

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

030212

探討過氧化氫回收銅的可行性

學校名稱： 宜蘭縣立國華國民中學

作者：	指導老師：
國二 李冠毅	闕文彬
國二 林昱翔	李尚諭
國二 吳沛鴻	

關鍵詞： 過氧化氫、銅、氧化性

摘要

一般用硝酸溶解銅時會產生有毒氣體(NO 、 NO_2)，本研究利用過氧化氫水溶液在適當的酸性條件下溶解銅，具有更環保、更有效率的特性，符合綠色化學的趨勢。研究中採用的酸有醋酸、檸檬酸、酒石酸、硫酸；鹼則有氫氧化鉀、氨水與二乙烯三胺。最後發現以過氧化氫配合硫酸的效果比同濃度的硝酸更好，可以有效的溶解銅金屬。

壹、前言

一、研究動機

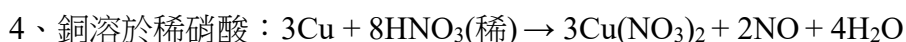
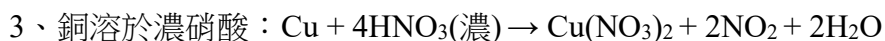
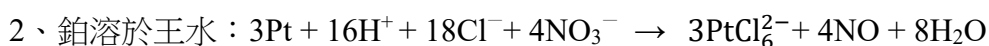
在學習氧化還原課程內容時，老師給我們看了一段竹科回收工廠處理廢棄主機板時的處理過程，主機板上含有多種金屬，有非常高的回收價值，銅更是銅箔基板上重要的金屬。其中溶解銅時所使用的是硝酸，我們詢問老師只能使用硝酸嗎？不能用其它的酸或物質？老師請我們自行查閱相關資料後和他討論。經過討論後，我們發現硝酸是一種強氧化性的酸，利用硝酸溶解銅時會產生 NO 或 NO_2 有毒氣體。而硝酸還原成 NO_2 時的電位為 0.80 V ，我們尋找可替代硝酸的物質，最後找到過氧化氫還原成水的還原電位是 1.77V ，應該也可以溶解銅，就不會產生有毒氣體，所以我們決定著手進行實驗加以研究。

二、研究目的

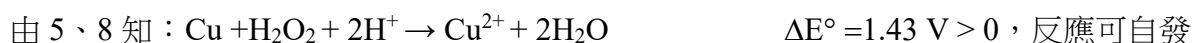
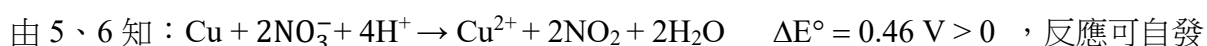
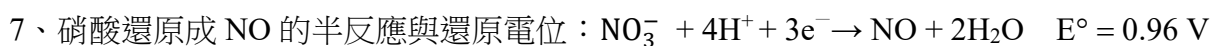
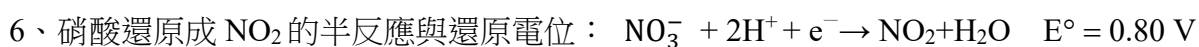
- (一) 探討銅片與不同濃度硝酸的反應。
- (二) 探討以不同濃度醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (三) 探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (四) 探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (五) 探討以不同濃度氫氧化鉀為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應。
- (六) 探討以不同濃度氨水為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應。
- (七) 探討以不同濃度硫酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (八) 探討銅片在 1.0 M 的各種溶液中經過 15 小時後的反應差異
- (九) 比較銅片與過氧化氫的反應在不同酸鹼性條件下產生氣體的反應速率

三、文獻回顧

由文獻資料可以知道必須要使用王水才能將金或鉑溶解掉，要將銅溶解掉則必須使用硝酸，隨著硝酸的濃度不同，有可能產生有毒的 NO(g) 或 $\text{NO}_2\text{(g)}$ ，相關的反應式如下：



我們希望能尋找硝酸的替代品，避免產生有毒的氣體，因此我們從還原電位著手，找出比硝酸還原電位更大的過氧化氫，由下列資料可以知道硝酸還原成 NO_2 與 NO 的標準還原電位分別是 0.80 V 與 0.96 V，而過氧化氫還原成水的還原電位則高達 1.77 V。



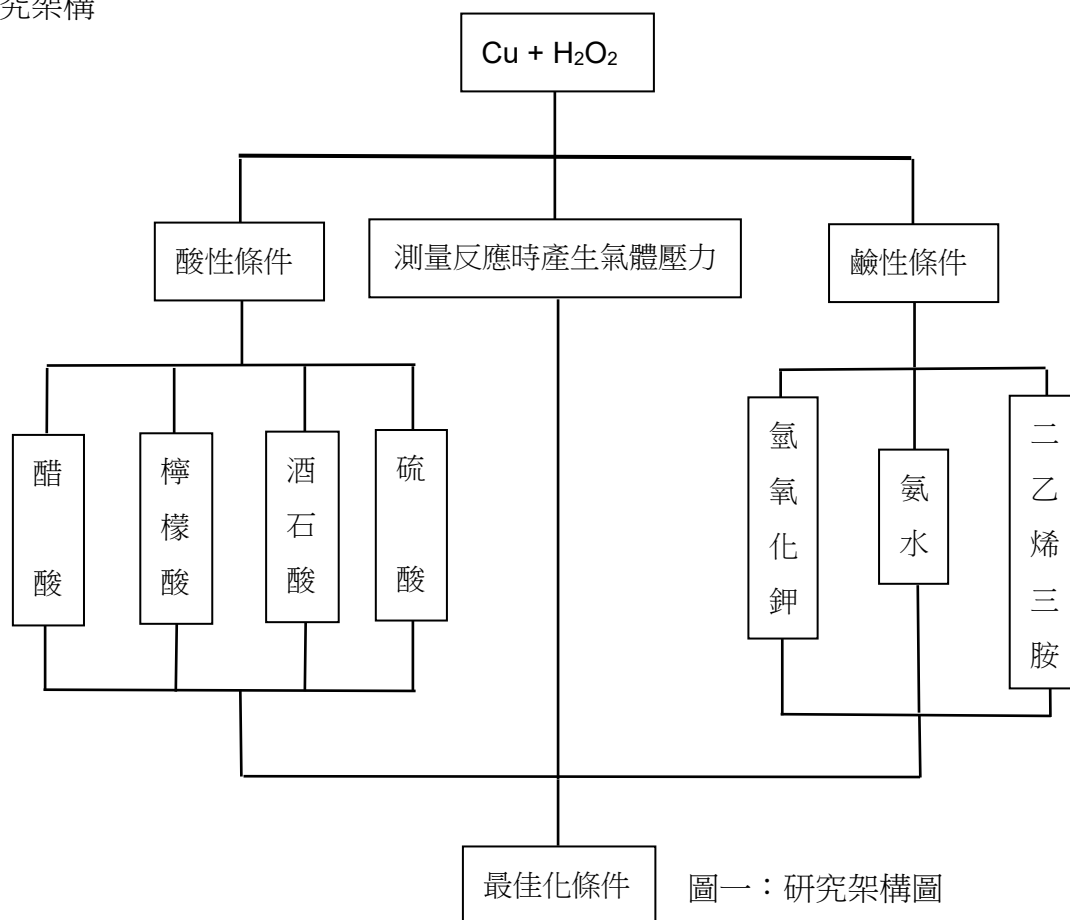
由上述反應的電位差知道可以用過氧化氫來取代硝酸溶解銅，因此我們著手進行研究：利用過氧化氫回收銅的可行性。

貳、研究設備及器材

			
過氧化氫水溶液 Hydrogen Peroxide 35%	酒石酸 Tartaric Acid	檸檬酸 Citric Acid	醋酸 Acetic Acid
			
硝酸 Nitric Acid	氨水 Ammonium Hydroxide	KOH Potassium Hydroxide	二乙烯三胺 Diethylenetriamine (DETA)
			
試管 Test tube	容量瓶 Volumetric Flask	砂紙 Sandpaper	銅片 Copper
			
無線氣壓感應器 Wireless Pressure Sensor	微量注射器 Microinjection Syringe	分度吸量管 Graduated Pipet	電子天平 Electronic Scale

參、研究過程與方法

一、研究架構



二、研究方法

(一) 對照組：探討銅片與不同濃度 HNO_3 的反應

1. 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的 $\text{HNO}_3(\text{aq})$ ，並分別取 40.0 毫升放入大試管中。
2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
3. 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(二) 探討以不同濃度醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

1. 探討銅片在不同濃度醋酸中與過氧化氫的反應

- (1) 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與醋酸，各放入 40.0 毫升到大試管中。
- (2) 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
- (3) 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘

2. 探討銅片在相同濃度的過氧化氫條件下，加入不同濃度醋酸的反應

(1) 配製 1.0 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 4.0M 醋酸以下表 1 的比例混合放入大試管中。

表 1：1.0 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 4.0M 醋酸的混合方式

液體種類 \ 編號	A	B	C	D	E	F
1.0M H_2O_2 (ml)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4.0M CH_3COOH (ml)	20.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0
蒸餾水(ml)	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0

(2) 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。

(3) 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(三) 探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

1. 配製出 1.0M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 1.0M 的檸檬酸以下表 2 的比例混合放入大試管中。

表 2：1.0 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 1.0M 檸檬酸的混合方式

液體種類 \ 編號	A	B	C	D	E	F
1.0M H_2O_2 (ml)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1.0M 檸檬酸 (ml)	20.0	16.0	12.0	10.0	8.0	4.0
蒸餾水(ml)	0	4.0	8.0	10.0	12.0	16.0

2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。

3. 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(四) 探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

1. 配製出 1.0M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 1.0M 的酒石酸，以下表 3 的比例混合放入大試管中。

表 3：1.0 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 1.0M 酒石酸的混合方式

液體種類 \ 編號	A	B	C	D	E	F
1.0M H_2O_2 (ml)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1.0M 酒石酸 (ml)	20.0	16.0	12.0	10.0	8.0	4.0
蒸餾水(ml)	0	4.0	8.0	10.0	12.0	16.0

2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。

3. 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(五) 探討以不同濃度氫氧化鉀為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應

1. 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.5 0M 的 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 與 1.0M $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 的混合液，各放入 40.0 毫升到大試管中。
2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
3. 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(六) 探討以不同濃度氨水為鹼性條件時，銅片與過氧化氫的反應

1. 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的 $\text{NH}_3(\text{aq})$ 與 1.0M $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 的混合液，各放入 40.0 毫升到大試管中。
2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
3. 每 10 分鐘，取出銅片測量重量，共測量 90 分鐘。

(七) 探討以不同濃度 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 為酸性條件時，銅片與過氧化氫的反應

1. 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M 的 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 與 $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 的混合液，各放入 40.0 毫升到大試管中。
2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
3. 15 小時後，取出銅片，測量重量。

(八) 探討銅片在 1.0 M 的各種溶液中經過 15 小時後的反應差異

表 4：與銅反應的各種溶液組成

編號	溶液種類(濃度皆為 1.0M)	編號	溶液種類(濃度皆為 1.0M)
A	HNO_3	G	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH}$
B	H_2SO_4	H	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$
C	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$	I	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{DETA}$
D	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COOH}$	註：DETA 為 $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2$ 的簡稱	
E	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Citric acid}$		
F	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Tartaric acid}$		

(九) 比較銅片與過氧化氫的反應在不同酸鹼性條件下產生氧氣的反應速率

1. 配製 1.0M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與其它 1.0M 的酸鹼性物質混合溶液，取 40.0 毫升到大試管中。
2. 將長 10.0cm、寬 2.0cm 預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並塞上塞子。
3. 接著利用 PASCO 無線氣壓感測器，測量反應時產生的氧氣壓力。

表 5：要測量反應時產生氣體壓力的各種溶液組成

編號	組成	編號	組成
A	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}$	B	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+}$
C	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH}$	D	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$
E	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH}$	F	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$
G	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COOH}$	H	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Citric acid}$
I	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{Tartaric acid}$		

肆、研究結果

一、探討銅片與不同濃度硝酸的反應

表 6：銅片在不同濃度硝酸中溶解質量(克)

硝酸濃度(M) 時間(分)	4.0	3.0	2.0	1.0	0.50
0	0	0	0	0	0
10	0.053	0.022	0.003	0	0
20	0.144	0.042	0.005	0	0
30	0.249	0.067	0.005	0	0
40	0.422	0.098	0.006	0	0
50	0.686	0.137	0.007	0	0
60	1.038	0.19	0.013	0	0
70	1.412	0.257	0.016	0	0
80	1.762	0.317	0.020	0	0
90	2.089	0.415	0.025	0	0

註：圖 2~圖 5 中，試管由左到右分別為 4.0M、3.0M、2.0M、1.0M、0.50M



圖 2：不同濃度硝酸與銅的反應(0 分鐘)



圖 3：不同濃度硝酸與銅的反應(30 分鐘)

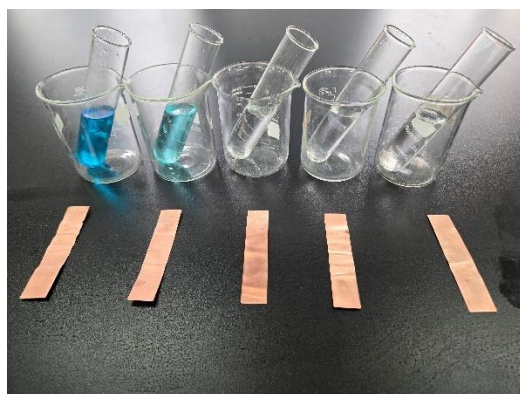


圖 4：不同濃度硝酸與銅的反應(60 分鐘)

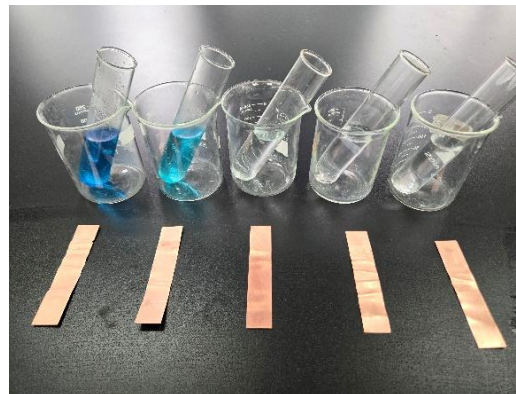


圖 5：不同濃度硝酸與銅的反應(90 分鐘)

二、探討以不同濃度醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。

1. 探討銅片在 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的混合液濃度分別為 4.0M、3.0M、2.0M、1.0M、0.5M 時的反應情形。

表 7：銅片在不同濃度醋酸中溶解質量(克)

醋酸與 H_2O_2 濃度(M) 時間(分鐘)	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5
0	0	0	0	0	0
10	0.414	0.358	0.314	0.188	0.032
17	0.589	0.526	0.468		
20				0.392	0.051
30				0.439	0.078
40				0.456	0.103
50				0.462	0.141
60				0.467	0.181
70				0.470	0.216
80				0.472	0.231
90				0.472	0.242

註：圖 6、圖 7、圖 8、圖 9 中，試管由左到右分別為 4.0M、3.0M、2.0M、1.0M、0.5M

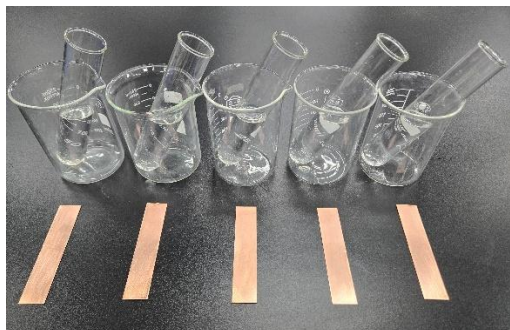


圖 6：銅與不同濃度醋酸、過氧化氫溶液的反應（0 分鐘）

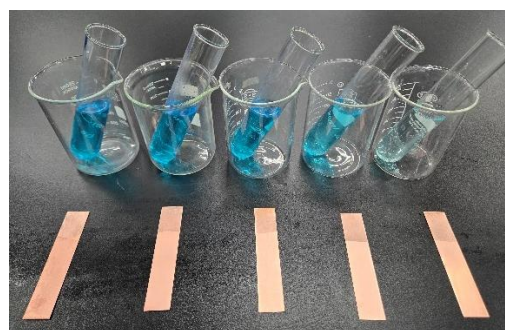


圖 7：銅與不同濃度醋酸、過氧化氫溶液的反應（10 分鐘）

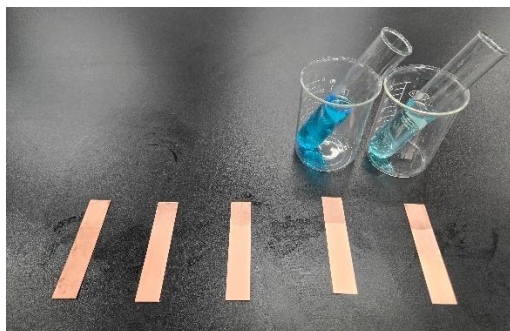


圖 8：銅與不同濃度醋酸、過氧化氫溶液的反應（20 分鐘）

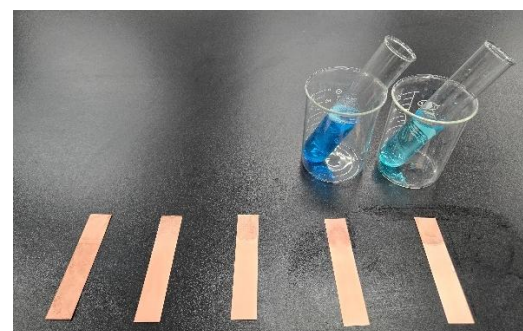


圖 9：銅與不同濃度醋酸、過氧化氫溶液的反應（90 分鐘）

2. 探討銅片在相同濃度的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 條件下，加入不同濃度醋酸的反應

表 8：銅片在 0.5M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與不同濃度 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的混合溶液中所溶解質量(克)

	A	B	C	D	E	F
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{M})$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{M})$	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00
	銅片溶解質量(g)					
0 分鐘	0	0	0	0	0	0
10 分鐘	0.056	0.067	0.080	0.086	0.101	0.121
20 分鐘	0.105	0.110	0.152	0.164	0.198	0.254
30 分鐘	0.155	0.163	0.217	0.233	0.279	0.344
40 分鐘	0.200	0.206	0.274	0.290	0.332	0.383
50 分鐘	0.244	0.255	0.322	0.334	0.366	0.401
60 分鐘	0.280	0.291	0.357	0.365	0.383	0.408
70 分鐘	0.311	0.319	0.379	0.386	0.395	0.412
80 分鐘	0.330	0.346	0.393	0.400	0.404	0.418
90 分鐘	0.348	0.363	0.400	0.409	0.412	0.422
15 小時	0.523	0.513	0.508	0.506	0.488	0.482

註：下方圖 10~圖 13 中，試管由左到右， CH_3COOH 的濃度分別為 2.0M、1.8M、1.6M、1.4M、1.2M、1.0 M。



圖 10：銅與 0.5M 過氧化氫溶液混合不同濃度 CH_3COOH 的反應（0 分鐘）



圖 11：銅與 0.5M 過氧化氫溶液混合不同濃度 CH_3COOH 的反應（30 分鐘）



圖 12：銅與 0.5M 過氧化氫溶液混合不同濃度 CH_3COOH 的反應（60 分鐘）



圖 13：銅與 0.5M 過氧化氫溶液混合不同濃度 CH_3COOH 的反應（90 分鐘）

三、探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

表 9：銅片在 0.50 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與不同濃度 Citric Acid (aq) 的混合溶液中所溶解質量(克)

	A	B	C	D	E	F
H_2O_2 (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Citric Acid (M)	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10
	銅片溶解質量(g)					
0 分鐘	0	0	0	0	0	0
10 分鐘	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017
20 分鐘	0.034	0.034	0.033	0.031	0.031	0.030
30 分鐘	0.050	0.048	0.047	0.044	0.044	0.042
40 分鐘	0.063	0.060	0.060	0.056	0.056	0.053
50 分鐘	0.075	0.071	0.071	0.066	0.065	0.064
60 分鐘	0.086	0.082	0.080	0.075	0.073	0.073
70 分鐘	0.096	0.092	0.089	0.084	0.080	0.081
80 分鐘	0.105	0.101	0.097	0.092	0.087	0.087
90 分鐘	0.113	0.110	0.103	0.098	0.093	0.090

註：下方圖 14~圖 17 中，試管由左到右，Citric Acid 的濃度分別為 0.5M、0.4M、0.3M、0.25M、0.20M、0.10 M。



圖 14：銅在 0.50M 過氧化氫與不同濃度檸檬酸混合溶液中的反應（0 分鐘）



圖 15：銅在 0.50M 過氧化氫與不同濃度檸檬酸混合溶液中的反應（30 分鐘）

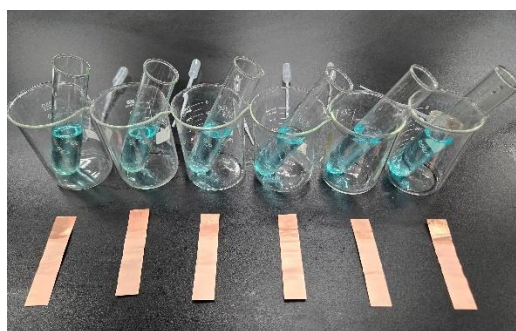


圖 16：銅在 0.50M 過氧化氫與不同濃度檸檬酸混合溶液中的反應（60 分鐘）



圖 17：銅在 0.50M 過氧化氫與不同濃度檸檬酸混合溶液中的反應（90 分鐘）

四、探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

表 10：銅片在 0.50 M $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與不同濃度 Tartaric Acid (aq) 的混合溶液中所溶解質量(克)

編號	A	B	C	D	E	F
H_2O_2 (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Tartaric Acid (M)	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10
反應時間(分鐘)	銅片溶解質量(g)					
0	0	0	0	0	0	0
10	0.010	0.009	0.006	0.005	0.009	0.008
20	0.018	0.016	0.013	0.011	0.016	0.015
30	0.025	0.022	0.021	0.017	0.026	0.023
40	0.032	0.028	0.028	0.024	0.026	0.023
50	0.039	0.036	0.034	0.030	0.026	0.023
60	0.045	0.042	0.037	0.033	0.026	0.023
70	0.045	0.042	0.037	0.033	0.026	0.023
80	0.045	0.042	0.037	0.033	0.026	0.023
90	0.045	0.042	0.037	0.033	0.026	0.023

註：下方圖 18~圖 21 中，試管由左到右，Tartaric Acid 的濃度分別為 0.5M、0.4M、0.3M、0.25M、0.20M、0.10 M。



圖 18：銅在不同濃度酒石酸與 0.50M 過氧化氫溶液的反應（0 分鐘）



圖 19：銅在不同濃度酒石酸與 0.50M 過氧化氫溶液的反應（20 分鐘）



圖 20：銅在不同濃度酒石酸與 0.50M 過氧化氫溶液的反應（40 分鐘）

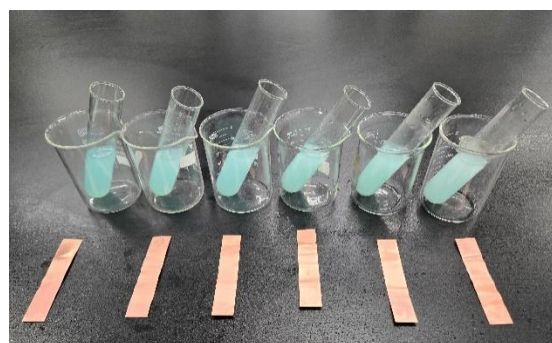


圖 21：銅在不同濃度酒石酸與 0.50M 過氧化氫溶液的反應（60 分鐘）

五、探討以不同濃度 KOH(aq)為鹼性條件時，銅片與 1.0M 過氧化氫的反應

表 11：銅片在 1.0M H₂O₂(aq)與不同濃度 KOH (aq)的混合溶液中所溶解質量(克)

編號	A	B	C	D	E
H ₂ O ₂ (M)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
KOH (M)	4.0	3.0	2.0	1.0	0.50
反應時間(分鐘)	銅片溶解質量(g)				
0	0	0	0	0	0
10	0.009	0.006	0.004	0	0
20	0.010	0.008	0.005	0.001	0
30	0.011	0.008	0.006	0.002	0
40	0.011	0.008	0.006	0.002	0
50	0.011	0.008	0.006	0.002	0
60	0.011	0.008	0.006	0.002	0
70	0.011	0.008	0.006	0.002	0
80	0.011	0.008	0.006	0.002	0
90	0.011	0.008	0.006	0.002	0

註：下方圖 22~圖 25 中，試管由左到右，KOH (aq)的濃度分別為 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.5 M，H₂O₂(aq)皆為 1.0 M。

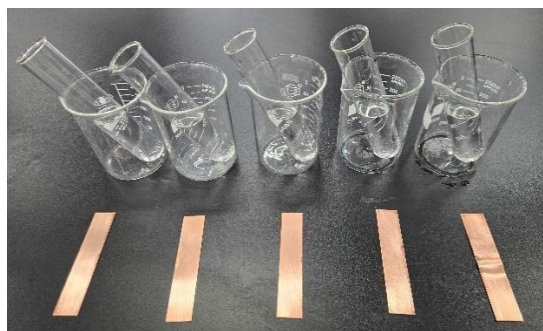


圖 22：銅在不同濃度 KOH 與 1.0M 過氧化氫溶液的反應(0 分鐘)



圖 23：銅在不同濃度 KOH 與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（銅剛放進 KOH 溶液）

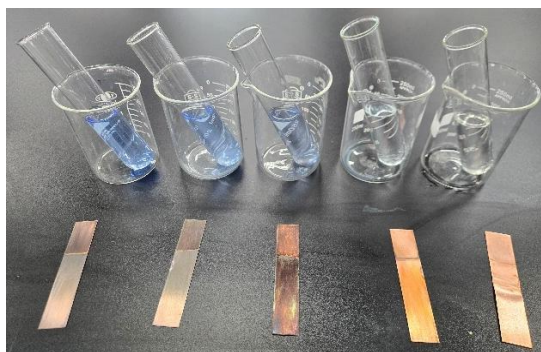


圖 24：銅在不同濃度 KOH 與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（20 分鐘）

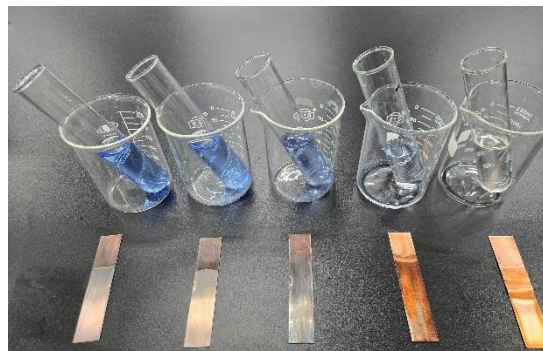


圖 25：銅在不同濃度 KOH 與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（50 分鐘）

六、探討以不同濃度 $\text{NH}_3(\text{aq})$ 為鹼性條件時，銅片與 1.0M 過氧化氫的反應

表 12：銅片在不同濃度 $\text{NH}_3(\text{aq})$ 中溶解質量(克)

編號	A	B	C	D
H_2O_2 (M)	1.0	1.0	1.0	1.0
NH_3 (M)	4.0	3.0	2.0	1.0
反應時間(分鐘)	銅片溶解質量(g)			
0	0	0	0	0
10	0.057	0.050	0.037	0.024
20	0.075	0.071	0.050	0.032
30	0.088	0.082	0.060	0.037
40	0.094	0.089	0.066	0.040
50	0.099	0.094	0.070	0.043
60	0.103	0.098	0.074	0.044
70	0.106	0.101	0.075	0.045
80	0.110	0.103	0.079	0.046
90	0.112	0.104	0.080	0.046

註：下方圖 26~圖 29 中，試管由左到右， $\text{NH}_3(\text{aq})$ 的濃度分別為 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.5 M， $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 皆為 1.0 M。

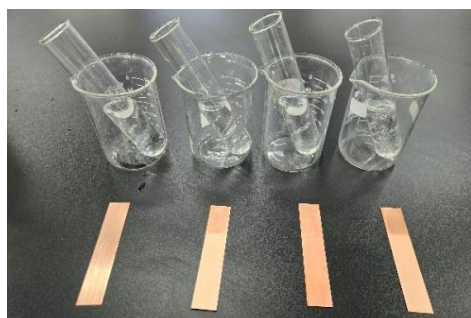


圖 26：銅在不同濃度氨水與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（0 分鐘）



圖 27：銅在不同濃度氨水與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（銅剛放進溶液）



圖 28：銅在不同濃度氨水與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（30 分鐘）



圖 29：銅在不同濃度氨水與 1.0M 過氧化氫溶液的反應（90 分鐘）

七、探討以不同濃度 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 為酸性條件時，銅片與過氧化氫的反應

表 13：銅片在不同濃度的 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 H_2SO_4 中混合液中反應 15 小時後溶解質量(克)

	A	B	C	D
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{M})$	4.0	3.0	2.0	1.0
$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{M})$	4.0	3.0	2.0	1.0
15 小時後銅片 溶解的質量(g)	4.708	4.719	4.034	2.303



圖 30：銅片在濃度皆 4.0M 的過氧化氫與硫酸混合液的反應



圖 31：銅片在濃度皆 3.0M 的過氧化氫與硫酸混合液的反應



圖 32：銅片在濃度皆 2.0M 的過氧化氫與硫酸混合液的反應



圖 33：銅片在濃度皆 1.0M 的過氧化氫與硫酸混合液的反應

八、 探討銅片在 1.0 M 的各種溶液中經過 15 小時後的反應差異

表 14：銅片在各種溶液中反應 15 小時後所溶解質量(g)

溶液種類 (濃度皆為 1.0M)	銅片經 15 小時反應後 所溶解質量(g)	溶液種類 (濃度皆為 1.0M)	銅片經 15 小時反應後 所溶解質量(g)
HNO ₃	0.886	H ₂ O ₂ + KOH	0.005
H ₂ SO ₄	0.012	H ₂ O ₂ + NH ₃	0.057
H ₂ O ₂ + H ₂ SO ₄	2.303	H ₂ O ₂ + DETA	0.127
H ₂ O ₂ + CH ₃ COOH	0.	註：DETA 為 HN(CH ₂ CH ₂ NH ₂) ₂ 的簡稱	
H ₂ O ₂ + Citric Acid	0.561		
H ₂ O ₂ + Tartaric acid	0.090		

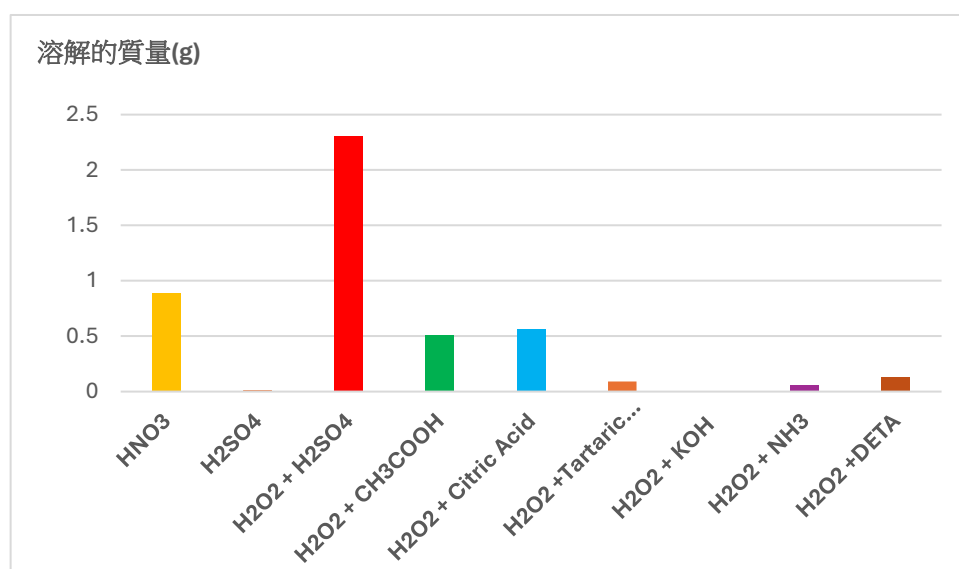


圖 34：銅片在各種溶液反應 15 小時後所溶解的質量大小

九、比較銅片與過氧化氫的反應在不同酸鹼性條件下產生氧氣的反應速率

從實驗中發現，有些反應容易產生氣體，有些反應產生的氣體量很少。因此我們由反應式來檢視，如果過氧化氫只是扮演氧化劑的角色，那產物只有水，不應該產生氧氣。另一種可能是過氧化氫不只是扮演氧化劑的角色，同時也在進行自身氧化還原反應，因此會產生氧氣。因此我們藉由測量產生氧氣的快慢，來判斷在不同條件下，利用過氧化氫溶解銅的同時，過氧化氫進行自身氧化還原反應的比例多寡。

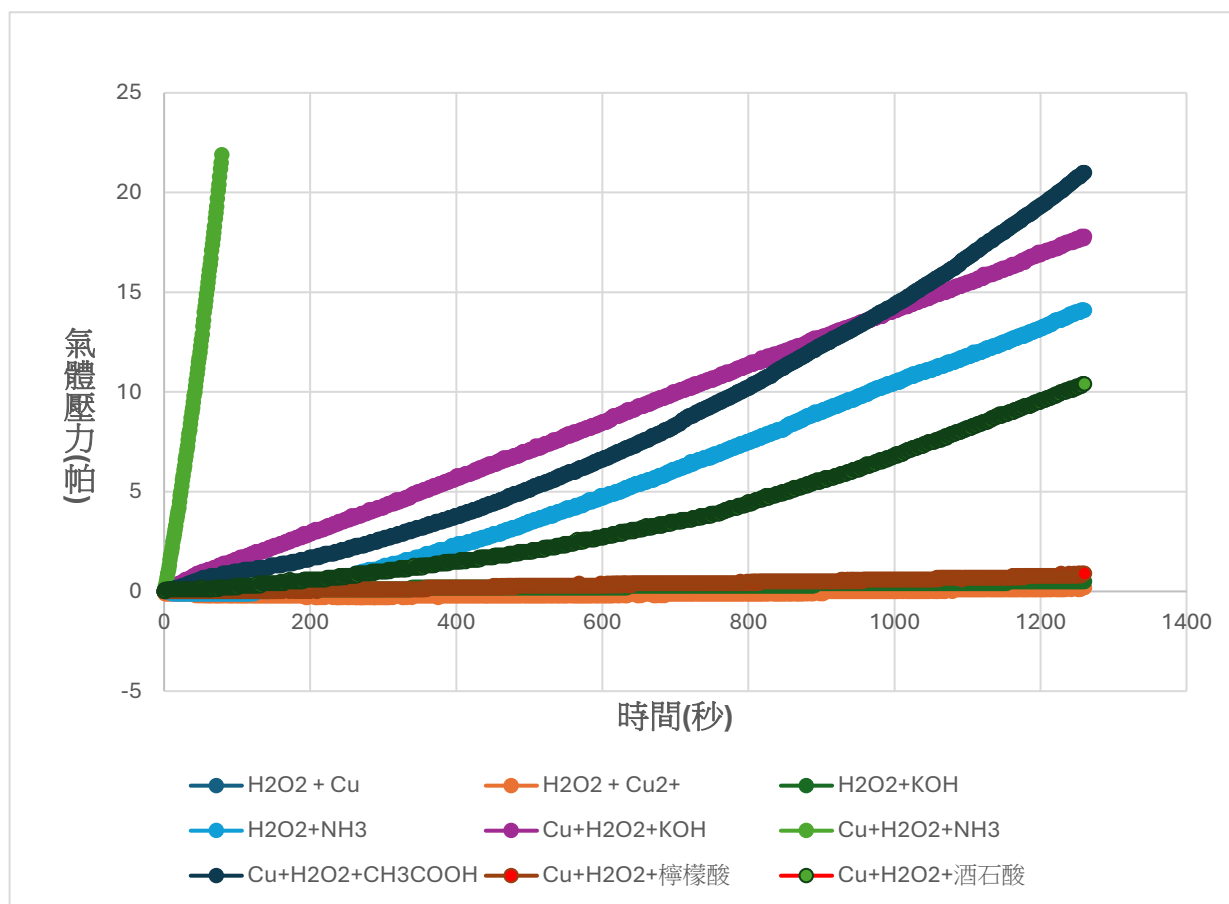
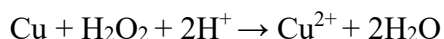


圖 35：各溶液皆為 1.0 M 時，以無線氣體感測器所量測溶液產生氣體壓力變化

伍、討論

- 一、由實驗一知道，雖然平常課本中所描述：銅與稀硝酸反應可產生 $\text{NO}(\text{g})$ ，但經過實際實驗後，知道硝酸在 2.0 M 時的反應已經很慢，如果濃度更小的話，在 90 分鐘內根本沒反應。如果濃度在 4.0 M 時候會快速反應，而且溶液中快速產生無色氣體，產生的無色氣體在溶液上方會轉變成紅棕色 $\text{NO}_2(\text{g})$
- 二、醋酸與檸檬酸、酒石酸比較起來，醋酸可配製到較高濃度，由實驗二結果可以發現若過氧化氫與醋酸的濃度都大於等於 2.0 M 時，銅片的反應非常激烈，會快速產生大量氣體，這時的安全性較低。

三、在實驗二的第 2 個實驗是想要探討當過氧化氫為限量試劑時，溶液的 $[H^+]$ 大小對於反應的影響，考慮到銅與過氧化氫在酸性條件下的反應式為：



所以反應時 H_2O_2 與 H^+ 消耗的莫耳數應為 1：2，故以下列表格的方式來配製溶液

表 15： H_2O_2 與 CH_3COOH 的溶液濃度配製方法

編號	A	B	C	D	E	F
1.00M H_2O_2 (ml)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4.00M CH_3COOH (ml)	20.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0
蒸餾水(ml)	0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
混合後各試管中 H_2O_2 與 CH_3COOH 的濃度						
H_2O_2 (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CH_3COOH (M)	2.0-	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00

實驗完成後，我們發現下列幾個問題：

1. A、B、C、D、E、F 等 6 種溶液中所含的 H_2O_2 濃度與體積皆相同，且因為 H_2O_2 為限量試劑，所以理論上銅片溶解質量應相同。但實驗結果為： $A > B > C > D > E > F$ 。
2. 反應式中的 H^+ 在反應式左邊，因此我們認為 $[H^+]$ 愈大，反應應該愈快。但在實驗時，我們觀察到的反而是 F 管的反應最快，由實驗結果中前 90 分鐘的數據也的確符合我們所觀察到的，但這樣的現象和我們由反應式判斷出來的結果是相反的。

我們將實驗數據做圖，得到下頁的有趣圖形。

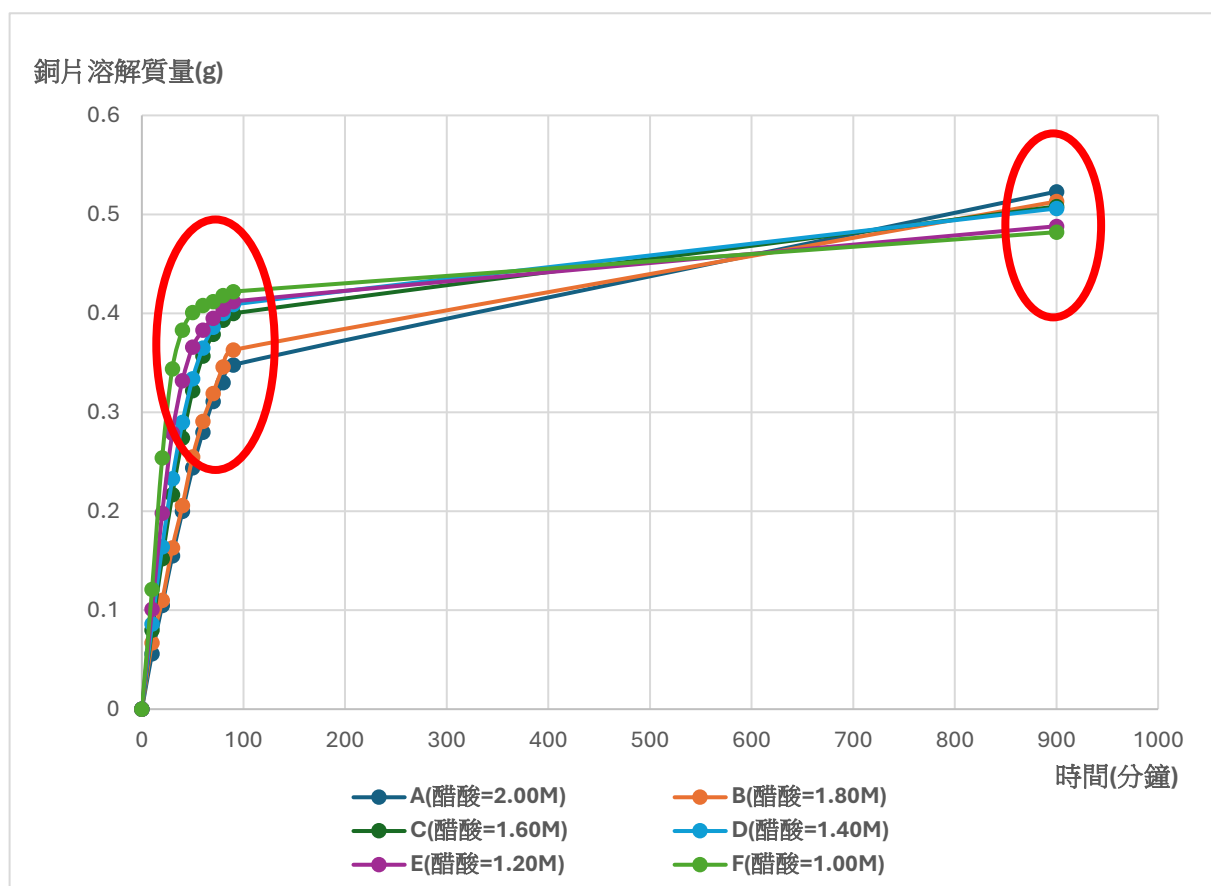


圖 36：銅片在 0.50M H₂O₂ 與不同濃度醋酸混合溶液中被溶解的質量

由圖 36 可以發現前 90 分鐘的反應速率大小與銅片溶解質量大小皆為：F > E > D > C > B > A；但經過 15 小時長時間反應後，銅片溶解質量大小反而為：A > B > C > D > E > F。我們認為由實驗觀察到的現象：F 管([H⁺]最小)產生的氣泡最快，A 管([H⁺]最大)產生的氣泡最慢，可能可以由 H₂O₂ 的氧化半反應來說明： $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$ 。

雖然在反應的過程，銅氧化而 H₂O₂ 還原，但如果 H₂O₂ 還原並不會有氧氣產生，但在實驗過程中還是都可以觀察到氣體的產生，因此氧氣的產生可以由過氧化氫的氧化半反應來說明，由此 H₂O₂ 氧化半反應式可以知道，愈酸的時候，平衡往左，H₂O₂ 愈不易氧化，因此不會有消耗。也就是愈酸的時候，H₂O₂ 較偏向進行還原反應，此時產生較少的氣體。較不酸時，H₂O₂ 容易進行自身氧化還原，此時會有一部份產生氧氣，因此進行還原反應將銅氧化的 H₂O₂ 比例就降低了，只能溶解較少的銅。

四、酒石酸的溶解度並不高，無法配製到 2.0 M，因此我們都配製成 1.0 M 來進行反應。從實驗發現，溶液很快產生藍白色混濁，此時由銅片的重量不變，可以知道銅片已經無法溶解。

五、若以氫氧化鉀為鹼性條件時，銅片一放入溶液，溶液馬上劇烈產生氣體，2.0M、3.0M、4.0M 會很快產生藍色溶液，但銅片溶解的質量極小。我們好奇的是反應後的藍色溶液成份是什麼？經查閱文閱資料後，發現有可能是 $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$ ，因此我們想到一個方法來驗證。

- ①對照組：將自行配製 0.01M 硫酸銅溶液逐滴加入 1.00M H_2O_2 的溶液中
- ②實驗組：將自行配製 0.01M 硫酸銅溶液逐滴加入 4.00M KOH 的溶液中
- ③取圖 25 中反應後的藍色溶液及上述實驗組的藍色溶液測量吸收光譜並比較

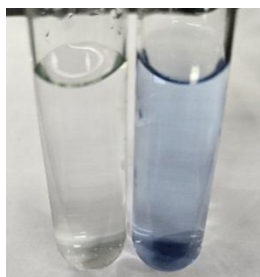


圖 37：左邊試管為 0.01M 硫酸銅加入 1.00M H_2O_2 溶液中
右邊試管為 0.01M 硫酸銅加入 4.00M KOH 溶液中

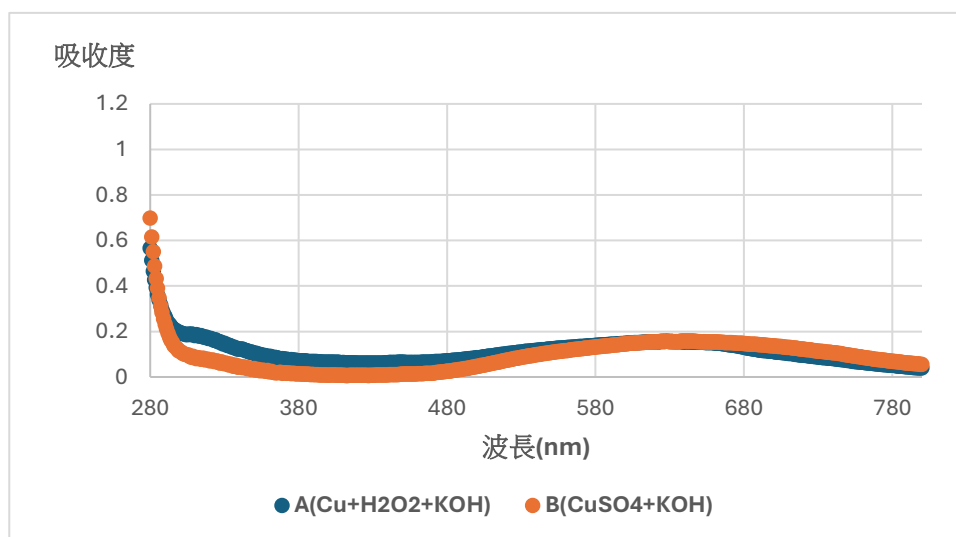


圖 38：A 溶液($\text{Cu}+\text{H}_2\text{O}_2+\text{KOH}$)與 B 溶液(CuSO_4+KOH)兩種藍色溶液的吸收光譜比較

由上述吸收光譜可以發現兩者的吸收峰幾乎相同，因此 $\text{Cu}+\text{H}_2\text{O}_2+\text{KOH}$ 反應後的藍色溶液有可能就是 $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$ 。

六、若以氨水為鹼性條件時，銅片一放入溶液也是馬上劇烈產生氣體，且溶液很快變成深藍色。由 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 、 $\text{Cu}+\text{H}_2\text{O}_2+\text{NH}_3$ 、 CuSO_4 +過量 NH_3 等三種溶液的 UV-Vis 光譜可以知道：銅在氨水為鹼性條件下與過氧化氫反應後的產物，與硫酸銅+過量氨水相同，推測銅與氨水和過氧化氫反應後的產物為 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 。

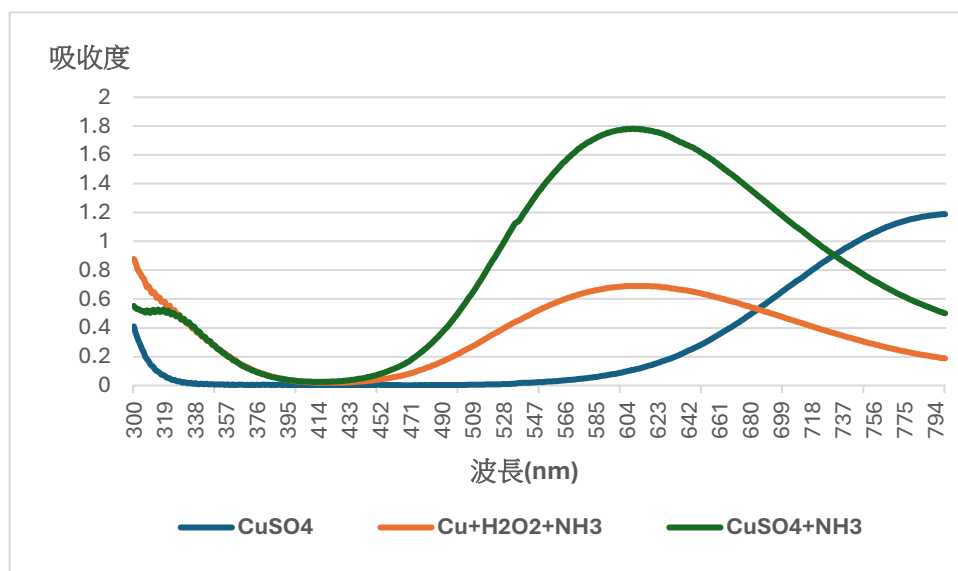


圖 39： CuSO_4 、 $\text{Cu}+\text{H}_2\text{O}_2+\text{NH}_3$ 、 CuSO_4 +過量 NH_3 ，三種藍色溶液吸收光譜

七、比較鹼性條件分別為氫氧化鉀與氨水時，銅片在鹼性條件為氨水時有較好的反應性，能反應掉更多的銅，我們推測是因為 NH_3 為較好的配位基，可形成較穩定的錯離子，因此可促使銅的溶解。

為了驗證上述的想法：在鹼性條件時，愈強的配位基可以使銅在與過氧化氫的反應中溶解更多的銅。因此我們搜尋資料想要尋找比氨更強的配位基，從文獻資料中找到，多牙基的配位能力比單牙基好，最後我們找到： $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2$ 這個三牙基配位子。

我們配製三種溶液：① $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH}$ ② $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$ ③ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_2$

來和銅片反應，且三種溶液皆為 1.0M。經過 15 小時後，銅片溶解質量大小如下：

表 16：Cu 與 H_2O_2 在不同強弱配位基溶液反應時所溶解的質量大小

編號	溶液種類	銅片溶解質量大小(g)
①	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH}$	0.005
②	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$	0.057
③	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{DETA}$	0.127

由實驗數據可以發現的確是較強的配位基可借由形成較穩定的錯離子而促使銅的溶解。

八、在實驗的過程中，我們發現當 Cu 與 H₂O₂ 反應時，鹼性環境下會大量產生氣體，遠比酸性環境激烈很多。我們的解釋仍以 H₂O₂ 的氧化半反應 ($\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$) 來看，加入鹼會和 H⁺ 反應，促使反應往右，此時會促進過氧化氫的自身氧化還原而大量產生氧氣。

九、在過氧化氫搭配硫酸溶解銅的時候，也產生了特別的現象。當 H₂SO₄ 與 H₂O₂ 皆為 2.0M、3.0M 時，經過 15 小時的反應，在銅片上會長出藍色晶體，1.0M 的則不會。另外我們也從實驗結果知道當 H₂O₂ 搭配 H₂SO₄ 為酸源時，可以溶解較多的銅，因此我們想要計算出在四種不同濃度的硫酸時，理論溶解質量和實際溶解質量的比較。

表 17：Cu 與不同濃度 H₂O₂ + H₂SO₄ 反應時的溶解效率比較

反應式	$\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$			
編號	H ₂ O ₂ + H ₂ SO ₄ (M)	理論溶解質量(克)	實際溶解質量(克)	溶解效率
1	1.0	$1 \times 0.04 \times 63.5 = 2.54$	2.303	$\frac{2.303}{2.54} \times 100\% = \mathbf{90.7\%}$
2	2.0	$2 \times 0.04 \times 63.5 = 5.08$	4.034	$\frac{4.034}{5.08} \times 100\% = 79.4\%$
3	3.0	$3 \times 0.04 \times 63.5 = 7.62$	4.719	$\frac{4.719}{7.62} \times 100\% = 61.9\%$
4	4.0	$4 \times 0.04 \times 63.5 = 10.16$	4.708	$\frac{4.708}{10.16} \times 100\% = 46.3\%$

由上述的結果可以知道在：銅片的溶解效率在四種不同濃度硫酸中的大小比較為：1.0M > 2.0M > 3.0M > 4.0M。這個結果由反應式的平衡來看是特別的，由反應式來看，加入愈多的酸，平衡應該是往右，可以溶解更多的銅。我們推測這可能和溶液中產生的藍色晶體有關。而藍色晶體溶在水中形成的藍色溶液經過 UV-Vis 光譜測量後發現和硫酸銅溶液完全相同，因此我們認為藍色晶體就是硫酸銅。

十、我們認為反應時產生較少的氧氣，可避免過氧化氫產生自身氧化還原而單純扮演氧化劑。由圖 34 可以知道在鹼性條件下，都會產生較多的氣體，銅溶解的質量都很少。若產生的氣體較少，則可溶解較多的銅。

陸、結論

- 一、由實驗發現，不管在鹼性或酸性條件下，銅片都可與過氧化氫產生反應。
- 二、銅片與過氧化氫反應時，若在酸性條件下，過氧化氫較不易產生自身氧化還原，可有較大的比例作為氧化劑。若在鹼性條件下，則易產生較高比例的自身氧化還原，而單純作為氧化劑的比例則變得較低。
- 三、當銅與過氧化氫在鹼性條件下反應時，若鹼性物質同時也是較強的配位基，則可促使銅的氧化。
- 四、在我們的實驗各種溶液組合中，以 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 的組合為最佳條件，可溶解最多的銅，且不像硝酸會產生有毒的氣體，具有較環保的優勢。

柒、未來展望

- 一、我們希望能利用過氧化氫在適當的條件下溶解金、鉑。

捌、參考文獻資料

1. 張兆綸、王鵬懿、王菁漢--揭開催化劑的神秘面紗-由過氧化氫分解製氧--全國中小學四十二屆科展,國中化學組
2. 胡學彥，蔡文正，彭文炙、謝澄銀、徐文禮—硝酸與銅反應的濃度分界
3. 李政緯 高二 陳俊宏 高二 陳思 高二 李易璵—以銅為鏡可以正硝酸--全國中小學四十八屆科展,高中化學組
4. 廖正宇 國三 傅正海 國三 莊源勝—談不同濃度硝酸與銅反應的現象--全國中小學六十二屆科展,國中化學組

*本作品所使用之照片與圖片，皆為作者自行拍攝及繪製

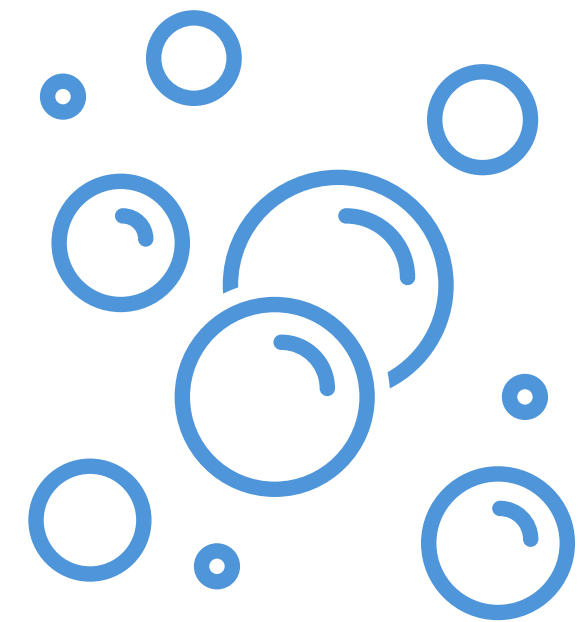
【評語】 030212

一般用硝酸溶解銅時會產生有毒氣體(NO 、 NO_2)，本研究利用過氧化氫水溶液在適當的酸性條件下溶解銅，具有更環保、更有效率的特性，符合綠色化學的趨勢。研究中採用的酸有醋酸、檸檬酸、酒石酸、硫酸；鹼則有氫氧化鉀、氨水與二乙烯三胺。最後發現以過氧化氫配合硫酸可以有效的溶解銅金屬。

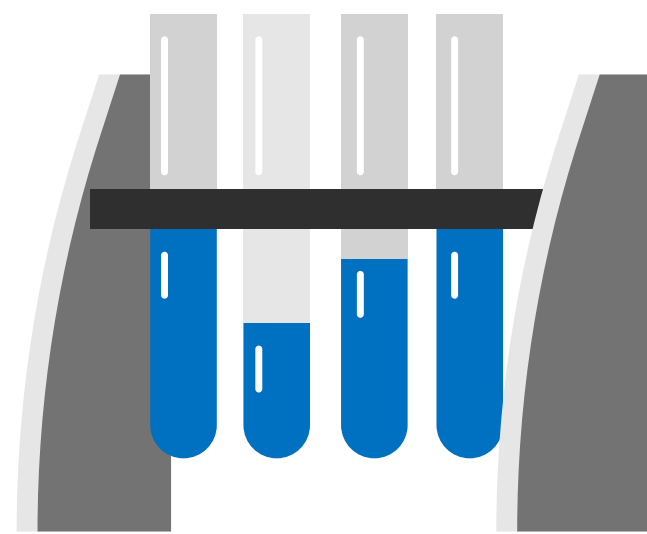
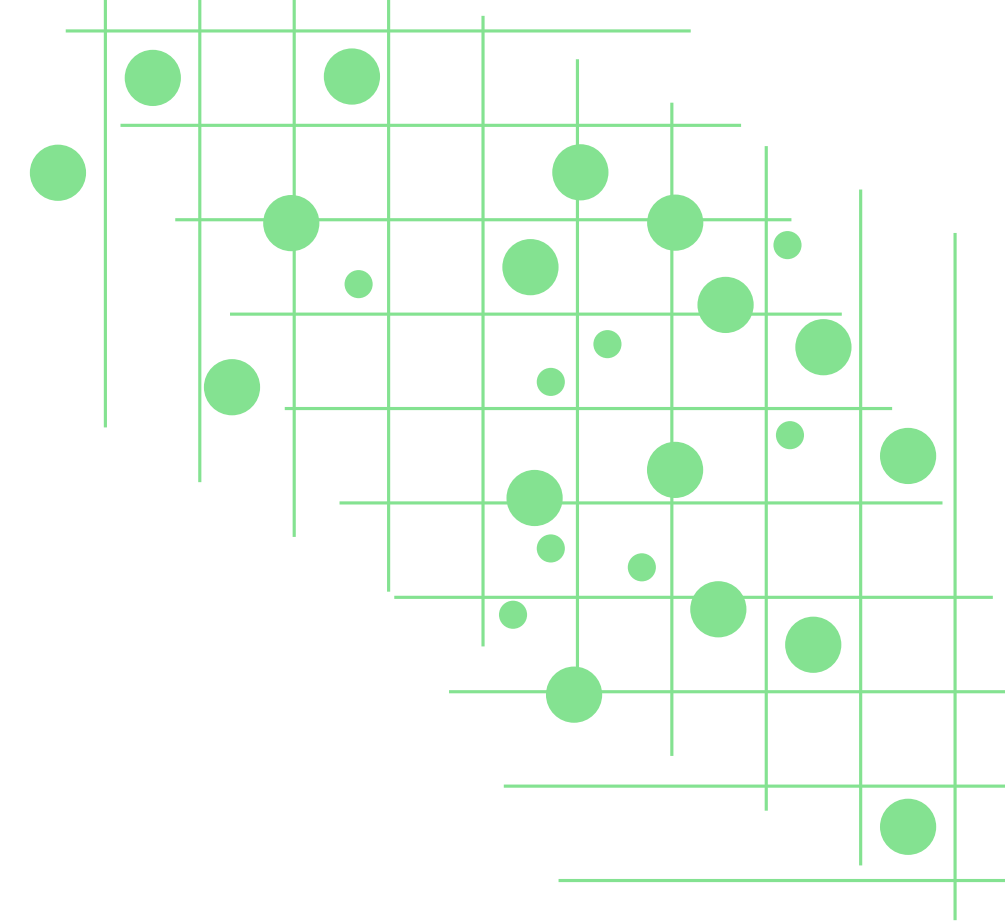
銅金屬的回收第一步驟是將銅金屬變成銅離子溶解下來，下一步須將銅離子還原成銅金屬才算結束。本作品使用不同酸、鹼配合過氧化氫來將銅氧化(溶解)，探討在不同條件下溶解銅的效率。實驗用到電化學(氧化還原電位)的概念及 UV/Vis 吸收光譜，是不錯的學習。但作品說明書中的摘要與實驗部分僅描述到銅金屬的溶解(即銅金屬變成銅金屬離子)就結束了，有點可惜。另外，作者說一般是用硝酸來溶解銅，硝酸溶解銅會產生有毒氣體(NO 、 NO_2)，但只要 google 一下，就知道網路上說現在都用硫酸和雙氧水(硫酸不揮發性強酸，雙氧水有強氧化性)二者結合來把銅溶解，還不污染環境(與此作品實驗結果相符)，可惜是本作品比較不足的地方。

本主題對於台灣電子工業的實用性相當高，又符合環保的意念，同學對於現象的基礎有充分的了解，實驗以 15 小時為最終判定結果，本實驗已經做出隨時間變化的重量，其實在工業上希望時間越短越好，因此若本實驗能再搭配實驗過程當中把溶解速率計算加入會是一個重要的數據。

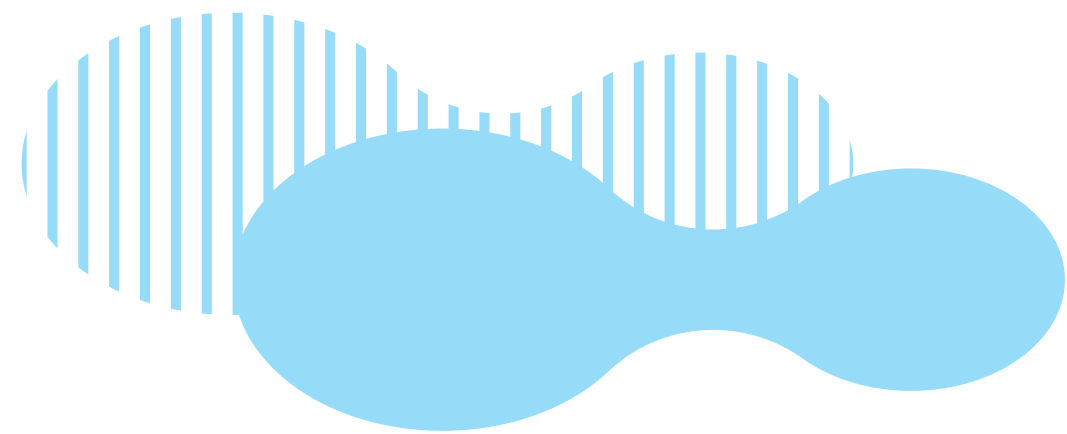
作品海報



探討過氧化氫



回收銅的可行性



摘要

一般用硝酸溶解銅時會產生有毒氣體(NO、NO₂)，本研究利用過氧化氫水溶液在適當條件下溶解銅，具有更環保、更有效率的特性，符合綠色化學的趨勢。研究中採用的酸有醋酸、檸檬酸、酒石酸、硫酸；鹼則有氫氧化鉀、氨水與二乙烯三胺。最後發現以過氧化氫配合硫酸的效果比同濃度的硝酸更好，可以有效的溶解銅金屬。

壹、前言

一、研究動機

在學習氧化還原課程內容時，老師給我們看了一段竹科回收工廠處理廢棄主機板時的處理過程，主機板上含有多種金屬，有非常高的回收價值，銅更是銅箔基板上重要的金屬。其中溶解銅時所使用的是硝酸，我們詢問老師只能使用硝酸嗎？不能用其它的酸或物質？老師請我們自行查閱相關資料後和他討論。經過討論後，我們發現硝酸是一種強氧化性的酸，利用硝酸溶解銅時會產生 NO 或 NO₂有毒氣體。而硝酸還原成 NO 時的電位為 0.80 V，我們尋找可替代硝酸的物質，最後找到過氧化氫還原成水的還原電位是 1.77 V，應該也可以溶解銅，也不會產生有毒氣體，所以我們決定著手進行實驗加以研究。

三、文獻回顧

由文獻資料可以知道必須要使用王水才能將金或鉑溶解掉。要將銅溶解掉可以只使用硝酸，隨著硝酸的濃度不同，有可能產生有毒的 NO(g) 或 NO₂(g)，相關的反應式如下：

- 1、金溶於王水： $\text{Au} + 4\text{H}^+ + 4\text{Cl}^- + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{AuCl}_4^- + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2、鉑溶於王水： $3\text{Pt} + 16\text{H}^+ + 18\text{Cl}^- + 4\text{NO}_3^- \rightarrow 3\text{PtCl}_6^{2-} + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 3、銅溶於濃硝酸： $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{濃}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4、銅溶於稀硝酸： $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3(\text{稀}) \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$

我們希望能尋找硝酸的替代品，避免產生有毒的氣體，因此我們從還原電位著手，找出比硝酸還原電位更大的過氧化氫，由文獻資料可以知道硝酸還原成 NO₂ 與 NO 的標準還原電位分別是 0.80 V 與 0.96 V，而過氧化氫還原成水的還原電位則高達 1.77 V。

- 5、銅的氧化半反應與電位： $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \quad E^0 = -0.34 \text{ V}$
- 6、硝酸還原成 NO₂ 的半反應與還原電位： $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad E^0 = 0.80 \text{ V}$
- 7、硝酸還原成 NO 的半反應與還原電位： $\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} \quad E^0 = 0.96 \text{ V}$
- 8、過氧化氫還原成水的半反應與還原電位： $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad E^0 = 1.77 \text{ V}$

由 5、6 知： $\text{Cu} + 2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta E^0 = 0.46 \text{ V} > 0$ ，反應可自發
由 5、7 知： $3\text{Cu} + 2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ \rightarrow 3\text{Cu}^{2+} + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O} \quad \Delta E^0 = 0.62 \text{ V} > 0$ ，反應可自發
由 5、8 知： $\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta E^0 = 1.43 \text{ V} > 0$ ，反應可自發

由上述反應的電位差知道：用過氧化氫來取代硝酸溶解銅是有可能的，因此我們著手進行研究：利用過氧化氫回收銅的可行性。

貳、研究設備及器材

過氧化氫水溶液、酒石酸、檸檬酸、醋酸、硝酸、硫酸、氨水、氫氧化鉀、二乙烯三胺、容量瓶、試管、燒杯、砂紙、銅片、無線氣壓感應器、微量注射器、分度吸量管、電子天平。

參、研究過程與方法

一、研究架構

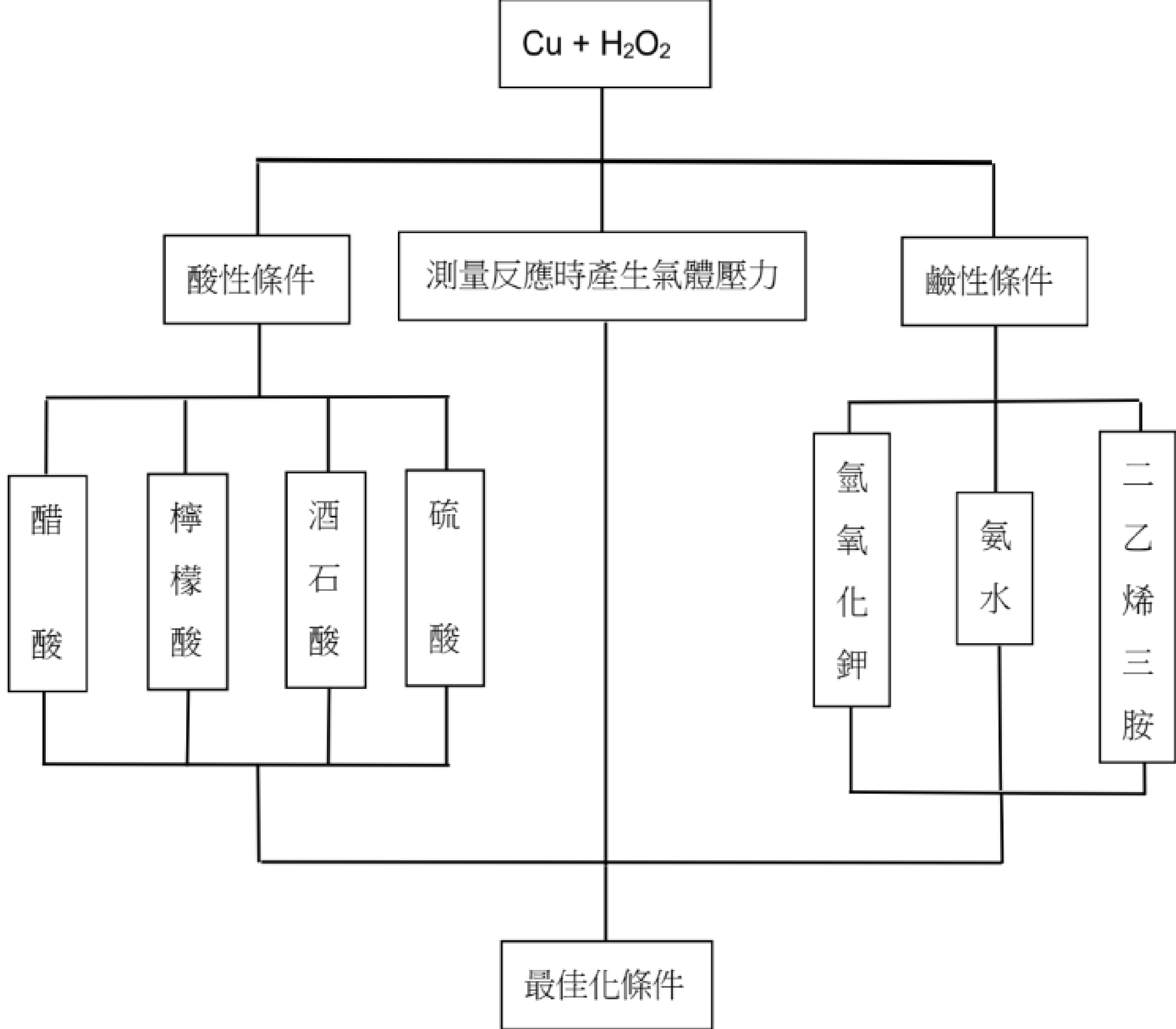


圖1：研究流程架構圖(作者自行繪製)

二、研究方法

- (一) 對照組：探討銅片與不同濃度 HNO₃ 的反應
1. 分別配製4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的 HNO₃(aq)，並分別取40.0毫升放入大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。

- (二) 探討以醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應
1. 探討銅片在不同濃度的醋酸與過氧化氫混合液的反應
 - (1) 分別配製 4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的 H₂O₂(aq)與醋酸，各放入40.0毫升到大試管中。
 - (2) 將長10.0 cm、寬2.0 cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 - (3) 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。

- (一) 探討銅片與不同濃度硝酸的反應。
- (二) 探討以不同濃度醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (三) 探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (四) 探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (五) 探討以不同濃度氫氧化鉀為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應。
- (六) 探討以不同濃度氨水為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應。
- (七) 探討以不同濃度硫酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
- (八) 比較銅片在1.0 M的各種溶液中經15小時後的溶解質量大小。
- (九) 比較銅片與過氧化氫的反應在不同酸鹼性條件下產生氧氣的反應速率。

- (三) 探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應
 1. 分別配製出0.5 M H₂O₂(aq) 與0.50 M、0.40 M、0.30 M、0.25 M、0.20 M、0.10 M 的檸檬酸混合液，並將不同的混合液各放入40.0毫升到不同大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。
- (四) 探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應
 1. 分別配製出0.5 M H₂O₂(aq) 與0.50 M、0.40 M、0.30 M、0.25 M、0.20 M、0.10 M 的酒石酸混合液，並將不同的混合液各放入40.0毫升到不同大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。
- (五) 探討以不同濃度氫氧化鉀為鹼性環境時，銅片與過氧化氫的反應
 1. 分別配製出1.0 M H₂O₂(aq)與4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的KOH(aq)的混合液，各放入40.0毫升到大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。
- (六) 探討以不同濃度氨水為鹼性條件時，銅片與過氧化氫的反應
 1. 分別配製1.0 M H₂O₂(aq) 與4.0 M、3.0 M、2.0 M、1.0 M、0.50 M 的NH₃(aq)的混合液，各放入40.0毫升到大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 每10分鐘，取出銅片測量重量，共測量90分鐘。

- (七)探討以不同濃度硫酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。
1. 配製出H₂O₂(aq)+硫酸的混合液，濃度分別為：1.0 M、2.0 M、3.0 M、4.0 M，並各放40.0毫升到不同的大試管中。
 2. 將長10.0 cm、寬2.0 cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並開始計時。
 3. 放置15小時後，稱量重量，並觀察實驗結果。

(八)比較銅片在各種酸鹼物質、過氧化氫皆為1.0 M的條件下，在各種混合液中放置15小時後溶解的質量大小。

- (九) 比較銅片與過氧化氫的反應在不同條件下產生氧氣的情形
1. 配製1.0M H₂O₂(aq)與其它1.0M的酸鹼性物質混合溶液，取40.0毫升到大試管中。
 2. 將長10.0cm、寬2.0cm預先稱好重量的銅片直立放入大試管中，並塞上塞子。
 3. 接著利用PASCO 無線氣壓感測器，測量反應時產生的氧氣壓力。

肆、研究結果

(一)探討銅片與不同濃度硝酸的反應。

表1：銅片在不同濃度硝酸中經過90分鐘與15小時後所溶解質量(克)

HNO ₃ 濃度(M)	4.0	3.0	2.0	1.0	0.50
90 分鐘後銅溶解質量(克)	2.089	0.415	0.025	0	0
15 小時後銅溶解質量(克)	3.524	2.713	1.822	0.92	

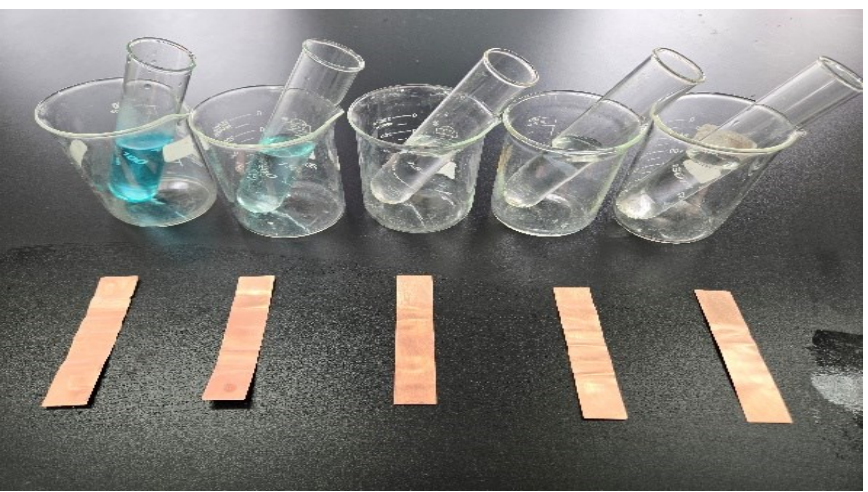


圖2：銅片硝酸中 30 min

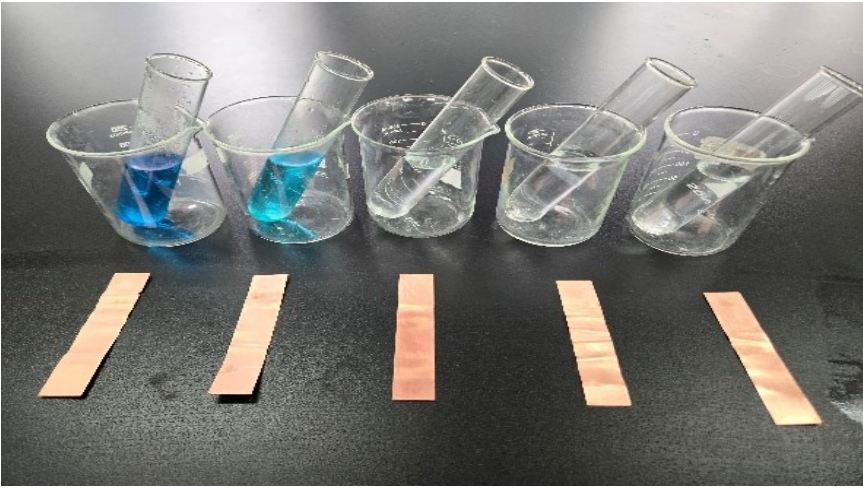


圖3：銅片在硝酸中90 min

(二)探討以不同濃度醋酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

1. 探討銅片在 CH₃COOH 與 H₂O₂ 的混合液濃度分別為 4.0M、3.0M、2.0M、1.0M、0.5M 時的反應情形。

表2：銅片在不同濃度的醋酸與H₂O₂ 經過10、17、20、90分鐘所溶解銅的質量(克)

CH ₃ COOH 與 H ₂ O ₂ (M)	4.0	3.0	2.0	1.0	0.50
10 分鐘後銅溶解質量(克)	0.414	0.358	0.314	0.188	0.032
17 分鐘後銅溶解質量(克)	0.589	0.526	0.468		
20 分鐘後銅溶解質量(克)				0.392	0.051
90 分鐘後銅溶解質量(克)				0.472	0.242

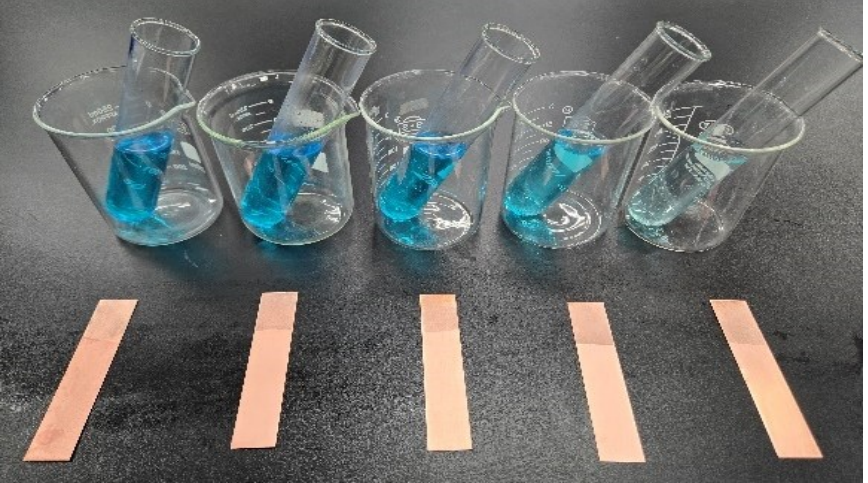


圖4：銅片在醋酸與 H₂O₂ 10 min

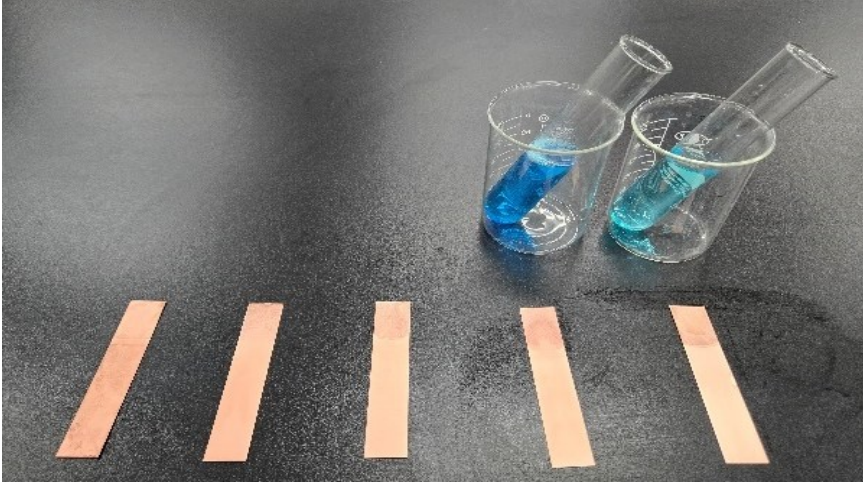


圖5：銅片在醋酸與 H₂O₂ 90 min

2. 探討銅片在相同濃度的 H₂O₂ (aq)的條件下，加入不同濃度醋酸的反應

表3：銅片在0.5M H₂O₂ (aq)與不同濃度 CH₃COOH(aq) 的混合溶液中所溶解質量(克)

	A	B	C	D	E	F
H ₂ O ₂ (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CH ₃ COOH(M)	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00
90 分鐘後銅溶解質量(克)	0.348	0.363	0.400	0.409	0.412	0.422
15 小時後銅溶解質量(克)	0.523	0.513	0.508	0.506	0.488	0.482



圖6：銅與 0.5 M H₂O₂混合不同濃度 CH₃COOH 的反應 30 min



圖7：銅與 0.5 M H₂O₂混合不同濃度 CH₃COOH 的反應 90 min

(三)探討以不同濃度檸檬酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

表4：銅片在0.50 M H₂O_{2(aq)}與不同濃度檸檬酸(aq)的混合溶液中所溶解的質量(克)

	A	B	C	D	E	F
H ₂ O ₂ (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
檸檬酸(M)	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10
90 分鐘後銅溶解質量(克)	0.113	0.110	0.103	0.098	0.093	0.090



圖8：銅片在0.50 M H₂O₂混合不同濃度檸檬酸的反應 30 min

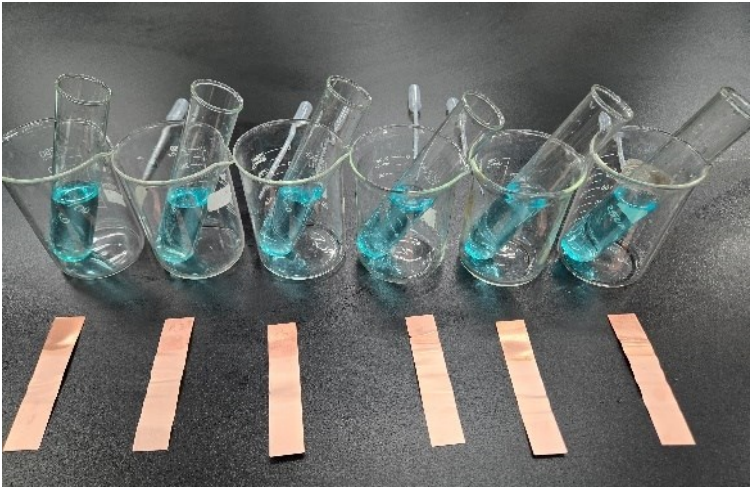


圖9：銅片在0.50 M H₂O₂混合不同濃度檸檬酸的反應 90 min

(四)探討以不同濃度酒石酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應

表5：銅片在0.5M H₂O₂ (aq)與不同濃度酒石酸(aq)的混合溶液中所溶解質量(克)

	A	B	C	D	E	F
H ₂ O ₂	0.50 M	0.50 M	0.50 M	0.50 M	0.50 M	0.50 M
酒石酸	0.50 M	0.40 M	0.30 M	0.25 M	0.20 M	0.10 M
60 分鐘後銅溶解質量(克)	0.045	0.042	0.037	0.033	0.026	0.023

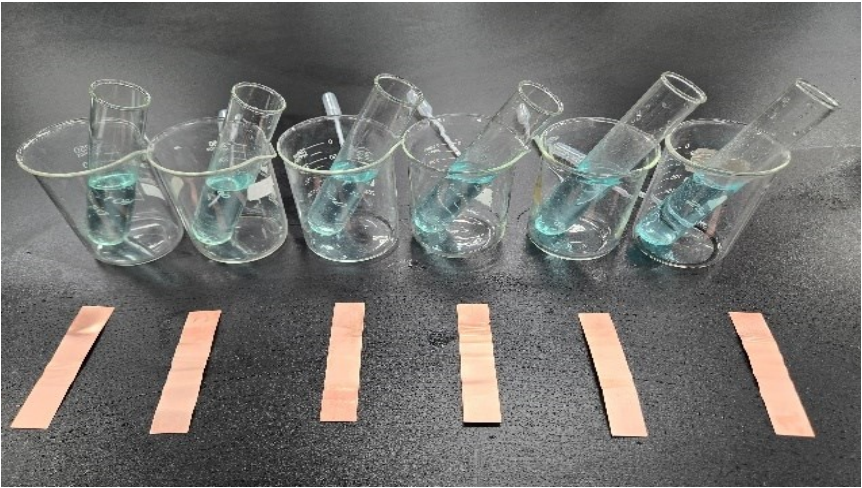


圖10：銅片在0.50M H₂O₂混合不同濃度酒石酸的反應 20 min



圖11：銅片在0.50M H₂O₂混合不同濃度酒石酸的反應 60 min

(五)探討以不同濃度 KOH(aq) 為鹼性條件時，銅片與過氧化氫的反應

表6：銅在不同濃度 KOH (aq) 與 1.0 M H₂O₂ (aq)溶液的反應結果

	A	B	C	D	E
H ₂ O ₂ (M)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KOH (M)	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50
90 分鐘後銅溶解質量(克)	0.011	0.008	0.006	0.002	0



圖12：銅片剛放入KOH 與 H₂O₂ (左到右依序為 4.0、3.0、2.0、1.0 M)



圖13：銅片放入KOH與 H₂O₂ 50min (左到右依序為 4.0、3.0、2.0、1.0 M)

(六)探討以不同濃度 NH₃(aq)為鹼性條件時,銅片與過氧化氫的反應

表7：銅在不同濃度 NH₃ (aq)與 1.0 M H₂O₂ (aq)溶液的反應結果

	A	B	C	D
H ₂ O ₂ (M)	1.00	1.00	1.00	1.00
NH ₃ (M)	4.00	3.00	2.00	1.00
90 分鐘後銅溶解質量(克)	0.112	0.104	0.080	0.046

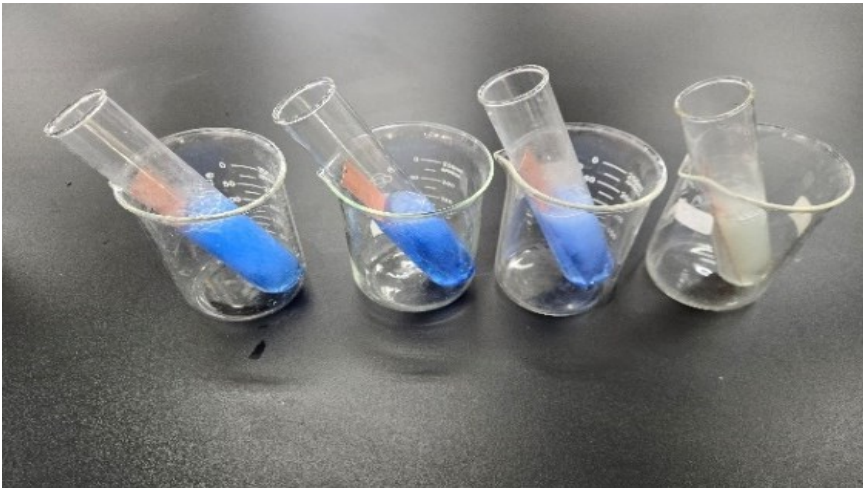


圖14：銅片剛放入NH₃與 H₂O₂ (左到右依序為 4.0、3.0、2.0、1.0 M)

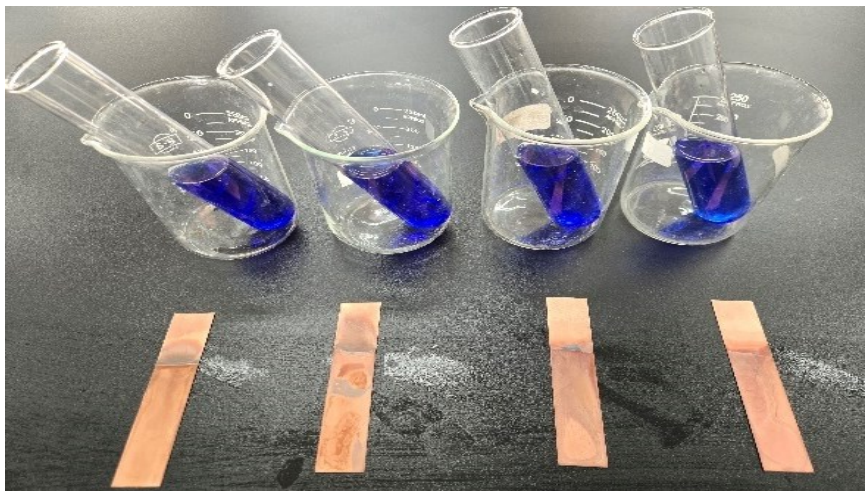


圖15：銅片放入NH₃與 H₂O₂ 90min (左到右依序為 4.0、3.0、2.0、1.0 M)

(七)探討以不同濃度硫酸為酸源時，銅片與過氧化氫的反應。

表8：銅在不同濃度H₂SO₄(aq)與H₂O₂ (aq)溶液的反應結果

	A	B	C	D
H ₂ O ₂ (M)	4.0	3.0	2.0	1.0
H ₂ SO ₄ (M)	4.0	3.0	2.0	1.0
15 小時後銅片溶解的質量(g)	4.708	4.719	4.034	2.303



圖16



圖17



圖18



圖19

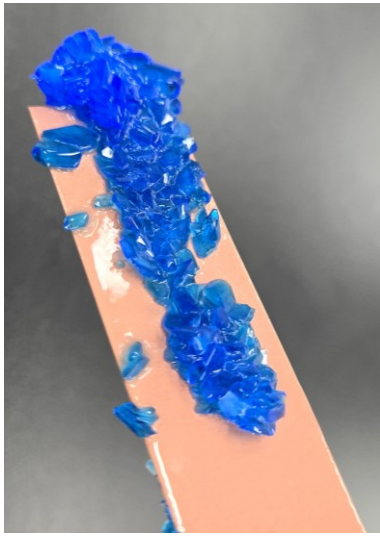


圖20

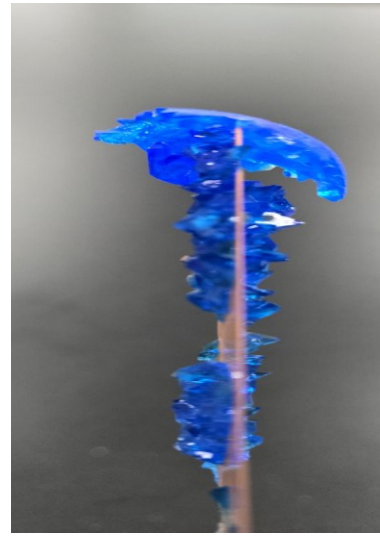


圖21

圖16、圖17、圖18、圖19 分別為銅片放在4.0M、3.0M、2.0M、1.0M 的H₂SO₄+H₂O₂混合液15小時後的照片

圖20、圖21為銅片放在 2.0M H₂SO₄+H₂O₂混合液15小時後，銅片上的藍色結晶照片

(八)比較銅片在1.0M的各種溶液中經過15小時後的反應差異。

表9：銅片在1.0M的各種溶液中反應15小時後所溶解質量(克)

溶液種類 (濃度皆為 1.0M)	銅片經 15 小時反應後 所溶解質量(g)	溶液種類 (濃度皆為 1.0M)	銅片經 15 小時反應後 所溶解質量(g)
HNO ₃	0.886	H ₂ O ₂ + KOH	0.005
H ₂ SO ₄	0.012	H ₂ O ₂ + NH ₃	0.057
H ₂ O ₂ + H ₂ SO ₄	2.303	H ₂ O ₂ + DETA	0.127
H ₂ O ₂ + CH ₃ COOH	0.	註：DETA 為 HN(CH ₂ CH ₂ NH ₂) ₂ 的簡稱	
H ₂ O ₂ + Citric Acid	0.561		
H ₂ O ₂ + Tartaric acid	0.090		

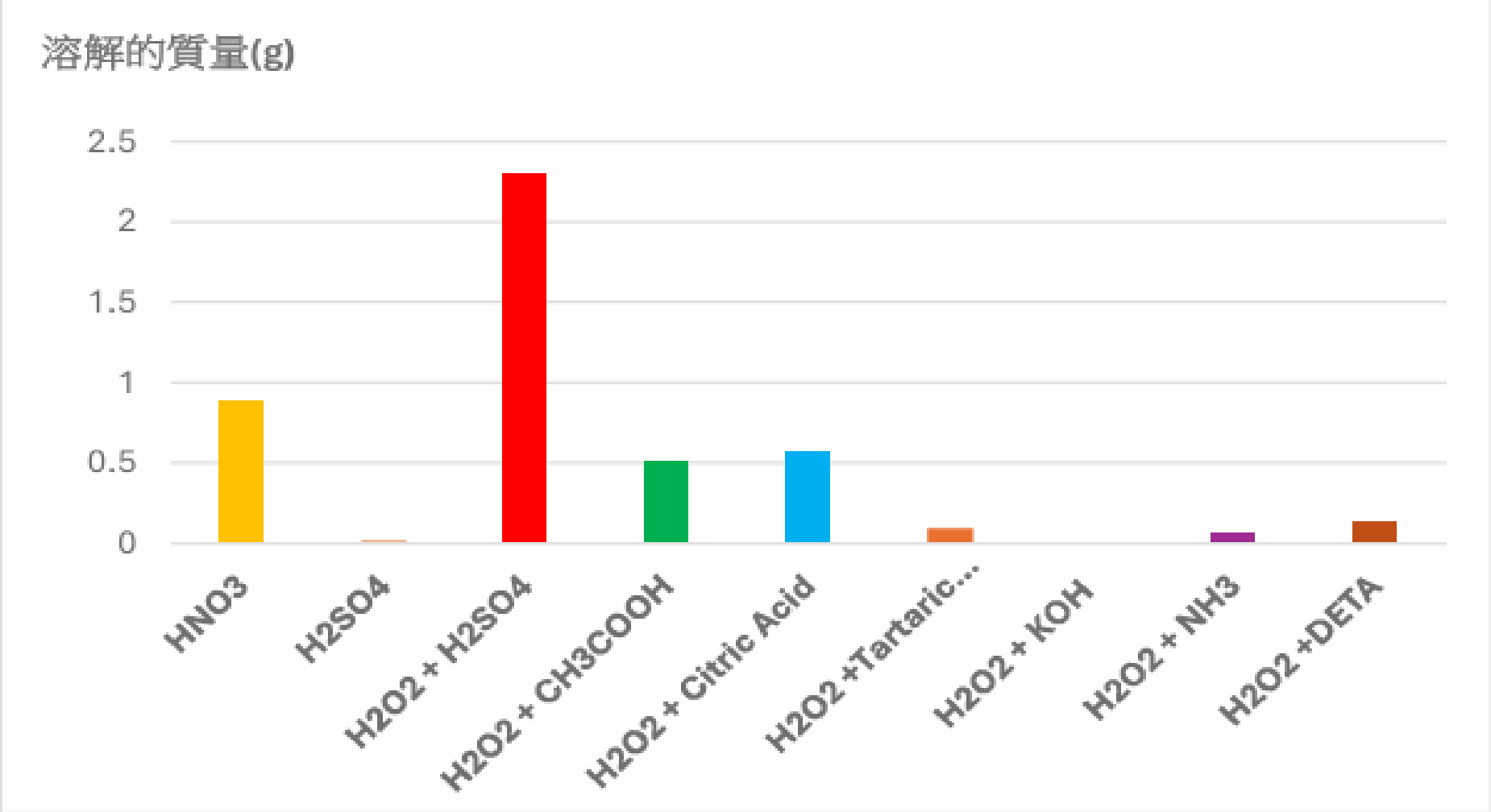


圖22：銅片在各種溶液反應15小時後所溶解的質量大小(克)

(九)比較銅片與過氧化氫的反應在不同酸鹼性條件下產生氧氣的反應速率。

從實驗中發現，有些反應容易產生氣體，有些反應產生的氣體量很少。因此我們由反應式來檢視，如果過氧化氫只是扮演氧化劑的角色，那產物只有水，不應該產生氧氣。另一種可能是過氧化氫不只是扮演氧化劑的角色，同時也在進行自身氧化還原反應，因此會產生氧氣。因此我們藉由測量產生氧氣的快慢，來判斷在不同條件下利用過氧化氫溶解銅的同時，過氧化氫進行自身氧化還原反應的比例多寡。



圖23：氣體壓力測量裝置。(作者自行拍攝)

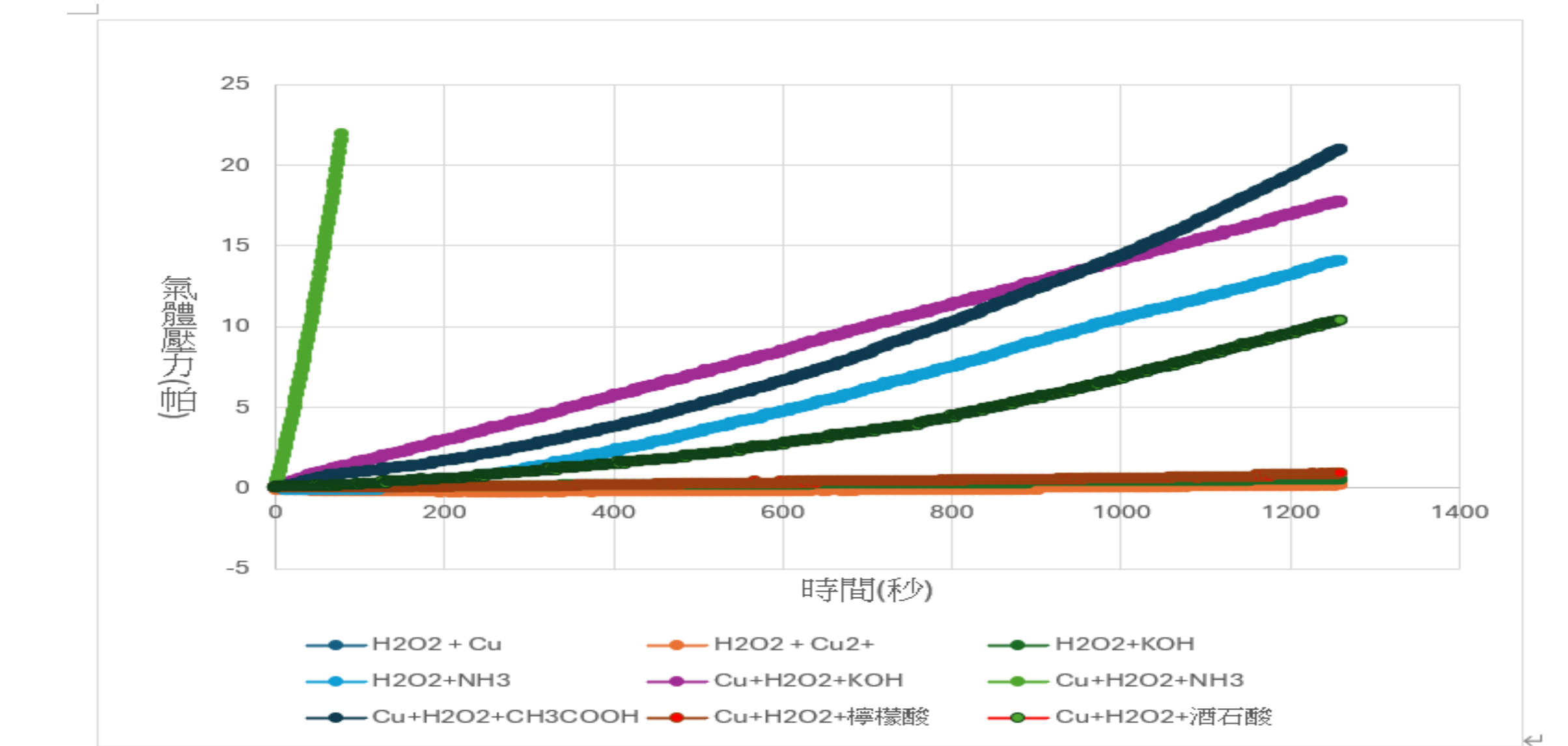


圖24：各溶液皆為1.0 M時，無線氣體感測器所量測 溶液產生氣體壓力變化。(作者自行繪製)

伍、討論

- 一、由實驗一知道，雖然課本中所描述銅與稀硝酸反應可產生NO(g)，但經過實際實驗後，知道硝酸在2.0 M時的反應已經很慢。如果濃度更小，在90分鐘內根本沒反應，但經過15小時反應後測量到銅溶解1.050克。如果濃度在 4.0 M 時候會快速反應，而且溶液中快速產生無色氣體，產生的無色氣體在溶液上方會轉變成紅棕色NO₂(g)。
- 二、醋酸與檸檬酸、酒石酸比較起來，醋酸可配製到較高濃度，由實驗二結果可以發現若過氧化氫與醋酸的濃度都大於等於 2.0 M時，銅片的反應會非常激烈，會快速產生大量氣體，這時的安全性較低。
- 三、在實驗二的第2個實驗是想要探討當過氧化氫為限量試劑時，溶液的[H⁺]大小對於反應的影響，考慮到銅與過氧化氫在酸性條件下的反應式為：Cu + H₂O₂ + 2H⁺ → Cu²⁺ + 2H₂O 所以反應時H₂O₂與H⁺ 消耗的莫耳數應為1：2，故以下列方式來比較探討：

表10：H₂O₂(aq)與CH₃COOH(aq)的不同混合比例

編號	混合後各試管中 H ₂ O ₂ 與 CH ₃ COOH 的濃度					
	A	B	C	D	E	F
H ₂ O ₂ (M)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CH ₃ COOH (M)	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00

- 實驗完成後，我們發現下列幾個問題：
1. A、B、C、D、E、F 等6種溶液中所含的H₂O₂濃度與體積皆相同，且因為H₂O₂為限量試劑，所以理論上銅片溶解質量應相同。但實驗結果為：A > B > C > D > E > F。反應式中的H⁺在反應式左邊，因此我們認為[H⁺]愈大，反應應該愈快。但在實驗時，我們觀察到的反而是F管的反應最快，由實驗結果中前90分鐘的數據也的確符合我們所觀察到的，但這樣的現象和我們由反應式判斷出來的結果是相反的。我們將實驗數據做圖，得到下面的有趣圖形。

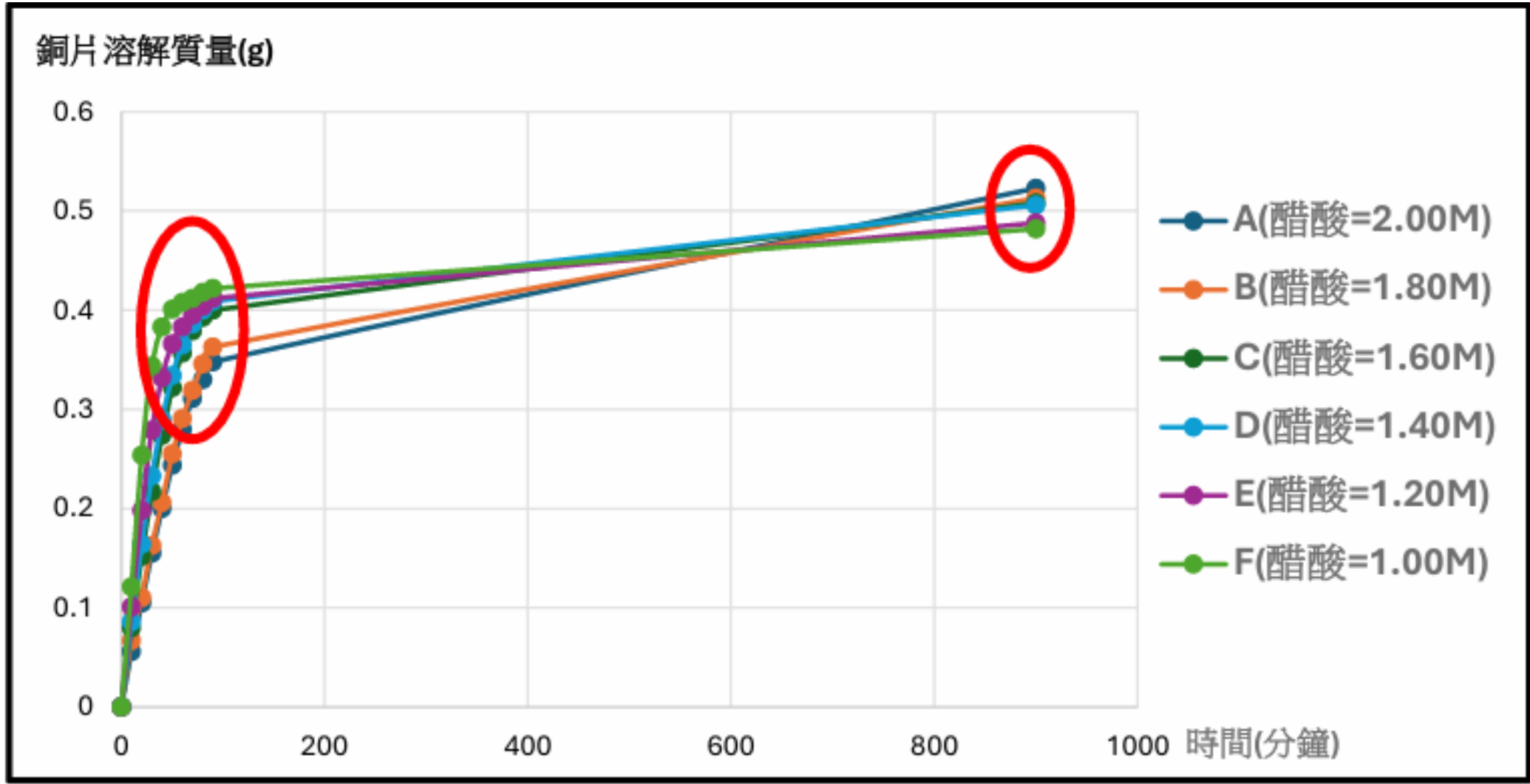


圖26：銅片在0.50M H₂O₂與不同濃度醋酸混合溶液中被溶解的質量。(作者自行繪製)

由 圖26 可以發現前 90 分鐘的反應速率大小與銅片溶解質量大小皆為：F > E > D > C > B > A ； 但經過15小時長時間反應後，銅片溶解質量大小反而為：A > B > C > D > E > F。我們認為由實驗觀察到的現象：F管([H⁺]最小)產生的氣泡最快，A管（[H⁺]最大）產生的氣泡最慢，可能可以由H₂O₂的氧化半反應來說明：H₂O₂ → O₂ + 2e⁻ + 2H⁺。雖然在反應的過程，銅氧化而H₂O₂還原，但如果H₂O₂還原並不會有氧氣產生，實際上在實驗過程中還是都可以觀察到氣體的產生，因此氧氣的產生可以由過氧化氫的氧化半反應來說明，由此H₂O₂ 氧化半反應式可以知道，愈酸的時候，平衡往左，H₂O₂ 愈不易氧化，因此不會有消耗。也就是愈酸的時候，H₂O₂較偏向進行還原反應，此時產生較少的氣體。較不酸時，H₂O₂ 容易進行自身氧化還原，此時會有一部份產生氧氣，因此進行還原反應將銅氧化的 H₂O₂ 比例就降低了，只能溶解較少的銅。

註：展板中所有的圖、表、照片皆由作者自行繪製與拍攝

- 四、以氫氧化鉀為鹼性條件時，銅片放入溶液，2.0M 、3.0M 、4.0 M 會很快產生藍色溶液，但銅片溶解的質量極小。我們好奇的是反應後的藍色溶液成份是什麼？經查閱文獻資料後，發現有可能是Cu(OH)₄²⁻，因此我們想到一個方法來驗證。

- ①對照組：將自行配製0.01M硫酸銅溶液逐滴加入1.00 M H₂O₂的溶液中
- ②實驗組：將自行配製0.01M硫酸銅溶液逐滴加入4.00 M KOH的溶液中
- ③取圖13中反應後的藍色溶液及上述實驗組的藍色溶液測量吸收光譜並比較

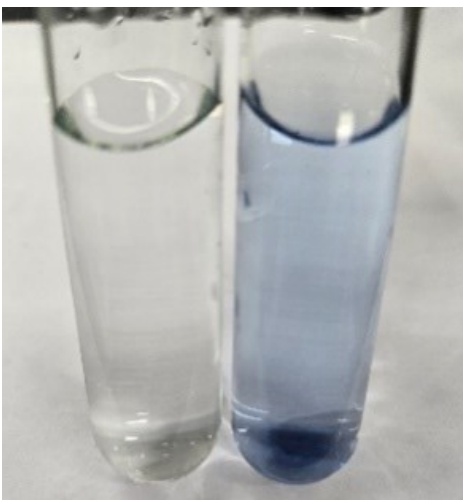


圖27：左邊試管為0.01M硫酸銅加入1.00M H₂O₂溶液中 右邊試管為0.01M硫酸銅加入4.00M KOH溶液中

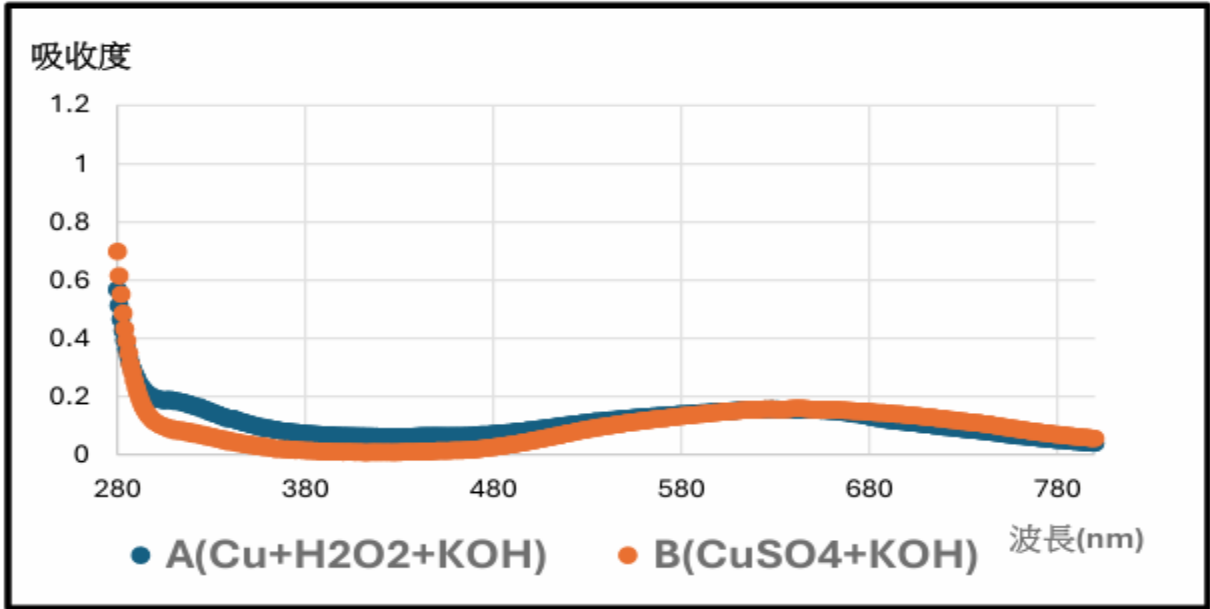


圖28：A溶液(Cu+H₂O₂+KOH)與 B溶液(CuSO₄+KOH) 兩種藍色溶液的吸收光譜比較

- 由上述吸收光譜可以發現兩者的吸收峰幾乎相同，因此Cu+H₂O₂+KOH 反應後的藍色溶液有可能就是Cu(OH)₄²⁻。
- 五、當以氨水為鹼性條件，銅片一放入溶液也是劇烈產生氣體，且溶液很快變成深藍色。由 CuSO₄(aq)、Cu+H₂O₂+NH₃、CuSO₄+過量NH₃，三者溶液的UV-VIS光譜可以知道：銅在氨水為鹼性條件下與過氧化氫反應後的產物，與硫酸銅+過量氨水相同，推測銅與氨水和過氧化氫反應後的產物為Cu(NH₃)₄²⁺。

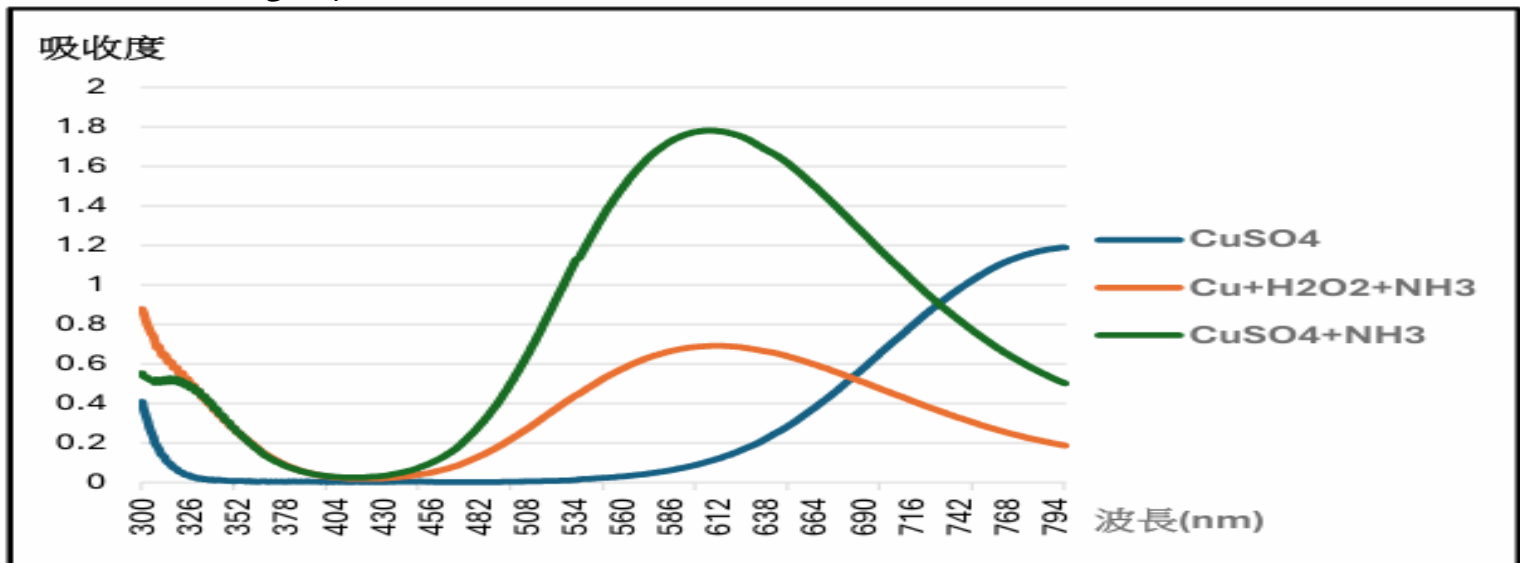


圖29：CuSO₄、Cu(NH₃)₄²⁺、Cu+H₂O₂+NH₃三種藍色溶液吸收光譜比較。(作者自行繪製)

- 六、比較鹼性條件分別為氫氧化鉀與氨水時，銅片在鹼性條件為氨水時有較好的反應性，能反應掉更多的銅，我們推測是因為NH₃為較好的配位基，可形成較穩定的錯離子，因此可溶解較多的銅。

表 11：Cu 與 H₂O₂ 在不同強弱配位基溶液反應時所溶解的質量大小

編號	溶液種類	銅片溶解質量大小(g)
①	H ₂ O ₂ + KOH	0.005
②	H ₂ O ₂ + NH ₃	0.057
③	H ₂ O ₂ +DETA	0.127

- 七、在實驗的過程中，我們發現當Cu與H₂O₂反應時，鹼性環境下會大量產生氣體，遠比酸性環境激烈很多。從H₂O₂的氧化半反應 (H₂O₂ → O₂ + 2e⁻ + 2H⁺)來看，加入鹼會和H⁺反應，促使反應往右，此時會促進過氧化氫的自身氧化還原而大量產生氧氣。
- 八、以稀硫酸為酸源時，會有非常特別的現象。在過氧化氫與硫酸皆為2.0M、 3.0M、 4.0M的三種情況時，經過15小時的反應，銅片上竟然附著了藍色結晶，1.0M的則沒有產生藍色結晶。

表 12：Cu 與不同濃度 H₂O₂ + H₂SO₄ 反應時的溶解效率比較

反應式	Cu + H ₂ O ₂ + H ₂ SO ₄ → CuSO ₄ + 2H ₂ O			
編號	H ₂ O ₂ + H ₂ SO ₄ (M)	理論溶解質量(克)	實際溶解質量(克)	溶解效率
1	1.0	1×0.04 × 63.5=2.54	2.303	$\frac{2.303}{2.54} \times 100\% = \mathbf{90.7\%}$
2	2.0	2×0.04 × 63.5=5.08	4.034	$\frac{4.034}{5.08} \times 100\% = 79.4\%$
3	3.0	3×0.04 × 63.5=7.62	4.719	$\frac{4.719}{7.62} \times 100\% = 61.9\%$
4	4.0	4×0.04 × 63.5=10.16	4.708	$\frac{4.708}{10.16} \times 100\% = 46.3\%$

陸、結論

- 一、由實驗發現，不管在鹼性或酸性條件下，銅片都可與過氧化氫產生反應，在酸性溶液中反應效果遠比鹼性好。
- 二、鹼性條件下，若鹼性物質同時也是較強的配位基，則可促使銅的氧化。
- 三、當以硫酸為酸源時，過氧化氫可以比硝酸更有效率的將銅溶解。在過程中甚至會產生藍色結晶附著在銅片上，此時會使溶解效率降低，因此我們建議以過氧化氫與硫酸皆為 1.0 M 的條件下來溶解銅，會兼顧效率、環保與安全，也就是我們實驗環境下的最佳比例。

柒、未來展望

- 一、我們希望能利用過氧化氫在適當的條件下溶解金、鉑。

捌、參考文獻

- 一. 張兆綸、王鵬懿、王菁漢--揭開催化劑的神秘面紗-由過氧化氫分解製氧--全國中小學四十二屆科展,國中化學組。
- 二. 胡學彥，蔡文正，彭文炙，謝澄銀、徐文禮一硝酸與銅反應的濃度分界。
- 三. 李政緯 高二 陳俊宏 高二 陳思 高二 李易璵一以銅為鏡可以正硝酸--全國中小學四十八屆科展,高中化學組。
- 四. 廖正宇 國三 傅正海 國三 莊源勝一談不同濃度硝酸與銅反應的現象--全國中小學六十二屆科展,國中化學組。
- 五. 標準電極電勢表，維基百科，<https://reurl.cc/OY21DD>