

可變頻高感度矽晶麥克風

蘇茂舜¹ 郭宗德² 蕭清松³

¹電子所 副工程師 ²電子所 研究員 ³能資所 研究室主任

單位名稱：工業技術研究院

地址：新竹縣竹東鎮中興路4段195號11館

電話：(03)5912248 Fax：(03)5820379

E-mail：mssu@itri.org.tw

摘 要

本論文係探討以微機電製程，製作一個可變頻高感度的凝縮式矽晶麥克風，本技術結構的特點在於麥克風下電極板的外環加偏壓後，可將上電極板往下拉，於是頻帶以及截止頻率為可調的，而由於外環的偏壓，使得上電極板本身的邊界條件改變，可以符合低頻的需求。

This paper discusses about using MEMS process to make a variable frequency and high sensitivity condenser microphone. The distinguishing feature of this technique is applying a bias voltage on the outer-ring of the lower electrode plate, thus making variable frequency bandwidth and cut-off frequency. The bias voltage of outer-ring also can change the boundary condition of upper electrode plate, so that this can satisfy the low frequency requirements.

關 鍵 字：1.凝縮式麥克風 2.頻率響應 3.薄膜張力

Keywords：1. Condenser Microphone 2.Frequency response 3.Membrane stress

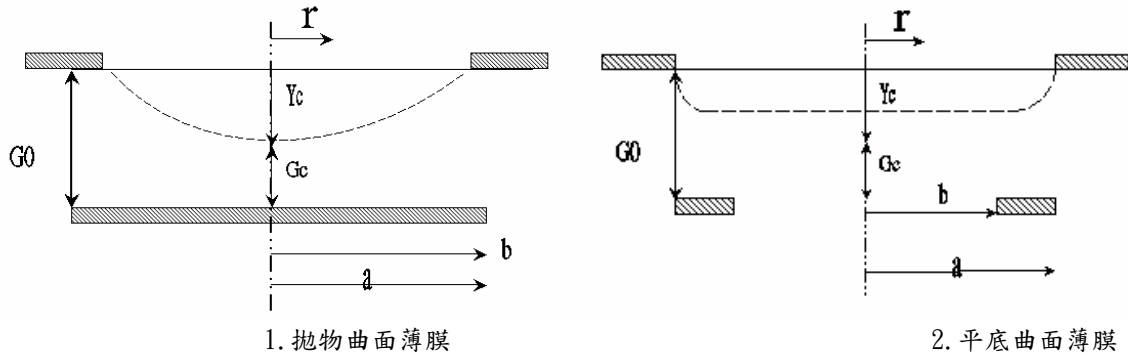
壹、前言

人耳對聲音的反應，僅拘限在某一頻率範圍，經由麥克風則可以感測到不同頻率範圍的聲音。市面上常見的傳統式麥克風，無法偵測較為低頻的聲音，例如：機器的低頻震動、心臟瓣膜的閉合聲、血液於血管之紊流聲以及骨骼摩擦韌帶的聲響。利用微機電系統技術所製作之矽晶麥克風，有別於傳統式麥克風，可大幅降低成本、微小化及提升靈敏度，進而增加麥克風在工業、醫療、環保等領域的應用，矽晶麥克風大致可分為壓電式、壓阻式及電容式麥克風三種。其中，電容式矽晶麥克風，因具有較高的靈敏度與較低功率消耗，已成為目前發展的主流。

本文探討一種可變頻高感度矽晶電容麥克風，具有可調整偵測頻帶範圍的功能，也可用於偵測物理界的低頻訊號，並藉由薄膜與背板接觸面的增加及偏壓下的扁平形狀，可達成以下的優點：1. 電容值增加且可變 2. 靈敏度變好 3. 均勻的頻率響應 4. 基頻變低且為可變 5. 截止頻率降低且可變 6. 結構外型設計較簡單。

貳、原理

一、拋物面靈敏度分析



Y 是薄膜形成拋物面曲線的路徑方程式，Yc 是薄膜中心最大位移量

$$\frac{Y}{Y_c} \Big|_{b=a} = 1 - \frac{r^2}{a^2} ; \quad Y_c \Big|_{b=a} = \frac{pa^2}{4\delta t}$$

$$p = \frac{F_v}{\pi b^2} ; \quad F_v = \frac{1}{2} V^2 \frac{\epsilon A}{G_c^2}$$

b：背板半徑 a：薄膜半徑 Gc：薄膜中心與背板距離 p：單位面積靜電力
δ：張力 t：薄膜厚度 A：面積 Fv：靜電力 G0：兩板間距

由於薄膜形成拋物面曲線，所以薄膜有效面積(Effective Area) $S = \frac{1}{2} \pi a^2$

$$\text{所以由聲壓產生的電容變化量} \quad C_{t0} = \frac{\epsilon A}{G_0 - Y_c} \frac{1}{2} = \frac{\epsilon A}{G_0 - \frac{pa^2}{4\delta t}} \frac{1}{2}$$

系統轉移函數為

$$M_e = \left| \frac{e_{0c}}{y} \right| = \frac{E_0}{h} \left[1 + \frac{C_i + C_s}{C_{t0}} \right]^{-1} = \frac{E_0}{h} \frac{C_{t0}}{C_{t0} + C_i + C_s}$$

Ci：前置放大器輸入電容； Ct0：聲壓產生的電容變化量；Cs：雜散電容
此系統可看成一高通濾波器形式，所以由頻率響應可知截止頻率

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (R = R_c // R_i \quad C = C_{t0} + C_i + C_s)$$

Ri：前置放大器內阻；Rc：麥克風內阻

$$\text{而薄膜的基頻} \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_{ME} M_{ME}}}$$

Cme：有效機械容值； Mme：有效質量

$$M_{ME} = \frac{1}{2} \pi a^2 \rho t \quad \rho：薄膜密度$$

二、平底曲面靈敏度分析

$$Y = \frac{pb^2}{2\sigma t} \ln r - \frac{p}{2\sigma t} \frac{1}{2} r^2 - \frac{pb^2}{2\sigma t} \ln a + \frac{p}{2\sigma t} \frac{1}{2} a^2 = \frac{p}{4\sigma t} (a^2 - b^2)$$

$$Y_c \Big|_{r=b} = \frac{p(a^2 - b^2)}{4\delta t}$$

有效面積 $S = \frac{1}{2}\pi b^2$ (若 $b/a=0.95$ 則 $S = 0.9025\pi a^2$)

所以由聲壓產生的電容變化量 $C_{t0} = \frac{0.9025\epsilon A}{G_0 - Y_c} = \frac{0.9025\epsilon A}{G_0 - \frac{p}{4\sigma t}(a^2 - b^2)}$

比較有無外環時的方程式可知，分母越小越好，所以：

$$G_0 - \frac{p}{4\sigma t}(a^2 - b^2) < G_0 - \frac{pa^2}{4\delta t}$$

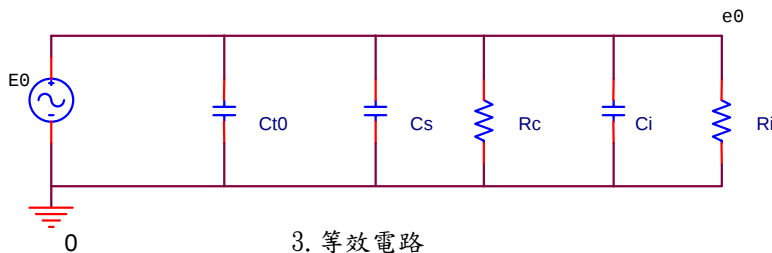
$$\Rightarrow V_1^2(a^2 - b^2) > V_2^2 a^2$$

V_1 為外環極化電壓， V_2 為內環感測電壓

系統轉移函數為

$$M_e = \left| \frac{e_{0c}}{y} \right| = \frac{E_0}{h} \left[1 + \frac{C_i + C_s}{C_{t0}} \right]^{-1} = \frac{E_0}{h} \frac{C_{t0}}{C_{t0} + C_i + C_s}$$

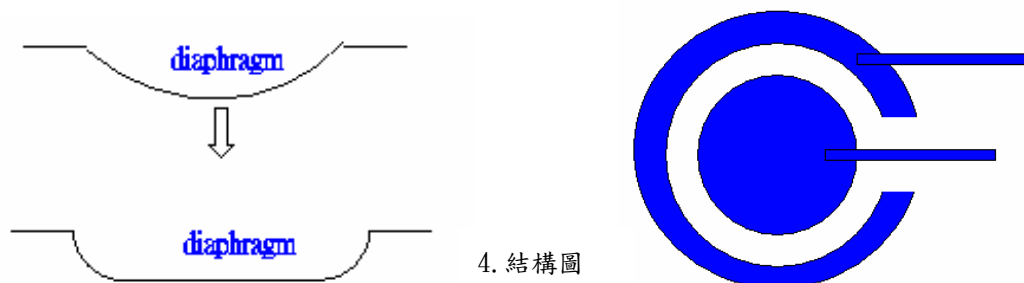
$$M_{ME} = 0.9025\pi a^2 \rho t$$



參、製作程序

一、結構設計

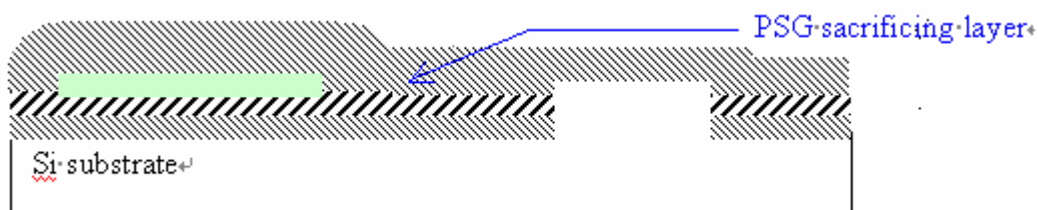
此電極板結構如下圖所示，而下電極板分為外環及感測電極板，當外環有一外加偏壓時，會使得上電極板往下運動，所以 C_{t0} 值可因外加偏壓大小而變動，所以 $C_t(t)$ 也會因為外加偏壓大小而變動，有了外框， C_{t0} 才能增加，截止頻率才會變低，所以頻寬變寬。



4. 結構圖

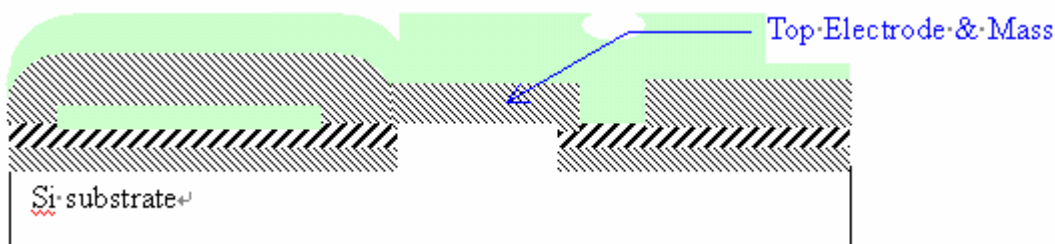
二、製作流程

1. 洗淨，以 LPCVD 法成長 $\text{SiO}_2(1\mu\text{m})$ ，做為絕緣層。
2. 以 LPCVD 法成長 $\text{SiN}(1000\text{\AA})$ ，做為保護層。
3. 開洞保護層，以利未來蝕刻犧牲層。
4. 以 LPCVD 法成長 POCl_3 -doped POLY($2\mu\text{m}$)，做為 PAD 下電極板。
5. Mask1 微影及 ECR poly-Si etching 定義 PAD 及下電極板。
6. 以 LPCVD 法成長 PSG($3\mu\text{m}$)，做為犧牲層。



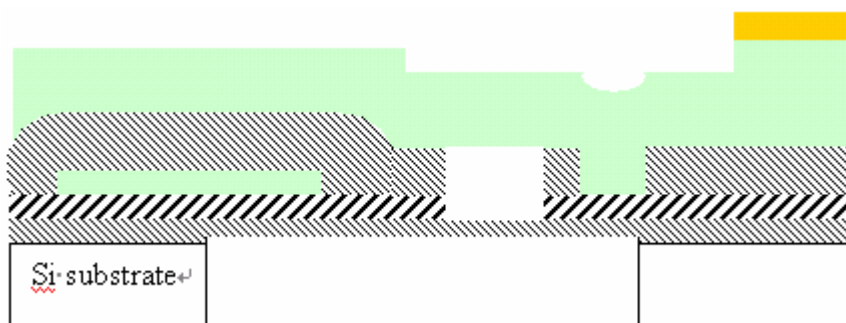
5. 以 LPCVD 法成長 PSG($3\mu\text{m}$)，做為犧牲層

7. Mask2 微影及 PSG etching 定義上電極板支撐柱。
8. 以 LPCVD 法沈積 POCl_3 -doped POLY($3\mu\text{m}$)，以做為支撐柱及上電極及質量塊。



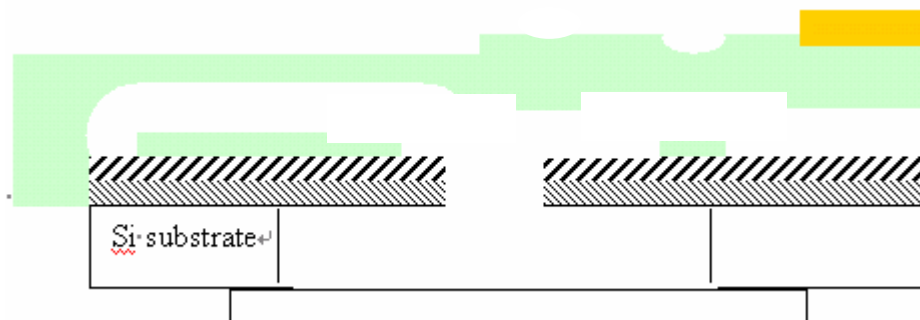
6. 以 LPCVD 法沈積 POCl_3 -doped POLY($3\mu\text{m}$)，以做為支撐柱及上電極及質量塊

9. Mask3 微影及 ECR poly-Si etching 定義上層電極板及犧牲層蝕刻孔。
10. Mask5 微影及 Lift-off 製程定義金屬打線處。
11. 背後晶片蝕刻。



7. Mask5 微影及 Lift-off 製程定義金屬打線處

12. 以 BOE 溶液去除 PSG 犧牲層，打線及封裝。



8. 以 BOE 溶液去除 PSG 犧牲層，打線及封裝

肆、結 論

本論文設計之麥克風，主要為心音聽診器之用途，心音之頻率範圍主要在 20~2KHz，有別於一般人耳用途之麥克風 100~20KHz。而以 MEMS 技術開發的麥克風，因其量產容易及微小化之特點，將可能成為未來市場主流。本論文跳脫一般傳統的麥克風設計方向，大膽的創新思考，也佐以理論的公式推導，及實際的製程設計，開發一種低頻用途的可變頻矽晶麥克風。本設計未然完美，仍留有許多改進的空間，值得我們再努力。

伍、參考文獻

1. J. Bergqvist and F. Rudolf, A new condenser microphone in Silicon, Sensors and Actuators, A21-A23 (1990).
2. P.R. Scheeper, A.G.H. van der Donk, W. Olthuis, and P. Bergveld, A review of silicon microphones, Sensor and Actuators A, vol.44, pp1-11 (1994).
3. Q. Zou, Rongming Lin, Jianmin Miao, Silicon condenser microphone using corrugated diaphragm technique, J. Microelectro-mech. Syst. 5 (3)197-204 (1996).
4. Q. Zou, Rongming Lin, Jianmin Miao, Longqing Chen, Design considerations in micromachined silicon microphones, Microelectronic J. 33, 21-28 (2002).
5. W. J. Wang, R.M. Lin, Q.B. Zou and X.X. Li, Modeling and characterization of a silicon condenser microphone, J. Micromech. Microeng., 14, 403-409 (2004).