

# 靜電揚聲器之研究及全功能音響測量系統

## 高中組應用科學科第一名

台北市立內湖高級中學

作 者：黃雯琪、徐佩伶、范育誠、詹翰松

指導教師：陳聲台

### 一、研究動機

1. 國內從來沒有廠商生產靜電喇叭，也沒任何個人提出製作報告。
2. 靜電揚聲器的音質十分高雅清純，我迷上它獨特的音色。
3. 靜電揚聲器的價格太高，我無力負擔，只有自行研製一途。

### 二、研究目的

- (一)研究靜電揚聲器的動作原理。
- (二)研究極輕振膜之鍍銀處理。
- (三)研究高電壓與線性電場之供電方法。
- (四)製作一組實用的靜電揚聲器。
- (五)發展一套全功能音響測量系統。
- (六)對靜電揚聲器進行完整的測試與分析。

### 三、研究器材

1. 壓克力組
2. 圓孔鐵網
3. 塑膠薄膜
4. 高壓變壓器
5. 高耐壓電容一批
6. 化學鍍銀器材及藥品一批
7. 電子零件一批
8. 板金工具一組
9. 木工工具一組
10. PC個人電腦

### 四、研究原理

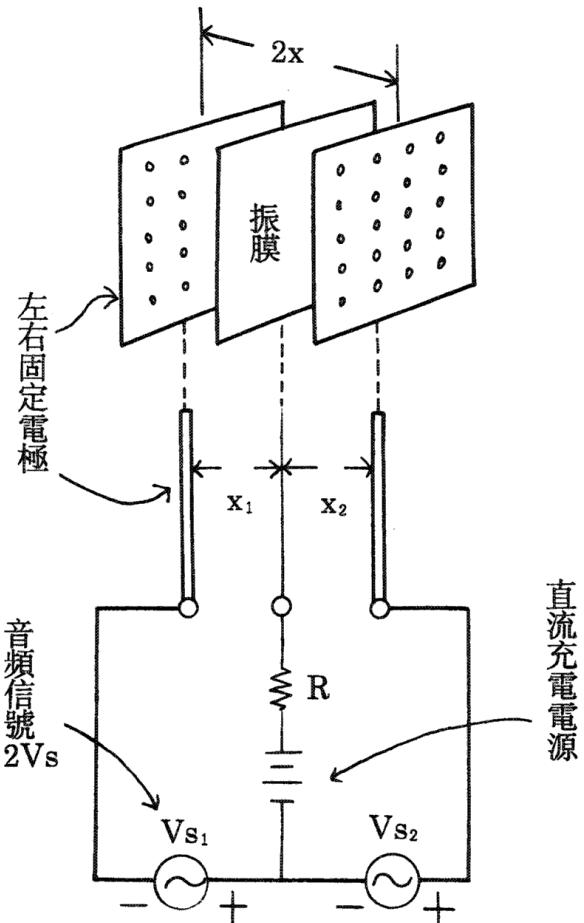
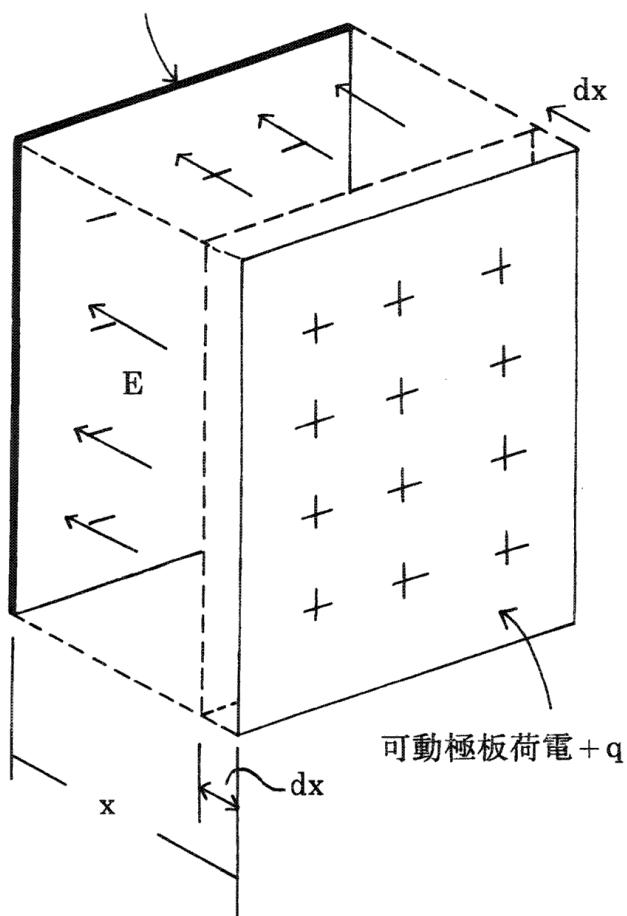
#### (一)靜電喇叭的特點

1. 以靜電為驅動源，能量不必經過磁的轉換，因此失真特低。
2. 整個振膜都平均受力而運動，不須音圈帶動，沒有分割振動。
3. 不須加裝木箱，沒有令人頭疼的箱音問題。
4. 須以高電壓、大電場驅動，故效率較低，聲音量感較小，且高壓裝置材料難覓、價格昂貴又有危險。
5. 許多人不惜一擲千金，只為了求得靜電喇叭悠揚柔和的聲音。

## (二) 靜電喇叭的動作分析

1. 下圖中左極板固定，右極板可自由移動，當兩者相距X時：

固定極板荷電  $-q$



$$\text{兩電極間的電場強度為 } E = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\text{兩板上的電位差為 } V = EX = \frac{q}{\epsilon_0 A} \cdot x \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$\text{兩板間的電位能為 } U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{q^2 x}{2\epsilon_0 A} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

2. 當右極板向左移動一微小距離  $dx$  時，兩板間的電位能將變成  $U' = \frac{q^2(x-dx)}{2\epsilon_0 A}$

$$dU = U - U' = \frac{q^2 x}{2\epsilon_0 A} - \frac{q^2(x-dx)}{2\epsilon_0 A} = \frac{q^2 dx}{2\epsilon_0 A} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

上式的  $dU$  代表電位能的變化量，它是引力作功的結果

3.由上式可以發現

- (1)  $F \propto A$ ，面積越大的振膜可受越大的引力。
  - (2)  $F \propto E^2$ ，電場越強驅動力也越強，可惜振膜受力非線性的。
  - (3) 兩極上外接信號源，振膜振動時將產生充放電的效果，如此(4)式中的 $dq$ 不為定值，振膜位置由 $x \rightarrow (x - dx)$ 時其上的電荷將由 $q \rightarrow (q + dq)$ ，這使得振膜受力的式子變得複雜難解。

4.如果加一片電極並採分裂電源（如上圖右）以上問題便可解決：

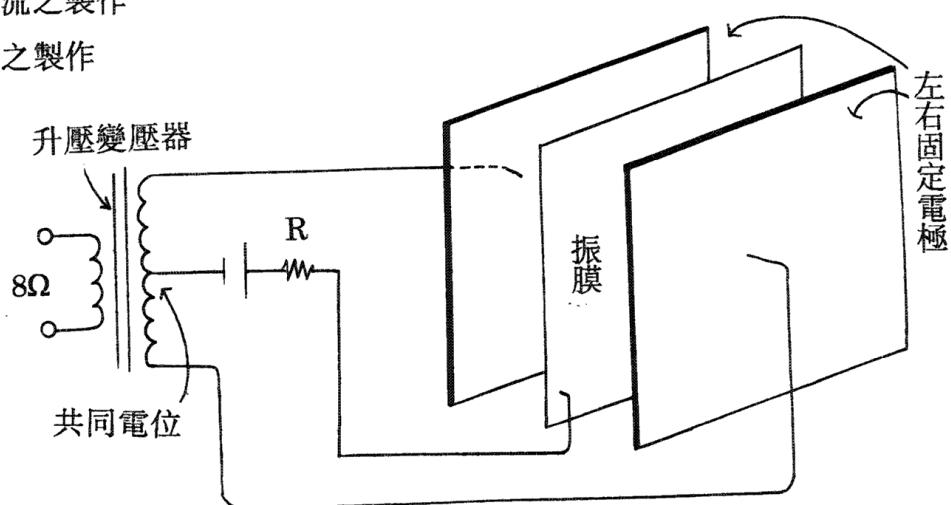
$$\text{音頻電壓在兩極間的電場: } E = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{x_1 + x_2} = \frac{Vs}{x} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

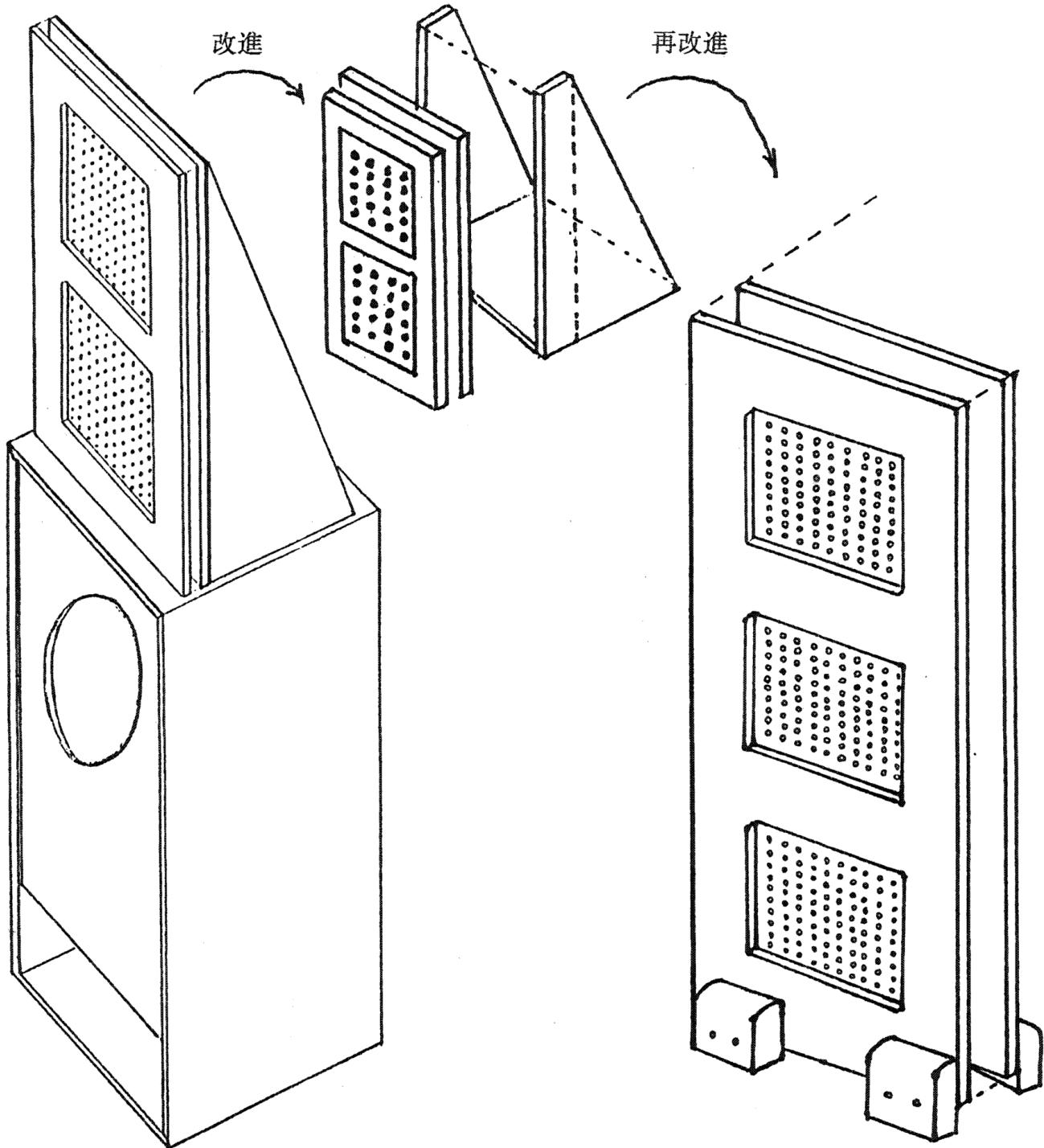
振膜上串以高壓阻 $R$ ，使得充入振膜之電荷不容易在音樂週期中洩放出去，故 $q$ 可視為常數，如此(7)式中 $F \propto V_s$ ，此即達成振膜受力完全正比於音樂信號強弱的理想境界。

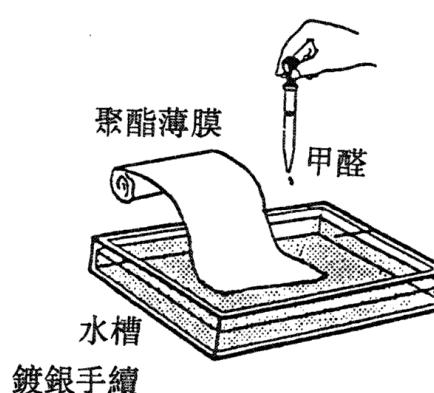
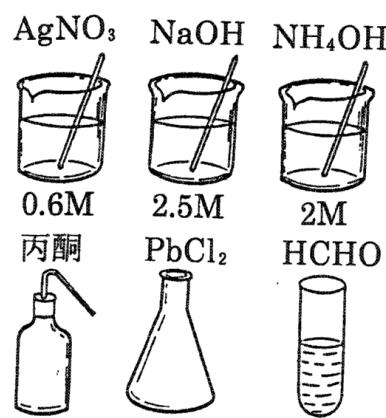
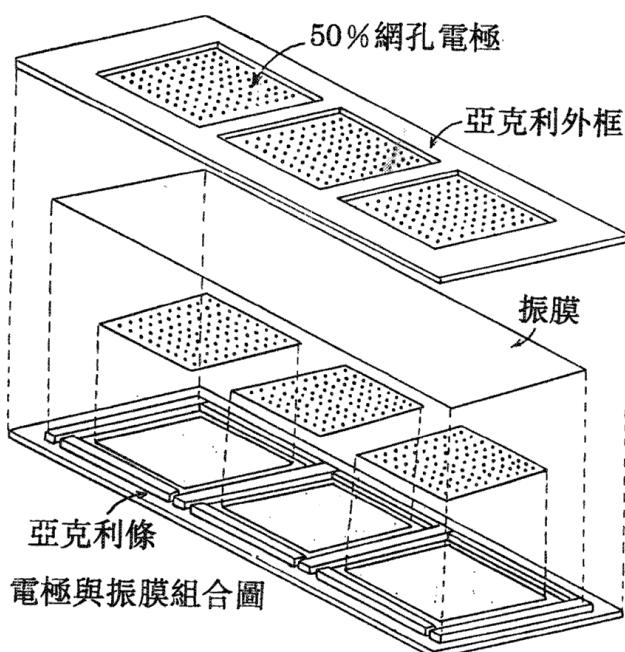
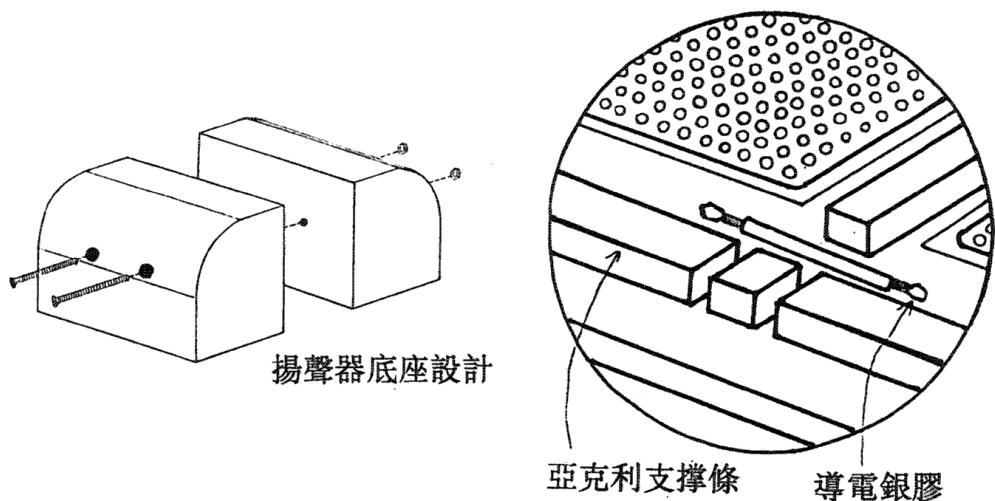
5. 因振膜荷電  $q = \epsilon_0 \frac{A}{x} V$ ，若能加大振膜面積A，縮短極間距離x，增高充電電源V，那麼振膜上就有足夠的電量，任其在強電場中往復振動。

#### 五、研究過程（受限篇幅僅列出大綱與圖形）

- (一)塑料薄膜之選擇
  - (二)鍍銀處理
  - (三)金屬網孔及電極之處理
  - (四)高倍壓整流之製作
  - (五)測試儀器之製作







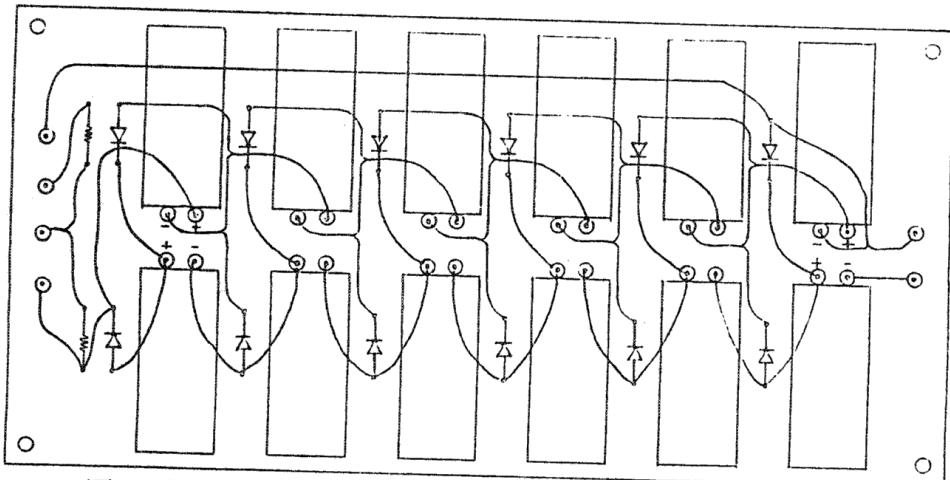
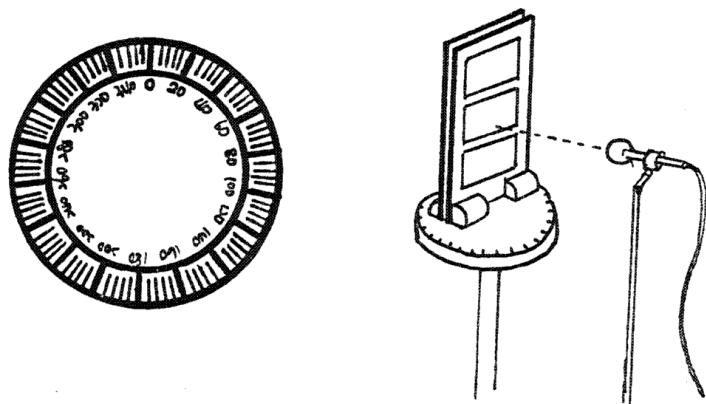
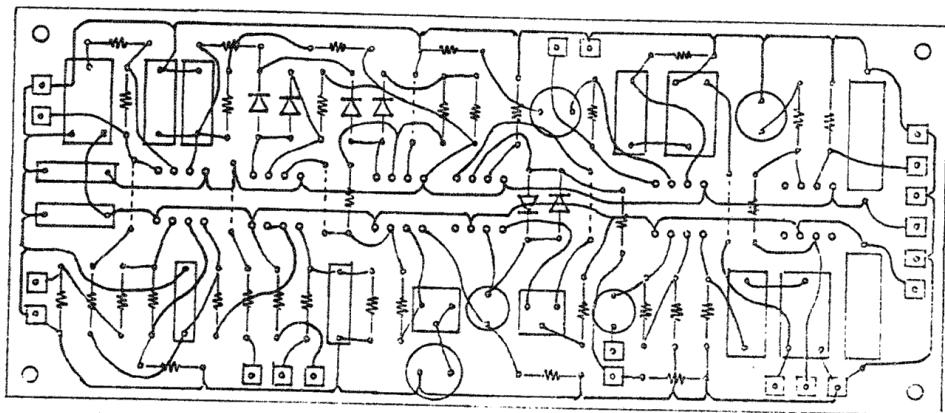
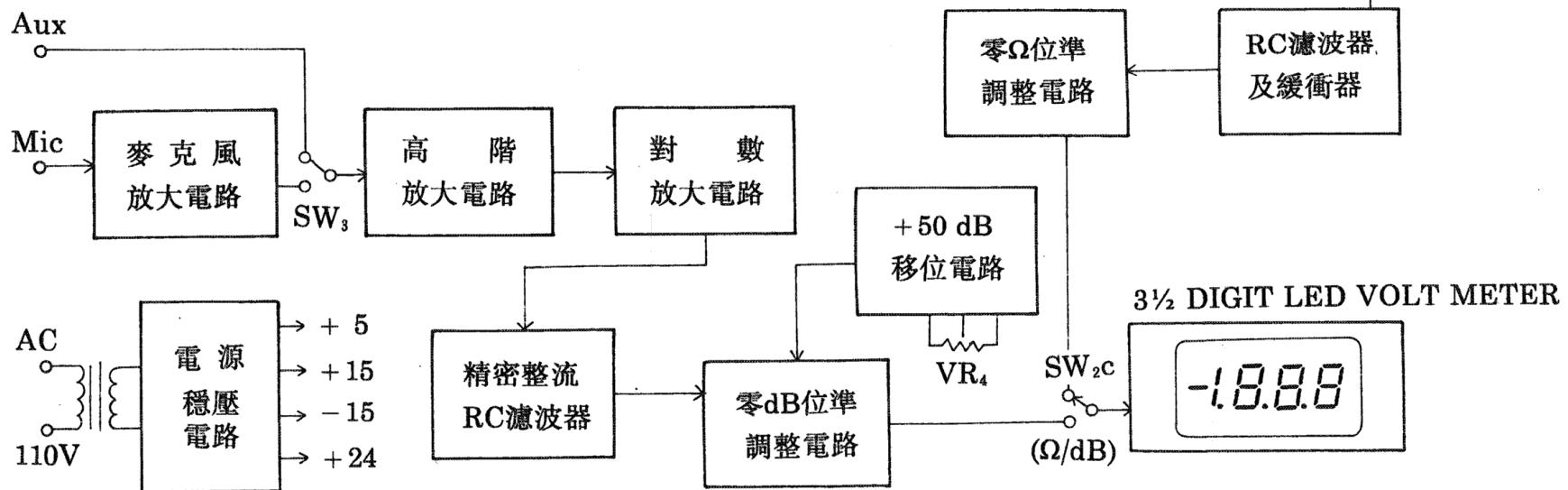
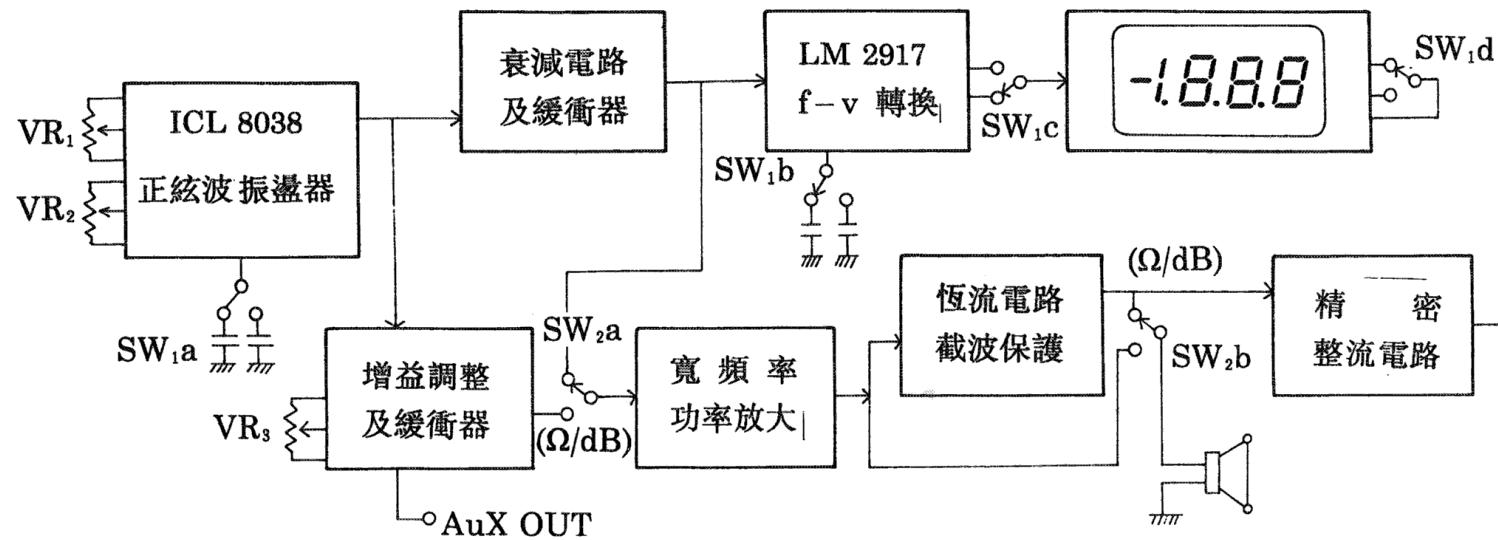


圖17 倍壓整流基板配置

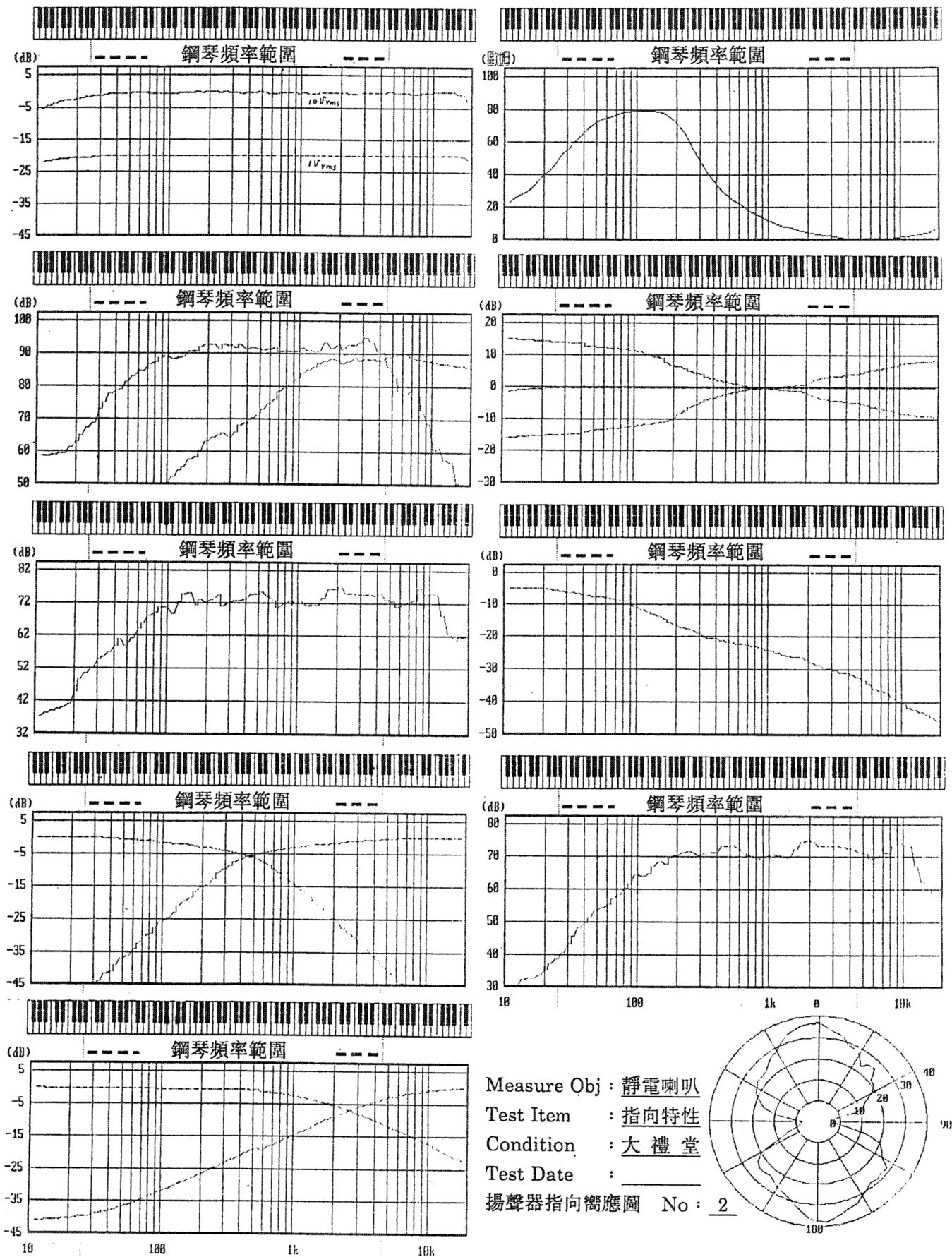


以自製的方向轉盤在大禮堂中測喇叭的指向特性

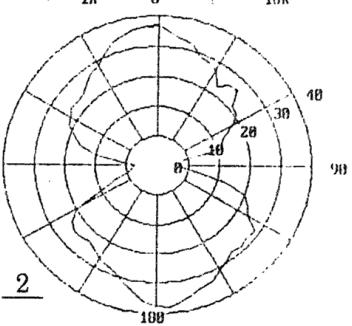
### 3½ DIGIT LED VOLT METER



## 六、實驗結果



Measure Obj : 靜電喇叭  
 Test Item : 指向特性  
 Condition : 大禮堂  
 Test Date : \_\_\_\_\_  
 揚聲器指向嚮應圖 No : 2



## 七、研究結論

1. 靜電揚聲器的頻率響應並不如預期的寬廣平直，但聽感上卻相當輕柔深遂，可能是因為平面振膜的音像較錐形喇叭後退之故。
2. 以我製作過的四套靜電喇叭來比較，振膜面積越大的，其低頻響應越好，當振膜面積為 $900\text{cm}^2$ 時，低頻可平坦延伸至130Hz。
3. 靜電喇叭的方向性極強，其前後方發音強度相同，而兩旁則急速收斂，所以聆聽時須注意擺設的位置。
4. 靜電喇叭的阻抗曲線最為特殊，含升壓器在內的阻抗於120Hz時可升至最高 $79\Omega$ 左右，但8KHz時卻降至 $0.3\Omega$ 左右。
5. 靜電喇叭效率極低，擴音機的功率必須足夠才推得動它。
6. 為求低頻響應向下延伸，必須加大振膜面積，但為了高頻響應向上延伸又必須減輕振膜質量（包含厚度和面積），因此低音和高音最好依其不同頻率領域而設計其振膜。

## 八、主要參考資料

1. 基本物理學	Halliday原著	曉園書局
2. 積體電子學	Millman原著	曉園書局
3. 網路分析	Van-Vokenbl原著	東華書局
4. 塑膠電鍍		文源書局
5. 圖解揚聲器	王明淵譯	正言出版社
6. 運算放大器	李澤涵譯	儒林書局
7. 音樂與音響各期雜誌		
8. 音響論壇各期雜誌		

## 評 語

1. 以靜電驅動取代磁電驅動方式、設計、研製高音質的揚聲器，製作振盪薄膜及測試，是很有創作性的作品。
2. 設計及研製的方法，完全符合科學與工程的研究方法及步驟。思考的邏輯及測試方式正確，測試結果良好。
3. 作品由設計、研製、測試及結果分析，顯現相當完整的成果，實際作品經試機，證實音質悅耳，具備了實用價值。
4. 著者對設計理念，研製及測試方法及結果分析，顯現了相當成熟的物理知識。

與電子方面的技能。作品十分瞭解、表達優良。

5.建議加強有關人身安全（高壓電）的防護，以確保人身安全。