

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(一)科

第三名

032801

司機(driver)帶你聽音樂!-----平面薄型喇叭單體  
(driver)的實作與探究

學校名稱：臺中市立光正國民中學

作者：  國二 邱德原  國二 楊鎧郡	指導老師：  楊惠涵
---------------------------------	------------------

關鍵詞：喇叭單體、線圈、振膜

## 摘要

我們對於製作平面薄型喇叭單體產生興趣，在詢問老師後發現，大多數研究喇叭的文獻都是以音箱的探討為主，對於單體的著墨實在不多，也讓我們在設計實驗時產生許多困難，在困難一一排除以及實驗進行後，我們分別探討了**單體中線圈的纏繞規格與方式、外部磁力以及振膜材質等因素**得到以下結論：**最佳的喇叭單體配置包含，喇叭線圈最佳配置**：第一選擇為 26 號鍍銀線、匝數 45 圈、中心直徑 0.4 cm、線材間距 1 mm；第二選擇為 27 號漆包線、匝數 45 圈、中心直徑 0.4 cm、線材間距 1 mm。**其餘組成最佳配置**：磁鐵三顆、喇叭與磁鐵距離 1 cm、振膜為紅色絕緣膠布。

## 壹、研究動機

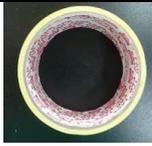
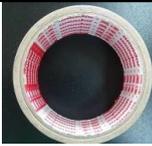
某日，家中音響的喇叭突然壞了，媽媽帶我到 3C 用品店買新的，我們在挑選時，發現大部分的音響都是又大又笨重的；而像手機喇叭雖然小，音質也不差，但製造的成本卻很高。我突然想知道，有沒有可能以低廉的成本、簡單的方法來製作薄型、輕便且音質好的喇叭呢？我和同學上網查詢資料後，發現只要將銅箔膠帶繞成螺旋狀並貼在紙上，就能發出聲音；但是銅箔膠帶較不容易取得，我們想：既然銅箔膠帶能讓紙喇叭發出聲音，那同樣能導電的漆包線或鍍銀線能不能達到同樣的效果呢？到底要怎麼製作才能做出效果最好的平面薄型喇叭呢？跟老師討論完以後，我們知道在九年級理化課本下冊 1-1 電流的熱效應，2-2 電流的磁效應，2-3 電流磁效應的應用，有相關的資訊可以參考，於是我們就展開了實驗。

## 貳、研究目的

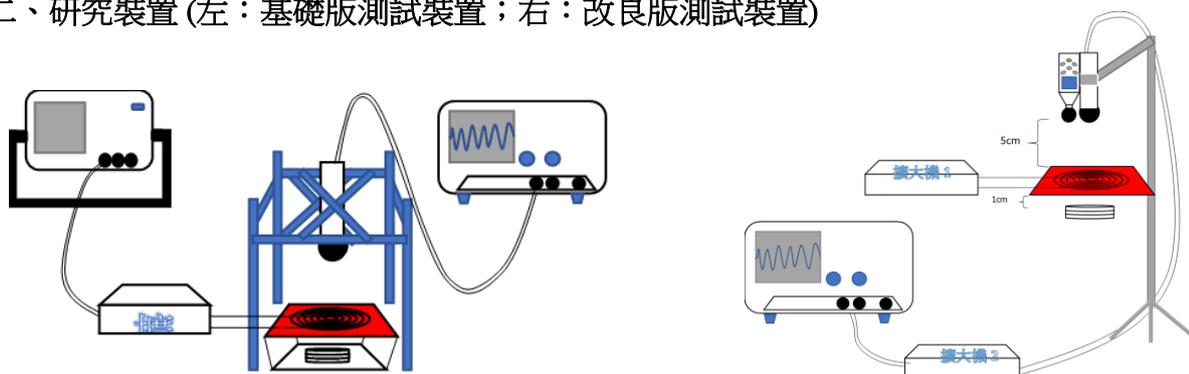
- 一、探討自製平面薄型喇叭（單體）的發聲原理
- 二、分析不同粗細線材的線圈對單體發聲的影響
- 三、分析不同匝數的線圈對單體發聲的影響
- 四、分析不同線材材質的線圈對單體發聲的影響
- 五、探討外部磁力強度（與距離）對單體發聲的影響
- 六、探討不同振膜材質對單體發聲的影響
- 七、探討不同線圈內徑對單體發聲的影響
- 八、探討線圈線材不同間距對單體發聲的影響
- 九、找出效果最好的薄型單體製作方式

## 參、研究設備與器材

### 一、研究器材

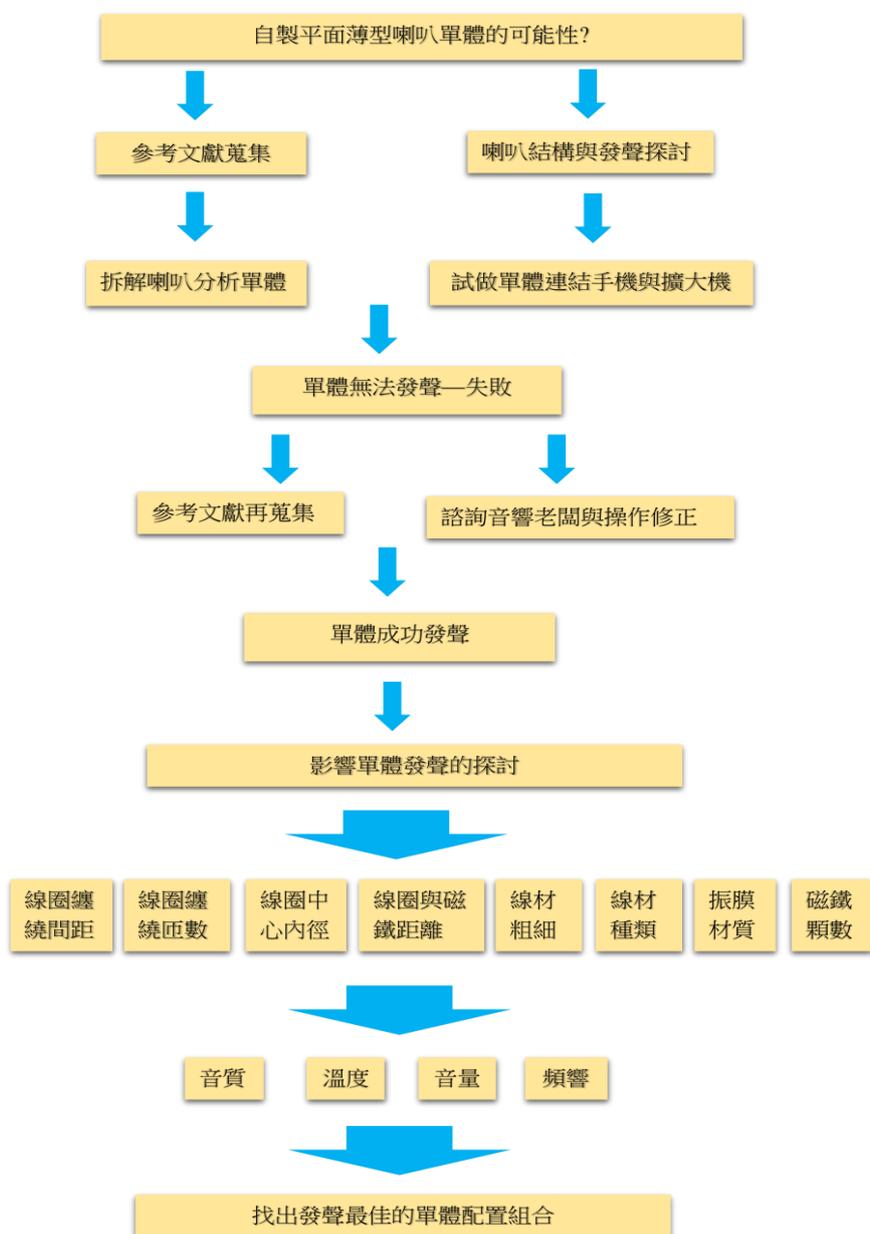
磁鐵	紅色絕緣膠布	黃色防水膠布	封箱膠帶
			
牛皮紙膠帶	透明膠帶	漆包線 21 號	漆包線 23 號
			
漆包線 25 號	漆包線 27 號	漆包線 31 號	鍍銀線 26 號
			
鋼尺	紙黏土	美工刀	攝影機
			
分貝器	剪刀	紅外線測溫槍	砂紙
			
紙碗	手機 (ASUS A007)	三用電表	鱷魚夾
			
擴大機 1	擴大機 2	麥克風	麥克風支架
			
鑷子	示波器		
			

## 二、研究裝置 (左：基礎版測試裝置；右：改良版測試裝置)



## 肆、研究過程與方法

### 一、研究流程



## 二、文獻探討

### (一) 揚聲器

#### 1. 揚聲器介紹

自參考資料得知，中文俗稱的音響喇叭（**Speaker**），其實是揚聲器（**Loudspeaker**），原因是因為早期揚聲器的外型與吹奏用喇叭相似。所謂的揚聲器，是一種將電子訊號轉換成聲音的電子元件，可以由一個或多個組成音響組(莫里國際)。也就是說，揚聲器可以把電流頻率轉化為聲音（維基百科）。揚聲器的組成包含有單體和箱體、防塵罩、分頻器等（莫里國際）。

#### 2. 揚聲器重要結構

(1) 驅動系統：包括音圈也就是導電線圈，線圈通常與振動系統固定在一起，通過振膜來將線圈的振動轉換成聲音訊號。

(2) 振動系統：包括音膜，也就是振膜。振膜可以由各種材料構成，可以說振膜的材料、製作工藝在很大程度上決定了揚聲器的發聲品質。按照製作材料不同，可以將振膜分為以下幾種：

紙盆：紙盆的成本較低，而且還可以和其它纖維混合起來製作成混合型振膜，它是應用最多的振膜材料。

陶瓷：重低音效果較好。

羊毛：在紙漿中混合進羊毛製作而成，低音效果不佳。

聚丙烯：成本較高。

金屬：多用於高音球頂喇叭。

木質：聲音溫暖，較適合聽人聲或古典。

(3) 支撐系統：包括盆架等

(4) 磁鐵：按照其磁鐵安裝方式不同分為

外磁式：讓音圈包著磁鐵，所以音圈尺寸要大於磁鐵。外音圈尺寸提升，與振膜接觸面積也更大，動態也就更好。加大尺寸的音圈，還具備更高的散熱效率。

內磁式：音圈做在磁鐵內部，所以音圈尺寸較小得多（維基百科）。

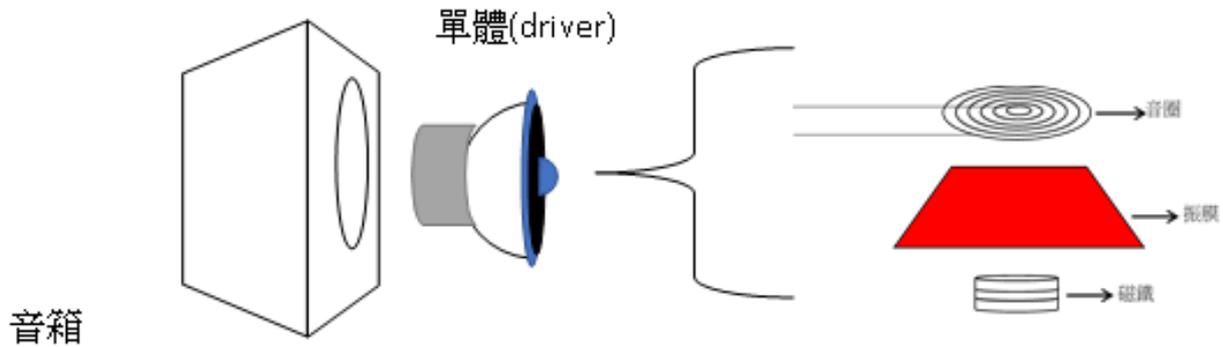
### (二) 單體 driver

#### 1. 單體 driver 介紹

我們實驗要討論的主角，單體，它是揚聲器中的一個重要零件，英文稱為 **driver** (莫里國際)。當電流（從放大器出來的音頻訊號）通過線圈產生電磁場，磁場的方向為安培右手定則。當電流通過線圈，線圈即隨著電流的頻率振動，而和線圈相連的振膜當然也就跟著振動。推動周圍的空氣振動，由此產生聲音（莫里國際）。

#### 2. 單體 driver 結構

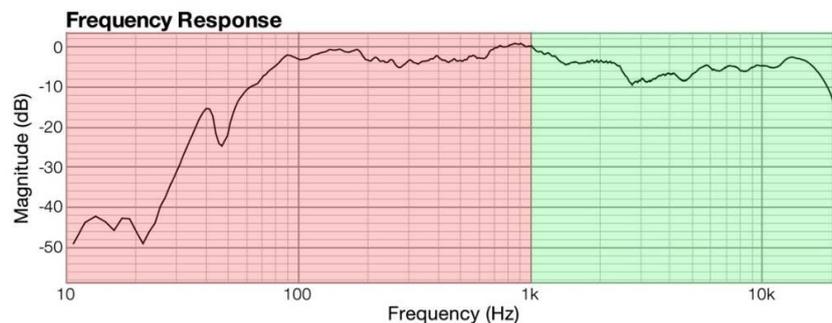
一個單體 **driver** 主要是由電磁鐵（**Magnetic**）、線圈（**Voice Coil**）、振膜（**Diaphragm**）所組成。



### (三) 線圈發聲原理

磁鐵和音圈常被稱為驅動器（Driver，與單體同名但其實不同）。它是以永久磁鐵產生強而有力的磁場，它圍繞著音圈，而音圈又和振模連接。當電流通過音圈，音圈隨電流頻率移動，和音圈相連的振模也跟著移動。當喇叭在發音時，除振模在前後運動外，音圈也是在前後運動，兩者完全同步（莫里國際）。單體的發聲原理，就是利用電流流過線圈產生的磁場（電流磁效應），與單體本身的磁鐵產生的位能帶動單體上的振膜推擠空氣進而發出聲音傳到我們的耳朵。而依照不同發聲頻段的單體，簡單分成三種形式，分別是低音單體，中高音單體以及全音域單體，這三種頻率響應的範圍粗略的分類如下：

（耳酷 acousdea）



低音單體: 20 Hz ~ 1k Hz (上圖紅色區域)、中高音單體: 1k Hz ~ 20k Hz (上圖綠色區域)

（圖片來源:耳酷 acousdea）

音圈可以說是喇叭的心臟。音圈的性能往往會影響喇叭的聲壓級、阻抗曲線、失真和瞬態特性等，特別是關係到喇叭的承受功率和壽命。喇叭的損壞往往也是從音圈開始的。高中低音的喇叭單元對音圈有不同的要求，在規定的尺寸範圍內可以取其上限，可以產生更佳的頻率響應及靈敏度（每日頭條）。

### (四) 電流的磁效應：

#### 1. 電流的磁效應與能量轉換：

- (1) 電流的磁效應最早由丹麥人厄司特於 1820 年發現，他無意中觀察到置於通有直流電導線附近的小磁針會受影響而偏轉，若將直流電的電流反向，則小磁針亦偏向反方向。
- (2) 任何通有電流的導線，在導線的周圍會建立磁場，此種現象稱為電流的磁效應。
- (3) 電流在其通過的路徑上會建立磁場，是代表能的形式發生轉變，亦即電能會消耗

並轉換成磁能，仍然遵守能量守恆定律。

## 2. 安培定律：

(1) 安培定律：磁場強度和通過導線的電流大小和距離有關。

-電流建立的磁場強度和通過導線的電流大小成正比。

-電流建立的磁場強度和導線的距離成反比，而永久磁鐵建立的磁場強度與磁鐵的距離平方成反比。

(2) 安培定律旨在判斷磁場強度與電流大小和導線距離之間的關係，若要判斷電流磁效應所生的磁場方向，則以「安培右手定則」判斷。

## 3. 安培右手定則：

(1) 安培右手定則與適用類型：磁場是有方向性的物理量，依據安培右手定則可以判斷導線所產生的磁場方向，運用於「長直導線」和「螺旋形線圈」兩種類型的判斷上（國民中學學習資源網）。

## （五）頻率響應：

頻率響應（英語：Frequency response，簡稱頻響）是當向電子儀器系統輸入一個振幅不變，頻率變化的信號時，測量系統相對輸出端的響應。通常與電子放大器、擴音器等聯繫在一起，頻響的主要特性可用系統響應的幅度（用分貝）和相位（用弧度）來表示（維基百科）。

## （六）文獻探討心得

我們決定了實驗的重點為，在有限資源下自製有效率的簡易平面喇叭，藉由改變單體中電磁鐵的數量、線圈的纏繞規格與方式、振膜的組成等因素，歸納出揚聲器撥放出好聲音需要的條件。

## 三、研究方法

### （一）測試自製平面薄型喇叭(單體)是否能夠發聲

1. 單體（先行測試版不分圈數、線材等）
2. 將擴大機連接單體（發聲端）及手機（音源端）
3. 播放音訊並將自製薄型單體靠近磁鐵
4. 確認單體發聲

### （二）製作並測試不同線材粗細之自製單體

1. 取一段適當長度之膠帶，依序纏繞不同粗細之漆包線圈
2. 線材種類為漆包線 21、23、25、27、31 號（號數越大線材越細）
3. 測試項目：.響度（分貝數）、波形（音質）、溫度、頻率響應效果
4. 將擴大機連接自製單體（發聲端）及手機（音源端）
5. 播放聲音（使用 APP：頻率發生器）
6. 使用分貝計測量音量
7. 使用示波器及麥克風觀察在不同音量下各單體的波形及其變化情形，並比較之間的差異性，波形越接近正弦波形，表示音質越好

8. 調整頻率高低 (0 ~ 22000Hz)，找出單體的發聲極限 (最低及最高) (即為爆音點)，藉此比較頻率響應效果
  9. 使用紅外線測溫槍測量溫度
  10. 使用鑷子維持磁鐵與喇叭之間距 (測量溫度時不使用以減少對溫度的影響)
  11. 測量溫度時使用 3 顆磁鐵以加強溫度上升的效果
  12. 測量溫度時磁鐵與喇叭的間距為 0 cm
  13. 測量溫度時播放 500 Hz 頻率 30 秒
  14. 溫度測量三次
12. 控制變因

1. 磁鐵 1 顆 (測量溫度時為 3 顆)	7. 線材間距 0 mm
2. 測試音量、溫度、頻率響應時的訊源音量： 手機 100 %、擴大機 50 %	8. 以紅色絕緣膠布製作
3. 頻率 500 Hz 正弦波	9. 線材纏繞 35 圈
4. 分貝計距離桌面 15 cm 測量	10. 磁鐵與單體距離為 1 cm (測量溫度時為 0 cm)
5. 紅外線測溫槍距離單體 1 cm 測量	11. 測試人員與測試器材
6. 單體內徑 0.4 mm	12. 測試不同音量下單體的波形時訊源音量控制： (1) 手機 30 %、擴大機 50 % (2) 手機 50 %、擴大機 50 % (3) 手機 100 %、擴大機 50 %

註：「手機 30 %」代表手機可調最大音量的 30 % (擴大機亦類推)

### (三) 製作並測試不同線圈匝數對自製單體的影響

1. 製作各種粗細的漆包線 25 及 45 圈的線圈
2. 測試項目如同實驗二
3. 測試方式如同實驗二
4. 控制變因如同實驗二 (線材匝數除外)

### (四) 測試不同線材材質對自製單體的影響

1. 線材種類：漆包線、鍍銀線
2. 製作匝數為 45 圈
3. 測試項目如同實驗二
4. 測試方式如同實驗二
5. 控制變因如同實驗二 (線材匝數為 45 圈)

### (五) 測試不同磁鐵顆數對自製單體的影響

1. 分別使用 1、2、3 顆磁鐵測試
2. 使用 27 號漆包線 45 圈  
(中心內徑 0.4 cm、線材間距為 0 mm、振膜為紅色絕緣膠布)

- 3.測試項目如同實驗二（不測量波形頻率響應）
- 4.測試方式如同實驗二（不測量波形及頻率響應）
- 5.控制變因如同實驗二（磁鐵數量及線圈種類除外）

#### **（六）測試不同喇叭與磁鐵的距離對自製單體的影響**

- 1.分別以磁鐵距離單體 0 cm、1 cm、2 cm、3 cm 測量
- 2.使用 27 號漆包線 45 圈  
（中心內徑 0.4 cm、線材間距為 0 mm、振膜為紅色絕緣膠布）進行實驗
- 3.測試項目如同實驗二（不測量波形、溫度及頻率響應）
- 4.測試方式如同實驗二（不測量波形、溫度及頻率響應）
- 5.控制變因（磁鐵與單體的距離及線圈種類除外）

#### **（七）製作並測試不同振膜材質之自製單體**

- 1.振膜種類：透明膠帶、封箱用膠帶、牛皮紙膠帶、黃色防水膠布、紅色絕緣膠布
- 2.使用 27 號漆包線 45 圈（中心直徑 0.4 cm、線材間距為 0 mm）進行實驗
- 3.測試項目如同實驗二
- 4.測試方式如同實驗二
- 5.控制變因如同實驗二（振膜、線圈種類除外，磁鐵數為三顆）

#### **（八）製作並測試不同中心內徑之自製單體**

- 1.製作內徑分別為 0.8、1.2、1.6、2.0 cm 之單體
- 2.使用 27 號漆包線 45 圈（線材間距為 0 mm、振膜為紅色絕緣膠布）進行實驗
- 3.測試項目如同實驗二
- 4.測試方式如同實驗二
- 5.控制變因如同實驗二（中心內徑、線圈種類除外，磁鐵數為三顆）

#### **（九）製作並測試不同線材間距之自製單體**

- 1.製作線材間距分別為 0、1、2 mm 之單體
- 2.使用 27 號漆包線 45 圈（中心直徑 0.4 cm、振膜為紅色絕緣膠布）進行實驗
- 3.測試項目如同實驗二
- 4.測試方式如同實驗二
- 5.控制變因如同實驗二（線材間距、線圈種類除外，磁鐵數為三顆）

#### **（十）測試各單體之電阻值**

- 1.使用三用電表測量電阻
- 2.紀錄

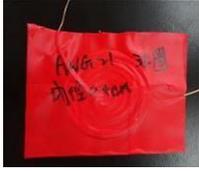
## 伍、研究結果

### 一、測試自製平面薄型單體是否能夠發聲

線圈(單體)製作	設備連接	測試發聲
		
實驗結果： (一)連接方式： 手機(音源輸出) → 擴大機(擴大音訊) → 自製薄型單體(發聲)。 (二)第一次測試時發現，磁鐵強度必須夠強，才能發出明顯的聲音。		

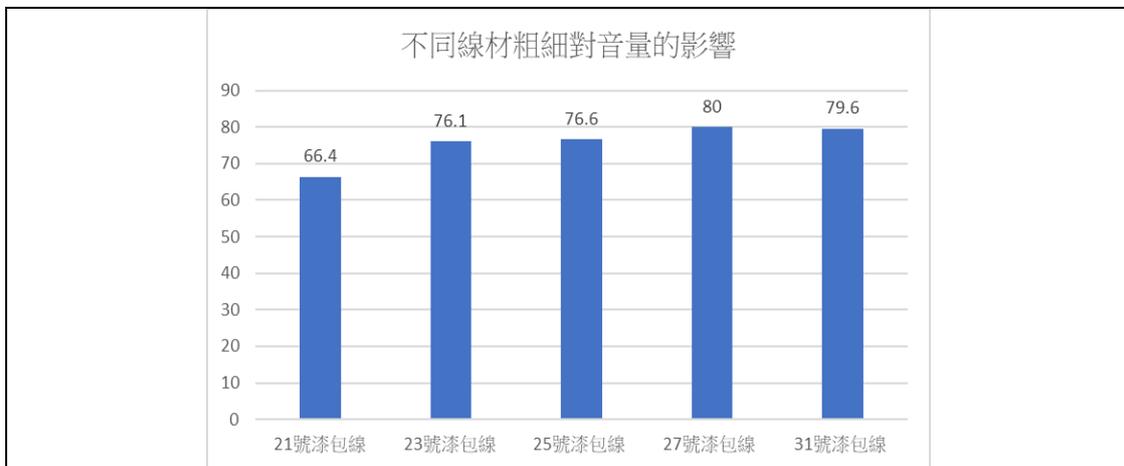
### 二、製作並測試不同線材粗細之單體(35 匝)

(一) 製作圖示：以 21 號漆包線為例

線材種類	內部	外觀
21 號漆包線 (35 匝)		

(二) 音量測試：

單位：dB



1. 音量大小比較實驗結果：

27 號漆包線 > 31 號漆包線 > 25 號漆包線 > 23 號漆包線 > 21 號漆包線。

2. 我們發現線材越細，聲音越大。

(三) 波形測試：

線材種類	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
21 號漆包線			
23 號漆包線			
25 號漆包線			
27 號漆包線			
31 號漆包線			

1. 波型好壞比較結果：「手機 30 %」代表手機可調最大音量的 30 % (擴大機亦類推)

(1) 手機 30%、擴大機 50%：

21 號漆包線 = 23 號漆包線 = 25 號漆包線 = 27 號漆包線 = 31 號漆包線。

(2) 手機 50%、擴大機 50%：

27 號漆包線 = 25 號漆包線 > 21 號漆包線 = 23 號漆包線 > 31 號漆包線。

(3) 手機 100%、擴大機 50%：

27 號漆包線 = 25 號漆包線 > 21 號漆包線 > 23 號漆包線 = 31 號漆包線。

2. 我們發現所有線圈的音質都是相同的 (皆能在不失真的狀態下發出正弦波形)，但相較之下，25 號漆包線及 27 號漆包線對能量的耐受程度較高，能在高音量的狀態下維持一定規律的波形。

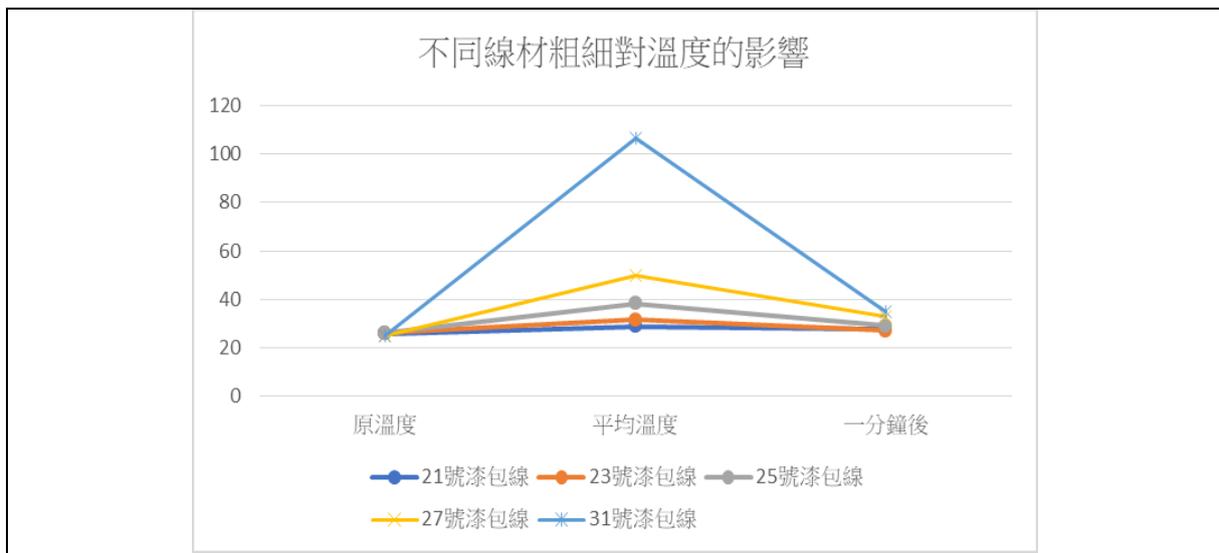
3. 小討論：

從波形可以看出來，線材越細，波形越不失真。我們推測越細的線材通電後能產生較緊密的磁力線，生成較為集中的磁場，與磁鐵的排斥力或吸引力更為強烈，能更大程度地真實反應出正確的聲音。但 31 號漆包線則相反，所以我們推測線材粗細對發聲的影響可能有極限。

(四) 溫度測試：

單位：°C

線材種類	原始溫度	測試平均溫度	一分鐘後溫度	降溫速率 (°C /秒)
21 號漆包線(35 匝)	25.8	28.7	27.8	0.02
23 號漆包線(35 匝)	26.1	31.5	27	0.08
25 號漆包線(35 匝)	26	38.3	29.1	0.15
27 號漆包線(35 匝)	25	49.	32.8	0.27
31 號漆包線(35 匝)	25.1	106.5	35.1	1.19



- 溫度比較實驗結果：  
31 號漆包線 > 27 號漆包線 > 25 號漆包線 > 23 號漆包線 > 21 號漆包線。
- 我們發現線材越細，溫度越高。
- 溫度愈高，降溫速率愈高。
- 結果討論：  
線材越細，溫度越高，因為越細的線材電阻越大，符合焦耳定律 ( $Q=I^2Rt$ )，當電阻越大，在相同時間及電流下所產生的熱能就越多，因此溫度較高。

(五) 頻率響應測試：

(單位：Hz)

線材種類	最低音	最高音	音域大小比較：
21 號漆包線	549	3535	27 號漆包線 > 31 號漆包線 > 25 號漆包線 > 23 號漆包線 > 21 號漆包線
23 號漆包線	449	約 20000 後聲音消失	
25 號漆包線	398	約 20000 後聲音消失	
27 號漆包線	328	約 20000 後聲音消失	
31 號漆包線	356	約 20000 後聲音消失	

結果討論：  
可以發現線材越細，頻率響應的區間就越大。我們推測越細的線材通電後能產生較緊密的磁力線，生成較為集中的磁場，使單體有足夠的力量反映聲音。但 31 號漆包線卻不如 27 號漆包線，所以我們推測線材粗細對發聲的影響可能有極限。

三、測試不同線圈匝數對單體的影響

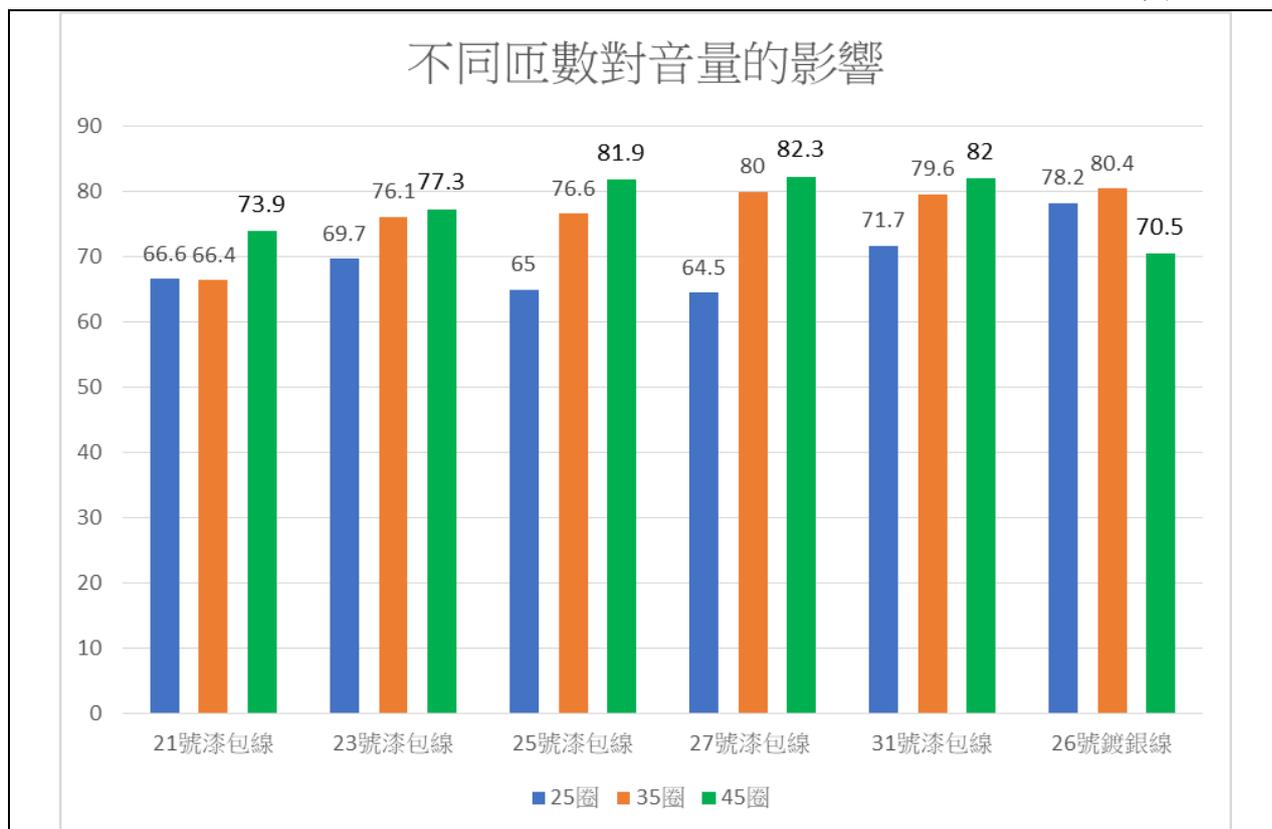
(一) 製作圖示 (以 21 號漆包線為例)：

線圈種類	內部	外觀
21 號漆包線(25 匝)		

21 號漆包線(35 匝)		
21 號漆包線(45 匝)		

(二) 音量測試：

單位：dB



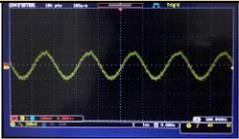
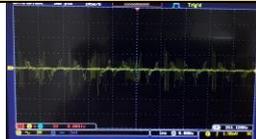
1. 實驗結果：

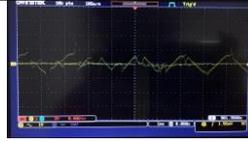
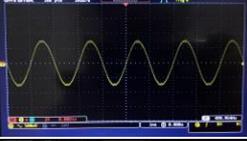
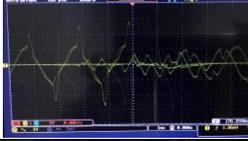
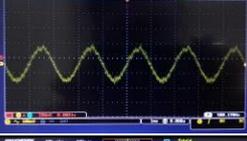
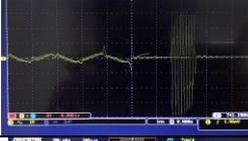
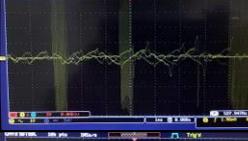
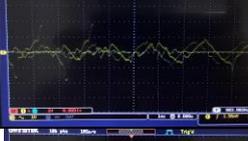
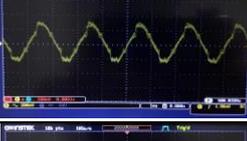
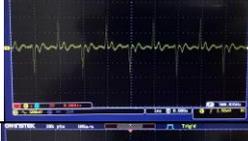
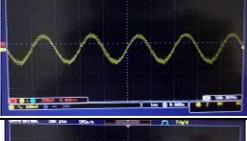
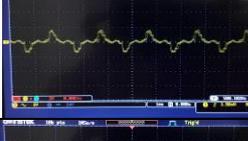
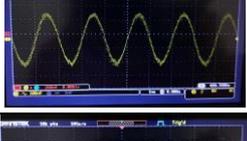
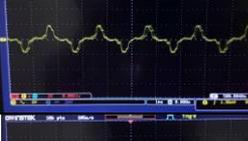
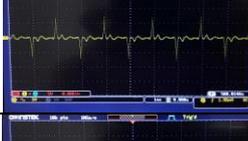
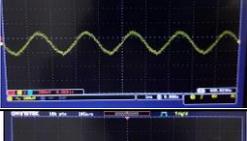
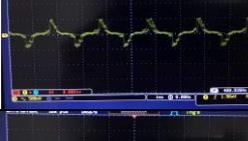
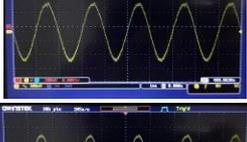
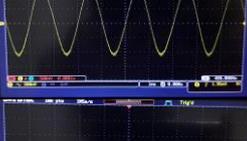
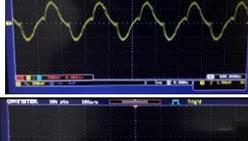
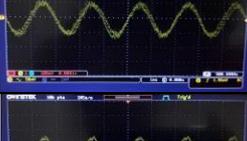
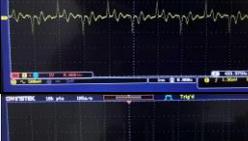
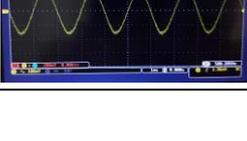
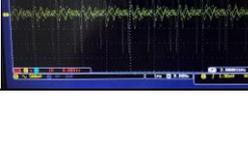
我們發現圈數越多，音量越大。21 號漆包線推測是測量誤差。

2. 小討論：

我們發現線圈匝數越高，音量越大，故推論當線圈匝數越高時，所產生的磁力線越緊密、磁通量越大。21 號漆包線除外，我們可以觀察到各線圈在不同匝數時，上升的音量都呈現拋物線形的成長，代表磁場影響音量可能有極限值。

(三) 波形測試：

線圈種類	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
21 號漆包線 25 匝			

21 號漆包線 35 匝			
21 號漆包線 45 匝			
23 號漆包線 25 匝			
23 號漆包線 35 匝			
23 號漆包線 45 匝			
25 號漆包線 25 匝			
25 號漆包線 35 匝			
25 號漆包線 45 匝			
27 號漆包線 25 匝			
27 號漆包線 35 匝			
27 號漆包線 45 匝			
31 號漆包線 25 匝			
31 號漆包線 35 匝			

31 號漆包線 45 匝			
26 號鍍銀線 25 匝			
26 號鍍銀線 35 匝			
26 號鍍銀線 45 匝			

1. 波型好壞比較結果：

條件	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
結果	25 匝 = 35 匝 = 45 匝	45 匝 > 35 匝 > 25 匝	45 匝 > 35 匝 > 25 匝

2. 匝數對音質的影響不大，各匝數發聲皆無明顯失真。

3. 匝數越高，就能承受越大的音量。

4. 小討論：

我們推測是因為當線圈匝數越高時，其產生的磁場愈大，線圈與磁鐵的排斥力或吸引力更為強烈，能更大程度地真實反應出正確的聲音。從手機 50%、擴大機 50% 音量條件設定的測試中可看出，**波形最接近正弦波形的是 26 號鍍銀線 45 圈**；而手機 100%、擴大機 50% 設定時，所有線圈的波形都失真了，但 25 號、27 號漆包線各匝數的波形依然有其規律性。

(四) 溫度測試：

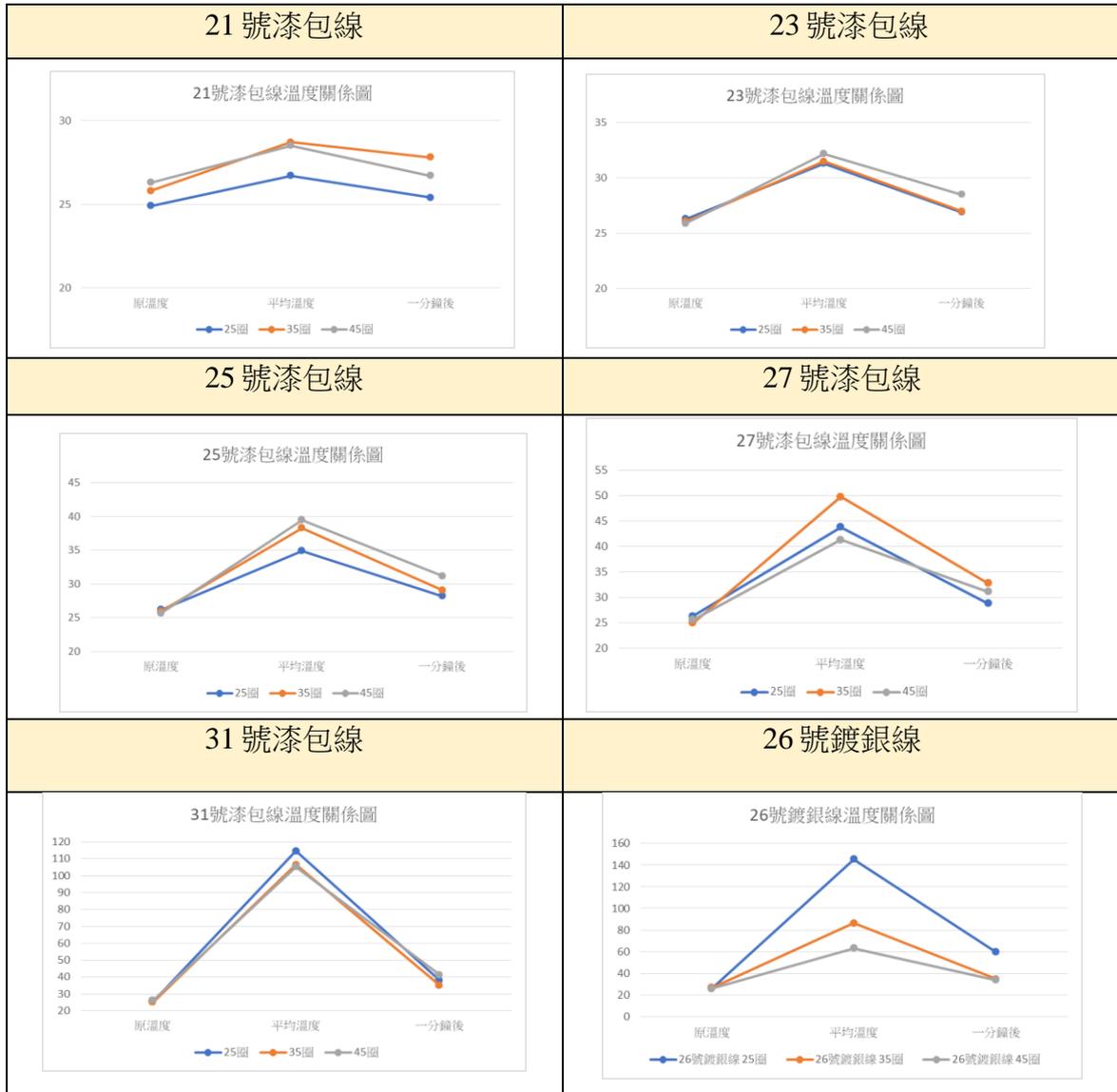
1. 數據紀錄

單位：°C

線圈種類與匝數	原始溫度	測試平均溫度	1 分鐘後溫度	降溫速率 (°C/秒)
21 號漆包線 25 圈	24.9	26.7	25.4	0.02
21 號漆包線 35 圈	25.8	28.7	27.8	0.02
21 號漆包線 45 圈	26.3	28.5	26.7	0.03
23 號漆包線 25 圈	26.3	31.3	26.9	0.07
23 號漆包線 35 圈	26.1	31.5	27	0.07
23 號漆包線 45 圈	25.9	32.2	28.5	0.06
25 號漆包線 25 圈	26.2	34.9	28.2	0.11
25 號漆包線 35 圈	26	38.3	29.1	0.15
25 號漆包線 45 圈	25.7	39.5	31.2	0.14
27 號漆包線 25 圈	26.3	43.8	28.8	0.25
27 號漆包線 35 圈	25	49.8	32.8	0.29
27 號漆包線 45 圈	25.6	41.3	31.1	0.17

31 號漆包線 25 圈	25.4	114.7	38.1	1.28
31 號漆包線 35 圈	25.1	106.5	35.1	1.19
31 號漆包線 45 圈	26.1	105.3	41.4	1.07
26 號鍍銀線 25 圈	26.3	145.3	59.7	1.43
26 號鍍銀線 35 圈	26.7	86.4	34.6	0.86
26 號鍍銀線 45 圈	26	63.2	34	0.49

## 2. 圖示與討論



### (1) 實驗結果：

21 號、23 號與 25 號線圈呈現匝數愈多溫度愈高的趨勢，但 27 號、31 號漆包線及 26 號鍍銀線則否。

### (2) 溫度愈高，降溫速率愈高。

### (3) 小討論：

由於線圈匝數愈多圈，線材長度就愈長，而電阻也愈大，這一點由我們測量各線圈之電阻值可證明，由電流的熱效應公式  $P = I^2 R$  可得知，電阻愈大發熱功率肯定也愈大，溫度自然也愈高。但我們發現愈細的線圈其溫度最高者未必是圈數最多的線圈，推測是由於線圈愈細其電阻也愈大，圈數對電阻的影響之占比已不如較粗的線圈明顯。

(五) 頻率響應測試：

(單位：Hz)

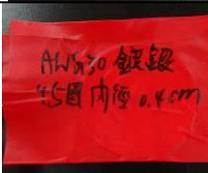
線圈種類	最低音	最高音	音域大小比較
21 號漆包線 25 匝	590	2381	35 匝 > 25 匝 > 45 匝
21 號漆包線 35 匝	549	3535	
21 號漆包線 45 匝	424	2210	
23 號漆包線 25 匝	711	約 20000 後聲音消失	45 匝 > 35 匝 > 25 匝
23 號漆包線 35 匝	449	約 20000 後聲音消失	
23 號漆包線 45 匝	436	約 20000 後聲音消失	
25 號漆包線 25 匝	439	約 20000 後聲音消失	45 匝 > 35 匝 > 25 匝
25 號漆包線 35 匝	398	約 20000 後聲音消失	
25 號漆包線 45 匝	375	約 20000 後聲音消失	
27 號漆包線 25 匝	399	約 20000 後聲音消失	45 匝 > 35 匝 > 25 匝
27 號漆包線 35 匝	358	約 20000 後聲音消失	
27 號漆包線 45 匝	288	約 20000 後聲音消失	
31 號漆包線 25 匝	390	約 20000 後聲音消失	45 匝 > 35 匝 > 25 匝
31 號漆包線 35 匝	356	約 20000 後聲音消失	
31 號漆包線 45 匝	231	約 20000 後聲音消失	
26 號鍍銀線 25 匝	289	約 20000 後聲音消失	45 匝 > 35 匝 > 25 匝
26 號鍍銀線 35 匝	179	約 20000 後聲音消失	
26 號鍍銀線 45 匝	無	約 20000 後聲音消失	

小討論：

1. 可以發現匝數越高，頻率響應的區間就越大。我們推測匝數越高，線材通電後能產生較緊密的磁力線，生成較為集中的磁場，使單體有足夠的力量反映聲音。而 21 號漆包線則是 35 匝時頻響效果最好，而非 45 匝，所以我們推測單體本身的磁場對發聲的影響可能有極限。
2. 綜合以上結果，在相同線材種類下，發聲效果最佳的為 27 號漆包線 45 匝，故也以 27 號漆包線 45 匝來接續後面的實驗。而因為鍍銀線屬於不同種類的線材，我們後續會再進行實驗及比較。

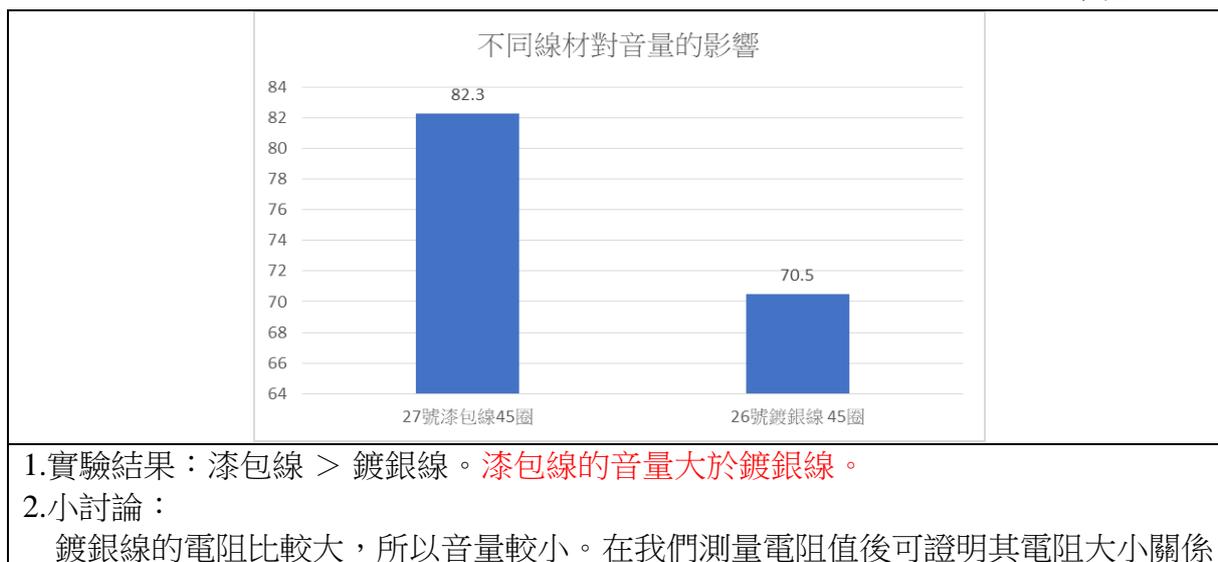
四、測試不同線材材質對自製單體的影響

(一) 製作圖示：

線材種類	內部	外觀
27 號漆包線		
26 號鍍銀線		

(二) 音量測試：

單位：dB



(三) 波形測試：

線圈種類	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
27 號漆包線 45 圈			
26 號鍍銀線 45 圈			

1. 波型好壞比較結果：

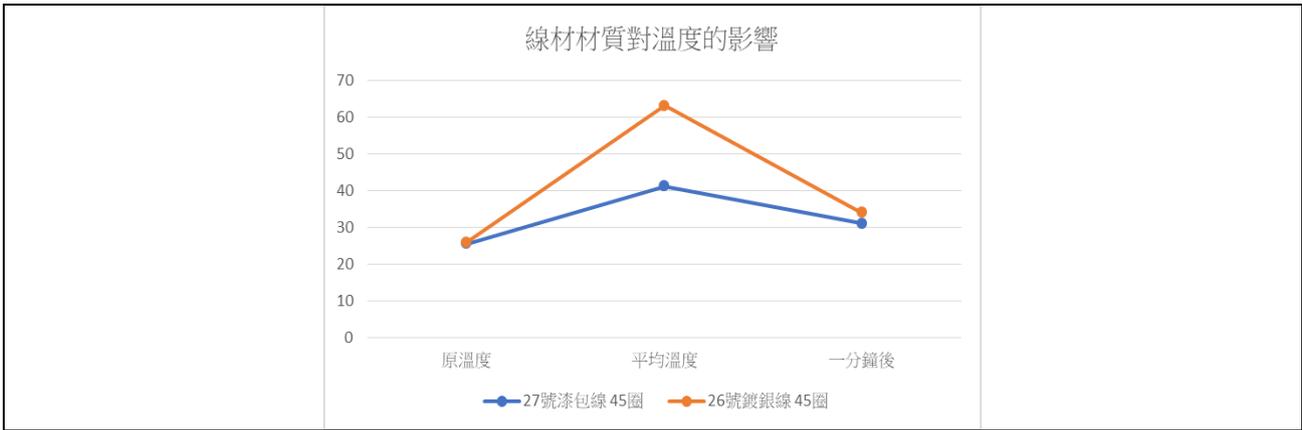
條件	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
結果	27 號漆包線 = 26 號鍍銀線	26 號鍍銀線 > 27 號漆包線	27 號漆包線 = 26 號鍍銀線

2. 線材材質對音質的影響不大，各匝數發聲皆無明顯失真。  
 3. 在手機 50%、擴大機 50%時可以看出，鍍銀線依然保持正弦波形，但漆包線的波形已經失真了，代表鍍銀線比漆包線更能承受較高的音量。  
 4.小討論：  
 我們認為是因為線材本身的特性影響了單體所能承受的音量，但目前我們無法得知其原因。

(四) 溫度測試：

單位：°C

線圈種類	原始溫度	測試平均溫度	一分鐘後溫度	降溫速率 (°C /秒)
27 號漆包線 45 圈	25.6	41.3	31.1	0.17
26 號鍍銀線 45 圈	26	63.2	34	0.49



- 溫度比較實驗結果：  
鍍銀線 > 漆包線。鍍銀線上升溫度高於漆包線，溫度愈高，降溫速率愈高。
- 小討論：  
鍍銀線的電阻比較大，由  $P = I^2 R$  可得知其溫度較高，而實驗數據也支持此點。

(五) 頻率響應測試：

(單位：Hz)

線圈種類	最低音	最高音	音域大小比較
27 號漆包線 45 圈	288	約 20000 後聲音消失	26 號鍍銀線 45 圈 > 27 號漆包線 45 圈
26 號鍍銀線 45 圈	無	約 20000 後聲音消失	

小討論：  
我們認為是因為線材本身的特性影響了單體的頻率響應效果，但目前我們無法得知其原因。

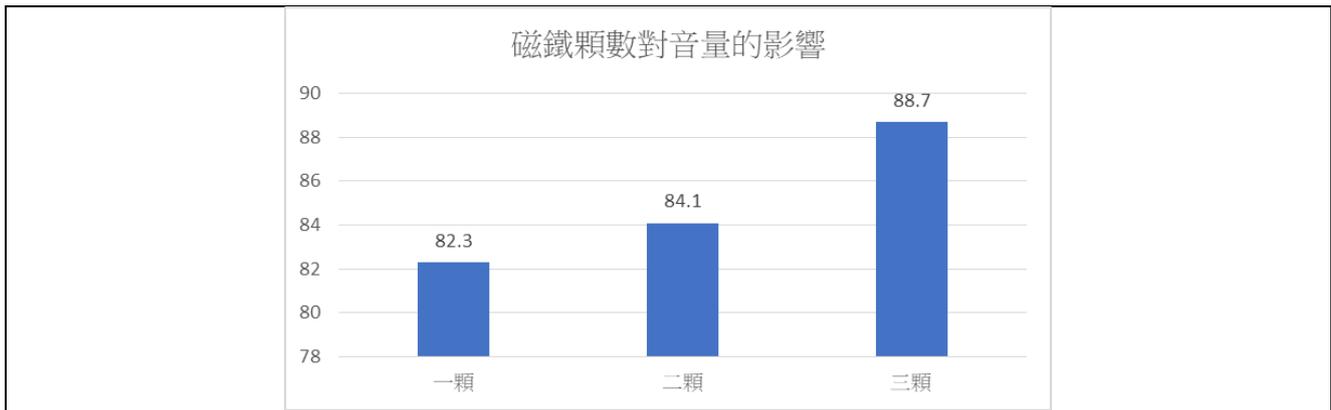
五、測試不同磁鐵顆數對自製單體的影響

(一) 測試方法

顆數	測試示意圖	顆數	測試示意圖	顆數	測試示意圖
一顆		二顆		三顆	

(二) 音量測試：

單位：dB



1 實驗結果：

磁鐵顆數對音量大小的影響之比較：三顆 > 兩顆 > 一顆。磁鐵數量越多，音量越大。

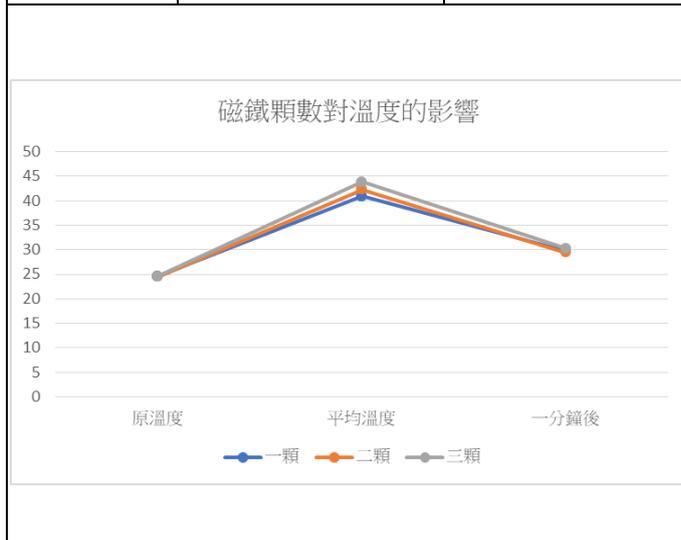
2. 小討論

從實驗結果可以發現，磁鐵數越多（即磁力越強），同一個自製單體能發出的音量就越大，我們推測是，因為線圈產生了磁場，而越強的外界磁力能造成線圈排斥吸引的作用力越強。從圖表能夠發現音量與外界磁力是有絕對但不為定值的上升關係，外界磁場越強，單體能發出的音量就越大，而我們推測先前發現的「磁力-發聲極限值」只侷限於影響自製單體的自身磁場，對外界影響發聲的必要磁場並無交互關係。

(三) 溫度測試：

單位：°C

磁鐵顆數	原始溫度	測試平均溫度	一分鐘後溫度	降溫速率 (°C /秒)
一顆	24.6	40.9	29.8	0.19
二顆	24.5	42.3	29.5	0.21
三顆	24.6	43.8	30.3	0.23



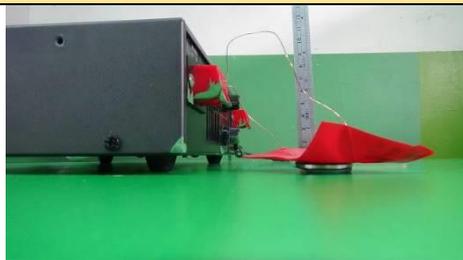
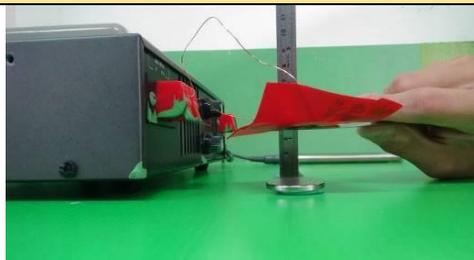
實驗結果：

1. 磁鐵顆數對溫度高低的比較：  
三顆 > 兩顆 > 一顆。
2. 磁鐵越多，溫度越高。
3. 溫度愈高，降溫速率愈高。
4. 結果討論：

我們發現磁鐵越多溫度越高，但之間的差距微小，推測是因為較多的磁鐵使單體有較大的音量，振膜振動幅度較大，故產生較多的熱能；而實驗之音響的音量只增加少許，所以對溫度便影響不大。

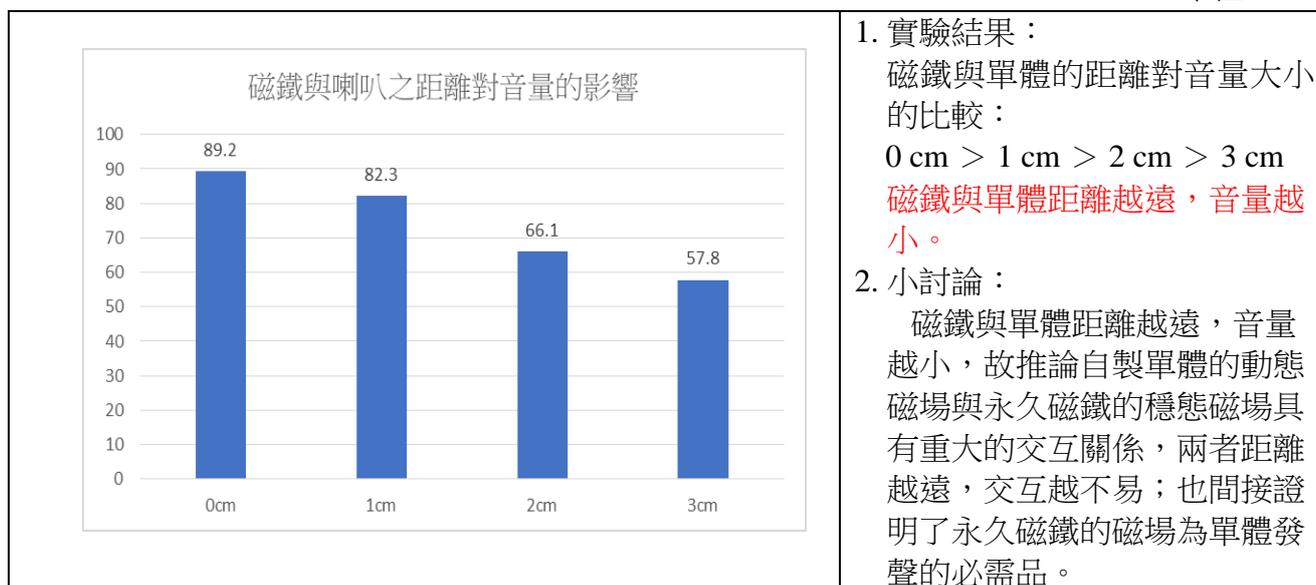
## 六、測試不同單體與磁鐵的距離對自製單體的影響

### (一) 測試方式示例

距離	測試示意圖	距離	測試示意圖
0 cm		3 cm	

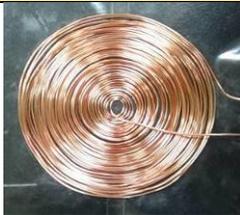
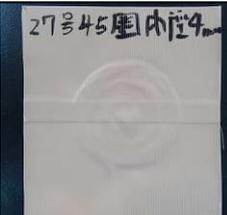
### (二) 音量測試：

單位：dB



## 七、製作並測試不同振膜材質之自製單體

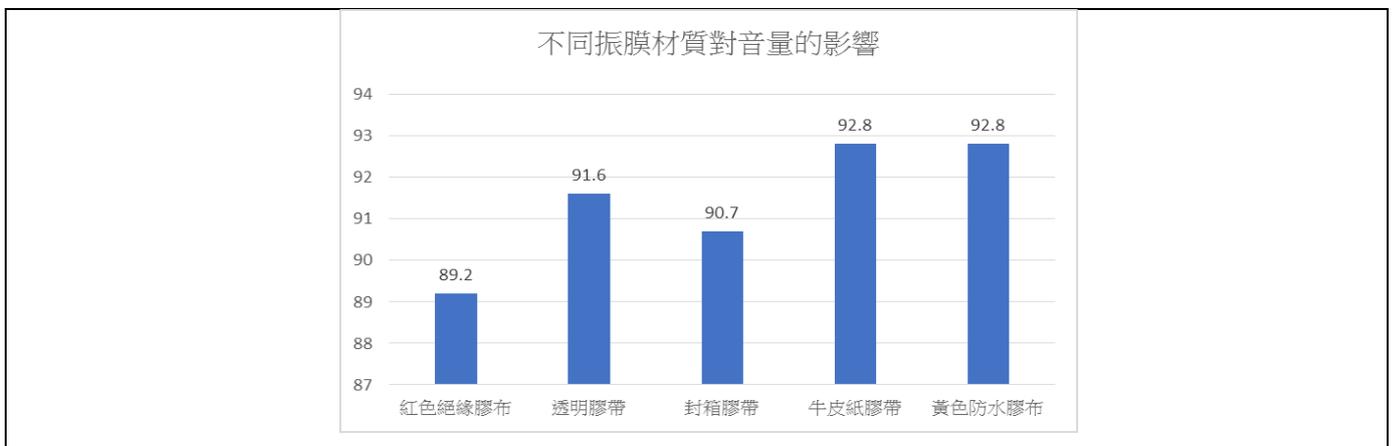
### (一) 製作圖示：

振膜材質	內部	外觀
透明膠帶		
封箱膠帶		



(二) 音量測試：

單位：dB



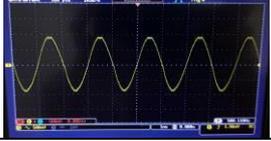
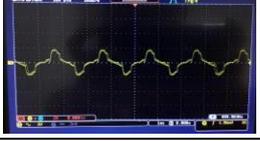
1 不同振膜材質對音量大小的影響之比較結果：

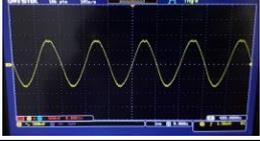
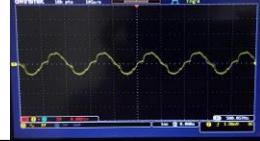
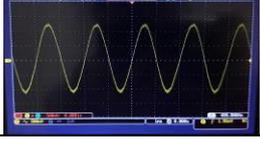
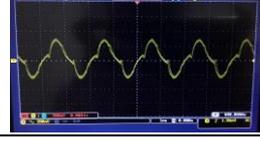
牛皮紙膠帶 = 黃色防水膠布 > 透明膠帶 > 封箱膠帶 > 紅色絕緣膠布，牛皮紙膠帶及黃色防水膠布的音量最大。

2 小討論：

我們認為音量的大小與振膜的延展性有很大的關係，當振膜越不易被拉扯變形、越沒有彈性，振膜越容易振動。由音量的比較來看，音量前三大的振膜都不易拉伸，延展性低，所以音量較大。而像紅色絕緣膠布及封箱膠帶具有較高的延展性及彈性，故振膜振動不易，所以音量較小。不過各振膜之間的差異微小。

(三) 波形測試

振膜材質	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
透明膠帶			
牛皮紙膠帶			

黃色防水膠布			
封箱膠帶			
紅色絕緣膠布			

波型好壞比較結果：

1. 手機 30%、擴大機 50%：

透明膠帶 = 牛皮紙膠帶 = 黃色防水膠布 = 封箱膠帶 = 紅色絕緣膠布

2. 手機 50%、擴大機 50%：

紅色絕緣膠布 = 封箱膠帶 > 透明膠帶 > 牛皮紙膠帶 > 黃色防水膠布

3. 手機 100%、擴大機 50%：

透明膠帶 = 牛皮紙膠帶 = 黃色防水膠布 = 封箱膠帶 = 紅色絕緣膠布

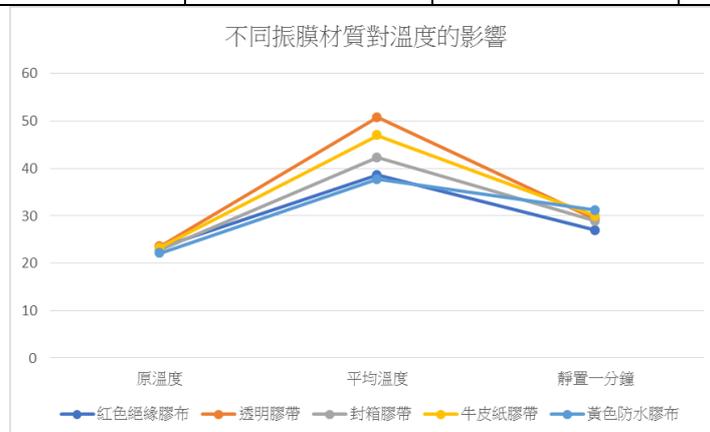
4. 小討論：

我們認為振膜對音質無影響，但單體所能承受的音量與振膜的延展性、彈性有很大的關係，因為波形的比較結果與振膜延展性的比較結果完全相符，振膜越有彈性、延展性就越能保留較好的音質，反之則相反。我們推測是因為有較佳彈性的振膜能使單體有更多振動的空間，所以單體便能在失真較小的情況下發出聲音。

#### (四) 溫度測試

單位：°C

振膜材質	原始溫度	測試平均溫度	一分鐘後溫度	降溫速率 (°C /秒)
紅色絕緣膠布	23.3	38.6	26.9	0.20
透明膠帶	23.5	50.7	29.3	0.36
封箱膠帶	22.8	42.3	28.9	0.22
牛皮紙膠帶	23.2	46.9	29.9	0.28
黃色防水膠布	22.1	37.7	31.2	0.11



實驗結果：

1. 溫度高低的比較：

透明膠帶 > 牛皮紙膠帶 > 封箱膠帶 > 紅色絕緣膠布 > 黃色防水膠布。

2. 降溫速率的比較：

透明膠帶 > 牛皮紙膠帶 > 封箱膠帶 > 紅色絕緣膠布 > 黃色防水膠布。

3. 溫度愈高，降溫速率愈高。

4. 小討論：

我們認為溫度與振膜的比熱有關，因為內部線圈結構相同，所以線圈所發出的熱能也是相同的，是振膜影響了熱能的傳遞。而上升溫度前三低的振膜（紅色絕緣膠布、黃色防水膠布、封箱膠帶）都同樣是由聚氯乙烯（PVC）所製成，上升溫度最高的振膜（透明膠帶）是由聚丙烯纖維（PP）製成的。PVC 的比熱約為  $0.49\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，PP 的比熱約為  $0.46\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，所以 PP 材質的振膜上升溫度較高。

（五）頻率響應測試：

（單位：Hz）

振膜材質	最低音	最高音	音域大小比較
透明膠帶	345	約 20000 後聲音消失	紅色絕緣膠布 > 黃色防水膠布 > 牛皮紙膠帶 > 透明膠帶 > 封箱膠帶
牛皮紙膠帶	326	約 20000 後聲音消失	
黃色防水膠布	318	約 20000 後聲音消失	
封箱膠帶	348	約 20000 後聲音消失	
紅色絕緣膠布	288	約 20000 後聲音消失	

結果討論：

紅色絕緣膠布有最佳的頻率效果，代表振膜的延展性及彈性影響了單體的發聲，振膜彈性越佳，其能發出的音域就越廣。

八、製作並測試不同中心內徑之自製單體

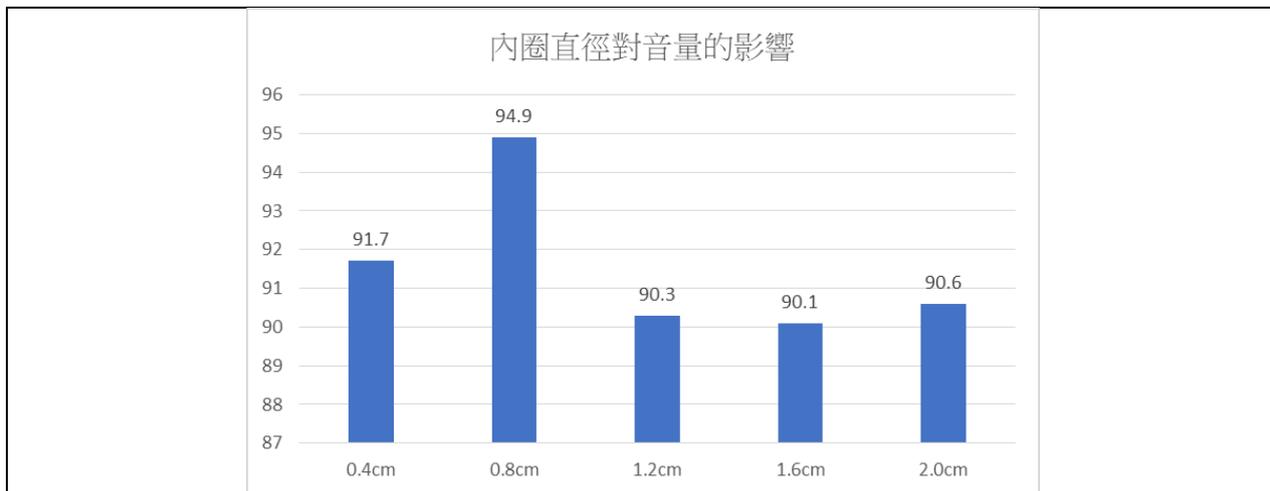
（一）製作圖示：

內圈直徑	內部	外觀
0.8 cm		
1.2 cm		
1.6 cm		



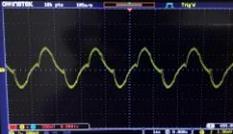
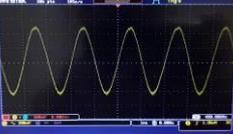
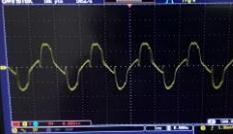
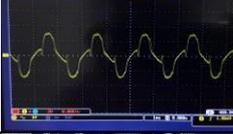
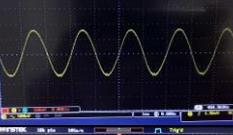
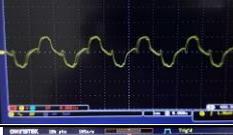
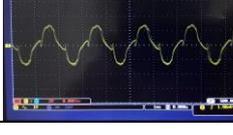
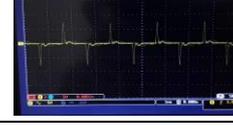
(二) 音量比較：

單位：dB



1. 音量大小比較實驗結果： $0.8\text{ cm} > 0.4\text{ cm} > 2.0\text{ cm} > 1.2\text{ cm} > 1.6\text{ cm}$   
 但我們認為音量大小與內圈直徑無直接關聯性。

(三) 波形測試：

中心內徑	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
0.4cm			
0.8cm			
1.2cm			
1.6cm			
2.0cm			

1.波型好壞比較結果：

條件	手機 30%、 擴大機 50%	手機 50%、 擴大機 50%	手機 100% 、擴大機 50%
結果	0.4cm = 0.8cm = 1.2cm = 1.6cm = 2.0cm 三者都相同。\\		

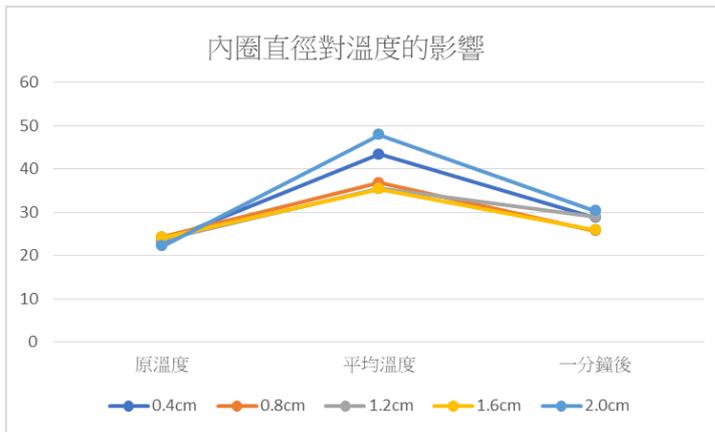
2 小討論：

我們認為音質與內圈直徑無關聯性。

(四) 溫度測試：

單位：°C

內圈直徑	原始溫度	測試平均溫度	一分鐘後溫度	降溫速率 (°C /秒)
0.4 cm	23.1	43.4	28.7	0.25
0.8 cm	24.2	36.8	25.7	0.19
1.2 cm	23.6	35.5	29	0.11
1.6 cm	24.1	35.4	25.9	0.16
2.0 cm	22.1	47.9	30.3	0.29



1. 溫度高低的比較實驗結果：  
2.0 cm > 0.4 cm > 0.8 cm > 1.2 cm > 1.6 cm。
2. 降溫速率的比較：  
2.0 cm > 0.4 cm > 0.8 cm > 1.6 cm > 1.2 cm。
3. 但我們認為升溫及降溫與內圈直徑皆無直接關聯性。

(五)、頻率響應測試：

(單位：Hz)

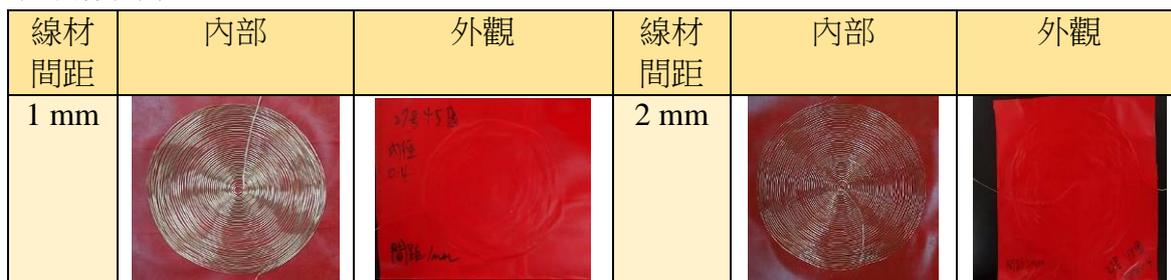
中心內徑	最低音	最高音	音域大小比較
0.4cm	288	約 20000 後聲音消失	1.2cm > 2.0cm > 1.6cm > 0.8cm > 0.4cm
0.8cm	285	約 20000 後聲音消失	
1.2cm	255	約 20000 後聲音消失	
1.6cm	262	約 20000 後聲音消失	
2.0cm	260	約 20000 後聲音消失	

結果討論：

我們認為頻率響應效果與內圈直徑無關聯性。

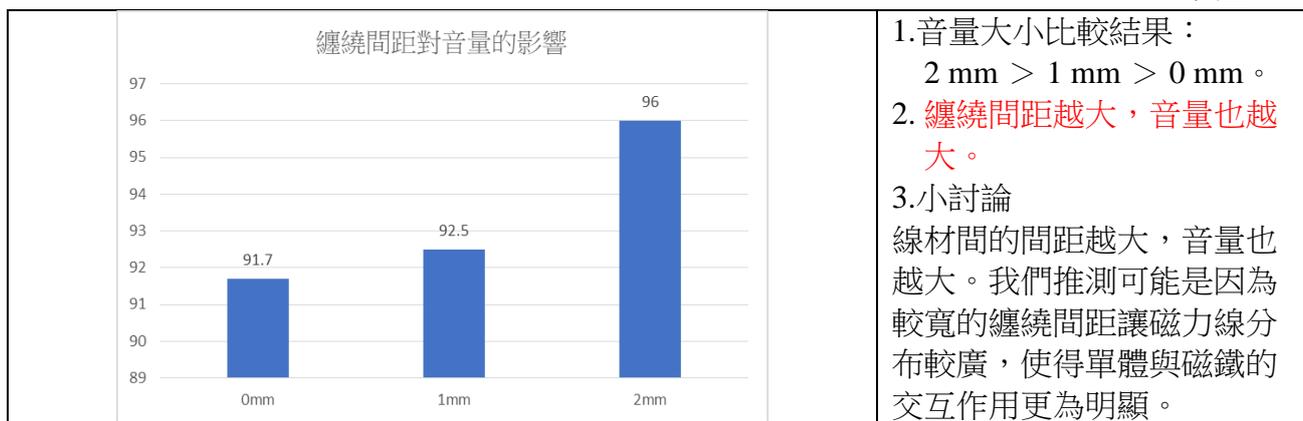
## 九、製作並測試不同線材間距之自製單體

(一) 製作圖示：

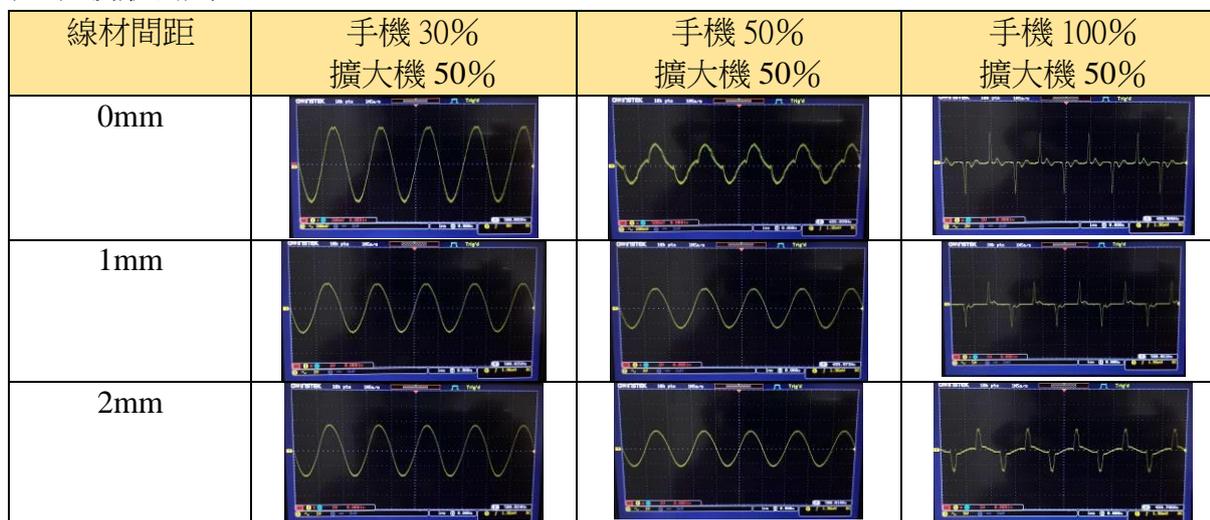


(二) 音量測試：

單位：dB



(三) 波形測試：



1. 波型好壞比較結果：

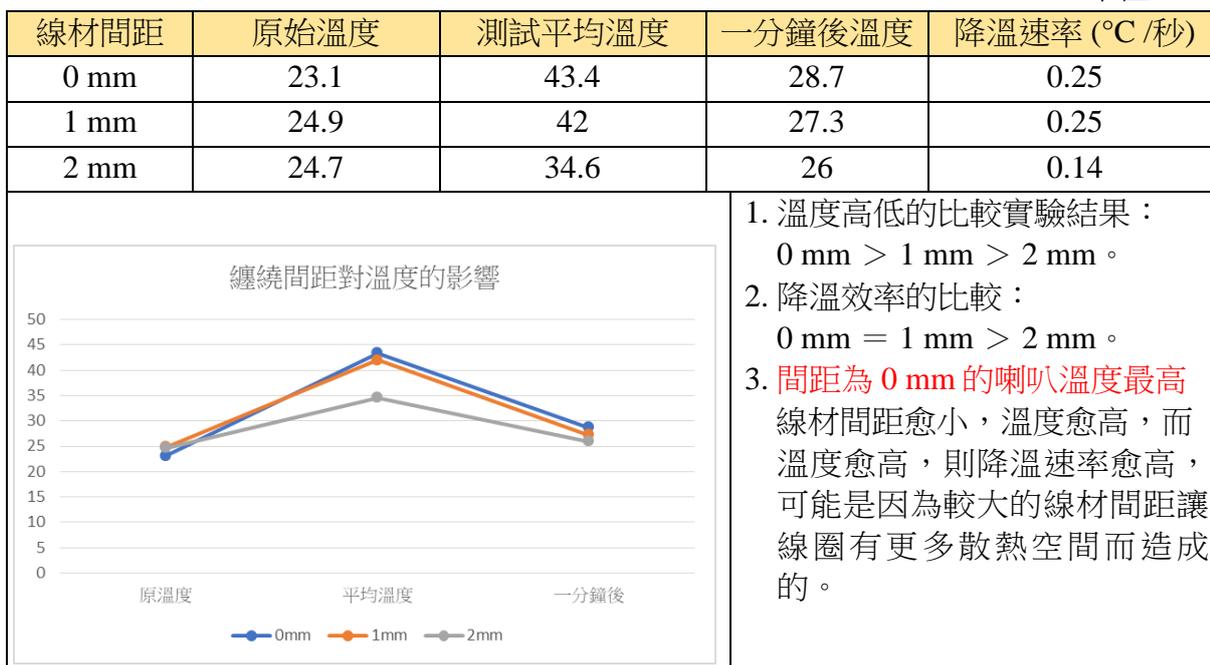
條件	手機 30%、 擴大機 50%	手機 50%、 擴大機 50%	手機 100% 、擴大機 50%
結果	0mm = 1mm = 2mm	1mm = 2mm > 0mm	0mm = 1mm = 2mm

2. 小討論：

我們發現線材間距越大，其波形穩定度就越高，能夠在較大的音量下維持波形不失真。其原因可能是因為線材間距越大，單體整體也就越大，而當單體較大時，振動所能允許的位移量（振膜振動時的振膜位移）也就越大，所以便能承受更高的音訊能量。

(四) 溫度測試：

單位：°C



(五)、頻率響應測試：

(單位：Hz)

線材間距	最低音	最高音	音域大小比較
0mm	288	約 20000 後聲音消失	2mm > 1mm > 0mm
1mm	193	約 20000 後聲音消失	
2mm	無	約 20000 後聲音消失	

小討論：  
我們發現線材間距越大，其頻率響應效果越好。其原因可能是因為線材間距越大，單體整體也就越大，而當單體較大時，振動所能允許的位移量（振膜振動時的振膜位移）也就越大，所以便能發出更廣的音域。

## 陸、討論

### 一、影響單體自身磁力的因素及原因

#### (一) 電阻

1. 根據歐姆定理  $I = V/R$  來看，在相同電壓下電阻越大時，通過線圈的電流就會越小；而依據安培定律，電流建立的磁場強度和通過導線的電流大小成正比，由此可得知在相同電源時電阻越小，線圈產生的磁場便越強。

#### 2. 線材材質：

在測試線圈之電阻後發現，鍍銀線的電阻遠遠大於漆包線。所以鍍銀線圈所能形成的磁力大小也小於漆包線，故漆包線的音量會大於鍍銀線。但銀的導電性較銅好，理論上鍍銀線的電阻值應要比漆包線小，但事實並非如此，所以我們推測市面上的鍍銀線並非如同名稱的「鍍銀」，也有可能裡面參雜了其他種類的金屬，使得鍍銀線的電阻

值大。但鍍銀線在音質方面的表現卻遠比其他種類的線材好，因此也有可能是其他因素影響了鍍銀線的自身磁力。

## (二) 其他因素

在測試各線圈之電阻後，我們發現除了鍍銀線外，各線圈電阻之間的差異極為微小，不足以明顯影響單體的磁場，我們故另外以下列二點來探討影響單體磁場的因素。而磁力線的產生可以分為長直導線及螺形線圈兩種，但其實螺形線圈只是長直導線的變形延伸應用。而我們做的單體線圈屬於平面螺形線圈，兩種導線形狀皆能用來探討其磁場狀態。

### 1.線材粗細：

線材的粗細影響了線圈半徑的大小，在相同匝數時，越粗的線材所纏繞出的線圈越大，反之則越小。而根據安培右手定則，在長直導線周圍會形成垂直於電流方向的磁力線（但因為是交流電形成的磁場，故無方向性）；當匝數相同且半徑越小時，導線排列的就越緊密，故磁力線也越緊密，線圈的磁場越強。

### 2.線圈匝數：

當線圈的匝數越高時，螺形線圈的圈數就增加了，故由線圈內通過的磁力線強度就會變強。也可以說是長直導線各別形成的磁場增加，在疊加效果後的線圈磁力也就會變強。

## 二、單體本身的磁力是如何影響發聲的？

我們單體的發聲原理和一般的單體一樣，是以電流通過線材時產生的磁場與外部磁力作用後，前後吸引排斥而產生振動，進而帶動振膜振動空氣以產生聲音。所以當單體自身發出的磁力越強時，與外部磁力的吸引排斥作用也就會越強，造成振膜振動越強烈，所發出的音量也就會更大。

## 三、外部磁力是如何影響發聲的？

外部磁力越強，所造成單體的吸引排斥力也就會越強，造成振膜振動越強烈，所發出的音量也就會更大。而永久磁鐵建立的磁場強度與磁鐵的距離平方成反比，所以當單體與磁鐵越遠時，所受到的外部磁力強度就會越弱。而提升磁鐵強度是最直接提高外部磁力的方式。

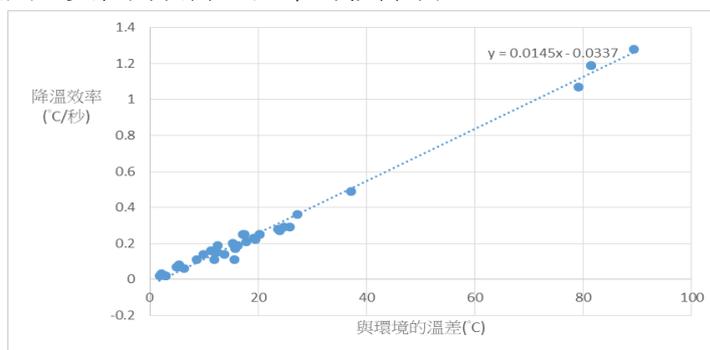
## 四、單體發熱的原因及影響因素為何？

根據電流熱效應，當電流通過導體（電阻）時，會產生熱能，而其可以用焦耳定律  $Q = I^2Rt$  來描述溫度的上升情形，當電流越大、電阻越大、通電時間越長時，導體發出的熱能就會越多。但我們測試各單體時的電流大小及時間皆相同，故只以電阻大小對發熱的影響作為討論。

依照焦耳定律，電阻越大時發熱也越多，而我們在測試電阻也發現確實是如此。線材截面積越小、長度越長時，其電阻就越大。而我們推測電阻對發熱的影響可能比對聲音的影響還要大，以不同漆包線粗細的比較來看，其實各線圈的音量差異並不大，但在溫度方面的差距就非常遠。所以即使電阻僅有微小的差異，對發熱的影響還是非常明顯的。

## 五、影響降溫速率的因素為何？

我們發現不管在何種操作變因下，溫度愈高，降溫速率也愈大。我們計算每一組數據的線圈與環境之溫差，發現溫差與降溫速率兩者相當接近正比關係，如下圖所示。降溫狀態皆符合牛頓冷卻定律，即一個較周圍熱的物體溫度為  $T$ ，忽略表面積以及外部介質性質和溫度的變化，它的降溫速率( $dT/dt$ )與「物體溫度與周圍環境溫度  $C$  的差」( $T-C$ )成正比。也就是說此次實驗的各種操作變因之變化對於降溫速率的影響不大。



## 六、最佳單體組成

我們想在低發熱的情況下，有較大的音量及較好的音質，綜合以上實驗結果，26 號鍍銀線 45 匝在音量、音質及頻率響應等方面都有優異的表現，雖然有發熱的情況，但搭配線材間距便能解決。而我們的目的也是為了製作小巧輕薄的單體，所以以線材間距 1mm 來作為搭配，同時其提升的頻率響應效果也不錯，也更能使單體承受較大的音量。而振膜部分則是使用紅色絕緣膠布以維持其音質。其他部分則是中心直徑 0.4 cm、磁鐵三顆、單體與磁鐵距離 1 cm。

## 七、萬事起頭難

一開始我們就只是好奇，有沒有可能做出便宜且簡易的平面薄型喇叭，結果發現，我們跟無頭蒼蠅一般毫無頭緒，因為翻遍所有跟喇叭相關的科展文獻，幾乎都是關於音箱的探討，對於單體的研究實在不多，所以我們光是想讓單體發出聲音，就試了兩週，期間，拆了一個喇叭觀察，但就是無法讓單體發出聲音。直到一位修音響的老闆來學校洽公，被老師請過來諮詢，我們在他的建議下換了一台擴大機，才發現原來擴大機的功率也會影響單體音量的輸出，可惜因為我們此次主要是探討喇叭單體發聲的最佳配置，不能模糊焦點，但，擴大機，絕對會是我們下一步拆解的對象。

# 柒、結論

## 一、單體中線圈的纏繞規格與方式對發聲的影響：

### (一) 對音量的影響：

線材越細，聲音越大。線圈匝數越高，音量越大。鍍銀線的電阻比較大，所以音量較小。音量大小與內圈直徑無直接關聯性。線材間距越大，音量也越大。

### (二) 對波形的影響：

所有單體皆能發出無失真的正弦波形，但當訊源音量改變時，鍍銀線是最能承受音量而不使波形失真的線材，且匝數越高、線材間距越大，能承受的音量也越大，而中心內徑則不影響音質。

### (三) 對溫度的影響：

線材越細，溫度越高；線材長度愈長，電阻也愈大，發熱功率也愈大，溫度自然也愈高；升溫及降溫與內圈直徑無直接關聯性；線材間距越大，升溫幅

度越小。

- 二、單體中振膜的延展性與音量有很大的關係；振膜越有彈性、延展性就越能保留較好的音質，上升溫度與振膜的比熱有關。單體中外部磁力越強，音量越大。
- 三、依照實驗結果，最佳的喇叭單體配置包含，喇叭線圈最佳配置：第一選擇為 26 號鍍銀線、匝數 45 圈、中心直徑 0.4 cm、線材間距 1 mm；第二選擇為 27 號漆包線、匝數 45 圈、中心直徑 0.4 cm、線材間距 1 mm；其餘組成最佳配置：磁鐵三顆、單體與磁鐵距離 1 cm、振膜為紅色絕緣膠布。

## 捌、參考網站

- 一、音響世界入門第一課：弄清楚揚聲器、喇叭與單體莫里國際-音響專業設計（民國 109 年 4 月）。取自：莫里國際 MORY <https://reurl.cc/ogxbVq>
- 二、揚聲器、頻率響應（無日期）。取自：維基百科：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8F%9A%E8%81%B2%E5%99%A8>  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%91%E7%8E%87%E5%93%8D%E5%BA%94>
- 三、喇叭燒毀搞不清楚？可能你沒看音圈，那圈細線才是重點！（民國 107 年 7 月 11 日）  
取自：每日頭條 <https://reurl.cc/KArzOg>
- 四、秒懂動圈式喇叭單體（民國 106 年 4 月 28 日）。取自：耳酷：<https://reurl.cc/mLvbM1>
- 五、電流的磁效應、安培（無日期）。取自：國民中學學習資源網 <https://reurl.cc/kZLb3q>
- 六、科學 online。<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/>
- 七、EXPLAINTHATSTUFF<https://www.explainthatstuff.com/>

## 【評語】 032801

1. 主題目標設定在單體喇叭之研究與製作，聚焦清晰。
2. 能列出可能影響喇叭擴音效果之變因進行系統性探討。部份變因的探討過程稍欠詳盡，建立可以收斂操縱變因探討數量，以集中研究能量提升探究過程的嚴謹性。
3. 以波形、音量、溫度、頻率響應來評測成品之效果，其中頻率響應只以音域的範圍評估，過於簡略，建議應以不同頻率的訊號增益曲線作為效果評估，較為嚴謹。
4. 偏重喇叭單體製作參數探討，欠缺理論性探討，也沒有要提出較新穎性、亮點及貢獻？
5. 整體而言，實驗參數考量完整，實驗數據可作為設計喇叭的參考。

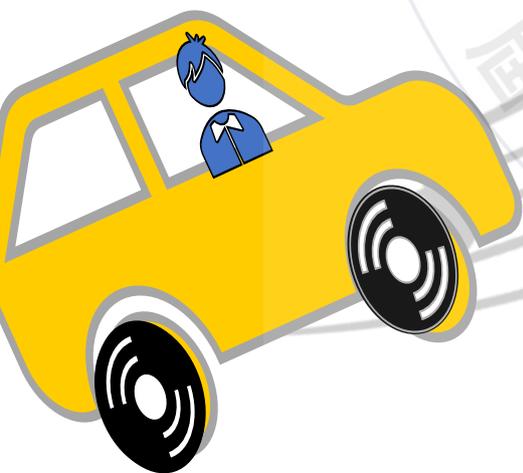
## 作品簡報

# 司機(driver)帶你聽音樂!

## -----平面薄型喇叭單體(driver)的實作與探究

◎ 國中組

◎ 生活與應用科學科(一)  
(機電與資訊)



### 研究動機

家裡音響的喇叭壞了，但音響店的喇叭都又大又貴!

有沒有可能以低廉的成本、簡單的方法來製作薄型、輕便且音質好的喇叭呢?

進一步需要了解喇叭的結構?  
喇叭發聲的原理?

### 文獻探討

揚聲器介紹  
揚聲器結構

單體介紹

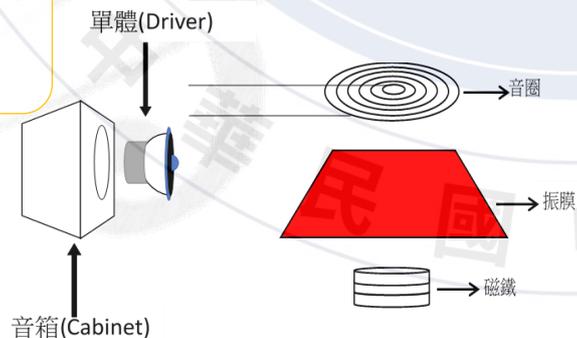
單體線圈發聲原理

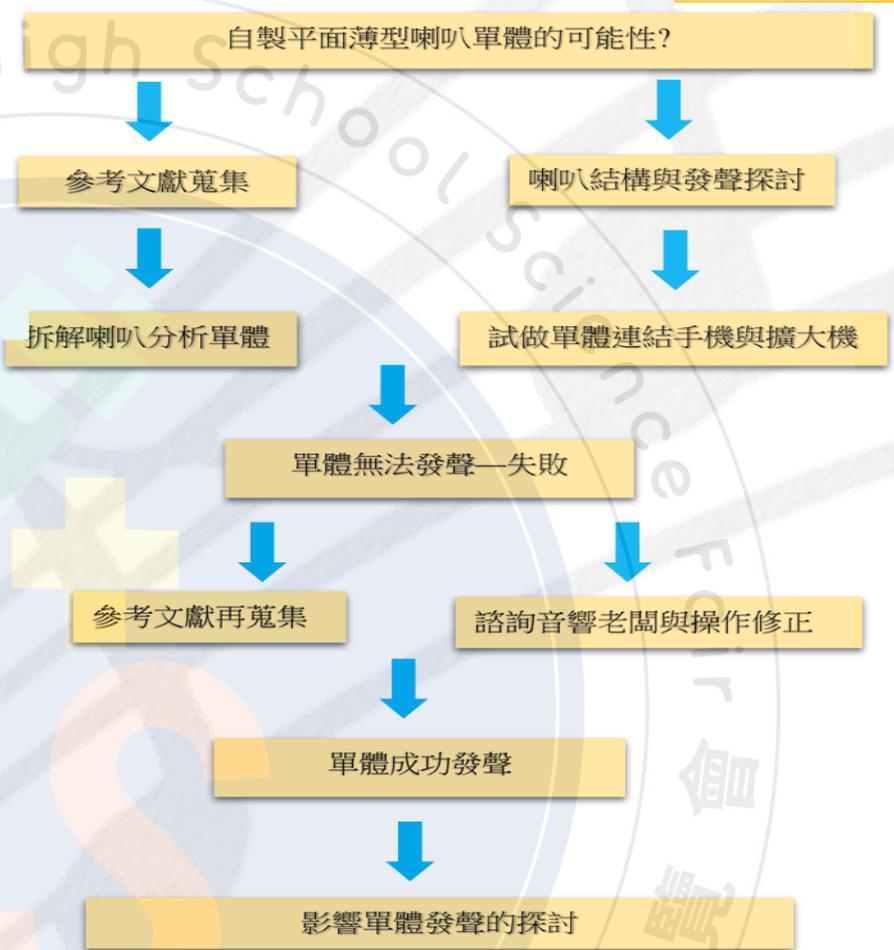
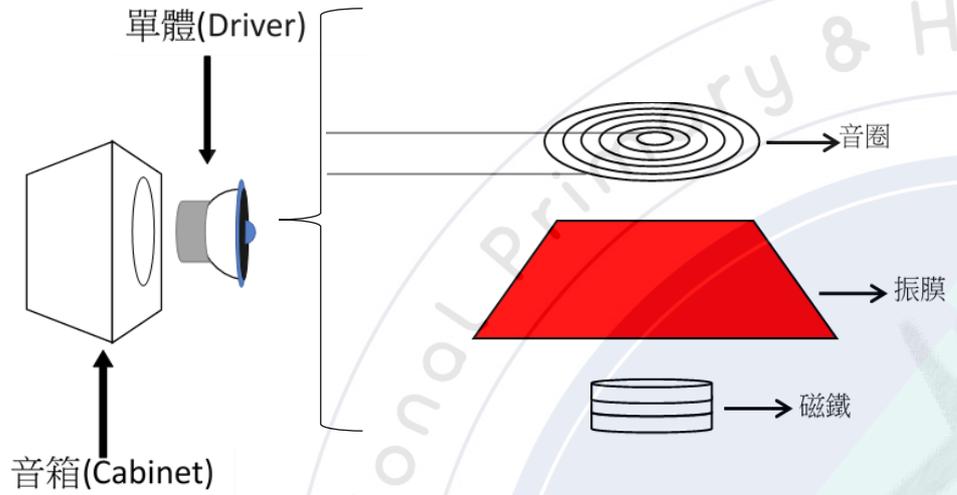
電流磁效應  
安培定律

頻率響應

### 研究目的

- 一、探討自製平面薄型喇叭(單體)的發聲原理
- 二、分析不同粗細線材的線圈對單體發聲的影響
- 三、分析不同匝數的線圈對單體發聲的影響
- 四、分析不同線材材質的線圈對單體發聲的影響
- 五、探討外部磁力強度對單體發聲的影響
- 六、探討不同振膜材質對單體發聲的影響
- 七、探討不同線圈內徑對單體發聲的影響
- 八、探討線圈線材不同間距對單體發聲的影響
- 九、找出最佳的喇叭單體配置組合





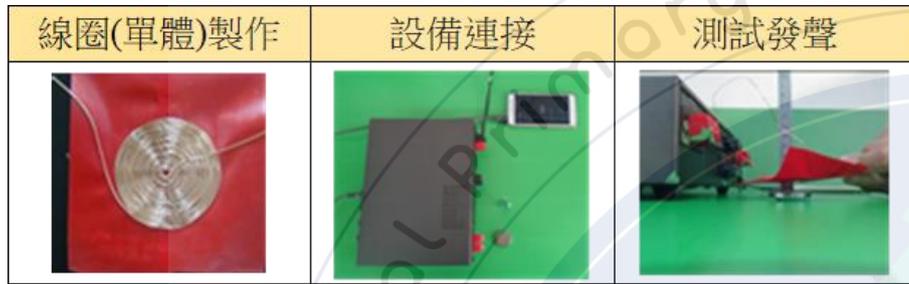
- 線圈纏繞間距
- 線圈纏繞匝數
- 線圈中心內徑
- 線圈與磁鐵距離
- 線材粗細
- 線材種類
- 振膜材質
- 磁鐵顆數

- 音質
- 溫度
- 音量
- 頻響

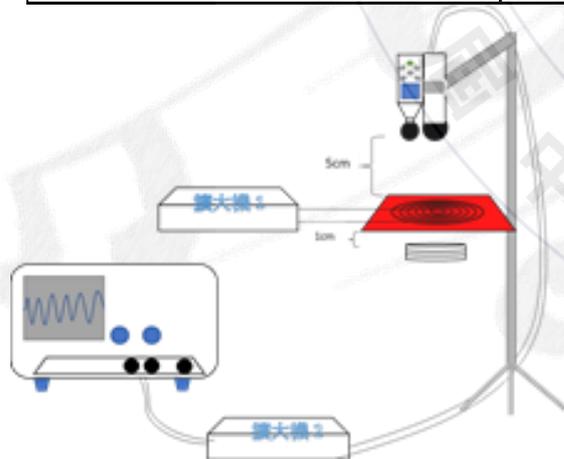
找出發聲最佳的單體配置組合



## 一、測試自製平面薄型喇叭(單體)是否能夠發聲

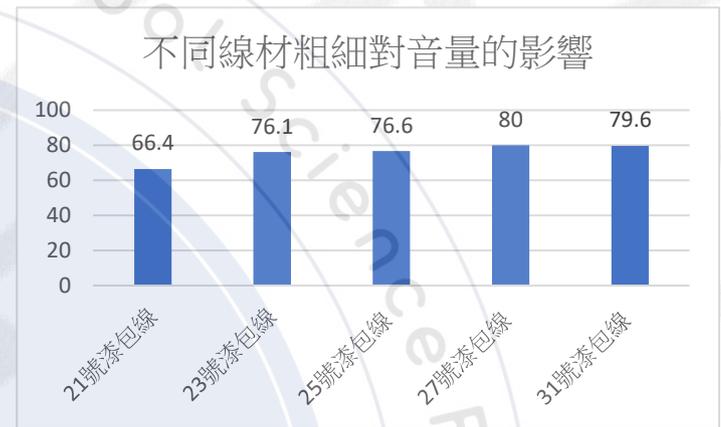


1. 磁鐵 1 顆 (測量溫度時為 3 顆)	7. 線材間距 0 mm
2. 測試音量、溫度、頻率響應時的訊源音量： 手機 100 %、擴大機 50 %	8. 以紅色絕緣膠布製作
3. 頻率 500 Hz 正弦波	9. 線材纏繞 35 圈
4. 分貝計距離桌面 15 cm 測量	10. 磁鐵與單體距離為 1 cm (測量溫度時為 0 cm)
5. 紅外線測溫槍距離單體 1 cm 測量	11. 測試人員與測試器材
6. 單體內徑 0.4 mm	12. 測試不同音量下單體的波形 時訊源音量控制： (1) 手機 30 %、擴大機 50 % (2) 手機 50 %、擴大機 50 % (3) 手機 100 %、擴大機 50 %

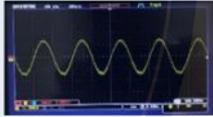
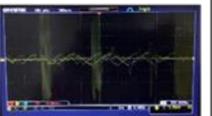
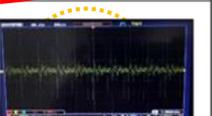


## 二、製作並測試不同線材粗細之單體(35匝示例)

### (一) 音量



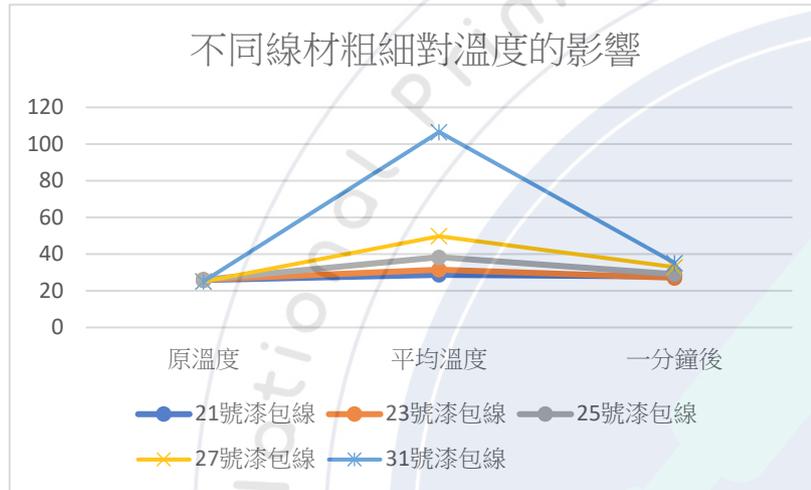
### (二) 波形

線材種類 漆包線	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
21 號			
23 號			
25 號			
27 號			
31 號			

## 二、製作並測試不同線材粗細之單體(35匝示例) 三、分析不同匝數的線圈對單體發聲的影響

### (三)溫度

°C



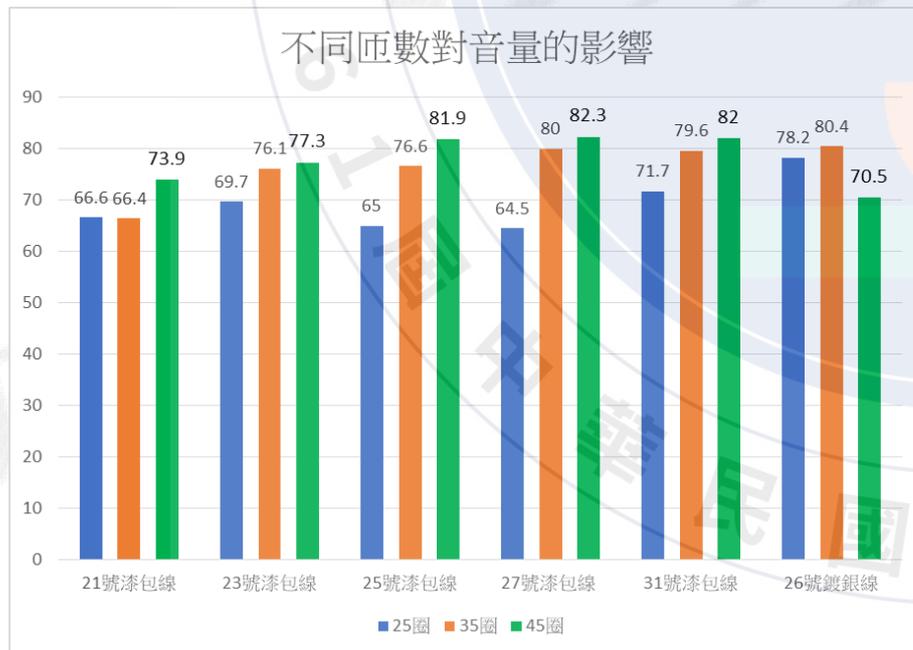
### (二)波形

線圈種類	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
25 號漆包線 25 匝			
25 號漆包線 35 匝			
25 號漆包線 45 匝			
26 號鍍銀線 25 匝			
26 號鍍銀線 35 匝			
26 號鍍銀線 45 匝			

## 三、分析不同匝數的線圈對單體發聲的影響

### (一)音量

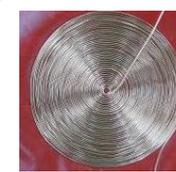
dB



25匝



35匝

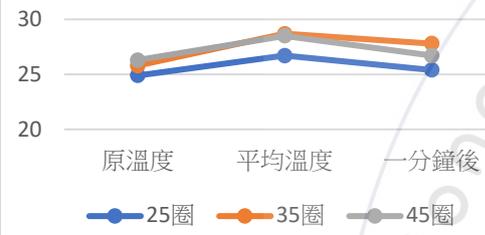


45匝

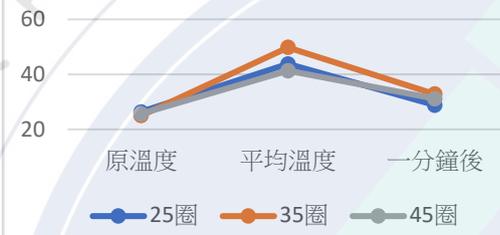
### 三、分析不同匝數的線圈對單體發聲的影響

#### (三)溫度

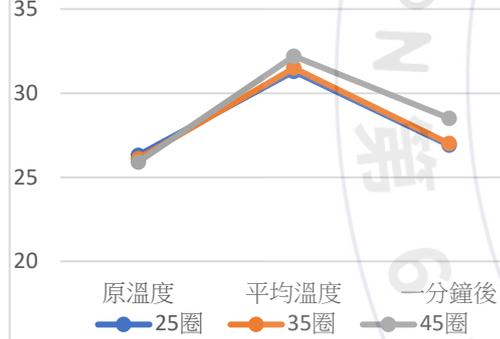
21號漆包線溫度關係圖



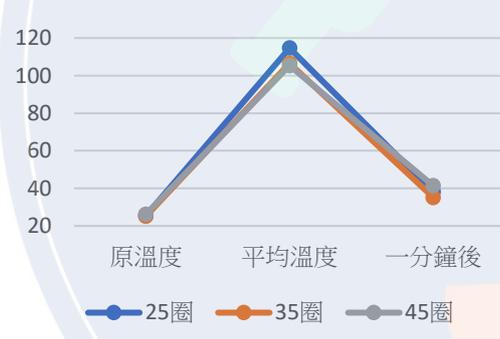
27號漆包線溫度關係圖



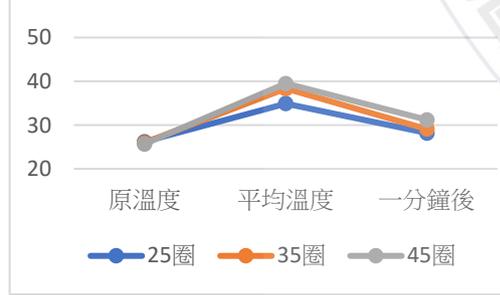
23號漆包線溫度關係圖



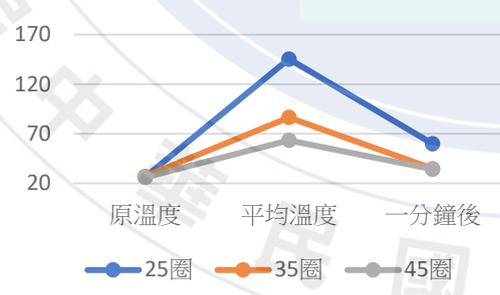
31號漆包線溫度關係圖



25號漆包線溫度關係圖



26號鍍銀線溫度關係圖



#### (四)頻率響應

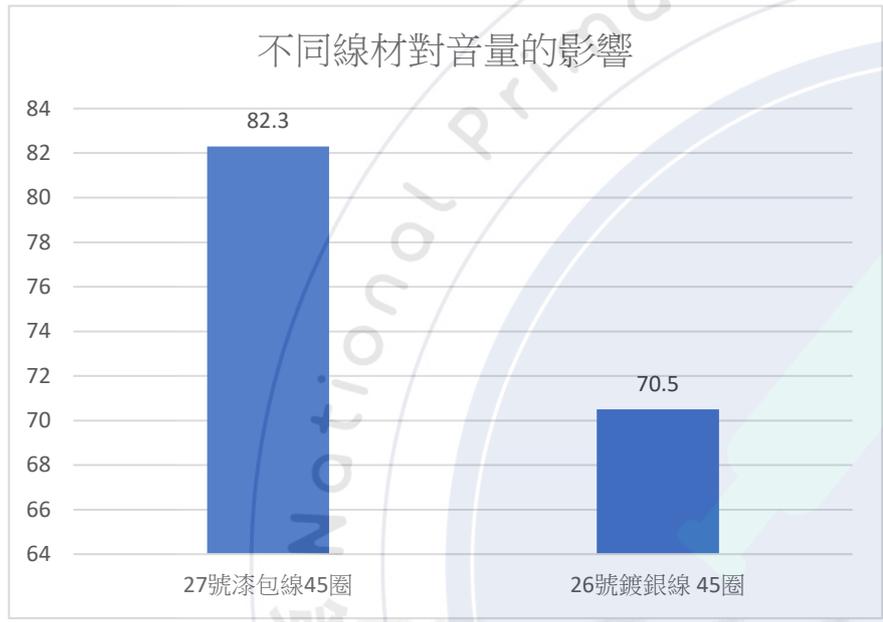
Hz

線圈種類	最低音	最高音	音域大小比較
21號漆包線 25匝	590	2381	35匝 > 25匝 > 45匝
21號漆包線 35匝	549	3535	
21號漆包線 45匝	424	2210	
23號漆包線 25匝	711	約20000後聲音消失	45匝 > 35匝 > 25匝
23號漆包線 35匝	449	約20000後聲音消失	
23號漆包線 45匝	436	約20000後聲音消失	
25號漆包線 25匝	439	約20000後聲音消失	45匝 > 35匝 > 25匝
25號漆包線 35匝	398	約20000後聲音消失	
25號漆包線 45匝	375	約20000後聲音消失	
27號漆包線 25匝	399	約20000後聲音消失	45匝 > 35匝 > 25匝
27號漆包線 35匝	358	約20000後聲音消失	
27號漆包線 45匝	288	約20000後聲音消失	
31號漆包線 25匝	390	約20000後聲音消失	45匝 > 35匝 > 25匝
31號漆包線 35匝	356	約20000後聲音消失	
31號漆包線 45匝	231	約20000後聲音消失	
26號鍍銀線 25匝	289	約20000後聲音消失	45匝 > 35匝 > 25匝
26號鍍銀線 35匝	179	約20000後聲音消失	
26號鍍銀線 45匝	無	約20000後聲音消失	

### 四、分析不同線材材質的線圈對單體發聲的影響

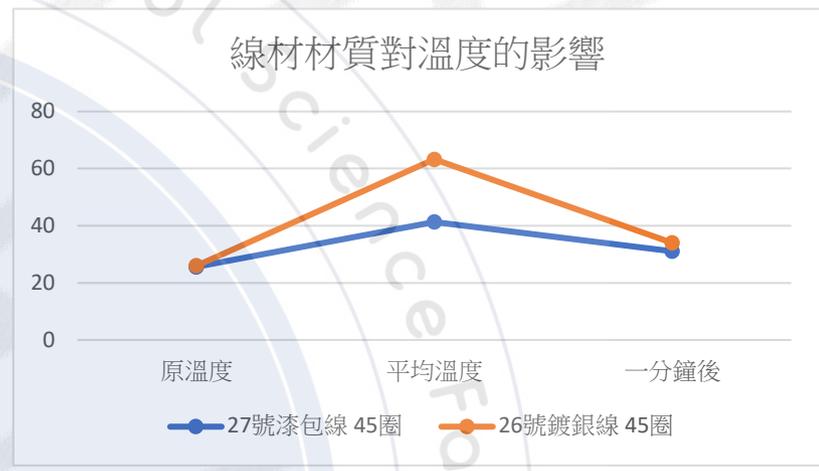
(一)音量

dB



(三)溫度

°C



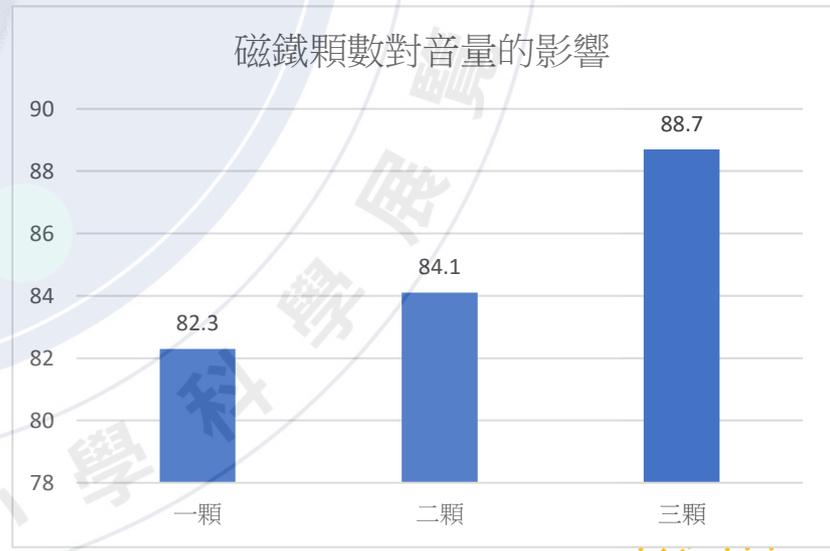
(二)波形

線圈種類	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
27 號漆包線 45 圈			
26 號鍍銀線 45 圈			

### 五、探討外部磁力強度對單體發聲的影響

(一)音量

dB



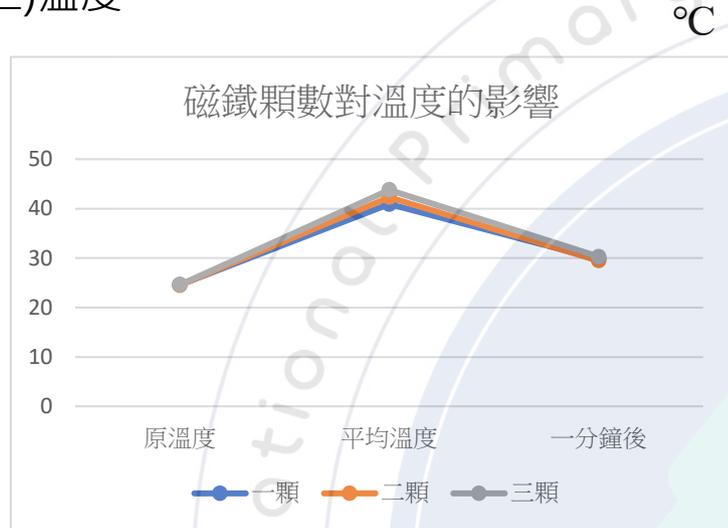
漆包線



鍍銀線

## 五、探討外部磁力強度對單體發聲的影響

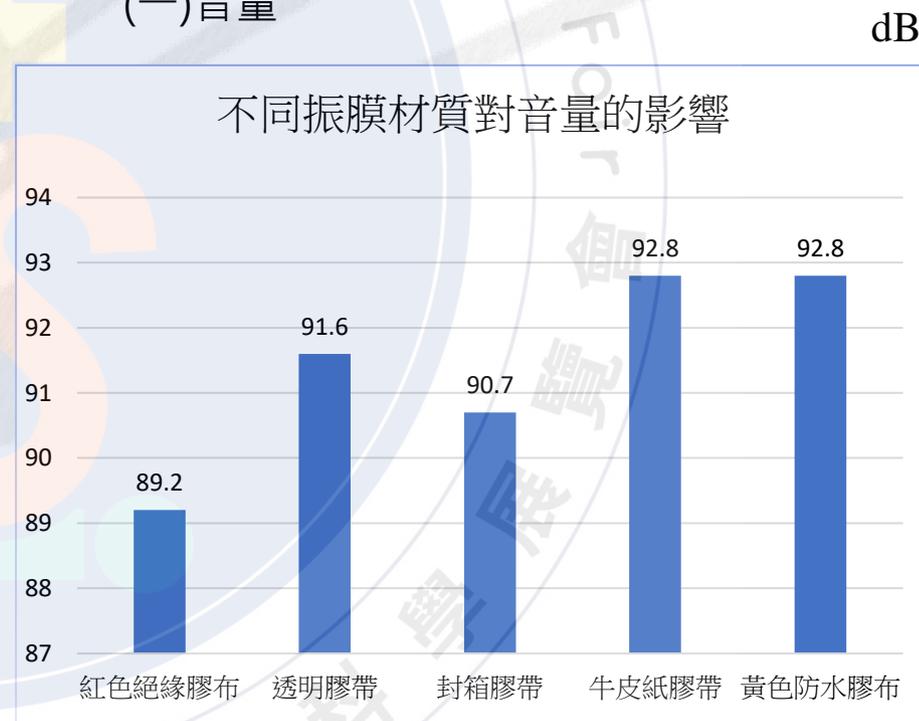
### (二)溫度



## 七、探討不同振膜材質對單體發聲的影響

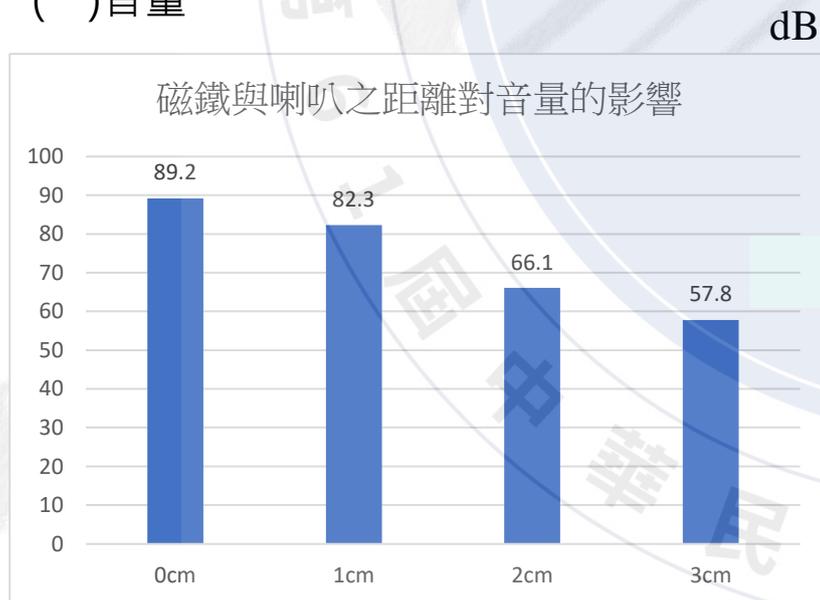


### (一)音量



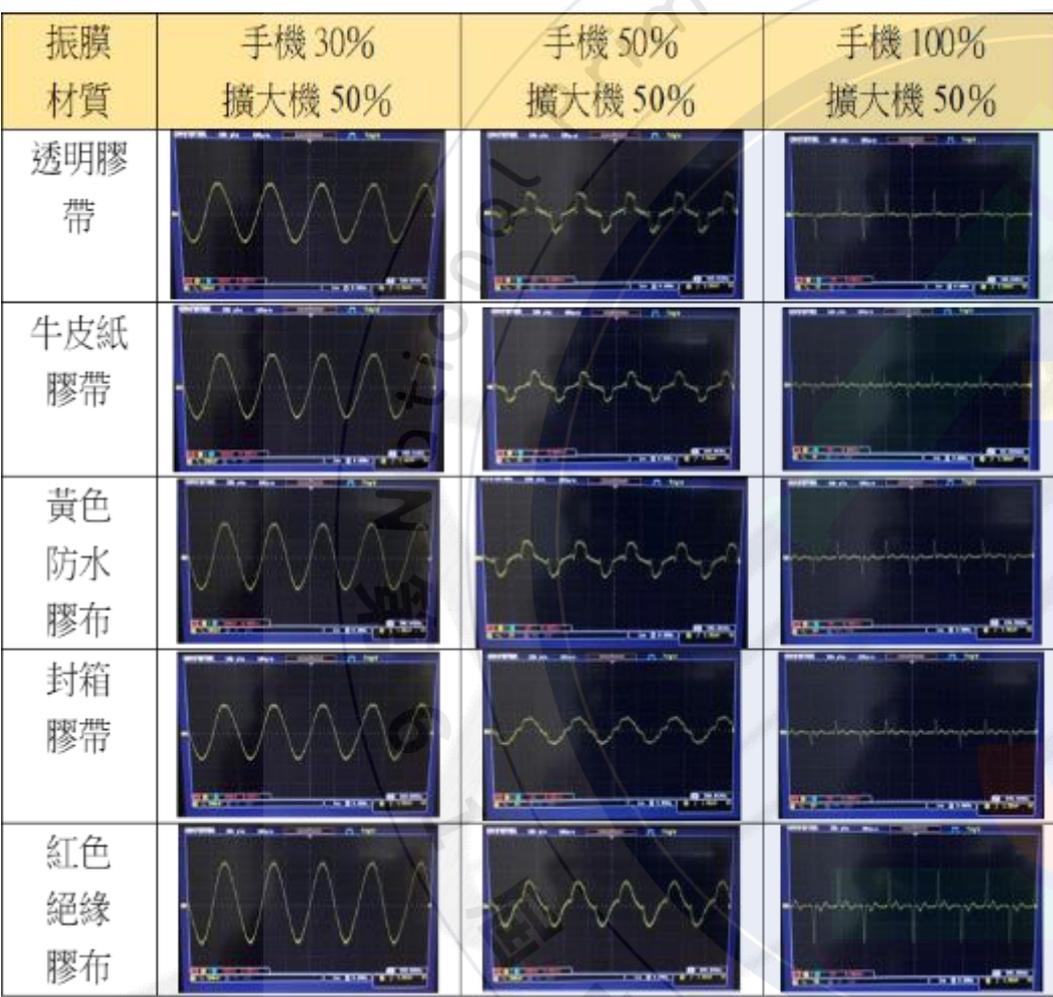
## 六、探討外部磁力距離對單體發聲的影響

### (一)音量

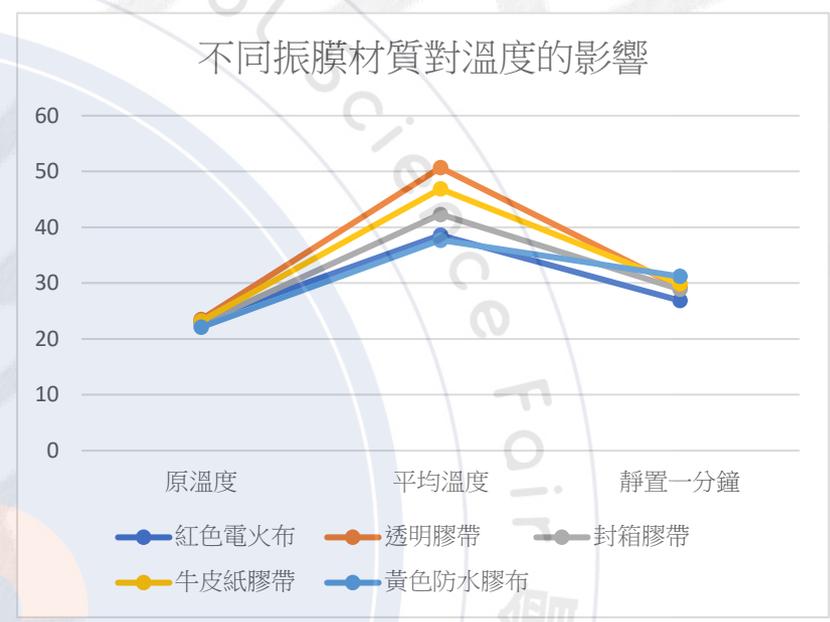


## 七、探討不同振膜材質對單體發聲的影響

### (二) 波形



### (三) 溫度

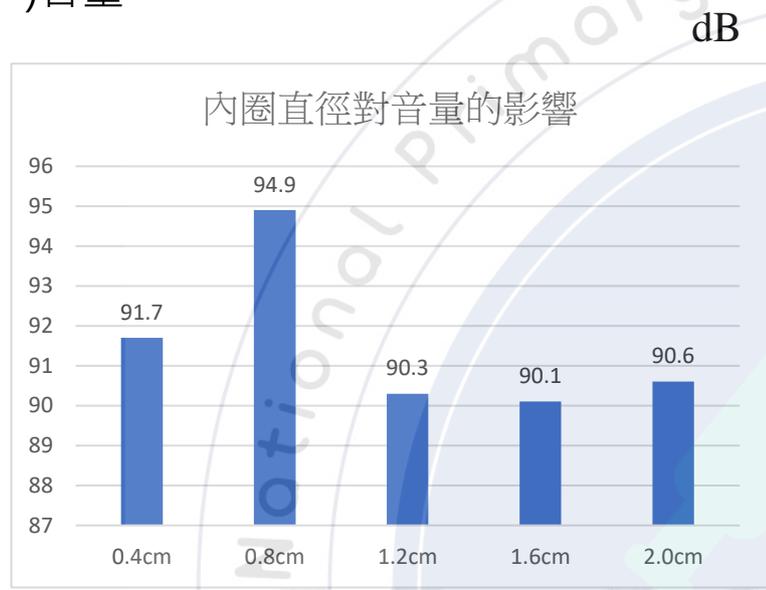


### (四) 頻率響應

振膜材質	最低音	最高音	音域大小比較
透明膠帶	345	約 20000 後聲音消失	紅色絕緣膠布
牛皮紙膠帶	326	約 20000 後聲音消失	> 黃色防水膠布
黃色防水膠布	318	約 20000 後聲音消失	> 牛皮紙膠帶
封箱膠帶	348	約 20000 後聲音消失	> 透明膠帶
紅色絕緣膠布	288	約 20000 後聲音消失	> 封箱膠帶

## 八、探討不同線圈內徑對單體發聲的影響

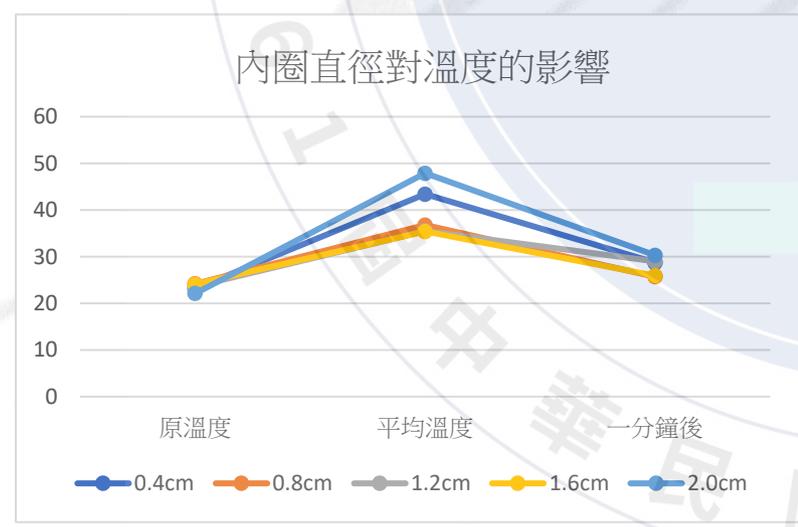
### (一)音量



### (二)波形

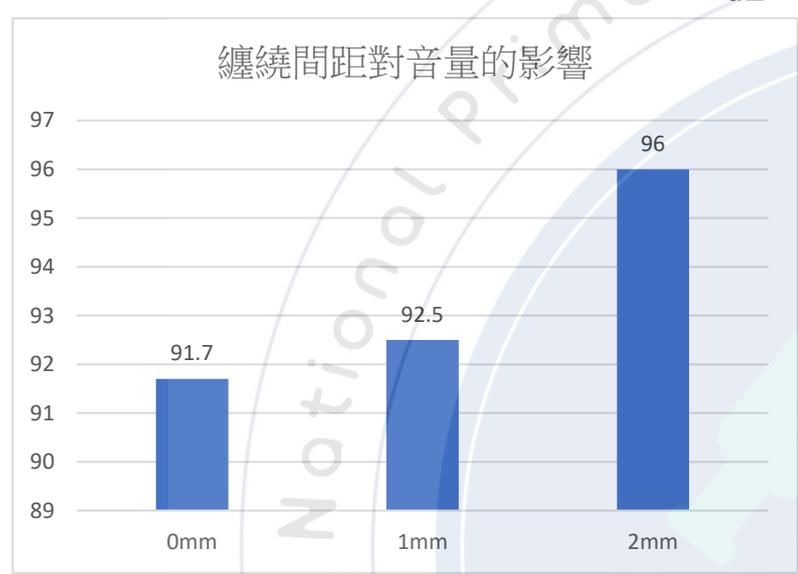
中心內徑	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
0.4cm			
0.8cm			
1.2cm			
1.6cm			
2.0cm			

### (三)溫度

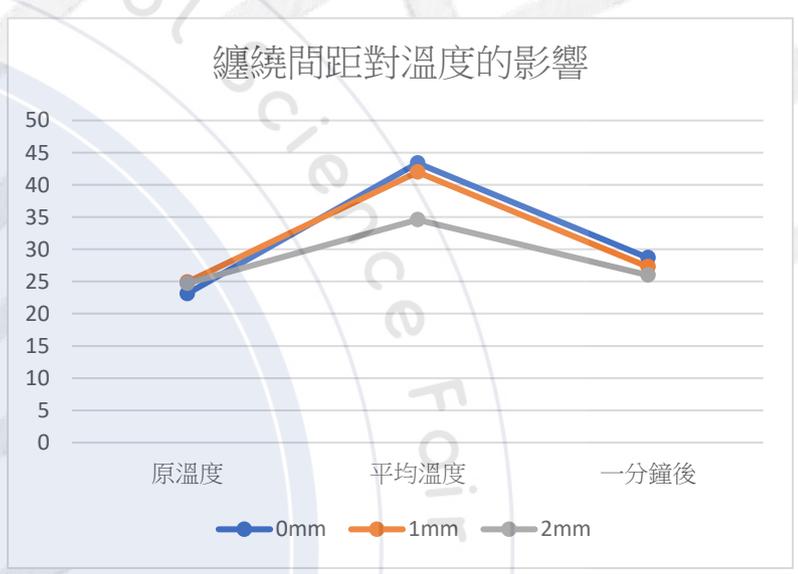


## 九、探討線圈線材不同間距對單體發聲的影響

### (一)音量



### (三)溫度

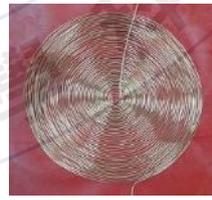


### (二)波形

線材間距	手機 30% 擴大機 50%	手機 50% 擴大機 50%	手機 100% 擴大機 50%
0mm			
1mm			
2mm			

### (四)頻率響應

線材間距	最低音	最高音
0mm	288	約 20000 後聲音消失
1mm	193	約 20000 後聲音消失
2mm	無	約 20000 後聲音消失
音域大小比較		
2mm > 1mm > 0mm		



1 mm

2 mm

## 一、單體中線圈的纏繞規格與方式對發聲的影響：

- (一) 對音量的影響：線材越細，聲音越大。線圈匝數越高，音量越大。鍍銀線的電阻比較大，所以音量較小。音量大小與內圈直徑無直接關聯性。線材間的間距越大，音量也越大。
- (二) 對波形的影響：所有單體皆能發出無失真的正弦波形，但當訊源音量改變時，鍍銀線是最能承受音量而不使波形失真的線材，且匝數越高、線材間距越大，能承受的音量也越大，而中心內徑則不影響音質。
- (三) 對溫度的影響：線材越細，溫度越高；線材長度愈長，電阻也愈大，發熱功率也愈大，溫度自然也愈高；升溫及降溫與內圈直徑無直接關聯性；線材間距越大，升溫幅度越小。

二、單體中振膜的延展性與音量有很大的關係；振膜越有彈性、延展性就越能保留較好的音質，上升溫度與振膜的比熱有關。單體中外部磁力越強，音量越大。

三、依照實驗結果，最佳的喇叭單體配置包含，喇叭線圈最佳配置：**第一選擇為26號鍍銀線、匝數45圈、中心直徑0.4 cm、線材間距1 mm**；**第二選擇為27號漆包線、匝數45圈、中心直徑0.4 cm、線材間距1 mm**；其餘組成最佳配置：磁鐵三顆、單體與磁鐵距離1 cm、振膜為紅色絕緣膠布。

## 四、參考資料

- (一)、音響世界入門第一課：弄清楚揚聲器、喇叭與單體莫里國際-音響專業設計 (民國109年4月)。取自：莫里國際MORY <https://reurl.cc/ogxbVq>
- (二)、揚聲器、頻率響應 (無日期)。取自：維基百科：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8F%9A%E8%81%B2%E5%99%A8>  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%91%E7%8E%87%E5%93%8D%E5%BA%94>
- (三)、喇叭燒毀搞不清楚？可能你沒看音圈，那圈細線才是重點！ (民國107年7月11日)  
取自：每日頭條<https://reurl.cc/KArzOg>
- (四)、秒懂動圈式喇叭單體 (民國106年4月28日)。取自：耳酷：<https://reurl.cc/mLvbM1>
- (五)、電流的磁效應、安培 (無日期)。取自：國民中學學習資源網<https://reurl.cc/kZLb3q>

