

大连理工大学提名 2020 年辽宁省自然科学奖项目公示

项目名称：半导体有毒有害气体敏感材料与传感器

提名者：大连理工大学

一、提名意见：

该项目面向低浓度测量的人工智能嗅觉系统，人体呼出痕量气体以及物联网下污染环境气体实时检测的低成本半导体气体传感器关键核心芯片技术的国家重大需求，针对目前技术存在的高功耗、选择性和稳定性差等关键问题，研发了在低温甚至室温下工作的高性能半导体敏感材料，达到降低该类传感器功耗和提高传感器稳定性的目的。在国际上率先报道了 p 型还原氧化石墨烯与多种金属氧化物新型异质结敏感材料，发现了 p-n 型信号转型对氨气室温响应性能的重要影响，成功解决了石墨烯气敏信号的响应恢复速度慢以及选择性差的问题。国际上率先报道了 p 型二维敏感材料对 1-10ppm 氨气响应信号随湿度的增加而增加的“反常”现象，为传感器直接用于高湿环境下奠定了关键技术基础。在国际上率先实现了在光电耦合条件下实现对环境污染气体快速响应的高灵敏室温传感性能，揭示了中空结构在紫外辅助下更有效的促进了空穴-电子电荷对的分离增敏机理。成果得到了包括 MEMS 气体传感器先驱 IEEE Fellow Gardner 教授等多名国内外知名专家的引用和正面评价，8 篇代表性论文 SCI 他引：474 次。

提名该项目为辽宁省自然科学奖 一 等奖

二、项目简介：

面向低浓度测量人工智能嗅觉系统，人体呼出痕量气体以及物联网下污染环境气体实时检测的低成本半导体气体传感器关键核心芯片技术的国家重大需求，半导体气体敏感材料及其芯片集成技术需要重点解决敏感材料的选择性、响应恢复时间、信号稳定性和传感器制造一致性问题。但是，目前的半导体敏感材料需要在 200-400°C 高温激活下工作，这就极大增加了传感器所需功耗，同时带来传感器信号的长期稳定性问题。针对这些问题，本项目研发了在低温甚至室温下工作的高性能半导体敏感材料，解决了低温下传感器对低浓度气体信号低，信号响应恢复速度慢以及选择性和稳定性较差等关键技术问题，达到降低该类传感器功耗和提高传感器稳定性的目的。取得的创新性成果如下：

(1) 构筑 p 型还原氧化石墨烯与 n 型金属氧化物 TiO_2 和 SnO_2 新型半导体异质结敏感材料，创新性发现异质结敏感材料中 p-n 型信号转型对氨气室温响应性能的重要影响。报道了 p 型二维敏感材料对 1-10ppm 氨气响应信号随湿度的增加而增加的“反常”现象，为传感器直接用于高湿环境下奠定了关键技术基础。

(2) 国际上率先报道了还原氧化石墨烯与 p 型四氧化三钴复合异质结的室温甲醇敏感性能。率先报道了还原氧化石墨烯包裹 p 型 Co_3O_4 复合异质结纳米纤维的室温氨气传感性能，揭示了异质结敏感材料原子间耦合效应的增敏机制。

(3) 在国际上率先采用中空金属氧化物作为半导体敏感元，在光电耦合条件下实现对环境污染气体快速响应的高灵敏室温传感性能，揭示了中空结构在紫外辅助下更有效的促进了空穴-电子电荷对的分离增敏机理。

该项目 8 篇代表性论文全部发表在中科院 1 区杂志上，SCI 他引 474 次，其中 2 篇入选 ESI 高被引论文。引用单位来自全球多个知名科研机构如美国的斯坦福大学及其合作者美国宇航局 Arms 研究中心、美国加州大学伯克利分校、英国 Warwick 大学以及意大利 Messina 大学等。得到了包括多名半导体气体传感器的先驱如国际 MEMS 半导体气体传感器先驱 IEEE Fellow 英国 Warwick 大学工程学院的 Gardner 教授，英国 Atmosphere Inc. 的 P. T. Moseley，德国洪堡大学的 Pinna 教授，意大利 Messina 大学 Neri 教授以及中国科学院院士白守礼院士等国内外知名半导体气敏材料领域专家的正面评价。

三、代表性论文专著目录(不超过 8 篇)

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间年 月 日	通讯作者 (含共同)	第一作 者 (含共同)	国内 作者	他 引 总 次 数	检索 数据 库	论 文 署 名 单 位 是 否 包 含 国 外 单 位 是
1	Reduced graphene oxide (rGO) decorated TiO ₂ microspheres for selective room-temperature gas sensors/Sensors and Actuators B: Chemical/Xiaogan Li, Yangyang Zhao, Xueyan Wang, Jing Wang, Alexander Gaskov	2016 年 230 卷 330-336 页	2016/02/20	Xiaogan Li	Xiaogan Li	李晓 干, 赵阳 阳, 王雪 燕, 王兢	59	SCIE	是

2	Percolation effect of rGO on ammonia sensing of SnO ₂ based chemoresistive-type sensor at room temperature/Sensors and Actuators B: Chemical/Qiuxia Feng,Xiaogan Li,Jing Wang	2017年 243卷 1115-1126 页	2016/12/21	Xiaogan Li, Jing Wang	Qiuxia Feng	冯秋霞, 李晓干, 王兢	31	SCIE	否
3	WS ₂ nanoflakes based selective ammonia sensors at room temperature/Sensors and Actuators B: Chemical/Xiaogan Li, Xiaoxin Li,Zhi Li, Jing Wang, Jianwei Zhang	2017年 240卷 273-277 页	2016/08/30	Xiaogan Li	Xiaogan Li	李晓干, 李筱昕, 李志, 王兢, 张建伟	71	SCIE	否
4	Enhanced room temperature sensing of Co ₃ O ₄ -intercalated reduced graphene oxide based gas sensors/Ning Chen, Xiaogan Li, Xueyan Wang,Jun Yu,Jing Wang,Zhenan Tang,Sheihk Akbar	2013年 188卷 902-908 页	2013/08/08	Xiaogan Li	Ning Chen	陈宁, 李晓干, 王雪燕, 余隽, 王兢, 唐祯安	98	SCIE	是

5	Reduced graphene oxide (rGO) encapsulated Co_3O_4 composite nanofibers for highly selective ammonia sensors/Sensors and Actuators B: Chemical/Qiuxia Feng, Xiaogan Li, Jing Wang, Alexander Gaskov	2016年 222卷 864-870页	2015/09/08	Xiaogan Li, Jing Wang	Qiuxia Feng	冯秋霞, 李晓干, 王兢	69	SCIE	是
6	Enhanced NO_2 sensing of $\text{SnO}_2/\text{SnS}_2$ heterojunction based sensor/Sensors and Actuators B: Chemical/Ding Gu, Xiaogan Li, Yangyang Zhao, Jing Wang	2017年 244卷 67-76页	2016/12/27	Xiaogan Li, Jing Wang	Ding Gu	顾丁, 李晓干, 赵阳阳, 王兢	54	SCIE	否
7	Room temperature impedance spectroscopy-based sensing of formaldehyde with porous TiO_2 under UV illumination/Sensors and Actuators B: Chemical/Lipeng Liu, Xiaogan Li, Prabir Dutta, Jing Wang	2013年 185卷 1-9页	2013/04/28	Xiaogan Li, Prabir Dutta	Lipeng Liu	刘丽鹏, 李晓干, 王兢	41	SCIE	是

8	Highly sensitive and selective room temperature formaldehyde sensors using hollow TiO ₂ microspheres/Sensors and Actuators B: Chemical/Xiaogan Li, Xiaoxin Li, Jing Wang, Shiwei Lin	2015年 219卷 158-163 页	2015/05/22	Xiaogan Li	Xiaogan Li	李晓干, 李筱昕, 王兢, 林仕伟	51	SCIE	否
合 计							474	SCIE	

四、主要完成人(完成单位)

序号	完成人姓名	完成单位	工作单位
1	李晓干	大连理工大学	大连理工大学
2	王兢	大连理工大学	大连理工大学
3	冯秋霞	大连理工大学	大连东软信息学院
4	李筱昕	大连理工大学	泛林半导体设备技术有限公司
5	顾丁	大连理工大学	大连理工大学