

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：物理學

作 品 名 稱：液態導體的磁效應

學校 / 作者：國立桃園高級農業工業職業學校 尹超

目錄

作者簡介-----	第 1 頁
中文摘要-----	第 2 頁
Abstract-----	第 3 頁
壹 研究動機-----	第 4 頁
貳 研究目的-----	第 4 頁
參 研究器材與藥品-----	第 4 頁
肆 研究過程或方法-----	第 8 頁
伍 研究結果-----	第 10 頁
陸 討論-----	第 26 頁
柒 結論-----	第 31 頁
捌 展望與應用-----	第 32 頁
玖 參考文獻-----	第 33 頁

作者簡介



我叫尹超，今年十七歲，目前就讀於桃園農工三年級生物產業機電科，從小對自然科學及天文物理特別感興趣，常常閱讀報章雜誌汲取科技新知，喜歡嘗試動手發明具有動能的物品，並將成果分享同好，彼此切磋交流，曾參加過全國中等學校技藝競賽機電整合類比賽，得到優異成績。

父親曾對我說：「物理是解開宇宙秘密的鑰匙」，並常常鼓勵我以好奇心、嚴謹的態度、科學的探究方法去面對生活，發現自然界的奧秘，很高興能參加此次比賽，在為期一年六個月科展研究中，除了學到研究方法、如何整合資訊、增進邏輯推理的能力之外，更結交許多好朋友，收穫滿載，希望下次能有機會參加相關比賽。

中文摘要

本文所探討的議題為電解質溶液通以電流後所產生的效應與機制。本實驗所採用的方法為電解與電鍍，運用這兩種方法，來比較電解液在不同的狀況下所產生的結果；經過多次的實驗，累積了許多實驗結果，使我們可以得到更精確的數據。

在此次實驗中，我們發現電解液在相同的電壓下，通以電流後的穩定性與金屬的活性有關，活性越大越不穩定；反之，活性越小越穩定。另一個發現為，只有單一極性離子移動的情形，可通過的電流，比陰陽離子同時移動時為大；但因通過的電流大使電解液反應劇烈，產物時時覆蓋電極使電流下降。所以就穩定性來說，是以陰陽離子同時移動為佳。

在展望方面，希望可以發展到液態磁屏蔽的設備，可減少設備過重之問題。

Abstract

This is a study of how electric current effects the electrolyte solution. The experiment was conducted through two methods: electrolysis and electroplating, the results of which were compared. The experiment of the same designs had been conducted repeatedly and, as a result, accurate data were collected and accumulated.

One of the two major findings from the experiments was that, when under the same voltage, stability of the electric current varied with the change of activity of the metals; the greater the activity of the metals, the less stability of the current, and vice versa. The other major finding was that, with the movement of dipole-ion, a greater amount of current would go through the solution than that which would go through with the movement of cathode and anode; however, the greater amount of current would cause intense reaction of electrolyte solution, hence merging the electrode and reducing the current. So as long as stability is concerned, the movement of cathode and anode is preferable.

It is hoped that more sophisticated experiments designed on the basis of the similar principles will eventually lead to the construction of equipment of liquid-magnetic shielding of smaller weight and size.

壹、研究動機

高職三年的課程中，個人最感興趣的物理學其深度與廣度皆無法滿足我的求知慾，只能自行大量閱讀課外物理相關書籍。在「費曼六堂 easy 物理課」的第三堂課中有一節——探討生物的神經是如何傳送訊息，提到其傳送方式是利用陽離子與陰離子來產生電場，也就是將訊號傳到神經原。閱讀當時，就引發一個想法：是否可以當作導線，甚至產生磁場？

貳、研究目的

- 一、觀察在相同電解質情形下，濃度不同、電壓不同、兩極距離不同，所產生的磁場大小與電流的關係。
- 二、瞭解各種電解質在條件相同的情況下，通以電流後，所產生的磁場大小與實際電流大小之性質是否相同？
- 三、瞭解在「只有正電荷移動」與「正負電荷一起移動」，兩者所產生的電流、電壓與磁場的關係和比較。

參、研究器材與藥品

一、研究設備

數位相機、電源供應器（如圖 1-1）、電腦、高斯計（如圖 1-2）、三用電表、天平、量筒、玻棒、藥杓、底片盒、碳棒、導線、指北針、銅片、鱷魚夾、蠟燭、蒸餾水、滴管。



圖 1-1



圖 1-2

二、藥品

硝酸鉀	$\text{KNO}_3=101.1$	氯化鈉	$\text{NaCl}=58.5$
氫氧化鈉	$\text{NaOH}=40.0$	氯化鉀	$\text{KCl}=74.56$
氫氧化鉀	$\text{KOH}=56.11$	硝酸	$\text{HNO}_3=63$
鹽酸	$\text{HCl}=36.5$	鉻酸鉀	$\text{K}_2\text{CrO}_4=194.20$
硫酸	$\text{H}_2\text{SO}_4=98$	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}=249.69$
硫酸亞鐵	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}=278.03$	硝酸鎂	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}=256.43$

三、觀測平台

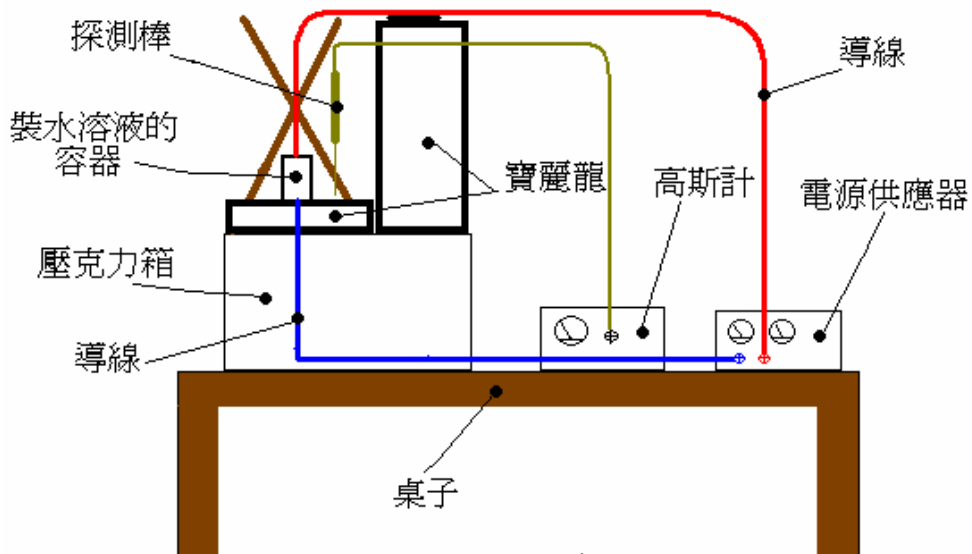


圖 1-3 (簡圖)

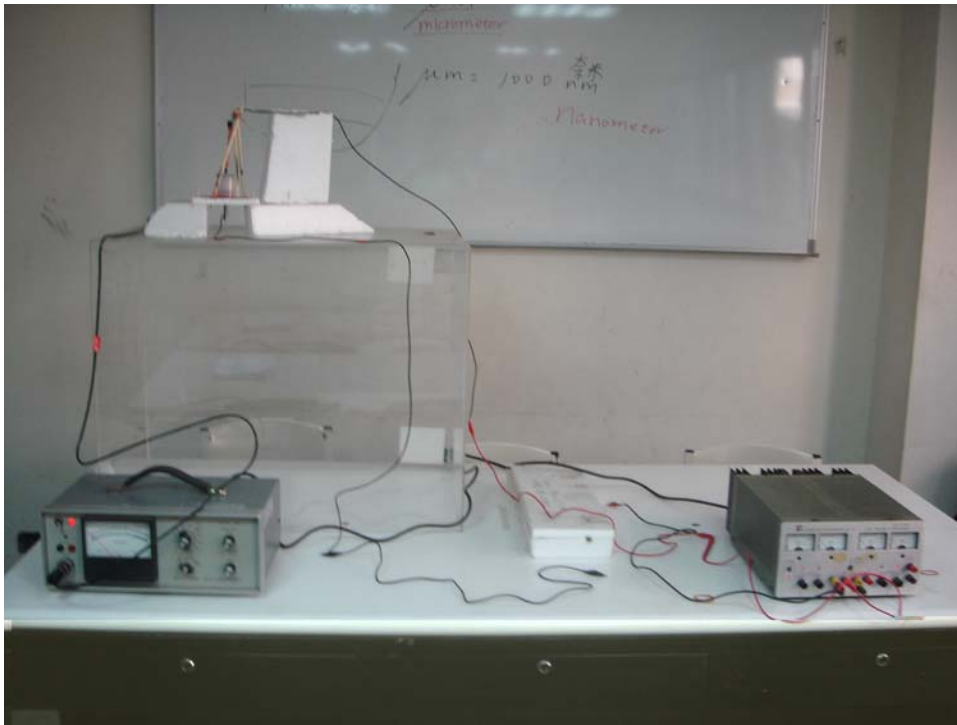


圖 1-4 (圖 1-3 之實景圖)

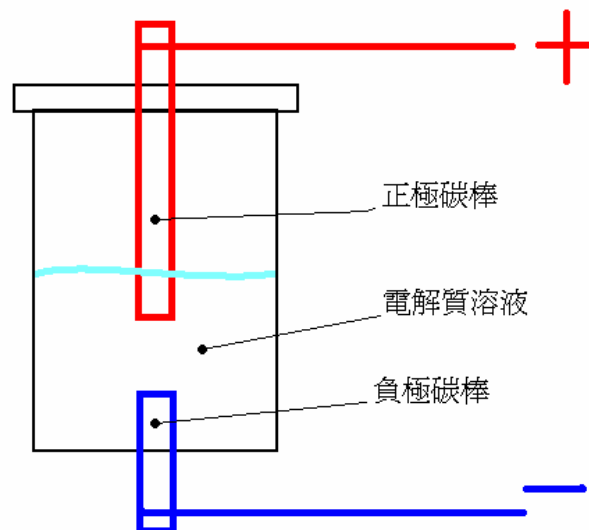


圖 1-5 (簡圖)

圖說：紅棒為陽極，而藍棒為陰極；陽極由上向下插入底片盒蓋，陰極由下向上插入底片盒底。

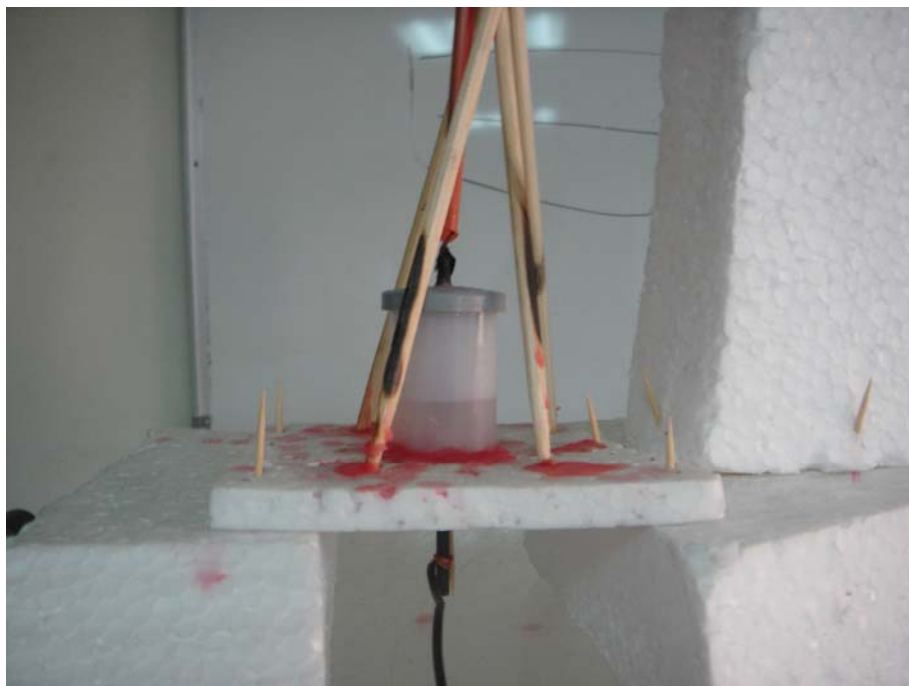


圖 1-6 (圖 1-5 之實物圖)

肆、研究過程與方法

【實驗一】

一、目的

觀察在相同電解質情形下，濃度不同、電壓不同、兩極距離不同，所產生的磁場大小與電流的關係。

二、方法

- 1.調配 0.1M KNO_3 溶液 100ml，將二碳棒的距離調為 5mm。
- 2.將電源供應器接上，電壓調為 5V 並固定電流至最大值（直流電 3.2A）。
- 3.將高斯計探測棒置於距容器 1cm 的位置（如圖 2-1），通電後開始測量磁場與實際電流大小，並記錄於所屬表格。
- 4.每完成一次實驗，將電壓調高 5V，重複方法 1~3，直到電壓為 30V。
- 5.將濃度提高至 0.5M，重複方法 1~4，並記錄於之。
- 6.將濃度提高至 1M，重複方法 1~4，並記錄於之。
- 7.將上述之瞬時結果整理紀錄於 Table-1。
- 8.將二碳棒的距離調為 10mm，重複方法 1~6，並將之瞬時結果整理記錄於 Table-2。
- 9.將二碳棒的距離調為 15mm，重複方法 1~6，並將之瞬時結果整理記錄於 Table-3。

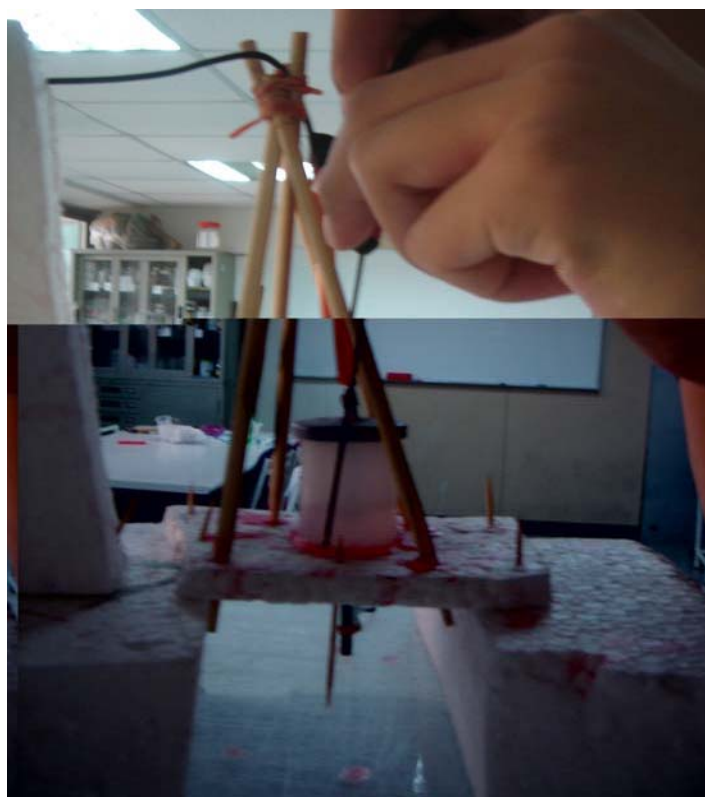


圖 2-1 磁場之測量

【實驗二】

一、目的

瞭解各種電解質在條件相同的情況下，通以電流，所產生的磁場大小與實際電流大小之性質是否相同？

二、方法

- 1.將氯化鈉、氫氧化鈉、氯化鉀、氫氧化鉀、硝酸、鹽酸、鉻酸鉀、硫酸、硫酸銅皆調配成 1M 溶液 10ml，將兩碳棒的距離調為 5mm。
- 2.將電源供應器接上，電壓調為 5V 並固定電流至最大值（直流電 3.2A）。
- 3.將高斯計探測棒置於距容器 10mm 的位置，通電後開始測量磁場與實際電流大小，並記錄之。
- 4.每完成一次實驗，將電壓調高 5V，重複方法 1~3，直到電壓為 30V。
- 5.將溶液取出，並清洗容器，再將下一種溶液滴入，重複方法 1~4。
- 6.將上述之瞬時結果整理記錄於 Table4~8。

【實驗三】

一、目的

瞭解「只有正電荷移動」與「正負電荷一起移動」，兩者所產生的電流、電壓與磁場的關係和比較。

二、方法：

- 1.將硫酸亞鐵、硝酸鎂、硫酸銅都調配成 1M 溶液 10ml。
- 2.將陽極接上由各電解質陽離子的元素組成的電極，並將兩極距離調為 5mm。
- 3.將電源供應器接上，電壓調為 20V 並固定電流至最大值（直流電 3.2A）。
- 4.將高斯計探測棒置於距容器 10mm 的位置，通電後開始測量磁場與實際電流大小，並記錄之。
- 5.完成實驗後，將電壓調高至 30V，重複方法 1~3。
- 6.將溶液取出，並清洗容器，再將下一種溶液滴入，重複方法 1~4。
- 7.將上述之瞬時結果整理記錄於 Table9~11。

伍、研究結果

【實驗一】

一、在電壓不同與濃度不同的情形下，兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

兩極距離：5mm（磁通密度單位：mG；電流單位：mA）												
濃度	0.1M				0.5M				1M			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	30	16	16	0	100	13	13	0	200	16	14	2
10V	95	17	16	1	400	17	13	4	650	20	16	4
15V	150	18	17	1	700	20	14	6	1100	24	15	9
20V	240	17	15	2	1100	24	16	8	1900	30	18	12
25V	300	19	16	3	1700	30	15	15	2600	35	17	18
30V	400	22	18	4	1600	31	17	14	3000	40	17	23

Table-1 兩極距離：5mm（電流單位：mA；磁通密度單位：mG）

將 Table-1 繪成圖形表示之，如 fig1-1~fig1-2。

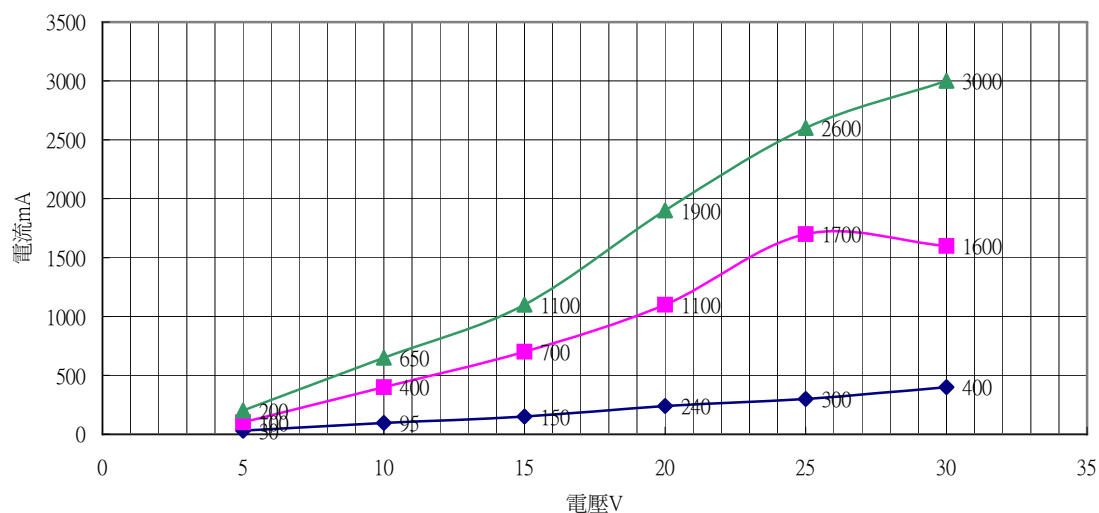


fig1-1 電流與電壓之關係--兩極距離：5mm · 藍0.1M · 紅0.5M · 綠1M

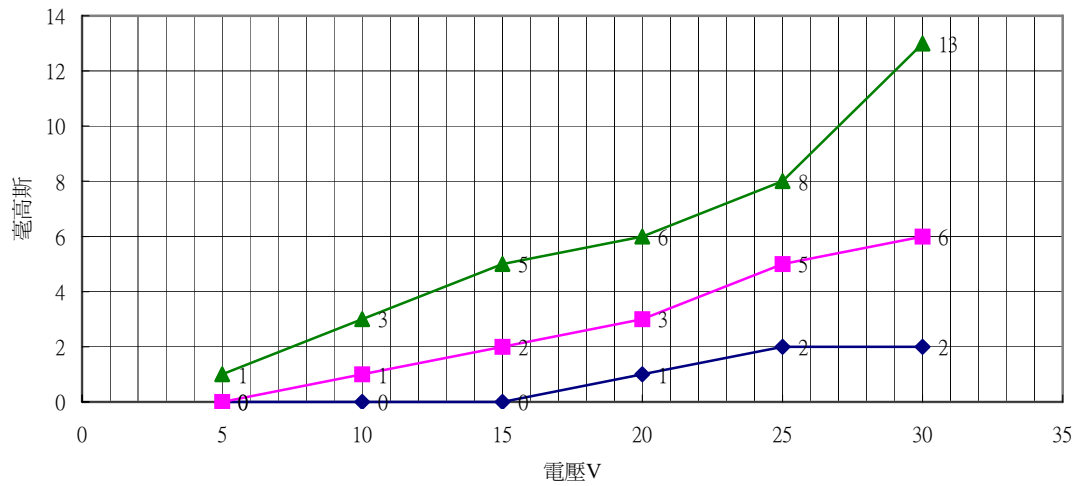


fig1-2淨磁通量與電壓之關係--兩極距離為5mm：藍為0.1M·紅為0.5M·綠為1M

二、在電壓不同與濃度不同的情形下，兩極距離 10mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

兩極距離：10mm (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)												
濃度	0.1M				0.5M				1M			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	15	15	15	0	35	16	16	0	90	18	17	1
10V	55	16	16	0	160	17	16	1	350	18	16	2
15V	95	17	16	1	340	19	17	2	650	21	16	5
20V	125	17	16	1	480	20	16	4	1000	28	16	12
25V	175	19	17	2	700	21	16	5	1700	29	17	12
30V	220	18	16	2	1000	24	16	8	2200	32	17	15

Table-2 兩極距離：10mm (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)

將 Table-2 繪成圖形表示之，如 fig1-3~fig1-4。

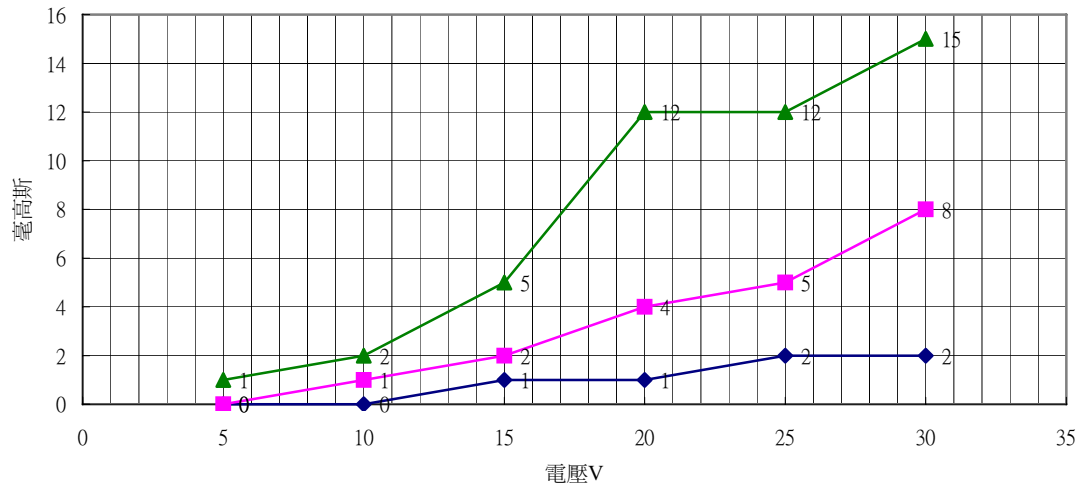


fig1-4淨磁通量與電壓之關係--兩極距離為10mm：藍為0.1M·紅為0.5M·綠為1M

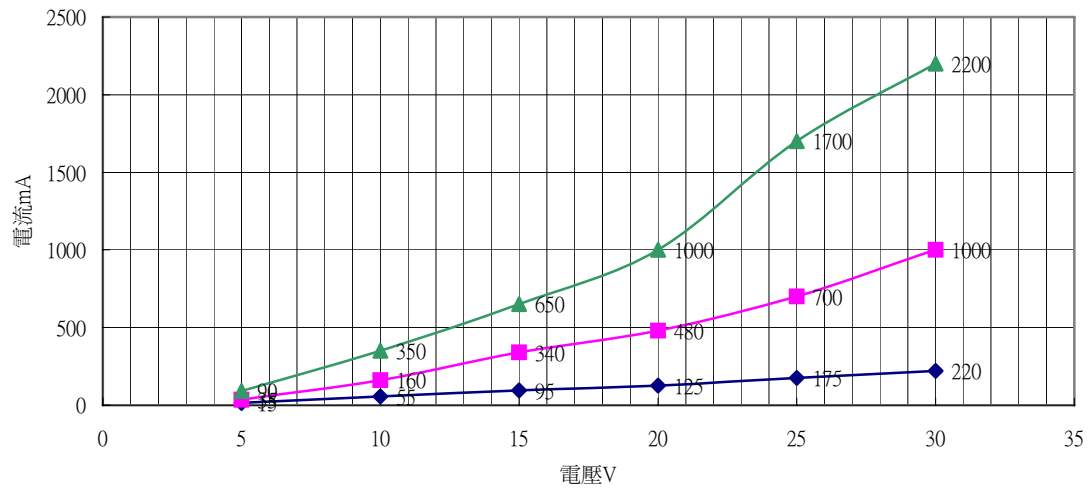


fig1-3電流與電壓之關係--兩極距離：10mm·藍0.1M·紅0.5M·綠1M

三、在電壓不同與濃度不同的情形下，兩極距離 15mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

兩極距離：15mm（磁通密度單位：mG；電流單位：mA）												
濃度	0.1M				0.5M				1M			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	14	17	17	0	50	16	16	0	90	18	17	1
10V	60	17	17	0	175	18	17	1	400	20	17	3
15V	95	17	17	0	300	19	17	2	700	22	17	5
20V	155	18	17	1	500	20	17	3	950	23	17	6
25V	205	19	17	2	700	22	17	5	1400	25	17	8
30V	300	19	17	2	975	23	17	6	2100	29	16	13

Table-3 兩極距離：15mm（磁通密度單位：mG；電流單位：mA）

將 Table-3 繪成圖形表示之，如 fig1-5~fig1-6。

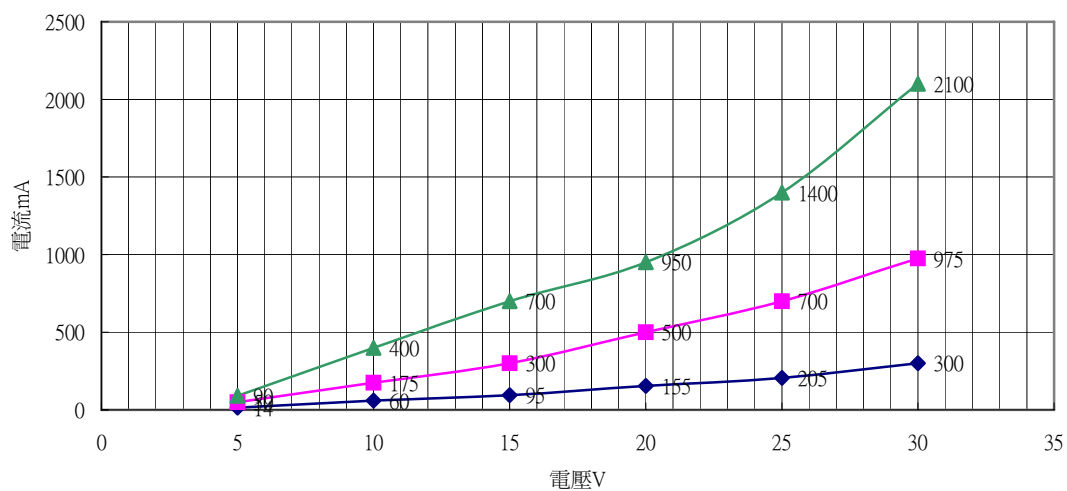


fig1-5 電流與電壓之關係--兩極距離：15mm · 藍0.1M · 紅0.5M · 綠1M

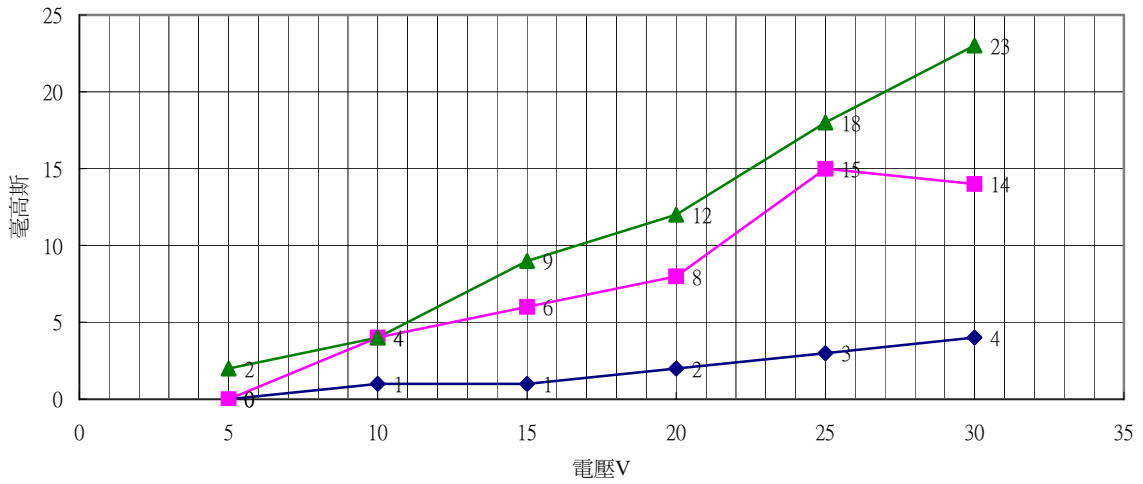


fig1-6淨磁通量與電壓之關係--兩極距離為15mm：藍為0.1M·紅為0.5M·綠為1M

由 Table-1 至 Table-3 的電流與淨磁通密度所繪製之圖，如下：

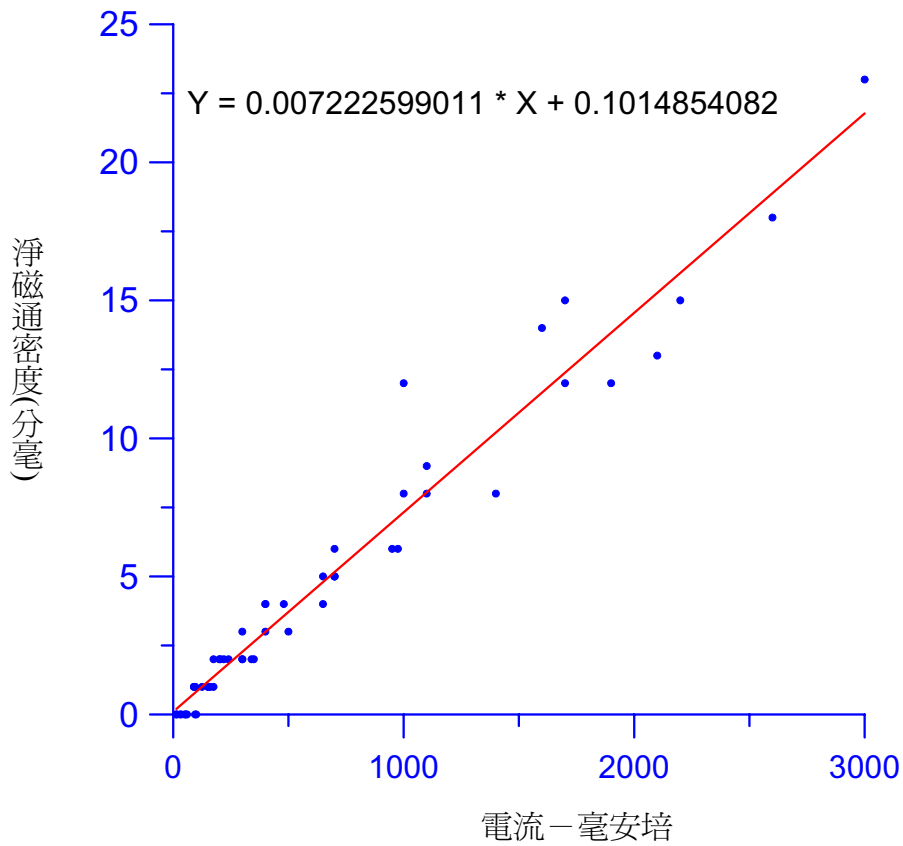


fig1-7 電流與磁通密度之關係圖

【實驗二】

一、在電壓不同與電解質不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

	+1 價 -1 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)							
電解質	NaCl				NaOH			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	45	17	17	0	42.5	18	18	0
10V	200	18	17	1	250	19	18	1
15V	450	21	18	3	550	20	17	3
20V	800	23	18	5	1050	23	18	5
25V	1050	21	16	5	1450	25	18	7
30V	1300	25	18	7	1700	27	18	9
電解質	KCl				KNO3			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	30	18	18	0	200	16	14	2
10V	225	20	18	2	650	20	16	4
15V	500	20	17	3	1100	24	15	9
20V	750	22	18	4	1900	30	18	12
25V	1200	24	18	6	2600	35	17	18
30V	1550	26	18	8	3000	40	17	23

Table-4：+1 價-1 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)

將 Table-4 繪成圖形表示之，如 fig2-1~fig2-4。

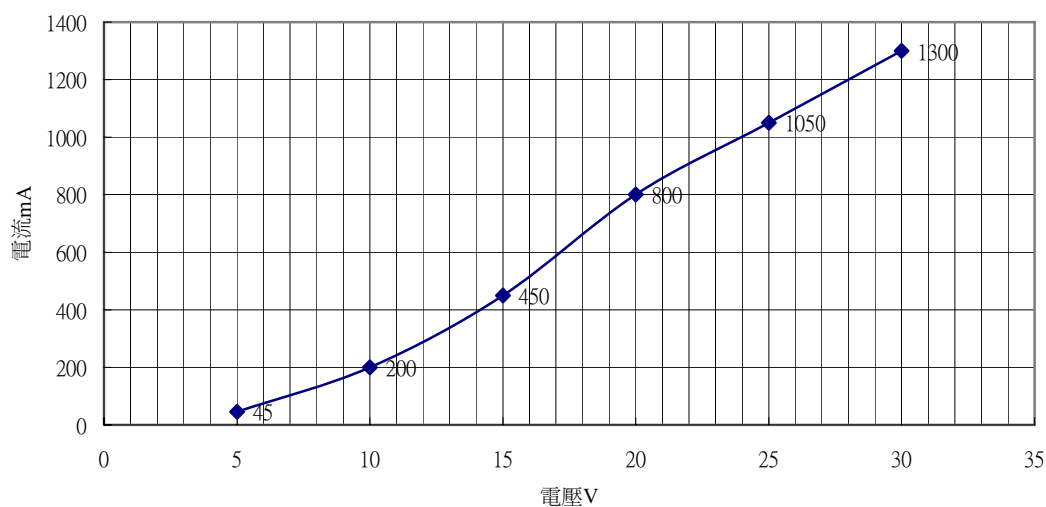


fig2-1 電壓與電流--NaCl (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

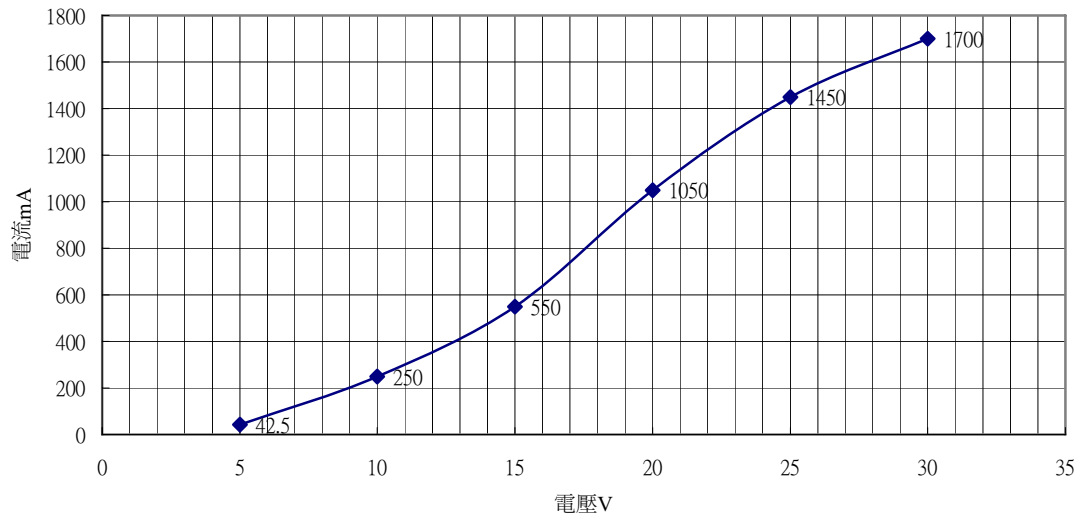


fig2-2電壓與電流--NaOH (兩極距離為: 5mm · 濃度為1M)

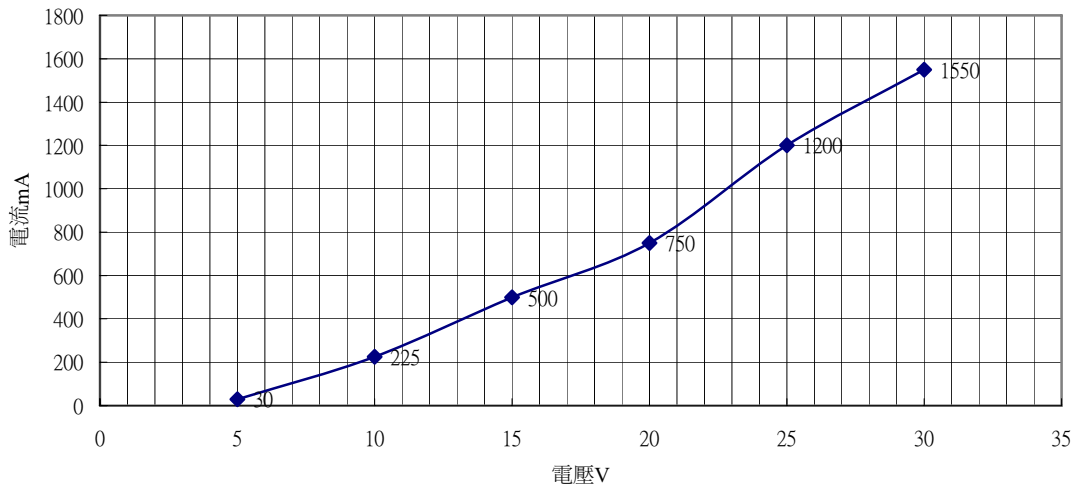


fig2-3電壓與電流--KCl (兩極距離為: 5mm · 濃度為1M)

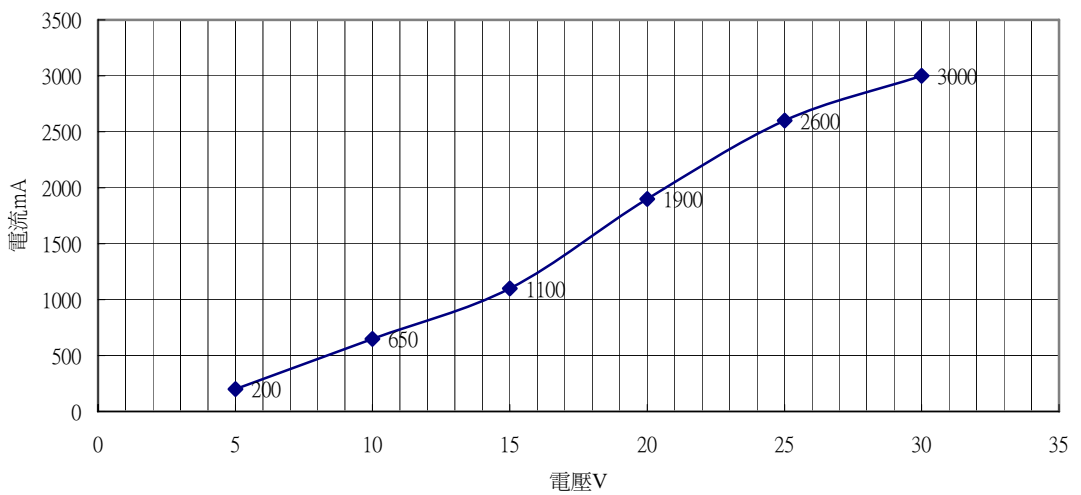


fig2-4電壓與電流--KNO₃ (兩極距離為: 5mm · 濃度為: 1M)

二、在電壓不同與電解質不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

		+1 價 -1 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)											
電解質		KOH				HNO ₃ (碳棒剝落量少)				HCl			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	
5V	70	18	18	0	25	17	17	0	40	17	17	0	
10V	300	19	18	1	600	22	18	4	400	19	17	2	
15V	600	20	17	3	1300	24	17	7	850	22	17	5	
20V	1200	23	17	6	2000	28	17	11	1100	23	17	6	
25V	1600	26	18	8	2800	33	18	15	1600	25	17	8	
30V	1800	29	17	12	供應器已超出負荷，因此沒數據。				2000	28	17	11	

Table-5：+1 價-1 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)

- ※ 電解質化學式以紅色表示者，為會產生氣泡因而有斷路現象。
- ※ 強酸通電後，蠟並沒有熔化浮於液面。

將 Table-5 繪成圖形表示之，如 fig2-5~fig2-7。

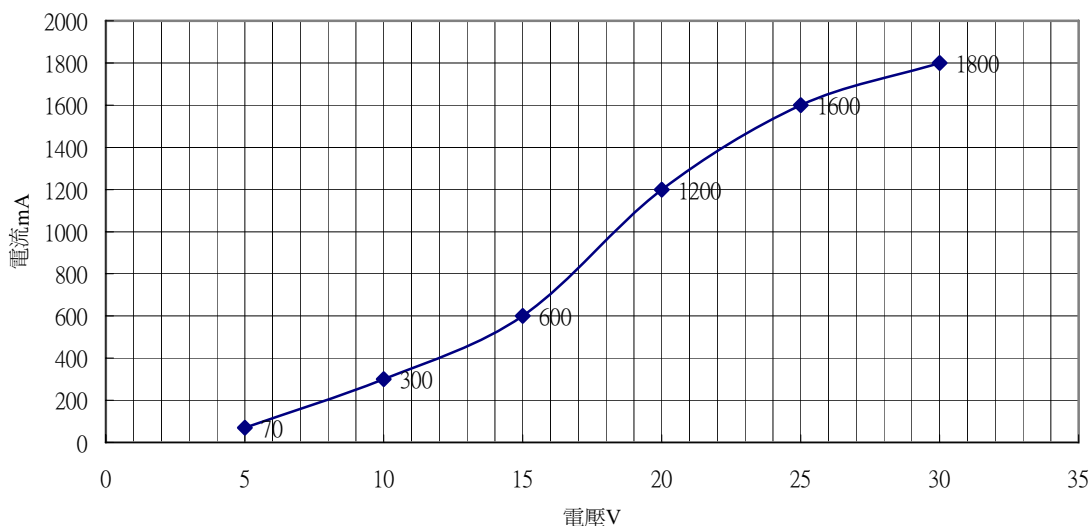


fig2-5電壓與電流--KOH (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

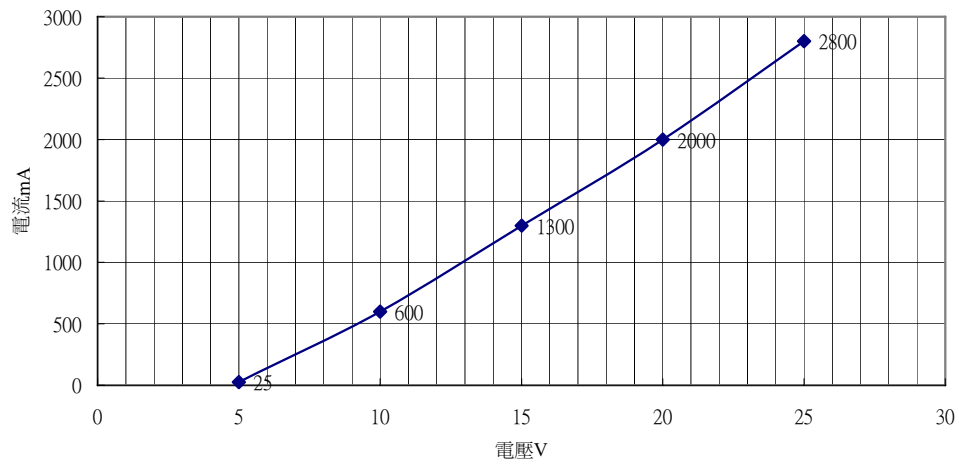


fig2-6電壓與電流--HNO₃ (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

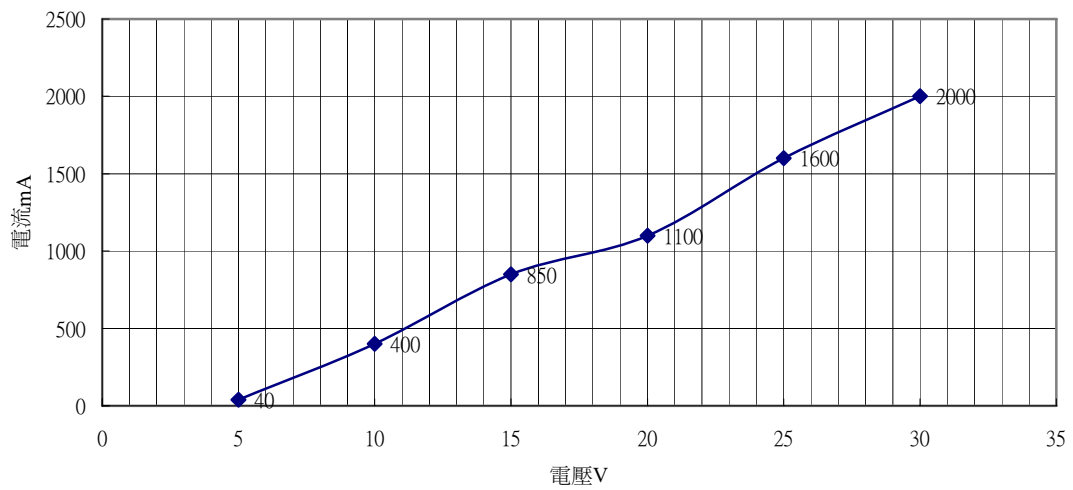


fig2-7電壓與電流--HCl (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

三、在電壓不同與電解質不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

	+1 價 -2 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)								+2 價 -2 價			
電解質	K2CrO4				H2SO4 (碳棒剝落量多)				CuSO4			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	10	18	18	0	105	19	18	1	75	18	18	0
10V	300	20	18	2	1000	24	17	7	400	21	18	3
15V	700	22	18	4	2400	30	16	14	750	22	17	5
20V	1000	24	18	6	3000	33	16	17	1200	24	18	6
25V	1700	27	18	9	由於電源供應器的電流大小，以比例來算已超出最大負荷，故無數據。				1600	27	18	9
30V	2200	29	17	12					2000	30	18	12

Table-6：+1 價-2 價和+2 價-2 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)

將 Table-6 繪成圖形表示之，如 fig2-8~fig2-10。

※電解質化學式以紅色表示者，為會產生氣泡因而有斷路現象。

※強酸通電後，蠟並沒有熔化浮於液面。

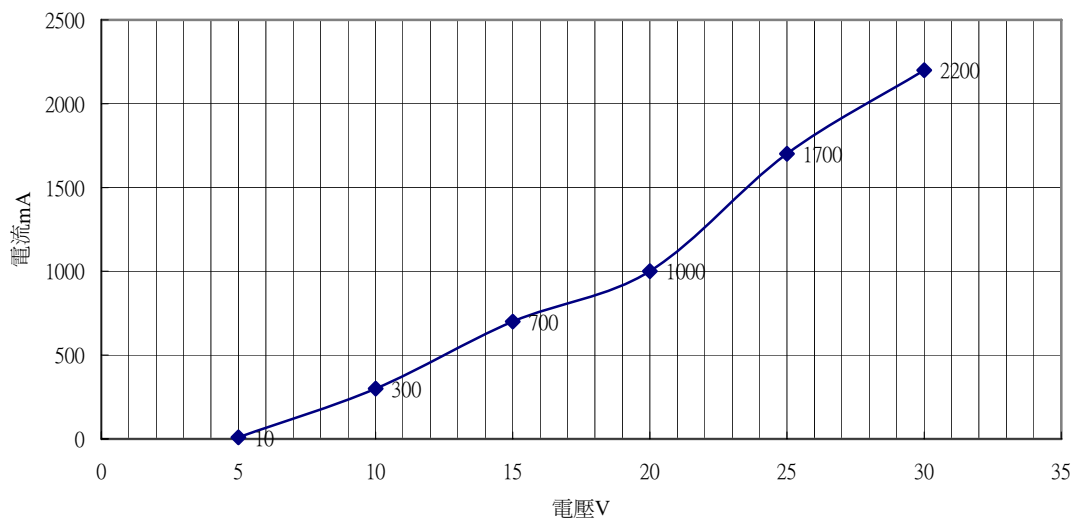


fig2-8電壓與電流--K2CrO4 (兩極距離為：5mm·濃度為1M)

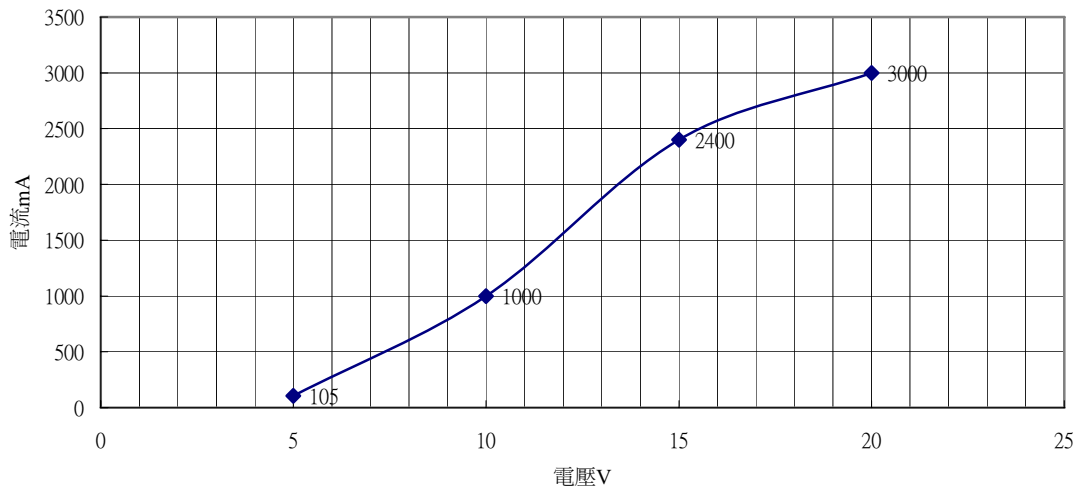


fig2-9電壓與電流--H₂SO₄ (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

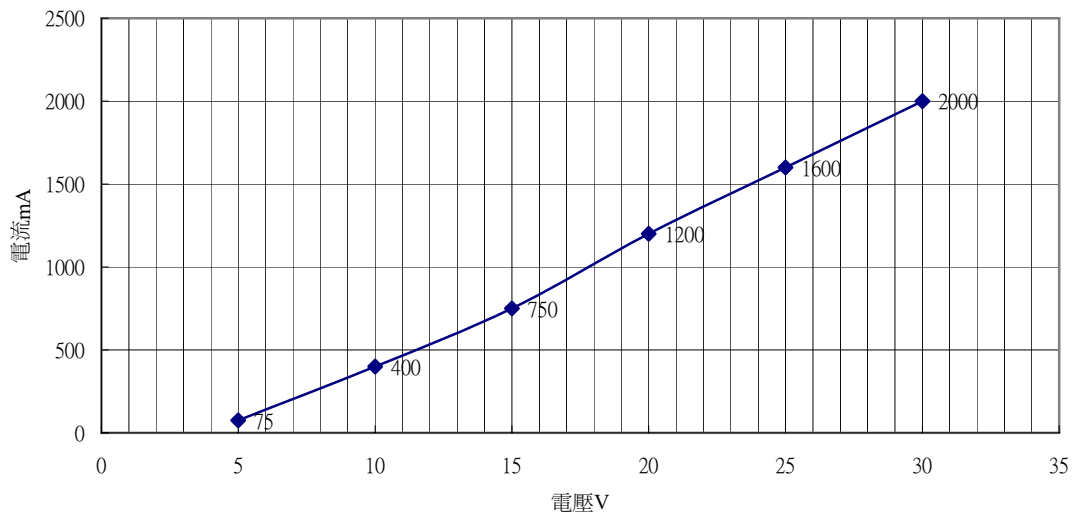


fig2-10電壓與電流--CuSO₄ (兩極距離為：5mm · 濃度為1M)

四、在電壓不同與電解質不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場。

	+2 價-2 價 (磁通密度單位：mG；電流單位：mA)				+2 價 -1 價			
電解質	FeSO4				Mg(NO3)2			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
5V	80	17	17	0	150	18	17	1
10V	300	19	17	2	400	18	16	2
15V	700	19	16	3	600	21	18	3
20V	1100	22	17	5	*1000	23	17	6
25V	1600	25	17	8	*1200	23	17	6
30V	2000	28	18	10	*1400	22	16	6

Table-7：+2 價-2 價和+2 價-1 價（磁通密度單位：mG；電流單位：mA）

※ * 為瞬間極大值，在升到極值後迅速下降，降至趨近於零毫安培。

※Mg(NO3)2 在反應是會發出怪聲（斯斯聲）

將 Table-6 繪成圖形表示之，如 fig2-11~fig2-12。

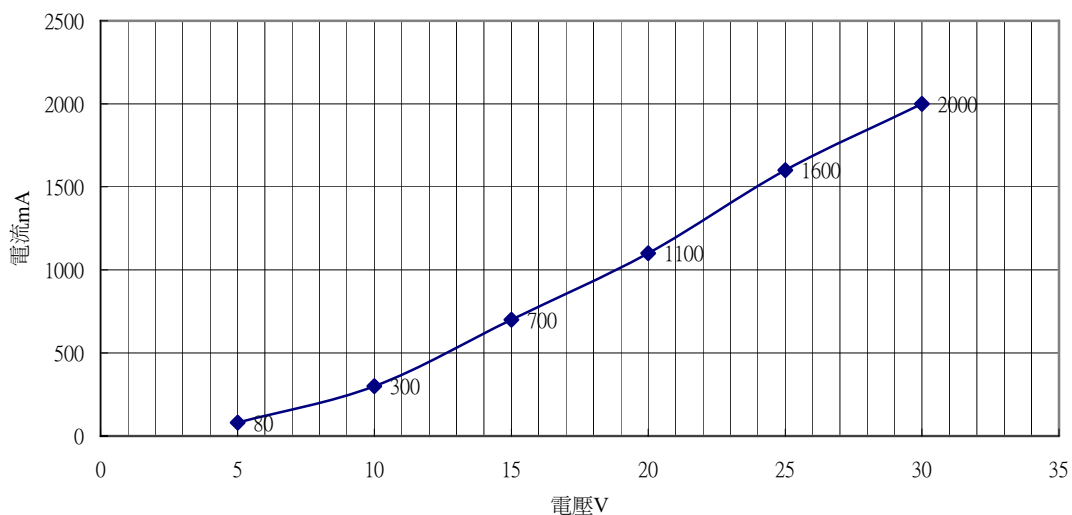


fig2-11電流與電壓--FeSO4（兩極距離為：5mm·濃度為：1M）

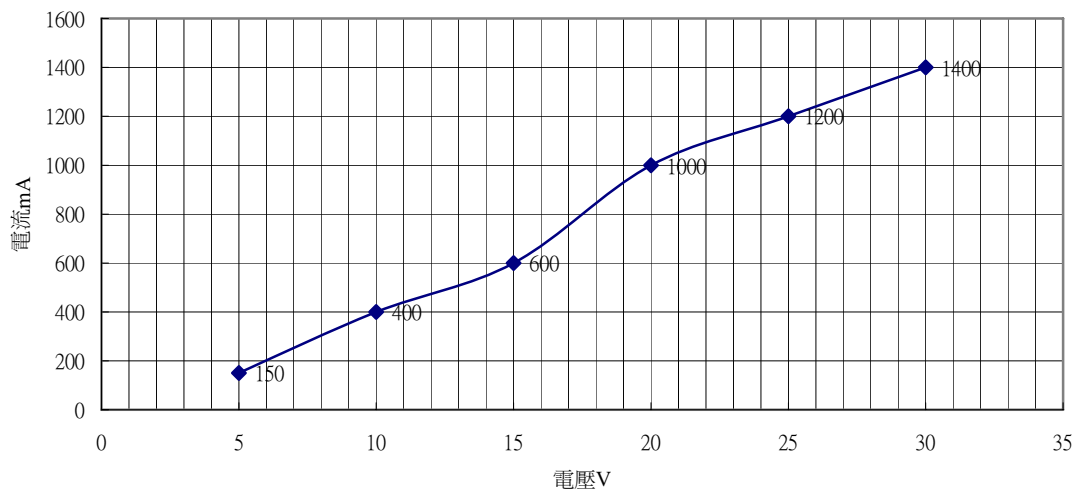


fig2-12 電流與電壓-- $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (兩極距離為：5mm · 濃度為：1M)

【實驗三】

一、在電壓不同與正電極不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場之比較。

+2 價 -1 價 (磁力單位：mG；電流單位：mA)								
電解質	Mg(NO ₃) ₂							
陽極材料	鎂 (Mg)				碳 (C)			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
20V	1000	21	16	5	1000	23	17	6
30V	1500	25	16	9	1400	22	16	6

Table-8：+2 價-1 價 (磁力單位：mG；電流單位：mA)

※(1) Table-8 在材料為鎂 30V 時的電流變化：0mA→1500mA→500mA→700mA→300mA→600mA→200mA…。

將※(1)繪成圖形表示之，如 fig3-1。

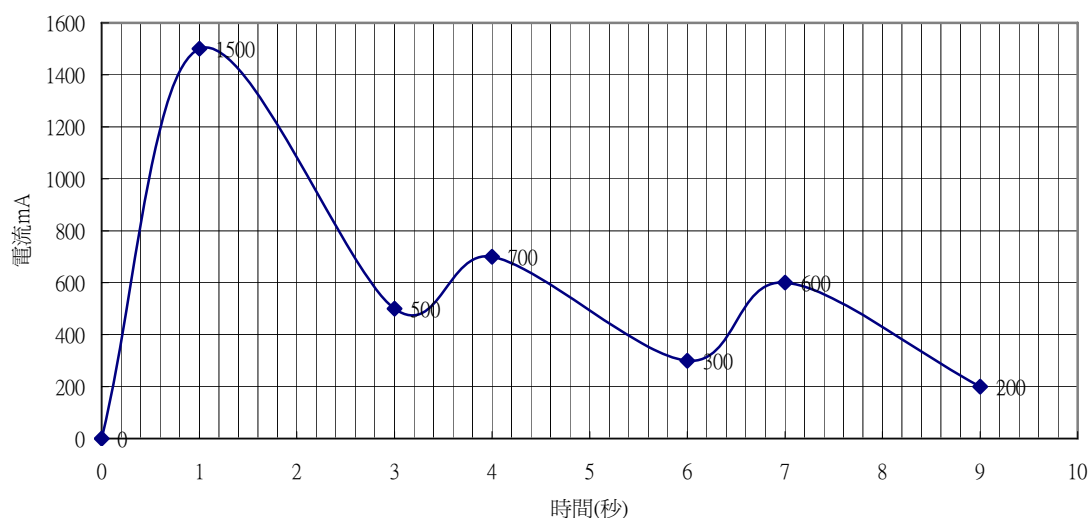


fig3-1--Mg(NO₃)₂在30V時的電流-時間變化圖
(兩極距離為：5mm·濃度為：1M)

二、在電壓不同與正電極不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場之比較。

+2 價 -2 價 (磁通單位：mG；電流單位：mA)								
電解質	FeSO ₄							
陽極材料	鐵 (Fe)				碳 (C)			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
20V	1400	23	17	6	1100	22	17	5
30V	3200+	36	18	18	2000	28	18	10

Table-9：+2 價-2 價 (磁通單位：mG；電流單位：mA)

※(2) Table-9 在材料為鐵 20V 時的電流變化：0mA→1400mA→3200mA……。

溫度變化：30°C ————約 45°C

將※(2)繪成圖形表示之，如 fig3-2。

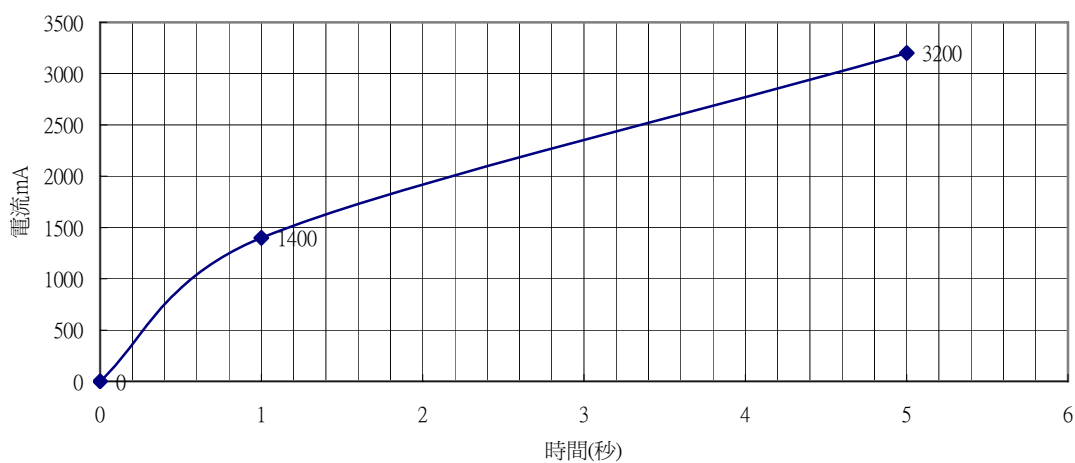


fig3-2--FeSO₄在20V時的電流-時間變化圖
(兩極距離為：5mm · 濃度為：1M)

三、在電壓不同與正電極不同的情形下，濃度 1M、兩極距離 5mm 的電解溶液通電後所產生的電流與磁場之比較。

+2 價 -2 價 (磁通單位：mG；電流單位：mA)								
電解質	CuSO ₄							
陽極材料	銅 (Cu)				碳 (C)			
電壓	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度	電流	磁通密度	背景	淨磁通密度
20V	1900	24	17	7	1200	24	18	6
30V	3200+	29	17	12	2000	30	18	12

Table-10：+2 價-2 價 (磁通單位：mG；電流單位：mA)

※(3) Table-10 在材料為銅 20V 時的電流變化：

0mA→1900mA→100mA→3200mA…。

此處暫留約 2 至 3 秒 ↑

溫度變化：30°C — — — — — 30°C — — 約 48°C

將※(3)繪成圖形表示之，如 fig3-3。

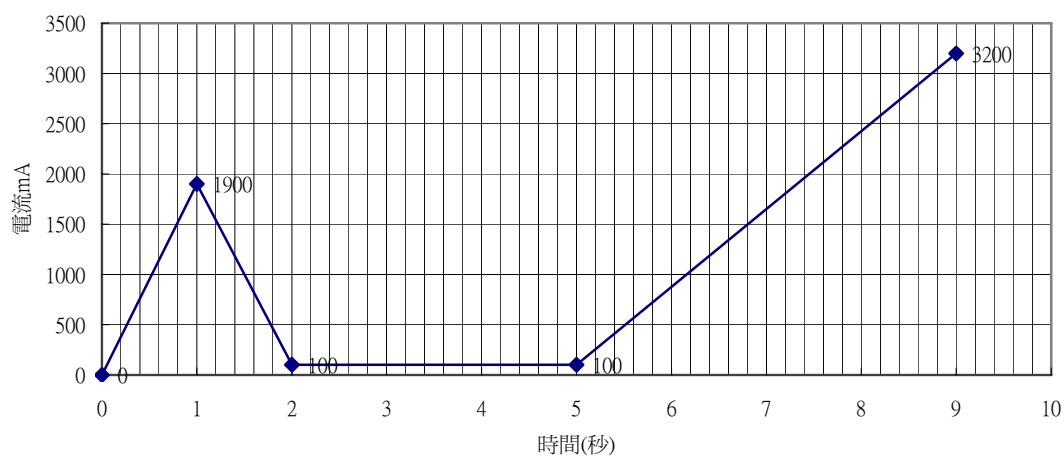


fig3-3--CuSO₄在20V時的電流-時間變化圖
(兩極距離為：5mm · 濃度為：1M)

陸、討論

【實驗一】

- 一、三張 V-mA 圖比較後，發現一旦超過 20V 電壓，電流就劇增，由線性變為非線性，且大部分斜率變大。造成此結果的原因，應該是溶液通電後，產生電場，離子受到電場的吸引，密集在兩極碳棒之間，由於離子增加，也就是導體增加，電阻變小，我們可從歐姆定律得知 $I=V/R$ ，I 與 R 成反比，當 R 電阻越小，I 電流就越大。此種現象極可能就是在電壓 20V 的時候發生的，所以才會電流劇增。針對這個發現，將以【實驗二】來加以驗證。
- 二、由fig1-7 可得知在電解液中電流與磁通密度之平均值成比例增加。並可得知其關係式： $B=[4 \times 6^{1/2} \times \tan(\sin 25^\circ) \times 10^5 - 21^{1/2}] \times 10^{-6} \times I + 10^{-1} + (2.2)^{1/2} \times 10^{-3}$ 。B 為磁通密度、單位毫高斯，I 為電流、單位毫安培。
- 三、根據電磁學中的電磁感應的原理，電流大小與磁場強度成正比，所以在 20V 的電壓下，電流劇增現象也會影響到磁場強度，因此磁場強度也跟著劇增。
- 四、在【實驗一】的過程中，發現電解質溶液會慢慢變黑，剛開始以為是碳棒與溶液起反應，但硝酸鉀在電解時並不會參與反應，僅發生水的電解反應。而如果碳與氧反應，所產生的物質「一氧化碳或二氧化碳」是氣體，只會少量溶於水，且溶液是無色的。再者，實驗過後將溶液取出容器後，發現容器底部有許多黑色物質，而且碳棒末端有剝落的現象。本研究認為造成此現象的原因應該是熱脹冷縮；因為碳棒與電解質溶液的電阻值相差大，而兩個電阻值相差大的物質，只要串聯並通以電流，兩物質的接觸面就會產生高溫，碳棒（石墨棒）硬且易碎，表面溫度突然升高，因內外溫度差異，內冷外熱，造成碳棒外層熱脹，並與內層脫離而剝落。
- 五、因磁針偏轉的角度與磁場強度成正比。然而【實驗一】的結果（如 Table-1、Table-2、Table-3）在相同淨磁通密度下之偏轉角度並非一定值。從電磁效應中，我們得知在固體導線的周遭空間中，在導線通電後，會形成磁場，而為了減少磁場干擾，本實驗裝置中之導線，必須盡量遠離裝有電解質溶液的容器。

【實驗二】

- 一、由【實驗一】與【實驗二】所有電流與電壓的 fig 可以觀察到：並非所有的電解質溶液的電流都在電壓值 20 伏特時會有劇增現象。有些電解質溶液，如： CuSO_4 水溶液、 HNO_3 水溶液，所繪出的圖形都呈現出線性性質，而那些非線性的圖形為什麼會這樣呢？經過觀察後發現，呈非線性圖形的物質之陽離子活性都是較大，而呈線性圖形的物質之活性較小。活性大的物質較難還原，在 20 伏特時，陽離子會向陰極附近集中以求電中性。不過，活性大是無法還原的，兩極之間的電場，一定會使電解溶液產生反應，電流才能通過；所以真正在反應的是水的電解，還原氫，釋出氫氧根；由於累積電場的關係，故陽離子與氫氧根化合的速度就會加快，反應速度快電流跟著就大。而活性小的物質是直接以陽離子來還原，並不會因為不能還原而在陰極附近累積離子，而是以穩定的速度反應，所以不會有劇增的現象。
- 二、另外，在實驗的過程中，經常會出現特殊的反應，如： HNO_3 水溶液、 K_2CrO_4 水溶液、 H_2SO_4 水溶液，都會在電極產生氣泡；這些氣泡並不會浮出液面進入大氣，而是附著在電極碳棒尖端的地方。這些氣泡就像塑膠一樣是絕緣體，會將電流切斷，使實驗無法進行，因而在實驗過程中必須加以震動，使氣泡可以脫離電極，讓實驗可以繼續進行。但氣泡為什麼不會像其他的電解質溶液一樣，自動浮出液面進入大氣呢？因為離子包覆在氣泡周圍，而正電荷與負電荷會互相吸引，所以在陰極的氣泡不會漂上去的原因，是附著的陽離子與陰極吸引，吸引力把浮力給抵銷了，使氣泡附著在電極上。

三、各電解質溶液在通電後的反應式：

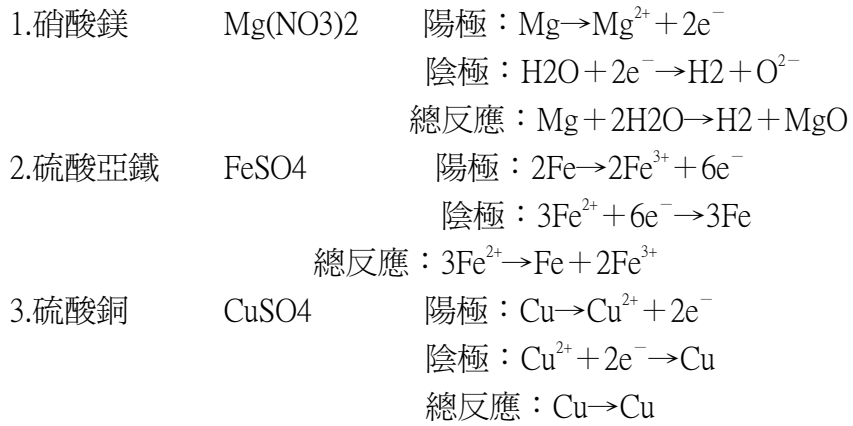
1. 硝酸鉀 KNO_3 陽極： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{O}_2+4\text{H}^++4\text{e}^-$
陰極： $4\text{H}^++4\text{e}^-\rightarrow2\text{H}_2$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow2\text{H}_2+\text{O}_2$
2. 氯化鈉 NaCl 陽極： $2\text{Cl}^-\rightarrow\text{Cl}_2+2\text{e}^-$
陰極： $2\text{H}_2\text{O}+2\text{e}^-\rightarrow\text{H}_2+2\text{OH}^-$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}+2\text{NaCl}\rightarrow\text{Cl}_2+\text{H}_2+2\text{NaOH}$
3. 氫氧化鈉 NaOH 陽極： $4\text{OH}^-\rightarrow2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2+4\text{e}^-$
陰極： $4\text{H}_2\text{O}+4\text{e}^-\rightarrow2\text{H}_2+4\text{OH}^-$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow2\text{H}_2+\text{O}_2$
4. 氯化鉀 KCl 陽極： $2\text{Cl}^-\rightarrow\text{Cl}_2+2\text{e}^-$
陰極： $2\text{H}_2\text{O}+2\text{e}^-\rightarrow\text{H}_2+2\text{OH}^-$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}+2\text{KCl}\rightarrow\text{Cl}_2+\text{H}_2+2\text{KOH}$
5. 氫氧化鉀 KOH 陽極： $4\text{OH}^-\rightarrow2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2+4\text{e}^-$
陰極： $4\text{H}_2\text{O}+4\text{e}^-\rightarrow2\text{H}_2+4\text{OH}^-$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow2\text{H}_2+\text{O}_2$
6. 硝酸 HNO_3 陽極： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{O}_2+4\text{H}^++4\text{e}^-$
陰極： $4\text{H}^++4\text{e}^-\rightarrow2\text{H}_2$
總反應： $2\text{H}_2\text{O}\rightarrow2\text{H}_2+\text{O}_2$
7. 鹽酸 HCl 陽極： $2\text{Cl}^-\rightarrow\text{Cl}_2+2\text{e}^-$
陰極： $2\text{H}^++2\text{e}^-\rightarrow\text{H}_2$

- 總反應： $2\text{Cl}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$
8. 鉻酸鉀 K_2CrO_4 陽極： $12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{O}_2 + 24\text{H}^+ + 24\text{e}^-$
 陰極： $4\text{CrO}_4^{2-} + 24\text{e}^- + 32\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Cr} + 16\text{H}_2\text{O}$
 總反應： $\text{K}_2\text{CrO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr} + 2\text{KOH} + \text{H}_2 + 2\text{O}_2$
9. 硫酸 H_2SO_4 陽極： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 陰極： $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
 總反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
10. 硫酸銅 CuSO_4 陽極： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 陰極： $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cu}$
 總反應： $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
11. 硫酸亞鐵 FeSO_4 陽極： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 陰極： $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{Fe}$
 總反應： $2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
12. 硝酸鎂 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 陽極： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 陰極： $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$
 總反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

【實驗三】

- 一、由 Table-9 至 Table-11 可以看出，把陽極的材質由碳棒改爲由各電解質陽離子的元素組成的材質，在相同電壓下可通過較高的電流。造成這種現象的原因是：當以碳棒爲陽極時，電解液所產生的反應爲電解；改由各電解質陽離子的元素組成的材質時，所產生的反應爲電鍍。電解時，陰陽離子都會向與自己相反電荷的電極前進；而電鍍時，是由陽極釋出陽離子，這些陽離子會向陰極前進，但陰離子並不會向陽極前進。因爲，陽極的反應爲將自己的原子氧化，並不會將陰離子氧化，而陰陽離子如果向著相反方向前進，一定會產生碰撞；而使電阻增加、電流減小；相反的，如果只有陽離子單方向移動的話，這樣就能減少動能消耗，電阻就可以變小、電流就會變大。所以把陽極的材質由碳棒改爲由各電解質陽離子的元素組成的材質，就可以在相同電壓下通過較高的電流。
- 二、當電鍍液爲硝酸鎂時，理論上通電後，在陰極是不會有鎂產生的。但是做完實驗後發現，在陰極出現灰白色物質，原以爲是鎂，但卻不能燃燒，溶於水後成鹼性，所以推論應是氧化鎂（ MgO ）。由於通電後，鎂的活性大，並不會還原，水電解後，產生氫，而氧離子則與鎂離子化合生成氧化鎂，氧化鎂的溶解度極低，因此就落在下方的負電極上。
- 三、將電解與電鍍所產生之電流與磁場作比較，可得知，以電解的方式通以電流所產生的磁場較小；因爲陰陽離子的互相撞擊，會使動能轉變成熱能，使相對速度變小。而以電鍍的方式通以電流所產生的磁場較大，是因爲只有陽離子在移動，就算撞擊陰離子所損失的動能也不會很大，所以相對速度也不會慢很多，產生的磁場當然比電解的爲大。所以陰陽離子的相對運動速度與磁場強度成正比。
- 四、在 fig3-1 可以看到電鍍液硝酸鎂在相同電壓通以電流時，時間一久，電流就會出現下降的現象，而且每 2 秒電流就會突然增加。這是因爲在電鍍時，陰極會有氧化鎂產生，而且包覆電極，氧化鎂溶解度既小，又不導電，因此在 1 至 3 秒時電流一直下降。然而，3 秒時爲何又突然增加呢？因爲陰極會產生氫氣，而氫氣凝聚到一定的量時就把氧化鎂的膜給撐破了，所以導通量突然又增加，電流當然也突然增加。之後 2 秒電流突然增加，也是相同原因。
- 五、在 fig3-2 顯示電流一直急劇上升，乃是因爲通電後，電流熱效應的關係；溶液溫度升高，電阻下降，電流當然變大。
- 六、在 fig3-3 顯示電流一開始先急劇上升，到了 1900 毫安培時又開始急劇下降，此乃是因爲銅離子在陰極還原時由於電流過大，導致覆蓋不均勻，還原後的銅原子之間產生空洞，而由於電解液與碳棒接觸面產生高溫，因而使水汽化，填補了銅原子間的空洞，使電阻突然升高；由於水一直汽化就會產生壓力，當壓力超過銅原子與銅原子之間的金屬鍵結力時，就會將其撐破，又使電阻下降，而壓力需要一段時間才能超過金屬鍵結力，這就是爲什麼電流有一段時間既不上升也不下降的原因；金屬鍵結力被抵銷之後，銅原子就散佈開來，使電阻一直下降，這就是爲什麼在 5 秒之後電流一直上升的原因。

七、各電鍍溶液在通電後的反應式：

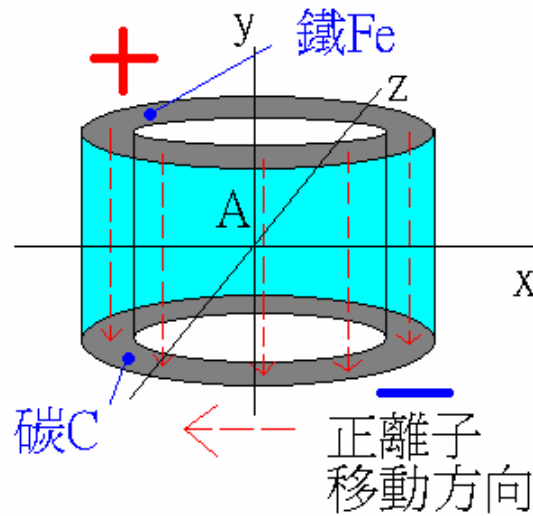


柒、結論

- 一、電解質的陽離子的原子活性愈小，通電後之「電流-電壓」將成正比，即呈線性變化。
- 二、電解質溶液在相同電壓的情況下，陰陽離子同時相反運動所產生的電流較僅陽離子單方向運動所產生的電流為小。
- 三、陰陽離子同時相反運動所產生的電流，與僅陽離子單方向運動所產生的電流相較，其所通過的電流更為穩定。
- 四、磁場的強度與正負電荷間之相對速度大小成正比。
- 五、陽極的材質由碳棒改爲由各電解質陽離子的元素組成的材質，在相同電壓下可通過較高的電流。
- 六、以電解的方式通以電流所產生的磁場較小，而以電鍍的方式通以電流所產生的磁場較大。
- 七、在電解液中電流與磁通密度之平均值成比例增加。其關係式： $B = [4 \times 6^{1/2} \times \tan(\sin 25^\circ) \times 10^5 - 21^{1/2}] \times 10^{-6} \times I + 10^{-1} + (2.2)^{1/2} \times 10^{-3}$ 。B爲磁通密度、單位毫高斯，I爲電流、單位毫安培。

捌、展望與應用

一、未來希望能將此實驗結果運用在磁屏蔽的應用上，實驗構想如下圖：



二、應用：一般磁屏蔽是以固態鐵板所構成，此構想將以液態硫酸亞鐵溶液所構成的水牆取代鐵板。即當電流一接通，亞鐵離子便向陰極移動，有如一道可移動的鐵牆將磁場隔離，其通電後所產生的磁場， $x=0$ 、 $y=0$ 、 $z=0$ 的位置 A 是沒磁場強度的；因為剛好在水牆圍成的空間的中心，四周的磁場強度都互相抵銷了，所以要求沒磁場影響的物體是放在 A 座標上，當不需要使用時將電源切掉即可回復正常，此系統的優點是設備將較鐵板為輕，且可以以塑膠為容器之材質，需使用時充氣定型，使用完後可將其洩氣後摺疊收起可節省空間，攜帶方便。而內容物為液體，所以可以依不同的場地裝在各種形狀的容器內，避免場地空間之浪費。

玖、參考文獻

- 一、曾國輝 著 『化學上下冊』二版 藝軒圖書出版社 附錄 V 民國七十五年一月
- 二、陳炳亨 著 『最新高中化學精析(三)』 一版 翰林出版社 10(II)-5~10(II)-6 民國七十三年三月
- 三、陳一峯 著 民國 76 年 6 月 『系統內電磁干擾之控制』 41 頁~88 頁
- 四、休伊特 著 『觀念物理 V—電磁學·核物理』 一版 天下遠見出版股份有限公司 240 頁 西元 2002 年 9 月 15 日
- 五、休伊特 著 『觀念物理 II—轉動力學·萬有引力』 一版 天下遠見出版股份有限公司 211 頁 西元 2003 年 3 月 10 日
- 六、田福助 著 『電化學—原理與應用—』 四版 高立圖書有限公司 1 頁~77 頁 民國 79 年 8 月 30 日
- 七、Susan Budavari 『化工化學大辭典-默克索引』 一版 中央圖書出版社 西元 1998 年

評語

本實驗以不同電解液在電場中產生電流的現象來產生磁效應，實驗不錯，有一定的創意，但實驗方法有待加強，例如可用不同電極來進行實驗，和加強電化學的分析和了解。