



新型二维材料与器件应用专题简介

王欣然^{1*}, 段镶锋^{2*}, 黄如^{3*}

1. 南京大学, 南京 210093, 中国

2. University of California, Los Angeles 90095, USA

3. 北京大学, 北京 100871, 中国

* 通信作者. E-mail: xrwang@nju.edu.cn, xduan@chem.ucla.edu, ruhuang@pku.edu.cn

二维材料具有极限的尺寸和丰富的性质, 是最有希望延伸摩尔定律的候选材料之一, 因此是学术界和工业界关注的焦点. 2019年12期, *SCIENCE CHINA Information Sciences* 组织出版了第一期“新型二维材料与器件应用专题”, 得到了广大读者的高度肯定和广泛引用. 在过去一年中, 国际和国内学者报道了众多二维材料领域的重要进展, 包括高质量二维半导体和绝缘体单晶薄膜的制备、在2 nm 技术节点以下的潜在优势, 以及二维感算一体器件等. 同时, 我们看到该领域已经逐渐发展到从基础研究向应用研究过渡的新阶段, 具体表现为工业界 (如台积电、三星、imec) 积极参与到二维器件的研发过程中, 起到了重要的推动作用, 器件性能和集成度不断提高, 可靠性、统计性数据开始得到关注. 针对该领域持续不断的新发展, 我们计划在未来几年组织二维材料与器件相关专题, 致力于介绍二维材料的最新进展, 并为从事该领域的科研人员提供交流的平台. 2021年第4期, *SCIENCE CHINA Information Sciences* 推出了第二期“新型二维材料与器件应用专题” (Special Focus on Two-Dimensional Materials and Device Applications), 该专题共收录了8篇文章, 包括2篇综述、5篇研究论文和1篇 Letter 文章.

清华大学田禾与任天令教授团队在综述文章“Filling the gap: thermal properties and device applications of graphene”中以石墨烯作为二维材料的代表, 回顾了二维传热理论与仿真研究的进展, 总结了测量石墨烯热导率的实验方法及其器件应用, 分析了不同尺度之间理论预测与应用效果间的差距, 并展望了工艺的提升与几何形态的多样化能为石墨烯在微电子行业领域散热或温控的应用带来的潜在发展.

作为二维材料家族的重要代表, 黑磷和黑砷磷在新型光电器件领域具有极大应用潜力. 中科院沈阳金属所孙东明研究员、成会明院士团队在综述文章“Properties and photodetector applications of two-dimensional black arsenic phosphorus and black phosphorus”中通过系统比较二者的理化特性, 从晶体结构、能带结构、光学性质、电学性质和稳定性等维度, 分析和比较了黑磷和黑砷磷在光电探测领域的最新研究进展, 并从应用视角对发展方向进行了展望和预测.

中科院长春光机所李绍娟研究员团队与合作者在论文“Efficient graphene in-plane homogeneous p-n-p junction based infrared photodetectors with low dark current”提出了一种构建石墨烯面内同质 p-n-p 结降低石墨烯光电探测器暗电流的有效途径. 该器件在中红外波段表现出出色的光响应和极低

引用格式: 王欣然, 段镶锋, 黄如. 新型二维材料与器件应用专题简介. 中国科学: 信息科学, 2021, 51: 693-694, doi: 10.1360/SSI-2021-0097

的暗电流. 基于石墨烯面内同质 p-n-p 结的红外光电探测器的实现为石墨烯—硅集成宽带光电子器件的发展提供了思路.

带隙二维半导体在宽波段光电探测中有良好的应用前景, 然而器件性能通常受到高暗电流的限制. 东南大学倪振华教授团队在论文“Bi₂O₂Se/BP van der Waals heterojunction for high performance broadband photodetector”中将黑磷 (BP) 和硒氧化铋 (Bi₂O₂Se) 两种窄带隙二维半导体构建范德华异质结, 实现了高性能光电探测器. 该器件在可见—1600 nm 波段均有良好的光响应, 相比于纯黑磷和硒氧化铋光电探测器, 比探测率提高近 2 个数量级, 响应速度提升 20 倍以上.

具有高电子迁移率的二维半导体硒化铟, 其独特电子结构与各向异性光学性质使得弯曲薄膜呈现比平坦薄膜增强的发光特性. 吉林大学张立军教授团队在论文“Optical emission enhancement of bent InSe thin films”中基于第一性原理电子结构计算结果建立了弯曲硒化铟薄膜发光增强的数学模型, 为其发光增强行为提供了定量依据与参考指导.

理论计算发现, 金元素可以有效地与 V, VI, VII 主族元素形成共价准键, 用于辅助解理大面积单层二维材料, 然而目前还没有直接的实验证据. 中科院物理所黄元研究员团队与合作者在论文“Raman spectra evidence for the covalent-like quasi-bonding between exfoliated MoS₂ and Au films”中通过拉曼光谱对少层 MoS₂ 等材料低频振动模式的研究, 给出了共价准键形成后金对 MoS₂ 钉扎效应的直接证据. 研究表明, 在不受任何基底束缚的悬空样品上, 低频振动与理论预测有很好的符合, 而解理在金膜表面的 MoS₂, 由于 S 原子与 Au 原子形成共价准键, 显著地抑制了层间的低频剪切和呼吸振动模式. 该工作为研究基底与二维材料相互作用提供了新思路, 为未来优化解理工艺和拓展应用范围提供重要参考.

通过引入铁电极化电场增强低维半导体光电特性, 已是一种普适的方法. 然而低维材料极易受到环境影响, 从而限制了器件探测性能进一步提升. 中科院技术物理所王建禄研究员、褚君浩院士团队在论文“Interface engineering of ferroelectric-gated MoS₂ phototransistor”中在低维半导体和铁电材料的界面引入 h-BN, 通过对比研究, 发现引入界面的器件响应速度、响应率和开关比等技术指标均得到明显提升. 相关工作为进一步提高光电探测器稳定性和性能提供新思路和技术途径.

南京大学王欣然教授团队的 Letter 文章“A compact model for transition metal dichalcogenide field effect transistors with effects of interface traps”报道了基于 MoS₂ 晶体管的紧凑模型, 考虑了工艺中不可避免的界面态的影响. 作者通过简化界面态的能量分布, 在避免了传统模型中大量的数值计算的同时, 实现了晶体管亚阈值区与开区的良好拟合. 该紧凑模型为发展大规模二维数字集成电路提供了重要基础.