

避免污染之新穎製氫法

國中組化學科第三名

台北市立陽明高級中學國中部

作者：蔡育姿

指導教師：陳英杰、宋芬菊

一、研究動機

在國二的理化課程裡學到活性金屬與稀酸作用可產生氫氣，但在課本中並沒有介紹有關的實驗，老師說過去的教材有安排這方面的實驗，但由於氫氣的製備在實驗操作上有許多不便之處，因此將其刪除，十分可惜。於是進行以下的實驗，希望能改良現有裝置之缺點。

二、研究目的

- (一)設計簡易且安全的氫氣製備裝置。
- (二)尋找可促進鋅與稀硫酸反應的理想添加物。
- (三)提供原有「銅鹽催化原理」之證明方法。
- (四)找出實驗室製備氫氣的適當條件。

三、研究器材

燒杯、量筒、量瓶、吸量管、安全吸球、塑膠注射筒、壓克力板、分析天平、電子秤、滴管、直尺、剪刀、鱷魚夾、秤量紙、濾紙、恆溫槽、刮勺、砂紙、鑷子、溫度計、碼錶、蒸餾水、硫酸、鋅片、銅片、硫酸銅、氯化銅、醋酸銅、硫酸鈉、硫酸亞鐵、氯化鈉、氯化鉀。

四、研究過程

- (一)實驗裝置的設計與製作。(略)
- (二)尋找實驗室製氫的理想條件：
 - 1. 硫酸濃度對反應速率的影響
 - (1)配置 0.1M 硫酸 60ml 於燒中杯中。
 - (2)將處理好之鋅片 (1cm × 1cm × 0.05cm) 放入塑膠注射筒內，再以注射筒吸取上述溶液 50ml，並立刻將其放置於壓克力架上，同時開始計

時。

- (3)每隔一分鐘記錄一次量筒所收集之溶液體積。
- (4) 15 分鐘後，以活塞將注射筒內剩餘的溶液壓出，並移至通風櫥內將氫氣排出。
- (5)將殘餘鋅片取出並回收廢液。
- (6)改變濃度，重覆上述操作，並將結果作圖比較。

2. 溫度對反應速率的影響

- (1)燒杯內盛 0.5M 硫酸溶液 30ml，並置於通風櫥內的恆溫槽中，溫度控制於 25 °C。
- (2)放入處理過且已稱重的鋅片 (3cm × 1cm × 0.05cm)。
- (3) 20 分鐘後取出鋅片，乾燥後稱重。
- (4)改變溫度，重覆上述操作。
- (5)計算不同溫度下反應所消耗的鋅質量，並作圖比較之。

3. 鋅片面積大小對反應速率的影響

- (1)實驗方法同第 1. 部份，反應溫度為室溫。
- (2)鋅片大小尺寸分別為 0.5cm × 0.5cm × 0.05cm; 0.5cm × 1cm × 0.05cm; 1cm × 1cm × 0.05cm ; 1.5cm × 1cm × 0.05cm; 2cm × 1cm × 0.05cm。

4. 添加鹽類對反應速率的影響

- (1)取 5 個內盛 60ml 1.0M 硫酸的燒杯，其中 4 個依序加入 0.002mol 的硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鈉、氯化鈉。
- (2)待上述添加銅鹽完全溶解後，分別進行反應，反應時間皆為 8 分鐘，每隔 0.5 分鐘測量一次所收集的氫氣體積。
- (3)將結果作圖比較。

5. 添加銅鹽對反應速率的影響

- (1)取 6 個內盛 60ml 0.5M 硫酸的燒杯，其中 5 個依序加入 0.0005mol、0.0010mol、0.0015mol、0.0020 mol、0.0025mol 的硫酸銅。
- (2)待硫酸銅完全溶解後，分別進行反應，反應時為 15 分鐘，每隔 1 分鐘測量一次所收集的氫氣體積。
- (3)將硫酸銅改為氯化銅、醋酸銅，重覆上述操作。
- (4)將結果作圖比較。

6. 添加氯化物對反應速率的影響

- (1)取 6 個內盛 60ml 0.5M 硫酸的燒杯，其中 5 個依序加入 0.05mol、0.10mol、0.15mol、0.20mol、0.25mol 的氯化鈉。

(2)待氯化鈉完全溶解後，分別進行反應，反應時間為 10 分鐘，每隔 0.5 分鐘測量一次所收集的氫氣體積。

(3)以氯化鉀取代氯化鈉，重覆上述操作。

(4)將結果作圖比較。

(三)探討銅鹽加速反應的原因

1. 添加銅片對反應速率的影響

(1)將盛有 100ml 0.5M 硫酸的燒杯置於通風櫥內的電子秤上。

(2)取磨光處理後之鋅片 ($12\text{cm} \times 1\text{cm} \times 0.05\text{cm}$) 及銅片 ($11\text{cm} \times 1\text{cm} \times 0.05\text{cm}$) 各一，利用鱷魚夾將兩金屬片緊貼固定，並放入上述溶液中開始反應。

(3)每隔 1 分鐘，記錄一次電子秤上顯示的總重量。

(4)將結果作圖比較。

2. 銅鹽和鋅片的取代反應速率

(1)取一片已磨光處理過的鋅片 ($5\text{cm} \times 1\text{cm} \times 0.05\text{cm}$)，秤重後放入盛有 100ml 0.5M 硫酸銅的燒杯內。

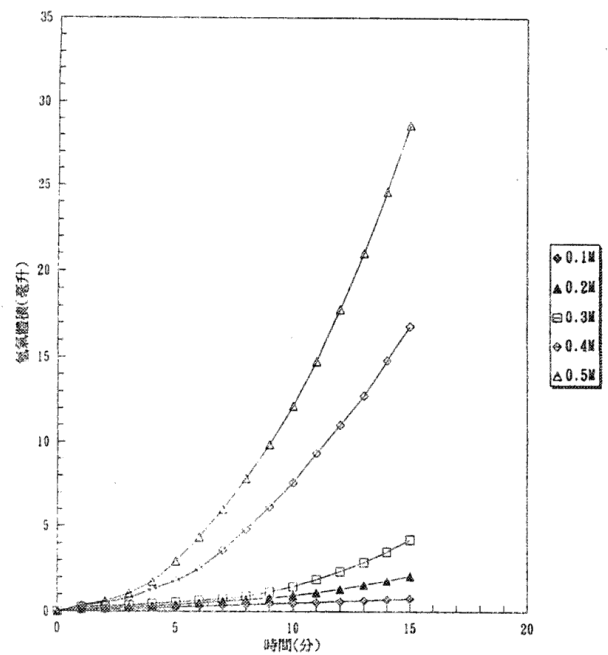
(2)反應 20 分鐘後，取出鋅片並清除附著之銅，洗淨且乾燥後秤重。

(3)將硫酸銅改為氯化銅、醋酸銅、重覆上述操作。

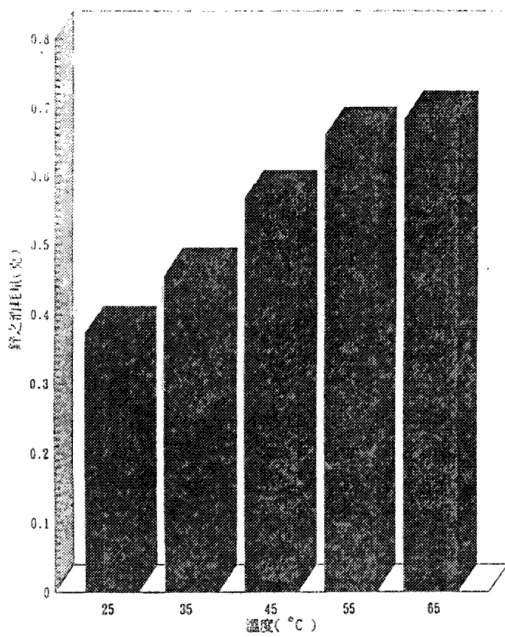
(4)將結果作圖比較。

五、實驗結果

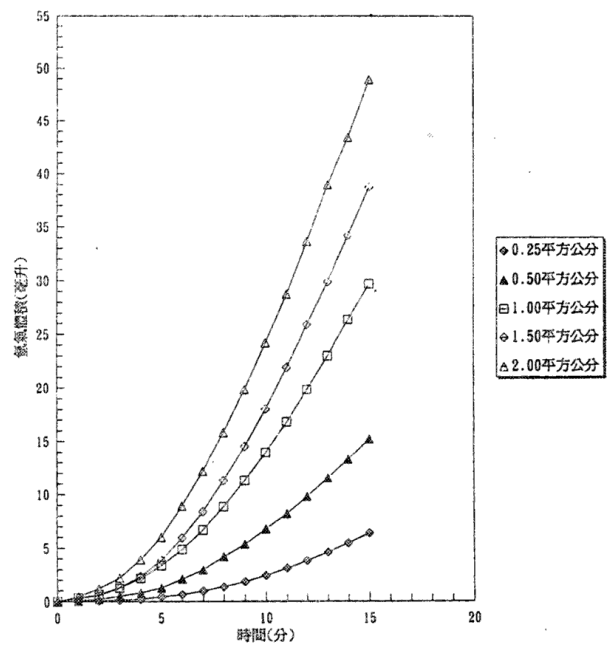
圖(1): 硫酸濃度對反應的影響



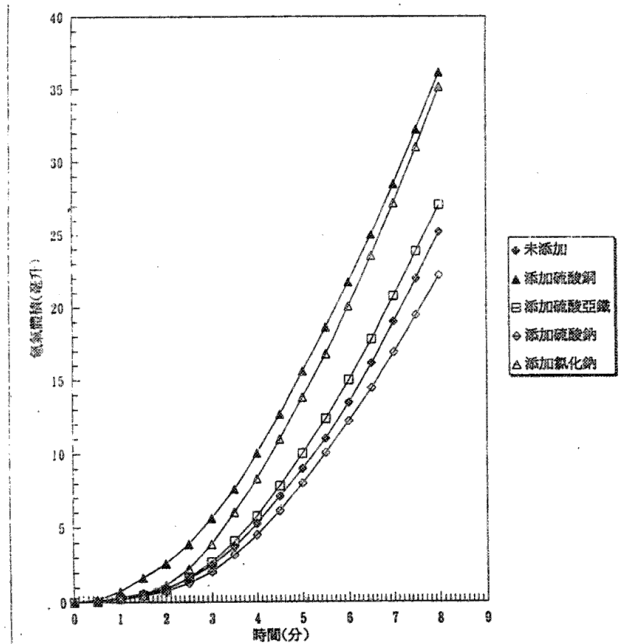
圖(2): 溫度對反應的影響



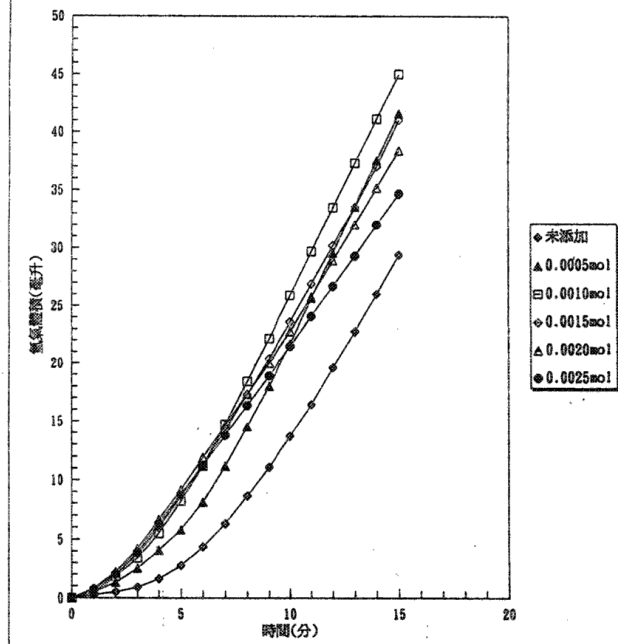
圖(3): 鋅片面積大小對反應的影響



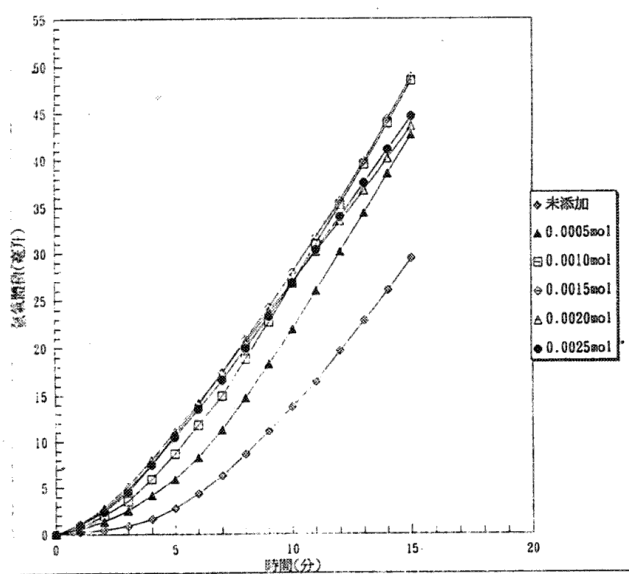
圖(4): 添加鹽類對反應的影響



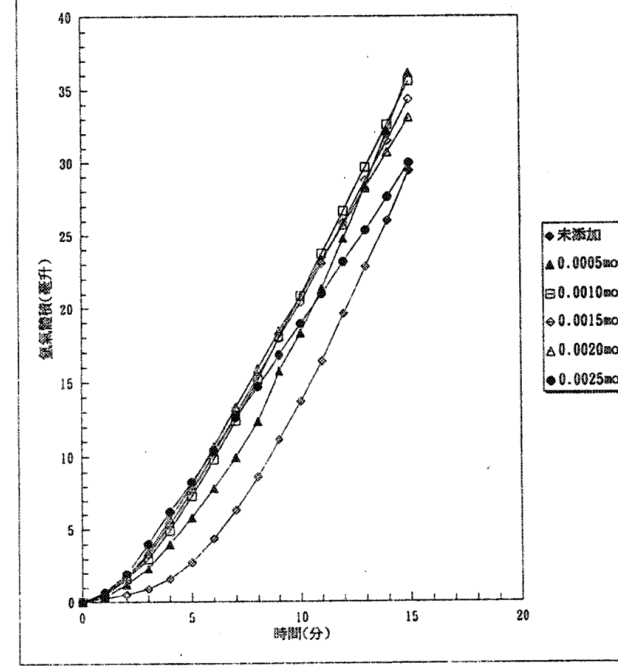
圖(5): 添加硫酸銅對反應的影響



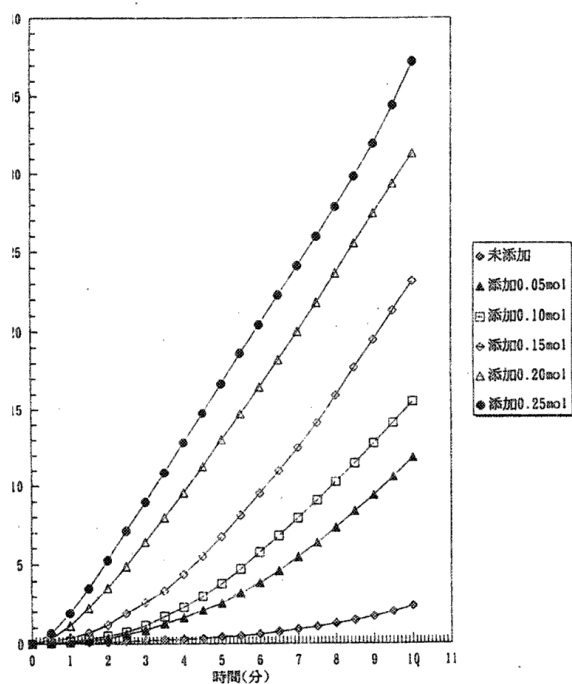
圖(6): 添加氯化銅對反應的影響



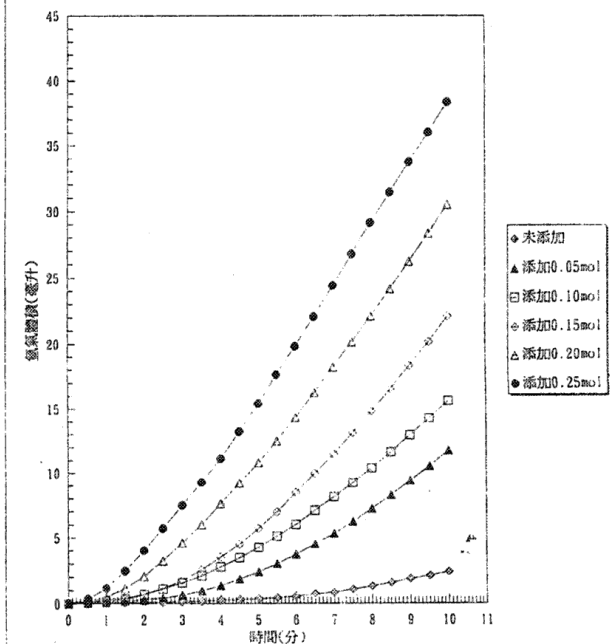
圖(7): 添加醋酸銅對反應的影響



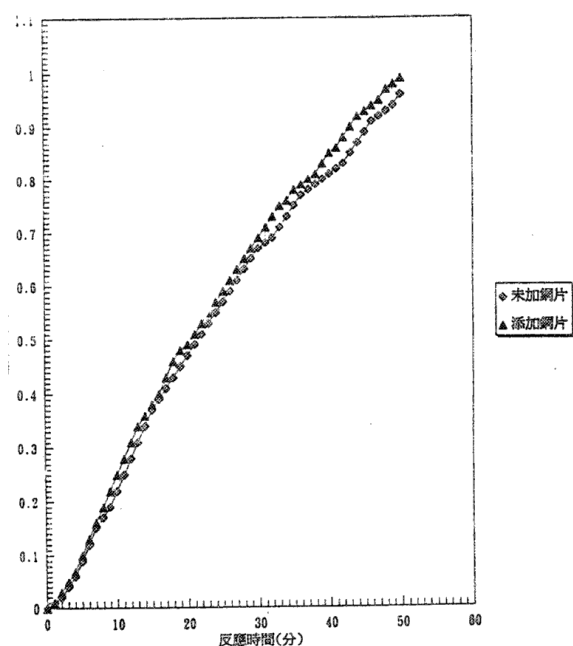
圖(8):添加氯化鈉對反應的影響



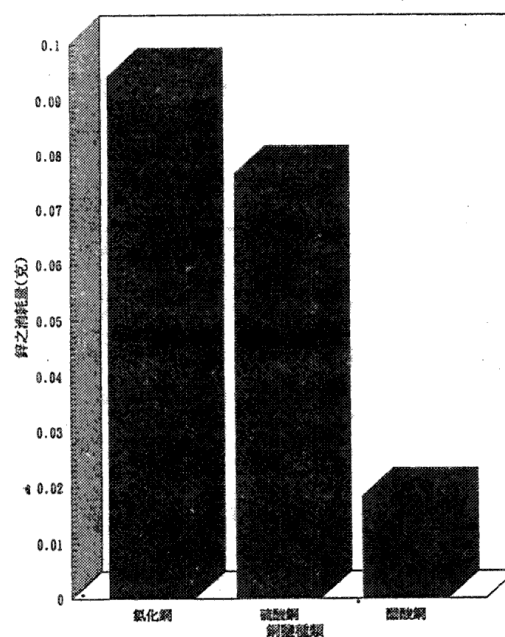
圖(9):添加氯化鉀對反應的影響



圖(10):添加銅片對反應的影響

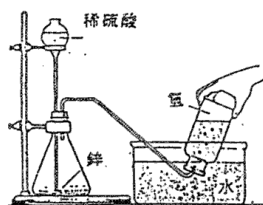


圖(11):不同銅鹽之取代反應速率

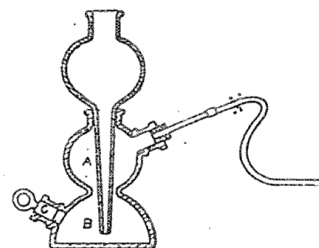


六、討論

(一)下圖(12)及圖(13)為一般氫氣的製備與收集方法，圖(12)之排水集氣



圖(12)鋅與稀硫酸作用製取氫



圖(13)克卜氣體發生器

法裝置的缺點為：

1. 浪費時間：器材準備及實驗操作的手續繁多。
2. 浪費藥品：耗用大量藥品且不能隨時暫停反應，以致於製造的氫氣遠多於需求量，難以達到減廢之環保要求。
3. 具危險性：因為氫氣容易由漏斗及集氣瓶逸出，而且收集之氫氣量多，檢驗時易發生氫爆，增加操作的危險性。
4. 純度不佳：由於錐形瓶內原有的空氣難以完全排出，造成收集的氫氣中混有空氣。

圖(13)的克卜氣體發生器(Kipps gas generator)主要缺點有：

1. 反應一段時間後，鋅片變小而易從上瓶A掉落至下瓶B，因而失去反應可暫停的功能。
2. 反應初始瓶內充滿空氣，待A內空氣完全排出所收集的才是純氫，而空氣與氫皆為無色氣體，難以判斷何時空氣已完全被排出。
3. 瓶塞C常因瓶內壓力太大而彈出，造成容器內的酸液溢出。
4. 裝置成本高，且為玻璃器皿，萬一發生氫爆，十分危險。
5. 藥品消耗量大，易造成資源浪費。

(二)本實驗所設計之裝置(如圖(14))具有下列優點：

1. 僅需使用塑膠注射筒、量筒、壓克力架(可以鐵架代替)，器材簡單、操作安全，使用上非常方便且使用後清洗容易，更重要的是製作之成本低廉。
2. 能應用於製備氫氣、氧氣、二氧化碳、一氧化氮、二氧化氮及二氧化硫。(有毒氣體的製備需在通風櫥內進行)

3. 可直接在注射筒出口處檢驗反應產生之氣體成份。

4. 可以隨時將反應溶液排出以暫停反應，並能控制氫氣之生成量，避免浪費。

5. 使用的硫酸量少且濃度低，手不會接觸到酸液，安全性高。

6. 量筒所收集的排出液能回收再利用，而殘留之鋅片可以取出再使用。（鋅片取出前需以適量水清洗，並利用鑷子夾出）

7. 便於直接測量氫氣的體積，以進行反應速率的研究。

8. 注射筒盛滿反應溶液後可避免空氣進入，能收集高純度的氫。

9. 可避免鋅溶解後產生之鋅離子聚集於鋅表面而隔絕氫離子與鋅繼續作用，造成反應速率減緩甚或停止。

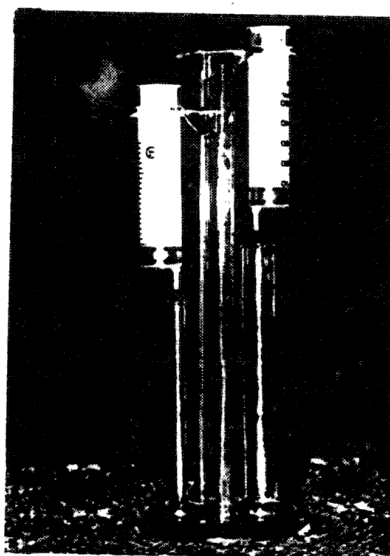
10. 容易直接觀察氫氣的生成及反應情形，頗適合教學，而且集氣過程新穎有趣，可以增加操作者的信心，提高學習興趣。

(三) 研究結果顯示：反應物濃度增加（圖(1)）；或反應溫度增加（圖(2)）；或表面積增加（圖(3)）皆可促進氫的生成速率，完全符合碰撞學說之理論。

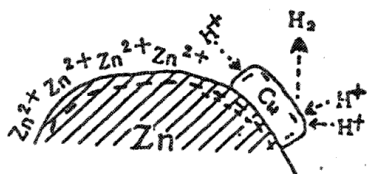
(四) 由於鈉離子為已知不參與實際反應之離子，所以添加硫酸鈉使得反應速率降低，係由於硫酸根之共同離子的效應所造成。此外，過多的硫酸根將會聚集於鋅金屬界面附近，影響鋅溶解出的鋅離子遠離鋅表面，導致鋅的溶解速率下降，即氫氣生成速率降低。

(五) 因為鈉離子不具反應性，所以添加氯化鈉之效果係由於氯離子所主導，因為氯離子可與鋅離子形成 ZnCl_4^{2-} 之錯合物，移走鋅溶解出的鋅離子，以促進鋅的溶解，提高氫氣的生成速率。

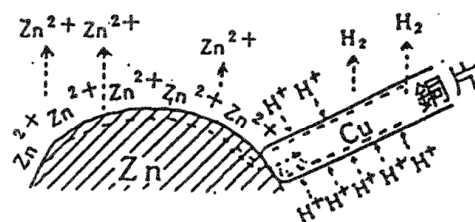
(六) 添加硫酸銅可提高反應的速率，雖然硫酸根有抑制反應之效果，但銅離子卻可克服硫酸根的不良影響，並大幅提高反應之速率。添加銅鹽可加速氫的生成，其原理可依下圖(15)解釋。



圖(14)實驗裝置



圖(15)：銅在鋅表面還原析出之催化原理



圖(16)：銅接觸鋅表面之催化原理

即銅離子在鋅表面還原析出銅，提供鋅一個理想的釋放電子途徑，使得氫離子更易獲得電子而還原成氫，如果鋅表面沒有銅析出而聚集許多鋅離子，將阻礙氫離子獲得電子，降低反應速率；另外，圖(10)之結果可以清楚印證上圖(16)之銅片催化原理。至於添加銅鹽的催化效果比銅片好，可能是取代反應析出的銅與鋅表面接觸較緊密而提供較理想的氫離子還原位置。

- (七)添加硫酸亞鐵之作用有如添加硫酸銅，但亞鐵離子被還原之趨勢不如銅離子，且還原析出的鐵之導電性比銅差，故其促進氫氣生成的效果遠不如添加硫酸銅。
- (八)圖(5)(6)(7)之結果顯示：添加銅鹽可加速氫的生成，尤其是反應剛開始時效果最為顯著，另外數據亦顯示銅鹽的添加量與反應速率並無直接關係。
- (九)比較實驗結果可知，添加等莫耳數的銅鹽，以氯化銅（圖(6)）對反應的催化效果較好，其次是硫酸銅（圖(5)），而醋酸銅（圖(7)）較差。此外，圖(11)顯示鋅和銅鹽取代反應的速率大小順序恰與上述催化效果大小順序相同，其原因可能是氯離子會促進鋅表面的溶解而造成反應表面積擴大以利於反應的進行。此外，醋酸根離子會與溶液中的氫離子結合而造成氫離子的活動力降低而影響氫氣生成速率。
- (十)圖(8)及圖(9)顯示添加氯化鈉或氯化鉀，可大大地提高反應速率，且添加之量愈多反應愈快。其加速反應的效果遠比添加銅鹽顯著，原因可能是氯離子和鋅溶解出的鋅離子結合成錯合物，可以有效移走鋅表面上聚集的鋅離子，而便於氫離子去靠近鋅表面獲得電子還原成氫之故。再者，添加銅鹽所解離出的銅離子會與氫離子競爭電子，將影響氫氣的產生。而氯化鈉價格便宜且無毒性，是促進鋅與稀硫酸反應的理想添加物。

七、結論

- (一)本實驗之製氫法具有裝置簡易、成本低廉、操作安全及容易鑑定氣體性質

之特點，也可應用於一般常見氣體的製備。此外，減少材料消耗量及增加藥品使用次數，以達成減廢之環保要求是本實驗的另一成就。

- (二)本研究提供新穎之實驗方法，證明「銅在鋅表面還原析出之催化原理」（註：此原理取自參資料四第一六一頁）。
- (三)本研究發現氯化物能有效促進鋅與稀硫酸的製氫反應，可避免使用具污染性之銅鹽。
- (四)利用本實驗所設計的裝置進行製氫反應，理想的反應條件為吸取 60ml 0.5M 硫酸（內含 0.2mol 氯化鈉）與注射筒內之鋅片（1cm × 1cm × 0.05cm）在室溫下進行反應。

八、參考資料

- (一)方金祥：簡易安全及快速之氣體製備與其性質之檢驗，化學，第五十一卷第二期，中國化學會出版，民國八十二年，第一七七頁至一八〇頁。
- (二)林麗華：氣體發生器的改良，中華民國第二十四屆中小學科學展覽優勝作品專輯（國中組），國立台灣科學教育館出版，民國七十三年，第二五〇頁。
- (三)張櫻藍等：鋅與硫酸反應之催化劑探討，中華民國第二十一屆中小學科學展覽優勝作品專輯（高中組）國立台灣科學教育館出版，民國七十年，第六十七頁。
- (四)雷敏宏、楊寶旺、廖德章等：化學實驗（上册），高立圖書有限公司出版，民國七十三年，第一六一頁至一六三頁。

評語

本研究旨在提出國中實驗教學中製氫 (H_2) 實驗之改良裝置，使測量氫氣的實驗更精確、實驗更安全，有實用之價值，本研究亦探討水中添加物對製氫之影響，科學研究精神相當不錯，且思考實驗之變因亦相當嚴密，本研究結果可做為國中實驗教學之參考。