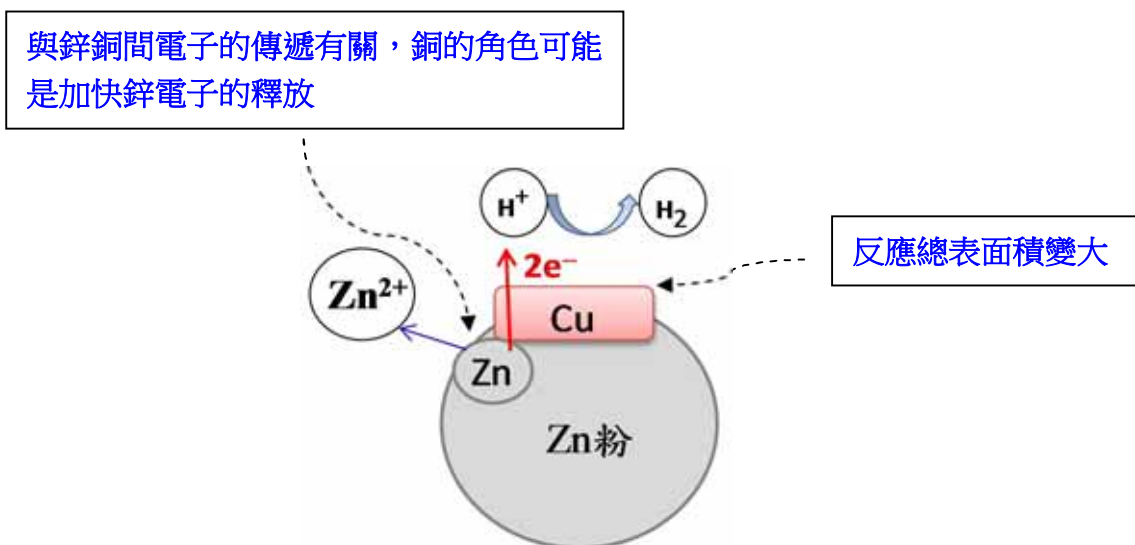


圖 23 相同接觸面積下的「鋅粉」與「銅粉+鋅粉」所產生的氫氣體積與時間關係圖。

說明：

- 兩反應中的金屬粉末總接觸面積相同，但 6g 鋅粉+0.03mole 銅粉反應速率明顯較快。
- 此實驗證明：銅的存在確會影響到鋅還原氫離子的速率，銅的角色可能是加快鋅電子的釋放，其細節仍須進一步探討。

3. 歸納追加實驗二到五的證據，可得的結論如下：
- (1) 若讓銅粉的總表面積越大，則加速效果越明顯。
 - (2) 銅加速氫氣產生的原因，不只與接觸面積有關。
 - (3) 銅不需要與鋅接觸，只要銅與鋅以導線連接，使電子可從鋅傳至銅，就會影響到鋅還原氫離子的速率。
 - (4) 由於銅片不需要與鋅片接觸也能加速反應，此結果降低了銅是催化劑的可能性。
4. 本組基於以上實驗證據，推測硫酸銅還原成銅後有加速產生氫氣的效果，其原因如下：
- (1) 硫酸銅的銅離子被鋅還原成銅，而附著在鋅粉上，由於還原的銅有許多孔隙，且電子可由鋅傳遞至銅，故增大了總反應面積。
 - (2) 鋅銅間電子的傳遞加速了反應，銅的角色可能是加快鋅電子的釋放，其細節仍須進一步探討。
 - (3) 銅加速氫氣產生的原因推測如下圖



捌、結論

- 一、本實驗設計的氣體體積量測系統，經由實驗驗證，所測得的氣體體積，**誤差約為 1.76%**，**精確度高**，且所用的原理與裝置皆簡單，除了可應用於學校氣體實驗外，亦可提供需精確測量出氣體體積的研究。
- 二、以現有的實驗證據及理論，推得硫酸銅加速鋅粉反應產生氫氣的機制如下：
鋅先將銅離子還原，使銅附著在鋅粉上，因鋅與銅間有電位差，提供鋅一條釋放電子的理想途徑，電子將由鋅傳遞至銅，再由銅傳遞給鹽酸中的氫離子，而產生氫氣。
- 三、實驗證明：**銅才是加速此反應的關鍵**，而硫酸銅之所以可以加速氫氣的產生，是因銅離子會被鋅還原成銅。
- 四、實驗證明：硫酸銅還原成銅後有加速鋅粉產生氫氣的效果，其原因如下：
 1. 硫酸銅的銅離子被鋅還原成銅，而附著在鋅粉上，由於還原的銅有許多孔隙，且電子可由鋅傳遞至銅，故**增大了總反應面積**。
 2. 銅與鋅之間只要有**電子上的傳遞**，**就會加快鋅還原氫離子的速率**，銅的角色可能是加快鋅電子的釋放。
- 五、未來將持續實驗，期望能印證並修正本研究的兩個論點：
 1. 硫酸銅加速鋅粉與鹽酸反應的機制。
 2. 銅加速鋅粉與鹽酸反應的原因：銅是否能使鋅釋放電子的速度加快？本組實驗有看到此實驗現象，但仍需足夠的實驗證據加以驗證，才能堅定此一說法。

玖、參考資料

1. 林英智（2010）。國中自然與生活科技 2 下教師手冊備課篇， 台北市：康軒文教事業。
2. 林旅安、江鍵衡、楊士賢、余玉娟（2007）。電子流動的真相。 中華民國第 47 屆中小學科展高中組化學科參展作品。
3. 盧秉彝、林子耕（2008）。即產即用製氫瓶。中華民國第 48 屆中小學科展國中組理化科參展作品。
4. 蔡育姿（1996）避免污染之製氫法。中華民國第 36 屆中小學科展國中組化學科參展作品。

【評語】 030203

1. 實驗設計顯見用心。
2. 實驗內容宜以鋅為主軸探討，方與主題吻合。
3. 銅在反應中的角色可再討論。