

圆形振动膜 ZnO 压电微传声器的研制^{*}

杨楚威 李俊红[†] 黄 歆 汪承灏

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

摘要 本文介绍了一种新型圆形振动膜 ZnO 压电微传声器的制备, 并对传声器制备的工艺过程进行了较为详细的描述。圆形振动膜的压电传声器与以前方形振动膜结构设计相比, 较大幅度提高了传声器的灵敏度和成品率, 灵敏度达到 -70dB (相对于 1V/Pa), 成品率达到 80%。

关键词 硅微传声器, 圆形振动膜, 压电薄膜, ZnO

Silicon based ZnO piezoelectric micro-microphone with circular vibrating film

YANG Chu-Wei LI Jun-Hong HUANG Xin WANG Cheng-Hao

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract This paper presents the fabrication of a silicon based ZnO piezoelectric micro-microphone with novel circular vibrating film. Micromachined techniques to fabricate the device are described in detail. The circular vibrating film structure of this microphone is a modification of the rectangular one, and the performances of the device are improved. The sensitivity is -70dB (ref. 1V/Pa) and the rate of finished product is 80%.

Key words Silicon micro-microphone, Circular vibrating film, Piezoelectric film, ZnO

1 引言

目前迅速发展的硅微传声器主要有两种结构, 即硅微电容式传声器与硅微压电式传声器。与硅微电容式传声器相比, 硅微压电式传声器的优点是工艺相对简单, 不需要极化电压, 没有较难控制的气隙。但它的灵敏度比硅

微电容传声器灵敏度低。现今一般硅微压电传声器的振动膜均为方形的^[1,2], 从硅片背面的体刻蚀由于硅的各向异性腐蚀只能产生方形孔的背板, 即压电振动膜支撑墙都是方形的。这样, 在振动膜和硅基底呈方形的情况下, 振动膜的应力较大, 尤其是在尖角处的应力产生应力集中, 进而导致传声器的起皱乃至破裂, 因

2005-12-09 收稿; 2006-03-21 定稿

^{*} 国家自然科学基金青年科学基金项目 (10204021); 国家自然科学基金 SOC 重点基金项目 (90207003)

作者简介: 杨楚威 (1977-), 男, 哈尔滨市人, 硕士, 研究方向: 声学微机电。

李俊红 (1976-), 男, 助理研究员, 硕士。黄歆 (1972-), 男, 副研究员, 博士。汪承灏 (1938-), 男, 院士, 研究员, 博士生导师。

[†] 通讯联系人 Email: ljh@mail.ioa.ac.cn

此成品率较低^[3]。为此,我们首次提出使用圆形振动膜,并设计了实现圆形振动膜的工艺流程,并进行了圆形振动膜 ZnO 压电传声器的研制,结果表明,圆形振动膜结构可以较大地提高传声器的灵敏度和成品率。

2 设计及制备

硅微压电薄膜传声器是将压电薄膜淀积在薄膜底板上做弯曲振动形成传声器。本文设计的特点为:

(1) 压电薄膜硅微传声器采用 ZnO 作为压电薄膜,实现声电转换。压电薄膜有多种,主要包括极化的压电陶瓷(锆钛酸铅 PZT, 钛酸钡等)、择优取向的压电晶体(氧化锌 ZnO, 氮化铝 AlN 等)和高分子聚合物(PVDF)等。选择 ZnO 压电薄膜,是因为它的制备工艺比较成熟。而且具有优良的热循环稳定性,与其他 MEMS 工艺兼容性好。

(2) 振动膜采用 Si_3N_4 构成。 Si_3N_4 膜的应力一般较大,再加上以往振动膜支撑墙是方形的,这样就会造成传声器的灵敏度和成品率的下降。本文进行了改进,将方形振动膜改为圆形振动膜,它是采用刻蚀振动膜支撑墙、牺牲材料回填等工艺技术实现了圆形的振动膜支撑墙。这种圆形振动膜将不会产生应力集中现象,提高了成品率,且灵敏度也得到改进。

(3) 将压电薄膜换能器电极分成四部分,并将其依次串联起来。将一个“大”传声器变成四个“小”传声器串联(图 1)。四个“小”传声器声学上并联,电学上串联。理论上讲可以使传声器的灵敏度提高四倍。当然同时传声器的静电容减小。如果原有的薄膜总面积的静态电容为 C_0 ,则改进后的静态电容降低到:

$$C_1 = (C_0/4)/4 = C_0/16。$$

该硅微压电薄膜传声器是由 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Cr}/\text{Au}/\text{ZnO}/\text{Cr}/\text{Au}$ 结构构成的。本设计实现了圆形振动膜结构,并在保证器件的性能的前提下,尽量简化工艺流程,以提高成品率。整个的工

艺流程如下(图 2):

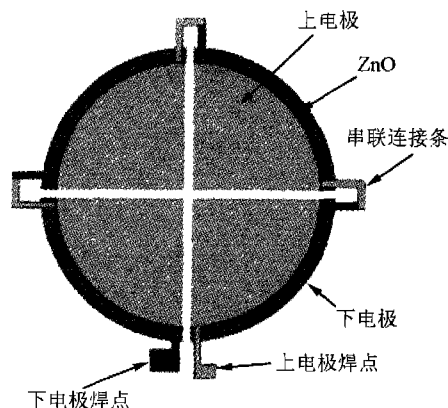


图 1 压电薄膜传声器俯视图

(a) 在硅片上利用低压化学气相沉积设备(LPCVD)双面淀积低应力富硅氮化硅(Si_3N_4)薄膜作为基膜以及体刻蚀掩膜。

(b) 利用高密度等离子刻蚀机(ICP)光刻 Si_3N_4 基膜,用 SF_6 气体腐蚀,形成圆形 ZnO 牺牲层倒模。磁控溅射设备反应溅射 ZnO 薄膜作为牺牲层。

(c) 利用低压化学气相沉积设备(LPCVD)淀积 $0.5\mu\text{m}$ 低应力富硅氮化硅(Si_3N_4)薄膜作为振动膜。

(d) 在正面 Si_3N_4 振动膜上利用真空蒸镀设备蒸镀 Cr/Au 复合薄膜,作底电极。

(e) 在底电极上利用磁控溅射设备反应溅射 $0.5\mu\text{m}$ ZnO 作为压电薄膜,形成 ZnO 压电膜。

(f) 真空蒸镀 Cr/Au 复合薄膜。并完成 Cr/Au 复合薄膜上电极的制备。

(g) 利用 ICP 进行刻蚀背面 Si_3N_4 体刻蚀掩膜,腐蚀气体 SF_6 ,形成体刻蚀掩膜。

(h) 用 35%KOH 溶液进行体刻蚀,刻透硅基片,形成矩形背孔。继续在 KOH 溶液中腐蚀 ZnO 牺牲层,完成释放牺牲层,形成圆形振动膜。

该传声器实现了圆形振动膜结构,制备工艺可靠,制备周期较短,各部分工艺兼容性

较好。硅微压电薄膜传声器芯片的成品率达到 80% 以上。

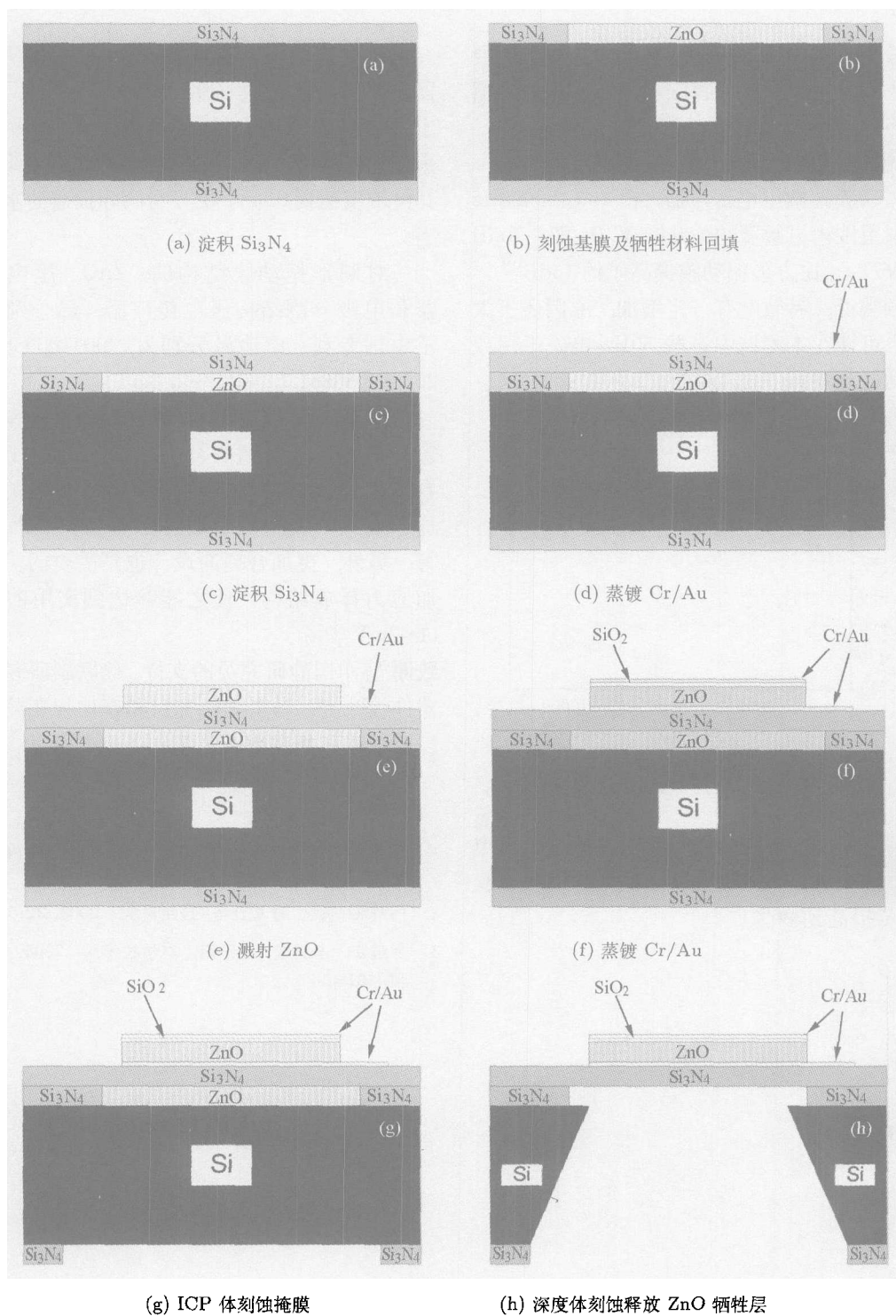


图 2 圆形振动膜 ZnO 压电传声器制备的工艺流程

3 测试与结果

按照国标 GB9401-88 中第 2.5.3 条的要求, 我们采用耦合腔代替法对硅微压电传声器的电声性能进行了测试。

测试结果如图 3 所示, 从图中可以看出, 圆形振动膜硅微压电传声器, 在 100~20000Hz 的频率范围内灵敏度约为 0.3mV/Pa 即 -70dB (ref 1V/Pa), 比方形振动膜提高了约 15dB^[2]。在低频端处, 灵敏度有一定增加, 原因还不太清楚, 可能在本测试中有些 50Hz 电磁干扰或者振动低频噪声干扰。

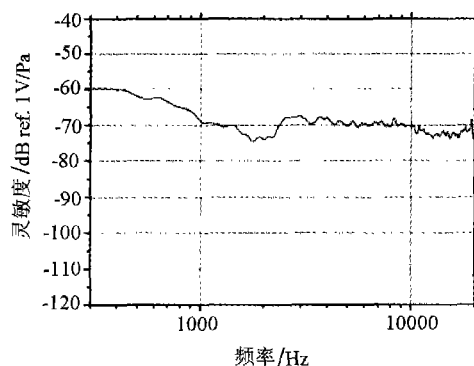


图 3 圆形振动膜传声器的频响曲线

另外, 很重要的一点是圆形振动膜微压电传声器的成品率大大提高, 成品率由原来方膜的 30% 提高到 80%。

4 小结

本文提出一种新型 ZnO 压电薄膜传声器, 即圆形振动膜 ZnO 压电微传声器, 并给出了它的工艺流程。结果表明它的成品率由原来方形振动膜, 芯片成品率的 30% 提高到 80%, 其灵敏度达到 0.3mV/Pa, 与国际报道的水平相当。

对圆形振动膜结构的 ZnO 压电传声器和电极分割结构压电传声器, 已分别申请了中国专利, 申请号分别为 200410098844.0, 200510086861.7。

但是现在所制备的压电薄膜传声器比电容传声器通常达到的灵敏度 3~10mV/Pa 还有一定差距。因此继续提高灵敏度仍是关键。这须要采用大压电系数的薄膜如 PZT 薄膜等; 另外, 更加合理的设计也是需要的, 如增加应力释放结构。使之能够达到实用的水平 (1~3mV/Pa)。

致谢 感谢田静研究员的支持, 徐联副研究员在器件设计上、马军副研究员和李伯权在测试上以及解述和魏建辉在工艺制备上的帮助。

参 考 文 献

- 1 Ried R P, Kim E S, Hong D M et al. *Journal of MEMS*, 1993, 2(3):111~120.
- 2 杨楚威, 黄歆, 李俊红等. 应用声学, 2003, 22(5):1~4.
- 3 郝震宏, 李剑成, 乔东海. 声学技术, 2005, 24(增刊):561~563.