

# 高分子薄膜传感器的发展

黄旭生

浙江众成包装材料股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i1.5934

**[摘要]** 第四次工业革命已经结束,中国正面临从制造大国向制造强国转变的历史性机遇。中国和国际制造业都面临着工业现代化和创新的挑战。项目的核心和出发点都是智能制造,不管是在物联网领域还是数字制造领域。所有这些智能制造技术都离不开传感器技术。针对智能制造的技术需求和挑战,本文论述了薄膜传感器的研究价值,分析了国内外薄膜传感器的研究进展和加工工艺,列举了薄膜传感器集成结构和功能的主要生产技术和应用,以及未来的发展前景。

**[关键词]** 薄膜传感器; 结构功能一体化; 工艺研究

## Development of Polymer Thin Film Sensors

Huang Xusheng

Zhejiang Zhongcheng Packaging Materials Co., Ltd

**[Abstract]** The Fourth Industrial Revolution has come to an end, and China is facing a historic opportunity to transform from a manufacturing powerhouse to a manufacturing powerhouse. Both China and the international manufacturing industry are facing challenges of industrial modernization and innovation. The core and starting point of the project are both intelligent manufacturing, whether in the field of the Internet of Things or digital manufacturing. All of these intelligent manufacturing technologies are inseparable from sensor technology. In response to the technical requirements and challenges of intelligent manufacturing, this article discusses the research value of thin film sensors, analyzes the research progress and processing technology of thin film sensors at home and abroad, lists the main production technologies and applications of integrated structures and functions of thin film sensors, as well as their future development prospects.

**[Keywords]** Thin film sensor; Integration of structure and function; Process research

目前市场上广泛使用的传感器很多,这些传感器远离工作表面,无法实时反映工具和机械部件的温度,压力和其他操作条件。因此,迫切需要集成结构功能一体化的集成传感器,嵌入式传感器是研究热点。

### 一、薄膜传感器的研究价值

目前,立式传感器主要由高分子或金属组成,它们会在高应力,摩擦,高温和腐蚀条件下变形,失效甚至无法使用。而,嵌入式耐磨型传感器可以在这些恶劣的操作条件下实现稳定的测量信号传输。研究这种薄膜传感器具有特殊的战略意义。首先,根据国家的战略需求进行生产对经济至关重要。该嵌入式传感器技术的攻克研究完全符合“中国制造2025”的目标,即发展绿色智能制造和高端设备,力争迅速成为具有科学价值和经济效益的强大生产力。该项目的成功可以解决芯片传感器面临的基

本科学问题。与工业防护涂层相结合,对智能制造的发展具有重要的科学意义。进一步,这些传感器的开发具有特殊的政治和外交优势。近年来,发达国家日益增长的贸易保护主义给中国造成了政治、经济和技术上的障碍。这项研究帮助中国打破了技术壁垒,并带来了巨大的政治和外交利益。

### 二、薄膜传感器国内外研究现状

自20世纪90年代以来,中国一直在使用特殊的加工技术来制备薄膜传感器。最初的主要方法是磁控溅射、电弧离子镀膜,但应用结果的灵敏度和线性并不乐观。在21世纪,许多大学,研究机构和企业都在努力开发高性能传感器,研制一种能在300摄氏度下使用的高温压力传感器。在军用系统中取得了良好的效果,包括沈阳巩固大学研制的多晶硅高温压力传感器和电子科技大学研制的MNCU合金薄膜传感器。但与发达国家相比,还有

相当大的差距,尤其是在大功率电子设备中传感器的使用方面。在国际上,薄膜传感器的概念于20世纪70年代在英国提出。随后是美国的第一个蒸镀法和德国的第一个MS方法。这使得薄膜压力传感器更加高效。从那时起,薄膜传感器在生活的各个领域都很受欢迎。德国弗朗和费技术研究所(IST)研究了一种用于掺氢DLC薄膜传感器。德国Bosch制备开发了一种用于单晶硅薄膜的压力传感器,广泛应用于汽车和移动电子产品。总体而言,目前,市场上还没有多功能耐磨传感器的集成生产和示范,对薄膜的大量研究不足以支持薄膜结构集成传感器的生产。

### 三、薄膜传感器制备工艺的研究

用于制造功能性薄膜的技术有很多,最常用的技术是物理蒸汽沉积(PVD)和化学蒸汽沉积。物理蒸汽沉积(PVD)具有高温、损伤小等优点,积极解决热节点热电材料重叠的问题。该技术在薄膜传感器的制造中也很受欢迎。物理气体沉积(PVD)是指气态原子、分子和气体离子的物理形成,在高真空下,这些粒子聚集在基底上,核心是将原料转化为气体粒子。此外,在电影制作过程中不可避免地会出现意外,导致电影中的错误。缺点可能会影响传感器的电气特性。热处理是消除缺陷的最有用的方法,使薄膜的内部结构优化,其性能从而提高。因此,热处理技术也是薄膜传感器制造的研究课题。

### 四、结构一体化的薄膜传感器设计制备必要关键研究

为了实现多功能抗磨防护传感器的集成设计,迫切需要解决以下问题。

1、应研究耐磨性防护涂层的制备和性能。对于不同的应用条件,可以使用典型的防护涂层不同的PVD工艺来生产,包括ALTiN(切削刀具),CRN(样式,零件)和DLC(样式,零件)涂层,以优化沉积参数防摩擦涂层侧重于低温沉积(避免高温传感器故障)和界面粘接问题,具有良好的可用性。

2、研究PVD-ALD复合技术在电绝缘材料制造中的制备、性质和应用;多层PVD/ALD涂层的结构和厚度由多层纳米ALD涂层控制,该涂层将双极脉冲溅射与等离子刻蚀、磁控电弧、脉冲偏压和气体反馈控制技术相结合。测量了Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和AlN沉积物或多层绝缘薄膜的绝缘性能、击穿电压和高温稳定性,具有良好的绝缘性能、良好的结合强度和低厚度。

3、在耐磨涂层、电绝缘层和金属基板之间的界面上进行适当的优化设计研究,以提高薄膜传感器涂层、金属基板和耐磨涂层(ALTiN、CRN、DLC)之间的结合强度,使用气体等离子刻蚀技术(AR、O<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)和附加过渡层(Ti、AlN、TiC和AlTiN)对界面的微观结构和优化规则进行了研究。

4、功能传感薄膜生产和性能已被广泛研究。dcMS技术用于

生产热电偶薄膜(Cu/CuNi、NiCr/NiSi、热阻(W)和压阻(DLC、CuMnNi)。研究了温度和压力测量精度与薄膜组件的结构和尺寸(长度、宽度、厚度)之间的关系和模式。实现了功能性集成薄膜传感器的示范应用,在三维金属零件(工具、模具、旋转主轴)上制作了功能性集成膜传感器,并对其示范应用进行了研究;达到仪器、形状和旋转轴的正常功能特性,以及检测信号的灵敏度和稳定性;研究了结构功能集成膜传感器在组件实际运行中的作用和失效机制。

### 五、高分子湿度传感器概况

人类生活、工业和农业生产以及植物和动物的生存和生长都与环境湿度密切相关。随着科学技术的进步,水的测量和控制在许多经济领域变得越来越重要和相关,特别是:随着生活水平的提高,空气质量和相对湿度作为生活质量的关键指标变得越来越重要。大量湿度控制单元已经进入人们的生活,湿度传感器的应用范围也在不断扩大。表示湿度的常用方法是混合比、露点和相对湿度。在复杂的环境中工作,如当空气流速、温度、湿度发生急剧变化时,或当测量高度污染的工业气体时,准确度会受到很大影响,随着人类社会逐步从工业时代向信息时代过渡,能源、信息和材料将成为新技术革命的三大支柱。传感器是检测某些测量信号(物理或化学)和可测量信号(频率信号等)的装置或设备。根据某些敏感部件是传感器的核心时,传感器研究的重点是敏感材料的选择和优化,以及新型功能材料的开发和应用。湿度传感器是一种重要的化学传感器,广泛应用于存储,工业制造,过程控制,环境监测,家用电器,天气等领域,如电子元件的精密制造,航天器,火箭储存等。湿度与人类生活,工业和农业生产以及植物和动物的生长和生存密切相关。为了创造一个舒适的生活环境和理想的生产条件,有必要检查,控制或调整湿度。然而,湿度测量方法的调查远不如温度的调查和测量准确,这并不令人满意。理想的湿度传感器的性能和参数如下:使用寿命长,长期稳定性好,高灵敏度,曲线是线性的,对湿度敏感,范围广,温度系数低,反应时间很短,湿滞小,设备一致性好,互换性好,容易与其他智能传感器实现集成。

1、湿度传感器的分类:目前有不同类型的湿敏器,但所使用的感湿材料可分为三类:电解质、半导体陶瓷和高分子聚合物。根据结构属性,高分子聚合物的种类可分为电容器、电阻器、声表面波(SAW)、石英振荡器等。电解液湿度传感器不能长时间在非常潮湿的环境中使用,因为电解盐吸收水分进入对水敏感的材料中,然后均匀地稀释或流动,这可能会影响其湿度测量目标。目前,耐高分子湿度传感器的发展越来越快,使用的频率也越来越高。但是,由于湿度传感器在操作过程中必须直接暴露在测量

环境中,并且存在复杂的操作条件,因此对湿度敏感的设备可能会长期暴露在腐蚀温度和有害气体中。多年来,这导致其长期稳定可靠,防水性能差,抗干扰能力差,这限制和阻碍了其实际应用和进一步发展。

2、高分子湿度传感器。有机湿度传感器是研究最广泛的湿度传感器类别,它可以根据环境中的湿度变化和聚合物材料的湿度灵敏度的变化来检测湿度。材料或长度或体积等性质的变化可以改变介电常数,电导率等。与陶瓷湿度传感器相比,它们具有广泛的测量范围,快速的响应,低湿度延迟,兼容的IC技术,易于制造和低成本等优点。广泛应用于气象、纺织、集成电路制造、家用电器、食品等行业。根据其测量原理,一般可分为电容、电阻、声表面波、光学波等。高分子电容湿度传感器,其机制基于湿度敏感膜,当它吸收环境中的水分子时,其介电常数会发生变化,从而导致决定相对湿度的容量变化。电容性聚合物传感器的典型结构是“三明治”结构,其中金属电极作为粘合剂电极放置在基板上,在基板上施加潮湿的聚合物薄膜。目前,它占聚合物湿度传感器市场的70%。但也存在很多问题,比如具有高湿度的显着漂移,对高湿度的抵抗力差,长期稳定性差。高分子湿度传感器是一种快速增长的传感器类型,具有生产简单,价格低廉,稳定性好,易于批量生产的优点。这主要是基于这样一个事实,即湿膜的电导率随相对湿度的变化而变化,这可以通过确定元件的电阻来确定。

3、结构材料,各种湿度传感器结构的湿度传感元件主要包括陶瓷、聚合物、电解质等。聚合物材料主要包括,有机高分子湿敏材料,醋酸纤维素(CAB)及其衍生物用于高分子电容和早期电容式,具有低吸附特性。可吸附的水分子在膜中几乎是独立的,水分子不易凝聚。传感器具有出色的性能。它的主要骨架应该是疏水的高分子。同时,高分子链中也有吸收基团,可以吸收水分子,虽然它在低湿度下具有快速响应和延迟等诸多优点,但它也具有高湿度的显着漂移,抗高湿度的能力差,长期稳定性不足的缺点。因此,进行了广泛的研究,以了解湿度检测的机理,改进湿度敏感材料,优化设备结构。高分子电阻型湿敏材料和电离水传感器主要由固体聚合物电解质组成。这种材料通常是具有强极性功能基团的聚合物电解质,其主要吸附水分子等极性基团。在湿度较低的情况下,吸收的水具有较低的分子量,并且传感器电阻较高。但是,当吸附水的分子量随着相对湿度的增加而增加时,高分子聚合物电解质离子迁移率增加,抗离子活性降低,导致迁移增加。

4、发展方向。提高长期稳定性和对湿气敏感性,对其他气体蒸汽不敏感,长期使用后漂移小。关键措施包括:(1)开发新的湿度敏感材料和传感元件;(2)亲水基团的最佳近似配置,例如我们开发的电阻型湿敏元件,是在亲水基团附近连接合适的基团,因为基团接近的效果大大提高了基团的稳定性;(3)采用透水性好的保护膜或保护网;(4)适当的老化或钝化等。降低湿温系数的主要措施是开发新的湿敏材料并采用温度补偿方案。目标是小型化、集成化和多功能性,集成到一个芯片上的一个组件和多个电路中。改进的集成化使传感器能够执行多种检测功能,如潮湿的温度或湿度。智能和湿度敏感元件与微处理器的结合将湿度检测、处理和驱动等功能电路集中在单个基板上,提供自诊断、自动调整量程、数据处理、远程检测和远程控制功能。

集成设计功能,温度、湿度和膜压力传感器的设计和制造技术可以与研发相结合,研究相关的关键科学问题。将智能制造示范技术应用于刀具、REACH模具和零部件行业的集成设计功能涂层,结构能量测试膜材料的新设计和生产工艺中,已提升了基础技术水平,它解决了智能制造中与工业传感器相关的主要问题,积极推动中国先进智能制造的快速可持续发展。在发展先进技术、领先相关产业方面发挥引领示范作用,具有广阔的应用前景。

#### [参考文献]

- [1]王中. 国内外智能制造研究热点与发展趋势[J]. 中国科技论坛, 2019(04):154-160.
- [2]刘澎军. 一种柔性PVDF压电薄膜传感器的制备方案[J]. 仪表技术与传感器, 2019(01):4-6.
- [3]成友. 刀具嵌入式薄膜微传感器切削力测量技术的基础研究[D]. 中北大学, 2019.
- [4]周发. 智能制造——“中国制造2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2019, 26(17):2273-2284.
- [5]虞伟. 薄膜压力传感器的研究进展[J]. 有色金属材料与工程, 2020, 41(02):47-54.
- [6]傅献. 智能制造装备的发展现状与趋势[J]. 机电工程, 2019, 31(08):959-962.
- [7]周明. 微米尺度膜厚薄膜热电偶传感器的研制[D]. 中国计量学院, 2019.
- [8]杨宁. 制造业信息化技术的发展趋势[J]. 中国机械工程, 2020(19).