

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031614

探討離子電流的電磁效應與替代金屬導體的可行性

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國二 呂日恆	指導老師： 梁炫禧 陳泰嬌
---------------	---------------------

關鍵詞：離子漩渦電流 電流的磁效應 感應電流

壹、摘要

爲了證明離子感應電流的存在、測其大小及探討離子溶液代替金屬導體之可行性，我以離子分離電容器、螺線管、羅蘭環及萊頓瓶等器材，設計感應電流的量測方法。藉由電壓紀錄器記錄瞬間的感應電壓，再由測得電壓換算成電流。實驗結果顯示硫酸銅濃度 5% 時，離子漩渦電流產生 4.4×10^{-4} (μA) 的感應電流，離子螺線管產生 1.89×10^{-4} (μA) 的感應電流，且離子濃度約 15% 時，漩渦離子產生的感應電流最大；當噴水速度達 1032 (cm/s) 時，帶電水霧產生 3.4×10^{-4} (μA) 的感應電流，且噴速越快，產生的感應電流也越大。由實驗結果驗證了離子感應電流的存在及離子溶液代替金屬導體的可行性，藉由感應電流之偵測及離子溶液的導電性，更可拓展至直流發電機、金屬偵測門、及科幻片中在空中飛行的車子等無可限量之生活應用。

貳、研究動機

在自然課本中，我學到了法拉第定律、冷次定律和阿瑞尼士解離說，分別解釋了產生感應電流的原因(當一封閉線圈內的磁力線數目發生變化時，就會產生感應電流)和離子水溶液可以導電的原因。因此我就想到幾個有趣的實驗，利用離子水溶液可以導電的原理，希望可以用離子流取代金屬導體，還有利用靜電原理，讓離子水溶液通電、水霧帶負電荷形成電流而產生磁場，測量磁場造成的感應電流，進而探究離子流的一切電磁現象，於是我就抱著好奇與尋求真理的心態，仔細觀察並小心求證。

參、研究目的

- 一、用不同實驗證明感應電流的存在。
- 二、製造出感應電流，並測其大小。
- 三、測量不同溶液濃度的電阻，找出電阻最低者當導電體。
- 四、探討離子溶液代替金屬導體之可行性。

肆、研究器材、過程及方法

一、基本實驗儀器

(一) 直流電源供應器，如圖 1 所示

(二) 三用電錶，如圖 2 所示

(三) 電壓紀錄器，如圖 3 所示

(四) 上皿天平，如圖 4 所示

(五) 電流放大器(用麵包板、470 μF 電容器、NPN 型電晶體、電阻等組成)，如圖 5 所示

(六) 數位相機



圖 1. 電源供應器



圖 2. 三用電錶



圖 3. 電壓紀錄器



圖 4. 上皿天平

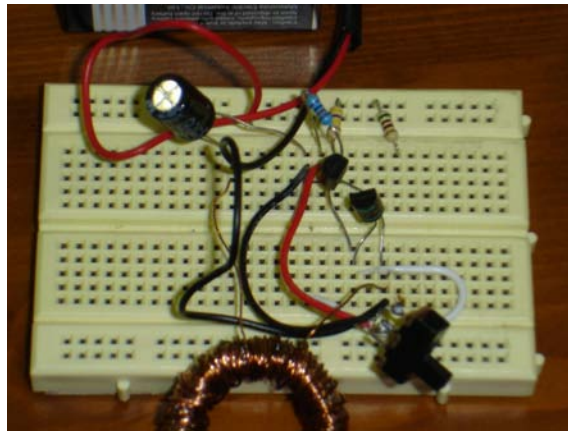


圖 5. 電流放大器

二、電流放大器製作方法

(一)如圖 6 所示

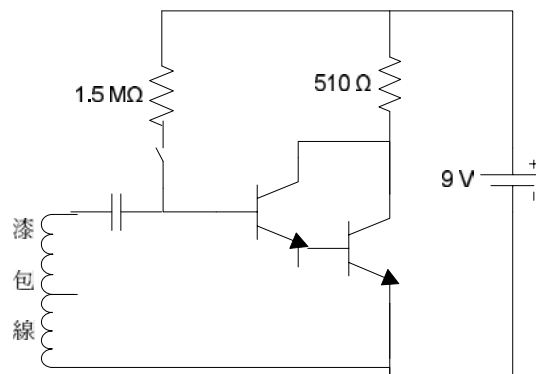


圖 6. 電流放大器電路圖

三、實驗(一)材料(離子漩渦電流的電磁感應)

(一) 細漆包線，如圖 7 所示

(二) 硫酸銅(CuSO_4)，如圖 8 所示

(三) 電極式離子分離器，如圖 9 所示

(四) 馬達

(五) 電池及電池座



圖 7. 細漆包線、鱷魚夾對香蕉頭



圖 8. 針筒、硫酸銅



圖 9. 上：羅蘭環，中：點滴螺線管，下：電極式離子分離器

四、電極式離子分離器製作方法

- (一) 用細漆包線纏繞在口徑2 cm的試管外。
- (二) 用漆包線做成兩個環狀電極，分別接上直流電源供應器的正、負極，平行放入試管，當作離子分離電容器，如圖 10 所示。

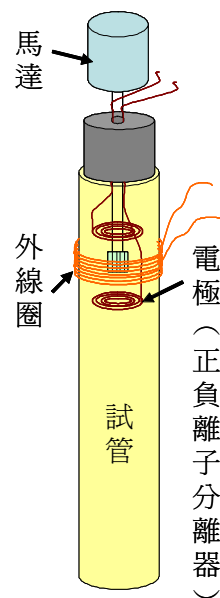


圖 10. 電極式離子分離器示意圖

五、離子漩渦電流的電磁感應-測量過程

- (一) 將外線圈接上電流放大器。
- (二) 將硫酸銅加水稀釋成5%，並加入試管中。
- (三) 直流電源調成10 V，靜置一段時間使藍色 Cu^{+2} 被下方負極線圈所吸引下移。
- (四) 用馬達在試管中攪拌，使 CuSO_4 水溶液慢慢產生漩渦，以電壓紀錄器紀錄其瞬間變化。
- (五) 關掉馬達，在漩渦變慢時以電壓紀錄器紀錄其瞬間變化。
- (六) 在電容電路上也裝上交流伏特計，觀察漩渦離子電流是否也在電容上產生感應電動勢。
- (七) 將硫酸銅溶液換成10%、15%、20%、25%，重複步驟(二)~(六)，以探討離子濃度對感應電流之影響。
- (八) 重複步驟，(二)~(七)，確認重複性與重現性，以提高量測數據之準確性。
- (九) 將測得之感應電流大小與濃度的關係作成圖表。

六、實驗(二)材料(測量噴霧器的噴水速度)

- (一) 三種不同的噴霧器，如圖 11 所示
- (二) 數位相機腳架

七、測量噴霧器的噴水速度-測量過程

- (一) 將數位相機調成手動，設快門速度1/60秒。
- (二) 拍攝三種不同的噴霧器，將其噴霧長度依比例換算成速度。
- (三) 把三個噴霧器的速度做成表格。

八、實驗(三)材料(帶電水滴形成的感應電流)

- (一) 羅蘭環，如圖 9 所示
- (二) 三種不同的噴霧器，如圖 11 所示
- (三) 萊頓瓶：產生較大的靜電，如圖 12 所示



圖 11. 三種不同的噴霧器



圖 12. 萊頓瓶

九、羅蘭環製作方法：

- (一) 把粗鐵絲繞成環狀。
- (二) 將漆包線繞在環狀鐵絲上。

萊頓瓶製作方法：

- (一) 將寶特瓶瓶蓋鑽洞，並在外面包一層錫箔紙。
- (二) 用粗銅線繞成彈簧狀放入瓶內，將其中一端從瓶口抽出。
- (三) 將瓶內裝滿水。

十、帶電水滴形成的感應電流-測量過程

- (一) 先將萊頓瓶銅線的尖端靠近電視螢幕(CRT)，讓電視開關瞬間的負電荷充到萊頓瓶內。
- (二) 如圖13所示，將羅蘭環放置萊頓瓶後方，接上電流放大器，並用噴霧器噴向萊頓瓶尖端之銅線，讓水滴帶負電通過羅蘭環。
- (三) 在噴的瞬間以電壓紀錄器紀錄其瞬間變化。
- (四) 噴霧器換成另外兩個，重複步驟(一)~(三)，以探討噴速(電流速度)對感應電流之影響。
- (五) 重複步驟(一)~(四)，確認重複性與重現性，以提高量測數據之準確性。
- (六) 將噴速及感應電流大小的關係作成圖表。

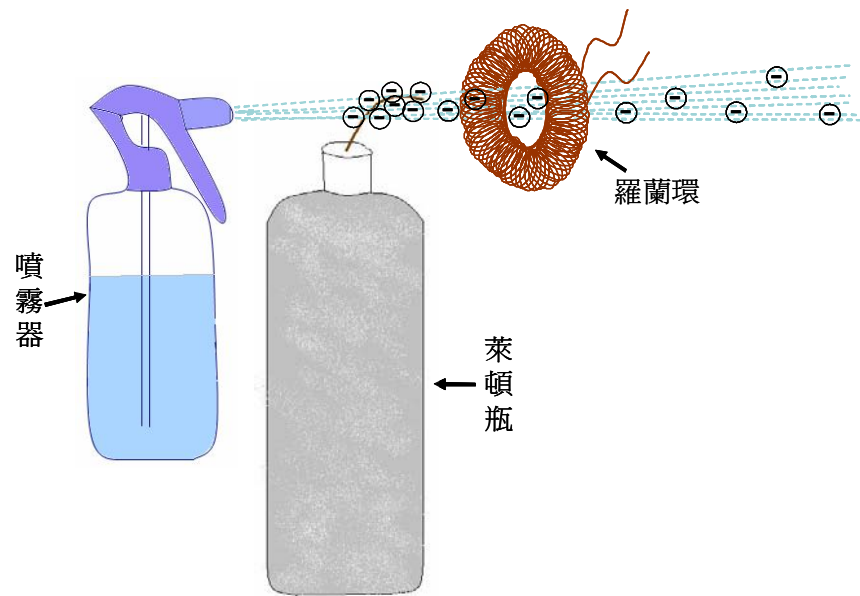


圖 13. 帶電水滴形成的感應電流實驗示意圖

十一、實驗(四)材料(測量離子濃度與導電電阻關係)

- (一) 針筒，如圖 8 所示
- (二) 硫酸銅(CuSO_4)，如圖 8 所示
- (三) 10 cm 醫療用點滴管，如圖 14 所示
- (四) 粗漆包線



圖 14. 10 cm 醫療用點滴管

十二、測電阻材料製作方法

- (一) 將點滴管剪成 10 cm 長，並裝入不同濃度的 CuSO_4 水溶液。
- (二) 剪兩段 2 cm 長之粗漆包線，塞住點滴管兩端。

十三、測量離子濃度與導電電阻關係-測量過程

- (一) 將硫酸銅加水稀釋成5%。
- (二) 用針筒注射到 10 cm點滴管內，用三用電表測其電阻。
- (三) 將硫酸銅溶液換成10%、15%、20%、25%，重複步驟(一)~(二)，以探討離子濃度對電阻之影響。
- (四) 將測得之電阻與濃度的關係作成圖表。

十四、實驗(五)材料(不同濃度之離子導體產生的感應電流)

- (一) 細漆包線，如圖 7 所示
- (二) 硫酸銅(CuSO_4)，如圖 8 所示
- (三) 針筒，如圖 8 所示
- (四) 點滴螺線管，如圖 9 所示

十五、點滴螺線管製作方法

- (一) 將 75 cm長之點滴管密集的繞在數根鐵釘上。
- (二) 在點滴管上方纏繞漆包線，用膠帶固定，如圖 15 所示。

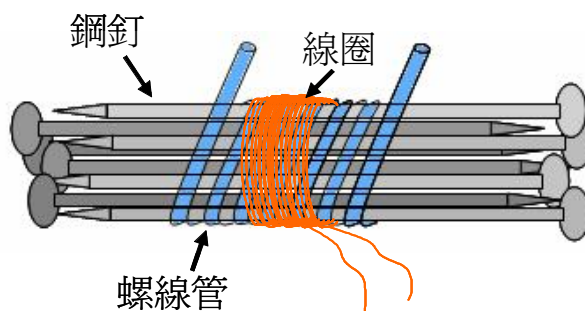


圖 15. 點滴螺線管示意圖

十六、不同濃度之離子導體產生的感應電流-測量過程

- (一) 將5%硫酸銅溶液注射到點滴螺線管裡。
- (二) 將點滴管一端接上直流電源供應器，調成45 V。
- (三) 外線圈接上電流放大器，在電源供應器另一端接上螺線管瞬間，以電壓紀錄器紀錄其瞬間變化。

(四) 將溶液換成10%、15%、20%、25%，重複步驟(一)~(三)，以探討離子濃度對感應電流之影響。

(五) 重複步驟(一)~(四)，確認重複性與重現性，以提高量測數據之準確性。

(六) 將測得之感應電流大小與濃度、電流大小的關係作成圖表。

伍、研究結果

一、離子漩渦電流的電磁感應 承量測過程五

(一) 將電壓紀錄器測得之值 X 依 $[X - 0.8 \text{ V}(\text{電路裡本身的電壓})] / 510 \Omega$ (含總裝置電阻值，線圈電阻 0.1Ω 忽略不計) / 3152 (放大倍率)，推算出感應電流大小。

(二) 漩渦離子產生的電流變化，如表 1 所示。

表 1. 漩渦離子產生的電流變化

硫酸銅濃度(%)	5.1	10.2	15.2	20.2	25.1(飽和)
電壓(V)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
感應電流(μA)第一次	4.3×10^{-4}	7.4×10^{-4}	8.9×10^{-3}	2.9×10^{-3}	5.6×10^{-4}
感應電流(μA)第二次	4.5×10^{-4}	7.8×10^{-4}	9.1×10^{-3}	3.3×10^{-3}	5.5×10^{-4}
平均值	4.4×10^{-4}	7.6×10^{-4}	9.0×10^{-3}	3.1×10^{-3}	5.55×10^{-4}

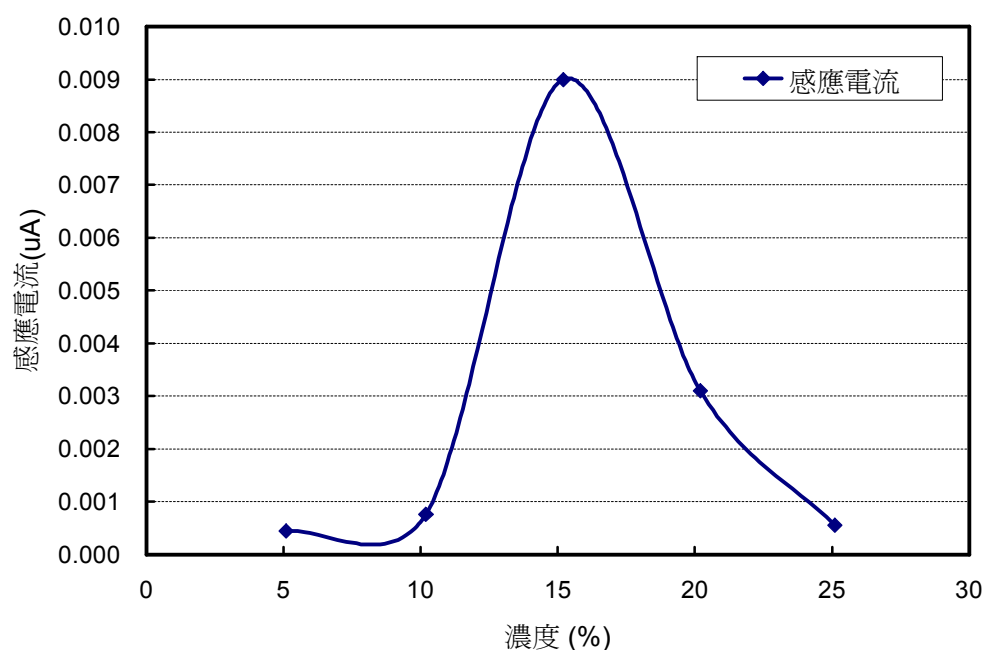


圖 16. 漩渦離子產生的電流變化曲線圖

- (三) 硫酸銅濃度 5%時 (測量結果如圖 17 及表 1 所示)，感應電流為 $4.4 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (四) 硫酸銅濃度 10%時 (測量結果如圖 18 及表 1 所示)，感應電流為 $7.6 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (五) 硫酸銅濃度 15%時 (測量結果如圖 19 及表 1 所示)，感應電流為 $9.0 \times 10^{-3} (\mu A)$ 。
- (六) 硫酸銅濃度 20%時 (測量結果如圖 20 及表 1 所示)，感應電流為 $3.1 \times 10^{-3} (\mu A)$ 。
- (七) 硫酸銅濃度 25%時 (測量結果如圖 21 及表 1 所示)，感應電流為 $5.55 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。

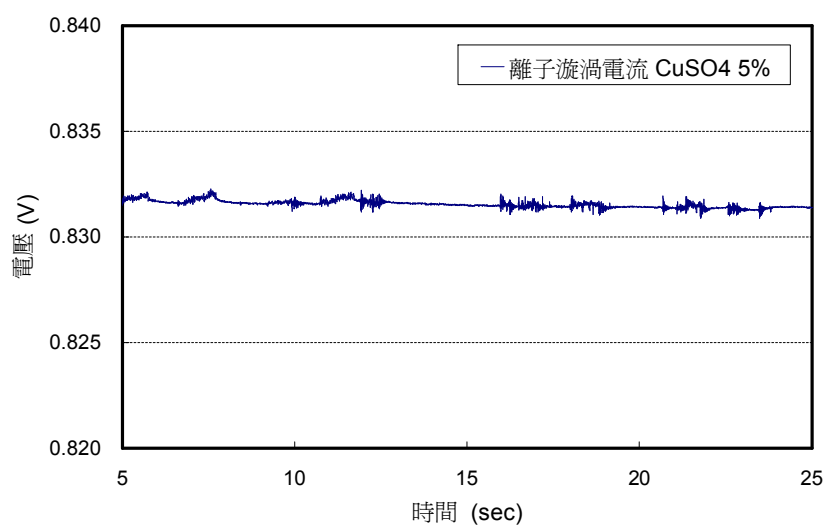


圖 17. 硫酸銅濃度 5%時，漩渦離子產生的電壓變化

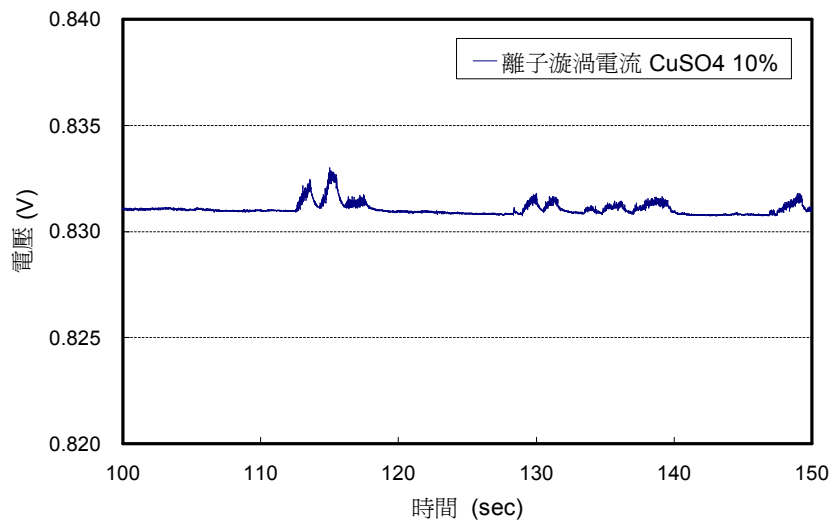


圖 18. 硫酸銅濃度 10%時，漩渦離子產生的電壓變化

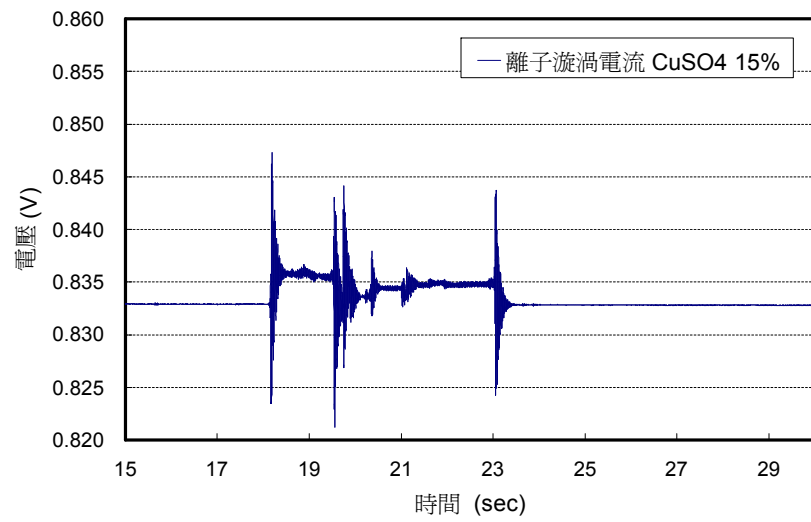


圖 19. 硫酸銅濃度 15%時，漩渦離子產生的電壓變化

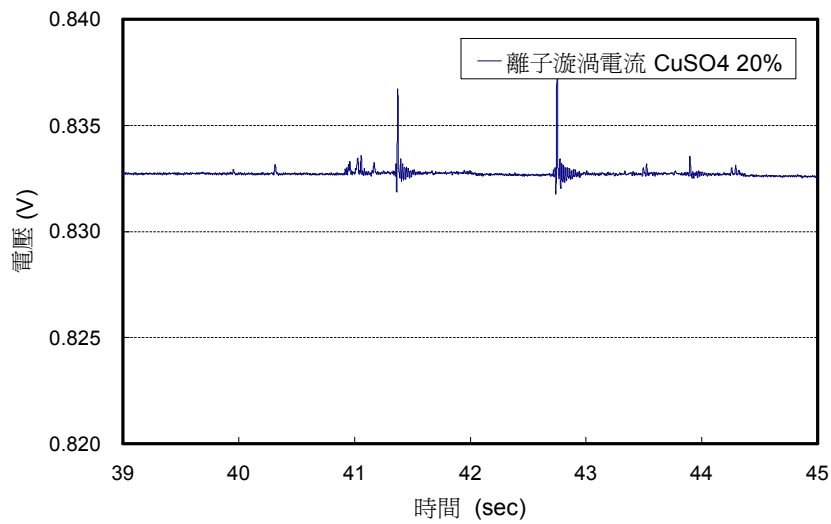


圖 20. 硫酸銅濃度 20%時，漩渦離子產生的電壓變化

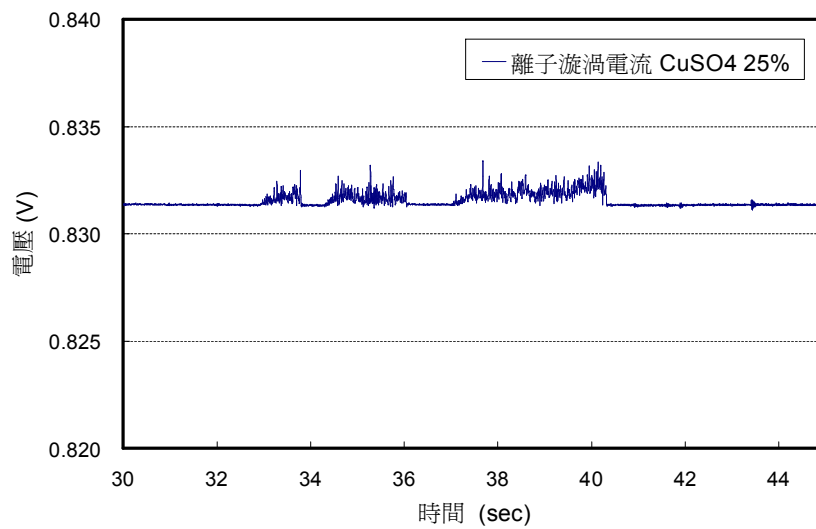


圖 21. 硫酸銅濃度 25%時，漩渦離子產生的電壓變化

二、測量噴霧器的噴水速度 承量測過程七

- (一) 數位相機調手動，快門速度設1/60秒，以水霧長度× 60推算出噴速。
- (二) 噴霧器之噴速，如表2所示。

表 2. 噴霧器之噴速

噴霧器種類	噴霧器一(加壓式)	噴霧器二(髮妝水用)	噴霧器三(一般澆水用)
水霧長度(cm)	17.2	29.1	23.1
推算噴霧器速度(cm/s)	1032	1746	1386

三、帶電水滴形成的感應電流 承量測過程十

- (一) 將電壓紀錄器測得之值 X 依 $[X-0.8 \text{ V(電路裡本身的電壓)}] / 510 \Omega$ (含總裝置電阻值，線圈電阻 0.1Ω 忽略不計) / 3152 (放大倍率)，推算出感應電流大小。
- (二) 帶電水霧產生的電流變化，如表 3 所示。

表 3. 帶電水霧產生的電流變化

噴霧器種類	噴霧器一(加壓式)	噴霧器二(髮妝水用)	噴霧器三(一般澆水用)
噴霧速度(cm/s)	1032	1746	1386
感應電流(μA)第一次	3.1×10^{-4}	6.8×10^{-4}	5.6×10^{-4}
感應電流(μA)第二次	3.7×10^{-4}	7.0×10^{-4}	5.8×10^{-4}
平均值	3.4×10^{-4}	6.9×10^{-4}	5.7×10^{-4}

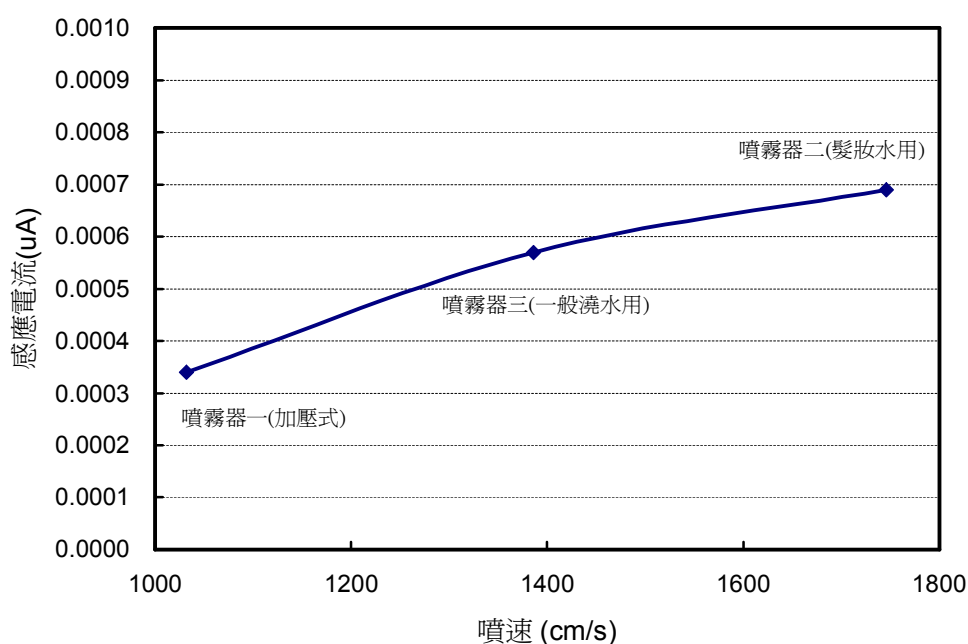


圖 22. 帶電水霧產生的電流變化曲線圖

(三) 噴速 1746 cm/s 時 (測量結果如圖 23 及表 3 所示)，感應電流為 $6.9 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。

(四) 噴速 1386 cm/s 時 (測量結果如圖 24 及表 3 所示)，感應電流為 $5.7 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。

(五) 噴速 1032 cm/s 時 (測量結果如圖 25 及表 3 所示)，感應電流為 $3.4 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。

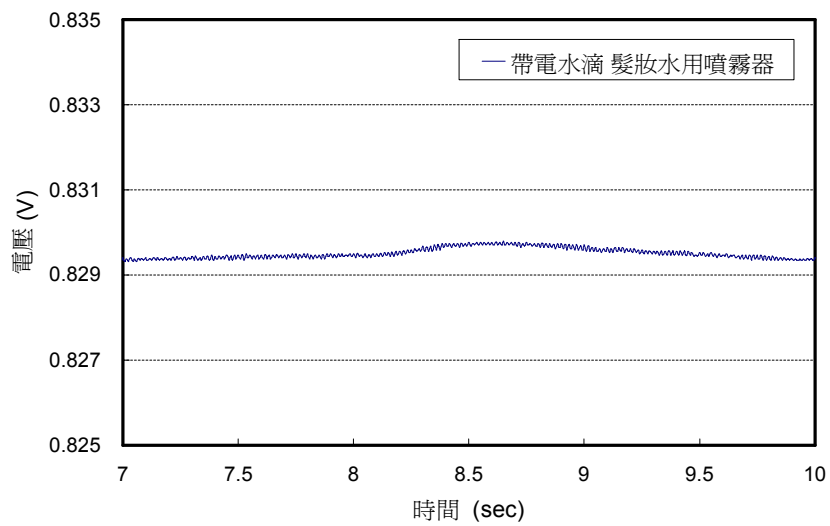


圖 23. 噴霧器噴速 1746 cm/s 時，帶電水霧產生的電壓變化

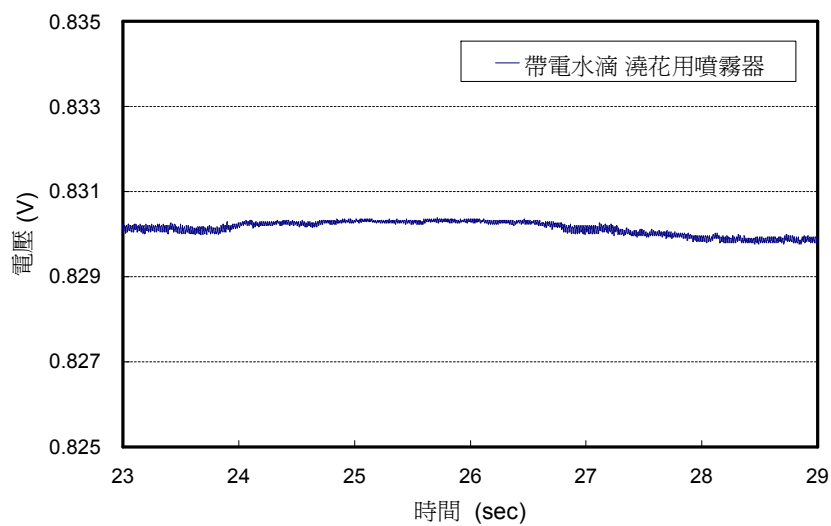


圖 24. 噴霧器噴速 1386 cm/s 時，帶電水霧產生的電壓變化

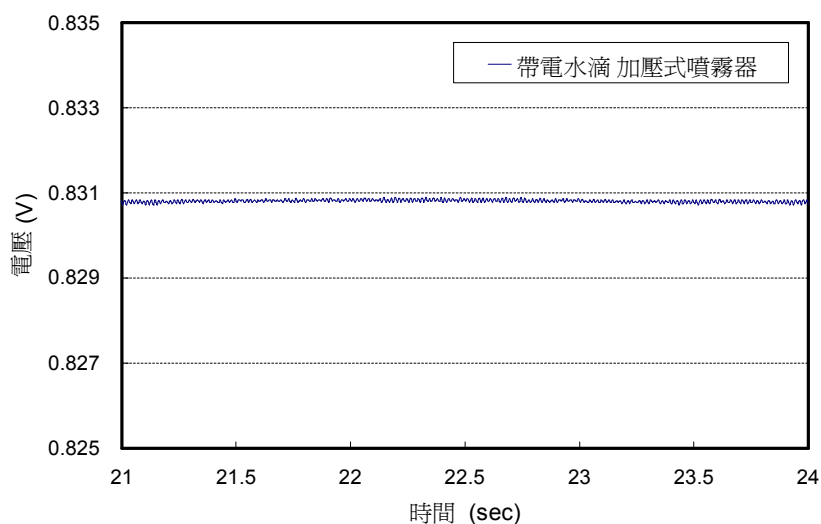


圖 25. 噴霧器噴速 1032 cm/s 時，帶電水霧產生的電壓變化

四、測量濃度和電阻的變化 承量測過程十三

- (一) 一段 10 cm 長的點滴管裝滿硫酸銅溶液，依電阻大小與長度成正比，推算出 75 cm 同濃度之電阻應為 10 cm 的 7.5 倍。
- (二) 環境溫度為 17 °C。
- (三) 硫酸銅濃度之電阻變化，如表 4 所示。

表 4. 硫酸銅濃度之電阻變化

硫酸銅濃度(%)	5.1	10.2	15.2	20.2	25.1(飽和)
電阻(k Ω)	13.82	9.24	7.35	6.84	7.21
推算成 75 cm 之電阻(k Ω)	103.65	69.3	55.125	51.3	54.075

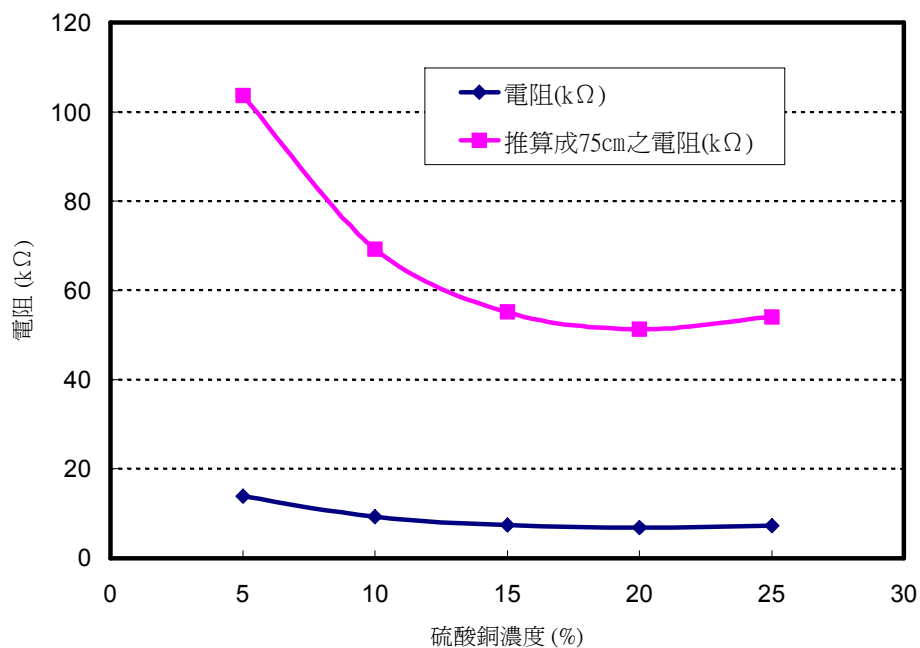


圖 26. 硫酸銅濃度之電阻變化曲線圖

五、不同濃度之離子導體產生的感應電流 承量測過程十六

- (一) 依 $I=V/R$ ，電源供應器之電壓(45 V) / 管內電阻，算出管內電流。
- (二) 將電壓紀錄器測得之值 X 依 $[X-0.8 \text{ V(電路裡本身的電壓)}] / 510 \Omega$ (含總裝置電阻值，線圈電阻 0.1Ω 忽略不計) / 3152(放大倍率)，推算出感應電流大小。
- (三) 螺線管產生的電流變化，如表 5 所示。

表 5. 螺線管產生的電流變化

硫酸銅濃度(%)	5.1	10.2	15.2	20.2	25.1(飽和)
螺線管內電流(A)	4.36×10^{-4}	6.42×10^{-4}	8.18×10^{-4}	8.77×10^{-4}	8.33×10^{-4}
感應電流(μA)第一次	1.87×10^{-4}	8.70×10^{-4}	9.33×10^{-4}	1.24×10^{-4}	4.4×10^{-3}
感應電流(μA)第二次	1.91×10^{-4}	8.72×10^{-4}	9.37×10^{-4}	1.30×10^{-4}	4.8×10^{-3}
平均值	1.89×10^{-4}	8.71×10^{-4}	9.35×10^{-4}	1.27×10^{-4}	4.6×10^{-3}

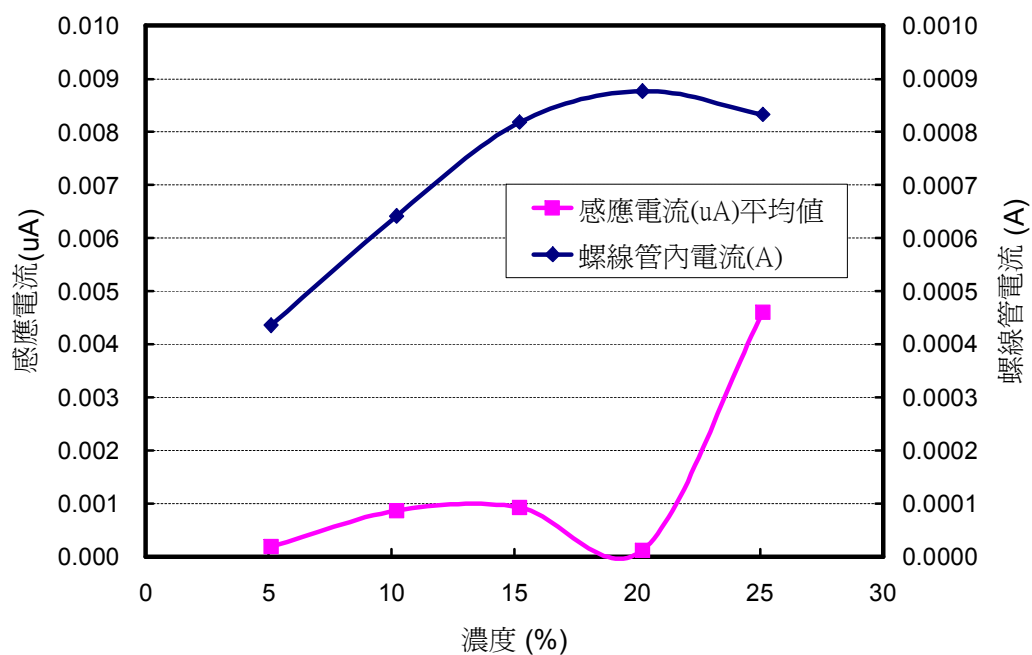


圖 27. 螺線管產生的電流變化曲線圖

- (四) 硫酸銅濃度 5%時 (測量結果如圖 28 及表 5 所示)，感應電流為 $1.89 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (五) 硫酸銅濃度 10%時 (測量結果如圖 29 及表 5 所示)，感應電流為 $8.71 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (六) 硫酸銅濃度 15%時 (測量結果如圖 30 及表 5 所示)，感應電流為 $9.35 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (七) 硫酸銅濃度 20%時 (測量結果如圖 31 及表 5 所示)，感應電流為 $1.27 \times 10^{-4} (\mu A)$ 。
- (八) 硫酸銅濃度 25%時 (測量結果如圖 32 及表 5 所示)，感應電流為 $4.6 \times 10^{-3} (\mu A)$ 。

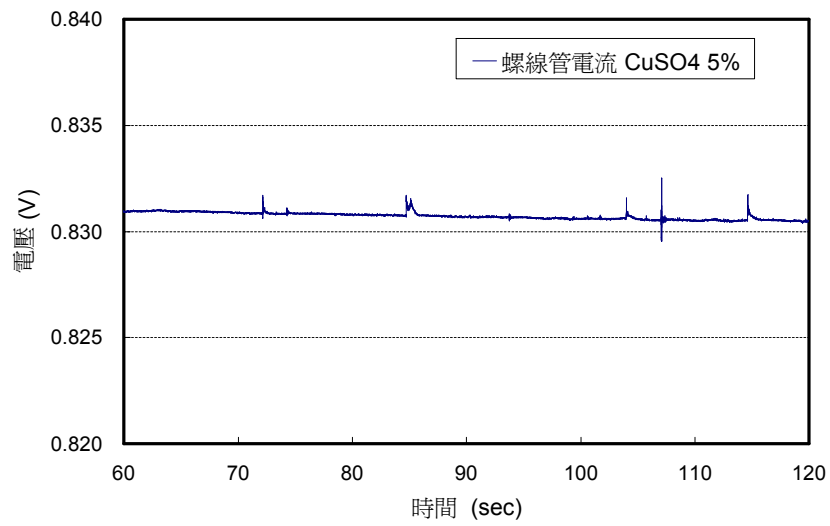


圖 28. 硫酸銅濃度 5%時，離子螺線管產生的電壓變化

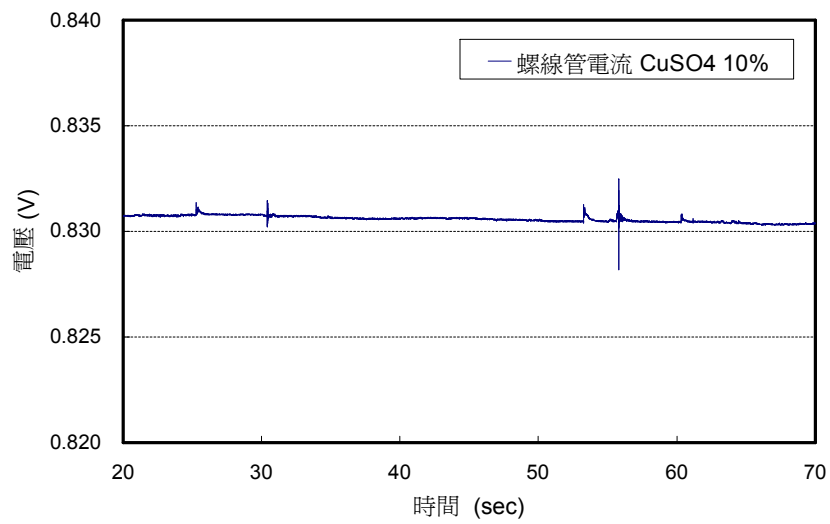


圖 29. 硫酸銅濃度 10%時，離子螺線管產生的電壓變化

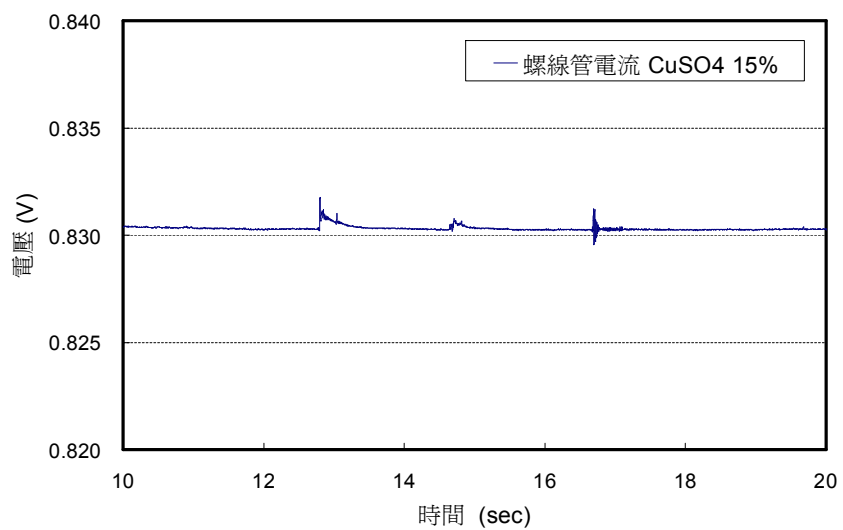


圖 30. 硫酸銅濃度 15%時，離子螺線管產生的電壓變化

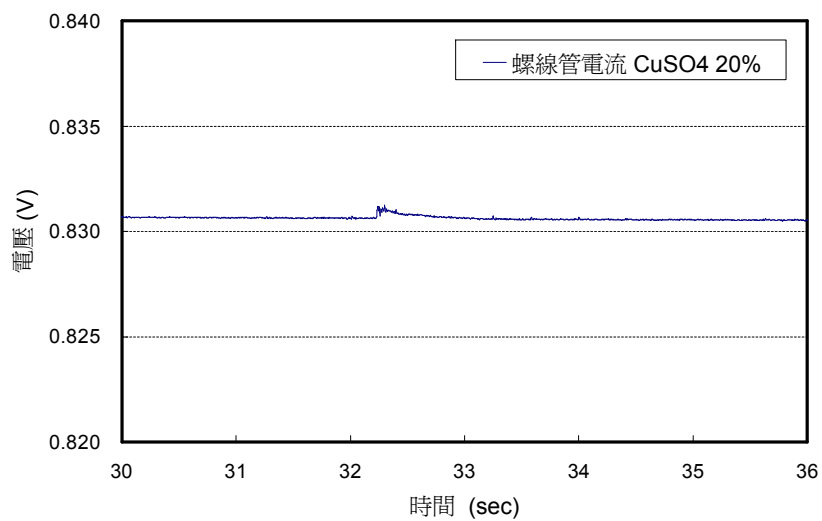


圖 31. 硫酸銅濃度 20%時，離子螺線管產生的電壓變化

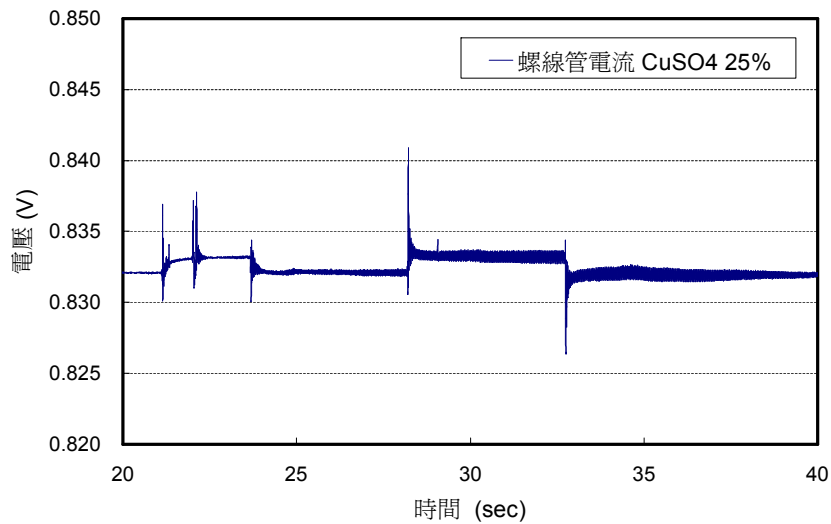


圖 32. 硫酸銅濃度 25%時，離子螺線管產生的電壓變化

陸、討論

- 一、之前的電流放大器放大倍率很小，以致於測不到感應電流，經多次改良才做出放大倍率 3152 之電流放大器。
- 二、依 $h_{FE} = I_C / I_B$ ， $15.76 \text{ mA} / 0.005 \text{ mA} = 3152$ 推算出放大倍率。
- 三、一開始電極式離子分離器是用 500 ml 的燒杯，但因為燒杯口徑太大不容易測得，因此我改用口徑小 20 mm 的試管來代替。(實驗一)
- 四、在電容電路上也裝上交流伏特計，我發現漩渦離子電流沒有在電容上產生感應電動勢。(實驗一)
- 五、因為剛開始我只想看看帶電水滴是否也能產生電磁感應，所以就用玻璃和絲絹摩擦產生靜電，但因為產生的靜電太小，因此正式實驗就改成用靜電較大的萊頓瓶(用手摸會被電到)。(實驗三)
- 六、萊頓瓶的靜電在潮濕的空氣中容易放電，因此在讓萊頓瓶充電時，我盡量在有除濕機或乾燥的地方進行。(實驗三)

- 七、我推測可能是噴霧的範圍超過羅蘭環，產生感應電流的方向相反，會被損耗，因此測得之電流很微小。(實驗三)
- 八、爲了確保測電阻時三用電錶的準確性，所以每次實驗前都先用電錶測一固定電阻器，檢查電表是否準確。(實驗四)
- 九、經過我測量後發現硫酸銅濃度從 15% 之後電阻值都差不多，因此我推測可能是可導電之離子已經飽和了。(實驗四)
- 十、因爲離子溶液電解後會產生電鍍現象，因此連接負極的漆包線每做完一次都要換，以保持數據之準確性。(實驗一、五)
- 十一、當離子被解離時，連接正極的漆包線會產生氣泡以影響數據之準確性，因此每次實驗都要縮短時間。(實驗一、五)
- 十二、我用強力磁鐵快速靠近線圈，經電流放大器測得感應電壓 5.2 V，小磁鐵則產生 0.04 V 的電壓，實際電壓分別爲 1.65 mV、0.0126 mV，因此驗證了實驗時電壓記錄器紀錄的電壓並非雜訊。
- 十三、依參考資料，當數個線圈合在一起時，在螺線管內部的磁力線方向一致，且愈多匝線圈密集在一起時，磁力線更密集，磁力會越強。

柒、結論與應用

經過上述的研究和討論，我發現雖然同體積的離子管電阻比銅導線大約一萬倍，效率上並沒有那麼高，而且有離子被電解的問題存在。但金屬導體內的電磁現象換成離子溶液時依然可以成立，在導體金屬日漸短少的時代，離子溶液如海水等還有大量豐足的資源，也許未來可以取代金屬導體。

我發現離子溶液經適度的正負電分離，在流動速度改變時確實會產生微弱的感應電流，如此我們血液中的離子也可能在適當的環境中產生感應電流，時時刻刻刺激我們的細胞，外界來的電磁波也許會干擾這類感應電流的大小與方向，使細胞產生變化，我們不得而知，可待日後研究。

利用離子、帶電水霧也可產生電磁感應，磁場的變化能產生感應電流，而且磁場強度越大、磁場變化速率越快產生的感應電流也越大。

我預期由磁場變化造成的感應電流、離子解離形成導體在生活上可以有以下的應用：

- 一、 直流發電機
- 二、 摩擦產生靜電的發電機
- 三、 微音器
- 四、 磁浮車
- 五、 金屬偵測門
- 六、 在金屬缺乏時代替成為電線之導體
- 七、 在避雷針外纏繞線圈(羅蘭環)，當閃電時可利用線圈產生的感應電流
- 八、 將感應電流利用電流放大器放大，代替電池帶動馬達
- 九、 可利用感應電流的放大，提供緊急照明燈電力

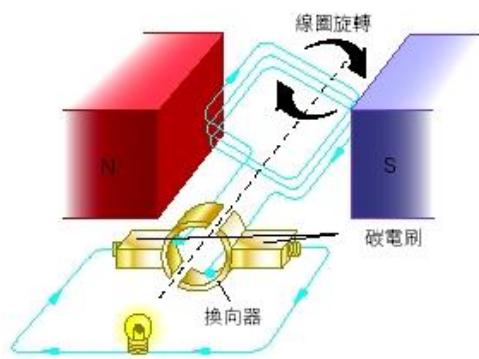


圖 33. 直流發電機

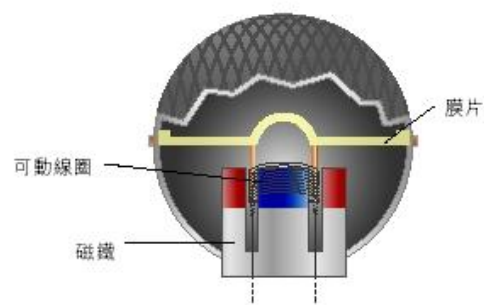


圖 34. 微音器



圖 35. 磁浮車

捌、參考資料及其他

- 一、 休伊特 著 - 觀念物理V - 第一版 - 台北市 - 天下文化 - 107頁、126頁 - 2001年
- 二、 陳偉民、林金昇、江彥雄 撰稿 - 3D理化遊樂場 (二) - 第一版 - 台北市 - 天下文化 - 191頁、203頁 - 2004年
- 三、 黃華宏 著 - 250種電子電路實驗 - 第四版 - 台北市 - 無線電界雜誌社 - 32頁、57頁、178頁 - 1986年
- 四、 Robert W. Wood 著 - 電與磁 - 第一版 - 台北市 - 豐德科學教育 - 25頁、116頁、120頁 - 1999年
- 五、 http://sciedu.cc.nctu.edu.tw/practice/threehair/page_1.htm - 電磁感應
- 六、 <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1205081410509> - 知識+

【評 語】 031614 探討離子電流的電磁效應與替代金屬導體的
可行性

1. 考慮以非金屬物體中之離子流來探討電磁感應效應，具有推廣平常電子流之電磁感應效應之範圍的功效，具有科學的根據，研究上並具科學探究的態度。
2. 作品中惜未能分析電解質溶液的電流密度，以茲與金屬物體的電流密度相比較，故無法正確顯示離子電流替代金屬導體的可行性及效益。