科学通报 2026 年 第 71 卷 第 9 期: 1834 ~ 1837
光电探测材料与器件专题 编者按
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

光电探测材料与器件: 新体系、新机理与新应用

周兴[1*], 田维[2*], 方晓生[3*]

1. 华中科技大学材料科学与工程学院, 材料成形与模具技术全国重点实验室, 武汉 430074
2. 苏州大学物理科学与技术学院, 苏州 215006
3. 复旦大学智能材料与未来能源创新学院, 聚合物分子工程全国重点实验室, 上海 200433
* 联系人, E-mail: zhoux0903@hust.edu.cn; wtian@suda.edu.cn; xshfang@fudan.edu.cn

Photoelectric detection materials and devices: new systems, new mechanisms and new applications

Xing Zhou[1*], Wei Tian[2*] & Xiaosheng Fang[3*]

[1] *State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*
[2] *School of Physical Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China*
[3] *State Key Laboratory of Molecular Engineering of Polymers, College of Smart Materials and Future Energy, Fudan University, Shanghai 200433, China*
* Corresponding authors, E-mail: zhoux0903@hust.edu.cn; wtian@suda.edu.cn; xshfang@fudan.edu.cn

doi: 10.1360/CSB-2026-0304



周兴

华中科技大学材料科学与工程学院教授, 博士生导师, 材料成形与模具技术全国重点实验室主任助理. 2017年博士毕业于华中科技大学. 获湖北省自然科学奖一等奖、中国半导体十大研究进展、中国材料研究学会科学技术奖基础研究奖一等奖等. 长期从事二维材料及其异质结的可控制备、新型光电探测器以及感存算智能光电器件研究.

随着信息技术、智能感知与人工智能的快速发展, 光电探测作为连接光学信号与电学信息的关键环节, 在信息获取、处理与交互过程中发挥着不可替代的核心作用. 从紫外、可见到红外乃至太赫兹波段, 从高灵敏单点探测到大面积阵列成像, 从传统无机半导体到新型低维、柔性和异质材料体系, 光电探测材料与器件正经历着体系多元化、机理深化与应用场景持续拓展的快速发展阶段.

近年来, 围绕新型光电探测材料的设计合成、器件结构创新以及性能与功能协同优化, 国内外科研工作者取得了一系列重要进展. 新材料体系不断涌现, 新物理机制持续被揭示, 多维度性能指标(灵敏度、响应速度、探测极限、稳定性、集成度等)协同提升, 为下一代光电探测技术的发展奠定了坚实基础.

为集中展示我国在该领域的最新研究成果, 推动光电探测材料与器件的交叉融合与创新发展, 《科学通报》特组织出版“光电探测材料与器件”专题. 本专题汇集了来自多个研究团队的最新研究工作, 内容涵盖低维半导体、钙钛矿及其衍生体系、异质结与界面工程、宽光谱与多模态探测、新型器件结构及集成应用等多个研究方向, 系统反映了当前光电探测领域的研究热点与发展趋势[1~17].

在新型光电探测材料体系方面, 多篇工作聚焦于二维材料及其异质结构在光电探测中的应用潜力. 王琳和张勇课题组[1]全面梳理了二维铌酸盐在光电探

引用格式: 周兴, 田维, 方晓生. 光电探测材料与器件: 新体系、新机理与新应用. 科学通报, 2026, 71: 1834–1837
Zhou X, Tian W, Fang X. Photoelectric detection materials and devices: new systems, new mechanisms and new applications (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1834–1837, doi: 10.1360/CSB-2026-0304

© 2026《中国科学》杂志社



田维

苏州大学物理科学与技术学院教授，博士生导师．2014年于日本早稻田大学获得博士学位，之后在日本国立材料研究所从事博士后研究工作，2014年底加入苏州大学．江苏省青年科技工作者协会会员、中国体视学学会材料科学分会委员．荣获中国材料研究学会科学技术奖基础研究奖一等奖和江苏省物理学会科学技术奖一等奖等．主要从事无机-有机杂化功能材料的可控合成及光电器件应用方面的研究工作．



方晓生

复旦大学智能材料与未来能源创新学院教授．2006年博士毕业于中国科学院固体物理研究所，2006~2010年任职日本国立材料研究所，2010年底加入复旦大学．担任*Journal of Materials Science & Technology* (JMST)学科编辑、《科学通报》& *Science Bulletin*特邀编委和《无机材料学报》编委．长期从事无机半导体材料和紫外光探测器的基础研究．

测领域的最新研究进展，涵盖基于单一材料的原型器件、复合材料体系、光电突触器件以及兼具光电与介电调控能力的集成器件等，深入剖析了二维铌酸盐光电探测物理机制，展望了该领域未来发展方向．刘宏微和杨雨田课题组[3]从层间激子出发，概述了光电导效应、光伏效应等光电探测器的主要机制，深入探讨了电场调控、界面工程、偏振、超晶格等多维度调控策略，为高灵敏、低功耗、多功能的新一代二维红外探测器的研究与开发提供了理论基础与技术平台．苏莉课题组[4]针对基于铁电材料的新型光电探测器进行了系统综述，介绍了铁电材料基础特性与光电探测器基础原理，并对铁电材料集成光电探测系统的研究进展以及铁电场调控机制展开深入讨论，总结了铁电集成光电探测系统的潜力与挑战．王恺课题组[5]从材料体系、成膜工艺、器件结构和关键性能表征手段及提升方式等方面梳理最新进展，系统介绍了高性能短波红外胶体量子点光电探测器的发展现状，展望了其在夜视、工业检测与医学成像中的应用前景．通过对二维硫族化合物、二维金属氧化物以及层状异质结构的能带调控、缺陷工程与界面优化，翟天佑和李渊课题组[10]构筑了基于PbS@MoS_2异质结的宽波段光电探测器，在可见光波段性能优异，在近红外波段表现出稳定光电开关特性，为宽光谱探测器的设计提供了新思路．冯晴亮课题组[11]提出一种二维晶格锚定策略，成功将铒原子锚定于MoS_2晶格中，实现了高质量、大面积单层$Mo_{0.92}Er_{0.08}S_2$的制备，与单层纯MoS_2相比，单层$Mo_{0.92}Er_{0.08}S_2$的光响应度提高了20倍．

在钙钛矿及相关新型半导体光电探测器方向，本专题收录了多项具有代表性的研究成果．李亮、田维和周敏课题组[6]综述了近几年来钙钛矿纳米晶(PeNCs)在X射线探测领域的研究进展，介绍了X射线探测的基本原理，详细讨论了PeNCs闪烁体及其间接探测器的结构特征，总结了PeNCs在直接探测领域的应用挑战与进展．方晓生和李自清课题组[12]基于Dion-Jacobson型二维钙钛矿体系，通过有机间隔层与结构调控，构建的光电探测器表现出良好的自供电光探测性能，在功率密度为646 μW cm^{-2}、波长为340 nm的光照下，光电流为1.54×10^{-6} A，开关比达到4个数量级．徐晓宝和陈静课题组[13]创新性地提出了一种基于$FAPbBr_3$单晶膜的叠层并联结构X射线探测器，通过局部加热辅助空间限域生长技术，构建了总厚度达707 μm的Au/$FAPbBr_3$/Au/$FAPbBr_3$/Au/$FAPbBr_3$/ITO叠层器件，为开发兼具高灵敏度与快响应速度的X射线探测器提供了新的结构设计策略．徐华课题组[14]通过磁控溅射在金字塔硅上沉积图案化的Te薄膜，获得Te/py-Si异质结阵列，金字塔硅表面微结构的限光效应可有效提高异质结对光的利用率，且异质结界面处大的内建电场可有效促进光生载流子的分离．

在新型器件结构与功能拓展方面，专题中的多项研究展示了新型结构设计在提升光电探测性能方面的关键作用．孙海定课题组[7]系统总结了新型微纳结构在光电化学型光电探测器中的设计策略与性能优化路径，梳理了其在光通信、逻辑运算、光学成像及生物传感领域的应用，为高性能光电器件研发提供了新思路．范智勇课题组[2]回顾了曲面图像传感器的发展历程，重点介绍了几类典型的曲面集成与制造工艺，并梳理关键技术瓶颈，为新一代人工视觉硬件的结构设计与工艺路线提供了思路．姜明明课题组[8]分析了双极光谱响应探测器的核心工作机制，包括能带工程、物理效应耦合、缺陷态诱导

和光电化学机制等, 阐述了该类型器件在光电逻辑门、加密通信、成像编码和仿生视觉等前沿领域的应用潜力. 翟天佑和夏芳芳课题组[9]系统梳理了二维晶体管中的关键界面问题, 总结了界面优化思路与性能调控策略, 分析了典型应用成果, 并展望了未来发展方向, 以期推动二维半导体的产业化应用. 郑伟课题组[15]采用高质量AlN单晶制备出光电导开关, 其在120 kV cm^{-1}偏置电场下工作稳定, 响应时间可达亚纳秒量级, 展现出在大功率宽谱信号输出领域的巨大潜力. 史志锋课题组[16]采用气相共沉积技术制备了高质量的全无机宽禁带Ruddlesden-Popper相钙钛矿Cs_2CdCl_4薄膜, 通过与β-Ga_2O_3构建Ⅱ型能带对准异质结, 制备出高性能的自供电日盲紫外光电探测器, 成功扩展了具有强抗干扰能力的日盲紫外光成像应用. 张鹏和赵如课题组[17]设计并制备了一种环境友好型$NaLuF_4$:Pr@$NaYF_4$核壳结构纳米晶闪烁体, 通过惰性壳层钝化表面缺陷, 使X射线激发发光强度提升1.70倍, 进一步与PDMS复合制成柔性闪烁薄膜, 在3.45 mGy/s低剂量下实现10.10 lp/mm高分辨成像, 展现出在低成本、无毒、稳定柔性X射线探测与三维成像领域的应用潜力.

总体而言, 本专题所收录的研究工作从材料、机理、器件到应用多个层面, 集中反映了当前光电探测材料与器件领域的前沿进展与创新方向. 尽管篇幅有限, 尚难以涵盖该领域的全部研究热点, 但我们希望这些精选成果能够为相关研究人员提供有益的启发, 推动光电探测技术在信息感知、智能系统及相关应用领域的持续发展.

最后, 衷心感谢所有作者对本专题的积极响应与高质量投稿, 感谢审稿专家的严谨评审与建设性意见, 也感谢《科学通报》编辑部在专题组织与出版过程中所付出的辛勤努力.

参考文献

1 Zhang Y, Wang L. Two-dimensional perovskite niobate materials for multifunctional photodetectors (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1838–1851 [张勇, 王琳. 二维钙钛矿型铌酸盐多功能光电探测器. 科学通报, 2026, 71: 1838–1851]

2 Long Z, Wang K, Fan Z. Curved image sensors and their fabrication technologies for high-performance artificial vision systems (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1852–1859 [龙正浩, 王开晨, 范智勇. 面向高性能人工视觉的曲面图像传感器及其制造工艺. 科学通报, 2026, 71: 1852–1859]

3 Wu X, Song J, Zhao W, et al. The current status and challenges of two-dimensional infrared detectors based on interlayer excitons (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1860–1875 [吴夏睿, 宋俊明, 赵伟玮, 等. 基于层间激子的二维红外探测器的现状和挑战. 科学通报, 2026, 71: 1860–1875]

4 Wang Z, Pan Y, Jin X, et al. Research progress on ferroelectric material-integrated optoelectronic detection systems (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1876–1887 [王志莹, 潘峪, 金贤宇, 等. 铁电材料集成光电探测系统的研究进展. 科学通报, 2026, 71: 1876–1887]

5 Tang H, Cheng S, Chen W, et al. High-performance shortwave infrared detection and imaging based on colloidal quantum dots (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1888–1908 [唐浩东, 程硕, 陈威, 等. 高性能胶体量子点短波红外探测及成像技术. 科学通报, 2026, 71: 1888–1908]

6 Zhang B, Liu Y, Zhou M, et al. Research progress on perovskite nanocrystal X-ray detectors (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1909–1928 [张博文, 刘永风, 周敏, 等. 钙钛矿纳米晶X射线探测器研究进展. 科学通报, 2026, 71: 1909–1928]

7 Chen W, Liu X, Wang M, et al. Advances in photoelectrochemical photodetectors empowered by novel micro-nano structures (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1929–1946 [陈炜, 刘鑫, 王孟龙, 等. 新型微纳结构赋能光电化学光电探测器及其研究进展. 科学通报, 2026, 71: 1929–1946]

8 Wan P, He T, Wei Y, et al. Research advances in bipolar spectral response photodetectors and their applications (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1947–1963 [万鹏, 何涛, 魏筠, 等. 双极光谱响应探测器及其应用研究进展. 科学通报, 2026, 71: 1947–1963]

9 Xu Y, Liu K, Fu Y, et al. Interface engineering in two-dimensional transistors: current status and challenges (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1964–1982 [徐永善, 刘开朗, 付英双, 等. 二维晶体管中的界面工程: 现状与挑战. 科学通报, 2026, 71: 1964–1982]

10 Li H, Wang J, Tan X, et al. PbS@MoS_2 core-shell heterojunction and broadband photodetector (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1983–1993 [李寒冰, 汪家铮, 谈笑, 等. PbS@MoS_2核壳异质结及宽波段光电探测器. 科学通报, 2026, 71: 1983–1993]

11 Wang X, Zhang W, Bai H, et al. Two-dimensional lattice anchoring strategy for the synthesis of atomically thin $Mo_{0.92}Er_{0.08}S_2$ rare-earth materials (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 1994–2002 [王肖剑, 张文斌, 白欢, 等. 二维晶格锚定策略合成原子层厚$Mo_{0.92}Er_{0.08}S_2$稀土材料. 科学通报, 2026, 71: 1994–2002]

12 Qian K, Li Z, Fang X. Enhanced photodetecting performance in Dion-Jacobson BDA$(EA)_2Pb_3Br_{10}$ perovskite films via acetate ionic liquid (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2003–2014 [钱凯婧, 李自清, 方晓生. 乙酸根离子液体增强Dion-Jacobson型BDA$(EA)_2Pb_3Br_{10}$钙钛矿薄膜光电探测性能. 科学通报, 2026, 71: 2003–2014]

13 Liu Y, Jia W, Liu S, et al. High performance X-ray detector based on 3-layered parallel $FAPbBr_3$ single crystal film (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2015–2024 [刘雨萌, 贾文博, 刘世林, 等. 基于叠层并联$FAPbBr_3$单晶膜的高性能X射线探测器. 科学通报, 2026, 71: 2015–2024]

14 Wang L, Feng W, Zhao W, et al. 2D tellurium film/pyramid-silicon heterostructure arrays for broadband photoelectric detection and imaging device (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2025–2034 [王立煜, 冯炜轩, 赵文凯, 等. 基于二维碲薄膜/金字塔硅异质结阵列的宽波段光电探测与成像器件. 科学通报, 2026, 71: 2025–2034]

15 Wang Z, Zhang L, Duan K, et al. Ultra-high withstand voltage (>120 kV cm^{-1}) sub-nanosecond (<0.5 ns) aluminum nitride photoconductive semiconductor switch (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2035–2043 [王钊, 张利欣, 段凯凯, 等. 超高耐压(>120 kV cm^{-1})、亚纳秒(<0.5 ns)氮化铝光电导开关. 科学通报, 2026, 71: 2035–2043]

16 Ma J, Jiang H, Xing X, et al. Self-powered solar-blind UV photodetector based on Cs_2CdC_{l4}/β-Ga_2O_3 heterojunction (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2044–2055 [马敬丽, 江慧芳, 邢肖洋, 等. 基于Cs_2CdC_{l4}/β-Ga_2O_3异质结的自供电日盲紫外光电探测器研究. 科学通报, 2026, 71: 2044–2055]

17 Wen H, Zhang P, Niu J, et al. Environmentally friendly $NaLuF_4$:Pr@$NaYF_4$ nanocrystal scintillators for X-ray flexible three-dimensional detection (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 2056–2063 [文洪玉, 张鹏, 牛俊正, 等. 环境友好型$NaLuF_4$:Pr@$NaYF_4$纳米晶闪烁体用于X射线柔性三维探测. 科学通报, 2026, 71: 2056–2063]