

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

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

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.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、金潮渊、巫江

D30-01

Micro-LED 显示器件、集成技术及应用

龚政*

广东省科学院半导体研究所

Micro-LED 显示被誉为下一代显示技术，受到众多面板企业和科研机构的广泛关注。本次报告主要汇报我们在 Micro-LED 显示器件封装与集成方面的一些进展。着重讨论了 Micro-LED 的集成方式与工艺；Micro-LED 显示芯片的制备技术；量子点与 Micro-LED 的异质集成和彩色化，以及 Micro-LED 的巨量组装技术等。最后汇报 Micro-LED 显示若干应用及未来存才挑战。

D30-02

集成半导体量子点单光子源及激光器

喻颖*

中山大学

半导体单量子点具有类原子的能级结构，因此它具有良好的光学特性，同时又较易于片上集成与扩展，被认为是制备高品质量子光源、构建可扩展性量子网络最有潜力的固态量子体系之一；另一方面，基于高密度量子点的半导体激光器，相比于仅一维受限的量子阱激光器具有更好的温度稳定性、更高的工作温度、更小的线宽增强因子、对表面复合与位错不敏感等优越性能，近年来在硅基光电集成等领域被广泛关注。本报告将介绍基于 InAs 量子点与微纳光子结构耦合，并用其制备集成化单光子源及激光器件的最新研究进展。主要的工作包括：研制了高对称性的无浸润层发光的纯净激子态单量子点材料[1]，实现了与拓扑角态微腔确定性耦合的单量子点荧光发射[2]，进一步制备了集成化的可调谐量子点缺陷态微腔单光子源[3]。另一方面，基于高密度量子点材料，实现了高效率、小尺寸、超低噪声的半导体量子点激光器及其多波长阵列[4]，进一步实现了微米尺度的低能耗、波长可精确调控的光泵单模连续域束缚态微腔激光器[5]。

[1] Xiaoying Huang et. al, Self-assembled InAs/GaAs single quantum dots with suppressed InGaAs wetting layer states and low excitonic fine structure splitting for quantum memory, Nanophotonics 11,13:3093-3100 (2022).

[2] Mujie Rao, Fulong Shi et. al, Single photon emitter deterministically coupled to a topological corner state, Light-Science & Applications 13: 19 (2024).

[3] Jiawei Yang, Yan Chen et. al, Tunable quantum dots in monolithic Fabry-Perot microcavities for high-performance single-photon sources, Light-Science & Applications 13: 33 (2024).

[4] Zhuohui Yang et. al, High-performance distributed feedback quantum dot lasers with laterally coupled dielectric gratings, Photonics Research 10, 5: 1271-1279 (2022).

[5] Hancheng Zhong et. al, Ultra-low threshold continuous-wave quantum dot mini-BIC lasers, Light-Science & Applications 12: 100 (2023).

D30-03

高功率、高亮度半导体激光芯片

汪丽杰^{*1,2}、佟存柱¹

1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

2. 吉光半导体科技有限公司

半导体激光器是当前最有效的相干源，并且具有波长范围广、体积小、成本低、寿命长及可直接

调制等优点，自其问世便成为信息领域的核心光源，并随着其功率提高还在泵浦、显示、材料加工、智能感知、生物医疗、国防军事等领域获得广泛应用。然而半导体激光器一直面临发散角大、光束质量差、亮度低的缺点，严重制约了其直接应用，因此高功率半导体激光器光束质量的改善成为领域内研究的关键科学问题及核心技术。

本报告将深入讨论影响半导体激光器光束质量的物理效应及控制方法，通过折射率工程及增益损耗协同调控光场，突破输出功率、转换效率与光束质量间矛盾关系，有效提高半导体激光器光束质量。针对边发射半导体激光器快轴发散角大的问题，采用双边横向布拉格反射波导激光器实现超大光模式尺寸稳定单模工作，将快轴发散角由传统的 30° 以上降至 8° 以下，在芯片层次实现高功率低发散角圆形光束激光输出；提出了多源区级联布拉格反射波导激光器，多源区共用大模式尺寸单横模波导，实现高功率、低发散角激光输出，它可采用现有先进技术调控纵向和侧向模式；提出损耗剪裁控制模式思想，在不降低半导体激光器功率、效率前提下有效提升了慢轴光束质量，实现高功率和高光束质量的兼容。高功率、高亮度半导体激光芯片可简化光束整形系统、提高合束亮度等，可对半导体激光直接应用和发展带来新的变革。

D30-04

低维结构铋化物半导体激光材料外延生长及器件制备

杨成奥*

中国科学院半导体研究所

铋基化合物半导体是天然的窄带系材料，其低维量子结构在中红外波段具有独特的设计优势，是获得中红外高功率、窄线宽、高光束质量半导体激光的理想技术路线之一，在军民两端具备重大应用价值。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，解决了复杂低维异质结界面的人为选择性设计技术难题，创新提出了数字合金超晶格势垒结构，突破了多元组分的材料偏析和可控生长技术难题并实现了多类型器件的性能提升，获得了铋化物半导体激光器的大功率室温连续输出并实现了器件激光波长向中红外波段的拓展。

D30-05

中波大功率量子级联激光器能带设计与材料外延方法研究

张东亮*、刘铭

中国电子科技集团公司第十一研究所

本报告研究分析了目前 InP 基大功率中波量子级联激光器浅阱高势垒能带结构设计思想，在此基础上提出了更高增益的能带结构；设计了复杂多组分子量子级联材料外延生长方法，开展了材料外延工艺优化，研制出高质量的外延材料，并制备了激光器器件，分析了目前器件性能遇到的问题和下一步研究方向。

D30-06

低剂量 CT 成像技术

魏浩桐*

吉林大学

光子探测成像技术在我们日常生活、生命健康、科学研究、国家安全防护等很多领域都有着重要的应用。然而随着社会的快速发展，科学技术的不断迭代，人们对光子探测成像技术有了更高性能、更多功能甚至智能化应用的需求 1-3。针对电磁波谱中的高能 X 射线的智能化探测成像，我们聚焦在高灵敏、高稳定性的材料设计与合成，目标应用为低剂量医学 CT 射线成像，降低医学成像时射线对人体的伤害。同时赋予探测材料可自愈合等新功能，实现在电子皮肤中可集成式等智能化场景的应用；对于日常生活中使用频率更高的可见光探测成像的智能化应用，我们发展了低成本、无透镜的广角窄带成像技术，实现了计算

机算力支持的单像素点彩色成像的功能，设计了差分型探测系统，利用机器学习和人工模拟的手段，尝试了跟踪物体空间轨迹和纳米级分辨率的光谱仪等智能化场景应用。

参考文献：

- 1.S. Yakunin, W. Heiss*, et al. Nature Photon. 2015, 9, 444.
- 2.Yoon*, Z. Sun*, et al. Science. 2022, 378, 296.
- 3.Z. Zhang, J. Zhong*, et al. Nature Commun. 2015, 6, 6225.

D30-07

III-V 族半导体量子点材料与光电器件

杨晓光*

中国科学院半导体研究所

自 1962 年 R. Hall 等人研制出第一支砷化镓半导体激光器至今，半导体激光器的种类和应用不断丰富，极大推动了人类社会向信息化、智能化的发展。作为增益介质，半导体材料结构也从传统的三维体材料向先进的零维点材料发展，进一步带动了激光器的功能拓展和性能提升。进入新世纪，光电融合与协同调控作为后摩尔时代的重要路径，正在成为信息技术的主流。特别是近期爆发的人工智能、机器学习、大数据等新兴技术，对光电融合技术提出了大算力、高集成、低功耗的迫切需求。本报告将重点讨论光电融合的核心器件——半导体激光器及其量子点增益材料的研究现状，并展望该技术的未来发展。

D30-08

面向新型显示与高速可见光通信应用的 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，半极性蓝光 Micro-LED 具有本征偏振发射特性，结合各向异性钙钛矿色转换层能够实现具有 RGB 三基色偏振的全彩器件，作为背光源时能够有效提高能量利用效率。此外，通过在 Micro-LED 外延结构中插入应力调制层以缓解 QCSE 并提高吸收光程，除了提高 Micro-LED 的外部量子效率和降低漏电流外，还能提高 Micro-LED 工作为 PD 时的响应率。在用于显示的注入电流下，Micro-LED 器件仍能像 PD 一样工作，且对可见光有良好的响应度。

D30-09

GaN 光电半导体器件的设计、制备与开发

张紫辉*

广东工业大学

本次报告将围绕化合物半导体（GaN、GaAs）发光二极管、MicroLED、探测器、半导体激光器开展详细讨论，详细阐述化合物半导体器件设计、制备和器件物理，同时深入探讨影响各类半导体器件性能指标的关键因素，如光电子器件发光功率、3dB 带宽、探测效率，功率半导体器件的击穿电压和比导通电阻。

D30-10

Mg Cluster Related Degradation in GaN Lasers Discovered by Atom Probe Tomography

Pengyan Wen*

GaN-based lasers with emission wavelength from ultraviolet to green have been widely used as light source in many application areas. However, there are still challenges in atomic level degradation analysis mainly limited by metrology. Here, we investigated the Mg cluster related degradation in GaN-based lasers using atom probe tomography. Mg clusters with size of several nanometers are observed in p-AlGaIn cladding layer for the first time in aged devices. The formation of Mg clusters caused increase of light scattering and absorption in the cladding layer and result in the internal loss increase as well as slope efficiency decrease. Moreover, atom probe tomography proves to be a powerful technique for atomic level device failure analysis.

D30-11

金属卤化物钙钛矿纳米线阵列及其高性能光探测器和发光二极管的应用(Metal halide perovskite nanowire arrays for advanced photodetectors and LEDs)

张大全*、范智勇

香港科技大学

Metal halide perovskite (MHP) nanowires (NWs) have energized remarkable research interests owing to their unique characteristics of grain-boundary-free, efficient axial carrier transportation, and strong radial spatial-confinement. However, low photoluminescence quantum yield (PLQY) is usually achieved in MHP NWs because of severe surface non-radiative recombination, which limits their applications in high-performance optoelectronics, such as solar cells, lasers and light-emitting diodes (LEDs). Here, vertically aligned, single-crystalline and ultrahigh-density MHP quantum wire (QW) arrays, namely NWs with diameters in quantum regime, have been fabricated in porous alumina membranes (PAMs) with a close-spaced vapor reaction. The obtained MHP QWs possess significantly high (>90%) PLQY, which can be attributed to the surface passivation and spatial quantum confinement from PAMs, in conjunction with high light out-coupling efficiency of the QWs/PAMs system. The PAMs also enable them excellent material humidity- and phase-stability. Consequently, they have been fabricated into various advanced optoelectronic devices, including large-area and highly efficient LEDs, dual-mode (broadband and narrowband) photodetectors, and stretchable photodetectors. These results suggest that the MHP QWs are highly promising to broaden the development of MHP nanomaterials and promote their practical applications in high-performance optoelectronics.

D30-12

面向 Micro-LED 全彩显示应用的钙钛矿纳米晶及其微阵列化技术研究

王树立*、林岳、陈忠

厦门大学

微型发光二极管 Micro-LED 显示技术由于综合性能优异,被认为是下一代新型显示技术。但目前其还存在多项技术难点,其中 Micro-LED 全彩化是近年来学术界和产业界公认技术瓶颈之一。基于钙钛矿纳米晶的色转换方案可规避目前尚不可靠的巨量转移,且因钙钛矿纳米晶在发光性能的诸多优势,该方案在 Micro-LED 全彩显示领域具有极高的应用潜力。然而,钙钛矿量子点的短板也很明显,尤其是红光钙钛矿纳米晶与绿光钙钛矿纳米晶相比,在稳定性和发光强度方面有很大提升空间。针对以上难点,我们团队制备了核壳结构双组分钙钛矿纳米晶、聚合物掺杂钙钛矿纳米晶、双配体钝化钙钛矿纳米晶,显著提升了纳米晶的平均寿命、量子产率、发光强度和不同环境条件下的稳定性。同时,我们也开展了基于电流体喷墨打印、模板法和微流控的纳米晶微阵列化技术,实现了高分辨率、高纯度、高稳定性的红绿蓝三种颜色的量子点色转换层的制备,为全彩化 Micro-LED 显示器件的构筑提供了材料和技术支持。

参考文献

1. Shuli Wang*, Yue Lin*, et al. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2024, 16, 24908-24919.
2. Yue Lin*, Shuli Wang*, et al. *Nano Materials Science*, 2024, DOI: 10.1016/j.nanoms.2024.03.005.
3. Xiao Yang#, Shuli Wang#, Yue Lin*, Zhong Chen*, et al. *Nano Letters*, 2024, 24, 3661-3669.
4. Shuli Wang*, Yue Lin*, Zhong Chen*, et al. *Next Nanotechnology*, 2024, 5, 100045.
5. Xiaotong Fan#, Shuli Wang#, Yue Lin*, Zhong Chen*, et al. *Advanced Materials*, 2023, 35, 2300834.

D30-13

Co-regulation strategy dominated by double short molecules permitting the regrowth of quantum dots for efficient deep-blue perovskite light-emitting diodes

Hongli Liu*, Zhanpeng Qin
Tianjin University

Recently, blue perovskite quantum dots (PeQDs) have garnered considerable attention for use in full-color optoelectronic displays. However, the large specific surface area caused by the small particle size of blue PeQDs results in high defect state density, which severely limits their optical pursuit. To address this issue, a coregulation strategy using double short-chain molecules of tetraoctylammonium fluoride and tetraethylammonium perfluorooctanesulfonate is proposed to enhance the regrowth of blue $\text{CsxRb}_{1-x}\text{Pb}(\text{ClyBr}_{1-y})_3$ PeQDs. Longchain insulated oleylamine and oleic acid ligands, which restrict the growth of PeQDs, are substantially replaced using short-chain ligands with higher adsorption energy. This replacement promotes PeQDs to regrow considerably from ~ 8 to ~ 18 nm, and the defect-state density decreases by 3–5 times. Consequently, highly efficient blue PeQDs with a photoluminescent quantum yield of unity are obtained. Moreover, the PeQDs exhibit lower insulating ligand density and improved charge injection property. As a result, the synthesized deep-blue PeQD light-emitting diodes (PeQLEDs) exhibit a maximum external quantum efficiency of 5.7% at the CIE coordinate of (0.148, 0.032). According to the International Telecommunication Union Radiocommunication Sector television standard (Rec. 2100), the obtained PeQLEDs are state-of-the-art among colloidal deep-blue PeQDs. This study provides a novel strategy to improve the optical performance of deep-blue PeQLEDs and paves the way for developing high-end wide color-gamut displays

D30-14

高分辨全 Stokes 紫外成像器件设计

刘志荣、王鸣魁*
华中科技大学

紫外偏振成像探测技术结合了紫外探测和偏振探测的优势，在仿生导航、生物医学和宇航探测等方面有着广阔应用前景。二维钙钛矿材料可以通过组分工程进行带隙调控，进而实现对紫外区 UVA 到 UVC 的响应，可利用其自身的手性可调节性和易于周期性微纳结构加工的物理特性，选择响应圆偏振态和线偏振态而无需借助外部元件，简单的制备工艺又使得它具有高的基底兼容特性，具有集成化紫外成像器件的应用潜能。本研究设计了具有高圆偏振响应各向异性的宽带隙的手性二维钙钛矿材料 $\text{s/r-MBA}_2\text{PbBr}_4$ ，通过科学合理调控低维半导体中的量子与介电限域效应，打破低维钙钛矿半导体中的载流子输运壁垒，实现有效的载流子传输与提取，从根本上克服了现有多信息成像系统中存在的光利用率低、响应度差的问题；并设计了具有高消光比的微尺度结构，最终获得了 $g_{\text{current}} > 0.2$ ，线性消光比 > 20 的全 Stokes 紫外光探测器件，并开发了匹配的 ROIC 外部读出电路，实现了紫外偏振成像，该器件有望用于紫外偏振导航。

D30-15

通过调制埋底界面提高钙钛矿太阳能电池开路电压

黄军意、王鸣魁*

我们发现了一种使用 π 共轭分子调制埋底界面来提高钙钛矿太阳能电池开路电压的普适方法。在以 SnO_2 纳米晶为电子传递层制备的平面钙钛矿太阳能电池中,通过在埋底界面使用具有推拉式电子结构构型的 π 共轭分子不仅降低了界面能垒,而且钝化了埋藏界面处的缺陷。因此显著提高了 $\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.85}\text{MA}_{0.15})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.85}\text{Br}_{0.15})_3$ {带隙 ~ 1.60 eV} 的功率转换效率 24.16% 以及 1241 mV 的高开路电压,同时 $\text{Cs}_{0.05}\text{MA}_{0.05}\text{FA}_{0.9}\text{PI}_3$ {带隙 ~ 1.54 eV} 效率为 25.11%。其中 1241 mV 的开路电压是三阳离子钙钛矿太阳能电池报道的最高值之一,达到了 Shockley-Queisser 光电电压极限的 95%。然后,我们将两个具有高光电电压的钙钛矿太阳能电池微型组件连接在一起,制作了一种污染物转换装置,以驱动高性能催化剂,通过太阳能将 CO_2 转化为 CO , 效率超过 11.7%。这代表了阳光驱动的二氧化碳转换的新基准

D30-16

利用双极性电荷转移特性操控 III 族氮化物纳米线的表面能带弯曲: 实现先进光开关逻辑门和加密光通信的途径

陈炜、高志祥、孙海定*

中国科学技术大学

半导体器件的工作原理主要依赖于最终控制其电荷转移行为的能带结构。事实上,半导体器件中能带结构的精确控制,特别是在半导体表面和相应的界面上,仍然是一个长期存在的难题。在本工作中,我们在 n 型硅 (Si) 衬底上生长了 p 型铝镓氮 (p-AlGaN) 纳米线,提出了一种新颖的后外延策略构建了具有不同碳 (C) 层厚度的 C@p-AlGaN 核壳纳米结构,并通过密度泛函理论 (DFT) 计算进行了理论预测和指导。

DFT 结果表明,随着碳层厚度的增加,碳层与 AlGaN 合金界面处的电子相互作用逐渐增强,导致 AlGaN 合金的表面能带弯曲增强。随后,将 C@p-AlGaN 核壳纳米线作为光电极,构建了一种电解质辅助的双极结光电器件,通过控制碳层厚度来调节纳米线表面的能带弯曲程度,可以在较大范围内调节 p-AlGaN/电解质界面的电荷转移行为。从本质上讲,这种可调节界面和内部 p-AlGaN/n-Si 界面之间的双极性电荷转移的竞争行为最终决定了器件的光电流输出,从而实现了具有光谱分辨的双极性光电流器件,同时器件在宽光谱范围内具有可调谐的极性开关点。最后,利用这种独特的光响应行为,我们成功构建了可重编程的光开关逻辑门,在单个器件架构中实现“异或”、“与”、“或”和“非”四种逻辑门运算,并进一步构建了图像加密传输系统,其中通过“异或”逻辑运算对光信号进行加密,成功实现了图像的安全传输。我们所提出的基于表面能带工程的双极结器件为创建具有多功能的纳米光子学提供了一种可行的、通用的材料器件架构。

D30-17

纳米晶体的表面化学及无胶光刻技术

王元元*

南京大学

量子点由于其易加工性、带隙大小可调节性、组分和形貌精准可控性以及独特的光电性能,已经成为构建电子器件和光电器件中不可或缺的材料,利用量子点构建的显示器将成为新一代显示技术的核心组件,对高性能和低成本显示技术发展具有重要推动作用。我们通过对量子点表面配体的调控,构建了高发光性能的全无机材料,在极性溶剂中的 PLQY 可以达到 97% (红光)、80% (绿光) 和 72% (蓝光)。同时,我们基于配体设计,开发并优化了适用于工业生产的无胶光刻技术,实现了对量子点的高精度图案化,分辨率可达 $1\ \mu\text{m}$ 。本项工作提出的新表面化学,以及适应图案化技术材料的发展,为构建下一代基于纳米晶体的光电器件创造了一个多功能平台。

D30-18

用于高精度快速训练神经形态计算的双端钙钛矿光电突触

郭林奇*

苏州大学

受生物系统的启发,新兴的神经形态视觉传感器融合了图像感知、记忆和信息计算,有望解决传统冯诺伊曼架构存在的不足。然而,稳定和可重构的光诱导突触行为总是依赖独立的栅极调控,这无疑会增加器件的复杂性。近年,通过可控的离子特性,更易于集成的双端突触器件成为研究的热点。在这里,我们提出离子迁移势垒和读出电压之间的协同作用是在两个终端设备中实现稳定、可重构和精确可控的突触后电流的关键。基于此,我们开发了具有稳定突触后电流的双端钙钛矿突触器件,在短短 10 个时期内将准确率提高到 97.8%。这种具有感知、记忆和计算能力的光电子设备可以促进未来光子神经形态电路和人工视觉新设备的开发。

D30-19

碲化物 II 类超晶格材料红外探测器的性能提升路径

吴东海*、蒋洞微、王国伟、徐应强、郝宏玥、杨成奥、牛智川

中国科学院半导体研究所

碲化物 II 类超晶格材料主要是指近几年迅速发展起来的以 InAs、GaSb、AlSb 异质结构构建的 II 类超晶格低维结构,这类新型的本征吸收窄禁带半导体的晶格常数位于 $6.1\text{\AA}$ 附近,可以充分利用其晶格匹配条件灵活设计调控能带结构使超晶格的响应光谱覆盖整个红外波段范围,并且连续可调。更为重要的是,该体系具有电子有效质量大、隧穿电流低、俄歇复合率低的特点,并且可以采用“能带工程”方法设计调控超晶格探测器结构,抑制 G-R 电流和隧穿电流。

经过多年的发展,碲化物超晶格结构设计方案逐渐丰富。InAs/GaSb 超晶格是最早研究的结构,基于该结构的碲化物焦平面性能迅速提升。然而,由于 InAs/GaSb 超晶格材料中少子寿命较短,使该结构的焦平面性能一直未能接近理论极限。研究表明,该 InAs/GaSb 超晶格的少子寿命短主要是与 Ga 关联缺陷能级靠近材料禁带中心,导致 Shockley-Read-Hall (SRH)复合速率增大。因此,为避免由 Ga 原子带来的自身缺陷的第二种超晶格结构,即不含 Ga 的 InAs/InAsSb 超晶格被提出来并成为研究焦点。该结构在理论上具有更少的中间态,有望大大减少 SRH 复合几率,使其具有更长的少子寿命。同时,由于 InAs/InAsSb 超晶格周期中只有一个不同的 Sb 元素,使外延材料的生长控制难度大大降低。

本报告将从 II 类超晶格红外探测器的光学和电学性能提升途径方面进行详细讨论,并介绍我们近期在碲化物超晶格高温工作探测器研究方面所取得的重要进展:包括利用 pBn 势垒和双势垒结构来提高 InAs/InAsSb 超晶格探测器性能。特别是,我们利用超晶格结构双势垒设计,减小了探测器 G-R 电流和隧穿电流,降低了势垒型探测器工作偏压,提高了探测器工作温度和性能。

D30-20

内光电发射机制在 Si 基近红外探测中的应用研究

邓震*、李欣欣、王文新、贾海强、陈弘

中国科学院物理研究所

目前硅基光电探测器已经广泛应用于可见光谱范围 ($0.4\text{--}0.7\mu\text{m}$),但是在通讯窗口 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波段仍然存在较大的短板,其原因在于红外光子能量并不足以克服 Si 带隙 (1.12 eV) 诱导产生光电流。因此如何获得近红外波段 ($1.1\mu\text{m}$ 以上) 响应的高性能硅基探测器仍然是发展单片光电集成技术所面临的难题。近年来,硅基肖特基势垒探测器由于其具有独特的热电子发射机制而广受关注,其不仅能通过调节势垒高度实现室温下亚硅带隙光的探测,并且材料结构和制造工艺简单廉价,还具备开关比大、电导增益高和响应速度快的特点,成为实现硅基近红外光电探测器的有力之选。基于此,本报告以提升硅基

肖特基结构红外探测器的性能为出发点,根据探测器的工作原理提出新的结构设计,通过在 Si 上制备具有 ITO/Au 的复合电极结构,获得了在 1.1 μm -1.55 μm 响应的超低暗电流硅基光电探测器原型器件。

D30-21

硅基微纳结构异质结光电探测性能研究

赵益辉*

北京理工大学

光电半导体是光电器件的核心,提升光电转化效率是提升光电器件性能的关键。研究利用自制单色光组合脉冲照射系统对硅-金属氧化物异质结光电极中硅的作用进行了解耦分析,结果表明硅在靠近异质结界面处形成的内建电场有助于电荷的分离和运输,并且形成的光生电压驱动了载流子在电路中的输运。通过界面工程在硅和金属氧化物之间插入适当功函数的金属纳米层,建立起来费米能级,光生电压和光电性能之间的相互联系。该成果打破了以往专注于以增强 Z-scheme 中电荷传输为主导而忽视了电势分布的光敏芯片设计理念。最后,基于新的设计理念,通过界面工程制备出了 Si-Pt-MOX“三明治”结构异质结,光电流密度获得显著提升。为深入理解光敏单元 3D 几何结构和光电性能的关系,通过光刻掩模和深离子刻蚀技术制备出规整的微柱阵列硅基异质结光电极,实现几何结构和光电性能之间关系的定量分析。本工作为设计硅基微纳结构光电极提供了新的思路和技术参考。

D30-22

Structural design and simulation of nBp type II superlattice mid-wave infrared detector

Mingluo Li,Tong Sun,Xue-Yan Yang,Xiao-Ning Guan,Peng-Fei Lu*

Beijing University of Posts and Telecommunications

The nBp double barrier structure can effectively block the free flow of majority carriers, significantly reduce dark current, effectively increase quantum efficiency while maintaining high responsivity. This article introduces a medium-wave barrier type detector structure, and studies the effects of various parameters of the detector structure on quantum efficiency and dark current density from the perspective of theoretical simulation. Simulation results show that effective control of the absorption region thickness and doping concentration can reduce dark current levels and improve quantum efficiency. Under 77K conditions, when the absorption layer thickness is 4 μm and the doping concentration is $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, the 50% cut-off wavelength of this structure is 4 μm , and the quantum efficiency is as high as 42%. Under a bias voltage of -0.1mV, the dark current is approximately $2.32 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$.

D30-23

InGaAs 探测器材料表征及其与器件性能的关联

顾溢*

中国科学院上海技术物理研究所

短波红外 1-3 微米波段集中了多个气体吸收特征谱线,在红外传感、光谱成像等方面具有重要的应用。在用于制备短波红外半导体探测器的半导体材料中,III-V 族 InGaAs 材料具有高迁移率、高吸收系数、禁带宽度可调等特点,是该波段光电器件的主要材料选择之一。InGaAs 探测器材料是高性能探测器的基础,材料特性与器件性能的关联性研究具有重要的意义。

在本报告中,将介绍我们近期在短波红外 InGaAs 探测器材料表征及其与器件性能的影响的研究,包括材料表面缺陷与器件性能的关联、异质材料界面缺陷分析、探测器材料少子寿命计算与测试、材料光致发光与焦平面特性的关联。在此基础上,实现了高性能短波红外 InGaAs 探测器材料和器件,并发展了多种规格的焦平面器件,为实现在食品分选、夜视成像、航天遥感等多个领域的应用打下基础。

D30-24**Modeling of melt convection and interface shape during GaSb single crystal growth by Liquid Encapsulated Czochralski method**

沈桂英*、杨文文、赵有文、杨俊、谢辉
中国科学院半导体研究所

Based on the actual growth process of a 3-inch GaSb ingot, this article utilizes the finite element method for numerical simulation is used to perform a global 2D quasi-steady-state modeling of the Liquid Encapsulated Czochralski (LEC) method for growing GaSb single crystals. The variations in temperature field distribution, flow field convection patterns, and solid-liquid interface during the crystal growth process are preliminarily studied. The impact of crucible rotation rate and pulling rate on the morphology of the solid-liquid interface is investigated. The results indicate that low rotation rates can achieve minimal solid-liquid interface deflection, and the pulling rate has a significant effect on the interface deformation. A relatively flat solid-liquid interface can be achieved by appropriately increasing the pulling rate. This study will provide certain references for the thermal field process of actual GaSb growth.

D30-25**同相或异相界面的位错结构：模拟、理论分析及在外延膜生长中的应用**

杨金波*、郭宇
中国科学院金属研究所

在相变或外延生长中，同相或异相界面可能先处于共格状态，随着新相尺寸增加，界面会逐渐失去共格态，界面以及界面两侧各相中同时会出现大量位错。本报告将通过分子动力学和界面晶体学理论分析互相验证，定量探讨界面上位错分布，譬如其结构、应力与能量等，及其与其他位错间的关联。这将有助于理解相变或外延生长中界面附近位错的产生机制，控制其类型和数量。

D30-26**低噪声平面结锑化物红外探测器**

郝宏玥*，王国伟，蒋洞微，吴东海，徐应强，牛智川
中国科学院半导体研究所，北京，100083

锑化物红外探测材料体系，以其晶格失配度低、能带结构灵活可调、能实现低俄歇复合噪声及高载流子寿命等诸多优势，成为红外探测领域的优选材料。针对锑化物材料体系红外探测器的研究，以实现更小体积、更低重量、更低功耗、更低成本为目标。本研究针对降低锑化物红外探测器表面漏电流展开。采用表面扩散的方法，制备锑化物红外探测器的平面结构，避免了台面结构产生的表面漏电流，从而降低了红外探测器的噪声。

本研究针对 GaSb 衬底材料、InAs/GaSb 超晶格中波红外材料的扩散工艺进行了研究，针对其扩散温度、深度等关键参数进行了实验。成功制备了低噪声短、中波红外探测器。此外，该方案简化了现有的器件制备工艺，进一步降低了锑化物红外探测器的成本。

D30-27**Frequency comb lasing diode realized with self-assembled quantum dots**

Xiangjun Shang,Zhichuan Niu*,Haiqiao Ni,Xiangbin Su,Hanqing Liu,Deyan Dai
Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences

Optical frequency comb (OFC), i.e., periodic longitudinal mode (LM) lasing, is very important in spectroscopy, precise metrology (e.g. dual-comb asynchronous sampling), and the development of mode-locked femtosecond pulse (pulse width inversely dependent on lasing bandwidth). Solid-state micro-cavities in cavity length $L \sim 1\text{-}2\text{ mm}$ and thermal expansion $dL/LdT \sim 6 \times 10^{-6}/\text{K}$ show LM spacing $>20\text{-}40\text{ GHz}$ and linewidth $<200\text{ MHz}$ (i.e. $Q > 10^6$), with position stabilized and fine tuned by electricity. Micro-ring can build LMs in $Q > 10^7$ for four-wave-mixing OFC. Instead, single transverse mode narrow ridge waveguide (RW) edge-emitting diodes with non-degenerate periodic LMs as in a nanowire can emit OFC directly ($\sim 5\text{ nm}$ lasing bandwidth has proved in quantum wells), independent on side wall fluctuation and suitable for all wavelengths. Self-assembled InAs quantum dots (QDs) with size distribution and thermal activation barrier $E_a \sim 0.25\text{ eV}$ are desired broad gain medium for OFC. In this work, we grow dense QDs in continuously diverse size and fabricate narrow RW diode OFCs that show lasing power $\sim 6\text{ mW}$ and bandwidth $\sim 20\text{ nm}$, in single TE_{01} mode output (polarization extinction ratio $\sim 17\text{ dB}$) and injection current tuning of LM position $\sim 0.04\text{ nm/mA}$. High-reflection facet coating is needed to reduce LM spectral linewidth (higher Q), luminescence background, and lasing threshold.

D30-28

宽脊大功率 p-n 双掺杂 InAs/GaAs 量子点激光器

戴德琰^{1,2}、苏向斌^{1,2}、刘汗青^{1,2}、尚向军^{1,2}、谭世卓^{1,2}、倪海桥^{*1,2}、牛智川^{1,2}

1. 中国科学院半导体研究所光电子材料与器件重点实验室
2. 中国科学院大学材料与光电研究中心

量子点结构表现出对载流子的三维量子限制效应，因此量子点激光器相较于量子阱激光器具有更高的特征温度、更大的调制带宽和更低的阈值电流，在航空航天、遥感和自动驾驶等严苛环境中表现出较高的使用价值。本文中利用 p 型调制掺杂对量子点的高温热逃逸特性进行补偿，使量子点激光器具有更稳定的高温特性。利用 5-stack QD 有源区的 pin 结构，制备了腔长为 $2000\mu\text{m}$ ，脊宽为 $100\mu\text{m}$ 的 FP 腔激光器， 5°C 下可实现高于 1W 的输出，阈值电流小于 $0.25\text{KA}/\text{cm}^2$ ； 110°C 下仍能保持大于 131mW 的持续输出，阈值电流小于 $1.25\text{KA}/\text{cm}^2$ 。因此 p 型调制掺杂可以有效改善量子点激光器的高温特性。此外，为了提升量子点激光器的特征温度，还对量子点内进行了直接 Si 掺杂，进一步降低了阈值电流随温度变化的幅度，高温下 T 可达到 157K 。

D30-29

InP-based InGaAs/GaAsSb type II superlattice for extended short-wave infrared detectors

Yan Liang^{1,2}, Wenguang Zhou², Yi Shi^{*1}, Yingqiang Xu², Donghai Wu², Guowei Wang², Dongwei Jiang²

1. School of Electronic Science and Engineering Nanjing University
2. Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Devices, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences

There is growing interest in photodetection in the extended shortwave infrared (eSWIR, $1.7\text{ }\mu\text{m}\text{-}3\text{ }\mu\text{m}$) window for a wide range of applications, including remote sensing, communication, biological imaging, astronomical observation, and LIDAR. Currently, the dominant eSWIR detector materials on the market are based on extended InGaAs and HgCdTe, however, due to various limitations, they are still under development. At present, a promising approach is the utilization of InGaAs/GaAsSb type II superlattices (T2SLs) to achieve eSWIR detection on InP substrate. This approach offers the advantage of a type II band arrangement for energy band modulation and compatibility with the InP process, thereby enabling large-scale integration in the eSWIR region. In this work, we have investigated various aspects of InGaAs/GaAsSb type II superlattice materials and optimized the epitaxial growth method of the materials. And high performance expanded short-wave infrared

detectors were prepared based on InGaAs/GaAsSb type II superlattice materials.

D30-30

高效率大功率铟化物中红外量子阱激光器的制备

陈益航*

中国科学院半导体研究所

中红外激光可与物质发生独特的相互作用，因而广受科研、医疗、工业、安全等领域应用的关注。目前，铟化物电泵浦半导体激光器、铟化物碟片激光器、固体激光器、光纤激光器等方案都在特定应用场景中得到了应用。在微纳光电、同带泵浦等需要激光器具有小型化、高效率、易调谐特性的应用场景中，铟化物电泵浦半导体激光器极具优势。

GaAs、InP 等第二代半导体材料难以在 2-5 μm 的中红外波段实现高效率工作。得益于铟化物材料体系灵活的能带设计潜力，铟化物激光器可以构造一型与二型量子阱并通过载流子的带间跃迁实现覆盖 2-5 μm 中红外的高效率辐射。

随着分子束外延技术、多量子阱、应变量子阱、分别限制层等先进材料制备技术与器件结构设计的引入，铟化物激光器性能得到了显著的提升并具备了室温连续瓦级功率输出的性能。现阶段，大功率条件下的效率降低是限制铟化物激光器性能的主要因素，这主要体现为较低功率转换效率导致的废热生成、大量焦耳热在有源区的累积、有源区升温导致效率降低的恶性循环。

本报告将讨论铟化物激光器中的功率损耗机制，并从能带设计、材料生长、器件工艺等角度出发提升铟化物激光器的输出功率与效率。

D30-31

基于 MBE 的射频电子材料进展

牛晨亮、商耀辉、卜夏正、赵辉、师巨亮、房玉龙 a

中国电子科技集团公司第十三研究所

随着移动通信、物联网和高速数据传输的迅速发展，未来射频电子领域对高性能材料的需求不断增加。基于 MBE 的射频电子材料和器件以其更高的工作频率、更快的传输速率和更高的可靠性，是实现未来高性能射频应用的优势路线之一。本文以 GaAs PHEMT 和 InP HEMT 材料技术为主线，深入探讨了面向射频电子应用的 MBE 外延技术。GaAs PHEMT 材料，凭借优异的低噪声高功率特性，结合高均匀性 6 英寸 PHEMT 外延技术，在较低频段射频应用中具有独特的性能和成本优势；InP HEMT 材料，以其更高电子迁移率和更低噪声系数，在更高频段应用中备受关注。本文为实现高性能高频率低成本器件应用提供了有益参考。

D30-32

硅基低位错锗锡材料研究

李传波*

中央民族大学

随着 Si 集成电路的集成度越来越高，信息传输的速度越来越快，传统的电互连已显现出其技术的局限性，无法满足高带宽、低功耗的需求。而光互连具有高速度、高带宽、低功耗等特点，因此，人们迫切地希望可以在短距离上实现光互连，甚至是芯片之间和芯片内部的 Si 基光互连。目前硅基无源光器件已经有比较好的进展，但在硅基光电探测及发光器件方面，性能还有待于提高。随着纳米技术的发展，人们寄希望于利用量子尺寸效应和能带工程，来实现 CMOS 兼容的 Si 基的高效发光器件。因其直接带隙特性及 CMOS 工艺兼容性，锗锡材料成为近期研究热点，但较大的晶格失配及低的固溶度，使得硅基锗锡材料生

长一直是个难题，本报告从低温缓冲层技术及锡催化锗锡生长计入手，讲述我们在高质量硅基锗锡材料可控生长及其在光电器件等方面的一些进展。重点探讨我们在锡催化硅基锗锡材料制备、其选区生长及特性表征等方面的研究。基于锡催化的硅基锗锡生长方法，可在低温条件下生长出低位错密度的锗锡窄带隙材料，通过调控锡催化剂的位置，可以调控锗锡材料的位置，该方法在未来微光夜视成像方向有较好的应用前景。

D30-33

Observation of Trap Formation in Degraded Quantum-dot Light-Emitting Diodes

Quan Niu*, Jiangxia Huang, Wenxin Lin

South China university of Technology

Quantum-dot light-emitting diodes (QLEDs) have attracted extensive attention in the display field due to their high brightness, narrow emission bandwidth, and colour tunability. However, the low stability and short lifetime hinder their commercial application, especially for blue QLEDs with larger band gap and higher exciton energy compared with red and green ones.

We fabricated blue QLEDs with a structure of ITO/HIL/TFB/Quantum Dots (QDs)/ZnO nanoparticles/Ag, and the degradation process was studied. During long-term electrical stress, the luminance of devices decreased and their driving voltage increased. We also performed impedance measurement on the QLED devices during degradation. It has been found that the negative capacitance (NC) was enhanced during device degradation, which indicates the nonradiative trap-assisted recombination became more pronounced, caused by the formation of charge traps [1, 2].

To further investigate the charge transport during device degradation, QLEDs with different hole transport layers (HTL) and electron transport layers (ETL) were fabricated respectively. The transient electroluminescence (TEL) measurement was applied to the devices at different stress times. Current density-voltage-luminance characteristics were analyzed as the function of aging times. For QLEDs with thinner ETL and/or thicker HTL, the NC effect is less pronounced and the conversion efficiency is higher, but their efficiency decay rate is also enhanced during operation. The behavior could be explained that the recombination zone is near the QD/ETL interface in pristine devices, and shift to the anode under current stress. The electron transport current became dominated during aging. The shift of the recombination zone under the formation of the traps can also be supported by TEL measurement and the evolution of the EL spectrum [3].

References

- [1] Q. Niu, N. I. Craciun, G. A. H. Wetzelaer, and P. W. M. Blom, Phys. Rev. Lett., 120(11), 116602 (2018).
- [2] Q. Niu, G. A. H. Wetzelaer, and P. W. M. Blom, Appl. Phys. Lett., 114(16), 163301 (2019).
- [3] P. W. M. Blom and M. C. J. M. Vissenberg, Phys. Rev. Lett., 80(17), 3819 (1998).

D30-34

基于片上集成耦合波导色散补偿的中红外量子级联激光器光频梳

马钰¹、吴大鹏²、陆全勇^{*1}、李儒颂¹、张世晨¹、周斌茹¹、张锦川²、翟慎强²、刘俊岐²、刘舒曼²、刘峰奇²

1. 北京量子信息科学研究院
2. 中国科学院半导体研究所

室温工作的高功率量子级联激光 (QCL) 光频梳是高精度测量和低噪声分子光谱研究的热点。虽然在长波光谱范围内 (8-12 μm) 进行了大量的研究，但由于材料色散过大，短波 3-5 μm 的 QCL 光频梳的发展仍有不足。在这项工作中，我们提出了一种单片集成无源波导方案，将有源区波导的基本光学模式耦合到有源区下方的无源波导中形成反对称模式，可以自由调控其色散。该方法通过一次性外延的方式，利用外

延设备一次性生长出整体结构,避免了二次外延繁杂工艺的影响,并兼顾现有的制备工艺,可用于有效的色散工程和高功率工作。波长为 $4.6\text{ }\mu\text{m}$ 的量子级联激光频梳在室温下实现了超过瓦级的输出功率,效率为 7%,色散补偿效果明显。小于 1kHz 的窄拍频线宽和双梳多外差实验显示了梳齿间的相干相位关系,这对基于双梳技术的快速分子光谱分析至关重要。这种单片色散工程波导也兼容高效的有-无源光耦合方案,将为环梳和片上双梳光谱学开辟新的研究领域。

D30-35

基于中红外半导体激光器的低功耗气体传感器

韩宇哲、王兆伟*、宫卫华、魏玉宾、唐先胜
齐鲁工业大学(山东省科学院)激光研究所

基于激光吸收光谱技术的气体传感器具有灵敏度高、可靠性高、响应速度快、选择性好等优点,在环境监测、工业过程分析、煤矿安全生产等方面得到了广泛的关注和应用。由于绝大多数气体的基频吸收峰位于中红外波段,因此中红外激光器是高性能激光气体传感器的首选光源。特别是量子级联激光器(QCL)和带间级联激光器(ICL)的商业化,大大促进了中红外激光气体传感器的发展。

本报告将介绍基于 QCL 的一氧化碳(CO)传感器和基于 ICL 的乙烷(C₂H₆)传感器。室温下运转的 QCL 和 ICL 各有优劣,QCL 激光波长丰富,ICL 具有较低的阈值和功耗。该工作采用可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)技术和基于多维多参数的温度压力补偿算法,提高了气体传感器的可靠性,研发的 CO 传感器和 C₂H₆ 传感器可以在复杂恶劣的应用场景下长时间稳定运行。

D30-36

氮化镓基 Micro-LED 全彩芯片与驱动集成技术

庄喆*
南京大学

在新型显示技术领域,以微型发光二极管(Micro-LED)为核心器件的显示技术由于高画面品质、低能耗、长寿命等诸多优点而成为了目前被业界最为看好的下一代新型显示技术。实现 Micro-LED 全彩显示的关键是研制红、绿、蓝光 Micro-LED 器件。目前蓝绿光 Micro-LED 采用 III 族氮化物半导体,而红光则选用磷化物半导体。尽管磷化物的常规红光 LED 已实现很高的量子效率,但是其 Micro-LED 器件(特别是 20 微米以下)的效率由于很强的载流子表面复合而大幅下降。而氮化物半导体通过带隙调节同样可覆盖红光波段,因此以氮化物替代磷化物发展红光 Micro-LED 芯片成为了 Micro-LED 全彩显示的重要研究方向。本论文将介绍 InGaN 红光 LED 材料外延生长、从几百微米到几微米的尺寸 InGaN 基 Micro-LED 器件的研制及其光电性质。此外,本论文还探索了 Micro-LED 的量子点全彩集成芯片,实现 RGB 微小尺寸 LED 器件单片集成。最后,论文探索了全氮化物光电集成方法,成功实现了 GaN 准垂直 MOSFET 对 Micro-LED 的可控驱动。

D30-37

半金属量子点红外探测技术

陈梦璐*
北京理工大学

红外波段与大气窗口相匹配,广泛应用于环境监测、气体传感和危害探测。该波段不能被人眼直接感知,需要借助于光电探测器。红外光电探测器能把所接受的红外辐射转换为电信号,是红外探测和成像系统的核心部件,也是红外技术发展的关键。目前,光子型红外探测器是依靠碲镉汞和 II 型超晶格等昂贵外延材料,其信号导出需要与读出电路倒装键合,工艺复杂。

相比之下,胶体量子点作为新型半导体材料,具有红外波段可调控、化学法制备成本低、与硅基

电路直接耦合的优势，为红外探测器件提供了新思路。然而，尽管量子点材料的吸收光谱可以覆盖近红外至太赫兹等多个红外波段，但量子点器件的探测波段很难达到长波红外。这是由于量子限域效应打开块体半导体带隙，即相应块体半导体带隙决定了量子点能级下限和探测波长极限。为超越现有量子点红外探测波长极限，本项工作基于零带隙半金属材料，设计了高活性、离去性前驱体，开发了成核-生长分离的滴定生长技术，获得高稳定性的近玻尔半径尺寸量子点胶体，突破极限尺寸半金属量子点合成及光电器件制备技术，实现甚长波红外 18 微米量子点光电探测器。

D30-38

偏压调控的双工作模式有机光电探测器

王洋*

电子科技大学

以光电二极管为代表的光电探测器是 CMOS/CCD 图像传感器等光电转换器件的核心，其在反向偏压下（光伏模式）工作，外量子效率（EQE）小于 100%，面向微弱光时，光电流信号较弱，需采取补光、放大电路或延长积分时间等方式实现信号有效提取。光电倍增器件的增益或 EQE 远大于 100%，适合微弱光探测；但面向强光时，易出现信号饱和、甚至烧毁等问题。针对上述问题，本团队开展了光伏/倍增双工作模式有机光电探测器研究，在有机光电二极管的基础上，通过界面工程调控界面势垒和缺陷，有效操控载流子输运；器件在反向偏压下保持工作在光伏模式、正向偏压下为倍增模式，从而实现强、弱光自适应检测。该器件可与 CMOS 读出电路单片集成，有望进一步研制出双工作模式 CMOS 图像传感器，拓展未来成像器件的应用场景。

D30-39

面向光医疗的共振腔增强光发射-光探测集成传感芯片

李建军*、付聪乐、崔屿峥、秦晓伟、李雨畅、邓军

北京工业大学

光电容积描记法（Photoplethysmography, PPG）通过检测皮肤对光的吸收和反射，可实现心率、血压及血氧饱和度的监测，PPG 技术以其实时、连续、无创、便捷等优点正得以广泛推广和应用。本文针对当前 PPG 光电传感头体积大、效率低、抗干扰能力差的问题，提出一种基于共振腔增强的光发射-光探测集成传感芯片（RCLEPD, Resonant Cavity Light Emitter and Photon Detector）。RCLEPD 将 LED 光源和探测器集成在同一个外延片上，利用共振腔增强机理，在提高 LED 发光效率的同时，增强探测器的增益和抗干扰能力。通过 MOCVD 材料外延及芯片后工艺，制备了 2 mm x 2 mm 的 RCLEPD 传感芯片。芯片光源的峰值波长为 677.5 nm，外量子效率为 8.371%，探测器的光响应峰值波长为 678 nm，辐射波长与探测波长相匹配。通过搭建测试电路提取得到脉搏波信号，周期约 900 ms，即 67 次/min。结果表明，RCLEPD 具有体积小、效率高和抗干扰的优点，为可穿戴光医疗技术的发展提供了新的思路和解决方案，有望推动智慧光医疗领域的进一步发展。

D30-40

氘化材料在有机光电的应用

邓敏聪*

清华大学深圳国际研究生院

Realizing operationally stable blue organic light-emitting diodes is a challenging issue across the field. While device optimization has focused on effectively prolonging device lifetime, strategies based on molecular engineering of chemical structures, particularly at the subatomic level, remain little. Herein, we explore the effect of targeted deuteration on pincer, donor, and acceptor units of thermally activated delayed fluorescence emitters.

We also investigate the structure-property relationship between intrinsic molecular stability, based on isotopic effect, and device operational stability.

D30-41

铟镓氧合金断裂韧性和临界厚度的第一原理计算

曹家赫、陈子强*

香港科技大学（广州）

本研究采用第一性原理计算确定了单斜晶系氧化镓 (Ga_2O_3) 和铟 (In) 含量高达 37.5% 的铟镓氧 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_3$) 合金的表面能和断裂韧性。同时计算了 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_3$) 合金的晶格参数和弹性常数, 并证明了晶格变化符合 Vegard 定律。通过与单斜晶系 Ga_2O_3 的表面能和断裂韧性比较, 确定了每个生长方向 [100]、[010] 和 [001] 的最可能的断裂面。此外, 在 Ga_2O_3 衬底上以 [100]、[010] 和 [001] 取向生长的 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_3$) 外延薄膜的临界厚度在 In 含量高达 37.5% 时被发现分别为 40 nm、35 nm 和 36 nm, 为 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_3$)/ Ga_2O_3 异质结构形成提供了合理的假晶生长条件。基于对表面键长、悬挂键和配位的分析, 发现表面终端同时包含 Ga 和 O 原子的 (100) 方向表面比其他表面具有更高的稳定性, 这意味着外延生长 (100) 断裂表面可能会导致膜厚度较高且缺陷较少。总体而言, 本研究阐明了在不同取向的 Ga_2O_3 衬底上生长的 ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{O}_3$) 薄膜的断裂机制。

D30-42

氧化镓晶格匹配的铝铟氧合金第一性原理计算

廖逸民¹、刘晓莉²、陈子强*¹

1. 香港科技大学（广州）

2. Materials Design Inc.

单斜相氧化镓 ($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$) 超宽带隙半导体因其超宽带隙特性在近年来引起了越来越多的关注。对于四元铝铟氧合金的研究揭示了其在实现两种材料之间晶格匹配条件的同时获得更大带隙的可能性。在本研究中, 基于混合密度泛函理论, 我们系统地研究了通过铟替代掺杂形成的 III A 族氧化物材料铝铟氧合金 (AlInO)。本文研究了三角相和单斜相的 AlInO 随着铟含量范围从 0% 到 100%, 晶格常数、带隙和弯曲系数的变化, 并且发现在 38.5% 铟含量时, AlInO 和 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 达到了晶格匹配。随着铟含量的增加, AlInO 的带隙显著下降, 展现了 5.59 eV (三角相)/4.78 eV (单斜相) 的带隙调节范围。此外, 能带匹配的结果表明在整个铟成分范围内 $\text{AlInO}/\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 结构中存在 I 型/II 型能带偏移。本研究关注了 AlInO 合金的表面和界面特性, 进一步揭示了 AlInO 材料与 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 结合时的兼容性和功能性。三角相 AlInO 的带隙范围为 8.79 eV 至 3.20 eV, 单斜相 AlInO 的带隙范围为 7.89 eV 至 2.84 eV, 其中导带位置显著上升, 并在带隙调节中占主导地位。总体而言, 我们的研究表明 AlInO 合金可能作为与 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 电子和光电子应用的晶格匹配材料, 具有值得进一步探索的表面和界面特性。

D30-43

原位脉冲铟辅助 MOCVD 提高同质外延 (-201) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的质量

王垚*、李佳乐、冯倩、张雅超、张进成、郝跃

西安电子科技大学

本文创新性地采用脉冲金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 技术, 利用铟脉冲辅助技术优化 (-201) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 同质衬底上外延 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的质量。结果表明, 与传统的铟辅助法相比, 脉冲铟辅助法有效抑制了 Ga_2O_3 的解吸, 提高了 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的平坦度, 表面粗糙度由 34.8 nm 降低至 0.94 nm。采用脉冲铟生长优化的单晶 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜, X 射线衍射 (XRD) 摇摆曲线的半高全宽 (FWHM) 为 30.42 arcsec, 明显小于连续铟技术辅助 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的半高全宽。结合 X 射线光电子能谱 (XPS) O1s 分裂峰拟合分析, 脉冲铟

辅助显著降低了薄膜中氧空位的相对含量。脉冲铟辅助薄膜的霍尔迁移率比传统铟辅助薄膜高约 14 倍。脉冲铟技术为高质量 β -Ga₂O₃ 薄膜的同质外延生长提供了思路。

D30-44

高性能单晶柔性氧化镓日盲探测器

陆超^{1,2}、李梦成^{1,2}、高磊²、张庆华²、祝明通^{2,3}、吕翔宇^{2,4}、王玉乾²、刘锦^{2,3}、纪爱玲²、李培刚^{*1}、谷林⁵、曹则贤^{2,6}、鲁年鹏^{2,6}

1. 北京邮电大学
2. 中国科学院物理研究所
3. 中国科学院大学物理科学学院
4. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院
5. 清华大学材料科学与工程学院
6. 松山湖材料实验室

在过去的十几年中，Ga₂O₃ 基柔性电子产品由于具有优异的器件性能成为了学界和工业界的研究热点。然而，目前为止，制备高质量的柔性单晶 Ga₂O₃ 器件仍旧是学术界和工业界面临的一大挑战。为解决该问题，本工作首先基于 β -Ga₂O₃ (-201) 面和 SrTiO₃ (111) 衬底结构对称性和原子排布相一致的特点，在钙钛矿结构 SrTiO₃ 上获得了高质量外延 Ga₂O₃ 单晶薄膜；随后，研究通过合适的结构设计，依托新兴的自支撑工艺，首次获得了尺寸可控、可转移的、大面积氧化镓单晶薄膜，并制备了相关柔性日盲探测器件及 Si 基集成器件；最后，为进一步提高柔性器件性能，研究通过晶格及能带工程，制备了高性能柔性异质结 Ga₂O₃ 自供电日盲探测器，该探测器在零伏偏压下可实现 1.7×10^5 的光暗比及 6.36×10^{14} Jones 的探测度。与此同时，该器件在人体手指曲率弯曲下依旧保持了良好的器件性能，表现出了优异的抗弯折特性。研究结果不仅获得了高性能柔性 Ga₂O₃ 薄膜及相关器件，促进了其产业化发展，而且为制备其他自支撑单晶氧化物薄膜提供了参考，具有一定的科学和实际运用价值。

D30-45

一种具有 UVA 特异响应的 MXene-BP/ZnO 基柔性光电传感器

张梁舒彤、张煜浦、王建元*

西北工业大学

UVA (320 nm ~ 420 nm) 作为紫外线的主要组成部分之一，严重威胁人体皮肤健康，但关于 UVA 特异性识别传感材料的相关研究尚不充分。黑磷 (BP) 作为一种新型的二维材料，具有载流子迁移率高、带隙可调等优点，已在多种光电传感器中得到应用，但用于 UVA 特异性识别的研究较少。本文采用方便的逐层组装法，在 BP 和 ZnO 间构建了范德华 p-n 结，并以柔性 Ti₃C₂T_x (MXene) 为电极制备了具有类指橙片状-球形结构的 MXene-BP/ZnO 复合材料，展现出优异的光电传感性能。密度泛函理论计算结果表明，复合材料的性能提升归因于光生载流子在界面内置电场作用下的迅速分离与传输。基于 MXene-BP/ZnO 复合材料的柔性 UVA 特异性光传感器，具有高达 $7 \text{ mA} \cdot \text{W}^{-1}$ 的光响应度和优秀的机械稳定性，在多达 100 次弯曲循环后仍具有 98.46% 的光响应保持率。最后，利用柔性集成技术设计了一种防 UVA 人体皮肤保护装置，集成了 MXene-BP/ZnO 柔性光电传感器、信息处理模块和蓝牙模块，具有出色的 UVA 特异性识别和无线传输能力，可及时检测环境 UVA 强度并发出声音警告，对视障人士十分友好。这项工作为进一步开发光电传感新材料和人体皮肤健康保护装置提供了新的研究思路。

D30-46

基于双层石墨烯的太赫兹波探测器

胡清梅*

北京理工大学

太赫兹波位于电磁波谱中介于中红外光和微波之间，具有强穿透力和高分辨率等特点，已在生物大分子检测和安全检查等领域展现出独特的应用潜力。然而，目前市场上的太赫兹波探测器尚无法同时具备高灵敏度、高探测带宽和可室温工作等关键特征，这限制了太赫兹波技术的进一步发展。双层石墨烯具备与单层石墨烯相当的电学和光学特性且带隙可调，能够提供快速响应和高灵敏探测。本文旨在设计和构建一种双层石墨烯太赫兹探测器，以期同时实现高带宽、高灵敏度和可室温工作等特征。

D30-47

纳米印刷多维度光电功能器件及应用

潘琪*

郑州大学

纳米绿色印刷微纳制造技术，通过将功能材料分散成墨水，研究功能墨滴演化和成型机制，可以实现功能材料的组装和功能结构的高精度图案化。申请人长期聚焦墨滴调控的纳米绿色印刷制造技术中的关键问题开展深入系统研究，包括：（1）微纳结构可控构筑：探索墨滴受控演化成型机制，实现金属纳米颗粒、无机半导体、聚合物、有机小分子等功能材料从 0 维到 3 维的可控制备；（2）多材料界面的调控：探索多种材料墨水的调控机制和印刷过程中墨水演化规律，实现多种异质结的可控制备。（3）应用：通过纳米绿色印刷将功能材料图案化，实现电子器件、光子器件、传感器等微纳器件的阵列化制造。

D30-48

集成 3C/4H-SiC 异构结的 JFET 的模拟

陈超逸、韦文生*

温州大学

SiC 结型场效应晶体管(JFET)适用于高温、高频领域。然而，现有 SiC JFET 自身无法反向续流，需要并联反向续流二极管，导致元胞面积或者封装模块体积增大。本文构建了包含 3C/4H-SiC 异构结(HCJ)的增强型垂直 JFET(3C/4H-SiC- HCJ-JFET)，利用 Silvaco TCAD 仿真优化了器件的结构、静态和动态电学特性。探讨了不同沟道宽度、掺杂浓度及长度以及 3C/4H-SiC-HCJ 中 3C-SiC 的掺杂浓度、宽度等参数对器件静态特性的影响。结果显示，本器件的阈值电压(V_{th})为 1.01 V、比导通电阻($R_{on,sp}$)为 5.41 mΩ/cm²、击穿电压(V_B)满足 1700 V 级耐压要求。 $(n^+)3C/(n)4H$ -SiC 同型 HCJ 可让器件实现自身反向续流、且 HCJ 并未劣化器件的静态特性，其反向开启电压(V_F)仅为-1.04 V、反向恢复时间(t_{rr})仅为 10.00 ns。同时，本器件的开通时间(t_{on})、关断时间(t_{off})和开关损耗较无 HCJ 的参照器件分别降低 28.1 %、30.8 %与 43.7 %，这有利于降低电能的损耗。此外，分析了本器件在-75 °C~175 °C温度范围内，栅极 V_{th} 的漂移仅为 0.19 V、 V_F 相差 0.24 V、 V_B 变化 56 V，展现出良好的温度稳定性。对比集成肖特基续流二极管的 JFET、嵌入 $(n^+)poly-Si/4H-SiC$ 或者 $(p^+)poly-Si/4H-SiC$ 异质结的 JFET，本器件的静态品质因素(FOM_{BR})分别增加 5.4 %、86.5 %、76.4 %，反向恢复电荷(Q_{rr})分别减少了 42.4 %、45.1%、44.4 %。本文可为设计高性能 SiC JFET 提供新的方案。

D30-49

过渡金属硫化物半导体材料制备及应用研究

左勇刚*

昆明理工大学

在半导体器件不断向小型化、柔性化及高度集成化发展的主流趋势下，以过渡金属硫族化合物(TMDs)为代表的低维半导体材料，显示出独特的优势。它不仅具有超薄厚度（单原子或少原子层），而

且表现出优异的电学、光学、力学、电化学及多自由度可调控性，使其在柔性电子，光电探测和气体传感等领域极具应用潜力，被誉为是下一代半导体器件的核心材料。而半导体材料的几何维度、晶体质量和本征特性是影响器件性能的关键因素。如何制备大尺寸、高质量和可控结构的过渡金属硫化物半导体材料，是阻碍其迈向真正实际应用且亟待解决的关键科学问题。近年来汇报人围绕过渡金属硫化物半导体的可控制备，针对不同应用场景，基于表界面调控机理，通过提出不同新策略分别实现了大面积 WS₂ 条带阵列，高品质 TMDs 晶圆以及 TMDs 复合光纤新型非线性材料的有效合成，且均对应展现出优异的光电性能。积极推动了过渡金属硫化物半导体材料在电子、光电子以及非线性光学器件等领域的广泛应用。

D30-50

A bioinspired Au-Cu_{1.97}S/Cu₂S film with efficient low-angle-dependent and thermal-assisted photodetection properties

田军龙*

贵州大学

Inspired from the geological processes, this study develops an innovative low-concentration-ratio H₂ reduction method to reduce the stoichiometric Au-CuS nanoparticles to produce completely reduced stoichiometric Cu₂S with “invisible” Au achieved for solid solution Au enhancement. A stable Au-Cu_{1.97}S/Cu₂S micro/nano-composite is then formed by spontaneous oxidation. From this composite, in combination with the biomimetic technology, an omnidirectional photoabsorption and thermoregulated film (Au-Cu_{1.97}S/Cu₂S-C-T_FW) is designed and fabricated as a photothermal-assisted and temperature-autoregulated photodetector for broadband and low-angle-dependent photodetection that presents good performance with high responsivity (26.37 mA/W), detectivity (1.25×10⁸ Jones) and good stability at low bias (0.5 V). Solid solution Au exhibit significantly enhanced photodetection (1000 times). This study offers a new concept for improving the stability and the photoelectric properties of copper chalcogenides. Moreover, it opens up a new avenue towards enhancing the performance of optoelectronic and photovoltaic devices using solid solution metal atoms and thermal-assisted, anti-overheating temperature-autoregulation.

墙报

D30-P01

Epitaxial growth of β -Ga₂O₃ films on Si (111) substrates with AlN buffer layer via pulsed-laser deposition

Tingting Wang^{*1}, Songyuan Peng¹, M. S. Shaikh^{2,3}, Mingyang Tian^{1,4}, Yue Cheng¹, Yijia Huang¹, Yarong Su¹, Jianqi Zhu¹, Yun Li⁵, Zhengwei Xie¹, Ling Li¹, Shengqiang Zhou², Mao Wang^{1,2}

1. Sichuan Normal University

2. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

3. Technische Universität Dresden

4. Tianfu Xinglong Lake Laboratory

5. Sichuan University

Monoclinic gallium oxide (β -Ga₂O₃) is of significant interest to the optoelectronics, as it has potential applications in ultraviolet detection and high-frequency power devices. However, the epitaxial growth of high-quality β -Ga₂O₃ films on Si substrates encounters a pervasive challenge. In this work, we report the epitaxial growth of (-201)-oriented β -Ga₂O₃ thin films on a Si (111) substrate employing AlN buffer layer via the pulsed laser deposition. The structural characterizations reveal that the phase was transformed from polycrystalline to monocrystalline β -Ga₂O₃ structure with increasing growth temperature and decreasing oxygen partial pressure. Moreover, the high-resolution X-ray diffraction combined with Raman spectra analysis confirm the epitaxial

growth of (-201)-oriented β -Ga₂O₃ films. In addition, Rutherford backscattering spectrometry and X-ray photoelectron spectroscopy indicate that the slight deficit of oxygen atoms is improved. Besides, the Spectroscopic Ellipsometry is applied to probe the optical properties of the β -Ga₂O₃ films, where a high transparency in the visible region is observed. The results provide a new avenue for the growth of epitaxial β -Ga₂O₃ thin films on Si substrates, which will expand the application scopes.

D30-P02

基于薄膜生长调控和掺杂工程的高性能氧化镓日盲紫外探测器

王进进、李培刚*

北京邮电大学

由于 Ga₂O₃ 薄膜中固有氧空位 (V_O) 的存在, 制备兼具高响应度和超快响应速度的日盲紫外探测器 (SBPDs) 仍然是一个大挑战。本文提出了一种采用薄膜生长调控、等离子处理、氮元素掺杂和退火等工艺相结合的方法, 通过调控 Ga₂O₃ 薄膜中 V_O 浓度来提高器件性能。采用磁控溅射氮掺杂 Ga₂O₃ 靶材生长薄膜, 并将其进行等离子表面处理和退火, 系统地分析了它们的晶体结构、微观形貌、光学和电学性质等特性。揭示了不同处理工艺对 Ga₂O₃ 薄膜中 V_O 的调控机理, 并制备了高性能 SBPDs。结果表明等离子处理、氮掺杂、低的 V_O 浓度、重结晶等因素可以优化薄膜性能。

D30-P03

MBE growth of InAs/AlSb resonant tunneling diodes on GaAs Substrates

Qiuyao Pang^{1,2}, Donghai Wu^{*1,3}, Xiangbin Su^{1,3}, Yingqiang Xu^{1,3}, Guowei Wang^{1,3}, Chengao Yang^{1,3}, Haiqiao Ni^{1,3}, Zhichuan Niu^{1,3}

1. Institute of Semiconductors Chinese Academy of Sciences

2. College of Electronic Information and Communication Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China

3. College of Materials Science and Opto-Electronic Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China

We demonstrate InAs/AlSb resonant tunneling diodes (RTDs) grown on GaAs (100) substrates using AlGaSb metamorphic buffer layers. InAs/AlSb RTDs with different InAs contactor thicknesses are grown on 700nm AlGaSb buffer layers on GaAs substrates. The surface morphology of the InAs/AlSb RTDs is characterized by atomic force microscopy. The RTD with 1 μ m thick InAs contactor shows rough surface of rms surface roughness about 3.6nm. To obtain high crystal quality and smooth surface, GaSb/AlGaSb (6ML/6ML) superlattices (SLs) are inserted into AlGaSb buffer layer for 8 periods per 200nm. A rms surface roughness of 0.76nm over 20 $\times$ 20 μ m² is achieved by inserting GaSb/AlGaSb SLs into AlGaSb buffer layers.

D30-P04

高性能大功率单模铋化物半导体激光器的制备

曹钧天、杨成奥*

中国科学院半导体研究所

光通信、量子信息、人工智能等高新技术的快速发展, 推动半导体技术向着高性能、低功耗、低成本的第四代半导体技术迭代, 同时推动着新一代半导体材料的发展。由 Al、Ga、In、As、Sb 等 III-V 族元素为基础的多元化合物材料及其低维结构构成的铋化物半导体材料体系是最具发展前景的第四代半导体材料, 基于其窄禁带、天然晶格匹配、能带可调节的特性, 在下一代红外光电系统的发展中将发挥巨大应用价值。铋化物激光器作为重要的红外光电器件之一, 通过能带结构设计、材料外延生长、器件制备工艺等

方面的技术突破,已经实现了大功率、高光束质量、单模等一系列高性能碲化物量子阱激光器的室温连续工作,且波长能够完整覆盖 2~5 μm 中红外波段,在气体检测、医疗美容、激光加工、量子通信等重要领域具有重要应用价值。

本文分析了器件结构设计、材料外延、模式选择等关键问题,采用分子束外延技术(MBE)生长了高质量 GaSb 基量子阱激光器,重点阐述了实现大功率和稳定单模的碲化物激光器的设计方案和关键工艺技术。

D30-P05

具有本征可拉伸、高迁移率和强发光的多功能集成聚合物半导体材料的分子设计

陈金佺、郭云龙、刘云圻*

中国科学院化学研究所

随着材料科学和器件技术的快速发展,可拉伸元件和柔性显示器因其在下一代可穿戴和可植入式电子器件中的潜在应用而引起了广泛的研究兴趣。具有单体结构可调、区域分子协同、本征柔性等特点的聚合物半导体材料在其中起着至关重要的作用,逐渐成为实现多功能应用的重要元件之一。特别是,具有独特的光学、电学、机械和化学特性的多功能集成聚合物半导体的分子设计与开发,对先进和新兴制造技术至关重要。然而,由于在设计原理、制造难度以及现有材料缺陷等方面的权衡挑战,通过多级制造实现多功能应用一直是一个巨大挑战。因此,开发新的功能构筑单元及有效的设计策略是实现有机光电领域新突破的关键。

在此,我们提出了一种有效的分子设计策略并开发了一类具有本征可拉伸、高迁移率和强发光的新颖多功能集成聚合物半导体。通过优化吡啶[1,2,3]三氮唑-噻吩共结构的构筑单元来调节能隙和给-受体相互作用,得到了具有全骨架共平面性和偶联反应选择性的区域规整型四元聚合物。区域规整的共轭骨架有助于分子链的紧密堆积,同时实现了优异的结晶度、超过 100%的裂纹起始应变、高迁移率($\mu > 1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)以及可控的近红外发光。此外,我们提出了一种同源共混策略,以进一步提高聚合物的发光性能,同时有效地保持其初始的机械和电学性能,从而实现了将优异的光学、电学和力学性能集成到一个多功能系统中。共混材料兼具优异的迁移率(μ)和量子产率(Φ),其中 $\Phi \cdot \mu$ 的最大值达到 $0.43 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$,这是迄今为止所报道的最高值。总体而言,我们的分子体系表现出优异的综合性能,有望为多功能材料和器件的制备提供全新的途径。

D30-P06

基于本征可拉伸聚合物网络的高性能化学传感器

匡俊华*

中国科学院化学研究所

本征可拉伸有机场效应晶体管(ISOFET)因其良好的共型性、皮肤贴合性及信号转换、放大和存储功能,成为实现各类传感器的理想载体。目前,功能型本征可拉伸半导体材料的开发仍然是目前的一大难点,限制了 ISOFET 类型的延展。人们常用的共混制备策略,虽然保证了器件的高可拉伸率,因弹性体的阻挡作用,极大的限制了器件在化学传感中的应用拓展。因此,本文利用液体流动引发的喷雾效应,提出了一种高效且优质的本征可拉伸聚合物网络的制备策略,成功制备了基于已开发聚合物半导体材料的 ISOFET,其在拉伸率为 30%以上,循环拉伸 2000 次的条件下,依然可以保持良好的器件性能。基于该可拉伸聚合物网络的 ISOFET 对氨气能够实现高达 1ppb 的高灵敏探测。此外,其在导电掺杂和液体传感中也表现出明显优势。这也为 SOFET 在化学传感领域的应用拓展提供了更多的参考。

D30-P07

基于 AlAsSb/InAsSb 超晶格势垒的 InAs/InAsSb II 类超晶格 nBn 中波红外探测器

单一凡^{1,2}、吴东海^{*1,2}、谢若愚^{1,2}、周文广^{1,2}、常发冉¹、李农^{1,2}、王国伟^{1,2}、蒋洞微^{1,2}、郝宏玥^{1,2}、徐

应强^{1,2}、牛智川^{1,2}

1. 中国科学院半导体研究所光电子材料与器件重点实验室
2. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院

在高工作温度中波红外探测器领域，InAs/InAsSb II 类超晶格由于不存在 Ga 原子引入的缺陷复合中心而具有更高的少数载流子寿命，应用前景十分广阔。为了抑制暗电流，提高工作温度，nBn 结构等少数载流子单极势垒结构被引入到器件结构设计中。然而，通常采用 AlAsSb 等多元合金材料作为势垒层，势垒层与吸收层存在不可避免的价带偏移（VBO），导致需要施加较大的外加偏压以完全提取光生电流，因此 nBn 型光电探测器的性能不佳。本研究设计了一种 AlAsSb/InAsSb 超晶格势垒，消除了势垒层与吸收层之间的 VBO，从而降低了量子效率对偏压的依赖性。研究结果显示，150 K 下，设计制备的 nBn 型光电探测器的 50%截止波长为 4.5 μm ，光响应在 -50 mV 的小反向偏压下达到饱和，量子效率在 3.82 μm 处达到 58%。在 150 K 和 -50 mV 偏压下，探测器的暗电流密度为 $2.01 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ ，在 3.82 μm 处的峰值探测率达到 $6.47 \times 10^{11} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$ 。

D30-P08

利于柔性二维钙钛矿微应变调控与光电性能提升的超分子相互作用

宋金梅、魏浩桐*

吉林大学

二维钙钛矿的电导率主要由卤化物金属八面体主导。然而二维钙钛矿中层状无机骨架容易被体积较大的有机阳离子压缩或拉伸，从而产生微应变使器件的光电性能受损。在这项工作中我们报道了氟苯乙胺碘化铅(FPEA)₂PbI₄中由氟原子的取代位置调节的超分子相互作用。在二维钙钛矿的有机层间隔中，具有电负性的氟原子与苯环之间的层间超分子相互作用主导了(p-FPEA)₂PbI₄的晶格微应变，这种微应变可以在柔性器件压缩弯曲过程中通过层间相互作用力得以释放。强层间相互作用可以在柔性器件弯曲过程中最大限度地释放结构中对无机八面体的压缩程度，从而最大程度地释放微应变，提高器件性能。实验证明对于(p-FPEA)₂PbI₄柔性钙钛矿薄膜，压缩弯曲可以使释放 60%的微应变，相应的光电流相应恢复至原来 3 倍。而对于(o-FPEA)₂PbI₄来说，它的层内超分子相互作用主导微应变并阻碍其压缩弯曲过程中的微应变释放。二维钙钛矿有机层间的超分子相互作用设计对柔性二维钙钛矿器件中微应变释放和光电性能提升起着重要作用。

D30-P09

稳定的二维无铅钙钛矿 X 射线探测器

李明变、魏浩桐*

吉林大学

卤化物钙钛矿单晶具有带隙可调、阻挡能力强、载流子迁移寿命积大、激子结合能小、双极输运能力强、缺陷容错能力高等特点，在 X 射线探测领域具有巨大的应用潜力。然而，钙钛矿中的铅离子具有严重的生物毒性风险，阻碍了其商业化进程。稳定的铋钙钛矿和性能优异的锡钙钛矿被认为是铅钙钛矿的优良替代品。Bi³⁺离子与卤素离子的结合力更强，能更好地抑制离子迁移，使铋钙钛矿器件的运行更加稳定。因此，我们制备了一种新型无铅 2D 钙钛矿材料 4-氟苯乙胺铋碘 [(F-PEA)3BiI6]，并通过简单快速的压片方法得到了面积为 1.33 cm² 的取向的二维晶片，其横向和纵向的各向异性电阻率分别为 5×10^{10} 和 $2 \times 10^{11} \Omega \text{ cm}$ 。该晶片具有可与二维钙钛矿单晶媲美的优异 X 射线检测性能和操作稳定性。另外，为了解决锡钙钛矿在空气中易被氧化的问题，我们提出了一种可溶解于有机溶剂的固体还原剂——草酸，使锡基钙钛矿单晶能够在空气中生长，不仅降低了操作难度和成本，而且降低了单晶缺陷密度。并且通过(F-PEA)₂PbI₄-(F-PEA)₂SnI₄单晶异质结的构建来进一步保护锡钙钛矿，提高了器件的性能和稳定性。

D30-P10

钙钛矿单晶的阳离子工程与异质结设计应用于低剂量 X 射线探测

何雨宏、李华洋、魏浩桐*

吉林大学化学学院超分子结构与材料国家重点实验室

高的衰减系数和大的载流子迁移率、寿命乘积使卤化物钙钛矿成为 X 射线探测的理想材料。当钙钛矿单晶用于低剂量 X 射线探测时，其最低检出限往往由器件的灵敏度和噪声电流共同决定。本研究通过阳离子工程使卤化物钙钛矿在零维、二维和三维之间演化，以调节器件的 X 射线灵敏度、噪声电流以及离子迁移，优选出漂移电流仅有 $6.7 \times 10^{-8} \text{ nA} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的二维 $\text{FPEA}_3\text{SbI}_6$ 材料，其层间有机分子显著抑制了离子迁移。之后研究了该单晶的 X 射线成像能力，它可对封闭铝盒中物体实现清晰的 X 射线成像。

除了直接调节成分与结构，异质结设计能整合不同成分钙钛矿的优势性能。经过简单的溶液外延生长法，我们在三维钙钛矿 FAPbBr_3 单晶上生长了厚度可控的二维钙钛矿 $\text{FPEA}_2\text{PbBr}_4$ 单晶，其异质结界限分明。该单晶异质结在保有三维钙钛矿高灵敏度的同时钝化了晶体表面缺陷，抑制了离子迁移，有效降低了对 X 射线的最低检出限，仅有 $55 \text{ nGy} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此研究首次实现了大面积三维/二维钙钛矿单晶异质结，在低剂量 X 射线探测应用中表现出优异的性能，同时提供了一种从溶液中生长大面积二维钙钛矿单晶的策略。

D30-P11

质子化调控二维钙钛矿载流子传输

李维俊*

吉林大学

依据有机阳离子的种类，有机无机二维钙钛矿主要被划分为 RP 相，DJ 相和 ACI 相。RP 相通常由单质子化的有机胺作为有机层，而 DJ 相由双质子化的有机胺作为有机层。我们根据单双质子化共轭酸之间 pKa 值的差异，通过控制 4-(2-氨基乙基)吡啶(4AEPy)分别进行单质子化和双质子化合成了 RP 相的 $(4\text{AEPy})_2\text{PbI}_4$ 和 DJ 相的 $(4\text{AEPy})\text{PbI}_4$ 二维钙钛矿。 $(4\text{AEPy})_2\text{PbI}_4$ 和 $(4\text{AEPy})\text{PbI}_4$ 二维钙钛矿在 HI 和 NH_3 的作用下可以实现相互转换。在 $(4\text{AEPy})_2\text{PbI}_4$ 钙钛矿中相邻的有机分子之间存在 $\text{N-H} \cdots \text{N}$ 氢键相互作用使乙胺基团弯曲，其层间距较 $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ 钙钛矿显著减少了 $2.4 \text{ \AA}$ 。此外， $(4\text{AEPy})\text{PbI}_4$ 中有机层的乙胺基团插入八面体腔体较深，直接参与导带底的构筑，这导致 DJ 相的 $(4\text{AEPy})\text{PbI}_4$ 获得较小的激子结合能 (27.3 meV) 来产生更多的自由电荷。得益于 DJ 相中有机层和无机层之间的强耦合作用和较小的激子结合能，DJ 相钙钛矿表现出更稳定的结构和更好的光电性能。因此， $(4\text{AEPy})\text{PbI}_4$ 器件表现出更好的光响应且具有高达 $5627 \mu\text{CGy}_{\text{air}}^{-1} \text{cm}^{-2}$ 的 X 射线灵敏度和低至 $20 \text{ nGy}_{\text{air}} \text{s}^{-1}$ 的检测下限。

D30-P12

具有扩展 π -d 共轭纳米带层的一维导电金属有机骨架

商圣从、杜长胜、刘友星、刘明辉、王鑫玉、高文强、邹业、董继臣、刘云圻、陈建毅*

中国科学院化学研究所

材料制备:

1 粉末制备: 将 30mg 1,5-二氨基-4,8-二羟基-9,10-蒽二酮 (DDA) 配体加入到 400 mL 乙醇和 100 mL 水的混合溶液 (记为溶液 A) 中, 将 22.2 mg $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 溶解在 400 mL 乙醇和 100 mL 水的混合溶液 (记为溶液 B) 中, 超声 30min 以确保溶液 A 与 B 体系充分分散、溶解。然后向 A 溶液中滴加加入 B 溶液 (约 2 滴/秒), 同时搅拌 A 溶液, 滴加完毕得到反应溶液, 反应溶液在 90°C 常压下搅拌反应 24 h。反应结束后使用离心机离心 (9000 rpm) 获得沉淀产物, 为蓝黑色沉淀物, 后使用乙醇和水反复离心、洗涤, 直至上清液无色。获得的沉淀产物在真空干燥箱中干燥 12 h (干燥温度设定为 90°C)。经上述过程, 即可制备获得蓝黑色 DDA-Cu 粉末。

2 薄膜制备: 使用液液界面法制备 DDA-Cu 薄膜。液液界面包括底层有机相和上层水相。底层为 200 mL

CH_2Cl_2 有机配体溶液 (溶解有 5.5 mg DDA 配体), 上层为 100 mL H_2O 的盐溶液 (溶解有 13.5 mg $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)。反应体系静置 3 天后, 在界面处即可获得稳定的大面积 DDA-Cu MOF 膜。

结构表征: 扫描电子显微镜表明材料是一种针状晶体, X 射线光电子能谱表明, 材料含有 C、N、O、Cu 元素, 并且 Cu 元素处于正二价态。扩展 X 射线吸收精细结构表明, Cu 元素采用四配位形式。通过固态核磁 ^{13}C 谱解析了材料的 C 骨架, 并且使用 X 射线粉末衍射证明了 DDA-Cu 的良好结晶性, 并且 Pawley 精修表明晶体结构与模拟结构高度一致。高分辨透射电子显微镜捕捉到了 DDA-Cu 当中的结晶特性, 包括 (001) 晶面与 (100) 晶面。氮气吸附脱附曲线测得 DDA-Cu 的比表面积为 $\sim 127.3 \text{ m}^2/\text{g}$ 。通过二维掠入射广角 X 射线散射谱表明了, 界面法制备的 DDA-Cu 薄膜具备良好的结晶性, 使用高分辨透射电子显微镜以及高分辨原子力显微镜观察到了薄膜当中的晶格条纹, 表明其良好结晶性。

器件研究: 首先使用底电极硅片捞取 DDA-Cu 薄膜, 并采用 Keithley 4200SC 半导体参数分析仪对薄膜 I-V 曲线进行测试, 并计算获得薄膜电导率为 $9.4 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, 这一数值比传统一维 MOF 高至少两个数量级。基于良好导电性的 DDA-Cu 薄膜, 我们搭建了两电极柔性光电突触器件。使用聚对苯二甲酸乙二醇酯作为柔性介电层, 捞取 DDA-Cu 薄膜, 随后在薄膜上蒸镀金叉指电极, 得到薄膜器件。使用白光 ($20 \text{ mW}/\text{cm}^2$), 照射器件 10 s, 可以获得 3.6 nA 的电流增益, 光撤掉后, 光电流不会立刻消失, 而是显示出缓慢的下降, 具备记忆特性, 是一种类人视觉记忆功能。并且器件能够基于各种可调制的刺激 (光照时间、光强、光照频率、光照次数) 实现突触可塑性, 表现出由短程记忆向长程记忆的转变特征。使用一个“4×10”的器件阵列实现了对人类视觉图像记忆的模拟。器件阵列可以清晰解析出“21”的光源形状, 并且移除光源后, 对光源形状“21”仍存在记忆, 50 s 后仍存在清晰记忆。并且, 所搭建的突触器件具备良好的空气稳定性与抗弯折性能, 空气暴露 45 天后, 器件光电流仅有微弱下降, 弯折 500 次后, 光电流保持率为 70 %。

结论: 我们合成了一例具有 π -d 共轭纳米带层的一维导电 DDA-Cu。实验结果表明 DDA-Cu 是一种典型的窄带隙半导体 (带隙为 0.49 eV), 具备优异的导电性 (电导率为 $9.4 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$)。将 DDA-Cu 薄膜作为光电突触器件的有源层, 成功模拟了类人视觉成像、记忆功能, 器件表现出良好的空气稳定性与耐弯折性, 在类人视觉模拟器件中表现出巨大应用潜力。

D30-P13

eSWIR InP-Based InGaAs/GaAsSb Type II Superlattice Photodetectors

Jiaying Li^{*1,2}, Donghai Wu¹, Wengang Bi², Zhichuan Niu¹, Yingqiang Xu¹

1. Institute of semiconductor technology, CAS

2. The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen

In this poster, we demonstrate extended-short wave infrared (eSWIR) photodetector with $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{GaAs}_{0.6}\text{Sb}_{0.4}$. The InP-based p-i-n photodiode with a 100% cut-off response at $2.5 \mu\text{m}$ and a peak response at $1.57 \mu\text{m}$ was designed and grown by molecular beam epitaxy (MBE). Two hundred pairs of $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ (5-nm)/ $\text{GaAs}_{0.6}\text{Sb}_{0.4}$ (5-nm) type-II superlattice (T2SL) were used as the absorption region. In these quantum well structures, electrons and holes are spatially separated. The resulting spatially indirect type-II detection occurs at longer wavelength than the spatially direct intraband recombination in either GaInAs or GaAsSb. The peak photocurrent responsivity is 1.53 A/W , the peak quantum efficiency is 66%, and the maximum detection rate is $2.73 \times 10^{11} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$.

D30-P14

采用片上锯齿波导设计实现高功率半导体激光器的侧向模式控制

石建美、杨成奥*

中国科学院半导体研究所

高功率和高光束质量铽化物半导体激光器在高灵敏度的气体检测、自由空间通信和泵浦固态激光器或光纤激光器等领域具有巨大应用前景。最为常见的传统宽区激光器具有高输出功率和简单的制造工艺，然而受到自加热引起的热透镜效应、侧向载流子积累以及束丝效应等内在物理机制的影响，输出光束在高注入电流下具有大的侧向发散角和严重的远场扩展。实际上，侧向光束质量由腔内存在的侧向模态的形状和数量所决定。为了实现低侧向远场发散和高功率输出的半导体激光器，已报道有多种控制侧向模式的方法，包括光子晶体空间滤波、相位控制器、外腔结构、弯曲波导、微条阵列和 **Taper** 结构等。然而，大多方法在输出功率方面仍有限制，且设计与技术上较为复杂。本文中，我们报告了一种具有锯齿波导结构的低发散高功率铽化物量子阱激光器。依据近场分布将锯齿微结构集成到传统脊两侧，选择性地引入高阶模式光学损耗来弥补宽区激光器差的模式分辨能力。优化后的器件在室温下具有与相同输出孔径的宽区激光器几乎相同的连续输出功率，侧向远场发散显著降低，并且有效改善了远场随注入电流增加而恶化的问题，在整个功率范围内提供了稳定的模式控制能力。

D30-P15

溶胶-凝胶法制备 β -Ga₂O₃ 薄膜及其光电性能研究

张显佩*

西安理工大学

单斜晶系氧化镓 (β -Ga₂O₃) 是一种新兴的第四代超宽带隙半导体，具有较大的带隙、较快的饱和电子漂移速度、较大的热导率、较高的稳定性、较小的介电常数，在一些大功率电子器件和日盲探测器等方面表现出广阔的应用前景。在此次实验中将选择溶胶-凝胶自旋镀膜后退火工艺分别在硅片和 c 面蓝宝石上制备 β -Ga₂O₃ 薄膜。本论文系统探讨了影响 β -Ga₂O₃ 薄膜晶体质量和表面形貌的相关参数，包括溶胶浓度、旋涂层数以及退火温度的对比。通过 X 射线衍射 (XRD)、紫外光谱 (UV-Vis)、SEM 等手段进行表征，最终我们确定最佳溶胶浓度、最佳旋涂层数以及最佳退火温度。进而根据以上薄膜处理工艺制备了硅基和蓝宝石基底的日盲紫外探测器，通过半导体参数分析仪对其 I-V、I-t 特性以及光谱响应度等进行测试，经分析得出在 c 面蓝宝石基底上生长的具有 (-201) 取向的 β -Ga₂O₃ 薄膜具有较好的形貌质量以及光电特性。

D30-P16

A three-pronged strategy for neotype photoactive perovskite oxide design within the framework of internal electric field (IEF) engineering

Shuai Ma¹, Fengjin Xia^{*1}, Zhuoyue Wang²

1. Qingdao University of Science and Technology

2. College of Materials Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology

Getting the utmost out of solar energy should be one of green strategies with great promise to remove the threat of environmental pollution as well as energy shortage. Therefore, exploiting the state-of-the-art **photoactive materials (PAMs)** is one of the top priorities. Excellent energy conversion efficiency can be guaranteed only if the expected reactions (e.g. photocatalysis, photoelectric conversion, etc.) proceed faster than charge recombination. It follows then that novel PAMs should be more capable to separate photoinduced electron-hole (e-h) pairs thoroughly. Bismuth ferrite (BFO), a prime member in multiferroic perovskite oxide family, is especially in the spotlight by virtue of its narrower energy bandgap ($E_g < 2.7$ eV) than that of other kinds ABO₃-type counterparts, as well as the competence of efficient e-h separation benefiting from the nanoscaled intrinsic domain-walls.

Internal electric field (IEF) engineering is to utilize the self-built electric field generated by dipoles inside materials to facilitate charge separation. In this work, we investigate palladium (Pd) doping in BFO through

a three-pronged strategy to realize the enhanced IEF, providing an internal driving force for photogenerated carrier migration with no need for additional energy consumption. Firstly, the partial substitution of high-electronegativity element Pd in BFO can exert significant influence on electronic distribution and molecular dipole. Secondly, making Pd partially replace Fe-site of BFO can give rise to the unit cell structure changing and thus positive/negative electric centers adjusting of crystal lattice. Thirdly, fully making its induced multiferroic property of Pd-doped BFO work can intrinsically reinforce IEF, as long as its spontaneous polarization field is amplified properly.

Experimentally, single-layer $\text{BiFe}_{(1-x)}\text{Pd}_x\text{O}_3$ (BFP_xO , and x is Pd doping ratio) films as well as the heterostructure of BFP_xO coupling to hole-transporter NiO are synthesized by sol-gel technique. The influence of Pd doping ratio is systematically investigated, indicating that doping Pd can effectively restrain not only the valence state transition of Fe ions from trivalence to bivalence but also the generation of oxygen vacancies. It is demonstrated by XPS analysis that Pd cations replace Fe^{3+} in BFO instead of Bi^{3+} in the lattice structure of our product. In this case, BFP0.04O film with minimization of both oxygen vacancies and $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ratio could substantially reduce the leakage current by three orders of magnitude compared to pure BFO.

Based on a set of light absorbance spectra of BFP_xO thin films measured in visible-light (VIS) wavelength range, E_g can be extracted from corresponding Tauc plots. Apparently, Pd doping has shrunk E_g from 2.6 eV of BFO down to the minimum 2.1 eV of BFP_xO with $x \sim 0.06$, which implies that doping Pd into BFO is an effective solution to improve the light absorption of BFO for photoelectric conversion with high efficiency.

Open circuit voltage decay (OCVD) technique provides the possibility to explore the internal recombination mechanisms, helping to distinguish the different types of relaxation dynamics of BFPO. A dual-channel relaxation phenomenon has been observed, i.e. the fast-decay channel and the “overlong” delayed-decay channel. Meanwhile, the former mechanism is markedly influenced by Pd doping ratio, whereas the latter one is basically Pd-ratio-irrelevant.

Moreover, the photoelectric response of BFPO/NiO heterojunction can reach the optimized level when x gets to 0.05, i.e. the response time constant can be lowered down to 10 ms, and the detectivity exceeds 2×10^8 Jones, respectively. It confirms an overwhelming photoresponse performance of BFPO over other VIS-active perovskite oxides.

As mentioned above, we try to adjust partial substitution of Pd cations in order to do a fine manipulation on the distortion lattice structure, and consequently elevate IEF of BFPO products. Such comprehensive strategy can make BFO as the “new favorite” PAM in VIS optoelectronics applications, aiming to further boost the developments of correlative areas such as photodetection, photocatalysis, photovoltaics, and so on.

D30-P17

利用开壳单线态基态的聚合物提升有机光电探测器增益

党纤曦、邓先宇*

哈尔滨工业大学（深圳）

光电探测器是智能光电系统中的关键组件，其中光电倍增型探测器对于微弱光信号的检测至关重要。尽管在该领域已经取得了显著进展，但开发出同时具有高增益和低噪声电流的光电倍增型有机光电探测器仍然充满挑战。本研究在有机体异质结光电探测器中引入了一种具有开壳单线态基态的新型共轭聚合物 PDN 作为活性层第三组分，利用其室温下的热致激发三线态，成功降低了器件的噪声电流并提升了其光电增益。在 1.5 V 偏压下，基于 PDN 的三元光电探测器件在 710 nm 处的光电增益是对照组的 22 倍，比探测率高达 1.4×10^{14} Jones。结果表明，本文提出了一种利用开壳单线态基态化合物提升有机光电探测器光电增益的思路。D30-P02

D30-P18**片上集成双层亚波长光栅的高偏振性能中波红外探测研究**刘家同¹、郝瑞亭^{*2}、陈刚¹、徐俊¹、王雯²、盛鹏程²、李惠子²

1. 云南师范大学物理与电子信息学院
2. 云南师范大学能源与环境科学学院

中红外(MWIR)偏振探测技术将偏振探测技术与中波红外探测技术融合,通过异质集成的方式实现亚波长金属光栅和探测器的片上集成,具有体积小、质量轻,机械稳定性高等优势,可实现多偏振角度的同时探测。我们建立了中波红外探测器片上集成双层亚波长光栅的仿真模型,该偏振光栅为带有增透涂层的 Al-SiO₂-Al 双层亚波长金属光栅,优化后的光栅结构参数为:高度 150nm,上下金属层厚 100nm,周期 300nm,线宽 150nm,深宽比为 1:1。利用时域有限差分(FDTD)方法模拟和优化了不同光栅参数对探测器的影响,得到的结果用类法布里-珀罗(F-P-like)共振理论在物理意义上进行了定性解释。优化后的光栅在 3-5 μ m 波长范围内的 TM 偏振透过率高于 80%,消光比大于 60dB,显示了极其优异的偏振特性。利用这种超结构可实现片上集成式的中红外偏振光检测。

D30-P19**五元锑化物 AlGaInAsSb 的分子束外延生长研究**余红光^{1,2}、杨成奥^{*1,2}

1. 中国科学院半导体研究所
2. 中国科学院大学

锑化物材料体系凭借窄带隙、低有效质量、高载流子迁移率、及匹配的晶格常数等优势,成为了一类重要的光电子材料体系。其中五元合金 AlGaInAsSb 锑化物材料因在保证与衬底晶格常数匹配的情况下,具备导带阶和价带阶独立可控的优势,成为光电二级管器件的重要势垒层材料。例如,红外锑化物多量子阱激光器的量子势垒采用 AlGaInAsSb 材料实现阈值电流和输出功率的明显改善;以及红外锑化物光电探测器的 M 型势垒 InAs/GaSb/AlSb/GaSb 超晶格也是利用 AlGaInAsSb 材料的带阶独立可调的优势提升探测性能。五元 AlGaInAsSb 材料虽然具有如此多的应用价值,但是其具有严重的固溶隙问题,使其还不能完全发挥该材料的应用优势。本研究基于分子束外延设备对五元 AlGaInAsSb 材料进行随机合金和数字合金生长,并进行材料的物性对比研究。研究发现五元随机合金(体材料)确实难以实现高质量的外延生长,容易出现材料组分偏析;数字合金则表现出稳定的单相外延生长。同时、我们基于高质量的五元数字合金 AlGaInAsSb 材料,针对 2.7 微米设计了相应的器件结构,并进行器件外延和制备。最后经测试,我们获得了室温连续输出 485mW/单面(未镀膜)的高功率 2.7 微米激光器。

D30-P20**基于表面等离子激元和 F-P 腔的多光谱滤波结构仿真设计**陈刚¹、郝瑞亭^{*2}、刘家同¹、徐俊¹、王雯^{2,3}、盛鹏程²、李惠子²

1. 云南师范大学物理与电子信息学院
2. 云南师范大学能源与环境科学学院
3. 中航凯迈(上海)红外科技有限公司

为实现对目标更精确的识别,红外探测器需要获取目标的光谱信息,其中最具代表性的是红外多光谱/高光谱技术,它也是第四代红外探测发展的重要方向之一。通过 FDTD 软件,分别基于表面等离子激元和 F-P 腔结构仿真设计了覆盖 2-5 μ m 波段的 3 通道滤波结构。基于表面等离子激元,我们提出了一种 Al-SiO₂ 的双层滤波结构,分析了中心波长、半高宽随周期、宽度、金属层厚度的变化趋势。仿真结果表明,中心波长分别为 2.0 μ m、3.2 μ m、4.8 μ m;基于 F-P 腔的结构设计中,以 Si-SiO₂ 作为分布式布拉格反射镜(DBR),通过调节中间腔 SiO₂ 的厚度设计中心波长,分别为 2.3 μ m、3.1 μ m、4.2 μ m,半峰宽小于 50nm, DBR 结构

中 Si 和 SiO₂ 膜层厚度分别 0.288 μ m 和 0.72 μ m。基于本文设计的滤波结构工艺实现难度小, 极易在红外焦平面芯片表面进行微纳集成, 在多光谱/高光谱红外探测器成像领域具有广阔的应用前景。

D30-P21

GaAs 基高功率连续输出阵列半导体激光器

王伟远、李利、张恒、鲍亚楠、成磊*

晋城市光机电产业研究院

808nm 波长激光器作为 Nd:YAG 固体激光器理想泵浦源, 在医疗美容, 现代工业加工以及军事武器对抗等领域中有着较为广泛的应用, 市场应用前景巨大。因此, 在实际应用中对 808nm 激光器在更大功率, 更高的工作效率方面有着更迫切的需求, 该文报道了本研究团队采用金属有机物气相沉积 (MOCVD) 技术, 生长了 GaAs/InAlGaAs 量子阱外延结构, 采用优化后的外延结构制备出腔长 0.8 微米, 填充因子 20%, 19 个发光点的阵列 Bar 条, 该器件采用 CS 封装模式, 在室温 (25°C) 下连续工作, 注入电流 100A 下, 发光功率 98W, 电光转换效率 46.67%, 斜率 1.27W/A。

D30-P22

Low dark current X-ray detector based on CsPbI₂Br/CsPbI_{2.5}Br_{0.5} heterojunction

De Ning, Yong Xiang*, Xinyu Wang, Ting Han, De Ning

University of Electronic Science and Technology of China

Perovskite, as an emerging optoelectronic material, has advantages such as high carrier mobility, high absorption coefficient, and easy synthesis. Therefore, it has great potential for application in the field of X-ray detection imaging. However, currently perovskite devices have a high dark current density, far exceeding the requirements of commercial thin film transistor (TFT) for dark current ($< 1 \text{ nA cm}^{-2}$), which directly affects imaging quality. To address this issue, we successfully constructed a CsPbI₂Br/CsPbI_{2.5}Br_{0.5} heterojunction hundred-micron thick film using ultrasonic spraying technology from bottom to top. Through this heterojunction strategy, we controlled the interface band structure to achieve a low dark current of 0.87 nA cm^{-2} . In addition, the design of gradient band structures can significantly improve the carrier transport performance, increasing sensitivity to $22218.1 \mu\text{C Gy}_{\text{air}}^{-1}\text{cm}^{-2}$, and achieving an ultra-low detection limit of $4.59 \text{ nGy}_{\text{air}}^{-1}$, which is lower than most perovskite devices. Finally, we successfully integrated this all-inorganic perovskite heterojunction thick film onto a TFT with a resolution of $64 * 64$ and pixels of $500 * 500$, achieving low-dose real-time X-ray imaging. This study provides a new approach for designing and manufacturing low dark current and high sensitivity X-ray detectors, which helps to promote their widespread application in medical, safety testing, and other fields.

D30-P23

梯状二氟茚并噻吩-4,9-二酮衍生物: 一种高迁移率 n 型聚合物半导体的新型受体体系

李文豪¹、陶欣²、刘云圻¹、陈华杰²、赵岩*¹

1. 复旦大学材料科学系

2. 湘潭大学化学学院

梯状芳香二酮 (LADK) 具有平面 π -拓宽的几何构型、高度缺电子特征以及各种诱人的光电特性, 被证明是构建小分子有机电子传输材料的理想候选材料, 但有关于将这些结构基团直接整合到 n 型聚合物中的报道却很少见。我们通过开发两种新型给体-受体型聚合物, 证明了这种受体体系可以实现单极性 n 型特性的可能。在这两种聚合物中, 新开发的 LADK 单元被命名为 3,8-双(2-癸基十四烷基)-5, 10-二氟-s-引达省并[1,2-b:5,6-b']二噻吩-4,9-二酮 (FIDTO-R), 被当作受体单元。基于此受体得到的聚合物具有深层的 LUMO 能级 (低至 -3.84 eV)、紧密的 π - π 堆积 ($\sim 3.57 \text{ \AA}$) 以及均匀的纳米纤维状表面形貌。上述优势造

就了出色的单极性 n 型特性, 电子迁移率分别高达 0.27 和 $1.01 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 倒相器增益分别高达 141 和 80。这些记录值在 n 型聚合物场效应晶体管和相关倒相器电路中名列前茅。该研究表明, 二酮功能化的芳烃(如 FIDTO-R 及其类似的 LADK 衍生物)是一类综合性能优异的高迁移率 n 型聚合物构建单元。

D30-P24

超高双折射人工晶体 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiS}_3\text{-ySe}_y$ 系列复杂硫化物晶体生长探索

王香梅、刘昕、王玉泽、牛善远*

南京大学现代工程与应用科学学院

光学各向异性是构筑诸多线性和非线性光学元件的基础。近年来, 六方结构复杂硫化物中极大的本征光学各向异性受到了广泛关注[1]。其中, 准一维结构 BaTiS_3 晶体在中远红外波段的双折射高达 0.76, 非化学计量比化合物 $\text{Sr}_{1+x}\text{TiS}_3$ 中的双折射可高达 2.1[2]。此类材料的可控晶体生长方法仍是亟待突破的难点之一。本次汇报将集中在 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiS}_{3-y}\text{Se}_y$ ($x=0-1.0$, $y=0-1.0$) 系列复杂硫化物晶体生长工作的探索。我们分别尝试了化学气相传输法、助熔剂法以及坩埚下降法等晶体生长方法, 实现了亚毫米级单晶的生长。

[1] Niu, S.; Joe, G.; Zhao, H.; Zhou, Y.; Orvis, T.; Huyan, H.; Salman, J.; Mahalingam, K.; Urwin, B.T.; Wu, J.; Liu, Y.; Tiwald, T.E.; Cronin, S.B.; Howe, B.M.; Mecklenburg, M.; Haiges, R.; Singh, D.J.; Wang, H.; Kats, M.A.; Ravichandran, J. *Nature Photonics*. **2018**, **12**: 392.

[2] Mei, H.; Ren, G.; Zhao, B.; Salman, J.; Jung, G.Y.; Chen, H.; Singh, S.; Thind, A.S.; Cavin, J.; Hachtel, J.A.; Chi, M.; Niu, S.; Joe, G.; Wan, C.; Settineri, N.S.; Teat, S.J.; Chakoumakos, B.C.; Ravichandran, J.; Mishra, R.; Kats, M.A. *Advanced Materials*. **2023**, **35**: 2303588.

D30-P25

MoSe₂-WSe₂ 横向异质结的可控合成和激子特性研究

甘子旻*

湖南师范大学

化学气相沉积技术在制备高质量、性能优异的光电二维材料方面显示出广阔的前景, 特别是通过边缘外延技术可实现原子层厚度的横向异质结构的可控制备。在此我们通过控制氧化物前驱体的分压, 实现了具有高质量 1D 边界的结构的 MoSe₂-WSe₂ 横向异质结。利用近场拉曼/光致发光光谱技术实现了原子级薄半导体异质结内的激子跃迁和扩散复合行为的可视化成像, 揭示了异质结内激子的单向转移行为, 展现了 MoSe₂-WSe₂ 横向异质结作为激子二极管的潜力。

仅发表论文

D30-PO01

视网膜启发的器件内宽光谱处理, 通过挠曲电光电子学效应实现图像精确识别

郭鹏文^{1,2}、翟俊宜^{*1,2}

1. 中国科学院北京纳米能源与纳米系统研究所

2. 中国科学院大学纳米科学与技术学院

神经形态视觉系统是模拟视觉感知和识别任务的有希望的候选者, 特别是二维(2D)半导体成像传感器, 由于其可调谐的电学/光学特性和异构集成的兼容性。传感-存储-处理单元的器件集成和图像传感器的准确识别成为模拟视觉系统的关键障碍; 因此, 需要发展更先进的神经形态结构。在这里, 我们展示了一种基于视网膜的 2D 二硫化钼(MoS₂)视觉传感器, 该传感器能够利用挠曲电光电子学效应同时实现宽光谱感知和预处理功能。挠曲电光电子学传感器有意识地引入三维应力固化(3DSS)技术, 实现宽光谱传感和高光响应特性, 提取独特的紫外信息进行图像预处理。此外, 由于预处理的高效性, 人工神经网络可以将识别准

确率从 35%显著提高到 90%。这项工作为开发具有实时交互和高效执行的新型挠曲电光电子学人工视觉系统奠定了基础。

D30-PO02

Surface Management of HgSe Colloidal Quantum Dots Enables Short-Wave Infrared Photodetectors

Mengxuan Yu, Xinzheng Lan*

Huazhong University of Science and Technology

HgSe colloidal quantum dots (CQDs) have emerged as crucial materials for photodetectors. However, the heavily n-type doping has limited the performance of photodetectors in the short-wave infrared regions. This article addresses the n-type doping behavior of HgSe CQDs, which was significantly mitigated by introducing strong electron-withdrawing molecule. This intervention led to a transition from mid-wave infrared gap to a short-wave infrared interband gap. Ultraviolet photoelectron spectroscopy confirmed the drastic changes in doping concentrations, corroborated by Fourier-transform infrared spectroscopy. A range of tunable short-wave infrared HgSe CQDs was achieved by adjusting the temperature, ultimately resulting in the development of short-wave infrared photodetectors.