

文章编号: 1001 - 893X(2012)12 - 2004 - 05

声表面波射频识别系统的发展与应用^{*}

范 玮

(重庆电子工程职业学院 应用电子学院, 重庆 400065)

摘 要:介绍了声表面波射频识别系统(Surface Acoustic Wave Radio Frequency Identification Devices, SAW RFID)的结构、声表面波器件的工作原理以及特点,回顾了声表面波技术的发展,并分别从军用和民用两方面总结了 SAW RFID 的应用,提出了 SAW RFID 系统在实现上的关键技术和技术难点。最后指出,随着这项技术的发展,将使物联网再次发生质的飞跃,实现良好社会效益。

关键词:声表面波;射频识别;物联网;发展;军事应用;民用

中图分类号:TN65 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001 - 893x.2012.12.026

Development and Application of RFID Based on Surface Acoustic Wave

FAN Wei

(Application Electronic College, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 400065, China)

Abstract: The structure, principles and characteristic of Surface Acoustic Wave Radio Frequency Identification Devices(SAW RFID) are introduced. The development of Surface Acoustic Wave(SAW) is reviewed. The military and civilian applications of SAW RFID are summarized. Finally, the key technology and technical problems of SAW RFID are proposed. It is pointed out that with the development of SAW technology, the Internet of Things(IoT) will undergo a qualitative change in terms of capacity, technology and service so as to achieve good economic and social benefits.

Key words: surface acoustic wave(SAW); radio frequency identification devices(RFID); Internet of Things; development; military application; civilian application

1 引 言

射频识别技术(RFID)从 20 世纪 80 年代中期开始应用,截至如今,RFID 的理论得到不断的丰富和完善,而且单芯片电子标签、多芯片电子标签识别、无源电子标签的远距离识别、适应高速移动物体的射频识别技术与产品已经成为现实并广泛应用于物流、交通、金融、矿井、军事等领域。但是,RFID 存在很多问题,除了标签成本偏高、读取距离短之外,在技术上也存在很多不足,如工作于 915 MHz 以下的 RFID IC 在有金属物体、液体、高温、强电磁干扰环境中时,其信息读取存在困难,RFID 标签无法正常工

作,导致标签失效率高。而在这两个方面,声表面波(SAW)技术实现的 RFID 恰恰具有无可比拟的优势,SAW RFID 技术在普通 RFID 应用的基础上还可用来测量压力、应力、扭曲、加速度和温度等参数变化。可以预计,采用 SAW 技术实现的 RFID 将具有巨大的市场前景。

2 SAW RFID 技术概述

2.1 SAW RFID 概念及结构

声表面波射频识别(SAW RFID)^[1]终端系统由

^{*} 收稿日期:2012 - 05 - 16;修回日期:2012 - 08 - 07

读卡器、天线、SAW 标签(也称 SAW 声表面波应答器)三部分组成,SAW 标签包括射频天线和声表面波器件。SAW RFID 的核心部件是声表面波器件,其功能如同电子标签的 IC。所以 SAW RFID 也被称为无芯片标签,其结构^[1]如图 1 所示。SAW RFID 是在压电晶体小基片(材料是铌酸锂 LN-LiNbO₃,这种压电材料的机电耦合系数较高,相对于石英传播损耗较少,具有较好的压电特性)上用半导体工艺制作出专门设计的叉指换能器(IDT)和若干个反射器,换能器的两条总线和电子标签的天线连接,反射器数量与配置取决于所要求的应答编码。

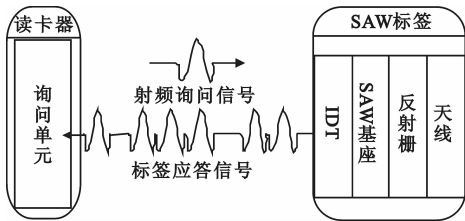


图 1 SAW RFID 系统结构图
Fig.1 SAW RFID system structure

2.2 SAW RFID 工作原理

SAW 是在固体半空间表面存在的一种沿表面传播、能量集中于表面附近的弹性波。它在传播过程中,质点位移的振幅随离开媒质表面的距离的增大呈指数衰减。因此,表面波的能量主要集中在表面下 1~2 个波长的范围内,表面波也因此而得名。

在介绍 SAW RFID 工作原理之前,先简单说明 SAW 器件的工作原理^[1-2],如图 2 所示:在压电基片上有规律地沉积两组金属叉指换能器,通过逆压电效应将加在输入换能器上的高频电信号转换为 SAW 信号,SAW 信号在压电基片的声通道上经过一定的时延,压电效应在第二组接收换能器上将 SAW 信号转换为电信号输出。

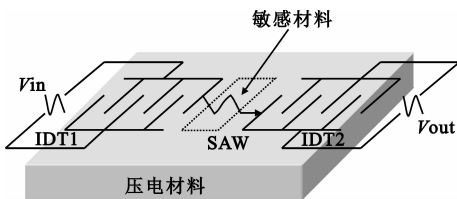


图 2 SAW 信号处理器件工作原理
Fig.2 Principle of SAW

子标签信息向阅读器的传送。阅读器^[3]的天线周期性发送高频询问脉冲,在电子标签天线的接收范围内,被接收到的高频脉冲通过叉指换能器转变成声表面波,并在晶体表面传播。反射器组对入射表面波部分反射,并返回到叉指换能器,叉指换能器又将反射声脉冲串转变成高频电脉冲串。如果将反射器组按某种特定的规律设计,使其反射信号表示规定的编码信息,那么阅读器接收到的反射高频电脉冲串则带有该物品的特定编码。通过解调和处理,就可以达到自动识别的目的。

声表面波传播速度低,一般为 3~4 km/s,其传播速度比电磁波小 10⁻⁵ 倍,所以在 SAW 延迟线上实现 1 μs 的延迟只需 1.5~2.0 mm 的长度,而应答信号的延迟时间一般大于 1 μs。有效的反射脉冲串经过几微秒的延迟时间后才返回到阅读器,在此延迟期间,来自阅读器周围的干扰反射已衰减,不会对声表面波电子标签的有效信号产生干扰。

2.3 SAW RFID 技术的特点

SAW RFID 除了具有 RFID 的可反复使用、数据读写方便、安全性能高等优点,还具有如下技术特点^[2,4]。

(1) 双重功能

由于 SAW RFID 采用了 SAW 器件,SAW 信号能量集中在基片的 1~2 波长范围内,其对外界量变的响应较其他信号更为敏感,利用 SAW 信息敏感技术不但可以实现多种物理量(如温度、压力、湿度等)的高精度敏感,还为化学、生物等微量物质的敏感奠定了技术基础。因此,基于 SAW 的电子标签同时具有识别和传感的双重功能,如温度传感器、压力传感器、湿度传感器、扭力矩传感器、加速度传感器等。

(2) 可靠性高

SAW 电子标签工作时不需要电源供电,真正具备了无源特性,可靠性很高,可长期在高温差、高湿度、强电磁干扰等严酷环境下工作。

(3) 体积小,结构简单

SAW RFID 标签的工作频率范围 433.82 MHz~5.8 GHz,并且可以用半导体制造技术大量制造,而有价格上的竞争力,成本较 IC 标签更低。

(4) 识别距离远,识别速度快

无源识别距离一般 10~20 m 以上,一次准确识别时间约 1 ms。不仅能识别静止物体,而且能识别速度达 300 km/h 的高速运动物体。

SAW 无源电子标签采用反射调制方式完成电

3 SAW RFID 的发展

3.1 SAW 技术的发展历程^[5]

1880 年, Curie 兄弟发现了压电特性, 随后在 1881 年 Hankel 对其命名。

1885 年, 英国物理学家瑞利发表了名为《沿弹性体平滑表面传播的波》的论文, 指出除了减切波与纵波之外, 在弹性晶体的表面上还存在一种形式的波动, 在理论上阐述了一种沿半无限厚弹性体表面传播, 且能量集中于表面的波, 即声表面波 (Surface Acoustic Wave, SAW), 也被称为瑞利波, 但是当时并没有引起很大的实用上的发展。

1965 年, White 等人在应用物理杂志上发表了一篇名为《一种新型声表面波声 - 电换能器》的论文, 首次在压电基片上制作金属叉指换能器, 并在叉指换能器上施加交变电场, 使基片上激发出声表面波, 声表面波器件问世。出于军事上的需要, 声表面波 (SAW) 技术获得了迅速发展, 20 世纪 70 年代声表面波技术发展达到高潮, 在理论上提出了脉冲响应模型、等效电路模型、各种二次效应分析以及各种器件的结构和设计方法, 形成了比较完整的体系。

1975 年, D. Culein 等人报道了第一个声表面波技术传感器——压力传感器。

1980 年, HF. Tiersten 等人报道了首个加速度声表面波传感器。

1982 年, AD'Amcio 等人试验了第一个声表面波气体传感器。

1983 年, E Gatti 等人研制了第一个声表面波电压传感器。

1991 年, Joshi S.G. 等人研制了声表面波流量传感器。

1993 年, Nomura T. 报道了声表面波湿度传感器。

2002 年, SHUIY 等研究了在低损耗声表面波滤波器中广泛使用的电极宽度控制单相单向转换器 (EWC-SPUDT)。

3.2 SAW RFID 的发展现状^[5]

SAW RFID 已出现了一段时间, 应用在移动电话、寻呼机中的数以亿计的非 SAW RFID 方案具有可靠性高、成本低的特点, SAW RFID 技术也从这些优点中受益良多。SAW RFID 首先出现在美国加利福尼亚和挪威的不中断式公路收费系统中, 但是数量不多。并且在加利福尼亚它们被贴到汽车挡风玻璃上的硅芯片 RFID 标签代替了。在挪威, MicroDe-

sign 公司供应采用这种技术的只读被动式标签有十几年的时间, 后来它就以 QFree 的名义开始供应针对不中断式公路收费系统和其他设备的硅芯片 RFID 可读写设备与系统。

美国《军事与航空航天电子学》网站 2006 年 8 月 7 日报道, 美国国防部承包商 7 月 17 日采购了 AirGATE 技术公司基于 SAW 的射频识别系统。该系统用于传统 RFID 系统无法应用的领域, 其作用是识别和跟踪被标记目标, 具体包括测量被标记物体的温度、读取目标物体的组成、目标是否与液体和金属有接触、远距离目标、经历巨大温差变化的目标、受到压力作用的目标、受到辐射的目标等。

Siemens 公司的 SOFIS 声表面波系统已成功用于挪威奥斯陆汽车过桥自动收费系统以及德国慕尼黑火车进站定位系统。在美国, Identronix、RF-SAW 等公司也均生产商业化的 SAW 标签。由于该类器件的应用已成熟, IEEE 超声铁电体分会正在组建委员会准备制定这方面的标准。美国的 RF-SAW 已于 2004 年初向 EPC GLOBAL 提出了声表面波电子标签标准的草案。

奥地利 Villach 的 Carinthian Tech Research (CTR) 已经开发出 SAW RFID 标签, 使用压电晶体取代硅制成的芯片。这种标签在工程和工业应用中能够承受和监控不同的温度。三菱汽车澳大利亚分公司投资数百万澳元用于各种技术改造, 其中就选用了 OISAW RFID 系统, 用于跟踪车辆的生产过程。由于该系统能够承受涂装车间的恶劣环境和高温, 准确实时确定生产过程的每一台车辆, 从而顺利实现自动纠错无重复生产。SAW RFID 系统的价格相当昂贵。据 CTR 透露, SAW 标签单价为 100 欧元, 应答器单价为 6 000 欧元。由一个读写器、一个天线、各种标签以及软件组成的一个 SAW 演示工具包, 价格为 6 690 欧元。

SAW RFID 可以认作是第二代无芯 RFID 标签, 该项目的研究对创建自主知识产权的新产业有较深远的意义。

4 SAW RFID 的应用

SAW RFID 系统可以广泛应用于零售业、身份识别、物流等行业, 同时可以扩展至无线传感器领域, 本文分别以军用^[6]和民用说明 SAW RFID 的应用。

4.1 军用系统应用

SAW RFID 标签具有体积小、无源无线识别的

特点。由于机载设备和地面维修设备安装复杂,在维修与检查过程中,SAW RFID 标签无线的特点能给设备的识别带来方便。同时,SAW RFID 标签无线的特点也能支持系统标签的长期使用,故 SAW RFID 标签在军用系统应用中具有很大潜力。

在军用测试系统中,利用 SAW RFID 编码确定军用设备的唯一性,且对应计算机中唯一数据。数据包括维修历史、相关产品的性能特性和设备使用强度等情况,军队根据这些数据对设备的状态趋势进行分析,实现预防性维修。实现设备维修的自动化、智能化,提高了设备的维修保障水平。此外,采用 SAW RFID 可以对军用物流进行管理,记录军用仓库中设备器材的出入库情况等,提高仓库器材保障科学化管理水平和信息化程度。

4.2 民用系统应用

4.2.1 SAW RFID 在电力系统中应用

在电力系统^[7]中,发电厂的转子定子、变电站的高压开关柜、母线接头、室外刀闸开关、电容器、电抗器、高压电缆、变压器等重要设备的异常、故障,最初都伴随着局部或整体的过热或温度分布相对异常,一旦出现故障,就会影响整个区域的电力供应,造成巨大的经济损失,成为重大的安全事故,所以对电力设备温度的在线监控显得十分必要。而 SAW RFID 是近十几年来发展起来的新型技术,其可以被开发成为测量机械应变、压力、气体、微小位移,以及温度等参数的传感器,用途广泛。另一方面,声表面波电子标签体积小、重量轻、抗干扰能力强、检测范围线性度好,同时具有良好的热性能和机械性,能适合远距离传输和实现遥测遥控。这些特性使得 SAW RFID 在复杂的电力系统状态监控中的应用前景广阔。

4.2.2 SAW RFID 在钢铁冶炼中应用

热轧^[8]是在再结晶温度以上进行的轧制。热轧机轧制的过程中,可逆轧机和连轧机的带材温度的变化直接影响到带材的质量和板型,不均匀冷却造成的残余应力对变形、稳定性、抗疲劳等方面都可能产生不利的作用。因此在轧钢的过程中,温度的控制是非常重要的一个环节,设置一套完整的热轧机温度控制系统很有必要,并且可以随时监测控制温度。

轧钢温度控制系统中,在逆轧机的入口和出口以及连轧机的入口安装高温测量传感器,而在带材传输过程中可以运用 SAW RFID 技术进行测温,以进一步加强对温度的监测。声表面波标签在高温环

境下依然可以正常工作,且可测量的温度可达 1 000 ℃ 以上,误差小,精度高。在工作过程中,标签贴于钢材表面,由安装在附近(8 m 以内)的读卡器将信息传给计算机系统。

热轧温度控制系统由可逆轧机温度控制系统和连轧控制系统组成,采用计算机系统控制,并且配合喷射系统,通过现场总线和工业以太网通信模式进行数据传输和控制,进一步调节机器运转,三个系统协调配合,共同完成温度控制的过程。带材温度控制过程中,预先设定冷却液的流量、温度和喷射区域,当带材通过喷射区时,通过 SAW FRID 测温装置的监测,计算机根据所测温度随时控制带材的移动速度、冷却液的流量和喷射时间。

在入口、出口以及传输过程中对钢材进行全程测温,有效地控制热轧的温度,使产品的质量和生产效率进一步提高。

5 关键技术和难点

5.1 关键技术

(1) SAW RFID 的理论设计

合理设计并且优化电路,包括发送机和接收机的设计调试,使得 SAW RFID 快速准确地读取数据。研究多芯片模块设计及微组装技术,实现模块的小型化和低成本。建立几种不同应用环境以及短距离环境下,用于估算射频功率传输的电磁波传播模型。从理论上研究环境反射对阅读器接收机的影响,为阅读器和电子标签之间的功率分配和传输的优化、功率控制等部分的设计改进提供理论依据。

(2) 批量生产工艺技术

完善和掌握具有高成品率、高质量、高效率的批量生产工艺技术。

5.2 技术难点

(1) SAW RFID 系统的防碰撞技术

研究密集读写器环境下多标签访问防冲突技术算法。综合采用分应用层次编码,阵列天线控制、空间谱估计和盲信号分离等数字信号处理算法,改进按位检测碰撞暂停通信的二进制树形搜索算法,分布式的自适应图着色算法,研究出具有自主知识产权的防冲突技术算法。

(2) SAW RFID 系统的超强抗干扰技术

通过读写器射频参数调整技术的研究,使读写器中心工作频率可调,射频输出功率可调,满足无线

电频率规范,并能够同时支持多种通信协议和各种应用环境的需要。

(3) SAW 信号处理转换技术

包括敏感参数的选择、SAW 振荡器类型的选择以及声波种类的选择等。

(4) 化学敏感膜技术

主要包括选择性吸附膜的研制和选择性吸附膜的制备工艺等。

(5) 综合信号处理技术

声表面波传感器是以 SAW 模拟信号处理器为基础的传感器,它对外界量例如压力、温度、湿度、电压、负载等各类物理、化学、生物气相、液相量均要产生敏感。SAW 传感器的最终目的是要以 SAW 传感器中得到的电信号转化为各种外界量,并且接触相应外界因素的变化量。

6 结束语

SAW RFID 系统可以广泛地应用于零售业、身份识别、物流等行业,同时可以扩展至无线传感器领域;SAW 标签属于半导体工艺制作,便于批量生产,SAW RFID 系统的相关产品都属于电子信息类产品,研发和生产都十分成熟,可见其产业化的基础条件成熟。在市场方面,经过近 10 年的技术推广和相关配套技术的发展,整个 RFID 市场已经形成,各个配套行业的产业化进程都在飞速的进行中。此外,近几年新兴 RFID 公司也纷纷成立,行业规模也日趋壮大,因此,SAW RFID 系统作为 RFID 系统的一个重要分支其产业化的可行性是显而易见的。SAW RFID 系统的开发和研制标志着该项技术产品的国际化,同时 SAW RFID 系统又是对 IC 技术的重要补充,使 RFID 技术更加完整。所以说 SAW RFID 领域的市场潜力巨大,商机无限,谁的技术和研发实力最强,谁先占领市场,谁就会获得丰厚的利益。

参考文献:

[1] 王玉林,曹金荣,前锋,等. 声表面波射频识别无源电子标

签[J]. 固体电子学研究与进展,2007,27(1):109-114.

WANG Yu-lin, CHAO Jing-rong, QIAN Feng, et al. SAW RFID Passive Tags[J]. Research & Progress of SSE, 2007, 27(1), 109-114. (in Chinese)

[2] Hartmann C S. A global SAW ID tag with large data capacity [C]//Proceedings of 2002 IEEE Ultrasonics Symposium. Munich, Germany: IEEE, 2002:63-67.

[3] 刘庆华,李民权. 声表面波射频识别阅读器的设计[J]. 国外电子元器件, 2007(3):68-71.

LIU Qing-hua, LI Min-quan. Design of SAW RFID reader[J]. International Electronic Elements, 2007(3):68-71. (in Chinese)

[4] 杨莺. 新结构声表面波质量传感器及声表面波集成声路隔离吸声技术的研究[D]. 浙江:浙江大学, 2005.

YANG Ying. Researches On Novel Structure SAW. Mass Sensor And Isolation Technologies of SAW Integrated Acoustic Path[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2005. (in Chinese)

[5] 袁小平. 国外声表面波传感器开发近况[J]. 压电与声光, 1995, 17(4):6-10.

YUAN Xiao-ping. The Developing Situation of SAW Sensors at Abroad[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 1995, 17(4):6-10. (in Chinese)

[6] 江城,倪世宏,徐明. SAW RFID 标签在军用测试系统中的应用[J]. 压电与声光, 2008, 30(3):262-264.

JIANG Cheng, NI Shi-hong, XU Ming. Application of SAW RFID to Military Test System [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2008, 30(3):262-264. (in Chinese)

[7] 陈金,覃奇,彭光尼,等. 声表面波温度传感器在电力系统状态监控中的应用[J]. 电气技术, 2011(12):93-95.

CHEN Jin, QIN Qi, PENG Guang-ni, et al. Application of SAW Temperature Sensor in Power System Monitoring[J]. Electrical Engineering, 2011(12):93-95. (in Chinese)

[8] 戚新军,徐筱芴,王震,等. 热轧温度对冷轧带钢板形的影响及控制措施[J]. 冶金丛刊, 2012, 197(1):34-35.

QI Xin-jun, XU Xiao-xian, WANG Zhen, et al. Effect of Hot Rolling Temperature on Shape of Cold-Rolled Sheet and the Control Measures [J]. Metallurgical Collections, 2012, 197(1):34-35. (in Chinese)

作者简介:

范 玮(1963—),女,四川人,教师、实验师,主要研究方向为电子技术及实验管理。

FAN Wei was born in Sichuan Province, in 1963. She is now a lecturer and also an experimentalist. Her research concerns electronic technology, experimental management.

Email: lxm893521456@163.com