

声表面传感器和磁弹性传感器对气体
定量检测的比较研究

韩雪松¹，张 朝²

(1. 中石化太原分公司，太原 030024；2. 太原山康电子有限公司，太原 030024)

摘要:随着社会的工业化进程加快,机动车、电厂废气等人为因素产生的 NO₂ 日益增多。NO₂ 虽然对臭氧的形成有重要作用,同时也会导致酸雨的形成,所以检测 NO₂ 的浓度在很多领域有着重要意义。本文以 NO₂ 为检测对象,对其不同频率响应采用两种传感器进行初步实验并进行比较分析,声表面波传感器是利用沿着物体表面传播的弹性波来感测信号的,而磁弹性传感器是由外加磁场对磁弹性材料的作用来感测信号的,两种传感器的响应信号都是频率偏移,在实验中,传感器的频率响应采用网络分析仪测试。实验结果表明,磁弹性传感器相对于声表面传感器对 NO₂ 的吸附前后频率响应更明显,对相关领域的研究更具实际意义。

关键词:声表面波;磁弹性;气体传感器;灵敏度;微电子

中图分类号:TP212.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2013)05-0123-03

气敏传感器在实际中有着广泛的应用,不仅仅表现在检测易燃、易爆、有毒、有害气体,在保健品卫生等领域,例如食品加工、酒类检测、烟草鉴别、化妆品生产及保健品卫生也有很高的前景。然而在上述气体中有很多是有毒、易燃、易爆气体,例如天然气、氢气(H₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)、氨气(NH₃)^[1]等。所以,在保护人类生存的自然环境的同时,还要防止不幸事故的发生,进而需要对在环境中存在的有害或者可燃性气体进行有效地监控。

目前对不同气体检测的方法主要有:电气法(利用半导体气敏器件检测);电化学法(电极和电解液对气体进行检测);光学法(利用气体对光的折射率或光的吸收等特性来检测)。在上述方法中,光的折射率方法灵敏度最高,但由于通常需要采用拉曼光谱等较昂贵的仪器来进行检测。其中产量最大、应用最广的是电化学法、电气法。电化学法是因为电路的干扰检测灵敏度较低,而电气法是由于采用半导体气敏器件灵敏度较高,但检测成本较低。

声表面波和磁弹性这两种气体传感器^[2-3]都是采用半导体气敏元件对气体进行分析,两者均用共振器来进行信号检测。在灵敏度和检测方式上各有优势,国内外均有学者对这两种气体传感器进行了研

究,本文从几个方面比较分析了这两种气体传感器。

1 声表面波气体传感器检测原理

选择性气敏薄膜是声表面波气体传感器^[2]中的关键。当传感器检测待测气体时淀积于接收 IDT 和发射 IDT 之间的气敏薄膜吸收或吸附待测气体,这会导致气敏薄膜的质量增加,随之粘弹性也发生了变化,这使得在选择性气敏薄膜上传播的声表面波性质发生变化,例如,为改变声表面波的传播速度在延迟线上涂上能与被测化学气体有相互作用的薄膜,使得频率的显著变化^[4],这可以通过测量延迟线频率响应的变化得知。为检测待测气体的质量可以通过测量频率的变化。检测原理如下:

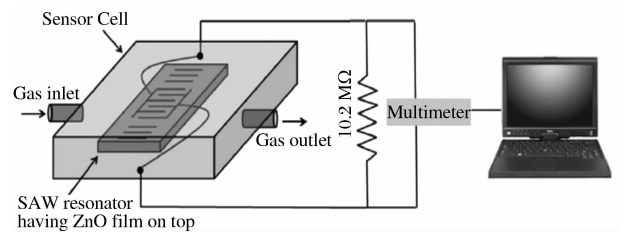


图 1 声表面波传感器检测原理

原理公式如下:

$$\Delta f = K \cdot (k_1 + k_2) f^2 \cdot \frac{\Delta m}{A}$$
 (1)

收稿日期:2013-03-12

作者简介:韩雪松(1982—),男,山西文水人,中石化太原分公司,硕士研究生,研究方向:计算机与传感器;张朝(1985—),男,山西太原人,太原山康电子有限公司,硕士研究生,研究方向:食品安全信息的计算机管理。

式中： f 中心频率， k_1 和 k_2 是归一化表面粒子速度； Δm 是气敏薄膜质量的变化； A 代表气敏薄膜的面积； K 代表气敏薄膜长度、输入输出 IDT 中心间距之比。

2 磁弹性气体传感器检测原理

磁弹性气体传感器的气敏膜是修饰在传感器表面的一层化学物质，将被检测物通过传感器时，待检测气体和气敏膜发生吸附形成化学键^[3]，从而使磁弹性传感器的质量增加。由于磁弹性传感器通常是由磁致伸缩材料加工而成的，置于由通电螺线管产生的磁场中的磁弹性传感器会产生一定频率的振荡，磁弹性传感器的振荡频率会随着检测气体前后磁弹性传感器的质量发生变化而变化。所以通过磁弹性传感器吸附气体前后的频率变化可得到被检测气体的质量^[5]，具体原理如下公式：

$$\Delta f = f_{load} - f_0 = \frac{\Delta m}{2M}$$
 (2)

其中， Δm 是气敏薄膜质量的变化。 M 是磁弹性传感器的原始质量。 f_0 、 f_{load} 分别是磁弹性传感器吸附待测气体前、后发生振荡的频率。

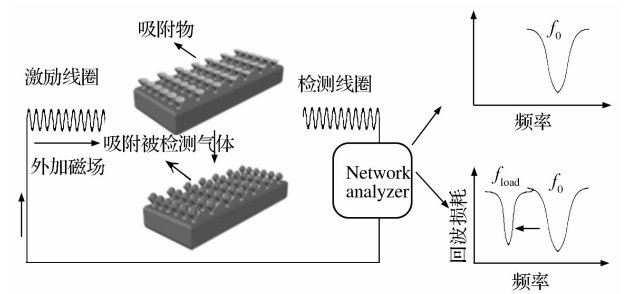


图 2 磁弹性传感器检测原理

3 原理及响应结果分析对比检测方法的比较

3.1 检测原理比较分析

通过声表面波和磁弹性两种气体传感器的检测原理分析可知，二者均是由于吸附待检测气体来改变气敏膜的质量，从而改变传感器的频率响应，以检测被测气体的质量；并且因为检测原理简单，这两种传感器都对光、电、力、热、声、化学及生物等^[6]多种因素表现出很高敏感性。为达到声表面波传感器重量轻、体积小、携带方便的优势，并实现集成化、智能化，所以采用集成电路中的平面工艺制作方法。

正是由于声表面波气体传感器有以下优点：抗干扰能力强，灵敏度高，检测范围线性度好，测量重复性好，使得声表面波气体传感器适合远距离传输和实现遥遥遥控，更适合远距离传输^[7]。而磁弹性气体传感器由于通常靠无线磁场来传输信号，因此只适合近距

离传输。此外声表面波气体传感器还有以下优点：受温度影响少，稳定性好、灵敏度高，设计结构灵活，对采用 SAW 技术其输出信号为振荡器频率的变化，无需经过 A/D 转换等，便于与计算机进行接口。

3.2 响应结果比较分析

形成光化学烟雾的主要因素之一是 NO₂，它也是酸雨的来源之一，因此能较快检测出 NO₂ 是有重要的安全意义的。为了比较两种传感器对 NO₂ 的比较分析，我们对两种传感器检测 NO₂ 都进行了初步实验。为了消除不同成分的气敏膜对 NO₂ 的吸附效果的影响，实验中声表面波传感器和磁弹性传感器均涂敷酞普铜薄膜以作为气敏膜^[8]。在声表面波气体传感器中，气敏膜的电导率由于气敏膜与 NO₂ 气体相互作用而降低^[9]。实验中在常温下通入 NO₂ 气体，原气体浓度为 3%，测试环境浓度小于 0.5%，两种传感器对待测气体的频率偏移响应如图 3 所示：

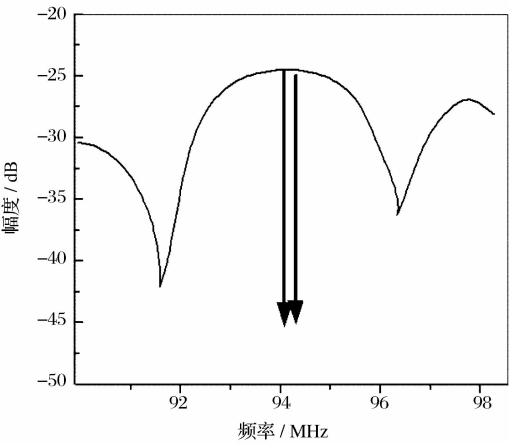


图 3 声表面波传感器频率变化曲线 (NO₂)

图 3 是 NO₂ 气体通过表面波气体传感器的频率响应，当通入 NO₂ 气体后，声表面波传感器的中心频率向右发生偏移，多次实验结果均表明，频率偏移明显。

图 4 所示是磁弹性气体传感器对 NO₂ 气体的频率响应，多次实验结果均表明，当通入待测气体后，磁弹性传感器的频率发生明显偏移。同时，由于磁弹性传感器通常采用金属玻璃制成，该种敏感材料兼备金属和玻璃的特性，因此磁弹性气体传感器对通入的 NO₂ 气体的幅值响应也有明显变化。

4 结论

传播媒质的质量密度、粘滞特性、刚度系数、介电常数和电导率会受到声表面波气体传感器抗干扰能力强的扰动而变化，此外还有外界温度的变化、压强的变化也会直接影响传播特性的改变，这些变化都会

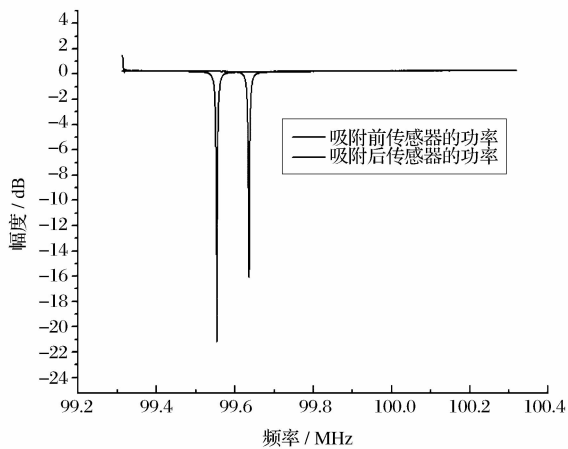


图4 检测 NO₂ 的磁弹性传感器
频率变化曲线

影响声表面波速度的变化,进而导致振荡器振荡频率的变化,所以想要获得外界微小扰动的信息,可以通过对频率信号的检测来实现。而磁弹性气体传感器敏感材料是磁致伸缩材料,目前较多采用 Met-glas2826 加工而成,测试环境中带电体、磁性物质等会对测试产生明显的影响。

实验中采用安捷伦矢量网络分析仪作为检测传感器振荡频率的检测器。如图4所示,通入相同浓度的 NO₂ 气体前后,在对 NO₂ 气体的幅度和频率响应

方面,磁弹性气体传感器相比声表面波气体传感器效果更明显。

参考文献

- [1] 周文,闫学锋,侯成诚,等. 聚苯胺—多壁碳纳米管薄膜 SAW NO₂ 传感器[J]. 传感器与微系统, 2011,30(9): 1—3.
- [2] 武以立,谭学斌,李文胜. 声表面波横向滤波器的衍射计算及衍射效应的分析[J]. 压电与声光, 1992,14(1):14—18.
- [3] 向继文,陈依民,等. 声表面波 NO₂ 传感器敏感膜研究进展[J]. 传感器与微系统, 2012,31(9):9—14.
- [4] B S JOO, J S HUHB, D D LEE. Fabrication of polymer SAW sensor array to classify chemical warfare agents[J]. Sens. Actuators B, 2007,121: 47 - 53.
- [5] 王博文. 超磁致伸缩材料制备与器件设计[M]. 北京:冶金工业出版社, 2003:23—26.
- [6] T GOTO, H FUJIHARA. Self-assembled spherical aggregates of gold nanoparticles and their network ensembles mediated by metal ion recognition[J]. Journal of materials science, 2004,39(6):2171—2173.
- [7] CRAIG A GRIMES, et. Al. Theory, Instrumentation and Applications of Magnetoelastic Resonance Sensors[J]. A Review Sensors, 2011,11(3):2809—2844.
- [8] 殷焕顺,邓建成,周燕. 酞菁化合物在高新技术领域中的应用[J]. 精细化工中间体, 2003(5):12—16.
- [9] 余道建,沈瑞琪. NO₂ 气体敏感材料[J]. 传感器技术, 2001, 20(4):1—5.

Comparative Study of Surface Acoustic Sensors and Magnetoelastic Sensor for Gas Quantitative Detection

HAN Xue-song¹, ZHANG Chao²

(1. Sinopec, Taiyuan Branch, Taiyuan 030024, China; 2. Taiyuan Shankang Electronic Co., LTD., Taiyuan 030024, China)

Abstract: With the speed up of industrialization process, NO₂ generated by vehicles, power plants emissions and other human factors is increasing. Since NO₂ not only plays important role in the formation of ozone, which also causes the formation of acid rain, the detection of NO₂ concentration if of great significance among many areas. In this paper, to detent NO₂, experiments and comparisons are done to the different frequency by two kinds of sensors. The sensing signal of SAW sensor if the elastic wave along the surface of the objects, while the sensing signal of the magnetoelastic sensor comes from the external magnetic field force on the magnetoelastic material, but response signals of both two sensors are frequency shift, which use the network analyzer to detect. The preliminary experiments results show that with the NO₂ adsorption, the frequency response of magnetoelastic sensor is obvious than the SAW sensor, which owes more practical significance of research in related fields.

Key words: surface acoustic waves (SAW); magnetoelastic; gas sensor; sensitivity; microelectronics