

宽禁带氧化锌半导体材料的未来与挑战

张跃^{1,2}

1. 北京科技大学材料基因工程高精尖创新中心, 北京市先进能源材料与技术重点实验室, 北京 100083

2. 北京科技大学材料科学与工程学院, 新金属材料国家重点实验室, 北京 100083

E-mail: yuezhang@ustb.edu.cn

The future and challenges of wide bandgap ZnO semiconductor materials

Yue Zhang^{1,2}

¹ Beijing Advanced Innovation Center for Materials Genome Engineering, Beijing Key Laboratory for Advanced Energy Materials and Technologies, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

² State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials, School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

E-mail: yuezhang@ustb.edu.cn

doi: 10.1360/TB-2020-0985



张跃

北京科技大学教授, 中国科学院院士, 国家杰出青年科学基金获得者, 国家重大科学研究计划和重点研发计划项目首席科学家、国务院学位委员会学科评议组材料科学与工程组成员、国家重点研发计划“纳米科技”重点专项总体专家组成员。主要从事低维半导体材料、功能器件及其服役行为研究; 主持承担了国家级、省部级科研项目 60 余项, 发表学术论文 400 余篇, 获国家自然科学基金二等奖 1 项, 省部级科技成果一等奖 7 项。

第三代半导体材料具有宽禁带、高击穿场强、高激子束缚能、高饱和电子漂移速度的典型特征, 在半导体照明、下一代通信技术、能源互联网、高速轨道交通、电力电子器件与新能源器件等领域应用广泛, 已经成为未来半导体材料领域全球战略竞争新高地。近年来, 美国、日本、英国、欧盟等国家和地区分别通过启动国家计划、设立国家创新中心等方式, 持续加大对第三代半导体材料与器件的基础研究, 不断推进其技术实现应用突破。自 2016 年以来, 我国将“重点加强极低功耗芯片、新型传感器、第三代半导体芯片”等纳入《十三五国家科技创新规划》和《十三五国家战略性新兴产业发展规划》中。科学技术部分别在新能源汽车、战略性先进电子材料、智能电网技术与装备等国家重点研发计划专项中设立多个研究项目, 针对第三代半导体材料基础与应用的关键科学问题开展研究。

氧化锌因具有稳定丰富的低维结构、优异的室温激子稳定性和易掺杂调控的电学性能, 在第三代半导体材料体系研究中独具特色。压电电子学与压电光电子学已经成为氧化锌和第三代半导体材料研究领域最为独特和最具创新力的研究方向之一。氧化锌具有阳离子和阴离子形成的非中心对称结构, 因此将外力作用下产生的压电势与其半导体输运性能耦合, 可以实现以应变为“门”调控晶体管输运性能的压电电子学效应和调控异质结光电响应的压电光电子学效应。该方法成功建立了应变与界面载流子输运行为调控的有效联系, 从器件构筑、性能调控等方面打开了全新的研究领域。在发光器件研究领域, 六角纤锌矿结构的氧化锌端面与侧面以及随机散射形成的光学反馈, 使得低维氧化锌具有天然的谐振腔结构特点, 可以获得多种振荡方式的激光发射。如何实现振荡模式的有效调控与单模激光高效输出是氧化锌激光器面向实际应用的主要挑战。在透明导电薄膜研制方面, 氧化锌可见-近红外波段透过率超过 90%, 具有易刻蚀、抗辐射能力强、与

光电器件工艺兼容性强等特点,使其成为代替氧化铟锡(ITO)的重要候选材料.如何通过有效掺杂获得高电导率和高透光率的高质量氧化锌薄膜是该领域的重要发展方向.实现稳定的 p 型氧化锌是公认的国际难题,而氮掺杂仍然被认为是解决这一难题的有效途径.深入理解氧化锌本征缺陷结构与掺杂原子的作用关系,对推动氧化锌 p 型掺杂难题具有重要科学意义.在光伏器件研究中,氧化锌是理想的电子传输层材料体系之一.通过低温合成工艺获得高结晶质量的低维氧化锌结构,可以实现光生载流子输运行为的有效调控,促进光生电荷的快速分离与传输,在柔性钙钛矿光伏电池和叠层钙钛矿电池领域优势明显.如何实现氧化锌/钙钛矿光伏器件服役稳定性的显著提升是该领域亟待解决的关键问题.

为了集中体现我国学者在氧化锌领域的研究成果,促进同行间的学术交流,《科学通报》特此组织出版了“氧化锌材料与应用的前沿科学问题”专题,内容涉及氧化锌压电电子学和压电光电子学器件、氧化锌掺杂方法与机理、氧化锌透明导电薄膜、氧化锌发光器件、以及氧化锌在能量转换器件中的应用等方面.本专题的编辑出版得到了中国科学院北京纳米能源与系统研究所、南京大学、东南大学、东北师范大学与北京科技大学等单位相关研究组的大力支持,在此表示衷心的感谢.希望通过本专题的出版,能使读者了解我国在氧化锌材料研究的最新进展和动态,活跃本领域的交流与合作,并最终促进我国第三代半导体研究的快速发展.