

文章编号:1004-2474(2014)05-0727-03

新型声表面波湿度传感器的研究

童筱钧¹, 王心语²

(1. 常州工学院 电子信息与电气工程学院, 江苏 常州 213022; 2. 上海电力学院 能源与机械工程学院, 上海 200090)

摘要:乐甫(Love)波其质点振动方向垂直于传播方向, 同时又平行于基片表面, 在基片法线方向上无振动分量。因此当基于 Love 波电子器件在接触液体时 Love 波能量损耗很少, 因而乐甫波声表面波(SAW)传感器主要用于液相检测。在石英上表面及其上面淀积的 SiO₂ 薄膜中激发、传播的乐甫波对 SiO₂ 薄膜质量的变化很敏感, 因此该文研究了基于乐甫波的湿度传感器感知气体环境的湿度含量。该文乐甫波湿度传感器采用 42.75°Y-旋转切割石英基片, 传播方向为[0°, 132.75°, 90°]。吸湿膜采用 APCVD 制作的多孔 SiO₂ 薄膜, 此类膜比 PECVD 制作的 SiO₂ 膜疏松, 吸湿、脱湿迅速。传感器灵敏度为 62 kHz/%RH, 最大湿滞约 3%, 测得的湿敏特性、迟滞特性表明, Love 波 SAW 湿度传感器线性度较好, 实验验证了该结构具有很好的气体测试前景。

关键词:乐甫(Love)波; 声表面波湿度传感器; 相对湿度

中图分类号: TN384 文献标识码: A

Study on a Novel SAW Humidity Sensor

TONG Xiaojun¹, WANG Xinyu²

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213022, China; 2. College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Love wave mode based on waveguide with shear-horizontal polarization and normal to propagation direction, is suitable for sensing liquid media due to low propagation loss occurred on its propagation route. The love wave excited and propagated on quartz surface and deposited SiO₂ film on it is very sensitive to the mass change of SiO₂. In this paper, humidity sensor for measuring humidity in atmosphere based on love wave mode on 42.75°Y-rotated cut quartz substrate with the propagation direction of [0°, 132.75°, 90°] with SiO₂ waveguide layer deposited by APCVD is presented. Sensitivities of about 62 kHz/%RH for humidity were obtained. And maximum hysteresis is about 3%. Detail fabrication process corresponding to this type of sensors is reported.

Key words: Love wave; SAW humidity sensor; relative humidity

0 引言

电容性湿度传感器具有制作成本低, 成品率高, 精度可达 3%~5%、响应时间 40~60 s 等特性, 可满足绝大多数的应用需求, 占据了整个湿度传感器 70% 以上的市场。其原理在于电容量随相对湿度的变化而变化。但电容性传感器存在响应时间较长, 非数字化输出, 难以集成等问题^[1-3]。

声表面波(SAW)湿度传感器因具有可直接频率化输出, 灵敏度高, 检测范围宽等优点而备受重视, 目前已取得很大进步^[2,4-5]。但在湿度传感器市场中, 此类传感器较少。在一些特殊应用场合具有应用潜力, 因此吸引了很多研究人员从事此研

究^[4-6]。SAW 湿度传感器主要采用常规瑞利声波模式, 乐甫(Love)波气体传感的应用报道^[6-9]较少。

乐甫波质点振动方向垂直于传播方向、平行于基片表面, 因而在基片平面的法线方向上振动分量为 0。当器件接触液体时乐甫波能量损耗很少, 因而适合于免疫蛋白等液相检测^[5]。我们决定尝试将乐甫波与多孔 SiO₂ 薄膜结合作出灵敏度较好又较稳定的气体传感器, 特别是湿度传感器。

本文所述乐甫波湿度传感器采用 42°Y-旋转切割石英基片, 湿敏膜为多孔 SiO₂ 薄膜, 使用 APCVD 法制备。APCVD 多孔 SiO₂ 膜相对 PECVD 法 SiO₂ 膜较疏松, 作为吸湿材料具有较大

收稿日期: 2013-11-13

基金项目: 江苏基础研究计划基金资助项目(SBK200930229); 近代声学教育部重点实验室(南京大学)基金资助项目(0806)

作者简介: 童筱钧(1968-), 男, 陕西西安人, 研究员级高工, 博士, 主要从事电子器件与新型材料的研究。

的吸湿量,同时吸湿、脱湿较快。在石英上表面与 SiO_2 膜中激发、传播的乐甫波对 SiO_2 薄膜中吸湿量(又称质量效应)极其敏感,因而我们使用乐甫波湿度传感器去感知气体环境的相对湿度。

1 乐甫波湿度传感器的结构

1.1 SAW湿度传感器的设计

乐甫波 SAW 湿度传感器声波激发与传播如图 1 所示。图中点划线所示方向为乐甫波质点振动方向,质点振动与基片表面平行,且又与传播方向垂直,在基片平面法线方向上的振动分量为 0。本文所述乐甫型 SAW 湿度传感器在加载有湿敏膜时结构如图 2 所示,中间部分为叉指换能器(IDT),两端为反射阵,在 IDT 与两端反射阵间各留有 50 个波长的间距。该结构是常规 SAW 谐振器的变形^[8],左边反射阵和右边反射阵间与 IDT 的间距用于扩大湿敏材料涂敷范围(增大 SAW 传播路径),在敏感膜厚度不变的前提下提高敏感膜的面积、总质量,以提高其感湿能力。

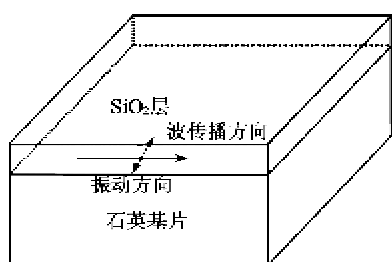


图 1 乐甫波 SAW 湿度传感器声波激发与传播示意图

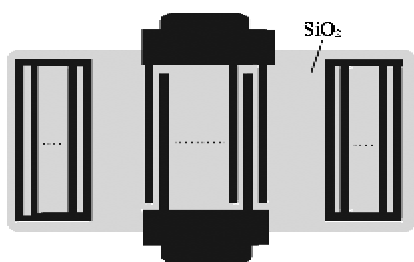


图 2 改进型乐甫波 SAW 湿度传感器结构图

该文作者设计反射阵指条数为 500 根, IDT 指对数 120.5 对, 孔径 20 个波长。IDT 周期为 $7.6 \mu\text{m}$, 中心频率为 568.38 MHz。Au 电极厚 180 nm。

在整个反射阵、换能器区域和间隙均敷盖有 APCVD SiO_2 膜, SiO_2 膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ 。采用 42.75° Y-旋转切、单面抛光的石英基片, 垂直于 X 方向传播, 传播方向欧拉角为 $[0^\circ, 132.75^\circ, 90^\circ]$, 采用厚

180 nm 的 Au 作为 SAW 器件电极材料, 过渡层厚 10 nm, 采用厚 $0.5 \mu\text{m}$ 的 SiO_2 ^[9-11] 作为湿度敏感膜 (SAW 器件保护层材料)。

1.2 电极材料、湿敏层 SiO_2 的选取

常规 SAW 器件(如滤波器、谐振器)的叉指换能器与反射阵主要使用铝或掺硅铝合金作为压电类器件电极制作材料, 但考虑到 APCVD SiO_2 湿敏膜的淀积温度为 $200\sim 300^\circ\text{C}$, 由硅烷与氧反应而成。为防止铝及其合金在 APCVD 中氧化, 乐甫型 SAW 湿度传感器采用金膜作为电极材料。为提高金膜与石英间的结合性, 先使用 E-beam 淀积 10 nm 铬, 俗称“打底”, 再在铬之上淀积 180 nm 金膜。

2 乐甫型 SAW 传湿度传感器的工艺流程

2.1 SAW湿度传感器之 SAW 器件制作

乐甫型 SAW 湿度传感器制作工序包括 IDT 的制作和 SiO_2 湿敏层制作两部分。IDT 的制作工序: 第一次光刻→显影→电子束生长 Cr 层→电子束生长 IDT 电极材料 (Au 180 nm)→丙酮超声剥离。

SiO_2 湿敏层制作: APCVD 淀积 SiO_2 层→第二次光刻(露出焊接点)→显影→部分刻蚀 SiO_2 层。

第一次光刻、显影、电子束生长 Cr 层、电子束生长 IDT 电极材料 (Au 180 nm)、超声剥离的作用在于形成 Love 型 SAW 谐振器的反射阵、IDT。

APCVD 淀积 SiO_2 层、第二次光刻、显影、部分刻蚀 SiO_2 层是露出 IDT 上的焊接点。选用 APCVD 法淀积 SiO_2 的优势是温度低。连续淀积的移动式 APCVD 制作的 SiO_2 膜与 PECVD 法制作的 SiO_2 膜相比, 其较疏松, 适合吸收环境中水分。 SiO_2 APCVD 采用 300°C 热板加热基片, SiH_4 在氮气携带下与 O_2 发生反应, 形成 SiO_2 、 HO_2 , 即 $\text{SiH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。

2.2 SiO_2 湿敏层的处理

SiO_2 采用 300°C 、 $\text{SiH}_4 + \text{O}_2$ 的 APCVD 工艺条件制作, 但制作的 SiO_2 湿敏层较疏松, 适合吸收环境中水气成分。其问题是 APCVD 制作的 SiO_2 中含有许多硅氧颗粒—— Si_xO_y 成分, 还需通过适当温度、过量氧气氛中进一步氧化处理将其转化为 SiO_2 。

将制作的感湿芯片放入 TZ-VAC-ALY 型箱式真空合金炉经过抽真空(到 0.1 Pa)、加热到 300°C 通入高纯氧保持 2 h。经过如此处理, SiO_2 湿敏层制作中的水汽被完全去除, 未饱和 Si_xO_y 成分绝大

部分转化为二氧化硅,硅氧原子数比接近 1/2。

3 Love 波 SAW 湿度传感器的测试结果

3.1 SAW 湿度传感器的封装、测试

SAW 湿度传感器封装在 W2 型管壳中,上盖裸露。使用 HP8753D 网络分析仪测试其频响特性如图 3 所示。谐振频率为 568.38 MHz,插入损耗为 1.8 dB。

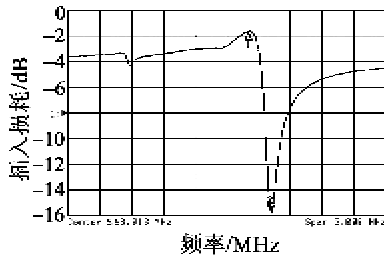


图 3 乐甫声表面波湿度传感器在湿度为 70%时频响图

3.2 SAW 湿度传感器的感湿特性

将所制 SAW 湿度传感器放入恒温、恒湿高低温试验箱环境中测量其湿度与频率特性,将温度保持在 25 °C,以 10%RH 为间隔,变动相对湿度从 10%RH 升到 90%RH,测得 9 个频率与相对湿度的数据组,测试结果如图 4 所示。计算所得传感器灵敏度为 62 Hz/%RH。

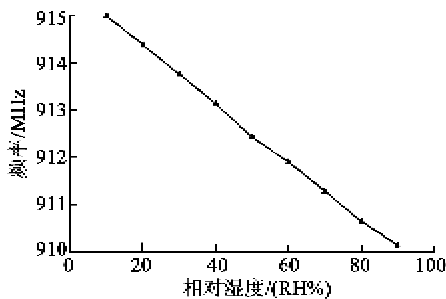


图 4 乐甫波湿度传感器湿度与频率关系图

3.3 迟滞特性

湿度传感器在吸湿、脱湿过程中谐振频率同一环境湿度情况下会发生不重合现象,称为迟滞现象。其原因是湿敏材料吸湿、脱湿需要时间完成。为检验 SAW 湿度传感器迟滞特性,将恒温、恒湿高低温试验箱温度设置在 25 °C,然后依次测得相对湿度在 10% RH、20% RH、30% RH、40% RH、50% RH、60% RH、70% RH、80% RH、90% RH 时的谐振频率(上升,吸附)。然后一次测试相对湿度在 90% RH、80% RH、70% RH、60% RH、50% RH、40% RH、30% RH、20% RH、10% RH 时的谐振频率(下降,脱附),测试结果如图 5 所示。在相对湿度为 50%时,湿滞约 3%。

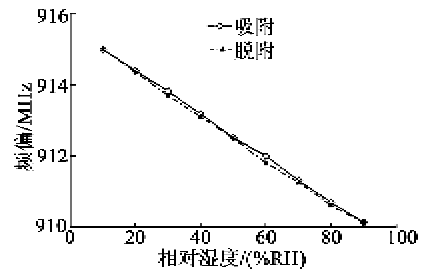


图 5 乐甫波湿度传感器迟滞特性

4 结束语

与瑞利波传感器相比,Love 波 SAW 湿度传感器具有灵敏度高,可靠耐用,寿命长等优点。本文对基于 ST 石英基片设计制作了 Love 波 SAW 湿度传感器,并进行了湿敏特性实验,实验选用 ST 石英基片,垂直与 X 方向传播,APCVD 二氧化硅作为湿敏材料。测得的湿敏特性、迟滞特性表明,Love 波声表面波湿度传感器线性度较好,传感器灵敏度为 62 kHz/%RH,最大湿滞约 3%。

参考文献:

- [1] 杨子健,韦波,王敬松,等. 聚酰亚胺电容式湿度传感器的制备工艺研究[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(4): 56-58.
YANG Zijian, WEI Bo, WANG Jingsong, et al. Research on preparation process of polyimide capacitive humidity sensor [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2009, 28(4): 56-58.
- [2] 顾磊,秦明,黄庆安. CMOS 集成电容湿度传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2003(6): 6-33.
GU Lei, QIN Ming, HUANG Qing'an. Integrated capacitive humidity sensor by CMOS IC technology [J]. Instrument Technique and Sensor, 2003(6): 6-33.
- [3] 杨慕杰,李扬. 高分子型湿敏传感结构材料及器件[J]. 高分子通报, 1999(3): 34-42.
YANG Mujie, LI Yang. Polymeric humidity sensing materials and humidity sensors [J]. Polymer Bulletin, 1999, (3): 34-42.
- [4] KAWALEC A, PATERNAK M. A new high-frequency surface acoustic wave sensor for humidity measurement [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(9): 2019-2023.
- [5] KAWALEC A, JASEK K, PASTERNAK M. Measurements results of SAW humidity sensor with nafion layer [J]. Eur Phys J Special Topics, 2008, 154(4): 123-126.
- [6] CHEN Z, LU C. Humidity sensors: a review of materials and mechanism [J]. Sens Lett, 2005, 3(4): 274-295.

(下转第 738 页)