

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025

福建 厦门

D30-先进半导体光电材料与器件
D30-Advanced Semiconductor
Photoelectric Materials and Devices

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D30.先进半导体光电材料与器件

分会主席：吴东海、杨成奥、毕文刚、巫江、李鸿渐

D30-01

铋化物半导体激光器

杨成奥*

中国科学院半导体研究所

铋化物半导体是天然的窄带系材料，其低维量子结构在 1.9-4 微米中红外波段具有独特的设计优势，是获得高功率、窄线宽、高光束质量的中红外半导体激光的理想技术路线之一，具备重大应用价值。本文重点研究高质量铋基中红外半导体激光材料的分子束外延技术，率先解决了复杂低维异质结界面的人为选择性设计技术难题，实现国际最高的铋化物半导体激光输出功率；开发了中红外波段的近场显微表征技术，实现了中红外波段激光近场的定量表征量测，提出铋化物一维光子晶体结构，实现了垂直方向的模场调控，实现了高功率输出时的发散角大幅压缩；提出了周期三角波、湍流散射腔等片上微结构，实现了慢轴方向近场模场与远场发散角的同时压缩，实现高光束质量铋化物半导体激光器研制。

D30-02

近红外光电材料与器件

陈明*

中国科学院深圳先进技术研究院

TBD

D30-03

高性能片上集成多谱段铋化物红外探测芯片研究

郝宏玥*, 吴东海, 蒋洞微, 王国伟, 徐应强, 牛智川

片上集成多谱段探测通过宽带响应或多通道探测，包含更多的目标信息的同时，为目标探测提供了额外的维度，进而提高目标识别能力。在红外光电探测材料中，铋化物红外探测材料体系晶格失配度低，能带结构灵活可调，能实现低俄歇复合噪声、高载流子寿命等诸多优势，是红外探测领域的优选材料。本报告瞄准高性能片上集成多谱段铋化物红外探测器的研究进展，并展望相关技术在焦平面成像芯片的应用。介绍传统的偏压调制型双波段铋化物红外探测器件的机理及相关研究成果；通过衬底本身的吸收特性，进行低成本多谱段红外探测芯片制备；此外，通过超表面结构设计与研发，与高精度图形转移技术相结合，代替传统光学透镜集成技术，实现片上集成超多谱段探测器制备，为新一代低成本低噪声超多谱段焦平面探测阵列提供技术基础。

D30-04

低维 InSe 基高效光电探测与视觉仿生器件

刘为振*

东北师范大学

硒化铟(InSe)作为一种新型二维层状硫属化合物半导体，具有优异的电学性能(理论载流子迁移率~104 cm²V⁻¹s⁻¹)以及适中且可调的直接带隙，光谱响应范围覆盖近红外到近紫外区，在光电探测器应用中表现出了巨大的潜力。此外，InSe 具有非中心对称的晶体结构，表现出了显著的热释电效应，可以将强光照射下，光热效应引起的随时间变化的温度波动转化为瞬时电位，产生热释电流。这种瞬时电学现象类似于人类视觉系统对外界入射光强的自适应调节行为。因此，低维 InSe 在构筑智能光响应器件(如人类视觉仿生器件)方面同样显示出了巨大的可能性。

有鉴于此，本文开发了基于多层 γ -InSe 薄片的紫外探测器和人类视觉仿生器件。一方面，团队构筑了基于低维 γ -InSe/石墨烯的单边肖特基结探测器。得益于其强大的单边内建电场， γ -InSe 中的光生高能

热电子无需经过冷却，即可高效地转移到石墨烯中，进而通过“级联碰撞激发”效应在石墨烯中产生载流子倍增，最终实现具有高外量子效率(>160%)的近紫外光探测。另一方面，团队基于该材料进一步研发出一款视觉仿生自适应光传感器。该传感器基于低维 γ -InSe 材料，采用“非中心对称结构”和“非对称电极接触”的设计思路，以光-热释电和光伏效应为基本工作机制，实现了在自驱动模式下，对宽波段范围（从近紫外到近红外）入射光的感知和处理，并很好地模拟了人眼的多种视觉自适应行为。

D30-05

二类超晶格红外芯片的研究及产业化

关晓宁

北京邮电大学

TBD

D30-06

伽马射线探测用钙钛矿半导体的晶体制备与高分辨器件表征研究

何亦辉

苏州大学

核辐射探测技术在国土核安全、放射医学诊断、天文及高能粒子物理等领域有重要应用。半导体辐射探测器以其优异的探测性能而备受关注，然而目前室温下可工作的半导体辐射探测材料仍然比较匮乏，且有本征性能或生长限制，这大大制约了室温辐射探测材料及器件的广泛应用。钙钛矿材料作为一类新型探测器材料，无本征材料瓶颈，前景广阔。近期不同结构的钙钛矿材料不断被开发并用于辐射探测探索，总体而言，钙钛矿半导体伽马射线探测研究仍处于起步阶段。针对高能 X 和 γ 射线能谱探测，本报告将介绍近期具有钙钛矿结构的半导体材料研究，主要包括无机钙钛矿晶体 CsPbX_3 ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$) 及有机无机杂化钙钛矿晶体。将讨论的钙钛矿材料的制备合成、熔体法和溶液法晶体生长、器件制备以及辐射器件的表征，以及影响探测器关键性能（如能量分辨率）的限制因素。首先，将介绍大尺寸钙钛矿单晶的合成制备、晶体生长等研究现状。其次，将介绍半导体器件的优化设计，结合钙钛矿伽马射线探测器件的工作机制，重点阐述脉冲模式中存在的器件设计制备、载流子传输和收集的发展现状和瓶颈问题，以期为该材料在伽马射线探测领域的未来发展提供参考。

关键词：钙钛矿半导体；辐射探测；晶体生长；能量分辨率；电荷传输

D30-07

Micro-LED 的侧壁处理与显微分辨发光机制

郭伟杰*

厦门大学

Micro-LED 显示已经成为倍受关注的新一代显示技术。然而，尺寸效应制约着 Micro-LED 显示的分辨率。随着尺寸缩小，Micro-LED 的侧壁表面积与其体积之比显著增大，侧壁缺陷密度相应增大，导致载流子非辐射复合加剧、量子效率大幅降低。侧壁区域对 Micro-LED 的光电性能有重要影响，侧壁缺陷影响载流子的注入分布、非辐射复合，侧壁后处理以及绝缘层沉积影响漏电流，侧壁的粗糙程度影响光提取效率。通过研究 Micro-LED 侧壁区域的显微分辨发光机制，能够揭示侧壁区域微观构造对光电性能的影响规律，为 Mesa 蚀刻、侧壁处理、外延设计、二次光学设计等多个方面提供有效支撑，具有重要的科学价值和实际意义。通过器件制备、仿真分析、实验验证相结合，研究构建了侧壁处理对 Micro-LED 内量子效率与光提取效率间竞合关系的影响机制、高动态宽温区小电流密度等典型工作条件下的器件物理模型、Micro-LED 的电流拥挤模型、Micro-LED 光度学与色度学特性的电-热耦合调控机制。

D30-08

2D/3D 半导体范德华异质集成及其双色光电探测

吴峰*

华中科技大学

二维层状半导体（2DLMs）因其独特的特性，如表面无悬挂键，厚度依赖性带隙，高吸收系数，大比表面积等，吸引了广泛关注。然而，大面积高质量 2DLMs 薄膜的生长和转移仍然是基于纯 2DLMs 光电探测器商业化的巨大挑战。与此相反，三维(3D)传统半导体材料生长和器件制备技术已然成熟。然而，其光电探测性能的进一步提高受到难以异质集成的限制。不过，2D/3D 混维范德华异质结构（vdWH）同时结合了这两种类型材料的优势，为开发高性能光电子器件提供了新平台。本报告将介绍我们最近在 2D/3D 混维范德华异质结构方面的一些研究工作。包括 MoS₂/Ga₂O₃ 范德华异质集成及其宽波段探测性能，Te/Ga₂O₃ 混维范德华异质结及栅压可调光谱响应，以及 TeSe/Ga₂O₃ 混维范德华异质结及偏压可调光谱响应。

D30-09

MOCVD 脉冲技术外延氧化镓薄膜研究

王焱*、冯倩、王龙、张雅超、张进成、郝跃

西安电子科技大学

随着宽禁带半导体材料在高功率电子、光电子和高频通信领域的广泛应用，氧化镓（ β -Ga₂O₃）因其优异的电子特性，如高击穿场强、低导电性及良好的热稳定性，成为了研究的热点。为了提高氧化镓薄膜的质量和性能，本研究采用金属有机化学气相沉积（MOCVD）脉冲技术制备外延氧化镓薄膜。通过优化 MOCVD 脉冲生长过程中的气体流量、脉冲时间及生长温度等参数，显著改善了氧化镓薄膜的质量，降低了薄膜中的缺陷密度，并提高了其晶体结构的完整性。为了进一步优化外延薄膜的质量，本研究还引入了脉冲缓冲层（Buffer Layer）的概念。脉冲缓冲层能够有效改善氧化镓薄膜与衬底之间的应力匹配，减少薄膜中的缺陷密度，促进高质量外延层的生长。通过在衬底和氧化镓薄膜之间生长一层脉冲缓冲层，能够有效缓解不同材料之间的晶格失配问题，从而提高了薄膜的整体质量和均匀性。在掺杂方面，本研究探讨了 In（铟）作为辅助元素、Si（硅）和 Sn（锡）作为掺杂元素对 β -Ga₂O₃ 薄膜的影响。In 作为辅助元素有效改善了氧化镓薄膜的外延质量，减少了薄膜中的缺陷，提高了薄膜的表面平整度和晶体结构。Si 和 Sn 作为掺杂元素，则显著改善了薄膜的电学性能。Si 掺杂提高了薄膜的载流子浓度和电子迁移率，而 Sn 掺杂则增强了薄膜的导电性能，使其在高功率电子器件中的应用更具潜力。总体来说，结合脉冲缓冲层技术和适当的掺杂策略，本研究不仅有效提高了氧化镓薄膜的外延质量，还优化了其电学性能。这为氧化镓材料在高功率电子器件中的广泛应用提供了有力的技术支持，并为未来的进一步优化提供了理论基础。

D30-10

一种可用于低温快速生长 3C-SiC 单晶的 Si-Cr-Nd-C 溶液

王宗宪¹、韩宸¹、雷云*²

1. 昆明理工大学

2. 四川大学

SiC 单晶具有宽禁带、导热率高等特性，是第三代半导体材料之一，在光电、航空航天等尖端领域具有重要的应用价值。其中，3C-SiC 的载流子迁移率、热传导性能、机械性能都优于目前商用的 4H-SiC，有助于制造可靠和长寿命的器件，但因其高温相变特性（ ≥ 2073 K 时转变为其他多型体），难以通过物理气相传输法（生长温度 ≥ 2473 K）制备晶圆级单晶。溶液生长法虽被视为实现大尺寸 3C-SiC 制备的潜在途径，但现有溶液体系在其相变温度（ < 2073 K）下普遍面临碳溶解度不足与生长速率受限的挑战。本研究创新性设计出 Si-Cr-Nd-C 溶液体系，成功将 3C-SiC 的生长温度降至 1873 K，较传统溶液法及 PVT 工艺显著降低。实验结果表明：在 SiC 饱和状态下，相同 Si 含量的 Si-Cr-Nd 体系在 1823 K 和 1923 K 时碳溶解度分别为 Si-Cr 体系的 49.6 倍和 58.5 倍。值得注意的是，通过调控溶液中的 Nd 含量，可实现 SiC 多型体从 4H-SiC 向 3C-SiC（100%）转变，并且增加 Nd 含量，可使 3C-SiC 在 1873 K 下的平均生长速率提高 2.2 倍。最后，如果能够控制单一取向 3C-SiC 的形核和生长，则有望实现 3C-SiC 单晶的快速生长。

D30-11

一种从 Si-La-C 溶液中制备高纯 SiC 的方法

杨宏宇¹、雷敏鹏¹、雷云^{*2}

1. 昆明理工大学

2. 四川大学

SiC 单晶是 SiC 器件的核心衬底材料，优良的性能使其广泛受到制造商的青睐，但高昂的成本限制了其快速普及。降低 SiC 单晶衬底的核心原料——高纯 SiC 粉料（99.995%）的制备成本是控制 SiC 器件价格的关键环节之一。目前，商业上合成 SiC 粉料的工艺主要有艾奇逊法（ $3C(s) + SiO_2(s, l) \rightarrow SiC(s) + 2CO(g)$ ）和燃烧合成法（ $Si(s, l) + C(s) \rightarrow SiC(s)$ ），但由于使用固态的 C 作为反应物，以上方法难以实现低成本和高纯度的要求。在本工作中，我们开发了一种在 1923K 下快速制备高纯度（>99.996%）SiC 的液相合成方法，该方法是将 La（99.8%）添加到由 C（99.93%）和 Si（6N）形成的 Si-C 溶液中，激活通常被认为不可能发生的液相反应 $Si(l) + C(l) \rightarrow SiC(s)$ ，实现高纯 3C-SiC 的低温快速制备。La 的加入显著提高了 C 在液相溶液中的溶解度，实现了反应物中固态 C 被液态 C 取代，通过将 SiC 晶体与残留的 Si-La-C 溶液分离，易于实现 La 的回收利用。由于镧系元素在 SiC 中极低的固溶度，合成的 SiC 中残留 La 含量仅为 0.6ppmw。

D30-12

基于 PtSe₂/Ge 异质结的宽光谱光电探测器制备及性能研究

杨烜、张丽*

电子科技大学

光电探测器是能够将光信号转换为电信号的关键器件，在传感成像、工业检测、智能驾驶、光纤通信等众多领域得到了广泛的应用。随着人工智能、物联网等现代智能系统的快速发展，人们对于系统的信息感知能力和安全性提出了更高要求。在复杂多变的环境中，单一波段的信息已无法满足系统对环境全面、准确感知的需求，宽光谱的光电探测器受到了广泛关注。作为过渡金属硫族化合物的硒化铂（PtSe₂）展现出独特的带隙层间调控特性，强烈的光与物质作用特性以及稳定的物理性质，在宽光谱探测领域具有很大的应用潜力。本工作基于对窄带隙硒化物（PtSe₂）薄膜生长工艺的研究，制备出了高性能的 PtSe₂ 薄膜材料，并提出了一种具有 PtSe₂/Ge 异质结结构的宽光谱光电探测器。测试结果表明探测器具有从可见光（405nm）到中红外（10.6 μm）波段的宽光谱响应能力和较低的工作噪声，其探测率高达 8.89×10^{10} Jones。

D30-13

金刚石光电功能器件

刘康*

哈尔滨工业大学

表面电势钉扎是分析半导体肖特基器件不可忽视的效应。我们通过实验发现酮基氧终端会在金刚石表面的带隙中引入受主表面态，位于价带顶（VBM）以上 2.22eV 的位置。研究了不同功函数金属（Au、Ag、Pt、W 和 Pd）与氧终端金刚石之间的接触能带，结果表明，金刚石表面费米能级分别位于 VBM 上方 2.38 eV、2.33 eV、2.32 eV、2.28 eV 和 2.29 eV。可以得出结论，氧终端对金刚石肖特基势垒有钉扎效果。同时，发展出了宽禁带半导体肖特基结分析理论模型，该模型可以兼容传统教科书中的模型。基于氧终端对金刚石肖特基势垒的钉扎效应，开发出了金刚石位置灵敏探测器、金刚石光调控肖特基势垒探测器、金刚石雪崩探测器等一系列金刚石光电器件。

D30-14

钙钛矿太阳能电池及光电探测器

周航*

北京大学深圳研究生院

TBD

D30-15

面向显示与通信的新型 Micro-LED 器件

吴挺竹*

厦门大学

微型发光二极管 (Micro-LED) 在通信和显示应用中都具有优势, 本次汇报主要围绕面向通信与显示应用的新型 Micro-LED 器件的研究。基于 (20-21) 面 GaN 上生长的半极性 Micro-LED 芯片表现出高调制带宽与高色稳定性, 适合作为全彩器件的激发光源。由于消除了 QCSE, 半极性 Micro-LED 拥有更短的载流子寿命, 实现了优异的 -3dB 调制带宽。此外, 利用原子层沉积技术在有源区侧壁沉积了氧化铝钝化层。除了提高 Micro-LED 的外部量子效率和降低漏电流外, 侧壁钝化还能提高微型 LED PD 的响应率。在用于显示的注入电流下, Micro-LED 器件仍能像 PD 一样工作, 对可见光有良好的响应度。

D30-16

基于 P-N 异质结的光伏型 PbS 胶体量子点红外探测器

袁绍瑞*

云南大学

红外光电探测器作为光电转换器件, 目前常依赖于外延生长的铟镓砷、铟化铟等材料, 其生长成本昂贵且依赖复杂的真空工艺。胶体量子点作为一种具有红外吸收能力的半导体纳米晶体材料, 低成本液相加工工艺与此同时还可直接与硅基读出电路进行集成, 有望解决目前红外探测的高成本及制造复杂的问题, 促进红外探测技术的快速发展。

然而, 目前硫化铅胶体量子点红外光电探测器仍然受到空穴传输层材料的局限性的问题困扰。在现有胶体量子点红外光电探测器制造技术中, 在制备空穴传输层时, 常用的空穴传输层材料十分有限大多还是以氧化镍、氧化钼这些无机材料作为空穴传输层, 这些材料基本都需要真空工艺才能制备成薄膜, 甚至还存在载流子迁移率低、能带结构不能很好的匹配等问题。因此, 寻找一种不破坏能带匹配的空穴传输层材料成为优化硫化铅胶体量子点红外光电探测器性能有待解决的问题。

我们通过碘化铅处理的液相配体交换 PbS QDs 薄膜结合用 P3HT (聚 (3-己基噻吩-2,5-二基)), 构建了 p-n 异质结, 能够更有效地分离光生载流子并显著增强光响应。这种方法允许将溶液处理的 QD 与硅读出集成电路 (ROIC) 进行单片集成, 无需复杂的倒装芯片键合, 并有助于制造大规模量子点成像器。因此, 基于有机-无机异质结的红外探测器可提供低 1.7×10^{11} Jones 的探测率。

D30-17

大尺寸 Pb 基胶体量子点可控合成及其在红外探测领域的应用

姚波、袁绍瑞、王哲哲、王毓德*

云南大学

在国防、安防、医疗等领域, 红外探测技术对高性能探测材料需求迫切。大尺寸 Pb 基胶体量子点因兼具尺寸依赖光学特性与低成本溶液合成优势, 成为红外探测材料的研究热点。然而, 传统合成方法面临尺寸调控精度不足、胶体稳定性差及大尺寸量子点合成瓶颈等关键挑战。本研究提出“多次热注射-半原位钝化协同策略”, 通过精准调控量子点成核-生长动力学, 实现了粒径 3.0-13.0 nm 连续可调、吸收波段覆盖 1.0-3.1 μm 短波红外 (SWIR) 的高质量 Pb 基胶体量子点可控合成。所制备量子点具有超高单分散性 (紫外-可见吸收光谱归一化峰谷比 5.0-10.5), 并通过钝化技术有效抑制团聚现象, 相关性指标达到国际先进水平。在器件应用层面, 通过界面修饰与能带工程优化, 构建了 n-i-p 型量子点红外探测器, 实现 3.0 μm 以下全短波红外波段响应, 室温下探测率高达 10^{12} Jones。该研究为低成本非制冷红外成像、高分辨红外探测等场景提供了创新解决方案, 有望加速推动 Pb 基量子点红外探测技术的产业化进程。

D30-18

中红外量子级联光频梳最新进展

陆全勇*

北京量子信息科学研究院

量子级联激光器 (QCL) 自首次问世以来, 在输出功率、电光转化效率、波长覆盖范围、可调谐性和光束质量等方面经历了巨大的发展, 目前已成为中红外至太赫兹波段 (3–300 μm) 范围内最具潜力的激光光源。由于其独特的子带间跃迁和超短的速增益恢复时间的特点, QCL 普遍具有超强的非线性。在群速度色散足够低时, QCL 可通过非线性效应锁定腔模的相位关系从而直接生成光学频率梳。QCL 光频梳的高亮度和低相位噪声的特点正在改变中红外光谱和传感, 提供了一种在微秒乃至飞秒时间尺度上的中红外超快测量手段。在这次报告中, 我将介绍我们在 QCL 和光频梳研究的最新进展, 包括高功率单模 QCL、色散补偿 QCL 频率梳以及 RF 注入锁定自探测 QCL 光频梳。这种高功率、低相噪的 QCL 光频梳有望成为中红外传感、检测和光谱学等领域应用的最佳中红外光源。

D30-19

12 英寸硅基红外锗锡 LED 发光器件研究

伍绍腾*

中国科学院半导体研究所

过去的二十年来, 硅光子学得到了蓬勃的发展。然而, 片上集成的 CMOS 兼容的光源仍然是一个挑战。与 Si 间接带隙不一样, 锗 (Ge) 是一种准直接带隙材料, 其直接、间接带隙能谷底差异仅为 0.136 eV。此外, 由于为 IV 族材料且可直接在硅上生长, Ge 近十年来逐渐成为实现 CMOS 兼容硅基光源的潜在材料。根据理论计算, 通过 >8% 的 Sn 掺杂方法, 锗将改性成为直接带隙半导体, 从而实现高效发光。基于此, 我们使用商业通用的 RPCVD 在 12 英寸硅衬底上采用赝晶生长策略外延了低位错 Ge/GeSn LED 外延薄膜, 实现了整个发光材料领域范围内 (包括 GaN、InP 等) 光源器件罕见的 12 英寸大晶圆外延生长。由于锡掺杂降低了直接带隙与间接带隙的差异, 该 LED 器件的发光强度是传统锗材料的 28 倍。大尺寸晶圆不仅可以大幅度提高 LED 外延片利用效率, 并且更利于兼容成熟的硅 IC 设备及工艺、降低成本。该成果实验上证实了大尺寸、低成本硅基光源的潜在可行性。

D30-20

基于 InSnZnO 的多类型光电探测器与宽光谱信号识别技术研究

陈搏佳¹, 吴雪峰¹, 孙清清¹, 张卫¹, 季力^{*1}, 胡申^{*1}

¹ 复旦大学微电子学院, 中国上海, 200433

当前智能仿生机器领域迅速发展, 新一代智能视觉, 仿生光传感信号处理等应用亟需技术突破。面向此重点领域, 本研究基于新型高迁移率半导体氧化物 InSnZnO (ITZO) 开发了多种光电探测器, 并拓展其宽光谱信号识别应用。通过物理气相沉积 (PVD) 成功制备出氧空位可调的高迁移率 ($\mu_{\text{FE}} > 13 \text{ cm}^2/\text{V s}$) ITZO 半导体薄膜材料, 由此开发了高响应速率紫外光电探测器 (上升/下降时间分别为 18/66 ms) 及光电晶体管, 实现 480 A/W 的高响应率和 3.2×10^{12} Jones 的比探测率 (365 nm, 0 V)。在此基础上, 通过构建 n-ITZO/p-GaN 异质结, 进一步实现了自供电中波紫外 (295 nm) 探测的技术应用, 在零偏压下光暗电流比达到 10^3 , 并成功实现摩斯电码光通信演示。另一方面, 为拓宽所开发光电探测器的宽光谱技术应用, 本研究更进一步通过硫化铅量子点 (PbS QDs) 旋涂的异质集成, 研制出覆盖中波紫外 (295 nm) 至近红外 (950 nm) 的自供电宽带光电探测器。研究引入脉冲神经网络 (SNN) 算法, 在单一器件中实现了紫外、可见和近红外光信号的实时识别与分类, 训练后平均识别准确率达 94.37%。该成果为开发具有智能光信号处理能力的高速宽带金属氧化物光电探测器提供了新思路, 在下一代图像传感、光通信和人工视觉系统等领域具有重要应用前景。

关键词: ITZO 薄膜; 氧空位调控; 自供电; 宽光谱光电探测器; 脉冲神经网络

已发表论文:

[1] Chen, B.; Zhu, J.; Han, Q.; Wei, S.; Zhang, Y.; Hu, S.; Wu, X.; Zhang, D. W.; Sun, Q.; Zhang, R.; Huang, K.;

Ji, L. Modulation of oxygen vacancies in InSnZnO thin films and applications for high-speed metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors. *Applied Surface Science* 2024, 669, 160586.

[2] Chen, B.; Zhu, J.; Wei, S.; Zhang, Y.; Wu, X.; Zhang, D. W.; Sun, Q.-Q.; Ji, L.; Hu, S. High-Performance Zero-Powered InHfO/GaN Photodetectors for Ultraviolet Image Sensing Systems. *ACS Applied Electronic Materials* 2025, 7 (7), 2793-2802.

[3] Wei, S.; Chen, B.; Zhu, J.; Wu, X.; Zhang, C.; Zhang, D. W.; Sun, Q.-Q.; Ji, L.; Hu, S. Self-Powered Broad-Spectrum UV-vis-NIR Photodetector Based on p-Si/Zn-Sn-Al-O Heterojunction. *ACS Applied Electronic Materials* 2025, 7 (11), 5069-5079.

D30-21

有机-无机垂直堆叠异质结的碲化汞胶体量子点红外光电探测器

王哲哲*

云南大学

近年来,胶体量子点(CQDs)因其独特的量子限域效应和可调谐带隙特性,在红外探测领域展现出巨大潜力。通过精确调控量子点尺寸,其吸收光谱可覆盖近红外至中远红外波段,为突破传统红外探测器材料体系的局限性提供了新的技术路径。其中,碲化汞(HgTe)胶体量子点因其优异的溶液可加工性、宽光谱响应范围以及与硅基读出电路良好的兼容性,成为发展低成本、高性能红外探测器的理想候选材料。然而,现有基于平面结结构的集成器件受限于光吸收路径短、载流子复合损失严重等问题,其光电转换效率难以满足实际应用需求。针对这一挑战,本研究通过优化量子点合成工艺,获得了单分散性好、表面缺陷少的HgTe量子点。在此基础上,成功构建了基于Au/ZnO/HgTe/PEDOT:PSS/ITO垂直结构光电探测器。该器件在低温溶液法制备条件下,在1630 nm波长下实现了 1.64×10^{12} Jones的室温检测率,在室温下表现出优异的灵敏度。此外,该制备工艺简单、成本低廉,且与硅基集成电路工艺兼容,为发展高性能、低成本的胶体量子点红外焦平面成像器件提供了可行的技术方案。

D30-22

高性能短波红外偏振探测器研究

熊静娴¹、罗寅龙¹、庞修洋¹、杨子鑫¹、霍能杰²、周朴^{*1}

1. 国防科技大学

2. 华南师范大学

短波红外偏振探测技术在成像与通信领域具有战略意义,然而现有器件面临响应度不足和偏振各向异性比受限的关键挑战。针对此问题,本研究提出基于 β -In₂Se₃/Te垂直异质结的新型探测器:通过水热法合成强各向异性Te纳米片(带隙0.35-1.2 eV),与机械剥离的 β -In₂Se₃经干法转移构建II型能带结构器件。利用光门控效应实现载流子高效循环,显著提升光电流增益。在通信波段(1310/1550 nm)实现超高响应度(2 A/W / 0.71 A/W)与比探测率(2.14×10^9 / 7.3×10^8 Jones),响应速度达490/510 μ s(5 mV偏压);依托Te面内各向异性,在1310 nm激光下获得PR=4.95的优异偏振敏感性(偏振响应度0.78 A/W)。此外,器件成功应用于红外ASCII编码传输和实时偏振成像("Te"图案)。该工作为高性能短波红外偏振敏感探测与成像提供了新策略。

D30-23

添加剂后处理策略提升单壁碳纳米管手性分离纯度

常萱、杨德华、陈剑辉*

河北大学

单壁碳纳米管(SWCNTs)由于其优异的光学、电学、热学和力学性能,在信息、能源和生物医学领域具有广阔的应用前景。SWCNT可被多领域应用得益于其具有随原子螺旋度不同而具有的多种结构,而不同的结构赋予其多样的物理性质。SWCNTs不同的结构可用一对整数(n, m)表示, (n, m)规定了卷曲方向和卷曲程度。当m=n时,称为扶手椅型管;当m=0时,称为锯齿型管,这两类结构均具有对称,其他则

一般称为手性管。实际上，CNT 生长具有一定的随机性，很难生长出一种单一结构的碳纳米管，一般市售的各种结构混合碳纳米管很难直接应用，所以需要分离混合结构的碳纳米管。目前最常用的 CNT 分离技术包括：密度梯度超速离心法（DGU）、凝胶色谱法、双水相萃取法（ATPS）、DNA/RNA 寡核苷酸筛选法、共轭聚合物包裹法。共轭聚合物包裹法是近年来发展迅速的 CNT 结构分离方法，利用设计合成的共轭聚合物选择性包裹特定手性/管径的 SWCNTs，再通过选择性溶解或离心分离。其核心优势在于聚合物成本相对可控、溶液加工性好且分离后聚合物可通过溶解性差异部分去除或直接用于器件加工，但是聚合物分辨率较低，难以得到高纯度的单一结构 CNT。本团队开发了一种添加剂后处理策略，显著提升了聚合物分离所得单一手性碳纳米管的纯度，该策略通过对聚合物-碳纳米管分散液进一步处理，最终成功制备了八种高纯度单一手性碳纳米管分散液，并同时实现了大管径半导体性碳纳米管的高纯度富集。该后处理策略工艺流程简单温和，无需复杂设备或超速离心步骤，大幅降低生产成本；且操作兼容规模化生产体系，为单一手性碳纳米管的宏量制备提供了可行路径。

D30-24

二维杂化钙钛矿中自旋弛豫机制与极化子效应的调控

黄玉玲、官少宽、陈熹翰*

南方科技大学

层状金属卤化物钙钛矿代表了一类具有丰富光学自旋物理特性的新兴半导体，展示了在自旋电子学应用中的巨大潜力。然而，在具有强自旋-轨道耦合的层状金属卤化物钙钛矿中，存在一个重要挑战：在高载流子密度下，由于 D'yakonov-Perel' 和 Bir-Aronov-Pikus 散射的影响，自旋寿命显著缩短。通过圆偏振光泵浦-探测瞬态反射技术，我们研究了 Dion-Jacobson (DJ) 型二维钙钛矿 (3AMP)(MA)_{n-1}Pb_nI_{3n+1} (3AMP = 3-(氨基甲基)piperidinium, n=1-4) 中自旋弛豫过程中的关键散射机制。实验结果表明，较强的八面体畸变会引起更大的形变势能，从而改变自旋的主导散射机制。为了深入探讨极化子的物理特性，我们引入了 4AMP = 4-(氨基甲基)piperidinium 有机分子，以增强无机层的晶格畸变程度。通过相干声子分析，发现极化子效应是调控主导散射机制的关键因素。结合超快光学相干声子动力学、Kerr 光谱以及第一性原理计算，我们观察到尺寸约为两个晶格单元的小极化子的形成。此外，通过分析相干声子寿命与自旋弛豫寿命的单调温度依赖性，进一步揭示了载流子-声子耦合主导的自旋弛豫机制，并强调了小极化子形成在抑制自旋去极化中的关键作用。

D30-25

自供电有机光电探测器中的激子动力学调控

乔佳伟、郝晓涛*

山东大学

自供电有机光电探测器 (OPDs) 因具备宽光谱响应、易于加工以及与柔性设备良好兼容等优势，在柔性电子和智能传感等领域具有巨大的应用潜力，能够实现高效能与低成本的结合。然而，由于技术瓶颈以及缺陷态密度等因素的限制，超薄自供电 OPDs 的开发面临着诸多难题，难以同时提升近红外器件的性能并拓宽其响应范围。鉴于此，我们提出了一种修饰层辅助的策略，旨在打造兼具高灵敏度和超快响应速度的超薄自供电 OPDs。该策略通过降低激子结合能并优化介电常数，有效屏蔽光生激子的晶格结合效应，从而促进激子解离和电荷提取过程，显著提高能量转移效率，进而提升器件的整体性能。在自供电近红外 OPDs 的研究中，我们通过引入固态添加剂 (DIB)，成功建立了受体分子聚集与激子离域之间的构效关系。DIB 与受体分子之间的静电作用能够促使受体分子进行有序堆叠，优化分子间的相互作用，这不仅有利于激子的离域化，还能抑制激子的复合，从而显著提高电荷分离效率，实现器件性能的突破性进展。总体而言，本研究成功攻克了自供电 OPDs 在兼容性方面的难题，为其在多样化场景中的广泛应用铺平了道路。

D30-26

基于内嵌空腔绝缘体上硅的 GAA 器件射频性能的仿真研究

王彬*、薛泉、俞文杰、秦培、刘强、薛书简

华南理工大学、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、广东省大湾区集成电路与系统应用研究院

基于新型内嵌空腔绝缘体上硅的全包围环栅（VESOI GAA）器件可兼容较宽的工艺节点，其具有良好的栅控能力和载流子传输特性，较强的稳定性和均一性，并有望应用于高性能射频电路中。目前关于 VESOI GAA 器件的射频性能研究尚无报道。本文通过 sentaurus TCAD 软件对 N 型 VESOI GAA 器件进行建模和仿真。针对 VESOI GAA 器件工艺特点，本工作系统性地设置了一系列关键参数：栅极长度、沟道厚度、沟道掺杂浓度、氧化层厚度、衬底掺杂浓度以及绝缘埋层厚度等参数变量，并仿真上述变量对器件截止频率 f_T 的影响规律，确定最佳的器件工艺方案。仿真计算结果显示，通过系统优化 VESOI GAA 器件的工艺参数，其 f_T 可超过 150GHz，表现出优异的射频性能。

D30-27

Tunable Electrical Resistivity in Single-Phase V02 Nanowires Induced by Oxygen Vacancies under Electron Beam Irradiation

Le Wang, Yuecun Wang*, Zhiwei Shan

Xi'an Jiaotong University

Modulating the resistivity of individual V02 nanowires without triggering phase transitions remains a significant challenge, but it is essential for enhancing the reliability of nanodevices and simplifying designs by avoiding structural instabilities. Here, we present an inspiring method for continuously and dynamically tuning the resistivity of individual stable M1-phase V02 nanowires at room temperature using low-dose, site-specific electron beam treatment. Through in-situ electrical measurements inside a TEM, we demonstrate that the resistivity of M1-phase V02 nanowires can be reduced by up to one order of magnitude. The resistivity change results from irradiation-induced oxygen vacancies and diffusion under the concentration gradient. Moreover, the modulation of resistivity does not compromise the mechanical robustness, ensuring the structural integrity and phase stability. These findings provide a controllable method for tuning the electronic properties of V02 without triggering phase transitions, offering new opportunities for the application of metal oxide nanostructures in functional nanodevices.

D30-28

钙钛矿材料中光学声子与热载流子能量传递的直接观测

官少宽、黄玉玲、陈熹翰*

南方科技大学

厘清钙钛矿材料中热载流子冷却机理是实现钙钛矿热载流子太阳能电池的前提。然而在目前的实践中，由于钙钛矿材料有机无机杂化的特性（化学式为 ABX_3 ），A 位的有机阳离子有着丰富的化学构成，其非简谐振动会直接影响晶格中声子的分布及衰减，导致钙钛矿材料中热载流子冷却机理尚不明确。同时，在太阳能电池材料中，热载流子冷却速率相对较快，在飞秒(fs)、皮秒(ps)量级，因此，直接观测钙钛矿电池中载流子冷却最有效的办法就是超快光谱泵浦-探测技术，选取高于带隙可见泵浦光研究热载流子能量耗散，选取远低于带隙中红外泵浦光研究非简谐振动，通过联用两种不同泵浦的超快激光实时检测热载流子的冷却过程及非简谐过程，厘清整体热载流子冷却机制，理解有机 A 位阳离子非简谐振动对热载流子调控机制。