

CMOS微麥克風及感測電路之設計

DESIGN OF CMOS MEMS MICROPHONE AND SENSING CIRCUIT

指導教授:盧向成

組別:B125

組員:黃子軒

Abstract

在 Covid-19 的肆虐下，居家辦公已漸成為這時期許多人的工作型態，視訊時的音質因此受到重視。在科技發展越發蓬勃之時，更強大的演算法和更高效能的麥克風，為我們的生活帶來更多的便利。

MEMS，即微機電系統，是採用積體電路製程批量生產的概念所實現的微型化機電系統。MEMS 的優點如下:尺寸小、精度高、製程整合能力佳、對周圍環境干擾有更好的抑制能力、可大量製造並能維持均一品質，達到降低成本。MEMS 麥克風的發展逐漸取代傳統的駐極體電容式麥克風(ECM)。

在這專題裡我遍覽許多paper，去了解MEMS麥克風的元件構造、製程方法以及學習感測電路的架構。

MEMS電容式麥克風的構造與原理

電容式麥克風的構造，通常是由一層較薄且低應力的振膜，另以一較厚的多孔結構的背板，形成一組以空氣作為介電層的微電容器構造。背板為多孔結構，其目的是確保空氣的流通。

當聲壓造成振膜產生位移時，背板上會有電極，感測結構電容值的變化，透過前端電路進而造成電壓變化，再經由放大器將輸出的訊號提升到一定程度。

MEMS電容式麥克風的性質

- 振膜的直徑越大，同聲壓下，位移越多，靈敏度也越高。
- 位移變化率超過33%，則會發生吸附現象，造成結構的永久性破壞。
- 在振膜上做通氣孔的設計，能降低阻尼，做到改善感測度和頻率響應。
- 想讓振膜更有彈性，可以在振膜周圍做出彈簧的設計。在MEMS麥克風裡，當微結構運動時，與周遭的流體作用下，會得到來自流體的阻力。因為在MEMS裡(微米的尺度下)面積力是一個重要的因素，需要考慮到空氣阻尼(流體)的影響，稱為squeeze film damping效應。

麥克風的動態方程式：

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{m_{eff}s^2 + b_{sq}s + k + k_{sq}}$$

m_{eff} 為麥克風質量， b_{sq} 為考慮squeeze film damping效應修正後的damping coefficient， k 為結構本身的K值， k_{sq} 為考慮squeeze film damping效應等效出的空氣彈簧的K值。

麥克風的感測電路

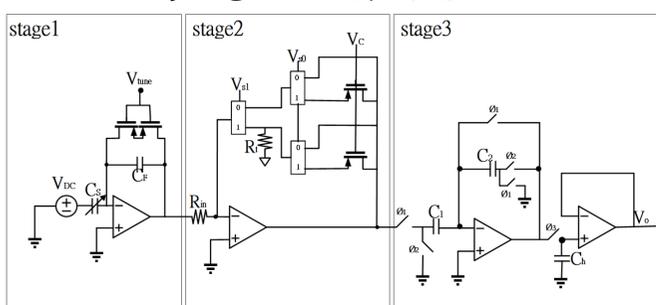
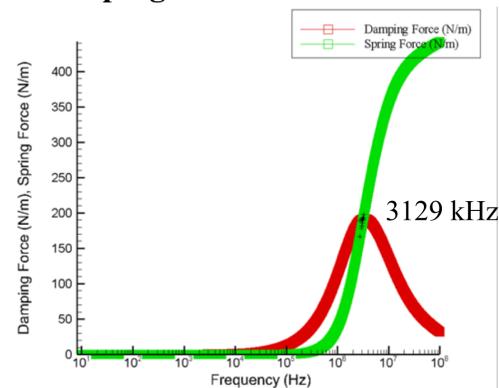


圖1 電容式麥克風的感測電路[1]

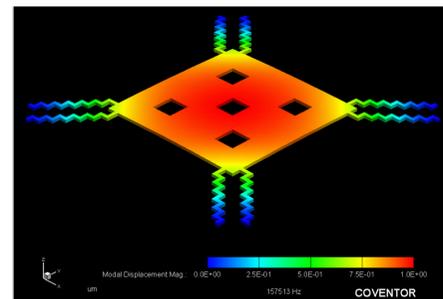
圖1 是實驗室的學長的碩論裡面所設計的感測電路，Stage 1為前端放大器，當感測電容 C_S 受聲壓造成電容值變化，第一級的輸出端會產生電壓訊號。Stage 2為增益放大器，可視作電阻式負回授，負回授上的電阻能藉由 V_{s1}, V_{s0} 去選擇4種不同的電阻大小，達成4種增益大小。Stage 3先經過一個開關電容電路，可以消除flicker noise, voltage offset，最後再透過取樣保持電路取回連續的訊號。[1]

實驗結果

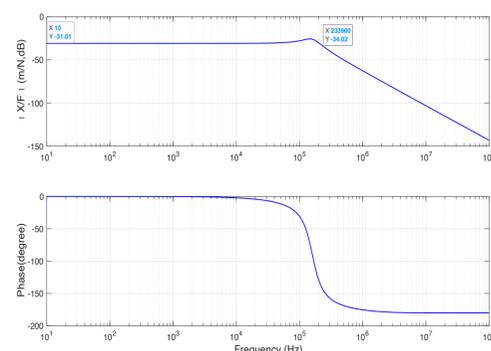
- 無挖洞振膜且間隙為 $0.64\mu\text{m}$ 的squeeze-film damping模擬：截止頻率=63 kHz
- 挖了5個 $14*14\mu\text{m}^2$ 方形洞的振膜且間隙為 $0.64\mu\text{m}$ 的squeeze-film damping模擬：截止頻率=375 kHz
- 挖了5個 $14*14\mu\text{m}^2$ 方形洞的振膜且間隙為 $2\mu\text{m}$ 的squeeze-film damping模擬：截止頻率=3129kHz，如下圖：



挖了5個 $14*14\mu\text{m}^2$ 方形洞的振膜且間隙為 $2\mu\text{m}$ 的機械模態的模擬：機械振頻=157513 Hz



挖了5個 $14*14\mu\text{m}^2$ 方形洞的振膜且間隙為 $2\mu\text{m}$ 的結構，考慮squeeze-film damping後，頻率響應的模擬：



結論

當振盪頻率為低頻時，氣體容易從平板間逸散出去，主要影響的因素為阻尼力，我們希望能將機械振頻的大小設計在阻尼力還沒顯著上升的頻段，方法就是讓squeeze-film damping效應的截止頻率提升，將圖形右移，所以必須讓氣體逸散的情形變大，經過模擬，在振膜上挖洞和增加平板間隙大小，能達到效果，不過會伴隨電容值的下降。

Reference

- [1] 廖時新, "CMOS電容式微麥克風之設計與製作", 清大電子所畢業碩論, 2012