**项目公示信息**

**一、项目名称：**

气敏与光催化ZnO基功能材料表面缺陷及界面结构调控机理

**二、完成单位排序及贡献：**

西安工业大学，第一完成单位。贡献：是项目的主要实施执行者。完成了项目规划，总体设计，并作了机理研究，做出了该项目的主要学术贡献。

陕西师范大学，第二完成单位。贡献：是项目的辅助实施执行者。对ZnO纳米材料表面缺陷和微结构调控的设计做了重要贡献。

**三、项目简介：**

本成果主要属于材料科学技术领域，涉及纳米材料、半导体物理、催化化学、光电子学以及仪器仪表等多学科交叉领域。

现代文明发展带来的废气，有机污染物对环境和人类健康造成了严重危害。因此，对废气、有机污染物的探测和处理成为亟待解决的问题。纳米ZnO是一种先进的多功能材料，因兼有气敏和光催化性能，且易化工合成、价格低廉、无毒害、有生物兼容性等优点受到关注。

然而，单一的纳米ZnO结构材料具有较低气敏灵敏度、气体选择性和光催化降解速率。而且，纳米ZnO在制备过程中不可避免的引入各种表面缺陷及其自身低的光生载流子分离与迁移能力，成为制约其优异气敏性能和光催化特性的瓶颈。为了提高其性能，需要对ZnO的纳米结构进行设计；需要引入复合相来抑制表面缺陷和低的光生载流子分离能力所造成的消极影响。因此，**ZnO基气敏和光催化材料的纳米结构设计、表面缺陷和界面结构调控对其性能的影响规律成为亟待解决的科学问题。**

**主要研究内容：**

1. **ZnO纳米结构设计及其不同纳米结构对气敏与光催化性能的影响机理**

设计生长了不同的纳米结构，采用溶剂热、提拉法和模板法等多种湿化学方法实现了对ZnO纳米结构的调控；阐明了不同纳米结构的生长机理；分析了纳米结构对气敏和光催化性能的影响机理

1. **ZnO基纳米结构材料的表面缺陷和界面结构对其气敏和光催化性能的影响规律**

采用超声化学、酸腐蚀、低温退火、异质复合等工艺实现了对表面缺陷和界面结构的调控；研究了表面缺陷、界面结构以及二者协同对气敏和光催化性能的影响规律

**创新点：**

1. 首次发现了ZnO纳米墙的气敏性能随表面缺陷和比表面积的变化关系，揭示了氧空位和比表面积两因素竞争对气敏性能的影响规律；
2. 发现了界面结构和表面缺陷协同对二维柔性ZnO纳米墙/ 石墨烯异质结气敏性能的影响规律，建立了缺陷效应－载流子浓度－表面损耗层宽度间的内在关联性，揭示了二维柔性ZnO纳米墙/ 石墨烯气敏传感器对NO2气敏性能的缺陷协同或拮抗效应；
3. 开发了一种原位生长ZnO纳米墙和ZnO纳米墙/石墨烯异质结气敏元件的低成本、高效并绿色环保的普适性方法，基于化学反应动力学诱导成核机理揭示了二维单晶ZnO纳米墙的生长机制；
4. 开发了C/ZnO、C/ZnO/Au、ZnO/SnO2介孔纳米异质结球壳结构的构筑方法，提出了提高光催化速率的界面微观结构的调控策略，建立了在多次循环利用中，提高抗光腐蚀性和回复光催化性能的理论和方法。

**四、主要论文专著目录和主要知识产权证明目录**

**专著：**

于灵敏，一维ZnO纳米线及气敏性能，国防工业出版社，2014.

**代表性论文：**

[1] Lingmin Yu, Sheng Liu, Bing Yang, Jiansong Wei, ManLei, Xinhui Fan, Sn–Ga co-doped ZnO nanobelts fabricated by thermal evaporation and application to ethanol gas sensors, Materials Letters 2015, 141, 79–82，**被引频次24次，附件1-1**

[2] Linmin Yu; Fen Guo; Sheng Liu; Bing Yang; Yanxing Jiang; Xinhui Fan, Both oxygen vacancies defects and porosity facilitated NO2 gas sensing response in 2D ZnO nanowalls at room temperature, Journal of Alloys and Compounds, 2016, 682, 352~356, **被引频次24次，附件1-2**

[3] Lingmin Yu, Jiansong Wei, Yuyang Luo, Yanlong Tao, Man Lei, Xinhui Fan,Wen Yan, Peng Peng, Dependence of Al3+ on the growth mechanism of vertical standing ZnO nanowalls and their NO2 gas sensing properties , Sensors and Actuators B 2014, 204, 96–101, **被引频次19次** ，**附件1-3**

[4] Mingli Yin, [Feng Wang](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838816304650), [Haibo Fan](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838816304650), [Lijie Xu](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838816304650), [Shengzhong Liu](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838816304650), Heterojunction CuO@ZnO microcubes for superior p-type gas sensor application, Journal of Alloys and Compounds. 2016 , 672, 374-379, **被引频次20次，附件1-4**

[5] Lingmin Yu, Fen Guo, Zong-yuan Liu, Sheng Liu, Bing Yang, Ming-li Yin, Xin-hui Fan, Facile synthesis of three dimensional porous ZnO films with mesoporous walls and gas sensing properties, Materials Characterization, 2016,112, 224~228, **被引频次13次，附件1-5**

[6] Liu Zongyuan, Yu Lingmin; Fan Xinhui, Facial development of high performance room temperature NO2 gassensors based on ZnO nanowalls decorated rGO nanosheets, Applied Surface Science, 2017, 423, 721~727, **被引频次9次，附件1-6**

[7] Mingli Yin, Lingmin Yu, Shengzhong Liu, Synthesis of thickness-controlled cuboid WO3 nanosheets and their exposed facets-dependent acetone sensing properties, Journal of Alloys and Compounds, 2017, 696, 490-497, **被引频次12次，附件1-7**

[8] Mingli Yin, Shengzhong Liu, Preparation of ZnO hollow spheres with different surface roughness and their enhanced gas sensing property, Sensors and Actuators B, 2014,197, 58–65, **被引频次42次，附件1-8**

[9] Mingli Yin, Shengzhong Liu, Controlled ZnO hierarchical structure for improved gas sensing performance, Sensors and Actuators B, 2015, 209, 343–351, **被引频次19次，附件1-9**

[10] Mingli Yin, Mengdi Liu, Shengzhong Liu, Development of an alcohol sensor based on ZnO nanorods synthesized using ascalable solvothermal method, Sensors and Actuators B, 2013 ,185, 735–742, **被引频次34次，附件1-10**

[11] Mingli Yin, Mengdi Liu, Shengzhong Liu, Diameter regulated ZnO nanorod synthesis and its application in gas sensor optimization, Journal of Alloy and Compounds, 2014 , 586, 436–440, **被引频次18次，附件1-11**

[12] Changqing Jin, Chenghai Ge, Zengyun Jian, Yongxing Wei, Facile synthesis and high photocatalytic degradation performance of ZnO-SnO2 hollow spheres, Nanoscale Research Letters, 2016, 11, 526, **被引频次9次，附件1-12**

[13] C. Q. Jin, C. H. Ge，G. Xu, Y. X. Wei, Q. P. Ding, M. Zhu, H. B. Duan, Controllable synthesis and cathodoluminescent property of 1D wurtzite ZnS nanostructures, Journal of Alloys and Compounds, 2015, 648, 481~487, **被引频次9次，附件1-13**

[14] Changqing Jin, Chenghai Ge, Gang Xu, George Peterson, Zengyun Jian, Yongxing Wei, Kexin Zhu, Influence of nanoparticle size on ethanol gas sensing performance of mesoporous alpha-Fe2O3 hollow spheres, MaterialsScienceandEngineeringB*,* 2017, 224, 158~162, **被引频次9次，附件1-14**

[15] Yu Lingmin, Fan Xinhui, Lei Man, Wei Jiansong, Jin Yao hua, Yan Wen, Surface analysis of Ga-doped 3D urchin-like ZnO structure and density functional theory investigation of the quenching in photoluminescence property, Journal of Alloys and Compounds 2014, 604, 233–238, **被引频次5次，附件1-15**

**主要知识产权：**

1．国家发明专利，ZL201310652570.4，一种定向生长单晶ZnO纳米墙的水溶液制备方法；

2．国家发明专利，ZL201410036548.1，一种Ga-Sn共掺杂纳米带及其制备方法；

3．国家发明专利，ZL201410500945.X，高灵敏度酒敏传感器及其制备方法、介孔SnO2材料的制备方法；

4. 国家发明专利，ZL201510383734.7，ZnO/石墨烯异质结气敏传感器及其制备方法；

**五、客观评价**

（评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料不能作为评价依据。）

**六、推广应用情况（技术发明、技术开发、技术推广和社会公益类项目必写）**

相关成果获得2017年中国石墨烯创新创业大赛（无锡）优秀项目奖，同年与浙江省石墨烯创新中心签定合作协议。另外，受南方科技大学、西安邮电大学、郑州航空工业管理学院等单位邀请，为高校师生做各类学术讲座；受纳米材料国际大会、中国ZnO大会、中国气湿敏大会、中国危爆品痕量检测大会、西安纳米科技大会等组委会的邀请，做学术报告多次。

**七、科学意义和科学价值（基础研究类必写）**

本项目以ZnO基纳米材料的结构设计为出发点，以表面缺陷和微观结构调控为技术手段，基于化学反应动力学诱导成核机理揭示了二维单晶ZnO纳米墙的生长机制；发现了界面和表面缺陷协同对其性能的影响规律；揭示了影响气敏性能的缺陷协同或拮抗效应；推证了纳米球壳结构通过提高光量子吸收率和提供分子传输通道提高光催化速率的机理；揭示了不同复合相和复合相含量对光生载流子分离能力和与之相关的光催化性能的影响规律。

出版专著1部，获得授权的国家发明专利4项，发表SCI收录学术论文40余篇，累计被引 370 多次，其中代表作论文他引 266 次，其中1篇入选ESI论文。研究成果为我校材料科学与工程博士点授权学科提供了重要支撑，推动了学校材料学科的发展。

**八、主要完成人员情况：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排 名** | **职务/职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对项目的主要学术和技术创造性贡献** |
| 于灵敏 | 1 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 项目规划，总体设计，机理研究。对创新点的贡献：发现了界面和表面缺陷协同对其性能的影响规律；揭示了影响气敏性能的缺陷协同或拮抗效应。 |
| 靳长清 | 2 | 讲师 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 结构设计，机理研究。 对创新点的贡献： ZnO基材料的纳米球壳结构设计；开发了C/ZnO、C/ZnO/Au、ZnO/SnO2介孔纳米异质结球壳结构的构筑方法，提出了提高光催化速率的界面微观结构的调控策略。 |
| 阴明利 | 3 | 讲师 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 纳米结构调控及其对气敏性能的影响分析。对创新点的贡献：纳米结构调控的工艺分析；生长动力学分析。 |
| 坚增运 | 4 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 光催化性能动力学分析。 对创新点的贡献：建立了在多次循环利用中，提高抗光腐蚀性和回复光催化性能的理论和方法。 |
| 魏永星 | 5 | 讲师 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料结构表征分析。对创新点的贡献：材料表面处理对光催化动力学的影响分析。 |
| 祁立军 | 6 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料制备以及工艺优化。对创新点的贡献：ZnO纳米墙的制备工艺优化以及其表面缺陷对气敏性能的影响规律分析。 |
| 刘盛 | 7 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料制备以及工艺优化。对创新点的贡献：ZnO纳米墙/石墨烯异质结气敏元件的低成本、高效并绿色环保的普适性方法开发。 |
| 郭芬 | 8 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料制备以及气敏性能分析。对创新点的贡献：ZnO纳米墙的气敏性能随表面缺陷和比表面积的变化关系分析。 |
| 朱珂欣 | 9 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料制备以及光催化性能优分析。 对创新点的贡献：复合相的选取对光催化热力学的影响分析。 |
| 刘宗媛 | 10 | 硕士生 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 材料制备以及气敏性能分析。对创新点的贡献：界面结构和表面缺陷协同对二维柔性ZnO纳米墙/ 石墨烯异质结气敏性能的影响分析。 |

1. **完成人及完成单位合作关系说明：**

（简要叙述完成人（完成单位）在项目中的合作经历，包括合作时间、方式、产出及证明材料等。）

主要完成人于灵敏（西安工业大学）、靳长清（西安工业大学）、阴明利（西安工业大学）、坚增运（西安工业大学）和刘生忠（陕西师范大学，阴明利同志在博后学习工作时期的导师）因研究方向上的交叉，在2013年前后展开对“气敏与光催化ZnO基功能材料表面缺陷及界面结构调控机理”的合作，具体产出成果见上述的代表作论文。

1. **知情同意证明：**

（申报奖励项目的支撑材料，其中论文、专著、专利等成果的第一作者（著者、发明人、设计人、专利权人）并非本奖励项目的主要完成人或完成单位，需征得第一完成人或完成单位同意，方可使用该成果。）

刘生忠老师同意不作为本次申报奖励的主要完成人。