

基于气体传感的嗅觉仿生技术研究进展

孙志成 赵海 王首席 咸婉婷 李修钰

中国电子科技集团公司第四十九研究所 哈尔滨 150001

摘要: 生物对外界信息的有效获取方式之一是通过嗅觉系统,但长期以来,由于人类对生物嗅觉系统的认知仅仅停留在基础阶段。因此,我们通过漫长的探索未能得到嗅觉机制的根源答案,使得仿生嗅觉传感领域发展缓慢。近年来,随着生物医学、微电子及其制造技术、半导体等领域的发展,仿生嗅觉传感技术在不同程度取得了进展,如半导体材料、导电聚合物、压电材料、SPR、纳米锡等新型“仿生嗅觉”传感元件。本文主要介绍了仿生气体传感器技术的研究基础和发展现状。

关键词: 气体; 传感器; 仿生嗅觉

Research progress of olfactory bionic technology based on gas sensing

Zhicheng Sun, Hai Zhao, Shouxi Wang, Wanting Xian, Xiuyu Li

China Electronics Technology Group Corporation, Harbin 150001

Abstract: One of the effective ways for organisms to obtain information from the outside world is through the olfactory system, but for a long time, human cognition of the biological olfactory system has only stayed at the basic stage. Therefore, we have not been able to obtain the root cause of the olfactory mechanism through long-term exploration, which makes the field of biomimetic olfactory sensing develop slowly. In recent years, with the development of biomedicine, microelectronics and its manufacturing technology, semiconductor and other fields, bionic olfactory sensing technology has made progress in different degrees, such as semiconductor materials, conductive polymers, piezoelectric materials, SPR, nano-tin, etc. New “Bionic Smell” Sensing Element. This paper mainly introduces the research basis and development status of bionic gas sensor technology.

Keywords: gas; sensor; bionic smell

引言:

嗅觉是重要的基础感官之一,而气体传感器是实现嗅觉感知功能的核心部件,它可以检测环境中气体的类型、种类与浓度,在环境健康监测、公共卫生安全、医疗健康保健、食品安全保障等方面有着广泛的应用前景^[1]。动物可以将各种类型的气体分开,并依据敏感的鼻子来进行灵敏反馈。根据实验结果,虽然在人类鼻梁的内壁上只能1000个与气体敏感传感器类似的细胞,但是,由于多种嗅觉细胞结合在一起,它们之间的“探测”效果,能够区分成百上千种不同的气味。随着物联网、大数据、云计算能等技术的快速发展,仿生气体传感器在人类生活中逐渐发挥重要作用。积极探索气体传感器、新材料、新机制、新器件、新方法对全面提升仿生嗅

觉传感技术具有非常重要的应用价值。

1 生物嗅觉的机理及仿生嗅觉系统

人类起初不知道自身具备记忆与识别1万多种气味的原理,不过,2004年诺贝尔医学获得者理查德·阿克塞尔先生给了人们答案。他的团队通过多年大量的实验研究得出了嗅觉系统是如何工作的^[2-3]。人类大约有3%的嗅觉基因构成了相同数量的嗅觉受体类型,从而实现嗅觉感知微系统的运转识别。虽然一种类型的气味受体对应一种嗅觉感受细胞^[4],但是嗅觉细胞可以通过类似于排列组合的形式实现多种气味的个性化识别^[5],这也是动物区分不同种类气味的基础。

图1是人类的嗅觉系统和仿生嗅觉系统组成的比较。生物首先通过嗅觉细胞的多种组合,再到嗅觉神经网络

高速处理,最后反馈给大脑神经中枢。仿生传感器则是通过传感器阵列、数据采集处理系统和模式识别系统实现嗅觉细胞到神经的中枢的功能。仿生气体传感器具有生物嗅觉系统的两个特点:一是通过传感器阵列实现气体感知,二是能通过采集处理及相应算法判断出气体的类型。

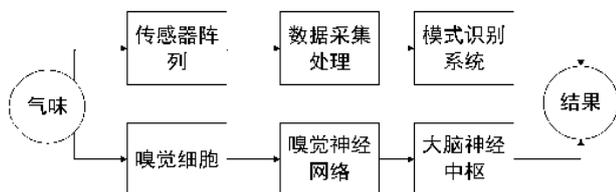


图1 人类嗅觉系统和仿生嗅觉系统对比

2 嗅觉仿生气体传感技术研究进展

高灵敏度特性是仿生气体传感器重点关注解决的问题。经过多年的发展,研究人员在大量理论与实践中发现不同敏感材料的气体传感器敏感特性存在较大差异。通过对仿生气体传感器敏感器件的结构、原理、材料等方面的研究,是提高灵敏度特性的有效途径。

目前,仿生气体传感按照工作原理和材料种类的不同大致可分为如下几类:导电传感器、压电传感器、光学嗅觉传感器、新型纳米气体传感器。本文主要介绍上述仿生气体传感器。

2.1 导电型气体传感器

金属氧化物和导电聚合物目前是制备导电型气体传感器的主要活性成分。图2显示了导电金属氧化物传感器的基本结构。主要由活性材料、金属电极、耐热材料和封装壳体组成。

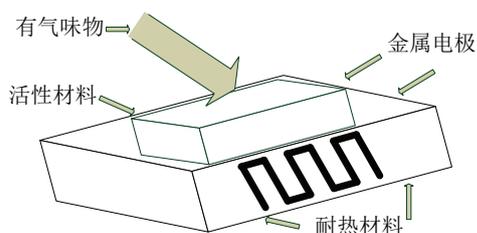


图2 导电型金属氧化物气体传感器基本结构图

第二种是导电聚合物材料,导这种材料不仅具有导电性、磁性以及金属和半导体的光学性能,还拥有聚合物的机械性能和加工优势。目前常用的导电聚合物主要有聚吡咯、噻吩、吡啶和咪唑^[9]。导电聚合物的导电性能近乎跨越了金属到绝缘体,在传感器中加入导电聚合物材料,可以大大提高传感器的灵敏度。

2.2 压电型传感器

根据压电材料的压电效应和逆压电效应,当对压电

石英压电晶体施加机械压力时,会产生一定幅度的电压。相反,石英压电晶体就会产生一定的变形。

如图3所示^[7],石英晶体微天平嗅觉传感器主要由石英盘、电极材料和聚合物材料组成。电极材料主要吸附在圆盘两侧,当对晶体片施加谐振电场时,就会产生声波。基频共振的波长主要由石英盘厚度决定。厚度的大小影响着传感器信号频率的变化情况。因此我们往往通过优化石英盘厚度来提高传感器的灵敏度等相关性能指标。

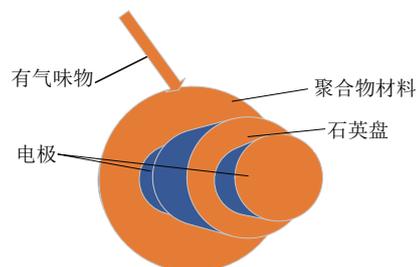


图3 石英微平衡结构示意图

2.3 SPR 光学传感器

棱镜耦合SPR光学嗅觉传感器示意图如图4所示,该传感器主要由激光源、反射棱镜和金属膜组成。棱镜耦合SPR光学嗅觉传感器主要原理是,激光光源发射定量波长的激光信号至棱镜上,棱镜表面覆有高导电金属层。激光光源发射角度可以在一定范围自由调节。通过棱镜射向涂有对气体敏感的合成物质的金属膜,如甲基丙烯酸酯、聚酯或丙烯。通过不同的待检测气体与气敏物质发生反应,实现不同的气体的个性化检测。

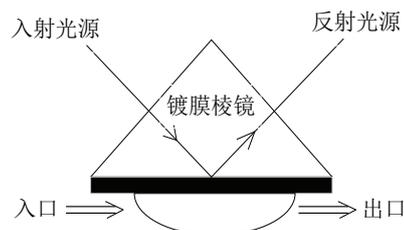


图4 SPR光学气体传感示意图

2.4 纳米气敏传感器

碳纳米管具有优异的表面化学和电学性能,是目前理想的气体传感器材料之一。目前,单层单壁半导体碳纳米管相关特性已经被突破,为进一步开展一维碳纳米管敏感材料打下坚实基础。已开发成功的纳米嗅觉气体传感器包括:单壁碳纳米管嗅觉传感器^[8]、多壁碳纳米管嗅觉传感器^[9]、多壁碳纳米管阵列嗅觉传感器^[10]。

3 总结

生物的进化以其高效、快速、准确和可靠性为牵引,形成了极其精巧的结构和完美的功能。这促使工程界自

觉地向生物系统寻求新方法、新灵感和新方向^[11]。基于气体传感的嗅觉仿生技术也因此不断发展,部分气体传感器已经具备产品化,部分虽然已经成品但是缺乏相关工程验证,另有大部分仍在试验测试阶段。当前已经形成了实验测试、工程验证和产品交付的良好循环体系。未来,将会有更多测试实验产品向工程交付转化,仿生嗅觉系统的性能也将会得到一个质的提升,更好的造福人类。

参考文献:

- [1]许广桂, 骆德汉, 等. 仿生嗅觉传感技术的研究现状与进展[J]. 制造业自动化, (2007) 12-0007-04.
- [2]BUCK LB, AXEL R. A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition[J]. *Cell*, 1991, 65(1):175-187.
- [3]The nobel assembly at Karolinska Institutet[EB/OL]. PressRelease: The 2004 Nobel Prize in Physiology or Medicine. <http://nobelprize.org/medicine/laureates/2004>.
- [4]TOUHARA K. Odor discrimination by G protein-coupled olfactory receptors[J]. *Microw Res Tech*, 2002, 58(3):135-141.
- [5]BUCK LB. The search for odorant receptors[J]. *Cell*, Volume 116, Supplement 2, 23 January 2004: S117-S120.
- [6]PEARCE T C, SCHIFFMAN S S, NAGLE H T, GARDNER J W. Handbook of machine olfaction: electronic nose technology[M]. Copyright©2003 WILEY-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, Weinheim ISBN:3-527-30358-8.
- [7]O'SULLIVAN C K. Commercial quartz crystal microbalance theory and applications[J]. *Biosensors and bioelectronics*, 1999, 14:663-670.
- [8]KONG J, FRANKLIN N R, ZHOU C, et al. Nanotube molecular wires as chemical sensors[J]. *Science*, 2000, 287: 622-625.
- [9]VARGHESE O K, KICHAMBRE P D, GONG D, et al. Gassensing characteristics of multiwall carbon nanotubes[J]. *Sensors and Actuators B*, 2001, 81:32-41.
- [10]MODI A, KORATKAR N, LASS E, WEI B, et al. Miniaturized gas ionization sensors using carbon nanotubes[J]. *Nature* 2003, 424:171-174.
- [11]李光, 傅均, 张佳, 等. 基于嗅觉模型电子鼻仿生信息处理技术研究进展[J]. *科学通报*, 2008, 52(22): 2674-2686.