

## 论坛四十六：智能传感功能材料与器件论坛

分论坛主席：姚熹 毛昌辉 徐卓 朱丽萍

## 46-01

## 氧化物半导体气敏材料及传感应用

朱丽萍

浙江大学

气体传感器被广泛应用于石油化工、航空航天、环境监测、医疗健康等多个领域。其中半导体金属氧化物由于其对易燃易爆气体和有毒有害气体的高敏感性，被广泛用作气体敏感材料。我司研发了室温常压制备大比表面积高取向性低维氧化物半导体材料宏量制备技术，通过掺杂和晶面取向新技术实现氧化物半导体载流子的高效输运，实现了气敏材料灵敏度的高效提升。创新设计兼容微机电系统（MEMS）工艺的平面集成一体化传感器，致力于 SF6 分解气体检测、人体呼出气体检测、柔性气体传感器三个项目的产业化发展。产品以气敏材料、传感器、模组、气体检测仪的形式进行供客户选择，满足不同的使用需求。

**关键词：**氧化物半导体气敏材料

## 46-02

## 玻璃陶瓷介电材料的研究进展

张庆猛，易云鹤

有研工程技术研究院有限公司

玻璃陶瓷介电材料由于具有高的击穿场强和适中的介电常数，使得其具有了较好的储能密度，作为电容器介质展现出了良好的应用前景。本文介绍了铌酸盐玻璃陶瓷的成分设计和工艺优化对其介电性能的影响研究，并通过电极结构优化进一步优化了其储能密度。基于优化的玻璃陶瓷成分，采用磁控溅射工艺开展了铌酸盐薄膜的制备及其介电性能的优化研究，制备出储能密度达到  $37\text{J}/\text{cm}^3$  的玻璃陶瓷薄膜；通过流延成型工艺制备了玻璃陶瓷薄膜材料，研究了玻璃陶瓷粉体的致密化烧结工艺以及对其介电性能的影响，最终通过工艺优化获得了烧结致密的玻璃陶瓷薄膜。

## 46-03

葡萄糖辅助合成多孔纳米针束  $\text{Co}_3\text{O}_4$  分级结构用于低浓度响应的氢传感材料

邓馨

氢气作为一种未来化的理想清洁能源，广泛地应用于生物医疗、金属冶炼、化工生产、燃料电池、航空航天以及核电领域中，但氢气有着许多高危险性的物化特性，如爆炸浓度范围宽、点火能低、燃烧热值高、气体扩散系数高等，一旦泄露则极易发生爆炸事故。因此，研究和实用化的氢气传感材料是促进氢能应用和氢气安全的首要条件。

$\text{Co}_3\text{O}_4$  作为一种尖晶石结构的 p 型金属氧化物半导体(MOS)，因其较低的工作温度、较好的耐湿性及高催化活性成为气体传感领域的高性能候选材料，但其响应度仍较大程度低于 n 型 MOS（如  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZnO}$  等）。近年来，许多研究者致力于  $\text{Co}_3\text{O}_4$  形貌结构调控相关研究，获得高比表面积、高孔隙率及特定晶面的  $\text{Co}_3\text{O}_4$  材料以提升气敏性能。其中，一维纳米结构因其更高的比表面积、电子传输效率及表面能，且材料尺寸更易达到 Debye 半径而在气敏材料领域更具优势，但如何保证一维纳米结构的形貌稳定性并避免其团聚和紧密堆叠是需要解决的问题。

在本研究中,采用水热法并引入微量葡萄糖作为结构导向剂成功制备了纳米针束  $\text{Co}_3\text{O}_4$  前驱体,经过后续高温烧结获得了多孔纳米针束  $\text{Co}_3\text{O}_4$  分级结构氢传感材料,并研究了不同葡萄糖浓度对  $\text{Co}_3\text{O}_4$  形貌结构和氢传感性能的影响规律。利用热重分析技术、扫描/透射电子显微镜、X 射线衍射技术、X 射线光电子能谱技术、BET 比表面积测试、JF02 气敏元件测试系统分析了多孔纳米针束  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的形貌结构、晶相组成、元素组成及含量、价态信息、氧原子状态、比表面积及孔径、氢敏性能。研究表明,当反应体系中葡萄糖含量与六水硝酸钴的质量比为 0.25 时所得多孔纳米针束  $\text{Co}_3\text{O}_4$  在其最佳工作温度(200℃)下对 200 ppm 氢气最高,响应约为 36.5( $R_H/R_A$ ); 值得注意的是,其在极低氢气浓度(500 ppb)下仍具有 11 的较高响应,同时具备较好的可重复性和长期稳定性,可作为低氢浓度响应的优质潜在候选材料。

关键词: 纳米针束; 三氧化二钴; 氢气传感; 葡萄糖;

#### 46-04

##### Iontronics Based on 2D Nanomaterials

Di Wei

Beijing Institute of Nanoenergy and Nanosystems, CAS

weidi@binn.cas.cn

Higher energy prices due to fossil fuels have contributed to painfully high inflation, and the pollution issues from recycling of lithium ion batteries brought additional trouble for sustainable society. Generating energy from water, especially from osmotic power is a green method. However, making salinity gradient energy practical is a great challenge. Despite recent progresses, the practicality of osmotic energy harvesting for portable electronics is still in question, due to the low power output and lack of portability. Here, optimizing the alkali metal ion transport within 2D nanofluidic channels through experiments and simulations, together with the tailored interfacial redox reactions, we could store the osmotic energy in a piece of paper with decent energy and power densities. Our results open a scenario to make osmotic energy economically viable and provide a platform to develop new generation of renewable, ultrathin and safe iontronic energy solutions.

#### 46-05

##### 芳纶纳米纤维水分散体系的高效制备及其柔性薄膜压力传感器构筑

陈磊

西南大学

为研制满足高性能实际应用需求的柔性可穿戴压力传感器,选用天然生物质材料丝素蛋白(Silk fibroin, SF)作为柔性基底,芳纶纳米纤维(Aramid nanofibers, ANFs)作为增强构筑单元,通过磁控溅射技术负载金纳米粒子(Au),并采用喷涂法封装具有低表面能的氟碳树脂(FC),构筑得到的柔性压力传感器(SF/ANFs/Au@FC)在人体生理和运动监测过程中,机电响应信号表现出良好的规律性、稳定性和可重复性。该压力传感器集高灵敏度、自清洁和抗液体干扰等多种功能于一身,具有在复杂环境中工作的巨大潜力。

#### 46-06

##### 材料创新协同赋能产业高端破局

沓世我

广东风华高新科技股份有限公司研究院

当前，全球经济发展放缓，电子信息产业作为全球经济的核心产业，电子元器件则是支撑信息技术产业发展的基石，也是保障产业链供应链安全稳定的关键。其中高端阻容元件被科技日报列为我国 35 项“卡脖子”技术之一。要实现高端阻容元件的国产化，需要从源头上解决高端电子材料的自主控制，是高端破局的关键；需要以企业为主体“围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链”，形成高效协同的产业生态圈。

#### 46-07

##### 机械力化学制备纳米材料及其宽温域电磁防护性能研究

龚春红

河南大学

借助界面剪切应力传递调控实现石墨烯、碳纳米管等碳基功能材料的高效机械剪切剥离制备。借助机械搅拌反应，实现钛酸锂，钛酸钡、氮化钛等钛基功能材料的规模化制备。借助机械球磨反应实现 ATO、Cs:WO<sub>3</sub>、以及不同相变温度 VO<sub>2</sub> 等几种透明导电氧化物宏量制备。设计制备具有宽温域适应性的轻量化吸波及电磁屏蔽材料，在军事及民用领域具有重要的现实意义。通过优化填料微观-介观及宏观分散及分布状态，可以使复合材料在极低石墨烯含量（0.5wt.%）下表现出足够的介电损耗能力。此外，借助多层结构设计，实现石墨烯/聚醚砜薄膜的轻量化及宽温域电磁屏蔽性能的优化。氮化钛作为一种耐高温、高导电的功能陶瓷材料，表现出优异的宽温域吸波性能。此外，基于氮化钛陶瓷纤维的柔性设计，有利于实现陶瓷复合材料吸波及力学性能的进一步优化。针对介电类吸波材料存在电损耗占比高导致体系介电-温度依赖性强的问题，分别借助原位复合及过渡金属掺杂等策略，通过引入多重极化损耗机制，并适当限制导电损耗，实现了宽温域介电损耗及吸波性能的有效提升。进一步的，构建了 RGO、ATO 微球超复合材料，利用吸波单元在基体中的离散分布设计，使原本“室温吸波，高温偏反”的吸波材料在宽温域范围内（273-473K）均保持稳定的介电及吸波性能。

#### 46-08

##### 呼气式疾病早筛仪产业关键技术

金涵

上海交通大学

人体呼出气中特定气体成分浓度的异常可反映健康隐患，例如当一氧化氮（NO）、一氧化碳（CO）、氢气（H<sub>2</sub>）、有机挥发物（VOCs）浓度超标时，人体通常患有哮喘，溶血症或者其它类型疾病。快速精准分析人体呼出气中的特定气体成分可实现人体健康状况的无创筛查。目前呼气式疾病早筛技术得到了人们的广泛关注，并被誉为是下一代疾病早筛途径。开发高精度、微型气体传感器以及对应呼气式疾病早筛仪可有效实现相关技术的领创转化和推广应用，然而受限于当前市面传感器的性能限制，相关工作依然存在技术瓶颈，限制了对应技术的实际应用。有鉴于此，报告人开展了系统研究，并基于柔性可穿戴技术和智能传感器工艺开发出了系列可穿戴呼气分析传感器雏形和早筛仪样机。本报告概括了报告人近年来在相关领域的代表性成果，着重介绍了报告人在高精度智能传感器设计与构建方面的研究进展。

#### 46-09

##### 新型感存算材料与器件

李阳

## 山东大学

In view of the urgent need for innovation and upgrading of the new generation of information technology industry, it is urgent to carry out basic research on the design and system integration application of new sensing and computing chips in the field of intelligent perception, with the development of highly integrated, high-performance and low-power sensing and computing chips and systems as the research goal. In view of the problems that need to be solved urgently in the field of intelligent sensing, such as complex chip preparation process, high power consumption, poor integration and performance, and low intelligence level, the author focuses on three aspects: sensing chip design and process optimization, establishment of memory chip design system, and design and integration of memory chip system. A series of innovative achievements have been made in chip design, advanced processes and system integration, which will be presented in this report.

## 46-10

## 多功能纳米复合吸波材料

马嵩

中科院金属研究所

近年来, 开发多功能吸波材料并深入研究其吸波机理已成为当前一个研究热点。电磁污染问题与电子设备的更新换代对宽频化电磁波吸收以及实际应用所面对的恶劣环境给吸波材料研究带来了更多新的挑战, 其环境适应性表现出越来越重要的意义。本工作从控制纳米材料的维度入手, 系统研究了特殊磁性催化剂所构建的多维纳米吸波材料在防腐与吸附基础上的吸波性能提高, 为多功能吸波材料的研究拓展了新的思路。

## 46-11

## 低维半导体材料器件与触觉仿生

潘曹峰

中国科学院北京纳米能源与系统研究所

中国科学院大学纳米科学与工程学院

pancaofeng@ucas.ac.cn

触觉感知是人工智能的核心之一。通过电子手段模拟人的感知一直是人工智能领域的重大挑战, 相比于发展较为成熟的几种感观(视觉、听觉、嗅觉和味觉)的微纳敏感器件仿生, 触觉的仿生还是一个尚未攻克的难题。围绕传统触觉传感器阵列集成度与分辨率低、无法兼顾高灵敏度与宽线性响应、柔性可延展性差等难题, 提出通过调控低维半导体结构-界面-能带来探测应力的思路, 开展触觉传感全链条研究, 成功构筑了人工智能机器触觉, 针对集成度与分辨率低等, 创新性地构筑 ZnO 纳米线阵列并以其发光特性来探测应力, 实现千万级像素集成 2 微米超高分辨率的世界领先的触觉传感阵列; 针对灵敏度与线性检测范围等, 构筑了微米级超薄复合可拉伸传感材料, 阐明多级次结构-力学-系统应变的内在关联, 实现了宽线性响应和 389dB 超高灵敏度的多物理量柔性触觉传感; 实现微细动作精确操控与触觉感知, 成功集成到智能假肢与机器人上, 实现物体的准确可控抓握, 使机器人实现触觉传感功能。

**关键词:** 低维半导体传感材料; 可拉伸电子, 传感器, 触觉传感; 电子皮肤

## 46-12

**多中心动态发光配合物传感材料**

师唯

南开大学

以功能为导向的配位化学研究一直处于化学和材料科学等领域的交叉前沿。围绕配合物的结构设计与功能调控,我们开展了系列的研究工作,系统研究了多中心配合物的高效合成、分子和能级结构,以及在外界化学刺激下的发光性质变化规律。

**46-13****硼烯二维原子晶体材料的制备、表征及其在传感和信息存储方面的应用**

台国安

南京航空航天大学

硼烯被认为是一种性能优良的传感材料,有望在新一代高性能传感器件方面得以应用。本报告中,我将介绍本课题组在硼烯的多种制备方法以及在传感器件方面的应用研究。重点介绍硼烯气体传感器,其具有灵敏度高、响应快、选择性强、柔韧性好、稳定性高等优点。该传感器具有低至 200 ppb 的实验检测限, 200 ppb 至 100 ppm 大的检测范围以及快速的响应时间(30s)和恢复时间(200s),这些性能均优于已报道的其它典型二维材料。为了进一步发挥硼烯的性能优势,构建范德华异质结有望显著提升器件的性能。课题组通过范德华外延生长技术制备了一种新型的硼烯-石墨烯异质结构以及构建了硼烯-MoS<sub>2</sub> 异质结构传感器等,这些传感器展示出高的灵敏度。以上传感器在人体呼吸诊断和非接触式开关传感系统中具有多功能应用,表明基于硼烯传感器在未来的医疗保健和人机交互系统中具有重要应用潜力。

**46-14****高温压电陶瓷及其应用**

徐卓, 严永科

电子科学与工程学院, 西安交通大学, 陕西 西安, 710119

高温压电陶瓷材料在新能源、油井勘探、航空航天、汽车工业以及国防等领域具有十分迫切的应用需求。本报告首先介绍几种具有高居里点的压电材料,包括钙钛矿型压电陶瓷、铋层状结构氧化物压电陶瓷、以及钨青铜结构压电陶瓷的高温压电性能;然后针对超深井(8000~10000 米)勘探对高温压电声波测井换能器所需高温压电材料的迫切需求,重点介绍高性能耐高温高压 BiScO<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub> 压电陶瓷的材料开发、批量生产以及工程化研究;最后介绍超深井阵列声波发射换能器以及数字声波发射和接收换能器的产品研制进展。

**46-15****高性能织构压电陶瓷及其应用**

严永科、徐卓

电子科学与工程学院, 西安交通大学, 陕西 西安, 710119

压电材料作为驱动器、传感器和换能器的核心材料,广泛的应用于水声、工业无损检测、医用超声、超声马达、智能结构控制与传感等领域。织构压电陶瓷,作为一类新型压电材料,综合了压电单晶和压电多晶陶瓷两种材料的优点:一方面具有单晶取向的特征以获得接近单晶的优异压电性能;另一方面具有陶瓷多晶的特点以获得多晶陶瓷在制备上的优势。本报告首先简单描述织构压电陶瓷的制备方法,然后着重介绍几类织构压电陶瓷材料及其应用。织

构压电陶瓷的超高压电性能和机电耦合性能(如压电常数  $d_{33}$  能达到单晶的 90%, 是陶瓷 2~4 倍; 机电耦合系数  $k_{33}$  几乎达到了单晶的 100%), 将极大提升压电器件的性能(如声源级、灵敏度和频率带宽等), 进而促进压电器件的更新换代。