



几种常见气体传感器的研究进展

摘要：气体传感器日渐发展，其应用的范围越来越广，特别是在环境质量检测 and 工业生产过程安全检测、保障人民的生命安全等方面越加广泛。简要介绍了各种气体传感器的工作原理，并对常见几种有毒性气体（一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫及氮化物）和可燃性气体（氢气、甲烷）的各种类型传感器的研究进展和工作机理以及敏感材料进行了介绍，同时对 MEMS 工艺制作气体传感器进行了展望。

关键词：敏感材料；气体传感器；有毒气体；可燃性气体；MEMS 技术

中图分类号：TP212.2 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2006)01-0006-07

▶▶ 李冬梅 黄元庆 张佳平 张鑫 辜克兢

一、前言

1964 年，由 Wickens 和 Hatman 利用气体在电极上的氧化还原反应研制出了第一个气敏传感器，1982 年英国 Warwick 大学的 Persaud 等提出了利用气敏传感器模拟动物嗅觉系统的结构^[1]，自此后气体传感器飞速发展，应用于各种场合，比如气体泄漏检测，环境检测等。现在各国研究主要针对的是有毒性气体和可燃性气体，研究的主要方向是如何提高传感器的敏感度和工作性能、恶劣环境中的工作时间以及降低成本和智能化等。

下面简单介绍各种常用的气体传感器的工作原理和一些常用气体传感器的最新的研究进展。

二、气体传感器的分类和工作原理^[2-4]

气体传感器主要有半导体传感器（电阻型和非电阻型）、绝缘体传感器（接触燃烧式和电容式）、电化学式（恒电位电解式、伽伐尼电池式），还有红外吸收型、石英振荡型、光纤型、热传导型、声表面波型、气体色谱法等。

电阻式半导体气敏元件是根据半导体接触到气体时其阻值的改变来检测气体的浓度；非电阻式半导体气敏元件则是根据气体的吸附和反应使其某些特性发生变化对气体进行直接或间接的检测。

接触燃烧式气体传感器是基于强催化剂使气体在其表面燃烧时产生热量，使传感器温度上升，这种温度变化可使贵金属电极电导随之变化的原理而设计的。另外与半导体传感器不同的是，它几乎不受周围环境湿度的影响。电容式气体传感器则是根据敏感材料吸附气体后其介电常数发生改变导致电容变化的原理而设计。

电化学式气体传感器，主要利用两个电极之间的化学电位差，一个在气体中测量气体浓度，另一个是固定的参比电极。电化学式传感器采用恒电位电解方式和伽伐尼电池方式工作。有液体电解质和固体电解质，而液体电解质又分为电位型和电流型。电位型是利用电极电势和气体浓度之间的关系进行测量；电流型采用极限电流原理，利用气体通过薄层透气膜或毛细孔扩散作为限流措施，获得稳定的传质条件，产生正比于气体浓度或分压的极限扩散电流。

红外吸收型传感器,当红外光通过待测气体时,这些气体分子对特定波长的红外光有吸收,其吸收关系服从朗伯—比尔(Lambert - Beer)吸收定律,通过光强的变化测出气体的浓度:

$$I = I_0 \exp[-(\alpha_m LC + \beta + \gamma L + \delta)] \quad (1)$$

式中, α_m —摩尔分子吸收系数;

C —气体浓度;

L —光和气体的作用长度;

β —瑞利散射系数;

γ —米氏散射系数;

δ —气体密度波动造成的吸收系数;

I_0 、 I —分别是输入输出光强。

声表面波传感器的关键是SAW(surface acoustic wave)振荡器,它由压电材料基片和沉积在基片上不同功能的叉指换能器所组成,由延迟型和振子型两种振荡器。SAW传感器自身固有一个振荡频率,当外界待测量变化时,会引起振荡频率的变化,从而测出气体浓度。

三、几种常见气体的传感器

我们这里只介绍用于检测几种具有代表性的有毒气体或大气污染气体(CO、NO_x、SO₂、CO₂)和可燃性气体(H₂、CH₄)的气体传感器。检测这些气体,有利于提高人们的生活质量,保护周围的生态环境,保障机器的正常安全生产,甚至保护人民的生命安全。

1、CO传感器和最新敏感材料

对CO气体检测的适用方法有比色法、半导体法、红外吸收探测法、电化学气体传感器检测法等。

比色法是根据CO气体是还原性气体,能使氧化物发生反应,因而使化合物颜色改变,通过颜色变化来测定气体的浓度,这种传感器的主要优点是没有电功耗。

半导体CO传感器通过溶胶—凝胶法获得SnO₂基材料,在基材料中掺杂金属催化剂来测定气体^[5]。现国外有研究对SnO₂基材料中掺杂Pt、Pd、Au等,并发现当传感器工作在220℃时,在SnO₂中掺杂2%的Pt时,传感器对CO具有最大的敏感度。由于气体传感器的交叉感应,使得CO传感器对很多气体如H₂、CO₂、H₂O等都有感应,但是采用上面的方法使得对其他气体的敏感度下降很多^[6]。

CO电化学气体传感器敏感电极如常用的金属材料电化学电极有Pt、Au、W、Ag、Ir、Cu等过渡金属元素,这类元素具有空余的d、f电子轨道和多余的d、f电子,可在氧化还原的过程中提供电子空位或电子,也可以形成络合物,

具有较强的催化能力^[7]。又研制了一种新型的CO电化学式气体传感器,即把多壁碳纳米管自组装到铂微电极上,制备多壁碳纳米管粉末微电极,以其为工作电极,Ag/AgCl为参比电极,Pt丝为对比电极,多孔聚四氟乙烯膜作为透气膜制成传感器,对CO具有显著的电化学催化效应,其响应时间短,重复性好^[8]。

利用CO气体近红外吸收机理,研究了一种光谱吸收型光纤CO气体传感器,该仪器检测灵敏度可达到 0.2×10^{-6} ^[9]。另一种光学型传感器是用溶胶—凝胶盐酸催化法和超声制得SiO₂薄膜,将薄膜浸入氯化钡、氯化铜混合溶液,匀速提拉,干燥后制得敏感膜,利用钡盐与CO反应,生成钡单质,引起吸光度变化^[10]。

现知国外有研究,采用超频率音响增强电镀铁酸盐方法获得磁敏感膜,磁饱和度和矫顽磁力决定对气体的响应敏感度。当温度加热到85℃时,得到最大响应,检测范围333ppm~5000ppm^[11]。

2、CO₂传感器和最新敏感材料

目前人们已经研究开发出了红外线吸收法、电化学式、热传导式、电容式及固体电介质CO₂传感器及检测仪,其中红外线吸收法和色谱法方法与CO基本相似。

固体电解质CO₂气体传感器是由Gauthier提出的^[12]。初期用K₂CO₃固体电解质制备的电位型CO₂传感器,受共存水蒸气影响很大,难以实用;后来有人利用稳定化锆酸盐ZrO₂-MgO设计一种CO₂敏感传感器,LaF₃单晶与金属碳酸盐相结合制成的CO₂传感器具有良好的气敏特性,在此基础上有人提出利用稳定化锆酸盐/碳酸盐相结合成的传感器。1990年日本山添等人采用NASICON(Na⁺超导体)固体电解质和二元碳酸盐(BaCO₃Na₂CO₃)电极,使传感器响应特性有了大的改进^[13]。但是,这类电位型的固态CO₂传感器需要在高温(400~600℃)下工作,且只适宜于检测低浓度CO₂,应用范围受到限制。

现有采用聚丙烯腈(PAN)、二甲亚砜(DMSO)和高氯酸四丁基铵(TBAP)制备了一种新型固体聚合物电解质。以恰当用量配比PAN(DMSO)₂(TBAP)₂聚合物电解质呈有高达 $10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的室温离子电导率和好的空间网状多孔结构,由其在金微电极上成膜构成的全固态电化学体系,在常温下对CO₂气体有良好的电流响应特性,消除了传统电化学传感器因电解液渗漏或干涸带来的弊端,又具有体积小、使用方便的独到优点^[14]。

电容式传感器是利用金属氧化物一般比其碳酸盐的介电常数要大,利用电容的变化来检测CO₂。报道采用溶胶—

凝胶法，以醋酸钡和钛酸丁脂为原材料，乙醇和醋酸为溶剂制备了BaTiO₃纳米晶材料。采用这种纳米晶材料为基体，制备电容式CO₂气体传感器^[15]。

光纤CO₂传感器利用CO₂与水结合后，生成的碳酸酸性很弱，其酸性的检测多采用灵敏度较高的荧光法，如杨荣华等人^[16]研制的基于荧光淬灭原理的固定有叶琳的聚氯乙炔敏感膜，其原理是利用环糊精对叶琳的荧光增强效应，且该荧光能被溶液中二氧化碳淬灭，该膜响应速度快、重现性好、抗干扰能力强，测定碳酸的范围达到了 $4.75 \times 10^{-7} \sim 3.90 \times 10^{-5}$ mol/L，这对化学传感器来说是一个较好的性能指标。该方法克服了化学发光传感器消耗试剂的不足，不必连续不断地在反应区加送试剂。

3、H₂传感器和最新敏感材料

采用NO直接氧化制备氮氧化物作为绝缘层制备高性能Si基MOS肖特基二极管式气体传感器，这种肖特基二极管式气体传感器具有高的响应灵敏度和好的响应重复性，可以探测浓度约为 10^{-6} 的氢气^[17]。现在对特定的高温环境下，检测气体有采用碳化硅代替硅，利用Pt作为电极，利用N₂O氧化工艺制备金属-绝缘体-SiC肖特基势垒二极管气体传感器超薄栅介质，这种传感器能在高温下稳定工作^[18]。

将光纤传输、标准具透射、钯膜的氢吸附、吸收光谱定量分析各种技术运用为一体，开发出了这种传感器。用一束单色光照射标准具，敏感材料钯吸附了H₂，氢气就会吸收单色光，分析吸收谱线刻知氢气浓度^[19]。国外用Pd/PVDF膜制备了激光振幅可调的光学氢气传感器。该传感器的检测范围为0.2%~100%^[20]。

Sb₂O₅-H₂O·H₃PO₄复合氧化物为固态电解质，利用混合压膜和蒸发的方法制作传感催化电极和参考电极，研制了室温全固态电解质氢气传感器^[21]。也有用质子交换膜为电解质，碳纸和铂黑分别为电极的扩散层和催化层，制作了恒电位式氢气传感器。通过在工作电极前面加设聚乙烯膜，增大氢气扩散阻力，可以将氢气氧化电流与氢气浓度之间的线性关系提高到氢气浓度^[22]。

半导体氢敏传感器是以金属钯(Pd)作为栅极，由Pd-TiO₂/SiO₂-Si构成场效应管，当钯栅场效应管吸收氢气时，将使半导体的导电电子比例发生变化，因而使氢敏元件的阻值也随着被测氢气的浓度变化而变化，这种钯极场效应管对氢气十分敏感，它具有吸附环境中氢气的功能，而对其他气体则表现惰性。这种氢敏场效应管的特点是选择性强、灵敏度高、响应速度快、稳定性好等。其主要结构如图1所示。

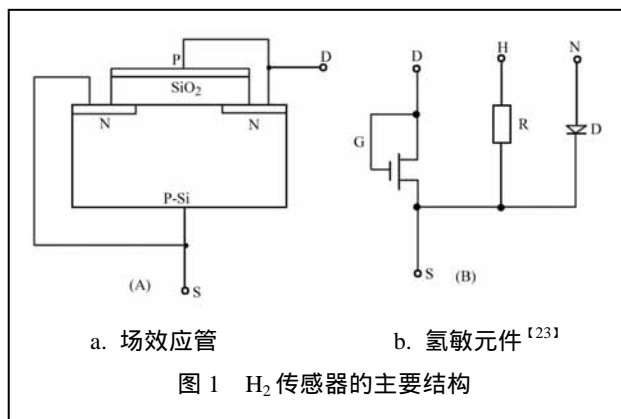


图1 H₂传感器的主要结构

为提高灵敏度，将PtO-Pt纳米粒子膜与TiO₂、SnO₂纳米粒子膜复合，使膜层结构得以优化，研制出具有双层结构复合膜的新型气体传感器，实验结果表明，PtO-Pt纳米粒子膜的催化作用能显著提高TiO₂和SnO₂膜的氢敏性能，TiO₂/PtO-Pt复合膜和SnO₂/PtO-Pt复合膜对空气中的氢气有很高的选择性^[24]。

4、CH₄传感器和最新敏感材料

主要有SnO₂半导体传感器，为了提高灵敏度加入少量的Pd、Sb、Y、Nb和In（现有报道三价铁离子P型掺杂^[25]）等元素并进行外层催化处理，催化层由Al₂O₃和Pt组成，研制成能够探测 $(50 \sim 10000) \times 10^{-6}$ 甲烷^[26]；此外还加入适量的溶剂SnCl₂和少量的硅胶增强机械强度和表面孔隙率，元件采用Pt-Ir丝作为加热器，为了适合恶劣的环境，加隔膜，如图2所示^[27]。

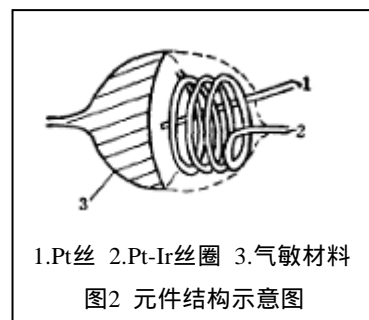


图2 元件结构示意图

光纤甲烷传感器，主要工作原理根

据比尔-朗伯定理，实际应用时要解决参数过多的情况，所以有差分吸收法、透射法和利用二次谐波检测的方法^[28-30]。其中差分法根据的是波长分布相近的两个单色光，最终得以下公式，采用双光路方法提高检测强度：

$$c = \frac{1}{a(\lambda_1 - \lambda_2)} \frac{I(\lambda_2) - I(\lambda_1)}{I(\lambda_2)} \quad (2)$$

式中， α —在一定波长下的单位浓度单位长度介质的吸收系数；

λ_1 、 λ_2 —相隔极近的两个波长；

$I(\lambda_1)$ 、 $I(\lambda_2)$ —两种波长的透射光强。

而透射式对同一束光进行谐波调制，达到与差分一样的效

果。基于二次谐波检测技术采用分布反馈式半导体激光器作为光源，通过光源调制实现气体浓度的谐波检测，利用二次谐波与一次谐波的比值来消除由光源的不稳定和变化所引起的检测误差。

光纤光栅是光纤芯区折射率受永久性、周期性调制的一种特种光纤，光纤光栅甲烷传感器以光纤光栅传感器对传感信息采用波长编码，因此它不受电磁噪声和光强波动的干扰，并且便于利用复用(波分、时分、空分)技术实现对多种传感量的准分布多点测量^[31]。满足公式 $\lambda_B = 2n_{eff}$ 的波长才能被反射出来，其他的光线具有很好的透射率，从而提高检测的精度。式中 λ_B 为Bragg波长(即光栅反射对应于自由空间中的中心波长)，为光栅周期， n_{eff} 为纤芯的有效折射率。

国外有报道采用催化剂边界生长的ZnO薄膜技术，根据ZnO薄膜的电阻大小来响应和检测气体^[32]。另根据气体有特殊的选择性，研制聚合体膜通检测出气体渗透压力，从而得出气体浓度。新的检测方法有强度调制激光二极管作为光源，特殊的聚合体Cryptophane A和更大的有机Cryptophane E分子对甲烷气体分子吸收，Cryptophane是一种特殊的有空穴合成有机体，如图4所示^[33]。

5、SO₂传感器和最新敏感材料

目前，用于SO₂气体浓度/体积分数测量方法很多，这里主要介绍一下又指电容法、光学检测法、声表面波法、电解质法。

SO₂又指电容法，是根据SO₂化学电子层特性，其与有机物结合，会导致介电常数的变化。根据电容的变化，测量气体的浓度，现在浓度测量比较精确的是采用聚苯芬^[34]。

光学检测比较常用的是红外线吸收法和光干涉法。其中红外吸收式传感器包括两个构造形式完全相同的光学系统，一束红外光入射到密封着某种气体的比较槽内，另一束红外光入射到通有被测气体的槽内。两个光学系统的光源同时以固定周期开闭。由于不同种类的气体对不同波长的红外光具有不同的吸收特性，同时同种气体而不同浓度对红外光的吸收量也彼此相异。通过测量槽和比较槽的改

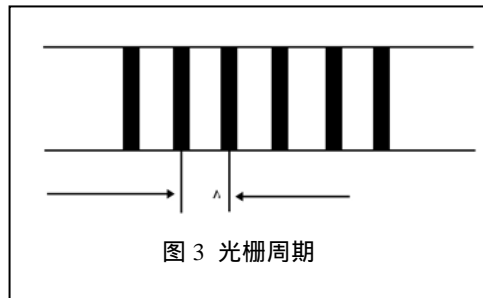


图3 光栅周期

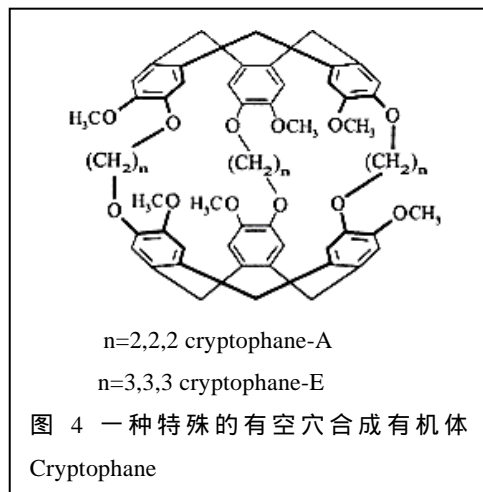


图4 一种特殊的有空穴合成有机体 Cryptophane

材料

主要测量方法有压电石英晶体NO₂传感器，通过在石英谐振器的两面金电极上修饰对NO₂待测组分有较强吸附富集作用的功能层，当待测NO₂与功能层接触时发生吸附，引起石英谐振器表面质量负载的增加，从而使压电传感器的振荡频率下降，频率的漂移量与表面负载量有公式，从而可推测气体的浓度^[47]。

半导体NO₂传感器，WO₃对NO₂有很好的敏感性，但是WO₃制备方式和敏感膜的制作技术影响传感器的气敏性能。在WO₃中掺杂SiO₂(含w%)1%~5%，而且敏感膜颗粒为纳米级时气敏特性最好^[48]。采用溅射工艺的In₂O₃、ZnO作下电极，真空蒸发CuPc薄膜作为敏感功能层，上电极为AL叉指电极^[49]。

NO_x电化学传感器，固体电解质有采用NASICON超离子导体与亚硝酸钠作为敏感膜检测NO_x，具有很好的选择性、响应性；基于稳定氧化锆制备的NO_x固体电解质传感器则具有良好的化学和机械稳定性；现在研究较多的是现研究最多的是用Nafion膜作为固体聚合物电解质^[50]。

四、其他气体的新型传感器^[2-4, 51-54]

还有一些气体非常重要，比如H₂S、O₂、O₃、酒精等。采用钨酸钠盐酸热解法制备WO₃微粉中加入一定量的SiO₂、

变量来检测出是哪一种气体^[4, 35, 36]。光干涉法同样根据朗伯特—比尔吸收定律，在此不再赘述。

SO₂声表面波传感器，通常采用双通道法来压制共膜比，气体敏感膜有采用CdS膜，此传感器测量精度高达，测量分辨率为10⁻⁶/Hz^[37, 38]。

结合光纤传感器和光声理论研制出高灵敏度光声光纤SO₂传感器，在常温下测出浓度为10⁻⁶的SO₂^[39]。电解质早期的液态Li₂SO₄-K₂SO₄-Na₂SO₄，固体电解质有NASICON和LaF₃。固态电解质SO₂传感器分全固态、半固态SO₂传感器，现工作电极采用较多的是Nafion膜，亦有采用V₂O₅，研制的传感器均优于全液态控制SO₂传感器，而固态控制型响应时间、结构性能更好，但响应灵敏度不如液态和半固态^[40-46]。

6、氮氧化合物传感器和最新敏感



SnO₂及ThO₂等掺杂剂后,对H₂S有很好的气敏性能;用ZnS在600°C烧结制得烧结型ZnO元件,对H₂S气体不仅具有良好的敏感性,而且具有很高的选择性。

超声辐射结合溶胶-凝胶法合成的纳米氧化铟材料,用此材料制成的气敏元件,对酒精的气敏特性可以达到商品化的要求,可用于开发新型酒敏元件。

对于氧气的检测方法有很多,固体电解质法,敏感材料CaO-ZrO₂、YF₆、LaF₃;TiO₂烧结体或厚膜可以在高温下检测O₂。有用钒(II)邻菲咯啉配合物作为指示剂,研制一种基于荧光猝灭原理的光纤氧气传感器,有较强的抗干扰能力、较好的重复性和稳定性。

用反应溅射法、溶胶-凝胶法、CVD等沉积工艺制备了In₂O₃基的气敏薄膜,能够检测O₃,WO₃基气敏薄膜也成为主要的研究对象。

五、新型传感器工艺^[55,56]

在微电子和微机械迅速发展的基础上,基于MEMS的新型微结构气敏传感器,主要有硅基微结构气敏传感器和硅微结构气敏传感器。硅基微结构气敏传感器是衬底为硅,敏感层为非硅材料的微结构气敏传感器。主要有金属氧化物半导体、固体电解质型、电容型、谐振器型。硅微结构:主要是金属氧化物-半导体-场效应管(MOSFET)型和钽金属-绝缘体-半导体(MIS)二极管型。

MEMS技术将传感器与IC电路集成一起,而且精度高、体积小、质量轻功耗低、选择性高、稳定型高,同种器件之间的互换型高,可以批量生产。所以是传感器工艺的发展方向,而且基本所有的传感器都可以用MEMS技术生产。随着MEMS技术和纳米技术的发展,将会给气敏传感器的发展提供更广阔的前景。同时实现传感器阵列,也就是电子鼻集成成为可能,并将有很大的发展空间,给传感器带来新的发展篇章。

参考文献:

[1]Srczurek A., Szczowka P.M., Licmmki B.W.. Application of sensor amy and neural networks for quantification of organic solvents vapors in air[J]. Sensors and Actuators B,1999,(58):427-432.
[2]何道清.传感器与传感器技术[M].北京:科学出版社,2003,377-396
[3]陈艾.敏感材料与传感器[M].北京:化学工业出版社,2004,177-212
[4]王雪文,张志勇.传感器原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003,207-244
[5]任红军.Au₂SnO₂高温CO气敏元件的研制[J].郑州郑州轻工业

学院学报,1999,14(3):17-19

[6]Wurzinger O, Reinhardt G. CO sensing properties of doped SnO₂ sensors in H₂ rich gases[J]. Sensors and Actuators B,2004,103:104-110

[7]罗敏,李辉. Pt/ PolyCuTAPc/ Nafion修饰电极及其应用的研究[J]. 华东师范大学学报,2000,(3):74-78

[8]陈长伦,何建波,刘锦淮.新型电化学CO气体传感器的研制[J].传感器技术,2004,23(5):32-35

[9]刘瑾,王玉田,杨海马.新型光纤CO气体传感器的研究[J].光电子·激光,2004,15(4):428-431

[10]司土辉,汤平,汤小胜等.基于钽盐/纳米SiO₂复合膜光学型CO传感器的研究[J].河南化工,2003,(11):12-14

[11]Chun-Young Oh, Jae-Hee Oh, and Taegyung Ko. The microstructure and characteristics of magnetite thin films prepared by ultrasound-enhanced ferrite plating[J]. IEEE transaction on magnetics, 2002,38(5):3018-3020

[12]周仲柏,周亚民.微电流型固体电解质二氧化碳气体传感器研究[J].传感器技术,1999,(5):1-3

[13]Miura N, Yao S, Shimizu Y. High performance solid electrolyte carbon dioxide sensor with a binary carbonate electrode [J]. Sensors and Actuators B, 1992, (9): 165-170

[14]周仲柏,周亚民.电流型二氧化碳气体传感器件全固态电化学体系的研究[J].武汉大学学报,1999,45(2):135-139

[15]朱棋锋,邱法斌等.Ba/Ti、Ba/Cu比对电容型CuO-BaTiO₃CO₂气体传感器灵敏度的影响[J].仪器仪表学报,2002,23(3):563-566

[16]杨荣华,王柯敏,肖丹等.基于环糊精/卟啉络合物荧光猝灭的二氧化碳光学敏感膜的研究[J].高等学校化学学报,2001,22(1):38-42.

[17]钟德刚,徐静平.高性能Si基MOS肖特基二极管式氢气传感器研究[J].压电与声光,2004,26(2):106-108

[18]韩弼,徐静平,黎沛涛等.N₂O氧化制备MiSiC氢传感器的响应特性分析[J].传感技术学报,2004,(2):285-288

[19]谭霞,肖沙里,邱柳东等.标准具型光纤氢传感器[J].光学仪器,2003,25(3):32-35

[20]Andreas Mandelis, Jose A Garcia. Pd/PVDF thin film hydrogen sensor based on laser-amplitude-modulated optical-transmittance: dependence on H₂ concentration and device physics[J]. Sensors and Actuators B, 1998,49(3):258-267.

[21]张麦红,孙鲲鹏,陈霏璠等.室温全固态氢传感器研究[J].北京化工大学学报,2000,27(2):49-51

[22]徐洪峰,燕希强.质子交换膜恒电位式氢气传感器[J].膜科学与技术,2000,20(6):58

[23]陈国强,乔志刚.氢敏传感器的开发研究[J].山东矿业学院学报,1995,14(4):405-408

[24]车勇燕,杜雪岩,王远等.TiO₂/PtO-Pt复合膜和SnO₂/PtO-Pt复合膜氢敏性能的研究[J].化学学报,2003,61(1):8-12

[25]S. Bose, S. Chakraborty, B.K. Ghosh,etc. Methane sensitivity of Fe-doped SnO₂ thick films[J]. Sensors and Actuators B, 2005,105(2)

346-350

- [26]易家保. 氧化锡甲烷传感器的研究[J]. 传感技术学报, 2001,(4):285-291
- [27]王中纪, 李培德等. 气敏半导体矿灯式瓦斯自动报警器[J]. 应用科学学报, 1986,4(2):182-185
- [28]王玉田, 郭增军, 王莉田. 差分吸收式光纤甲烷气体传感器的研究[J]. 光电子·激光, 2001,12(7):675-678
- [29]王玉田, 郭增军, 王莉田. 调制式光纤甲烷气体传感器的研究[J]. 光电工程, 2002,29(2):35-38
- [30]王玉田, 刘瑾, 杨海马. 光纤光栅调制式光纤甲烷气体传感器的研究[J]. 传感技术学报, 2003,(3):324-327
- [31]董杏元, 李江芬. 光纤光栅碳氢化合物泄漏传感系统的研发[J]. 中央民族大学学报, 2004,13(1):18-22
- [32]D. Gruber, F. Kraus, J. Muller. A novel gas sensor design based on $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ plasma etched ZnO thin films[J]. Sensors and Actuators B, 2003,92: 81-89
- [33]M. Benounis, N. Jaffrezic-Renault, J.-P. Dutast, etc. Study of a new evanescent wave optical fibre sensor for methane detection based on cryptophane molecules[J]. Sensors and Actuators B, 2005,107: 32-39
- [34]魏培永, 韩建强. SO_2 气体传感器的新进展[J]. 传感器技术, 2001,20(3):1-3
- [35]黎学明, 纪新瑞, 杨建春等. SO_2 传感技术研究进展[J]. 传感器技术, 2004,23(10):11-13
- [36]熊友辉, 蒋泰毅. 电调制非分光红外 (NDIR) 气体传感器[J]. 传感器技术, 2003,(11):4-6
- [37]魏培永, 朱长纯, 刘君华. 声表面波 SO_2 气体传感器敏感膜的研究[J]. 西安交通大学学报, 2000,34(9):17-19
- [38]Lee Y J, Kim H B. Development of a SAW gas sensor for monitoring SO_2 gas[J]. Sensor and Actuator A, 1998,64(2):173-178.
- [39]王书涛, 车仁生, 田庆国. 一种高灵敏度光声光纤 SO_2 气体传感器的研究[J]. 计量学报, 2004,25(3):278-280
- [40]刘传桂, 邵晶. 半固态控制电位电解型 SO_2 气体传感器的研究[J]. 传感技术学报, 2002,(4):377-381
- [41]于春波, 王玉江, 华凯峰等. 改性 Nafion 膜在全固态二氧化硫气体传感器中的应用[J]. 分析化学, 2002,30(4):397-400
- [42]邵晶, 刘传桂. 全固态 SO_2 气体传感器的研制[J]. 甘肃工业大学学报, 2002, 28(1):125-128
- [43]刘传桂, 邵晶, 张晓霞等. 全固态控制电位电解型 SO_2 气体传感器的研制[J]. 传感技术学报, 2003,(3):363-366
- [44]韩元山, 王常珍, 田彦文等. LaF_3 固体电解质气敏元件对 SO_2 敏感性的研究[J]. 传感技术学报, 2004,(2):269-272
- [45]周明, 田彦文, 王常珍. 常温下 SO_2 气体传感器的研究[J]. 材料与冶金学报, 2004,(3):193-195
- [46]汤兆胜, 孙玉琴, 范正修. V_2O_5 薄膜用作 SO_2 气敏传感器[J]. 功能材料, 2002,(1):52-54
- [47]刘立华, 李景升, 龚竹青. 压电石英传感器测定空气中氮氧化物[J]. 环境科学研究, 2002,15(6):49-51
- [48]夏晓东, 刘艳丽, 蒋健晖. 由白钨酸制备 WO_3 纳米颗粒薄膜 NO_2 传感器[J]. 传感技术学报, 2005,18(1):28-31
- [49]王涛, 蒋亚东, 黄春华. 空穴注入型 CuPc 二氧化氮气体传感器研究[J]. 仪器仪表学报, 2003,24(4)增刊:177-178
- [50]王康丽, 严河清, 白延利等. 氮氧化物电化学传感器[J]. 郑州轻工业学院学报, 2004,19(4):85-87
- [51]姜德生, 赵士威, 韩蕴. 一种基于荧光猝灭原理的光纤氧气传感器[J]. 传感技术学报, 2002,23(3):381-384
- [52]黄俊, 姜德生, 王立新. 基于荧光猝灭原理的光纤氧气传感器研究[J]. 传感技术学报, 2001,(2):96-99
- [53]娄向东, 贾晓华, 席国喜. H_2S 气体传感器的制备及性能研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 2004,19(4):20-21
- [54]吴正元, 陈涛, 丘思晴. WO_3 基 H_2S 气体传感器的研究[J]. 华中理工大学学报, 1999,27(1):41-43
- [55]徐泰然. MEMS 和微系统 - 设计与制造[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004(1)
- [56]惠春, 徐爱兰, 徐毓龙. MEM 气敏传感器[J]. 功能材料, 2003,(2):133-134

The Development Of Several Normal Gas Sensors

Abstract: With the development of the gas sensor, more and more applications are implemented, especially in testing the environment quality and the industry's safety production, even people's life. The gas sensors' working principles including the new development of several normal poisonous gases and flammable gases will be introduced. A novel production technics - MEMS which is applied to fabricate the gas sensor will also be mentioned.

Keywords : sensitive materials; gas sensor; poisonous gas; flammable gas; MEMS technology

作者简介:

李冬梅, 厦门大学机电工程系研究生, 主要研究方向为气体传感器机理研究。

通讯地址: 厦门大学机电工程系108室 邮编: 361005

电话: 13696920674 Email: dongmli@tom.com

黄元庆, 厦门大学机电工程系博士生导师, 研究方向激光与光电检测。

张佳平, 张鑫男, 辜克兢, 厦门大学机电工程系在读硕士, 研究方向分别为光电检测、气体传感器检测、气体传感器的模糊识别

本文编辑: 霍莉 读者服务卡编号 001