

# 自製電磁鐵—探討磁屏蔽

## 高中組物理科第三名

高雄市立高雄女子高級中學

作者：曾寶儀、陳彥倫、林慧雯、林淑涵

指導教師：劉靜怡、林郁綸

### 一、研究動機

在上基礎理化第 11 章“電流與電流磁效應”時，老師說起在加工區內生產電視機的工廠，在出貨前，需將每一台電視置於模擬外銷銷售地，當地的地磁環境中，在做調整後，方才能夠包裝出貨。原因是自映像管射出來的電子，受到磁場的影響，若未經上述的調整，則電視機的畫面可能顏色不佳，畫面不完整的缺點以致於影響品牌的口碑。這令我們不禁想到實驗課中，所使用到的圈轉式安培計、伏特計…等，是否亦受到外在環境中磁場的影響而不準確，如何減少此種影響，提高電儀表測量的精確度，於是我們開始搜集資料、進行實驗研究。

### 二、研究目的

- (一)設計實驗歸納出對磁場有屏蔽作用的物質之特性。
- (二)直流磁場一定時，改變電儀表電流的大小，測出外在磁場強弱對電儀表干擾，所產生誤差之大小。
- (三)改變直流磁場大小，固定電儀表電流的大小，測出外在磁場強弱對電儀表干擾產生誤差之大小。
- (四)交流磁場一定時，改變電儀表電流的大小，測出外在磁場強弱對電儀表干擾，所產生誤差之大小。
- (五)改變交流磁場大小，固定電儀表電流的大小，測出外在磁場強弱對電儀表干擾產生誤差之大小。
- (六)比較交流磁場與直流磁場對電儀表干擾程度有何不同。
- (七)測出純銅、純鋁及鐵為材料的磁屏蔽效果。

### 三、研究器材設備

磁針、方格紙、不銹鋼片、鐵片（#304 號低矽低碳低磁電磁板），銅片、鋁片、鋅片、鎳片、磁鐵棒、直徑 1mm 漆包線、矽鋼片、絕緣漆、直流安培表、

交直流兩用三用電表、電源供應器、自耦變壓器、軟鐵片、純鋁片、純銅片、鐵粉、放大鏡、高斯計、絕緣紙、電腦、鐵環、鋁環、銅環、鋅環、鎳環、不銹鋼環。

## 四、實驗原理

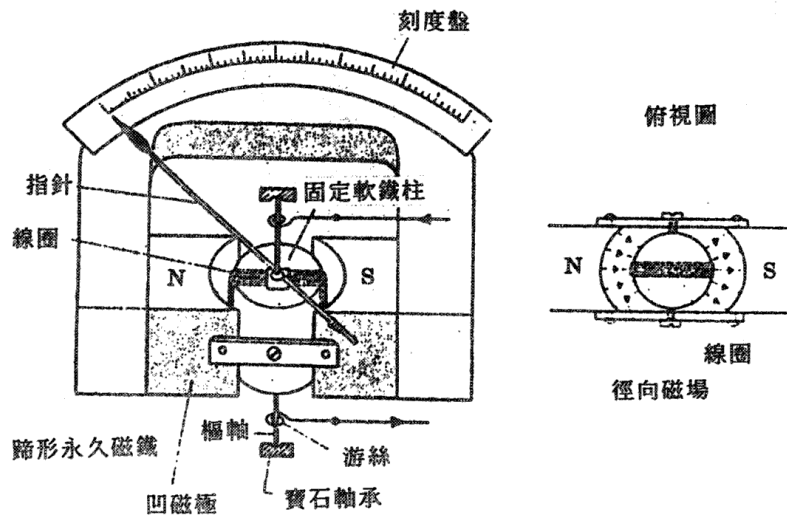
### (一)磁鐵棒的磁場

1. 由於地磁  $B_e$  的作用，磁針恆指向南北方向，在與地磁方向垂直的東西方向，置一磁鐵，則磁針偏轉  $\theta$  角達到新平衡位置，磁鐵在該位置的磁場  $B_0 = B_e \tan \theta$ 。
2. 在磁鐵與磁針間介入一物質後，磁針新平衡位置與正北方夾  $\theta'$  角則磁鐵在該位置的磁場變為  $B = B_e \tan \theta'$ 。
3. 磁場受阻隔後，磁場減弱量百分比 =  $(B_0 - B) \div B_0 \times 100\%$ 。

### (二)電儀表受外在磁場干擾產生誤差

#### 1. 圈轉式電流計結構

動圈式電流計的一個基本元件是由絕緣細銅絲繞製的線圈。在強磁場中，線圈可以轉動。如圖所示，磁場產生在一塊永久磁鐵的兩個凹磁極與固定軟鐵柱之間的空氣隙中，這是一個徑向磁場。換言之，空氣隙中的磁感應線將指向軟鐵柱的中心軸線，並總是與線圈平面平行。



#### 2. (1)螺線管內磁場強度 $B = \mu_0 n I$

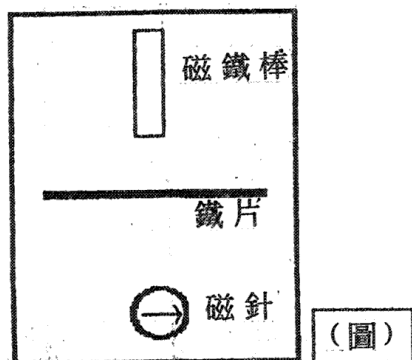
$\mu_0$  : 磁導係數     $I$  : 電流     $n$  : 匝/米

(2)改變繞在矽鋼片上線圈電流大小，即可改變磁場大小。

3. 安培表放置在磁場中，通過安培表線圈的磁場改變，由原理二—1 可知測得電流值亦發生改變。

## 五、研究過程與結果〈見附錄〉

### 〔實驗一〕



#### (一) 測各種物質在磁場的屏蔽性質

1. 將磁場置於大張方格紙上，以磁針（最小刻度為  $1^\circ$ ）為中心，定出南北、東西方向。
2. 將鐵片置放在東西方向自距磁鐵棒  $D\text{cm}$  處，移近鐵片直至磁針發生偏轉時，記錄鐵片的位置。
3. 將步驟 2 之鐵片依次更換為塑膠片、鋅片、鋁片、銅片、厚紙板、玻璃片重覆步驟 2。

#### (二) 鐵片位置對磁場的屏蔽效果

1. 將磁針置於大張方格紙上，以磁針為中心，定出南北、東西方向。
2. 將一磁鐵棒置放在距磁針  $D\text{cm}$  處。
3. 將一鐵片自距磁鐵棒  $1\text{cm}$  起、每隔  $1\text{cm}$  依次接近磁針，記錄磁針偏轉的角度  $\theta$ 。

### 〔實驗二〕

在實驗一中，使用的磁針，其所附刻度最小單位雖然為  $1^\circ$ ，但在觀測中仍有誤差的存在，為了進一步能夠瞭解外在磁場影磁之定量出磁場強度的裝置，及實驗方法。

#### (一) 自製產生磁場裝置

1. 將矽鋼片疊成  $\square$  型。
2. 將絕緣厚紙摺成  $\text{—} \text{—}$  型，將  $1\text{mm}$  直徑之漆包線繞於其上，共五層，每層

65 匝，層與層之間以絕緣紙隔開，套在矽鋼片上，當線圈通以電流時，即可產生平行方向的磁場，利用高斯計，即可測出磁場強度及方向。

※高斯計的探針頭為一細長方形的平面片當磁場方向與平面片垂直時，它的讀數最大，此時平面片的法線方向即為磁場方向。

3. 本實驗可測量的磁場強度範圍至 0.028 韋伯/米<sup>2</sup>，所使用的高斯計之最小刻度為 0.001 韋伯/米<sup>2</sup>。

## (二) 直流磁場中，磁場對電儀表干擾之測量

1. 使用 UCHIDA TM-50 型安培表進行實驗。

(1) 負載電路中電流一定，改變外在磁場，自 0.004 至 0.028 韋伯/米<sup>2</sup>

A. 100VAC 電流自耦變壓器整流器及電磁鐵裝置，產生直流磁場，利用高斯計測出磁場強度大小 B。

B. 將安培表、DC 電源、可變電阻接成串聯電路，並測出電流值 I。

C. 將安培表置於直流磁場中，測出此安培表在磁場中之電流 I'，求出  $(I - I')/I \times 100\%$ 。

D. 改變磁場大小，重複步驟 C。

(2) 外在磁場一定，改變負載電路中電流大小，自 200mA 至 500mA。

A. 產生直流磁場。

B. (同上 B)。

C. (同上 C)。

D. 改變負載電路中之電流大小，重複步驟 C。

(3) 將安培表外加上純銅、純鋁、鐵 (#304)、低矽低碳低磁電磁板為屏蔽，重複步驟(1)(2)。

2. 使用 YL-670 型安培表進行實驗

在上實驗中，安培表受到干擾時，未加屏蔽時最大誤差為 14.8%；以銅為屏蔽材料時，最大誤差為 14.6%；以鋁為屏蔽材料時，最大誤差為 14%，銅、鋁均為非磁性物質，屏蔽效果較差。以馬口鐵片為屏蔽材質時，其最小誤差為 0.9% (400mA、0.004 韋伯/米<sup>2</sup>) 較未屏蔽時 1.5% 小。其最大誤差為 15% (400mA、0.0280 韋伯/米<sup>2</sup>) 較未屏蔽時之誤差大，在強磁場中時，鐵片屏蔽效果不佳。我們推測，本次實驗中所找到的鐵亦非純鐵，再加上其表面鍍有物質，所以我們找到一個純鐵環以及體積較小的安培表進行實驗。

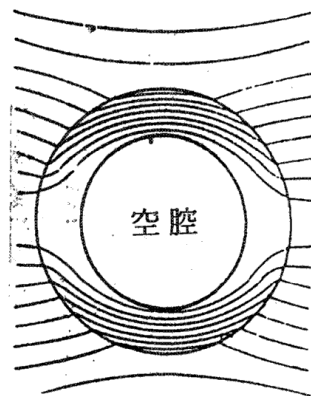
(1) 將步驟 1-(1) 中使用的安培表改為 YL-670 型，重複步驟 1-(1)。

(2) 將安培表分別放置在鐵環、銅環、鋁環、鋅環、鎳環以及不銹鋼環中重

覆上面的步驟。

(三)交流磁場中磁場對電儀表之測量。

將直流磁場改為交流磁場，實驗步驟同上 2 - (1)。



## 六、討論

(一)我們在嘗試自製電磁鐵裝置時，爲了避免渦電流的產生，選用矽鋼片代替軟鐵，總共經費約一千元，花費很少所獲得的平行方向磁場，亦可作爲教學教具。

(二)安培表在直流磁場中受到干擾時，未加屏蔽時最大誤差爲 14.8%，以銅爲屏蔽材料時，最大誤差爲 14.6%，以鋁爲屏蔽材料時，最大誤差爲 14%，銅、鋁均爲非磁性物質，無屏蔽效果。以馬口鐵片爲屏蔽材質時，其最小誤差爲 0.9% (400mA, 0.004 韋伯/米<sup>2</sup>)，較未屏蔽時之誤差爲大，在強磁場中時，鐵片屏蔽效果不佳。

(三)將安培表分別置於以銅片、鋁片、馬口鐵片焊成的口形中，屏蔽效果不佳，我們收集的參考資料中，提及高磁導率的材料球殼放在均勻磁場中，磁場的磁感應線發生畸變，如右圖。一磁導率相當大的中空磁性物質置於一外磁場中，其中空部分的磁場較外磁場爲弱，而磁導率趨於無窮大，則中空部分的磁場將會消失。且一般而言高級電儀表均採鐵質屏蔽，我們推測，本次實驗中所找到的馬口鐵片亦非純鐵，再加上其表面鍍有物質，均是影響屏蔽效果的因素。

(四)在實驗二的第二 - 2 部分實驗中，在圖形鐵環 (厚 8mm) 內，屏蔽效果甚佳。從實驗結果發現，以鐵環爲屏蔽，其最大誤差只有 3.3% 最小誤差可達 0%，與銅環、鎳環、鋅環、鋁環、不銹鋼環相比小很多，幾乎完全屏蔽磁場對安培表的干擾。

(五)磁屏現象在實用上的重要性，可用來保護一些實驗用電子器材不受到磁場的干擾。

## 七、結論

(一)由實驗一，測出磁性物質如鐵片、鎳片對磁場確有屏蔽作用，但無法完全隔絕磁場，而銅片、鋅片、玻璃片、塑膠板、不銹鋼片等均無屏蔽作用。

(二)直流磁場對安培表的干擾實驗中：

(1)由圖 1 ~ 6，我們發現，當安培表電流一定時，磁場愈大，則誤差愈大。

(2)由表(4)，發現當磁場一定時，安培表電流愈大時，受外在磁場影響產生的

誤差也愈大。

(三)交流磁場中，磁場方向仍為平行方向，而交流電變化周期為 1/60 秒，短暫時間的變化對安培計表產生的影響無法觀測出。

(四)置於磁場中的鐵環，其內部無磁場，精密電儀表宜採用高磁導率材質做為外殼，可提高電儀表的精密度。

(五)儀表之準確度以接近滿刻度時，相對誤差較小，所使用的為 UCHIDA TM-50 型安培表、及 YL-670 型安培表，外殼為塑膠殼。

(六)磁屏蔽材料的形狀、材質、厚度…等，對屏蔽效果的影響，是我們下次努力的研究方向。

(七)目前環保及健康意識抬頭，根據報導指出，低頻磁場與癌症有初步關聯，因為在 DNA 轉錄成 RNA 時會受磁場之影響。此外，孕婦的早產也和磁場的影響有關。因此，如何以較經濟有效的方法，減少磁力線之擴散，實為相當值得探討之課題。

## 八、參考資料：

- |            |            |  |
|------------|------------|--|
| (1)電儀表     | 長諾資訊圖書公司   | 梁賢達、蕭豐修著。                                      |
| (2)電磁學     | 徐氏基金會      | E.N Purcell 原著。<br>官德樣、葉天正、林啓東、<br>林棟梁、盧伯誠譯著。  |
| (3)大學物理學   | 曉園出版社      | Sears · Zemansky · Young 原著。<br>曹培熙、駱劍秋、黃衍佑譯著。 |
| (4)電磁學     | 自然科學文化事業公司 | 林雲海著。  |
| (5)電磁干擾與防護 | 徐氏基金會      | 葉中雄、曾衍彰、葉文發譯著。                                 |
| (6)物理學     | 高等教育出版社    | 馬文蔚改編。   |

## 評語

本作品利用磁性材料及非磁性材料以測試其磁屏蔽功能。將安培計置於磁場中的鐵環內，屏蔽效果最好，非磁性材如玻璃、鋼片、塑膠板…等則無屏蔽效果。

本作品的電磁鐵及電路系統設計優良，學生對於磁性及非磁性性質能深入了解，理論及實驗配合得不錯。

# <附 錄>

## 【實驗二】無屏蔽磁場對電錶的影響

表中※ =  $( ( I - I' ) / I ) \times 100\%$

| I (mA) \ B (Wb/m <sup>2</sup> ) | 250   |     | 300   |     | 350   |      | 400   |      | 450   |      | 500   |      |
|---------------------------------|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                                 | I'    | ※   | I'    | ※   | I'    | ※    | I'    | ※    | I'    | ※    | I'    | ※    |
| 0.004                           | 249.0 | 0.4 | 299.0 | 0.3 | 348.0 | 0.6  | 394.0 | 1.5  | 442.0 | 1.8  | 490.0 | 2.0  |
| 0.006                           | 248.0 | 0.8 | 298.0 | 0.7 | 348.0 | 0.6  | 390.0 | 2.5  | 440.0 | 2.2  | 486.0 | 2.8  |
| 0.008                           | 249.0 | 0.4 | 298.0 | 0.7 | 346.0 | 1.1  | 390.0 | 2.5  | 439.0 | 2.4  | 486.0 | 2.8  |
| 0.010                           | 249.0 | 0.4 | 298.0 | 0.7 | 345.0 | 1.4  | 389.0 | 2.8  | 435.0 | 3.3  | 482.0 | 3.6  |
| 0.012                           | 249.0 | 0.4 | 294.0 | 2.0 | 344.0 | 1.7  | 388.0 | 4.0  | 430.0 | 4.4  | 480.0 | 4.0  |
| 0.014                           | 248.0 | 0.8 | 292.0 | 2.7 | 342.0 | 2.3  | 382.0 | 4.5  | 430.0 | 4.4  | 476.0 | 4.8  |
| 0.016                           | 245.0 | 2.0 | 290.0 | 3.3 | 340.0 | 2.9  | 382.0 | 4.5  | 426.0 | 5.3  | 470.0 | 6.0  |
| 0.018                           | 244.0 | 2.4 | 290.0 | 3.3 | 338.0 | 3.4  | 380.0 | 5.0  | 422.0 | 6.2  | 468.0 | 6.4  |
| 0.020                           | 242.0 | 3.2 | 288.0 | 4.0 | 335.0 | 4.3  | 375.0 | 6.3  | 420.0 | 6.7  | 462.0 | 7.6  |
| 0.022                           | 241.0 | 3.6 | 286.0 | 4.7 | 332.0 | 5.1  | 372.0 | 7.0  | 415.0 | 7.8  | 464.0 | 7.2  |
| 0.024                           | 240.0 | 4.0 | 282.0 | 6.0 | 328.0 | 6.3  | 366.0 | 8.5  | 405.0 | 10.0 | 448.0 | 10.4 |
| 0.026                           | 238.0 | 4.8 | 280.0 | 6.7 | 322.0 | 8.0  | 362.0 | 9.5  | 400.0 | 11.1 | 442.0 | 11.6 |
| 0.028                           | 235.0 | 6.0 | 276.0 | 8.0 | 312.0 | 10.9 | 352.0 | 12.0 | 390.0 | 13.3 | 426.0 | 14.8 |

250 —

| B (Wb/m <sup>2</sup> ) | ※   |
|------------------------|-----|
| 0.004                  | 0.4 |
| 0.006                  | 0.8 |
| 0.008                  | 0.4 |
| 0.010                  | 0.4 |
| 0.012                  | 0.4 |
| 0.014                  | 0.8 |
| 0.016                  | 2.0 |
| 0.018                  | 2.4 |
| 0.020                  | 3.2 |
| 0.022                  | 3.6 |
| 0.024                  | 4.0 |
| 0.026                  | 4.8 |
| 0.028                  | 6.0 |

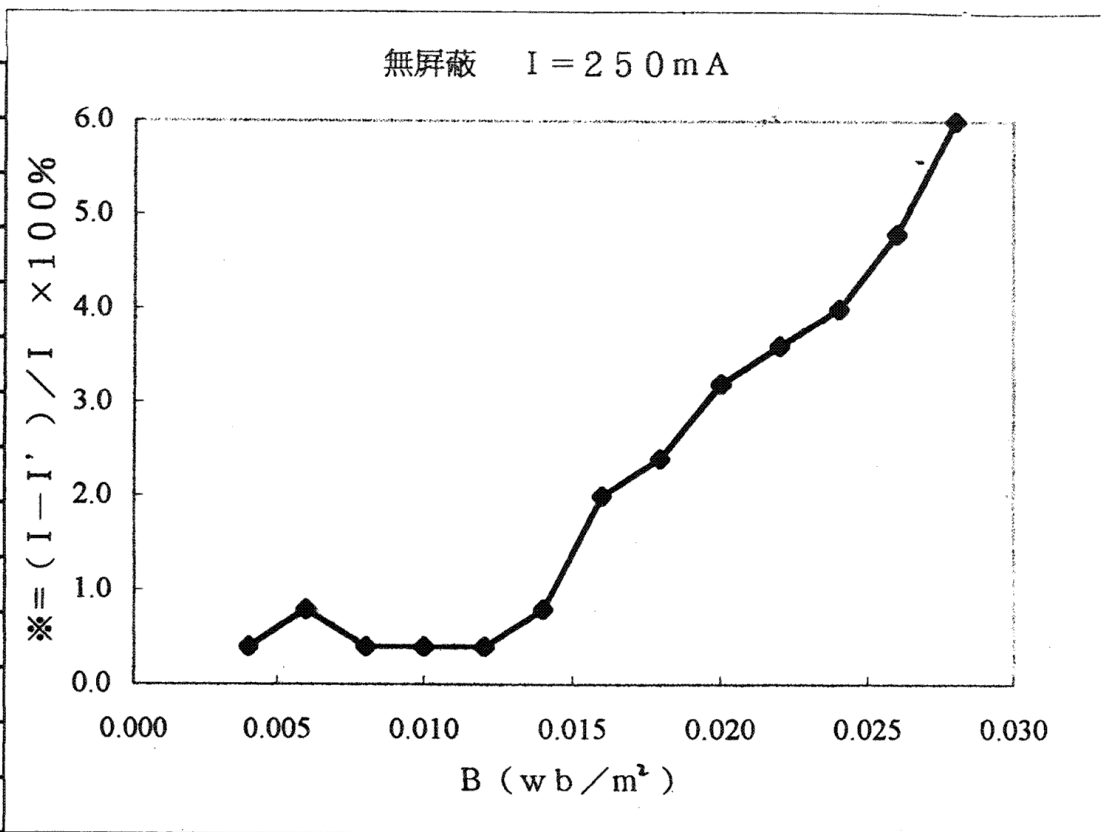


圖 1

300 二

| B (Wb/m <sup>2</sup> ) | ※   |
|------------------------|-----|
| 0.004                  | 0.3 |
| 0.006                  | 0.7 |
| 0.008                  | 0.7 |
| 0.010                  | 0.7 |
| 0.012                  | 2.0 |
| 0.014                  | 2.7 |
| 0.016                  | 3.3 |
| 0.018                  | 3.3 |
| 0.020                  | 4.0 |
| 0.022                  | 4.7 |
| 0.024                  | 6.0 |
| 0.026                  | 6.7 |
| 0.028                  | 8.0 |

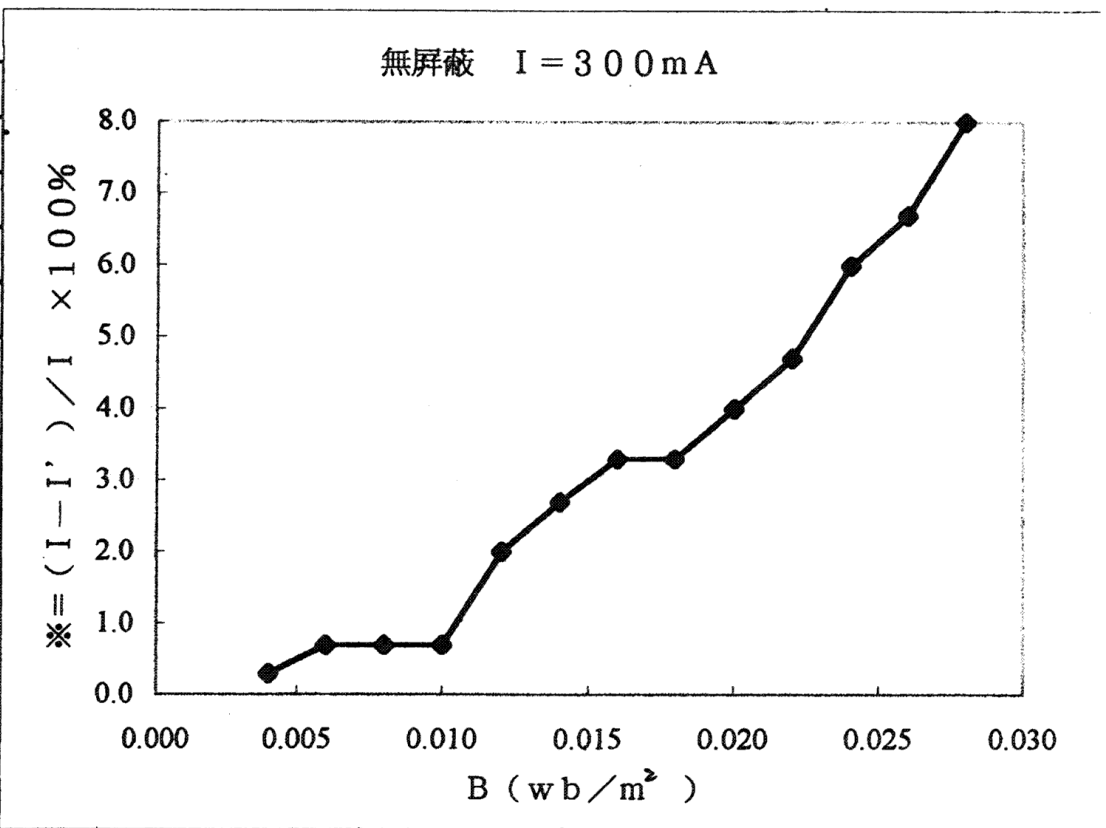


圖 2



350 三

| B(Wb/m <sup>2</sup> ) | ※    |
|-----------------------|------|
| 0.004                 | 0.6  |
| 0.006                 | 0.6  |
| 0.008                 | 1.1  |
| 0.010                 | 1.4  |
| 0.012                 | 1.7  |
| 0.014                 | 2.3  |
| 0.016                 | 2.9  |
| 0.018                 | 3.4  |
| 0.020                 | 4.3  |
| 0.022                 | 5.1  |
| 0.024                 | 6.3  |
| 0.026                 | 8.0  |
| 0.028                 | 10.9 |

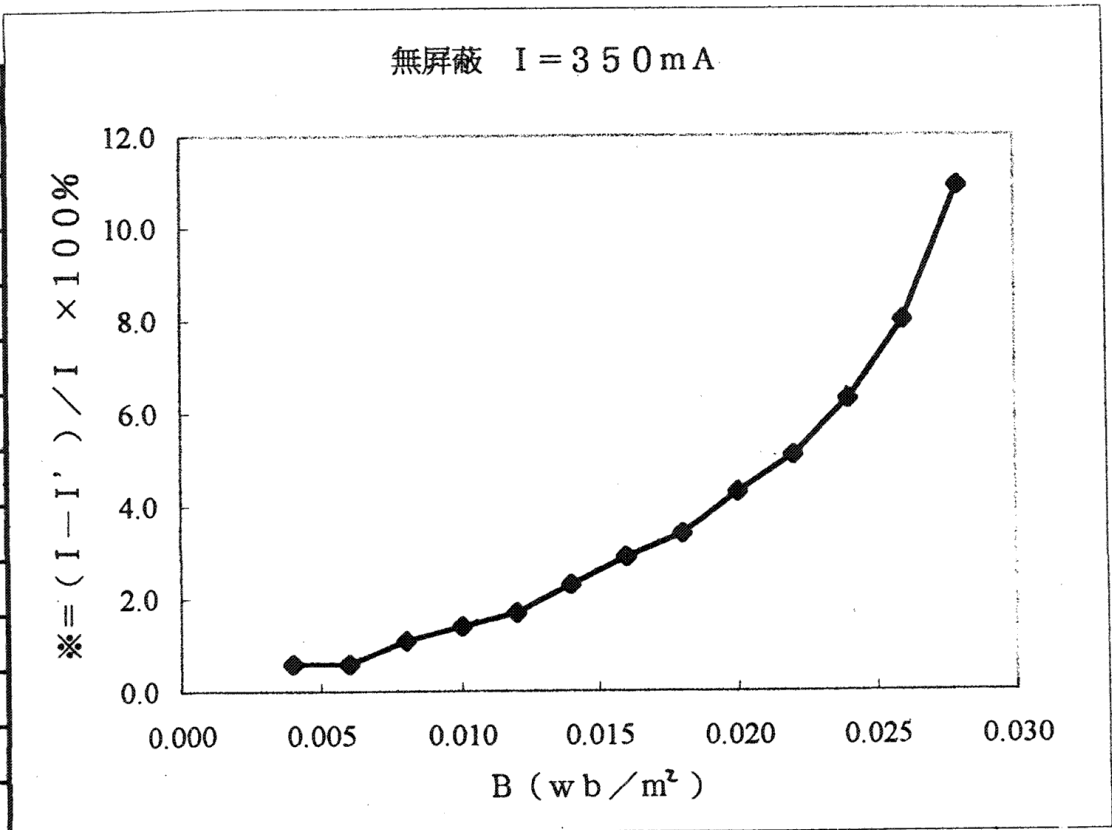


圖 3

400 四

| B(Wb/m <sup>2</sup> ) | ※    |
|-----------------------|------|
| 0.004                 | 1.5  |
| 0.006                 | 2.5  |
| 0.008                 | 2.5  |
| 0.010                 | 2.8  |
| 0.012                 | 4.0  |
| 0.014                 | 4.5  |
| 0.016                 | 4.5  |
| 0.018                 | 5.0  |
| 0.020                 | 6.3  |
| 0.022                 | 7.0  |
| 0.024                 | 8.5  |
| 0.026                 | 9.5  |
| 0.028                 | 12.0 |

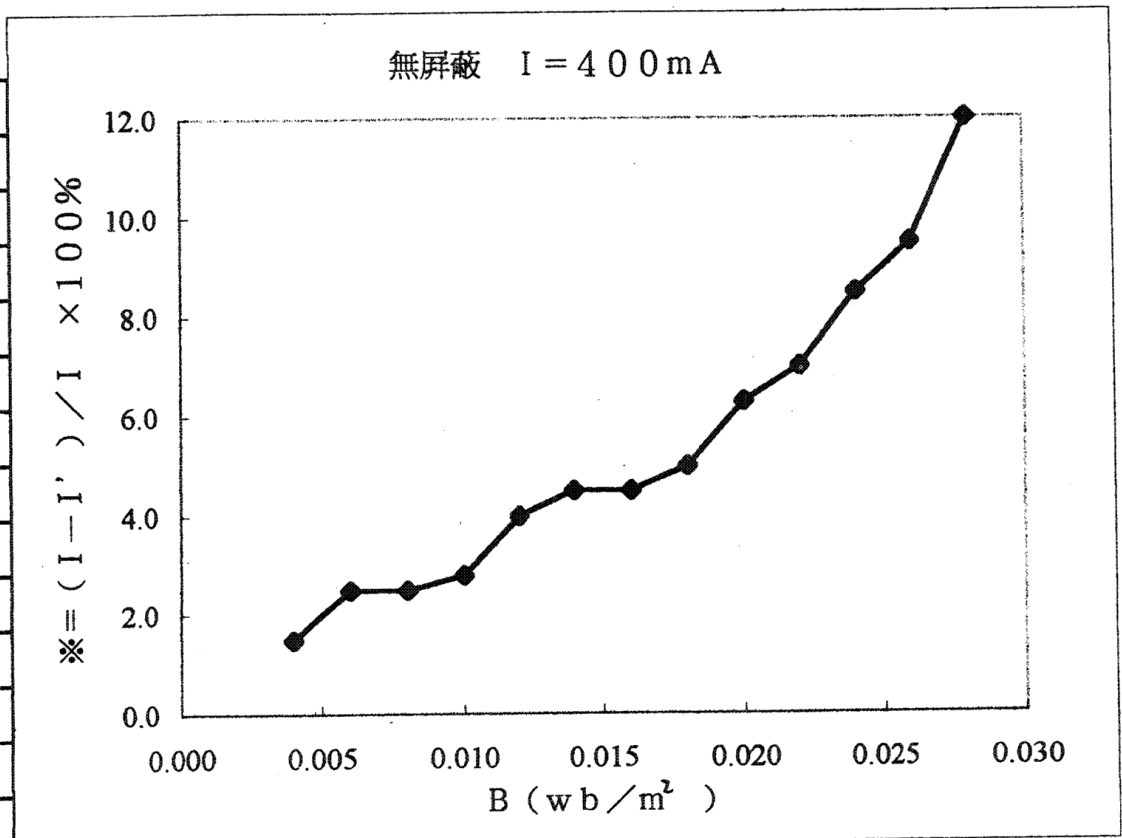


圖 4

450 五

| B (Wb/m <sup>2</sup> ) | ※    |
|------------------------|------|
| 0.004                  | 1.8  |
| 0.006                  | 2.2  |
| 0.008                  | 2.4  |
| 0.010                  | 3.3  |
| 0.012                  | 4.4  |
| 0.014                  | 4.4  |
| 0.016                  | 5.3  |
| 0.018                  | 6.2  |
| 0.020                  | 6.7  |
| 0.022                  | 7.8  |
| 0.024                  | 10.0 |
| 0.026                  | 11.1 |
| 0.028                  | 13.3 |

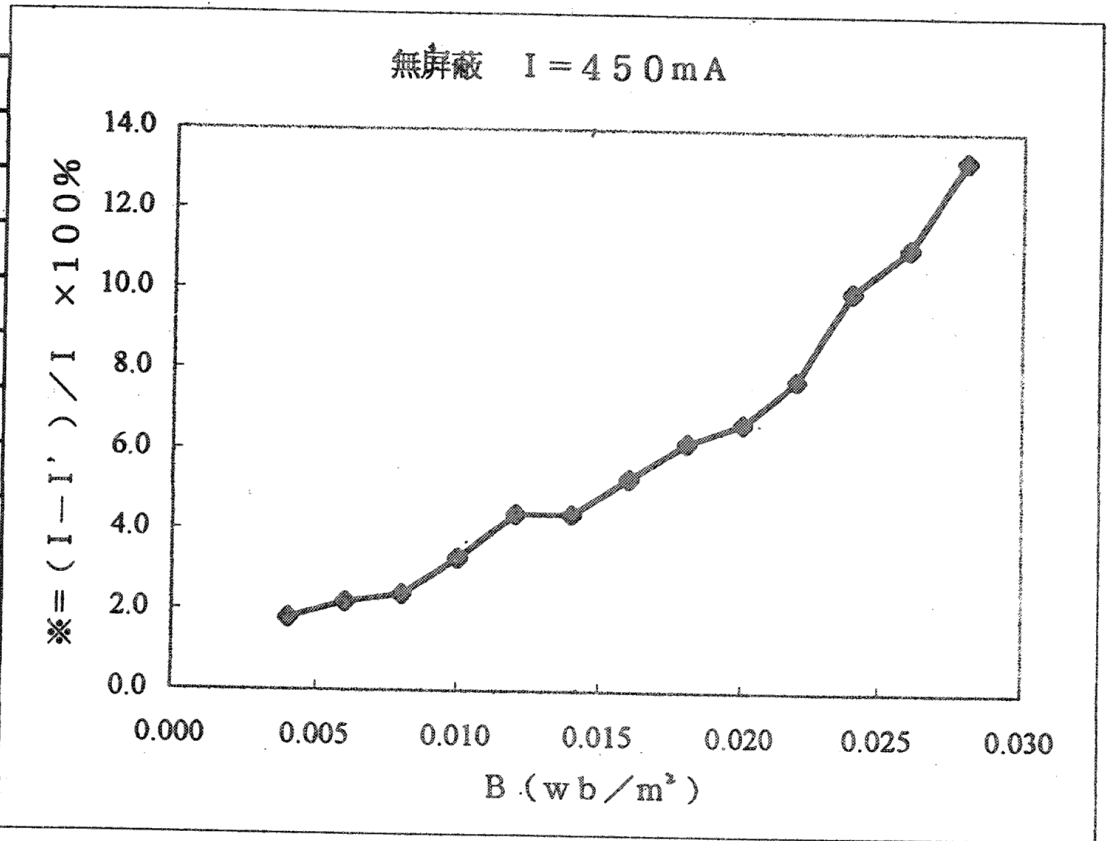


圖 5

500 六

| B (Wb/m <sup>2</sup> ) | ※    |
|------------------------|------|
| 0.004                  | 2.0  |
| 0.006                  | 2.8  |
| 0.008                  | 2.8  |
| 0.010                  | 3.6  |
| 0.012                  | 4.0  |
| 0.014                  | 4.8  |
| 0.016                  | 6.0  |
| 0.018                  | 6.4  |
| 0.020                  | 7.6  |
| 0.022                  | 7.2  |
| 0.024                  | 10.4 |
| 0.026                  | 11.6 |
| 0.028                  | 14.8 |

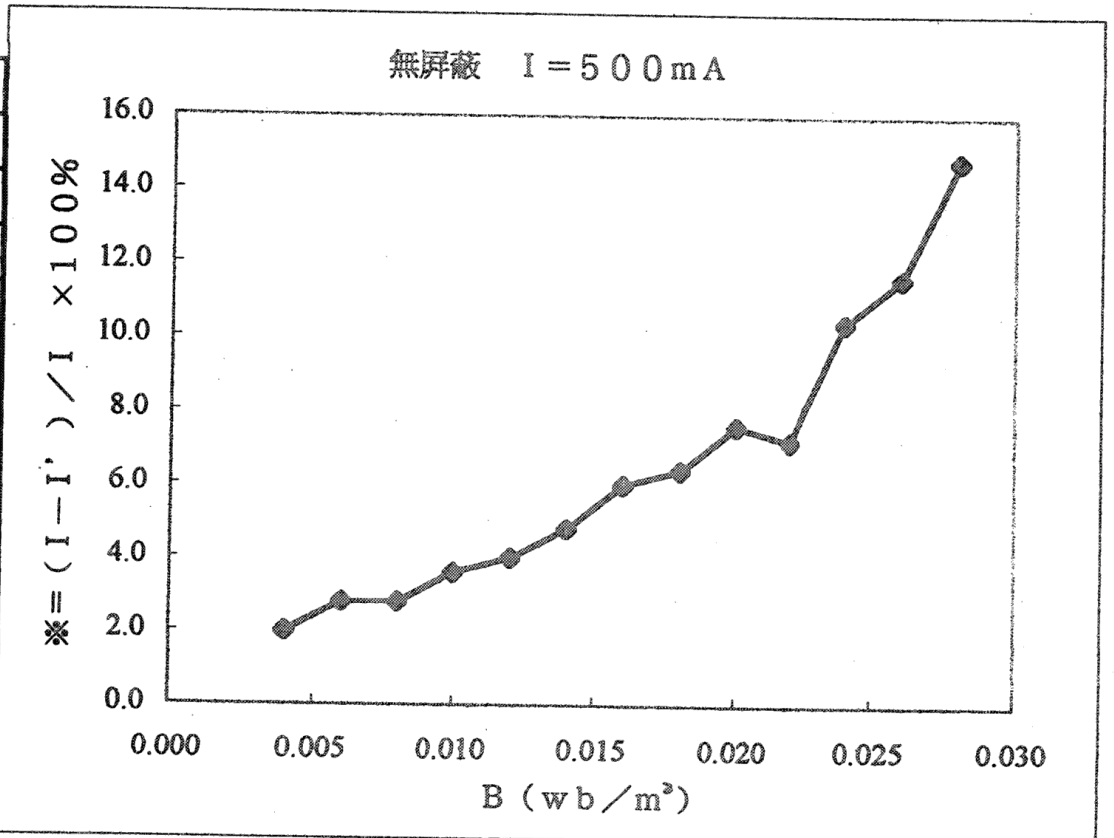


圖 6

以不同材質當磁場屏蔽對電錶的影響：

表中※ =  $(|I - I'| / I) \times 100\%$

(十)以小安培計測量

(A)無屏蔽

(B)以鐵環為磁屏蔽

| B<br>wb/m <sup>2</sup> | 400 |     |     |       |      | 400   |       |       |       |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                        | 1   | 2   | 3   | 平均值   |      | 1     | 2     | 3     | 平均值   |     |
|                        |     |     |     | I'    | ※    |       |       |       | I'    | ※   |
| 0.004                  | 390 | 390 | 392 | 390.7 | 2.3  | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 0.0 |
| 0.006                  | 388 | 388 | 390 | 388.7 | 2.8  | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 0.0 |
| 0.008                  | 385 | 382 | 388 | 385.0 | 3.8  | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 400.0 | 0.0 |
| 0.010                  | 382 | 380 | 386 | 382.7 | 4.3  | 410.0 | 400.0 | 400.0 | 403.3 | 0.8 |
| 0.012                  | 380 | 378 | 385 | 381.0 | 4.8  | 404.0 | 405.0 | 405.0 | 404.7 | 1.2 |
| 0.014                  | 378 | 376 | 382 | 378.7 | 5.3  | 404.0 | 405.0 | 405.0 | 404.7 | 1.2 |
| 0.016                  | 375 | 375 | 380 | 376.7 | 5.8  | 406.0 | 405.0 | 405.0 | 405.3 | 1.3 |
| 0.018                  | 370 | 370 | 378 | 372.7 | 6.8  | 408.0 | 405.0 | 405.0 | 406.0 | 1.5 |
| 0.020                  | 375 | 365 | 376 | 372.0 | 7.0  | 409.0 | 410.0 | 409.0 | 409.3 | 2.3 |
| 0.022                  | 370 | 355 | 372 | 365.7 | 8.6  | 410.0 | 410.0 | 410.0 | 410.0 | 2.5 |
| 0.024                  | 365 | 352 | 370 | 362.3 | 9.4  | 410.0 | 410.0 | 410.0 | 410.0 | 2.5 |
| 0.026                  | 358 | 350 | 360 | 356.0 | 11.0 | 411.0 | 410.0 | 410.0 | 410.3 | 2.6 |
| 0.028                  | 350 | 342 | 352 | 348.0 | 13.0 | 412.0 | 415.0 | 412.0 | 413.0 | 3.3 |

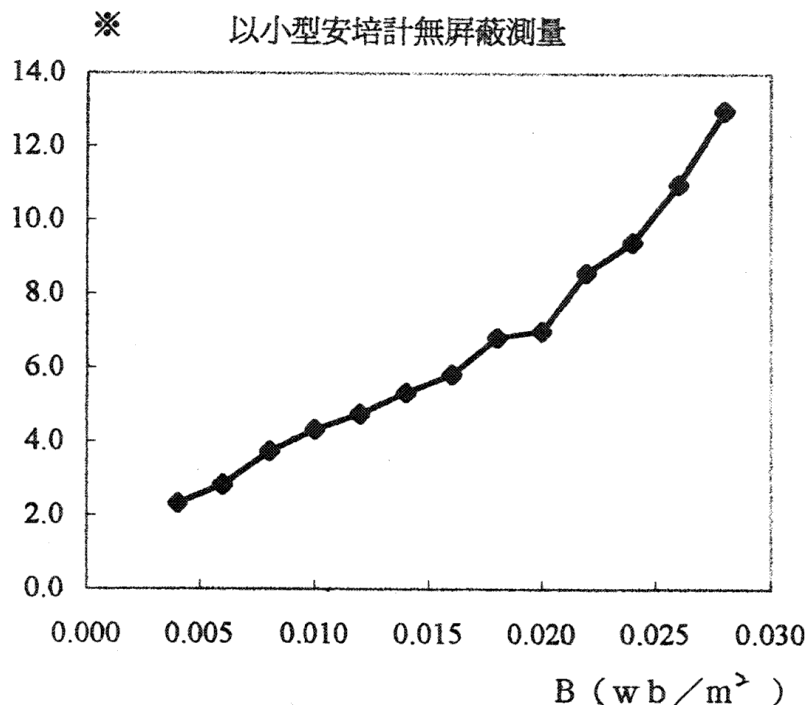
表中※ =  $(|I - I'| / I) \times 100\%$

(十)以小型安培計測量

(A)無屏蔽

I = 400 mA

| B wb/m <sup>2</sup> | ※    |
|---------------------|------|
| 0.004               | 2.3  |
| 0.006               | 2.8  |
| 0.008               | 3.8  |
| 0.010               | 4.3  |
| 0.012               | 4.8  |
| 0.014               | 5.3  |
| 0.016               | 5.8  |
| 0.018               | 6.8  |
| 0.020               | 7.0  |
| 0.022               | 8.6  |
| 0.024               | 9.4  |
| 0.026               | 11.0 |
| 0.028               | 13.0 |



(B)以鐵環為磁屏蔽

I = 400 mA

| B wb/m <sup>2</sup> | ※   |
|---------------------|-----|
| 0.004               | 0.0 |
| 0.006               | 0.0 |
| 0.008               | 0.0 |
| 0.010               | 0.8 |
| 0.012               | 1.2 |
| 0.014               | 1.2 |
| 0.016               | 1.3 |
| 0.018               | 1.5 |
| 0.020               | 2.3 |
| 0.022               | 2.5 |
| 0.024               | 2.5 |
| 0.026               | 2.6 |
| 0.028               | 3.3 |

