



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201125372 A1

(43)公開日：中華民國 100 (2011) 年 07 月 16 日

(21)申請案號：099101080

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 01 月 15 日

(51)Int. Cl. : **H04R17/00 (2006.01)**

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：白明憲 BAI, MINGSIAN R. (TW)；蔡耀坤 TSAI, YAO KUN (TW)

(74)代理人：林火泉

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：16 項 圖式數：11 共 31 頁

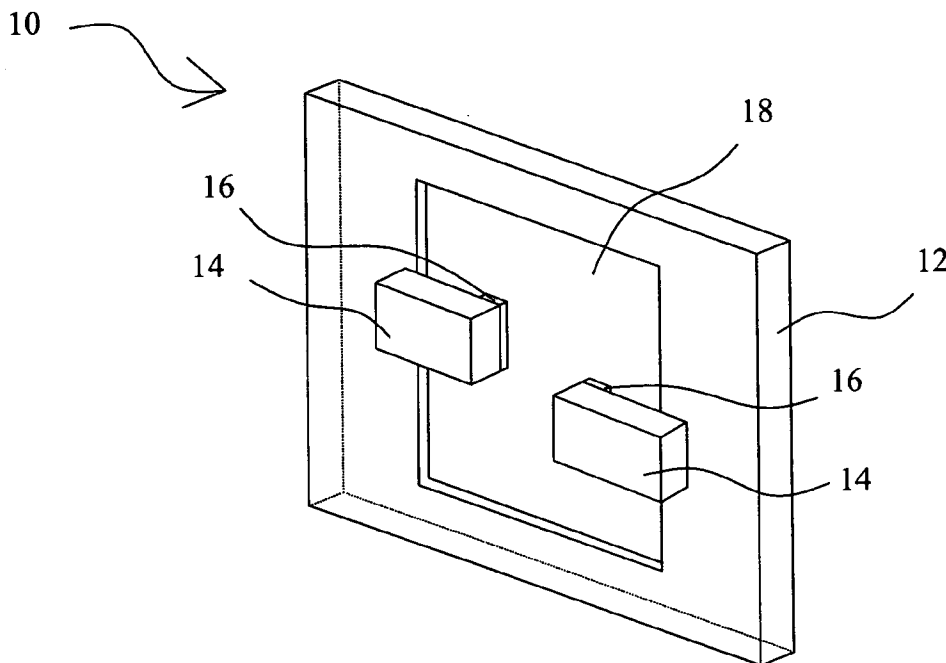
(54)名稱

壓電揚聲器及其之最佳化設計方法

PIEZOELECTRIC PANEL SPEAKER AND OPTIMAL DESIGN METHOD OF THE SAME

(57)摘要

本發明係揭露一種壓電揚聲器及其之最佳化設計方法，其中揚聲器結構係由框架固定至少一片壓電片，以壓電片來固定支撐振膜於框架內，而在壓電片與振膜之間設有一墊塊連接二者，此種揚聲器由於以穩定的框架固定壓電片，可加強平面揚聲器在低頻方面的頻率響應表現；另外，本發明之最佳化設計之方法以有限元素法建立壓電揚聲器之數學模型，進而模擬出揚聲器的聲壓負載，再利用模擬退火法來取得壓電揚聲器的結構最佳化之設計參數。



10：壓電揚聲器

12：框架

14：壓電片

16：墊塊

18：振膜

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號： 99101080

※申請日： 99-1-15 ※IPC 分類： H04R17/00

一、發明名稱：(中文/英文)

壓電揚聲器及其之最佳化設計方法 / Piezoelectric panel speaker and optimal design method of the Same

二、中文發明摘要：

本發明係揭露一種壓電揚聲器及其之最佳化設計方法，其中揚聲器結構係由框架固定至少一片壓電片，以壓電片來固定支撐振膜於框架內，而在壓電片與振膜之間設有一墊塊連接二者，此種揚聲器由於以穩定的框架固定壓電片，可加強平面揚聲器在低頻方面的頻率響應表現；另外，本發明之最佳化設計之方法以有限元素法建立壓電揚聲器之數學模型，進而模擬出揚聲器的聲壓負載，再利用模擬退火法來取得壓電揚聲器的結構最佳化之設計參數。

三、英文發明摘要：

The present invention discloses a piezoelectric panel speaker and an optimal design method of the same. In the structure of the speaker, at least one piezoelectric plate attached at a surrounding frame supports a diaphragm inside the surrounding frame. A spacer is inserted between the each piezoelectric plate and the diaphragm. The structure of the piezoelectric plates fixed at the surrounding frame improves the speaker performance within low frequency range. Besides, the finite element method is employed to build a mathematical model to simulate the radiation loading of the piezoelectric panel speaker. Also, the simulated annealing method is employed to approach the optimal design parameters of the speaker structure.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

10 壓電揚聲器

12 框架

14 壓電片

16 墊塊

18 振膜

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關揚聲器之技術，尤其是一種壓電揚聲器的結構及其最佳化設計之技術。

【先前技術】

壓電材料已應用於感應器、致動器之中， Taiyo Yudan、Murata 及 NXT 等人中利用壓電材料之壓電性將其作為在平面揚聲器中驅動機械作用的動力來源，以壓電材料所製作的平面揚聲器，其優點在於電聲效率高於以一般動圈式之平面揚聲器產品。

傳統的以壓電材料製作的平面揚聲器，其結構係將壓電材料直接貼在振膜上，而振膜黏結在揚聲器外殼的框架上，因為壓電材料由振膜支撐所以振膜與框架的黏結要夠緊實，以確保整體結構堅固不易崩塌。此揚聲器所構成的結構偏向鋼硬，使得在低頻輸出部分表現不夠亮眼，所以習知的壓電揚聲器僅能應用於蜂鳴器等高音單元揚聲器上。

因此，許多習知技術欲加強平面揚聲器的低頻音域，例如 Lee 等人在 Sensor 與 Actuators 期刊中發表以額外的膜層於懸臂樑的聲學裝置上，來降低基頻並提升聲學輸出；及 Woodard 等人在 J. Sound Vib.期刊中發表利用適合的振動頻率響應、振動地形學、聲學腔體與裁剪阻尼來加強揚聲器的聲學表現。另外，Chu 等人最佳化壓電片的形狀來降低基頻。並且習知技術出現利用不同的趨近法，例如基因演算法(Genetic algorithm)或田口式實驗計畫法(Taguchi method)，求最佳化的平面揚聲器設計，然而目前卻未有最有效提升低頻音域品質的平面揚聲器。

有鑑於此，本發明提出一種壓電揚聲器與其之最佳化設計方法，提供一種新的壓電揚聲器結構與頻率響應的模擬平台，以解決習知技術之不足處。

【發明內容】

本發明之主要目的揭露一種壓電揚聲器與壓電揚聲器之最佳化設計方法，係以懸臂樑方式將壓電片固定在揚聲器的框架上，連接支撐一振膜，此種結構造成邊界效應不同，可加寬頻率範圍。

本發明之另一目的揭露一壓電揚聲器與其之最佳化設計方法，建立一套數學模型，並運用模擬退火法對壓電揚聲器之結構設計取得最佳化設計參數，可輔助熟悉相同領域者設計製作壓電揚聲器。

為達到上述之目的，本發明揭露一種壓電揚聲器，其結構為一框架，設有至少一壓電片，此壓電片一邊固定於框架上，另一邊向框架中心延伸，且此壓電片固定支撐一振膜，使其位於該框架內。

為了使設計可達成輸出最良好的聲壓頻率，本發明揭示一種壓電揚聲器之最佳化設計方法，其步驟如下。首先，利用有限元素法建構壓電揚聲器模型，其中搭配能量法計算壓電揚聲器結構中壓電片、振膜與墊塊等元件之位能及動能，建立一套模擬本發明之壓電揚聲器之數學模型，數學模型的可變參數調變係對應到壓電揚聲器之結構設計，且利用數學模型預測出壓電揚聲器的聲學負載；接續，使用模擬退火法對可變參數進行最佳化求解；最後可獲得最佳化後的可變參數，與其係對應的設計為具有最佳聲壓負載之壓電揚聲器之結構。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明

之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

本發明提出一種壓電揚聲器，請參考第 1~3 圖所示，其中第 3 圖為第 2 圖中 AA' 剖線位置之剖視圖，本發明之壓電揚聲器 10 係為一內部中空之框架 12，並有至少一壓電片 14，其向框架內部延伸，在本實施例係以兩片壓電片 14 為例，壓電片一端固定設於框架 12 上，壓電片 14 另一端透過一小面積的墊塊 16 連接一振膜 18，使其固定於框架 12 內，其中墊塊 16 與壓電片 14 的接觸表面積小於等於壓電片 14 之表面積，並且由壓電片 14 接受電壓，產生壓電效應，進而壓電片就會隨之產生震動，進而激發出聲波來，並再透過振膜 18，使壓電揚聲器具有頻響特性。

其中，振膜 18 之材質係為聚對苯二甲酸二乙酯(PET)、聚碳酸酯樹脂(PC)、碳纖維、金屬、紙或玻璃纖維等等，而其他種可作為揚聲器之振膜之材質亦在本發明所欲申請之範圍內，壓電片 14 之材質為銦鈦酸鉛(PZT)，其壓電係數為 d33。並且，在振膜與框架間利用一密封物密合，本實施例係使用膠帶為密封物，而本發明可使用其他密封物密合振膜與框架之連接處。

根據上述本發明之壓電揚聲器，本發明提供一種本發明壓電揚聲器之最佳化設計方法，目的係為了設計出具有最佳頻率響應的壓電揚聲器，設計方法之步驟如第 4 圖所示。首先，建立一壓電揚聲器的數學模型，其中壓電揚聲器之數學模型是利用有限元素法搭配能量法所建構而成，可設置不同的可變參數，其為設計壓電揚聲器結構之變數，例如為邊框、壓電片、振膜與墊塊的相對位置、振模及壓電片尺寸大小、材料密度或位移情況，因此模擬不同規格之壓電揚聲器的運動情況，且根據數學模型可計算預測

不同可變參數的壓電揚聲器之聲壓負載，如步驟 S100 所示。接著進行步驟 S110，利用模擬退火法，對可變參數進行壓電揚聲器之最佳化求解運算；最後，獲得可變參數最佳解，而且可利用前述數學模型預測出最佳化之壓電揚聲器之聲壓負載，如步驟 S120 所示。

其中，請參考第 5 圖所示，為本發明揭示步驟 S100 之技術手段之細節，首先建立有限元素法之型函數，及將振模、壓電片或墊塊的位移以數學關係式表示，並計算上述三者元件的動能與位能，如步驟 S101；接續，型函數將邊框、壓電片或墊塊離散化至複數個單一元素，進而獲得系統剛性矩陣與系統質量矩陣，如步驟 S102 所示；再以拉格朗治方程式(Lagrange equation)推導出壓電揚聲器的數學模型，以模擬本發明之壓電揚聲器整體的聲學環境，如步驟 S103 所示。

本發明舉出一實施例進一步說明有限元素法如何建構本實施例之數學模型。本發明係建立二維有限元素法之型函數與位移之關係式，其中有限元素法中之元素的側向位移 w ，以物理座標的三次多項式差分表示為公式

(1)：

$$w = x^T a \quad (1)$$

其中

$x = [1, x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y, xy^2, y^3, x^3y, xy^3]^T$ 為物理座標向量，
 $a = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}, a_{12}]^T$ 為物理座標向量之

係數。而每一單一元素，如第 6 圖所示，其長寬分別為 $2b$ 、 $2a$ 。每個元素的自由度可以聚集成一向量

$d = [w_1, \theta_1, \phi_1, w_2, \theta_2, \phi_2, w_3, \theta_3, \phi_3, w_4, \theta_4, \phi_4]^T$ ，其中 $w_i (i=1, 2, 3,$

4) 為側向位移，及 $\frac{\partial w_i}{\partial x} = \theta_i$ 及 $\frac{\partial w_i}{\partial y} = \phi_i$ ($i=1, 2, 3, 4$) 為兩種旋轉自由度。

以 $a_j, j=1, 2, \dots, 12$ 表示物理縱座標及四個角落之斜率，以 $w_i, \frac{\partial w_i}{\partial x} = \theta_i$

及 $\frac{\partial w_i}{\partial y} = \phi_i, i=1, 2, 3, 4$ ，套入公式(1)。因此，可獲得公式(2)：

$$\mathbf{d} = \mathbf{T}\mathbf{a}, \quad \mathbf{a} = \mathbf{T}^{-1}\mathbf{d} \quad (2)$$

將上式(2)代入式(1)中，獲得公式(3)：

$$\mathbf{w} = \mathbf{x}^T \mathbf{T}^{-1} \mathbf{d} = \mathbf{N}\mathbf{d} \quad (3)$$

其中， \mathbf{N} 為有限元素之型函數矩陣，其可定義為公式(4)：

$$\mathbf{N} = \mathbf{x}^T \mathbf{T}^{-1} \quad (4)$$

將上式(3)代入以壓電片的內能 U_z 中，以矩陣方式表示壓電片之內能，如公式(5)所示：

$$U_z = I_1 D^T K_1 D + I_2 D^T K_2 D + I_3 D^T K_3 D + I_4 D^T K_4 q + I_5 q^2 - I_6 D^T K_6 D \quad (5)$$

而公式(5)中，各係數為 $I_1 = c_{11}^D (z_4^3 - z_3^3) / 6, I_2 = c_{11}^D (z_4^3 - z_3^3) / 6,$

$$I_3 = c_{12}^D (z_4^3 - z_3^3) / 6, \quad I_4 = h_{11} (z_4^2 - z_3^2) / 2A_e,$$

$$I_5 = \beta_{33} (z_4 - z_3) / 2A_e, \quad I_6 = 2\beta_{66}^D (z_4^3 - z_3^3) / 3,$$

$$K_1 = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a B_1^T B_1 dx dy, \quad w_{xx} = B_1 d, \quad B_1 = \frac{\partial^2 N}{\partial x^2},$$

$$K_2 = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a B_2^T B_2 dx dy, \quad w_{yy} = B_2 d, \quad B_2 = \frac{\partial^2 N}{\partial y^2},$$

$$K_3 = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a B_1^T B_2 dx dy, \quad K_4 = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a (B_1 + B_2)^T dx dy,$$

$$K_6 = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int^a B_5^T B_5 dx dy, \quad w_{xy} = B_5 d, \quad B_2 = \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}, \quad D = \sum_{n=1}^s d,$$

其中 s 為元素的總數目， $D_3=q/A_e$ ， q 為電極上的電荷， A_e 為每個元素的區域面積以及 D 為系統剛性矩陣， β_{33}^s 、 h_{31} 、 C_{11}^D 、 C_{12}^D 、 C_{66}^D 為壓電片的材料參數。

依此類推，振膜、壓電片及墊塊的總位能 U_T 與總動能 T_T 可表示為公式(6)與公式(7)：

$$U_T = I_1 D^T K_1 D + I_2 D^T K_2 D + I_3 D^T K_3 D + I_4 D^T K_4 q + I_5 q^2 - I_6 D^T K_6 D + \frac{1}{2} D^T K_7 + \frac{1}{2} D^T K_8 D \quad (6)$$

$$T_T = \frac{1}{2} \rho_p \dot{D}^T M_p \dot{D} + \frac{1}{2} \rho_s \dot{D}^T M_s \dot{D} + \frac{1}{2} \rho_z \dot{D}^T M_z \dot{D} \quad (7)$$

其中，上述相關符號定義如下：

$$\dot{D} = dD/dt, \quad K_7 = \int_{-b-a}^b \int^a (B_7^T D_{kp} B_7) dx dy,$$

$$K_8 = \int_{-b-a}^b \int^a (B_7^T D_{ks} B_7) dx dy, \quad B_7 = [B_1 \quad B_2 \quad 2B_3],$$

$$M_p = M_s = M_z = \int_{-b-a}^b \int^a N^T N dx dy,$$

$$D_{kp} = \begin{bmatrix} D_p & \nu_p D_p & 0 \\ \nu_p D_p & D_p & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu_p)}{2} D_p \end{bmatrix}, \quad D_{ks} = \begin{bmatrix} D_s & \nu_s D_s & 0 \\ \nu_s D_s & D_s & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu_s)}{2} D_s \end{bmatrix}$$

其中 D_p 為振膜的彎曲剛性， D_s 為墊塊的彎曲剛性， M_p 、 M_s 及 M_z 為振膜、墊塊及壓電片之質量矩陣。因此，以公式(3)離散化公式(6)與公式(7)整個系統的總能至複數個單一元素，進而獲得單一元素的剛性矩陣與質量矩陣。

假設一虛擬外力 f 作功，則作功可表示為公式(8)：

$$\delta W_{vir} = \delta \mathbf{D}^T \mathbf{f} + v_z \delta q \quad (8)$$

$$\text{其中 } f = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a f(x, y, t) dx dy, \quad v_z = \sum_{n=1}^s \int_{-b-a}^b \int_a^a v_z(t) dx dy。$$

並且，將透過拉格朗治方程式(Lagrange equation)，如公式(9)所示：

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\mathbf{D}}^T} \right) - \frac{\partial L}{\partial \mathbf{D}^T} = \mathbf{f} \\ -\frac{\partial L}{\partial q} = v_z \end{cases} \quad (9)$$

其中， $L=U_T-T_T$ ，因此根據公式(6)、(7)、(8)及(9)可獲得本發明之壓電揚聲器之數學模型係為公式(10)：

$$\begin{cases} \left[\left(\rho_p M_p + \rho_s M_s + \rho_z M_z \right) \omega^2 - 2I_1 K_1 - \right. \\ \left. 2I_2 K_2 - 2I_3 K_3 + 2I_6 K_6 - K_7 - K_8 \right] D - I_4 K_4 q = f \\ -I_4 K_4^T D - 2I_5 q = v_z \end{cases} \quad (10)$$

其中 ρ_p 、 ρ_s 及 ρ_z 為振膜、墊塊及壓電片之密度， M_p 、 M_s 及 M_z 為振膜、墊塊及壓電片之質量矩陣， D 為系統剛性矩陣，且 $\dot{D} = v = j\omega D$ ， $\ddot{D} = -\omega^2 D$ 。

本發明之壓電揚聲器之最佳化設計方法更考慮了揚聲器中輻射阻抗

(radiation impedance), 其係由測量到壓電揚聲器表面的點之壓力向量 p 與速度向量 v , 與輻射阻抗矩陣 Z 有關, 其關係式如下:

$$p = Zv \quad (11)$$

針對振動平面輻射器(baffled planar radiator), 矩陣 Z 同樣可被離散化趨近取得, 因此, 外力向量 f 可為聲壓 p 所表示, 如公式(12)所示:

$$f = A_e p = A_e Zv = j\omega A_e ZD \quad (12)$$

並且本發明之壓電揚聲器之最佳化設計方法, 使用比例阻尼(proportional damping), 計算本發明之壓電揚聲器之阻尼矩陣 C , 如公式(13)所示:

$$C = \alpha M_d + \beta K_d \quad (13)$$

其中, α 與 β 為常數, M_d 與 K_d 表示質量矩陣與剛性矩陣, 分別為公式(14)、(15)所示:

$$M_d = 2I_5 (\rho_p M_p + \rho_s M_s + \rho_z M_z) \quad (14)$$

$$K_d = 2I_5 (-2I_1 K_1 - 2I_2 K_2 - 2I_3 K_3 + 2I_6 K_6 - K_7 - K_8) + I_4 K_4 K_4^T \quad (15)$$

將阻尼矩陣 C 代入公式(10)中, 可重新表示位移矩陣 D , 如公式(16)所示:

$$D = -I_4 (K + j\omega C)^{-1} K_4 v_z \quad (16)$$

其中

$$K = 2I_5 \begin{bmatrix} (\rho_p M_p + \rho_s M_s + \rho_z M_z) \omega^2 - 2I_1 K_1 - 2I_2 K_2 \\ -2I_3 K_3 + 2I_6 K_6 - K_7 - K_8 - j\omega A_e Z \end{bmatrix} + I_4 K_4 K_4^T$$

最後所計算出的的輻射聲壓向量為 $P_{far} = Ev$, 其中, p_{far} 為輻射聲壓向量、 v 為表面速度向量, 其可將位移 D 微分取得, 對揚聲器的反射平面輻射體而言, 聲壓負載矩陣 E , 如公式(17)所示:

$$\mathbf{E} = j \frac{\rho_0 c_s k A_e}{2\pi} \begin{bmatrix} \frac{e^{-jkr_{11}}}{r_{11}} & \frac{e^{-jkr_{12}}}{r_{12}} & \dots & \frac{e^{-jkr_{1n}}}{r_{1n}} \\ \frac{e^{-jkr_{21}}}{r_{21}} & \frac{e^{-jkr_{22}}}{r_{22}} & \dots & \frac{e^{-jkr_{2n}}}{r_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{e^{-jkr_{m1}}}{r_{m1}} & \frac{e^{-jkr_{m2}}}{r_{m2}} & \dots & \frac{e^{-jkr_{mn}}}{r_{mn}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

公式(17)中， A_e 為元素之面積， r_{mn} 為每元素 n 至麥克風中 m 點之距離， n 與 m 為正整數。因此，根據聲壓負載矩陣 E 即可計算出壓電揚聲器的聲壓對頻率之曲線。

本發明舉出以壓電揚聲器之最佳化設計方法，進行壓電揚聲器中壓電片位置最佳化求解的一實施例。先將壓電片與振膜之相對位置設定為可變參數，建構好本發明之數學模型，再請參見第 7 圖所示，在未最佳化之前，揚聲器中兩個墊塊 16 左上為基準角，基準角係分別位於振膜標號之 57、96 位置上，如第 7 圖所示。且振膜由有限元素法離散為 144 個元素，且壓電片被離散為 56 個元素，如第 8 圖所示。並且，套入數學模型運算的振膜、壓電片與墊塊之材料參數如表 1 所示：

表 1

	材料	參數	數值
振膜	聚碳酸脂(PC)	大小	0.06m×0.06m×0.000254m
		密度	1200kg/m ³
		楊式模數	7GPa
		浦松式比	0.37

墊塊	聚碳酸 脂(PC)	大小	0.005m×0.035m×0.000254m
		密度	1200 kg/m ³
		楊式模數	7 Gpa
		浦松式比	0.37
壓電片	鋁鈦酸 鉛(PZT)	大小	0.02m×0.035m×0.002m
		密度	7800 kg/m ³
		β_{33}^s	3.52×10^7
		h_{31}	-3.6772×10^8 v/m
		C_{11}^D	12.236×10^{10} N/m ²
		C_{12}^D	5.244×10^{10} N/m ²
		C_{66}^D	3.496×10^{10} N/m ²

因此，利用壓電揚聲器之數學模型，來模擬揚聲器聲壓負載情況。接續在利用模擬退火法進行求解，請參考第 9 圖，本發明所使用模擬退火法進行最佳參數求解之步驟流程如下：

(1) 步驟 S121 為設定退火過程之參數及可變參數值 e_i ， $e_i = e_i(e_1, e_2, \dots, e_n)$ ，

本實施例預設的可變參數初始狀態為兩個壓電片係分別位於振膜標號之 57、96 位置上，退火參數設定如表 2 所示：

表 2

退火參數	數值
初始溫度 T_0	10
最後退火溫度 T_f	10^{-9}

馬克夫鍊長	4
溫度遞減率	0.85

(2) 步驟 S122 為計算可變參數 e_i 之目標函數 $J(e_i)$ ，其中目標函數，如公式(18)

所示：

$$J = \frac{10^{(P_{avg} - 94)/20}}{f_0} \times 10000 \quad (18)$$

上式中 f_0 為聲壓大於 40dB 之基頻， P_{avg} 為大於 f_0 以上之平均聲壓，此時 e_i 為現任解；

(3) 步驟 S123，擾動 e_i ，取得鄰近的可變參數 e_{i+1} ，並計算 $J(e_{i+1})$ 值；

(4) 判斷 $J(e_{i+1})$ 是否大於 $J(e_i)$ ，如步驟 S124 所示，如果是，則進入下一個步驟 S126，否則進入步驟 S125。而步驟 S125 係判斷成功機率函數成功機率函數 $\exp(-\Delta/T)$ 是否大於 τ ，來決定 e_{i+1} 是否可取代 e_i 為現任解，若是，則進入步驟 S126，若否，則回到步驟 S123，其中， Δ 為該新解 e_{i+1} 的目標函數值與該舊解 e_i 的目標函數值之差值， T 為退火溫度， τ 介於 $[0,1]$ 之間的亂數；

(5) 將 e_{i+1} 取代 e_i 作為現任解，如步驟 S126 所示，進入下一步驟；

(6) 判斷重複次數是否大於馬克夫鍊，如步驟 S127 所示，若是，則進行下一步驟；若否，則回到步驟 S123；以及

(7) 步驟 S128，降低退火溫度 T ，判斷此時退火溫度 T 是否小於最終溫度 T_f ，若是，結束退火過程；若否，則回到步驟 S123 繼續重新進行求解。

經過上述退火過程後，可取得最佳化後之可變參數，在本實施例中，所獲得的可變參數之最佳解，其物理意義代表墊塊 16 左上之基準角分別位

於振膜標號之 42、124 位置上，如第 10 圖所示。並參考第 11 圖，其為未最佳化及最佳化壓電片位置所對應之壓電揚聲器之聲壓曲線圖，如圖所示，最佳化的聲壓曲線延伸基頻約 300Hz 的範圍，且平均聲壓為 82.6dB。另外，本發明可以複數個可變參數方式來進行模擬退火法最佳化演算，例如：單一或更多的壓電片的配置、幾何形狀改變及材質變化皆可納入計算。

綜上所述，本發明係揭露一種壓電揚聲器及其之最佳化設計方法，其中壓電揚聲器的壓電片係以多片懸臂樑方式設計，固定於框架上，並支撐連接一振膜於框架內，此種結構可加強壓電揚聲器在低頻範圍的聲音強度與品質。再者，本發明更提供為壓電揚聲器量身訂作之最佳化設計技術，本發明提供的方法先以有限元素法與能量法計算出壓電揚聲器的數學模型，因而可預測壓電揚聲器之聲壓負載，再利用模擬退火法自動求取最佳化的參數，由模擬退火法所預測的最佳設計，可作為揚聲器工藝者在製作揚聲器之參考，使設計壓電揚聲器更有效率，並且本發明壓電揚聲器之最佳化設計方法可應用在類似的揚聲器構造設計上，其應用廣泛。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第 1 圖為本發明之壓電揚聲器之立體圖。

第 2 圖為本發明之壓電揚聲器之側視圖。

第 3 圖為本發明之壓電揚聲器之剖視圖。

第 4 圖為本發明之壓電揚聲器之最佳化設計方法之步驟流程圖。

第 5 圖為本發明建構壓電揚聲器之數學模型之步驟流程圖。

第 6 圖為有限元素法之單一元素之示意圖。

第 7 圖為本發明振膜網格化之示意圖。

第 8 圖為本發明壓電片網格化之示意圖。

第 9 圖為本發明使用模擬退火法進行最佳化求解之步驟流程圖。

第 10 圖為本發明最佳化之壓電片與振膜之相對關係之示意圖。

第 11 圖為本發明未最佳化與最佳化之壓電揚聲器之聲壓曲線之示意圖。

【主要元件符號說明】

10 壓電揚聲器

12 框架

14 壓電片

16 墊塊

18 振膜

七、申請專利範圍：

1、一種壓電揚聲器，其包括：

一框架；

至少一壓電片，係設於該框架且向該框架內部延伸；以及

一振膜，係設於該框架內，且該振膜由該壓電片固定支撐。

2、如申請專利範圍第 1 項所述之壓電揚聲器，更包括至少一墊塊設於該壓電片與該振膜之間，以使該壓電片透過該墊塊支撐該振膜。

3、如申請專利範圍第 2 項所述之壓電揚聲器，其中該墊塊與該壓電片之接觸表面積係小於等於該壓電片之表面積。

4、如申請專利範圍第 1 項所述之壓電揚聲器，更包括一密封物，以密合該振膜與該框架。

5、如申請專利範圍第 4 項所述之壓電揚聲器，其中該密封物係為膠帶。

6、如申請專利範圍第 1 項所述之壓電揚聲器，其中該振膜之材質係為聚對苯二甲酸二乙酯(PET)、聚碳酸酯樹脂(PC)、碳纖維、金屬、紙或玻璃纖維等。

7、如申請專利範圍第 1 項所述之壓電揚聲器，其中該壓電片之材質為銦鈦酸鉛(PZT)。

8、如申請專利範圍第 7 項所述之壓電揚聲器，其中該壓電片之壓電係數係為 d_{33} 。

9、一種壓電揚聲器之最佳化設計方法，其步驟包括：

根據有限元素法搭配能量法，建立一壓電揚聲器之一數學模型，其中該壓電揚聲器之一框架，其上設至少一壓電片，該壓電片向該框架內延

伸，並透過至少一墊塊連接一振膜，使其位於該框架內，且該數學模型包括至少一可變參數，並由該數學模型計算該壓電揚聲器之聲壓負載；

根據模擬退火法，對該可變參數進行最佳化求解程序；以及

獲得最佳化的該可變參數，其對應具有最佳聲壓負載的該壓電揚聲器。

10、如申請專利範圍第 9 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中該可變參數係包括該邊框、該墊塊、該壓電片與該墊塊四者之相對位置、大小、材料密度或位移情況。

11、如申請專利範圍第 9 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中根據該有限元素法搭配該能量法，建立該壓電揚聲器之該數學模型之步驟，更包括：

建立該有限元素法之型函數，與該振膜、該壓電片或該墊塊之位移之關係式，並且計算該振膜、該壓電片及該墊塊之動能與位能；

利用該等型函數離散化該振膜、該壓電片與該墊塊至複數個單一元素，進而組成一系統剛性矩陣及一系統質量矩陣；以及

運用拉格朗治方程式(Lagrange equation)推導出該壓電揚聲器之該數學模型。

12、如申請專利範圍第 11 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中該聲壓負載為下列矩陣表示：

$$\mathbf{E} = j \frac{\rho_0 c_s k A_e}{2\pi} \begin{bmatrix} \frac{e^{-jkr_{11}}}{r_{11}} & \frac{e^{-jkr_{12}}}{r_{12}} & \dots & \frac{e^{-jkr_{1n}}}{r_{1n}} \\ e^{-jkr_{21}} & e^{-jkr_{22}} & \dots & e^{-jkr_{2n}} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{e^{-jkr_{m1}}}{r_{m1}} & \frac{e^{-jkr_{m2}}}{r_{m2}} & \dots & \frac{e^{-jkr_{mn}}}{r_{mn}} \end{bmatrix};$$

其中 E 為該聲壓負載， r_{mn} 為每該元素至麥克風之距離， n 與 m 為正整數， A_e 為每該元素之面積， P_{far} 為聲壓向量。

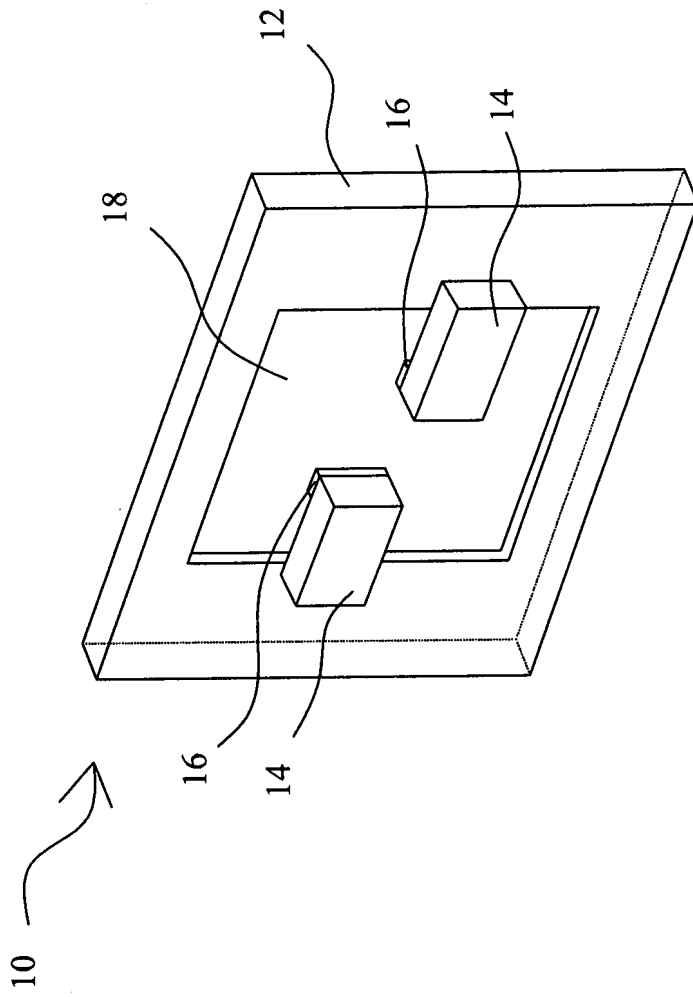
- 13、如申請專利範圍第 9 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中根據該模擬退火法，對該可變參數進行最佳化求解程序之步驟，更包括：設定一退火過程；
- 啟動該退火過程，根據一目標函數或一變動成功機率，決定新解是否取代舊解為現任較佳解；以及
- 結束該退火過程。
- 14、如申請專利範圍第 13 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中設定該退火過程之步驟中，係包括設定退火初始溫度、最終溫度、退火速度或該可變參數。
- 15、如申請專利範圍第 13 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中以該變動成功機率 $\exp(-\Delta/T)$ 是否大於 τ ，來決定一新解是否取代一舊解為現任解，其中 Δ 為該新解的目標函數值與該舊解的目標函數值之差值，且 τ 為一在 $[0,1]$ 區間之隨機數目， T 為退火溫度。
- 16、如申請專利範圍第 13 項所述之壓電揚聲器之最佳化設計方法，其中該

目標函數：

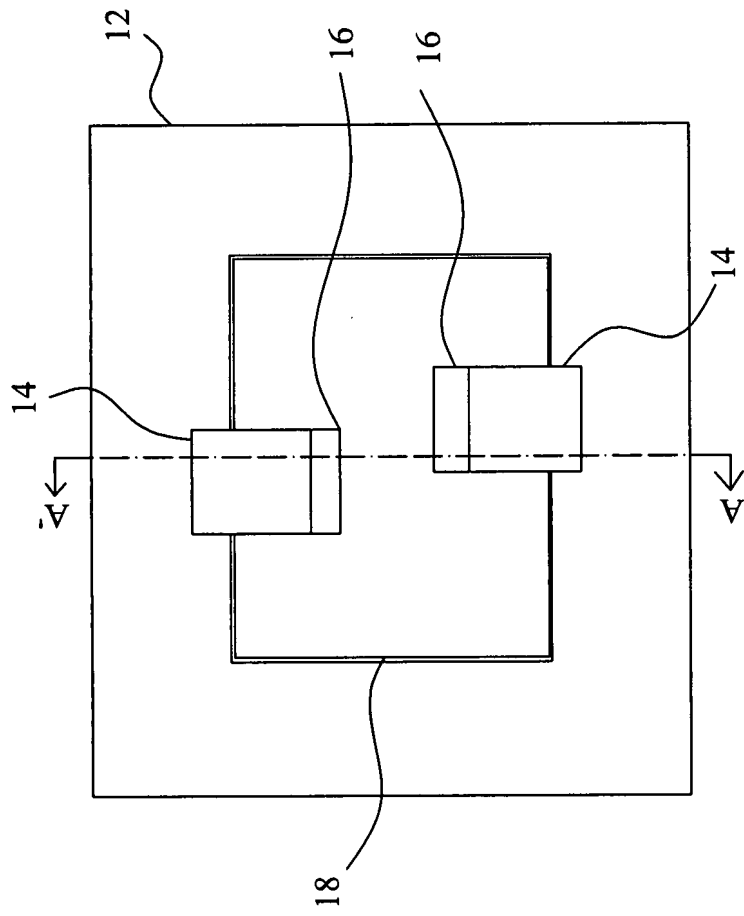
$$J = \frac{10^{(P_{avg} - 94)/20}}{f_0} \times 10000 ;$$

其中， f_0 為聲壓大於 40dB 之基頻， P_{avg} 為大於 f_0 以上之平均聲壓。

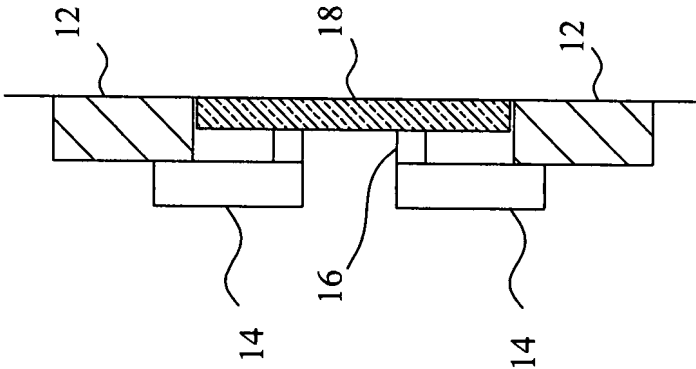
八、圖式：



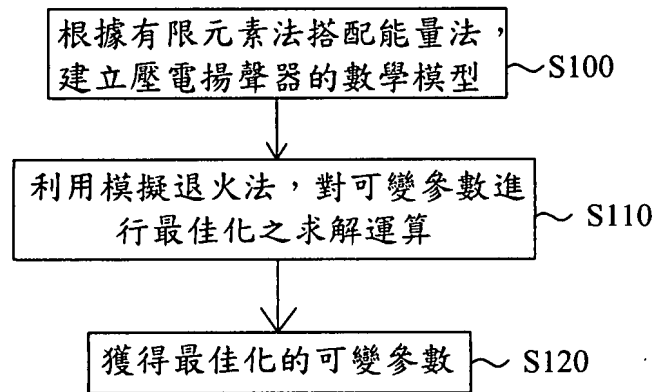
第1圖



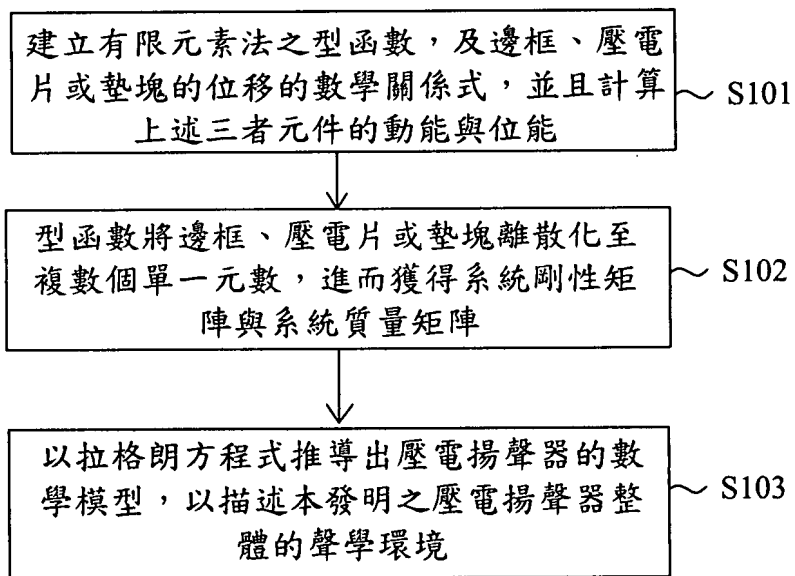
第2圖



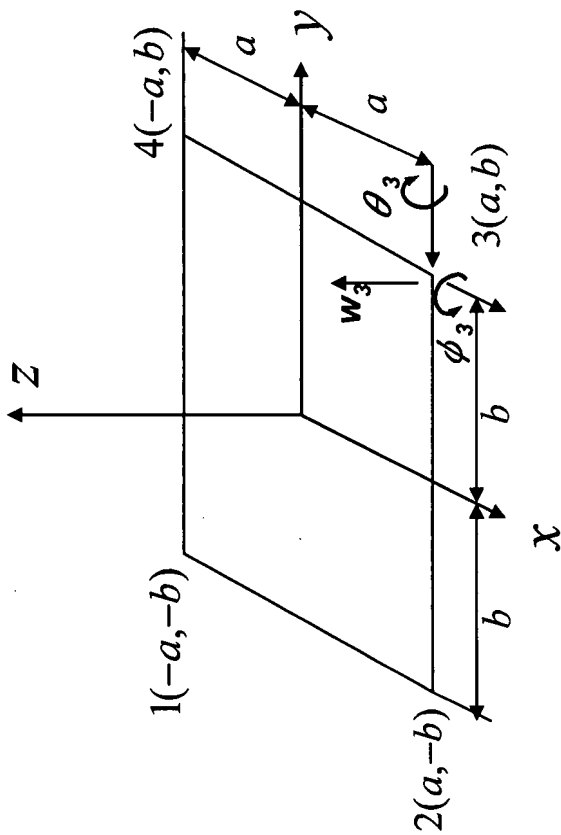
第3圖



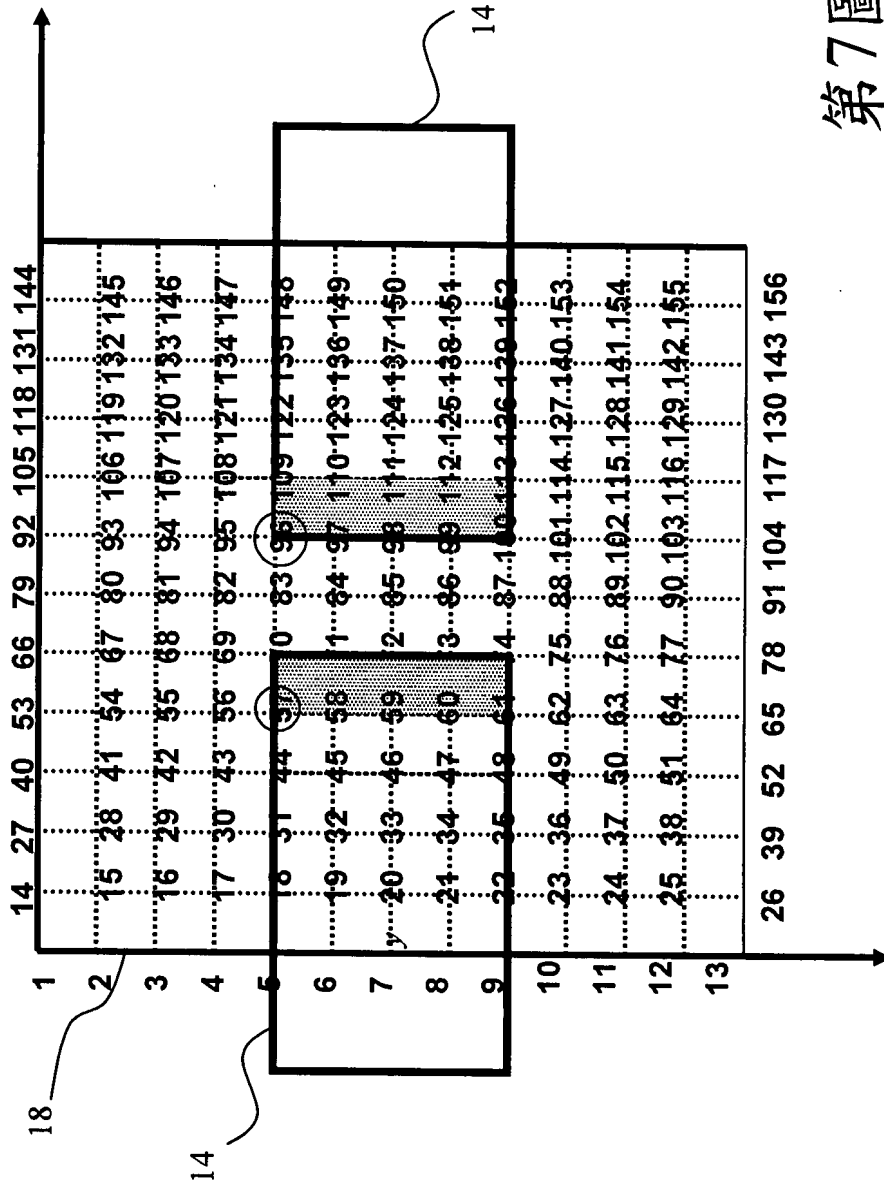
第4圖



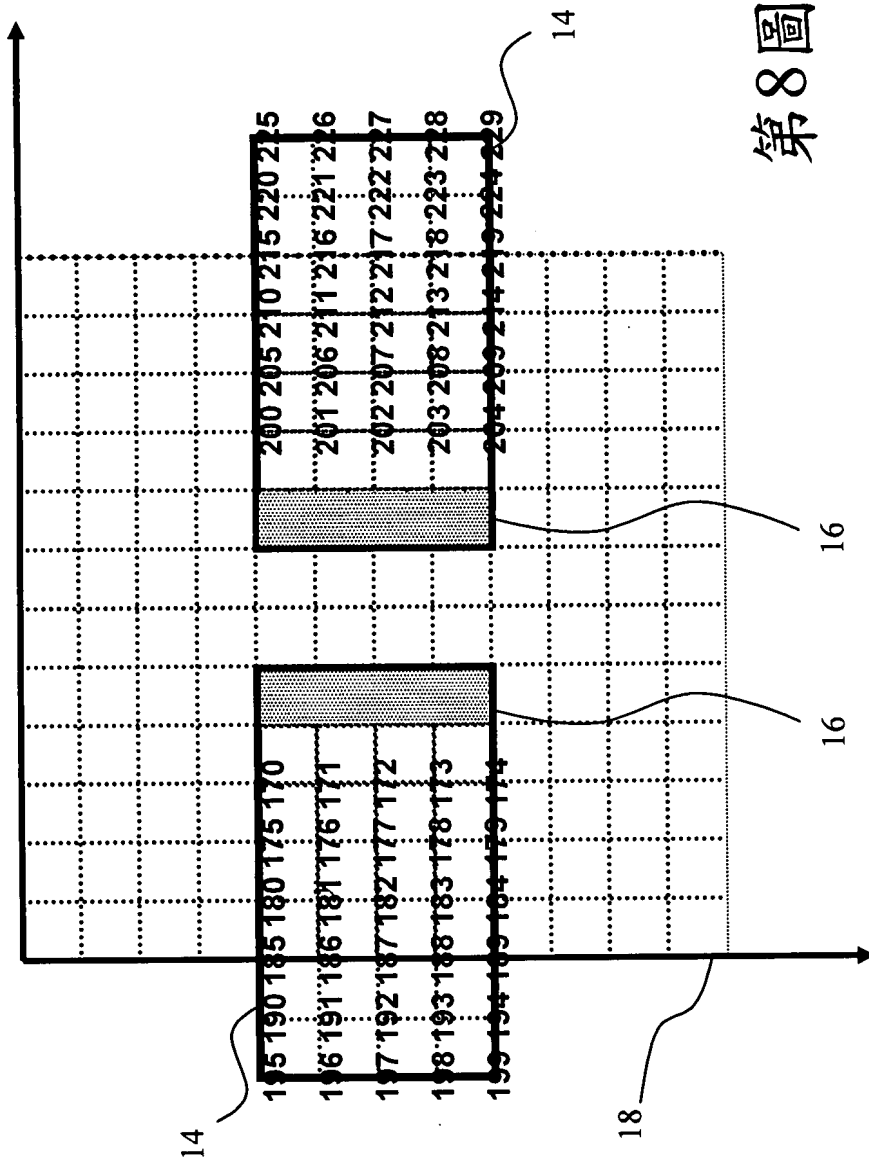
第5圖



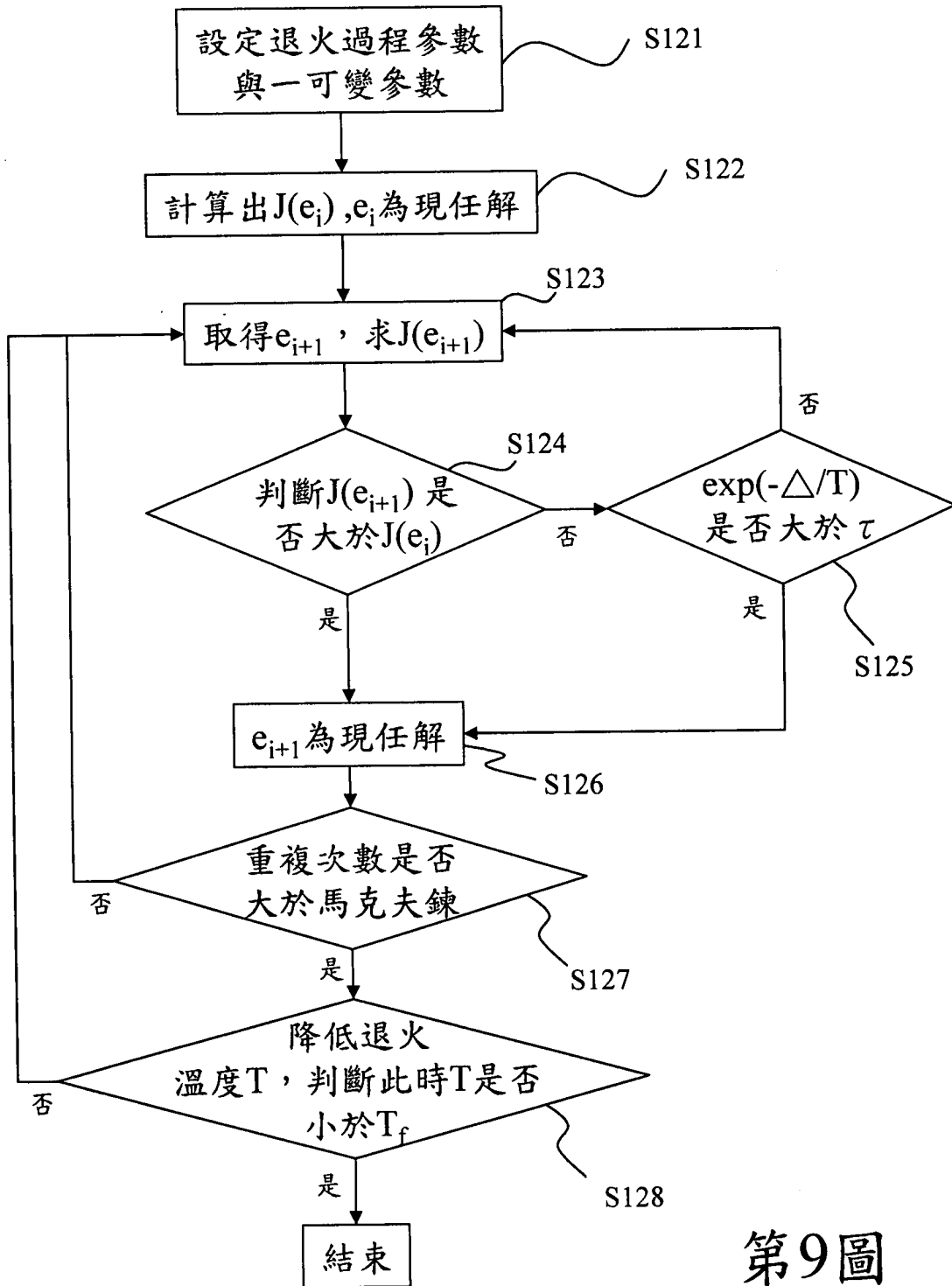
第6圖



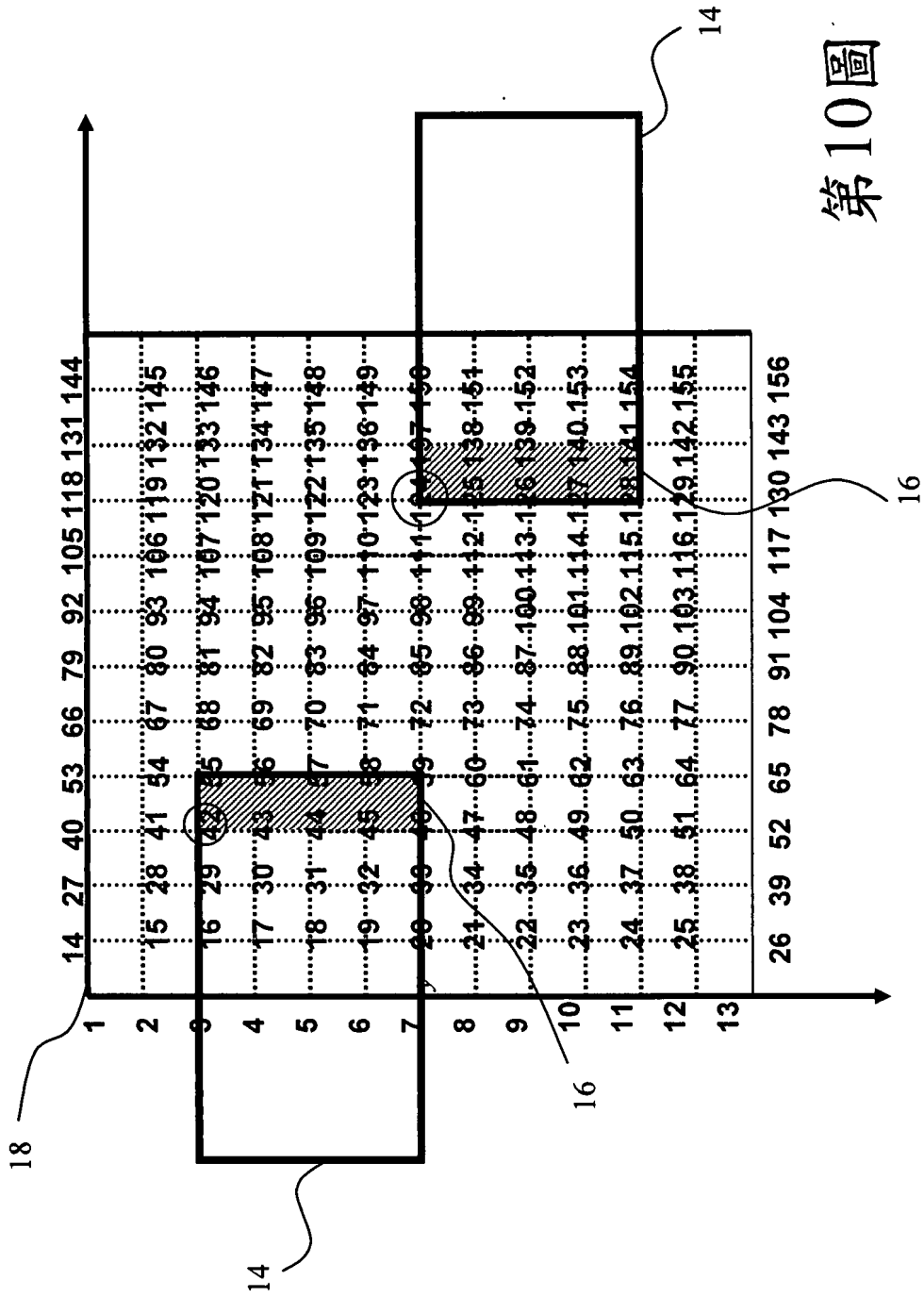
第7圖



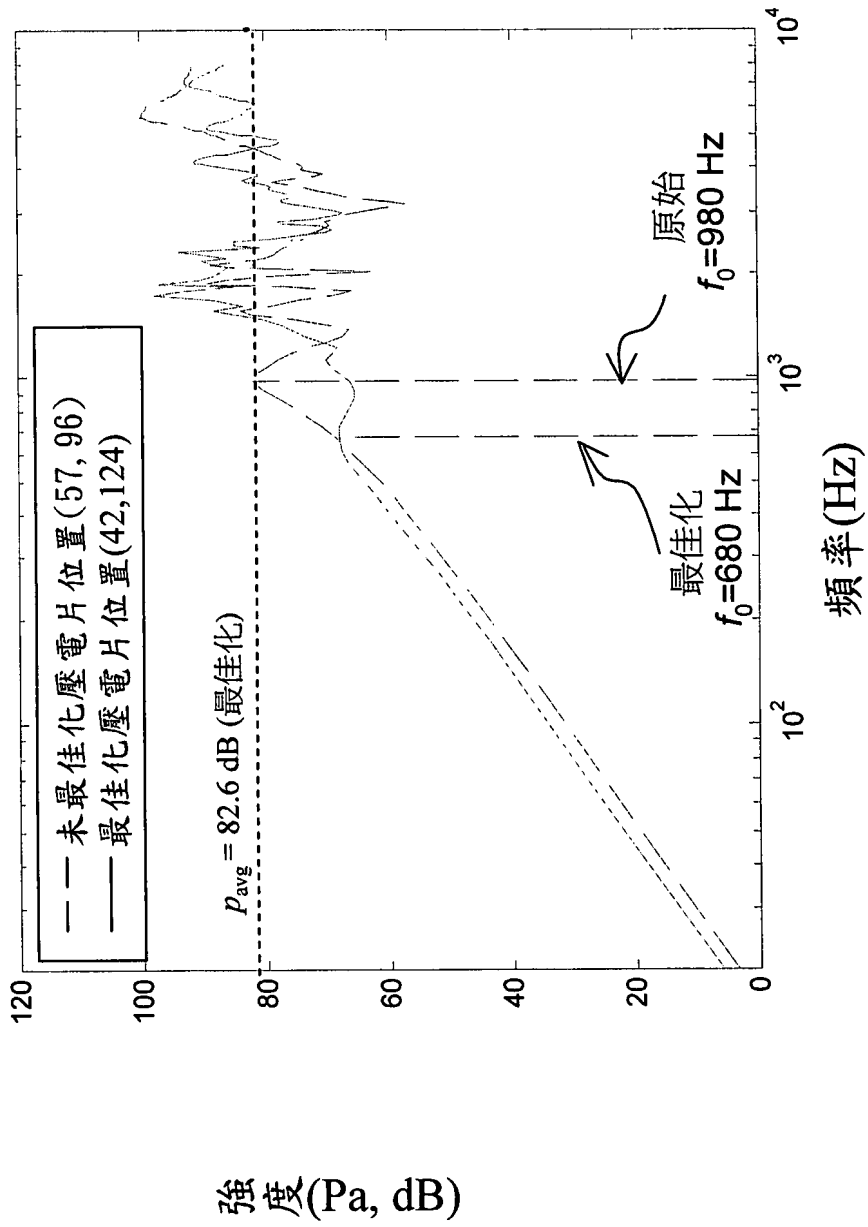
第8圖



第9圖



第10圖



第11圖