

# 声表面波器件在无线传感系统中的应用

韩 韬, 施文康

(上海交通大学 电子信息学院, 上海 200030)

**摘要:** 有许多应用场合, 无法实现传感器信息的有线传输; 在某些特殊场合, 迫切需要降低安装传感器的配线总量, 降低成本。无线传感系统是传感器的一个研究热点, 与基于调制解调的无线传感器相比, 基于声表面波的无线传感器在许多特殊场合日益显示出其必要性和重要性。简要介绍了目前国际上的各种无线无源式声表面波传感器的国内外发展现状, 具体讨论了无线谐振型声表面波传感器的原理以及在传感器设计、制作过程中提高传感器灵敏度的一些措施, 以及声表面波器件用于目标辨识以及常规变阻抗型传感器信息无线传输中的原理和应用。

**关键词:** 无线无源; 谐振; 声表面波传感器; 信息传输

中图分类号: TP212.9 文献标识码: A

## 1 引 言

传感器作为人类五官的延伸, 在信息社会的今天, 正日益发挥着举足轻重的作用。在许多应用场合, 在传感器与测试系统之间建立固定的电缆连接是不可能的, 例如: 测量封闭中空空间、旋转或移动部件等场合; 在某些特殊场合, 迫切需要降低安装传感器的配线总量, 从而降低成本。尤其是随着无线通讯元件成本下降, 很多用户开始寻求无线的解决方案。无线技术与市场需求的相互关系成为无线传感器发展的动力, 因此, 无线传感系统近来是传感器的一个研究热点。

按照电源供给方式的不同, 无线传感器可分为三类。点对点的有源式无线传感器是仪器仪表界最常见的, 一般需要由电池为无线传感器供电。支持无线连接的结构是集成在 ASIC 中的调制解调器。目前已开始研究码分多址数据调制方式以替代传统的窄带调频方式。这种无线传感器的灵敏度、精度等参数与无线链接特性无关, 传输中的误差可通过数据调制过程中的校正码加以解决。在规定的有效辐射功率内, 该类型的无线传感器

传输距离最远。

半无源式无线传感器与有源式的主要在于电源供给的方式。当电磁波的激励与在传感器内的 LC 谐振电路产生共振时, 使电容内产生电荷, 在该电容的另一端通过单向导通的电子泵, 将电容内的电荷送到另一个电容内储存, 当所积累的电荷达到一定数值时, 作为电源为其它电路提供工作电压。目前, 公交公司的 IC 卡大多采用这种方法。

第三类为无源的传感器, 即工作时不需要任何电源。由于声表面波(SAW)器件的压电及可工作在射频频段的特性使得 SAW 传感器非常适用于无线测量且实现传感器敏感端的无源化。这一点在肮脏潮湿、核辐射、有爆炸危险等恶劣环境中的非接触式或移动或旋转部件参数测量中具有很大的优势。声表面波传感器的特点有灵敏度高、线性度好、抗干扰能力强等特点, 且符合未来传感器微型化、低功耗、低成本、高精度、长寿命等技术要求。最近, 巧妙利用反射极外接负载的阻抗变化可导致反射极反射率改变的原理, 可以实现将传统式阻抗变化为传感机理的传感量的无线传输<sup>[2]</sup>。

## 2 无线 SAW 传感器

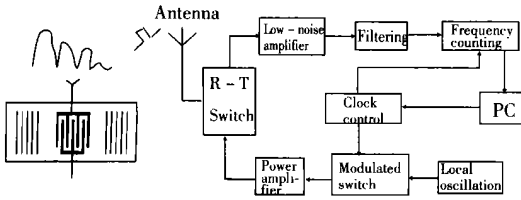


Fig. 1 Principle of the wireless SAW resonant sensor system.

无线传感器系统由无线激励/接收装置和若干 SAW 器件组成, SAW 器件可分为延迟线型和谐振型。图 1 所示为谐振型无线 SAW 传感器的测量原理。SAW 器件的叉指换能器(IDT)接上天线以实现无线激励。由于声表面波的速度比电磁波低 5 个数量级, 射频的无线激励信号可以被存储在声表面波谐振器中, 完成正、反向链路过程在时间域上的分离。当发射/接收转换开关切换至接收时, 谐振腔内的 SAW 自由振荡, 该振荡频率由声表面波谐振器本身及其相关的敏感量决定, 其幅值呈指数衰减。通过测量信号的频率的变化获得被测量。谐振器中心频率  $f_0$  和衰减时间常数  $\tau$  的阻尼振荡的关系为:

$$\tau = \frac{Q_L}{\pi f_0} \quad (1)$$

为实现无线、无源的谐振式传感器, 谐振器外部不使用运算放大器形成正反馈从而产生振荡, 因此要求制作的谐振型 SAW 传感器具有很高的加载  $Q_L$  值。因此, 在设计时应优化叉指换能器和反射栅的参数, 以获得低插损和高  $Q_L$  值, 从而提高传感器的稳定性、灵敏度等。

限制加载  $Q_L$  的主要因素有: 压电基片的  $Q$  值有限, 器件中心频率超过 200MHz 时, 声能按频率的平方耗散; 与归一化孔径长度的平方成正比的衍射; 转化成体波、叉指电极的电阻等损耗以及外部电路的  $Q$  值。

由于谐振器的相位与加载  $Q_L$  密切相关, 因此提高  $Q_L$  值, 也能获得低相位噪声的谐振器, 减小传感器的测量误差。此外, 由于 SAW 质量加载非常敏感, 脏脏、潮湿等因素可使传感器完全失效, 因此, 既要保证传感器封装时基片表面与外界

完全隔离, 又要保证在传感器安装时能使被测量高效加载到基片上。

国际上对这方面的研究始于 90 年代初, 至今实现了压力、温度、应力、应变、力矩、加速度、振动等物理量的测量, 且具有较高的测量精度。在德国, 已研制成功全石英封装的 SAW 压力传感器, 用于智能化汽车的轮胎压力测量。

## 3 SAW 器件用于传感器信息无线传输

根据上述谐振式声表面波传感器的工作原理, 被测量的效应是直接作用在基片上的, 因此, 其难免存在温度等因素造成的交叉敏感问题。在传感器设计过程中, 要充分根据被测量的特点, 进行专门的声表面波器件设计。

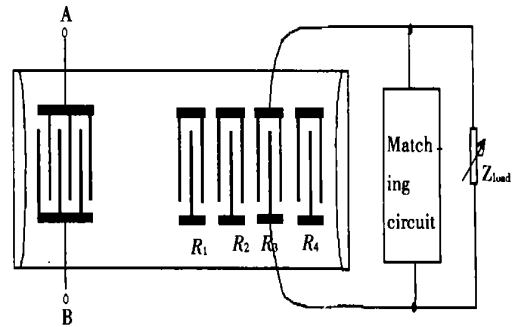


Fig. 2 SAW device with external variable impedance load.

如图 2 所示的反射栅  $R_3$  上外接一阻抗为  $Z_{load}$  的电路, 使用 SAW 器件的  $P$  矩阵模型分析器件的反射, 其声端的反射系数  $S_{11}$  是外接阻抗  $Z_{load}$  和匹配电路  $Z_{match}$  的函数:

$$S_{11}(Z_{load}) = P_{11} + \frac{2P_{13}^2}{P_{33} + \frac{1}{Z_{load} + Z_{match}}} \quad (2)$$

其中,  $P_{11}$  是由叉指换能器压电短路和质量加载引起的电极反射, (2) 式右边的第二项是由电学再生引起的反射。 $P_{33}$  是叉指换能器的电学输入导纳,  $P_{13}$  是换能器电学端对 3 用一个恒压源驱动时, 在前向端对 1 上产生的声波振幅, 它等于前向端对上脉冲响应的傅氏变换。

反射系数  $S_{11}$  随外接负载  $Z_{load}$  的变化曲线如图 3 所示的极坐标曲线中。从图中可以看出: 作为反射栅的叉指换能器的反射系数随着外接负载

的不同而变化。当叉指换能器被完全短路时,反射系数取决于  $P_{11}$ ; 随着外接电感的增大, 反射系数可增大至 1, 然后逐步变小; 在反射栅外接适当数值电容负载时, 可使反射完全消失。根据上述原理, 图 2 所示的四条或更多的反射栅人为地被设置为开路或短路, 那么在反射幅度上会有 20dB 的差距。若认为低反射幅度的为“0”, 而高反射幅度的为“1”, 则可以实现开关量的无线传输, 或者是幅度调制式的目标辨识系统。目标辨识是无源 SAW 器件在工业中最典型的应用。文献表明<sup>[1]</sup>在 2.45GHz 的工作频率下, 最多可在反射极区域布置 32 条电极, 则回波信号可得到  $2^{32}$  种状态, 可分别表示不同编号的车辆、集装箱、工件、人或动物以供辨识。由德国 Siemens 公司开发的挪威奥斯陆汽车过桥收费系统以及德国慕尼黑火车进站定位系统, 利用贴在汽车或火车特定部位的 SAW 辨识标签, 可实现汽车的不停车收费和控制进站列车停靠位置达厘米级的精度。

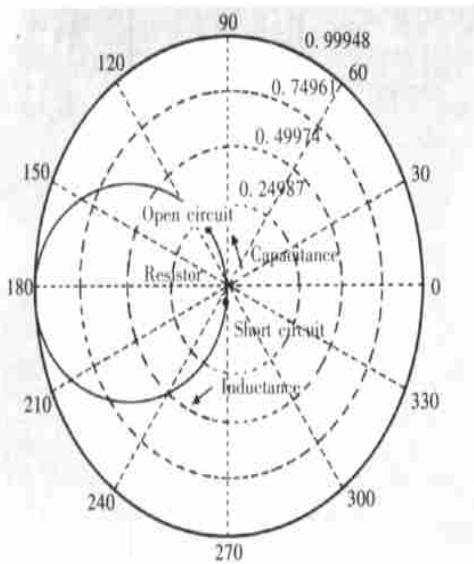


Fig. 3 Relationship between the reflection coefficient and the external load.

如果连续测量反射系数与变化的外接负载的

#### 参考文献:

- [1] Reindl L, Scholl G, Ostertag T. Theory and application of passive SAW radio transponders as sensors[J]. IEEE Trans. on UFFC, 1998, 45(4): 1281- 1291.
- [2] Steindl R, Pohl A, Reindl L, et al. SAW delay lines for wirelessly requestable conventional sensors[J]. Proc. of the IEEE Ultrason. Symp., 1998, 1: 351- 354.

这种关系, 就可以将其应用到常规的变电容、或变电感传感器的信息传输上, 即把常规的变电容、或变电感传感机理的传感器的输出通过匹配电路接在 SAW 器件的反射栅上, 可以不必对传感器的信号进行任何处理, 就可以通过无线测量反射栅的反射系数而获得传感器的信息。这对传感器阵列的无线数据传输提供了一种新思路。

根据上述原理, 若直接测量反射信号幅值变化, 需要在接收机中增加对数放大器以提高系统动态范围。此外, 利用不外接传感器的  $R_1$  反射栅作为参考, 外接传感器的反射栅幅值除以  $R_1$  的幅值以消除传感器与接收机之间的运动对各次测量造成的影响。引线造成的影响可归结到匹配电路中。通过对标准电容、电感器件的测量对器件标定后, 对无线系统进行了精度测试。测试结果如表 1 所示:

Table 1 Measured results of the wireless system

Standard capacitance, Inductance values	Real measured values	Relative errors
4.7pF	4.4pF	- 6.4%
10pF	10.4pF	4%
20nH	21.4nH	7%
40nH	41.7nH	4.25%

从测试数据可以看出, 相对误差不超过 10%, 在很多工业场合下可以使用。国际上, 已成功应用于无线水分和磁场的测量。

## 4 结 论

由于声表面波器件独特的无源和可无线化的特性, 利用该器件制作的无线 SAW 传感器以及常规变阻抗传感器的无线信息传输系统与基于调制解调的无线传感器的相比, 在许多特殊场合日益显示出其必要性和重要性, 在目标辨识、智能化汽车以及工业中将具有广阔的应用前景。同时, 开发新型物理、化学、生物量的 SAW 传感器, 进一步提高无线 SAW 传感器性能是下一步研究的方向。

## Application of Surface Acoustic Wave Devices in Wireless Measurement System

HAN Tao, SHI Weir kang

(*School of Electronics and Information, Shanghai  
Jiaotong University, Shanghai 200030, China*)

**Abstract:** In some applications, it is difficult to implement a fixed connection between sensors and signal processing units, or it is necessary to resort to wireless information transmission because of bulky cable. Wireless sensor is one of the focuses in recent sensor research. Compared with modulation based radio sensors, the passive and telemetric surface acoustic wave (SAW) sensors are absolutely necessary in some special environment applications. In this paper, state of the art of SAW sensors is reviewed, and the principle of wireless SAW resonator sensor is presented. In addition, some detailed measures to improve the sensitivity of the sensor in SAW- device design and fabrication are discussed. The application in object identification and wireless information transmission for classical impedance sensor is also presented.

**Key words:** passive and wireless; resonance; surface- acoustic- wave sensors; information transmission

作者简介: 韩韬(1973-), 男, 山东泰安人。上海交通大学 99 级博士研究生, 研究方向为新型传感器和现代检测理论, 已录用和发表论文 10 余篇。

## 《发光学报》 —物理学类核心期刊

《发光学报》是中国物理学会发光分科学会主办的学术会刊, 由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所承办。该刊以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于 1980 年创刊, 曾于 1992 年, 1996 年和 2000 年连续三次被“中文核心期刊要目总览”评为物理学类核心期刊。2000 年被评为中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA) 自 1999 年始; 美国《化学文摘》(CA) 和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ) 自 2000 年始已定期收录检索该刊论文。本刊内容丰富、信息量大主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为季刊, 大 16 开本, 100 页, 国内外公开发行。国内定价: 每册 9.00 元。全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市人民大街 140 号

《发光学报》编辑部

邮 编: 130022

电 话: (0431) 5684692- 2534

E mail: fgxb@ciomp. ac. cn

国内统一刊号: CN- 1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000- 7032

国内邮发代号: 8- 173

国外发行代号: 4863Q

http: // www. ciom. ac. cn