

文章编号: 1005—8893 (2003) 04—0044—03

侧孔式微型传声器设计及模拟

袁宁¹, 李 格², 李金华¹, 何云松²

(1. 江苏工业学院 信息科学系, 江苏 常州 213016; 2 江苏工业学院)

摘要: 提出了一种新的微型传声器电容结构, 即侧孔式微传声器。侧面开孔一方面降低了振膜的初始应力, 提高振膜的机械灵敏度。另一方面, 侧面开孔可以减小气流阻力, 提高微传声器的频率宽度, 同时避免了背孔结构可能带来的“软背极板”效应。使用有限元分析软件 ANSYS 和 MATLAB 软件对侧孔式微传声器的机械灵敏度和频率响应进行了理论模拟。

关键词: 微传声器; 侧孔式结构; 机械灵敏度; 频率响应

中图分类号: TP 212.1; TM 22.1 **文献标识码:** A

微传声器是将声能转换成电能的微型换能器件, 根据不同的工作原理, 目前正在研制的微传声器主要分为压电式、压阻式和电容式几种^[1]。Hohm 和 Gerhard—Multhanpt 在 1984 年首次报道了建立在硅技术基础上的电容式微声压传感器, 由于它的灵敏度高, 因而发展很快, 成为硅微声压传感器的常用形式。

灵敏度和频率带宽是麦克风的两项重要性能指标。声学振膜材料的选择将直接影响传声器的性能。人们采用不同的方法制备微传声器时, 选用了不同的膜材料, 如氮化硅, 多晶硅和聚酰亚胺等。薄膜的应力会导致薄膜的机械灵敏度降低。为了降低薄膜的应力, 采用了多种方法, 例如在多晶硅中注硼, 然后再进行 1 050 ℃ 的高温后处理, 制备出剩余应力低于 20 MPa 的振膜^[1], 还有的采用纹膜结构来降低应力^[2]。另外有报道利用在声学膜上开出裂缝的方法来降低振膜的应力。

随着麦克风尺寸的缩小, 背极板和振膜之间的空隙中的气流将直接影响微麦克风的上限截止频率, 为了减小气流阻力, 必须在背极板上开大量的声学孔, 如图 1 所示, 声学孔的存在虽然在一定条件下增大了麦克风的频带, 但同时降低了背极板的刚度, 形成所谓“软背极板”, 影响麦克风的动态

特性。所以我们设计了一种在侧面开孔的电容式麦克风。侧面开孔既可以降低振膜的初始应力, 提高振膜的机械灵敏度。同时也可以减小气流阻力, 提高微传声器的频率宽度, 还避免了背孔结构可能带来的“软背极板”效应。

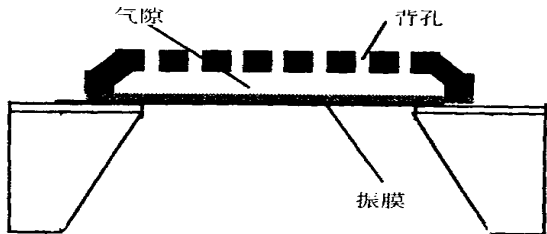


图 1 背孔式电容结构

1 电容微传声器的侧孔式结构

电容式麦克风的工作原理: 背极板和麦克风振膜共同组成一个平行板电容。如果在背极板和振膜之间加上一定的电压, 振膜在声压的作用下产生位移, 改变了两极板之间的电容, 这变化的电容信号经前置放大器放大, 产生一个与声信号成正比的电输出。图 1 是经常采用的背孔式电容结构。图 2 是我们设计的侧孔式电容结构。振膜是四边形的, 边长为 a , 由四个角支撑, 侧孔宽度为 b 。在制备侧

* 收稿日期: 2003—09—03

基金资助: 江苏省高校自然科学基金计划项目 (02KJB140003)

作者简介: 袁宁— (1966—), 女, 江苏南京人, 副教授, 主要从事功能薄膜材料和非常态器件研究。

孔式电容结构时, 振膜要控制在支撑的拐角之内, 如图 2 所示, 这样能保证振膜是四边形的, 不会改变方形膜的振动模式。

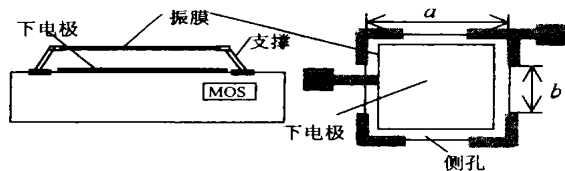


图 2 侧孔式电容结构

2 模拟

麦克风的性能依赖于振膜的大小和应力, 气隙和偏压。在麦克风等电声器件中, 由于所涉及的尺寸比声波波长小很多, 声学部分可以用集总参数声学线路(声—电类比)进行描述。在声学阻抗型类比线路中, 声压等效为电压, 速度等效为电流, 声质量等效为电感, 声顺等效为电容, 声损耗等效为电阻。侧孔式微麦克风的等效线路如图 3 所示。其中 P 是作用在方形膜上的声压, 辐射声质量 M_r 和辐射声阻 R_r 构成膜的辐射阻抗, C_m 和 M_m 代表振膜的声顺和声质量, C_a 代表背极板的声顺和 R_g 代表气隙声阻。

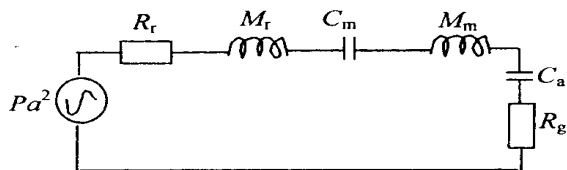


图 3 侧孔式微麦克风的等效线路图

2.1 振膜机械灵敏度

S_m 是振膜的机械灵敏度 $S_m = W/P$, W 是振膜中心面上任一点的挠度, 满足下列方程^[3]:

$$D \nabla^4 + T \nabla^2 W = \rho \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$$

其中 D 是刚度系数, T 是单位长度应力, ρ 是单位面积振膜的质量。

对于具体的结构, 用有限元静力分析求得 S_m 的结果如图 4 所示。其中振膜选择铝膜, 边长 $a = 1 \text{ mm}$, 膜厚 $1.2 \mu\text{m}$, 侧孔尺度 b 分别取 0 mm , 0.6 mm , 0.4 mm 。有限元表明的振膜机械灵敏度与振膜的厚度、面积、侧孔的大小直接有关。

由图 4 可看出, 在同样应力的情况下, 侧孔越大, 振膜的机械灵敏度越高; 对于背孔式结构的麦克风, 振膜的四边是固支的, 相应于图 4 中 $b =$

0 mm 的情况, 振膜的机械灵敏度是最低的。而且对于同样条件下制备的薄膜, 剩余内应力大小相同。在形成电容式结构时, 侧孔开得较大, 对薄膜中的应力释放也有利, 因此可进一步提高了振膜的机械灵敏度。

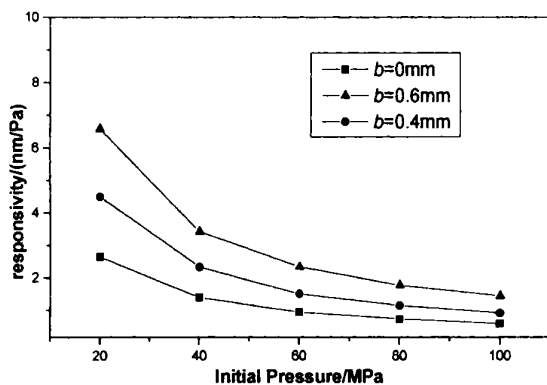


图 4 振膜机械灵敏度

2.2 麦克风的频响

麦克风的响应 $S = \frac{V_0}{P} = \frac{V_b a^2}{j \omega d Z_t}$, 其中 P 是声压, V_b 是两个电极间的偏压, Z_t 是总等效阻抗:

$$Z_t = R_r + j \omega (M_r + M_m) + \frac{1}{j \omega C_m} + \frac{R_g}{1 + j \omega R_g C_a}$$

其中, 振膜等效声质量近似为^[3] $M_m = \frac{\pi^4 \rho a^2 d}{64}$; 振

膜的声顺可根据机械灵敏度算出, $C_m = \frac{S_m}{a^2} = \frac{W}{P a^2}$;

声质量 $M_r = \frac{8 \rho_0 a^3}{3 \pi \sqrt{\pi}}$ 和辐射声阻 $R_r = \frac{\rho_0 a^4 \omega^2}{2 \pi c}$; ρ_0 是

空气的密度, c 是声速, ω 是振动角频率。 R_r 很小, 可以忽略。当振膜的面积一定时, 气隙阻尼 R_g 随侧孔边长增加而减少, 随振膜与背极板之间的距离增加而减少。用 Matlab 模拟^[4] 麦克风灵敏度 S 随频率的变化关系如图 5~图 7, 灵敏度的单位为 dB, $0 \text{ dB} = 1 \text{ V/Pa}$, 模拟中 $V_b = 10 \text{ V}$ 。在低频段气隙中的气流在振动时受到的摩擦很小, 系统的灵敏度由膜的刚度决; 随着振动频率的提高, 气隙阻尼逐渐增大, 灵敏度也随之下落, 系统进入力阻控制区, 如图 5 显示。而且在相同的振膜声顺 C_m 和声阻 R_g 下, 背极板刚度越大, 声顺越小, 谐振峰向高频移动, 对中低频的影响越小。对于侧孔式电容结构, 背极板可视作刚性, 因此完全避免了“软背极板”效应。

图 6 是不同 R_g 下系统的频响, 从图中可看出, 当 R_g 过大时, 频响出现过阻尼, 当 R_g 过小

时又会出现欠阻尼, 由于欠阻尼, 又会在低频段形成共振峰, 影响系统的动态响应。图 7 是不同 C_m 下的频率响应曲线, 随着 C_m 的增加, 高频段的灵敏度下降。为了得到比较好的综合性能, 要在灵敏度和频响两项指标之间进行调整, 因此 C_m 取 0.004 m/N 比较合适。如果 C_m 取 0.004 m/N, 对应的振膜机械灵敏度 S_m 为 4 nm/Pa。根据图 4, 如果侧孔 b 取 0.6 mm, 初始应力应控制在 40 MPa 左右; 如果侧孔 b 取 0.4 mm, 初始应力应控制在 20 MPa 左右。通过对振膜进行退火, 可以消除膜的内应力, 以达到设计要求。

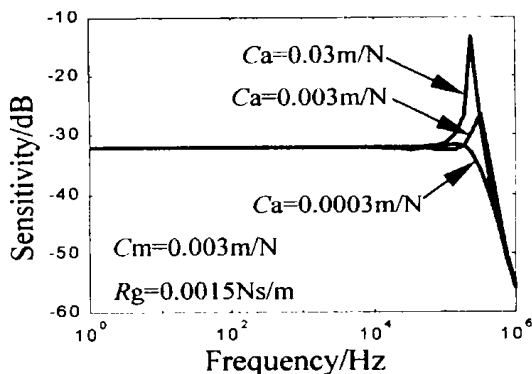


图 5 不同 C_a 下的频率响应曲线

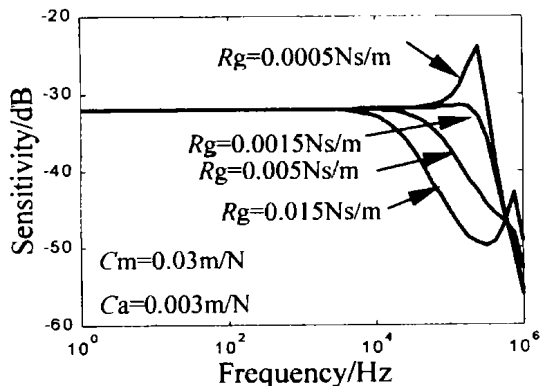


图 6 不同 R_g 下的频率响应曲线

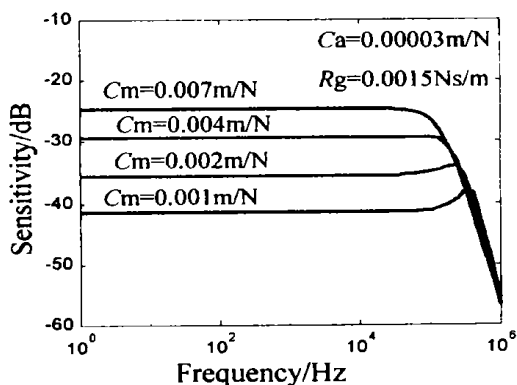


图 7 不同 C_m 下的频率响应曲线

3 结 论

本文设计了侧孔式电容结构的麦克风, 对其机械灵敏度和频响模拟的结构显示, 机械灵敏度较通常所采用的四边固支结构要高, 同时由于侧孔的存在, 在一定程度上降低了振膜的应力, 从而进一步提高了振膜的机械灵敏度。而且模拟结果指出可以通过控制侧孔的大小, 以及制备振膜时留下的残余应力, 来优化麦克风的频响特性。同时由于不需要在背极板上开孔, 完全避免了“软背极板”效应。本设计还有待得到实验的验证。

参考文献:

- [1] 宁瑾, 刘忠龙, 赵慧. 电容式微传声器的制备研究新进展 [J]. 电子器件, 2002, 25 (1): 11—13.
- [2] 邹泉波, 刘理天, 李志坚. 纹膜结构用于电容式硅微麦克风的研 究 [J]. 半导体学报, 1996, 17 (12): 907—913.
- [3] Hsu P C, Mastrangeil C H, Wise K D. A High Sensitivity Polysilicon Diaphragm Condenser Microphone [A]. 1998 MEMS Conference [C]. Heidelberg: Taylor & Francis, 1998. 25—29.
- [4] 李格. 多孔硅结构电镜图象的数学处理 [J]. 江苏石油化工学院学报, 2002, 14 (4): 39—41.

Design and Simulation of the Microphone with Side—holes

YUAN Ning—yi¹, LI Ge², LI Jin—hua¹, HE Yun—song²

(1. Department of Information Science, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The microphone with side—holes was designed and simulated. On one hand, the hole made on side decreased the initial stress, and increased the mechanical sensitivity of the diaphragm. On the other hand, the side—hole reduced the lacuna damp, and enlarged the frequency range according to flat frequency response, without the hole in back—plate. Different from the microphone with back hole, the “soft back—plate” would be completely avoided in side—hole design.

Key words: microphone; side—hole structure; mechanical sensitivity; frequency responsivity