

论坛六十三：气敏传感器论坛

分论坛主席：张彤

63-01

基于 PdSe₂/InSe 异质结构的紫外光辅助气体传感器：室温下 ppb 量级 NO₂ 检测

范金乐*

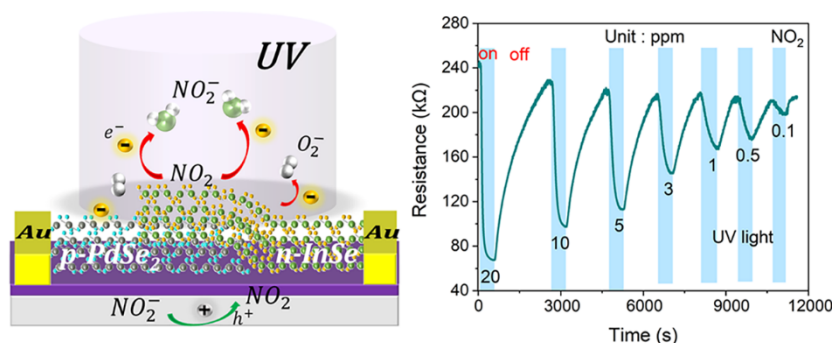
滁州学院，机械与电气工程学院，安徽省滁州市会峰西路 1 号，邮编 239000

*E-mail: fanjinle@chzu.edu.cn

范德瓦尔斯 (vdWs) 异质结构的制造主要涉及二维层状材料。然而，目前获得高质量二维薄膜的工艺主要是从块状材料中剥离或通过高温化学气相沉积 (CVD) 获得，不仅限制了工业化生产，而且往往伴随着缺陷¹。本研究首次采用超高真空激光分子束外延 (LMBE) 技术，结合垂直二维堆叠策略，制备 II 型 p-PdSe₂/n-InSe vdWs 异质结构，该方法具有可重复性。研究发现，引入 365 nm 紫外光照明可显著改善 PdSe₂/InSe 异质结器件在室温下的电学传输特性和 NO₂ 传感性能。研究表明，基于 PdSe₂/InSe 异质结的传感器在紫外光照射下对 NO₂ 气体具有相对较高的灵敏度 (10 ppm 时， $R_a/R_g = 2.6$)、低检测限 (52 ppb) 以及出色的选择性，表明该器件在低浓度 NO₂ 检测方面有巨大潜力。值得注意的是，相比于黑暗条件，该传感器在紫外光照下具有快速响应和完全恢复的特性 (275/1078 秒)。此外，通过分析 PdSe₂/InSe 异质结的表面电位变化，提出了基于 PdSe₂/InSe 异质结能带排列的气敏增强机理²。这项工作可能为通过 LMBE 技术开发基于二维 vdWs 异质结构的高性能室温气体传感器铺平道路。

关键词：范德瓦尔斯异质结构，紫外光辅助，激光分子束外延，室温，NO₂ 气体传感器
参考文献：

1. Y. Niu, J. Zeng, X. Liu, J. Li, Q. Wang, H. Li, N. F. d. Rooij, Y. Wang and G. Zhou, Adv. Sci., 2021, 8, 2100472.
2. Y. Zhou, C. Gao and Y. Guo, J. Mater. Chem. A, 2018, 6, 10286-10296.

紫外光辅助的 PdSe₂/InSe 异质结传感机理示意图

63-02

BaCo_{0.4}Fe_{0.4}Zr_{0.1}Y_{0.1}O_{3-δ} 电极微结构对安培型氨气传感器敏感性能的影响

陈雯雯、邹杰*、简家文*、单棕、张换换

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要：汽车尾气排放的氮氧化物造成的污染，包括一氧化氮和二氧化氮，在大气中尤为

突出。为了遵守严格的氮氧化物排放法规，利用尿素水解生成氨气的选择性催化还原系统被广泛认为是最可靠的解决方案。与氮氧化物相比，不受管制的氨气排放可能导致更严重的空气污染问题。因此，在闭环反馈系统中检测氨气的浓度对于尿素注射的精确控制至关重要。本研究采用 $\text{BaZr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (BZY) 质子固体电解质与 $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (BCFZY) 敏感电极制备质子电流型氨气传感器。通过调节敏感电极烧结温度控制 BCFZY 的微观结构，提高了传感器对氨气的响应。研究表明：随着电极烧结温度的升高，BCFZY 的晶粒尺寸逐渐增大，从而减少了三相界面长度。当烧结温度为 1250°C ，工作温度为 450°C 时，传感器对模拟汽车尾气中的氨气展示出了最佳的灵敏度，灵敏度值为 $3.03\text{ }\mu\text{A/ppm}$ 并且重复性良好。这些结果表明基于 BCFZY 的传感器在汽车尾气中氨气浓度的检测具有潜在应用前景。

关键词：BCFZY; 电极形貌；氨气传感器；质子固体电解质；BZY

63-03

新能源车用传感器的设计与开发

简家文、邹杰、孙靖远、王文天、张文冰

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要：近年来，中国新能源汽车行业经历了飞速发展，以锂电池作为动力单元的纯电动汽车在新能源车的保有量中占有较大比重。但是新能源车中作为动力核心的大容量电池，在过充、过热、内短路、外短路，机械触发等因素下，容易诱发热失控，另外电池的使用温度对电池续航里程有直接的关系。因此，如何实现新能源汽车电池热管理成为了新能源汽车安全的关键问题。因此本课题组围绕新能源车电池及电池冷却系统开发了如下用于电池安全管理的系列传感器：1) 在电池温度测量方面，开发了基于 MEMS 工艺的 Pt1000 温度传感器。线性度达到 0.99998，灵敏度 $3.45\Omega/^{\circ}\text{C}$ 。2) 在冷却液压力测量方面，制备出温度压力集成微纳传感器样机，在 0-10MPa 范围，按照 0.5MPa 的压力间隔施加于压力传感器表面，测得输出电压与压力的线性方程为 $y=25.879x+73.127$ ，拟合后曲线 $R^2=0.99993$ ；3) 在冷却液电导率测量方面，已完成对该类传感器的理论探究、结构设计、模型仿真，并制备出温度电导率集成微纳传感器。在 0-20 $\mu\text{S/cm}$ 范围内电导率分辨率达到 0.1 $\mu\text{S/cm}$ ，温度测试线性度达到 0.999，并从外围电路测试的数据结果来看，测量满量程误差低于 1.5%，能够满足在新能源车中的应用要求。

关键词：MEMS; 新能源；传感器

63-04

新能源汽车用高性能铂薄膜温度传感器的设计与批量制备

王文天、邹杰*、唐晨、孙靖远、张文冰、简家文*

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要：随着新能源产业的兴起，我国新能源汽车保有量逐年增加，但是作为汽车动力来源的锂电池热失控一直是一个棘手的问题。作为电池管理系统(BMS)的关键部件，一款高性能、可互换、低成本的温度传感器对于提升新能源汽车锂电池的安全性至关重要。本文采用微机电系统(MEMS)批量微加工技术，制备了 10 种不同线宽的铂薄膜温度传感器。经过测试与计算，这些批量制备的温度传感器性能好、体积小且制备成本低。它们的电阻-温度曲线线性度高($R^2 > 0.9999$)，精度高($< 0.3^{\circ}\text{C}$)，重复性和稳定性同样出色，5 次重复标定实验的变异系数(CV)仅为 0.31%，稳定性实验的最大温度偏差小于 0.05°C 。此外，本课题组还探究了 MEMS 工艺的精度对传感器带来的影响。对十种不同线宽温度传感器进行测试与比较，

发现它们的线性度和电阻温度系数(TCR)的一致性良好, 分别为 99.99%和 98.89%。其中 45 μm 线宽的温度传感器互换性最好, 互换温度差小于 1.5 $^{\circ}\text{C}$ 。综合上述结果表明, 这种批量制备的铂薄膜温度传感器可满足新能源汽车锂电池的大规模测量要求。

关键词: 批量制备, 高性能, MEMS 工艺, 铂薄膜温度传感器

63-05

基于极限电流原理的测氧型甲烷检测系统

王宁、邹杰*、简家文*、章伟峰、王杰

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要: 人类活动与甲烷 (CH_4) 密切相关, 甲烷是当前社会生产、生活中的重要能源。但甲烷在浓度为 5%-15%时, 易发生爆炸。在日常生活和工业生产中, 对甲烷浓度的实时监测, 可有效防止甲烷泄露导致的空气污染和安全问题。甲烷传感器在应用中主要有两个关键点: 1、传感器须考虑对其他气体的交叉敏感性, 以避免由干扰引起的误报。2、传感器的灵敏度, 对于一定浓度内的甲烷均能准确检测。本文瞄准这两个关键点, 提出了一种新型的基于极限电流原理的测氧型甲烷检测系统。该系统在两路氧传感器前端分别放置对甲烷具有催化氧化活性的催化剂和对甲烷不具有催化氧化活性的催化剂, 使得到达极限电氧传感器的氧浓度产生差异。通过极限电流氧传感器获得被测气氛中的氧浓度差, 从而推算获得环境中的甲烷浓度。本文采用浸渍法获得相应的催化剂。当催化剂工作温度为 400 $^{\circ}\text{C}$ 时, 对甲烷有较好选择性, 所测甲烷浓度具有良好的浓度-极限电流差值 (ΔI) 线性度 ($R^2 \geq 0.998$), 传感系统灵敏度为 0.375 nA/ppm, 且重复性良好。这些结果表明基于极限电流原理的测氧型甲烷检测系统在甲烷浓度的检测中具有潜在应用前景。

关键词: 极限电流; 催化燃烧; 传感器。

63-06

$\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ 基电极孔隙率对电流型总 NO_x 传感器性能的影响研究

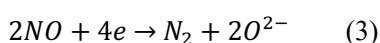
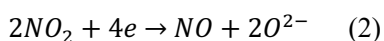
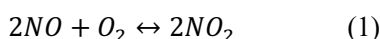
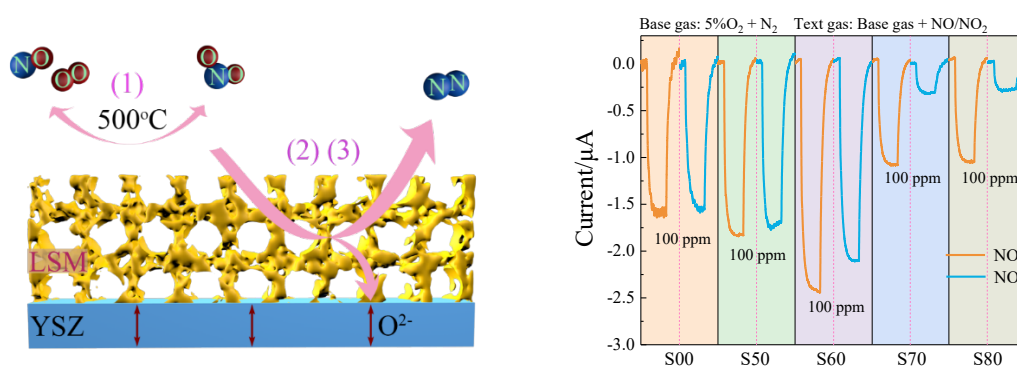
李雪宾, 邹杰*, 简家文

(宁波大学, 信息科学与工程学院, 浙江省宁波市江北区风华路 818 号, 邮编: 315211)

*E-mail: zoujie@nbu.edu.cn

摘要: 汽车尾气中 NO_x (NO 、 NO_2) 排放是造成酸雨、光化学烟雾的主要因素之一, 严重危害人体健康, 因此对 NO_x 实时检测至关重要。目前针对汽车尾气中 NO_x 在线检测的传感器全部为基于钇稳定氧化锆 (YSZ) 固体电解质的电流型 NO_x 传感器, 敏感电极的孔隙率是影响气敏性能的关键因素。为了进一步优化传感器的性能, 本文利用成孔剂聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 成功制备了一系列基于 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ (LSM) 敏感电极材料的具有不同敏感电极孔隙率的 NO_x 传感器, 研究了电极孔隙率对电流型总 NO_x 传感器气敏性能的影响。从 SEM 结果可以看出, 未添加 PMMA 的敏感电极孔隙均匀细小, 随着 PMMA 添加量的增加, 电极孔隙率不断增大, 且成孔均匀一致。随后, 对所制备传感器的电化学性能进行了气敏性能测试。从测试结果可以看出, 随着孔隙率的增加, 传感器对 NO_x 的响应和灵敏度呈现先增大后减小的趋势, 在孔隙率为 60%时达到最大值, 表明孔隙率的增加有利于提高响应水平。但是, 随着孔隙率的进一步增加, 传感器对 NO 和 NO_2 的响应比值从 0.97 下降到了 0.28, 表明电极孔隙率的进一步增加使得三相反应界面减少, 导致传感器对总 NO_x 的检测能力降低。此外, 该传感器在长期稳定性测试后依然保持 92%的响应, 对 NO_2 表现出了较好的稳定性。同时, 测试结果显示该传感器具有显著的选择性、重复性和一致性。

关键词：电流型 NO_x 传感器，成孔剂 PMMA，孔隙率，LSM, TPB, YSZ。



63-07

基于电沉积的催化燃烧式氢气传感器

张文冰、邹杰*、孙靖远、王文天、简家文*

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要：近年来，随着氢能产业的不断发展，氢动力汽车应运而生。同时，当空气中的氢气浓度超过 4% 时可能发生爆炸，氢气的易燃易爆性质带来了重大安全隐患。因此，使用稳定可靠的车载氢气传感器监测氢气浓度是十分必要的。氢传感器可以基于多种原理进行设计制造，包括半导体式、电化学式、催化燃烧式和光吸收法等原理。相比之下，催化燃烧式的高稳定性、高灵敏度和快速响应，使其成为生产中最常用的检测氢的原理。本课题采用了一种电沉积法将多孔 Pd 层直接沉积在铂丝上，制备了一种新型的催化燃烧式氢气传感器。通过控制沉积时间，改变了多孔 Pd 层的厚度。多孔 Pd 层的高催化活性令传感器具有较高的灵敏度，每 %H₂ 的电阻变化约为 25%，估算的检测下限为 550 ppm。与商业化的催化燃烧式氢传感器相比，该传感器减小了催化剂的质量，提高了传感器的抗振动性能。此外，还具有低成本和易于扩展的优点，能够满足在氢能源车中的生产和应用需求。

关键词：多孔 Pd 层；电沉积；氢传感器

63-08

低流速气体测量热分布型 MEMS 传感器制备与研究

唐晨、邹杰、简家文、王文天、赵磊

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要：流量监测对人们的生产生活意义重大，为满足汽车电子、生物医学仪器、半导体工艺等领域的快速发展，针对小微气流测量，需要易于小型化和低成本批量生产的高灵敏度流量传感器。传统的热阻型流量传感器基于硅 MEMS 工艺制造，硅的高热导率特性限制了热式流量测量的性能，常用做法是在硅晶圆背面通过各向异性刻蚀形成隔热膜，工艺复杂、成本提升，且牺牲了一定的机械强度。本课题采用低热导率基底的热隔离方案，使用玻璃和聚酰亚胺两种材料作为传感器的基底进行研究，在玻璃片和聚酰亚胺薄膜上沉积 Pt 电阻作为热敏元件，制备了热分布型 MEMS 流量传感器。传感器尺寸为 10 mm×10 mm，在室温条

件下, 传感器加热电阻为 247Ω , 测温电阻为 499Ω , 且测温电阻具有良好的温度-阻值线性度 ($R \geq 0.9999$), 传感器最大可测范围为 1 m/s , 在低流速段 $0\sim 0.4\text{ m/s}$ 有较高的灵敏度, 且有较好的稳定性能。此外, 聚酰亚胺基底还可与柔性印刷电路板工艺相结合, 制备柔性流量传感器。传感器具有尺寸小、成本低、可批量制造、应用场景广泛等优点, 将为低流速气体测量领域提供核心传感器。

关键词: 热式流量传感器、气体低流速测量、MEMS

63-09

基于喷涂法控制 Pd 纳米颗粒覆盖率对氢气传感器气敏性能的影响研究

倪永健、邹杰*、孙靖远、唐晨、王文天、陈雯雯、简家文*

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

氢气作为清洁可再生能源并可用于氢燃料电池汽车而受到广泛关注, 然而氢气同时也具有高易燃性和爆炸性。保证氢气的安全性是氢燃料电池汽车的一个关键考虑因素。因此, 开发快速、可靠、低检测下限的氢气传感器对于早期危险预防至关重要。本文通过引入喷涂法研究了钯纳米颗粒表面覆盖率对裂结式氢气传感器氢敏性能的影响。测试研究表明, 钯纳米颗粒覆盖率较低的传感器表现出更好的气敏性能。其中当钯纳米颗粒在基底表面覆盖率为 33.2% 时, 传感器在 2500 ppm H_2 下实现了最优的 70.5% 响应值和常温下 10 s 的响应时间, 检测下限达到了 50 ppm H_2 。与此同时, 采用基于第一性原理的密度泛函理论计算研究了 H 在 Pd(111)、(220) 和 (200) 表面上的吸附能和表面至体相内的扩散能垒, 解释了氢致晶格膨胀效应与裂结式氢气传感器表面钯纳米颗粒覆盖率之间的关系。

关键词: 氢燃料电池汽车、氢气传感器、钯纳米颗粒、第一性原理

63-10

增强异质界面构建智能导电水凝胶气体传感器, 用于感染伤口的个体化治疗

万林果、刘勇、简家文、王钰恒

宁波大学信息科学与工程学院

浙江省宁波市风华路 818 号

摘要: 作为身体抵御外部威胁的主要防御手段, 皮肤容易受到重大创伤的影响, 导致伤口损害其组织的功能完整性。自我修复的延长过程通常会引起炎症、继发性损伤、多重耐药细菌引起的感染, 甚至皮肤完全丧失等并发症。为了应对这些挑战, 开发用于临床护理的先进伤口敷料解决方案变得势在必行。研究人员已经开发了各种类型的伤口敷料, 经常使用水凝胶。这些水凝胶具有类似于细胞外基质的三维多孔结构, 对生物活性分子具有高吸水性和包封能力, 使其成为药物递送系统的有效平台。目前的观点突出了单一模式治疗方法在实现最佳伤口愈合方面的不足。伤口敷料的设计应确保药物的持续释放, 如表皮生长因子, 以促进皮肤再生。此外, 已经开发出结合光热、声学 and 电模式的创新联合疗法, 结合多个物理领域, 以增强皮肤再生和抗感染。在这项研究中, 我们开发了一种增强的异质界面智能导电水凝胶 NH_3 传感器, 用于感染伤口的个体化治疗。该传感器实现了监控、自诊断和自适应档位调整功能。基于 PPY@PDA/PANI/PVDF 传感器的 PPY@PDA/PANI (3/6) 传感器的 NH_3 检测浓度最低为 50 ppb , 响应值为 2.94%。对于感染的伤口气体, 它的理论检测限也为 49 ppt 。该传感器的快速响应时间为 23.2 s, 恢复时间为 42.9 s。将妥布霉素 (TOB) 封装在由季铵化壳聚糖 (QCS) 和氧化葡聚糖 (OD) 形成的自修复 QCS/OD 水凝胶中, 然后加入聚多巴胺包被的聚吡咯纳米线 (PPY@PDA) 和聚苯胺 (PANI) 制备导电载药 PPY@PDA/PANI 水凝胶。将载药 PPY@PDA/PANI 水凝胶与 PANI/PVDF 膜结合, 形成增强的基于异质界面

PPY@PDA/PANI/PVDF 的传感器，可以自适应地学习个体伤口氨反应，通过电刺激调节 PPY@PDA/PANI 水凝胶的药物释放速度。药物释放和动物研究表明，PPY@PDA/PANI 水凝胶在抑制感染和加速伤口愈合方面具有功效。总之，气敏导电水凝胶传感系统有望实现智能药物输送，并为复杂的伤口管理提供个性化治疗。

关键词：气体响应导电水凝胶;增强型异质界面;氨传感器

63-11

WO_{2.72} 纳米线上稳定单原子 Cu 用于 ppb 级甲苯检测

王鹏，郭世嵩，李华曜*，刘欢*

华中科技大学集成电路学院，湖北武汉 430074

摘要：化学电阻式气体传感器（Chemiresistive Gas Sensor, CGS）因其低成本、易于微型化和环境友好性的优势，在公共安全保障、环境监测和医疗诊断等领域的重要性日益凸显。然而，在敏感层上开发用于气体分子氧化还原反应的高效且具有成本效益的催化剂的挑战阻碍了其广泛使用。目前，过渡族金属基材料被认为是最有效的催化剂，能够满足实际应用中对于高选择性和高响应的需求。与传统的团簇或纳米颗粒催化剂相比，单原子催化剂（Single Atom Catalyst, SAC）具有活性位点的均匀性和局部配位环境的一致性的特点，为气敏反应提供了良好的选择性和高效率。尽管 SAC 在气体传感领域具有潜在的优势，但该研究处于初步阶段，通过 SAC 调控的气体传感机制依然较为模糊。该研究针对这一问题采用原位退火方法在超薄 WO_{2.72} 纳米线上合成 Cu 催化位点，并用于超低浓度甲苯的高选择性检测（Ra/Rg = 1.9, 10 ppb）。同时，利用密度泛函理论(DFT)、分子动力学模拟(MD)和原位红外光谱（DRIFTS）等手段，在原子层面揭示甲苯气体传感机制。该方法为设计和合成具有高响应和高选择性的甲苯气敏材料提供了新策略，有望解决甲苯气体传感器稳定性和选择性差的问题。

关键词：气体传感器；单原子催化剂；高选择；ppb 级；甲苯；

63-12

W 掺杂的 CeO₂ 纳米球气体传感器阵列用于呼出气中 H₂S 精准检测

段秋阳，张文键，李华曜*，刘欢

华中科技大学集成电路学院，湖北武汉 430074

摘要：H₂S 是人类继 NO 和 CO 之后，发现的第三种内源性气体，已经被证明是多种生理性疾病（如肠胃道疾病、哮喘和口臭等）的重要标志物，在体外无创医疗诊断中发挥着重要作用。但在呼出气这类复杂气氛中快速精准地检测 H₂S 仍然是一个巨大的挑战。本研究采用简便的一步水热法合成了不同 W 含量掺杂的 CeO₂ 核壳纳米球。其中，7% W 掺杂的 CeO₂ 复合材料展示了出色的气体传感能力，在 225 °C 和 80%相对湿度下响应高达 18.4，且具有 50 ppb 的实际检测阈值。其出色的传感性能归因于氧空位含量的增加和 n-n 异质结形成。为了增强传感器对不同气体的区分能力，我们设计了一个包含 4 个不同含量 W 掺杂的 CeO₂ 传感器阵列。通过将传感器阵列与分类算法相结合，实现了在高湿度范围（60%-80%）内对 H₂S、乙醇及其混合物高准确率定性分类（100%）和定量分类（89%）。此外，我们所提出的传感器阵列的应用范围扩展到了专为呼出气中 H₂S 检测而设计的电子鼻系统。并采用电子鼻系统有效区分了健康人和口臭患者呼出气。此外，即使存在其它的气体干扰，该系统也能够有效区分口臭患者样本与来自健康个体的样本。这一发现为提高 H₂S 检测的精确性提供了坚实的途径。该成果在通过对呼出气样本进行深入分析的疾病诊断方面具有变革性的潜力。

关键词：呼出气；CeO₂ 纳米球；传感器阵列；算法；电子鼻；

63-13

面向智慧农业应用的超灵敏、表面等离子体光驱动的 MXene 基多功能氨气传感系统

周婷婷, 张彤*

(集成光电子学国家重点实验室, 电子科学与工程学院, 吉林大学, 长春, 130012)

电话: 0431-85168385

*E-mail: zhangtong@jlu.edu.cn

zhoutt@jlu.edu.cn

摘要: 多功能、低功耗的气体传感系统对于智慧农业体系的构建起着至关重要的作用。目前所广泛应用的半导体式气体传感器多工作在 150-450°C 的温度范围内。这种高温工作条件在降低传感器功耗、电子电路设计以及易燃易爆气体检测等方面存在诸多问题。因此, 构筑兼具室温传感能力和优异敏感性能的气体传感器具有重要意义。本工作将等离子体 Au 纳米棒嵌入 Nb_2CT_x 层间, 设计了室温下对氨气具有高灵敏、低检测限、快速响应时间的敏感材料。其中, Nb_2CT_x 作为良好的导电层, 其表面的原位氧化位点可以进行有效的氨气吸附和电荷传输。在近红外光辐照下, Au 纳米粒子产生 20 nm 范围内的等离子体局域热点, 实现了对局域反应位点的精准控温, 使传感器摆脱了加热电极的束缚。同时, Au 纳米棒的等离子共振效应促进了气敏反应的进行, 大幅度提高了传感器的灵敏度, 实现了室温下对农业环境有害气体-氨气的有效检测。进一步, 将氨气传感器与湿度、温度传感器集成, 构建了集湿度、温度监测于一体的氨气无线传感系统。该系统通过蓝牙模块将环境信息传输至手机端, 能够实现在养殖场、蔬菜大棚等农业环境中温度、湿度、氨气浓度的全天候、实时监测, 该工作为构建智慧农业体系中的多功能环境传感系统提供了可行的思路。

关键词: 智慧农业、氨气、MXene、室温、光激发

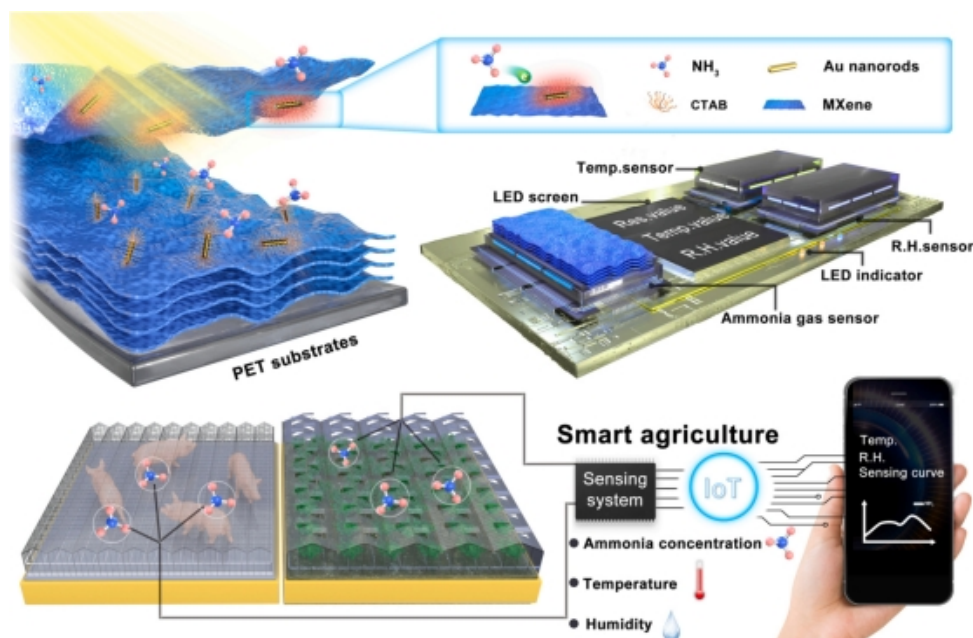


图 1、由 Au/HT- Nb_2CT_x 基氨气传感器、温度传感器和湿度传感器构成的传感系统及智慧农业应用示意图

63-14

湿度介导的 COF-5 QCM 二氧化碳传感器

徐潇依, 周婷婷*, 张彤*

(集成光电子学国家重点实验室, 电子科学与工程学院, 吉林大学, 长春, 130012)

电话: 0431-85168385

*E-mail: zhangtong@jlu.edu.cn

zhoutt@jlu.edu.cn

摘要: 共价有机框架具有良好的气体吸附特性。通过有机配体的脱水反应合成了共价有机框架 (COF-5), 并将其作为敏感层实现了对二氧化碳的可靠检测。所制备的基于 COF-5 的石英晶体微天平 (QCM) 传感器具有湿度增强的二氧化碳响应。在 80% 相对湿度条件下, 室温下对 8000 ppm CO₂ 的响应为 154 Hz。此外, 该传感器还具有极高的选择性和可重复性。COF-5 的大比表面积和羟基 (-OH) 基团为二氧化碳分子在敏感膜表面的吸附/解吸提供了良好的平台。这项作为合理设计具有高性能的 QCM-CO₂ 传感器提供了可行方案。

关键词: COF, 二氧化碳传感器, 室温检测, QCM

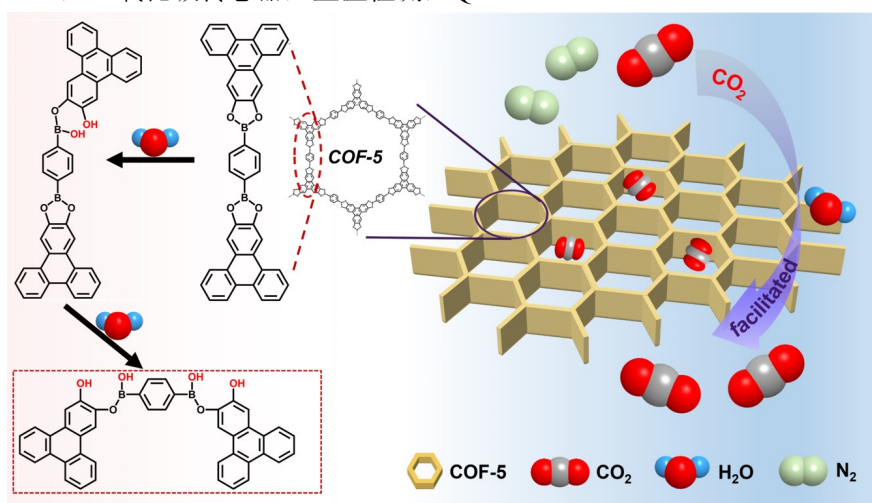


图 1、基于 COF-5 的 CO₂ 气体传感装置示意图

63-15

具有 O₃ 和 C₃H₆O 双选择性的双金属 AuPt 粒子修饰的 In₂O₃ 纤维的气敏特性研究

隋宁, 周婷婷*, 张彤*

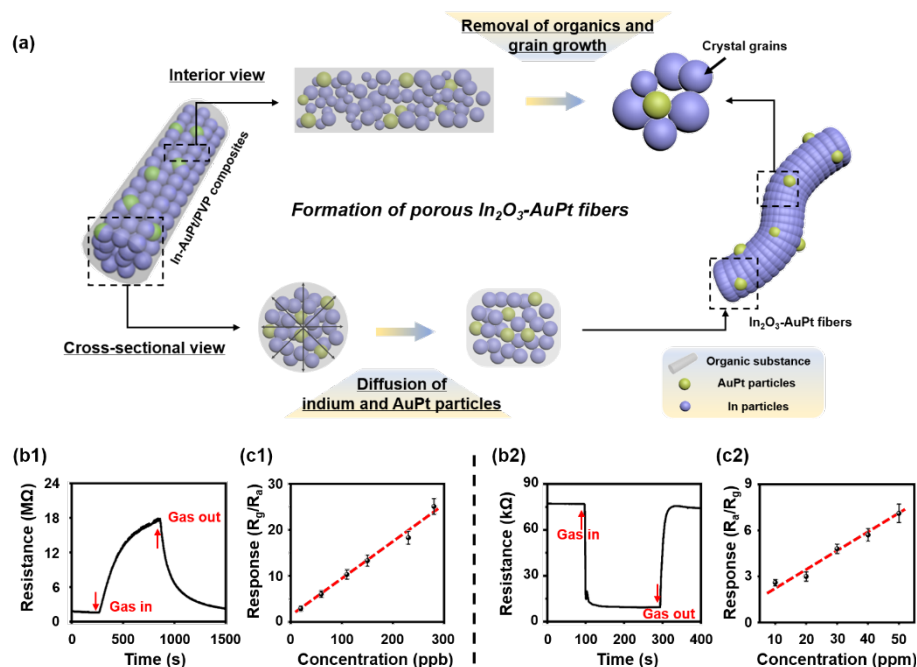
(吉林大学电子科学与工程学院, 吉林省长春市前进大街 2699 号, 邮编: 130000)

*E-mail: zhangtong@jlu.edu.cn

摘要: 双金属催化剂具有出色的催化特性。预测并构筑有效的新型双金属催化剂修饰的敏感材料有望解决金属氧化物基气体传感器在实际应用中遇到的检测下限高、选择性差的问题。本文通过油胺还原法设计了单分散的、直径约为 8-11 纳米的双金属金铂 (AuPt) 粒子, 并通过静电纺丝法将 AuPt 粒子成功担载到了三氧化二铟 (In₂O₃) 纤维中。气敏测试结果表明, 制成的 AuPt@In₂O₃ 基传感器对空气污染气体臭氧 (O₃) 具有很高的响应, 在 90 °C 的工作温度下对 110 ppb 的 O₃ 气体灵敏度为 10.3, 检测下限为 20 ppb 低于世界卫生组织规定的人体 8 h 暴露于 O₃ 中的浓度限值 (50 ppb)。同时, 该传感器在医疗诊断的呼吸检测方面也具有潜在应用价值, 其对糖尿病诊断的主要呼吸标志物之一的丙酮 (C₃H₆O) 具有很强的

敏感性。其对 50 ppm C_3H_6O 的响应值为 7.1 (240 °C)。采用主成分分析法(PCA)对 $AuPt@In_2O_3$ 基传感器的抗干扰选择性进行了研究, 发现 $AuPt$ 粒子的修饰能极大地改善该传感器的气敏特性, 使其对 O_3 及 C_3H_6O 的选择性和敏感性增强。

关键词: 双金属催化剂, 臭氧传感器, 丙酮传感器, 金属氧化物, 双选择性



(a) $AuPt@In_2O_3$ 纤维的制备流程图。 $AuPt@In_2O_3$ 基传感器对(b1) 110 ppb O_3 的单循环曲线; (c1) 50 ppm C_3H_6O 的单循环曲线; (b2)不同浓度 O_3 的响应值; (c2) 不同浓度 C_3H_6O 的响应值。

63-16

基于 MOF 衍生正/反尖晶石铁氧体的 VOCs 和 H_2S 气敏性能研究

曹爽, 周婷婷*, 张彤*

(吉林大学电子科学与工程学院, 吉林省长春市前进大街 2699 号, 邮编: 130000)

*E-mail: zhangtong@jlu.edu.cn

摘要: 挥发性有机化合物(VOCs)和硫化氢(H_2S)是典型的有毒有害气体, 有必要开发先进的传感材料以构筑有效可靠的 VOCs 和 H_2S 气体传感器。本文以金属有机骨架为模板, 设计了具有不同 A 位金属离子的尖晶石铁氧体(MFe_2O_4 , $M=Co, Ni, Cu$ 和 Zn), 并系统地讨论了阳离子取代对晶体结构(正/反尖晶石结构)和电学性能(n/p 型和带隙)的影响。结果表明, 具有反尖晶石结构的 p 型 $NiFe_2O_4$ 和 n 型 $CuFe_2O_4$ 纳米立方体分别对丙酮(C_3H_6O)和 H_2S 具有较高的响应和选择性。此外, 这两个传感器分别对 C_3H_6O 和 H_2S 具有低至 1ppm 和 0.5 ppm 的检测限。同时, 传感器的潜在应用前景被进一步研究, $NiFe_2O_4$ 和 $CuFe_2O_4$ 气体传感器分别有望用于检测人体呼出气体中痕量 C_3H_6O (糖尿病的关键生物标志物) 以及监测食品变质过程 H_2S 的释放。这一发现为设计高性能化学传感器提供了新的可能性, 在实际应用中显示出巨大的潜力。

关键词: 尖晶石铁氧体, 丙酮传感器, 硫化氢传感器, 金属有机框架

63-17

基于 CsPbBr₃ 量子点金属氧化物异质结 H₂S 智能传感器

顾修全

中国矿业大学材料与物理学院

在本研究中,通过简单的溶液路线合成了 CsPbBr₃-AAI(乙酰丙酮铁)量子点。然后,使该量子点在一定温度下氧化分解成为 CsPbBr₃-Fe₂O₃,也就是说把 AAI 氧化生成的 Fe₂O₃ 包覆于钙钛矿 CsPbBr₃ 量子点表面。结果表明,该材料构建的传感器可以在 400℃下快速检测 0.01-10ppm 的 H₂S 浓度,对于 10ppm 的 H₂S 浓度,响应时间分别为 1.84 和 24.20 秒。通过机器学习,可以有效识别不同浓度的 H₂S,准确率高达 100%。但由于 Fe₂O₃ 包覆的随机性和不严密性,使 CsPbBr₃ 在与 H₂S 气体接触时会生成 PbS₂,从而降低了传感器的使用寿命,因而为了提高其稳定性,我们利用 Sn 易氧化形成致密氧化膜的特性,再在 CsPbBr₃@Fe₂O₃ 异质结纳米晶的表面通过 PVD 方法沉积一层薄的 SnO₂ 实现了对量子点芯层的有效保护,从而增强了材料和器件的稳定性。

关键词: 钙钛矿量子点; 气敏传感; 机器学习; 异质结; H₂S

63-18

二维聚合富勒烯纳米片在 VOCs 传感器中的应用前景

常晓, 张军

青岛大学

碳材料因其尺寸多样化、结构可调、易于掺杂/功能化等特点,在气体传感器中具有广阔的应用前景。自 2022 年 6 月份至今,已有三篇 Nature 文章报道新型二维聚合富勒烯纳米片(2DC₆₀)的实验合成¹⁻³。由于 2DC₆₀ 具有固有的带隙和较高的载流子迁移率,为气体传感器领域提供了一种全新的候选材料。尤其是 2DC₆₀ 具有独特的拓扑结构,可避免传统单原子层 2D 材料片层间的聚集和堆积问题。基于该背景,我们首次尝试通过密度泛函理论(DFT)计算来研究 2DC₆₀ 对挥发性有机化合物(VOCs)的传感能力⁴。结果表明,与纯 C₆₀ 纳米团簇相比,2DC₆₀ 表面纳米笼之间的孔中心可对 VOC 表现出更强的吸附能力。准六方 2DC₆₀ 具有较高的丙酮选择性,准四方 2DC₆₀ 具有较高的乙醇选择性。此外,通过掺杂单原子硼,准六方 2DC₆₀ 表面电子转移能力明显更强,其丙酮选择性获得了显著提高。总之,继石墨烯、二维过渡金属硫族化合物、磷烯、MXene 等二维材料之后,2DC₆₀ 极有可能成为一种很有前途的气体传感材料候选者。

关键词: 二维聚合富勒烯; VOCs 传感器; DFT 计算

参考文献:

1. Hou L, Cui X, Guan B, et al. Synthesis of a monolayer fullerene network. Nature, 2022, 606 (7914): 507-510.
2. Meirzadeh E, Evans A M, Rezaee M, et al. A few-layer covalent network of fullerenes. Nature, 2023, 613 (7942): 71-76.
3. Pan F, Ni K, Xu T, et al. Long-range ordered porous carbons produced from C₆₀. Nature, 2023, 614 (7946): 95-101.
4. Chang X, Zhang J, et al. Monolayer fullerene network: A promising material for VOCs sensor. Applied Surface Science, 2023, 637: 157909.