

密封空气型 FBAR 温度传感器

丁扣宝,刘世洁,何兴理

(浙江大学 信电系,浙江 杭州 310027)

摘 要:薄膜体声波谐振器(FBAR)是性能优良的压电换能器。通过在体硅刻蚀型 FBAR 背面密封空气的方法制作了密封空气型 FBAR,研究了密封空气型 FBAR 用作温度传感器的可行性。实验结果表明,在 20~100 °C 的温度范围内,密封空气型 FBAR 温度传感器的并联谐振频率随温度线性变化,且具有很好的稳定性与可靠性。

关键词:薄膜体声波谐振器;压电换能器;密封空气型薄膜体声波谐振器(FBAR);温度传感器

中图分类号:TN409

文献标识码:A

FBAR Temperature Sensor with a Sealed Air Room

DING Koubao, LIU Shijie, HE Xingli

(Dept. of Info Science & Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Film bulk acoustic resonator(FBAR) is a kind of piezoelectric transducer with excellent properties. A sealed air room FBAR is fabricated by sealing air in the back side of a back-etched FBAR. The feasibility of the sealed air room FBAR as a temperature sensor is studied. The experimental result shows that, in the temperature range of 20-100 °C, the parallel resonance frequency of the sealed air room FBAR temperature sensor decreases linearly with the rising of the temperature. Furthermore, the relationship between the resonance frequency and temperature is stable and reliable.

Key words: film bulk acoustic resonator; piezoelectric transducer; sealed air room FBAR; temperature sensor

0 引言

近年来,微纳机电制造技术的发展使薄膜体声波谐振器(FBAR)获得了广泛的商业应用。首先,FBAR 在移动通信领域占着重要地位,具有体积小,工作频率高,插入损耗小,功率容量大等优点,且其制造技术与半导体工艺完全兼容,这使 FBAR 很快取代了传统的声表面波(SAW)器件在微波通信领域的地位。目前,由 FBAR 制造而成的振荡器、滤波器、双工器已广泛应用于移动通信领域。其次,FBAR 在传感器领域也发展迅速。FBAR 传感器的高灵敏度和高可靠性引起了人们的广泛研究兴趣。且测量结果以频率的形式表现出来,因此,通过测量 FBAR 谐振频率的变化便可得测量结果。

目前,已报道的 FBAR 传感器有微质量传感器、温度传感器、压力传感器、湿度传感器及紫外线传感器等^[1-4]。基于 FBAR 本身的温度频率系数(TCF),FBAR 可作为温度传感器。目前,FBAR 温度传感器的研究重点是确定 FBAR 谐振频率随温度线性变化的范围和提高 FBAR 温度传感器的灵

敏度。综合文献[5-7]的研究,在 10~120 °C 的范围内,FBAR 谐振频率随温度线性减小;而有效提高 FBAR 温度传感器灵敏度的方法却未见报道。本文在已有体硅刻蚀型 FBAR 的基础上提出了制作密封空气型 FBAR 的方法,并研究了密封空气型 FBAR 用作温度传感器的可行性。

1 器件制作与理论

1.1 密封空气型 FBAR 制作工艺

图 1 为密封空气型 FBAR。其中电极材料为厚 100 nm 的金,压电薄膜为厚 2 μm 的 ZnO,支撑层为厚 2 μm 的 SiO₂。

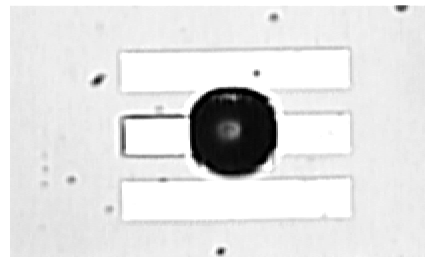


图 1 密封空气型 FBAR

收稿日期:2011-09-08

作者简介:丁扣宝(1965-),男,江苏东台人,副教授,博士,主要从事半导体器件物理与设计的研究。刘世洁(1984-),男,江苏连云港人,硕士生,主要从事 FBAR 温度与压力传感器的研究。

密封空气型 FBAR 是在传统体硅刻蚀型 FBAR 的基础上通过在背面密封空气而获得的, 所以其制作工艺只是比体硅刻蚀型 FBAR 的制作工艺多一步密封空气的步骤, 如图 2 所示。

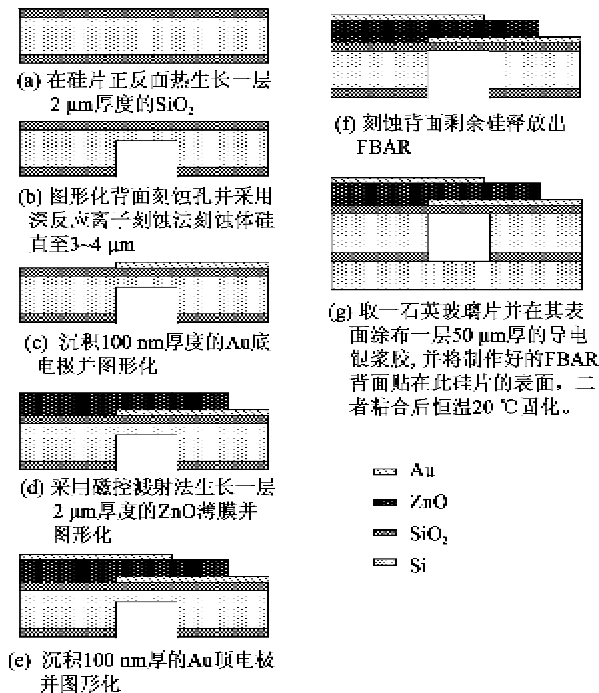


图 2 密封空气型 FBAR 制作工艺流程图

1.2 FBAR 温度传感器原理

一般纵波模式的 FBAR 主要由上电极、压电层及下电极 3 部分组成, 施加在上、下电极间的交变电压通过压电薄膜的逆压电效应产生机械形变并在压电薄膜内激励出体声波, 体声波在两电极平面间来回反射形成机械谐振, 产生的基频波长是压电薄膜厚度的 2 倍, 基本频率

$$f_0 = v_s / (2d) \quad (1)$$

式中: d 为压电薄膜厚度; v_s 为体声波在压电薄膜中的传播速度, 且

$$v_s = \sqrt{E/\rho} \quad (2)$$

式中: E 为杨氏模量; ρ 为密度。

当 FBAR 受温度或压力等作用时, E 发生的变化较 ρ 更明显, 从而导致体声波在压电材料中的传播速度发生变化, 进而导致 FBAR 谐振频率的变化, 这就是 FBAR 用作传感器的一般原理。

FBAR 谐振频率受温度影响大小可由 TCF 来表示, 即

$$TCF = \frac{1}{f_0} \frac{\Delta f}{\Delta T} 10^6 (10^{-6}/^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

式中 f_0 为谐振频率。由于温度升高时, FBAR 压电薄膜的杨氏模量减小, 所以 FBAR 的谐振频率随温度升高而降低, 根据式(3)可知, FBAR 的 TCF 为负数。一般来说, 压电薄膜为 AlN 的 FBAR 的 TCF 约为 $-25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 而压电薄膜为 ZnO 的 FBAR 的 TCF 约为 $-50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ [9]。大多数材料的 E 均随温度升高而减小, 而 SiO_2 的 E 却随温度升高而增加, 故而 SiO_2 具有正的 TCF, 大小约 $+85 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ [7]。也正是根据这一点, 常在 FBAR 压电薄膜中植入一层 SiO_2 来实现 FBAR 的温度补偿[9-10], 通过调节 SiO_2 层的厚度可有效减小 FBAR 的 TCF, 但此方法的缺点是在压电薄膜中引入一层非压电材料, 会减小 FBAR 的机电耦合系数。

当温度和压力的变化范围不大时, FBAR 谐振频率与温度、压力具有很好的线性[11], 据此可将 FBAR 制作成性能良好的温度传感器和压力传感器。将图 1 所示的密封空气型 FBAR 用作温度传感器时, FBAR 谐振频率的漂移将由两部分造成: 一部分是由于 FBAR 本身的 TCF 引起的, 另一部分是由于密封空气的膨胀而产生的压力引起的。在这种情况下, 单从温度和 FBAR 谐振频率二者的关系来看, FBAR 的 TCF 增加了, 从而 FBAR 温度传感器的灵敏度增加了。

2 实验结果与讨论

为验证密封空气型 FBAR 用作温度传感器的可行性, 我们对所制作的密封空气型 FBAR 进行了实验验证。实验中使用的探针测试台如图 3 所示, 通过 VECTOR MX-1100B SPEC 晶片探针台和 HP 8714ET 矢量网络分析仪来测量 FBAR 的温度频率特性, VECTOR MX-1100B SPEC 晶片探针台具有温度加热与控制器, 可控制 FBAR 的温度在所需要的范围内变化。



图 3 探针测试台

首先, 测量 FBAR 在密封空气前的谐振特性。

图4为该FBAR在室温时的传输参数曲线 S_{21} 。从网络分析仪显示可知,该FBAR在室温时的并联谐振频率为1571.475 MHz。

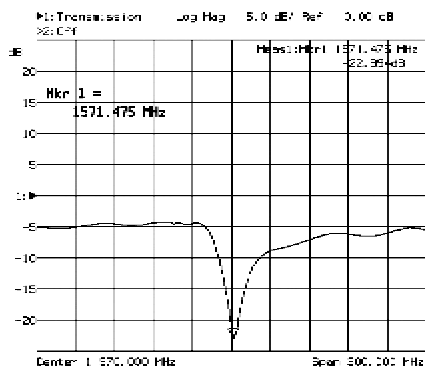


图4 FBAR 传输参数曲线

其次,在20~100℃内每间隔10℃测量FBAR的传输参数 S_{21} ,绘制FBAR在密封空气前、后的并联谐振频率随温度的变化曲线,如图5所示。在密封空气前,FBAR的并联谐振频率在20~100℃的范围内漂移了1.04 MHz,根据式(3)可计算出FBAR的TCF为 $-8.27 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,此时FBAR温度传感器的灵敏度为0.013 MHz/℃。由前面可知,压电薄膜为ZnO的FBAR的TCF约为 $-60 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,而这里的测量计算结果小,其原因是支撑层采用 SiO_2 而非 Si_3N_4 , SiO_2 支撑层对FBAR具有温度补偿的作用^[9]。密封空气后,FBAR的并联谐振频率在20~100℃范围内漂移了1.998 MHz,计算可得此时的TCF为 $-15.89 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,此时密封空气型FBAR温度传感器的灵敏度为0.025 MHz/℃。对比密封空气前后可知,密封空气结构提高了FBAR的TCF,进而提高了FBAR温度传感器的灵敏度,且没影响FBAR并联谐振频率与温度的线性关系。

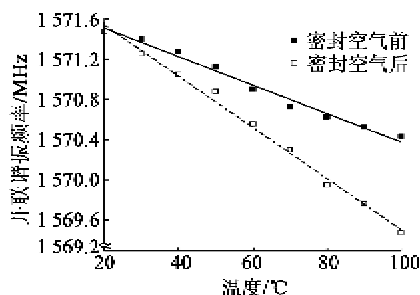


图5 并联谐振频率随温度变化曲线

最后,研究密封空气型FBAR温度传感器迟滞特性,如图6所示。在20~100℃范围内分别作升、降温测量。由图可看出,升、降温曲线重合较好。经

计算,升、降温曲线的不一致程度最大为2.5%,由此可说明密封空气型FBAR用作温度传感器具有很好的可重复性与稳定性。

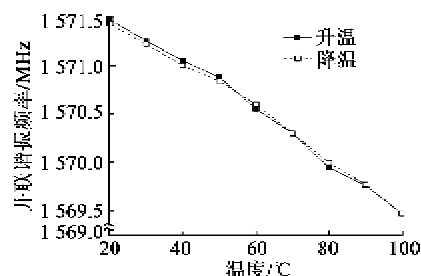


图6 迟滞特性曲线

3 结束语

本文在体硅刻蚀型FBAR的基础上,制作了具有密封空气型的FBAR,研究了密封空气型FBAR用作温度传感器的可行性。实验结果显示,密封空气型FBAR比体硅刻蚀型FBAR有更高的温度频率系数。将密封空气型FBAR用作温度传感器时,不仅没有改变谐振频率与温度间的线性关系,且提高了温度传感器的灵敏度。因此,密封空气型FBAR可用作温度传感器是确实可行的,且具有很好的稳定性与可靠性。

参考文献:

- [1] QIN Lifeng, WANG Qingming. Mass sensitivity of thin film bulk acoustic resonator sensors based on polar c-axis tilted zinc oxide and aluminum nitride thin film[J]. J Appl Phys, 2010, 108(10): 104510-104519.
- [2] MANSFELD G D, ALEKSEEV S G, KOTELYANSKY I M, et al. BAW microwave temperature sensor [C]//Russia: Sensors, 2004. Proceedings of IEEE, 2004: 876-878.
- [3] QIU Xiaotun, ZHU Jie, OILER J, et al. Film bulk acoustic-wave resonator (FBAR) based humidity sensor [C]//Xiamen: Proceedings of the 2010 5th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, 2010: 445-449.
- [4] QIU X, ZHU J, OILER J, et al. Film bulk acoustic-wave resonator based ultraviolet sensor[J]. Appl Phys Lett, 2009, 94(15): 151917-151920.
- [5] KAO Y H, LIN J H. Temperature sensing by using film bulk acoustic resonator at 2.4 GHz band[J]. J J Appl Phys, 2009, 48: 115501-115504.
- [6] YU Hongyu, PANG Wei, ZHANG Hao, et al. Film bulk acoustic resonator at 4.4 GHz with ultra low temperature coefficient of resonant frequency[J]. Micro Electro Mechanical Systems, 2005, 10: 28-31.

(下转第656页)