

CMOS 微麥克風及感測電路之設計

Design of CMOS MEMS Microphone and Sensing Circuit

組別：B125 組員：黃子軒

指導教授：盧向成教授

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，語音個人助理(VPA)因為更好的訊號雜訊比(SNR)，才能在吵雜的環境中，準確地擷取使用者的人聲；耳機的主動降噪、通透模式，除了演算法的功勞，麥克風的進步更是至關重要。

MEMS 麥克風在目前市場中需求數量成長快速、營收表現亮眼。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、製程方法以及感測電路的架構，並設計了運用於實驗室的電路架構裡的運算放大器。

Introduction

1. 電容式麥克風的構造與原理：

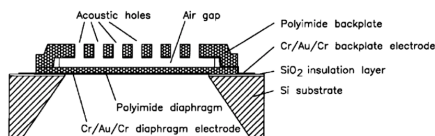


圖 1 電容式麥克風的結構[1]

圖 1 為電容式麥克風的構造，通常是由一層較薄且低應力的振膜(diaphragm)，另以一較厚的多孔結構的背板(backplate)，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。

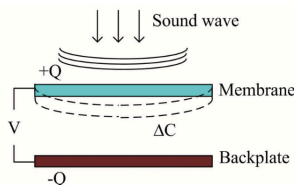


圖 2 電容式麥克風的感測原理[2]

其原理如圖 2，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。

2. 電容式麥克風的性質：

- a. 振膜的直徑越大，同聲壓下，位移越多，靈敏度也越高。
- b. 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。
- c. 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。
- d. 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。

在實驗室裡會使用 CoventorWare 去完成結構的 layout，來得到出 damping force 和 spring force，計算出用於動態方程式的修正參數，並利用 Matlab 對動態方程式進行作圖。

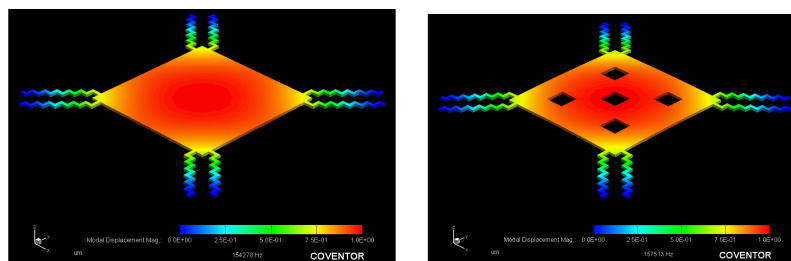


圖3 (左)100*100 μm^2 無挖洞的彈簧之麥克風結構

圖4 (右)100*100 μm^2 挖5個14*14 μm^2 方形洞的彈簧之麥克風結構

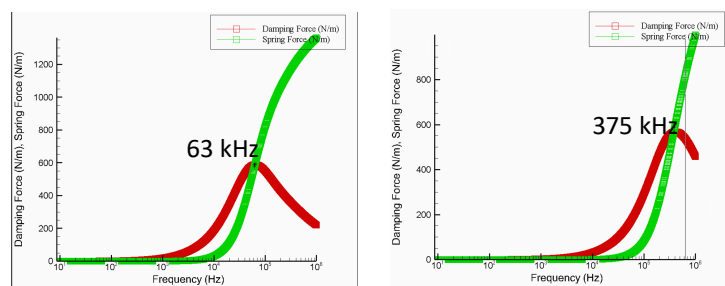


圖5 (左)無挖洞振膜,間隙為0.64 μm 的 squeeze-film damping 模擬

圖6 (右)挖了5個14*14 μm^2 方形洞的振膜,間隙為0.64 μm 的 squeeze-film damping 模擬

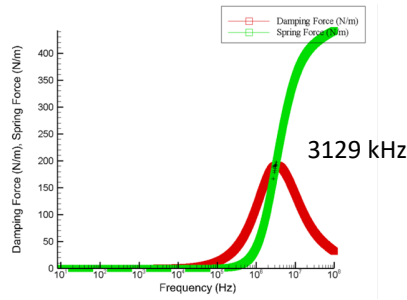


圖7 挖了5個 $14 \times 14 \mu\text{m}^2$ 方形洞的振膜,間隙為 $2 \mu\text{m}$ 的squeeze-film damping模擬
我們希望能將機械振頻的大小設計在阻尼力還沒顯著上升的頻段，方法就是讓squeeze-film damping效應的截止頻率提升，將圖形右移，所以必須讓氣體逸散的情形變大，而挖洞和增加平板間隙是能達成的方法。

3. 設計之運算放大器：

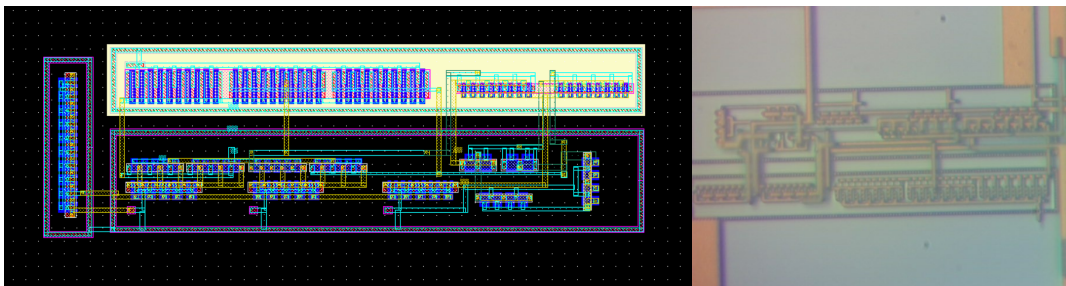


圖 8 我設計之運算放大器之佈局

其規格 Gain=62.9dB, Bandwidth=69.6kHz, Phase Margin=43.7

為一 single-ended amp。設計的過程中，考量到 5 個 corner 都能通過，並且要有可以的 output swing，需要在設計及尺寸上花更多時間思考，遠比修課時還不容易。為了達成以上條件，在設計上使用了 Folded cascode，增益大的同時，也有大一點的 swing。

4. 麥克風的感測電路：

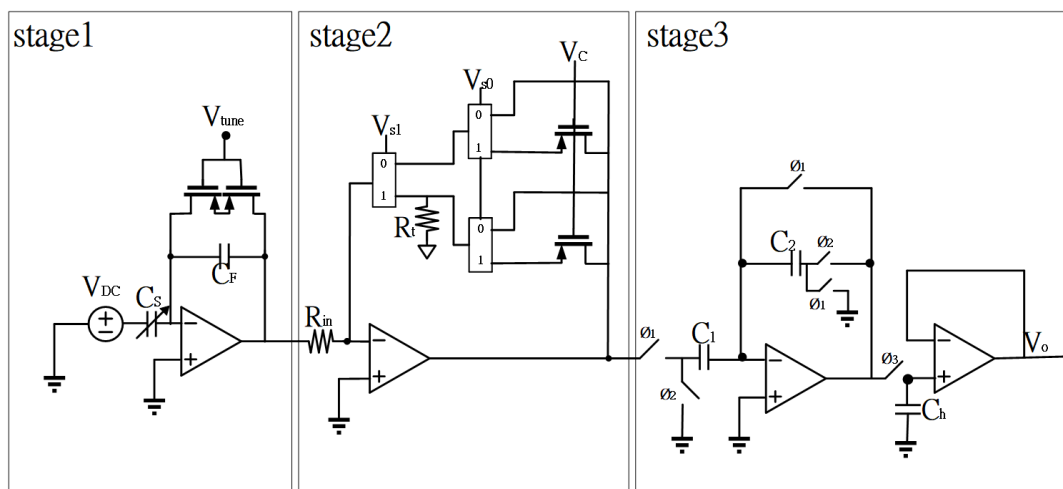


圖 9 電容式麥克風的感測電路[3]

圖 9 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。[3]

心得

在這次的實作專題中，起初對微機電毫不了解的我，透過閱讀文獻學習到了 MEMS 麥克風元件的製程、特性，讀到了不同麥克風的結構設計，元件結構的設計不只材料的考量，還必須考慮到微結構釋放後的殘留應力，也學習到麥克風的感測電路。同時也設計了能用在電路裡的運算放大器，為了達成老師的 spec，進行了多次的模擬，過程中我的電子學的知識得到了成長。感謝老師和實驗室的學長的指導，在我有難以解決的問題時，能為我解答。我也學會了 CAD 的使用，完成了佈局及下線。最重要的是我也學習到了以閱讀文獻去得到新知、解決問題。

Reference

- [1] M. Pedersen, W. Olthuis, and P. Bergveld, "High-performance condenser. microphone with fully integrated CMOS amplifier and DC-DC voltage converter," J. Microelectromech. Syst., vol. 7, no. 4, pp. 387–394, Dec. 1998.
- [2] 呂如梅, "微機電麥克風技術簡介," 國家奈米元件實驗室奈米通訊 20 卷 4 期 (2013 / 12 / 01)
- [3] 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