
偏振智能视觉新突破——二维黑砷磷实现“感存算一体”神经形态芯片

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42325.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

偏振智能视觉新突破——二维黑砷磷实现“感存算一体”神经形态芯片。 导读

国科大杭州高等研究院、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所等团队合作，成功研制出基于二维黑砷磷的偏振敏感神经形态光晶体管。该器件利用材料本征的各向异性以及偏振和栅压等多维度输入控制，高效地模拟了类生物突触的可塑性，实现了从短期可塑性到长期可塑性的转变。该工作首次展示了在单器件层面中偏振传感、神经形态计算和成像功能的协同集成，为可扩展、低功耗、脑启发式光电技术提供了关键的基础平台。基于此构建的混合光电神经网络在图像分类和重建任务中表现出高精度的展示，同时还能实现高保真隐蔽目标偏振成像，有望在自动驾驶、光通信和生物启发成像等领域开辟全新的应用前景。

该工作以Polarization-Sensitive Neuromorphic Vision Sensing enabled by Pristine Black Arsenic-Phosphorus为题，发表在国际光学顶尖期刊《Light: Science Applications》上。中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所特别研究助理张拾为论文的第一作者，国科大杭州高等研究院陈效双研究员、李冠海研究员、张力波副研究员和中国科学院上海技术物理研究所王林研究员为共同通讯作者。

研究内容

随着人工智能和自动驾驶技术快速发展，传统视觉传感器在复杂光照环境下存在眩光干扰、视觉清晰度不足等瓶颈。偏振敏感神经形态视觉技术通过区分光偏振状态，在提升视觉对比度方面展现独特优势，但传统偏振探测系统受限于材料集成度低、性能有限等问题，亟需创新解决方案。受生物启发的模拟视神经传感器，其核心目标是模仿人眼等生物视觉系统，将信息的感知、处理和记忆功能融为一体，实现对视觉信息进行实时且高效的解读。这种边感知边计算的模式，能够有效减少冗余数据产生，实现本地化、低能耗的处理，对于自动驾驶、机器人视觉和先进监控等需要快速决策的场景具有显著优势。在现代光子技术中，光的偏振态编码了除强度、波长和相位之外的独特信息。虽然人眼对偏振信息感知能力有限，但偏振敏感神经拟态视觉传感器则能主动检测和处理这一信息，从而实现消除眩光、增强对比度，以及在复杂环境中提取隐藏细节等超越传统视觉系统的功能。

实现高性能的偏振敏感神经拟态视觉系统面临三大挑战：

尺寸与集成化挑战：传统的偏振敏感系统需要依赖庞大的偏振片、滤光片和外部处理单元。这

些复杂的组件限制了系统的微型化和可扩展性，难以集成到紧凑的便携式设备中。

材料固有局限：传统的块体各向异性晶体，如双折射材料，往往尺寸较大且光学特性固定，不适用于小型化、可调谐器件。而通过人工设计超亚波长结构的超材料，其性能又受制于光刻分辨率、带宽窄和结构缺陷。

缺乏多维度控制：此前的偏振敏感器件在设计上难以实现多维度输入控制，即同时利用栅极电压、光强度和光偏振态来调控功能，这阻碍了开发高效、紧凑和多功能神经形态系统的进程。

有鉴于此，研究团队成功研制出一种基于本征各向异性二维黑砷磷纳米片的新型偏振敏感神经形态光晶体管。该团队充分利用了二维材料的原子级厚度和固有各向异性，通过多维度输入控制，构建了一个集成偏振传感、神经计算和成像功能于一体的高性能光电平台。

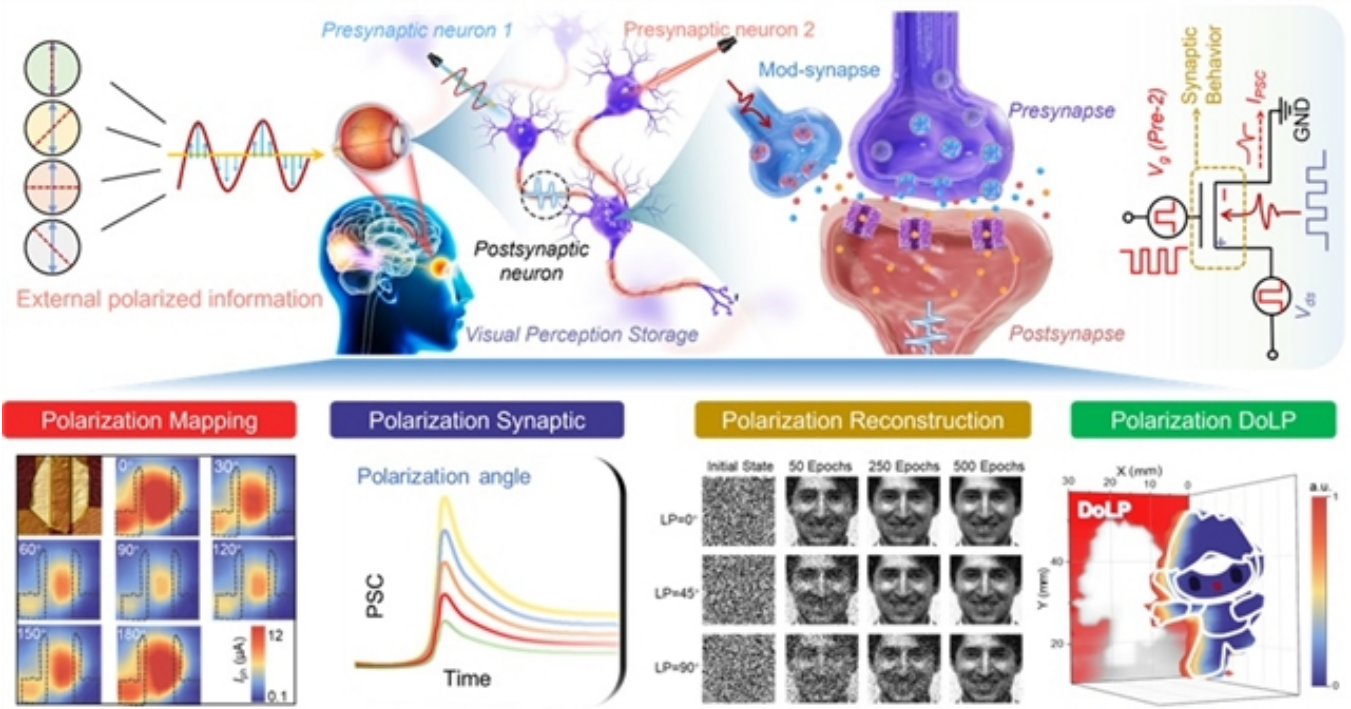


图1. 生物启发偏振敏感神经形态视觉系统

高质量二维黑砷磷实现高选择性偏振感知

团队通过改进的化学气相传输方法，辅以晶种诱导生长策略和精确的原料控制，显著提升了黑砷磷合金的晶体质量和成分均匀性。该器件充分利用了材料的本征各向异性，在近红外通信波段表现出优异的光电性能和极强的偏振选择性，其响应度处于先进水平。新的合成方法显著提升了晶域尺寸，降低了缺陷密度，为实现鲁棒的线性二色性检测提供了基础，避免了传统光电探测器所需的复杂纳米加工。

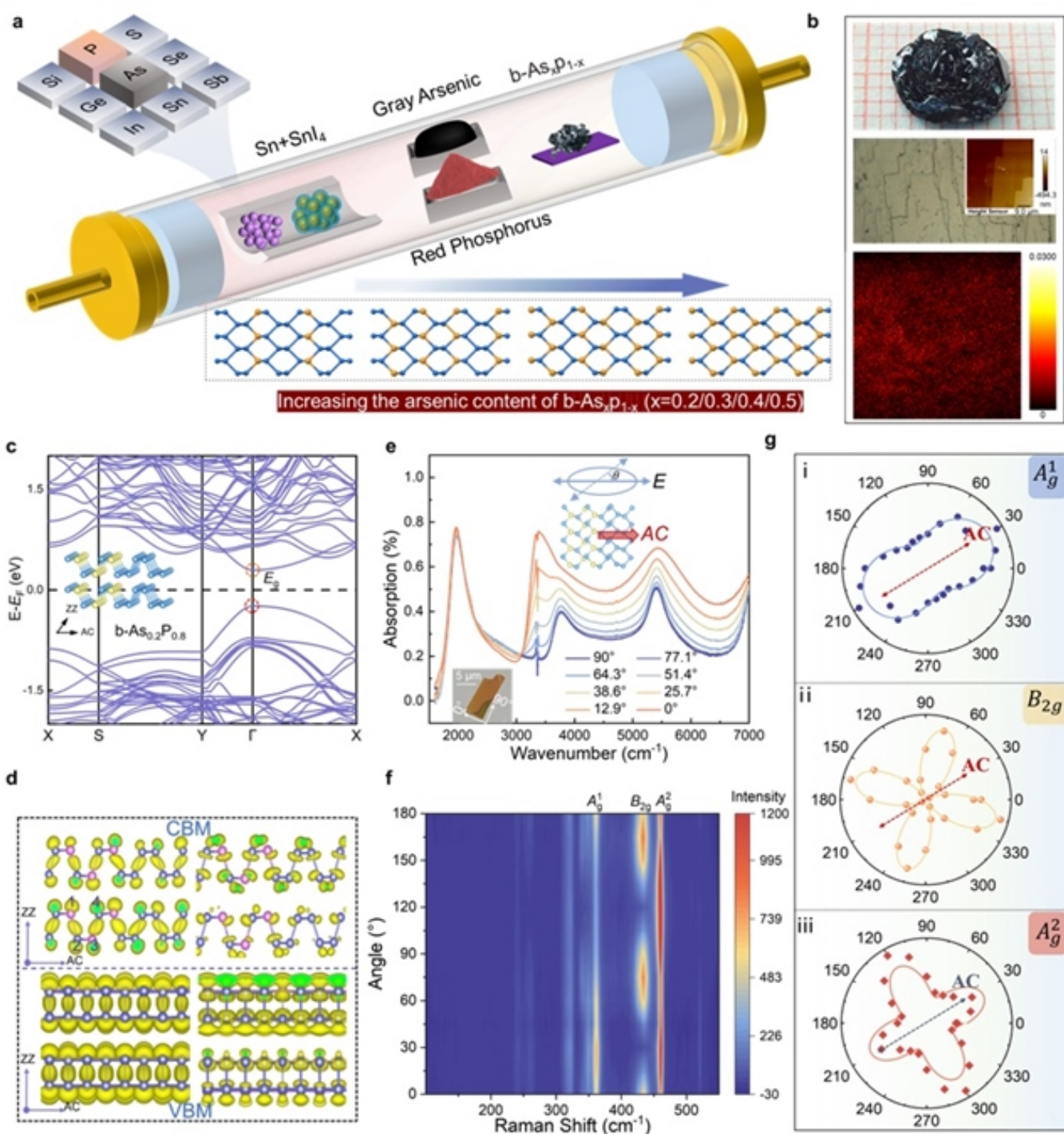


图2. 黑砷磷晶体形貌、能带及本征各向异性行为表征

多维度输入模拟类生物神经突触功能

该光晶体管以其多维度输入控制（光偏振、栅压）实现了对生物突触行为的精准模拟。通过光脉冲刺激，器件成功模拟了生物突触的短期可塑性（STP，如配对脉冲易化）。配对脉冲易化值达到了行业先进水平。通过光学持续性触发，该器件能够实现从瞬态的短期可塑状态到稳定的长期可塑状态的转变，这是记忆固化的基础。此外，其实现光学可塑性的能耗极低，展现出在低功耗应用中的巨大潜力。栅极电压能够有效调控载流子复合动力学，进而改变突触行为的保持时间

，促进短期可塑性向长期可塑性的转变；而偏振角度的切换则可直接调控突触权重的变化，实现对神经可塑性的精准可编程控制。

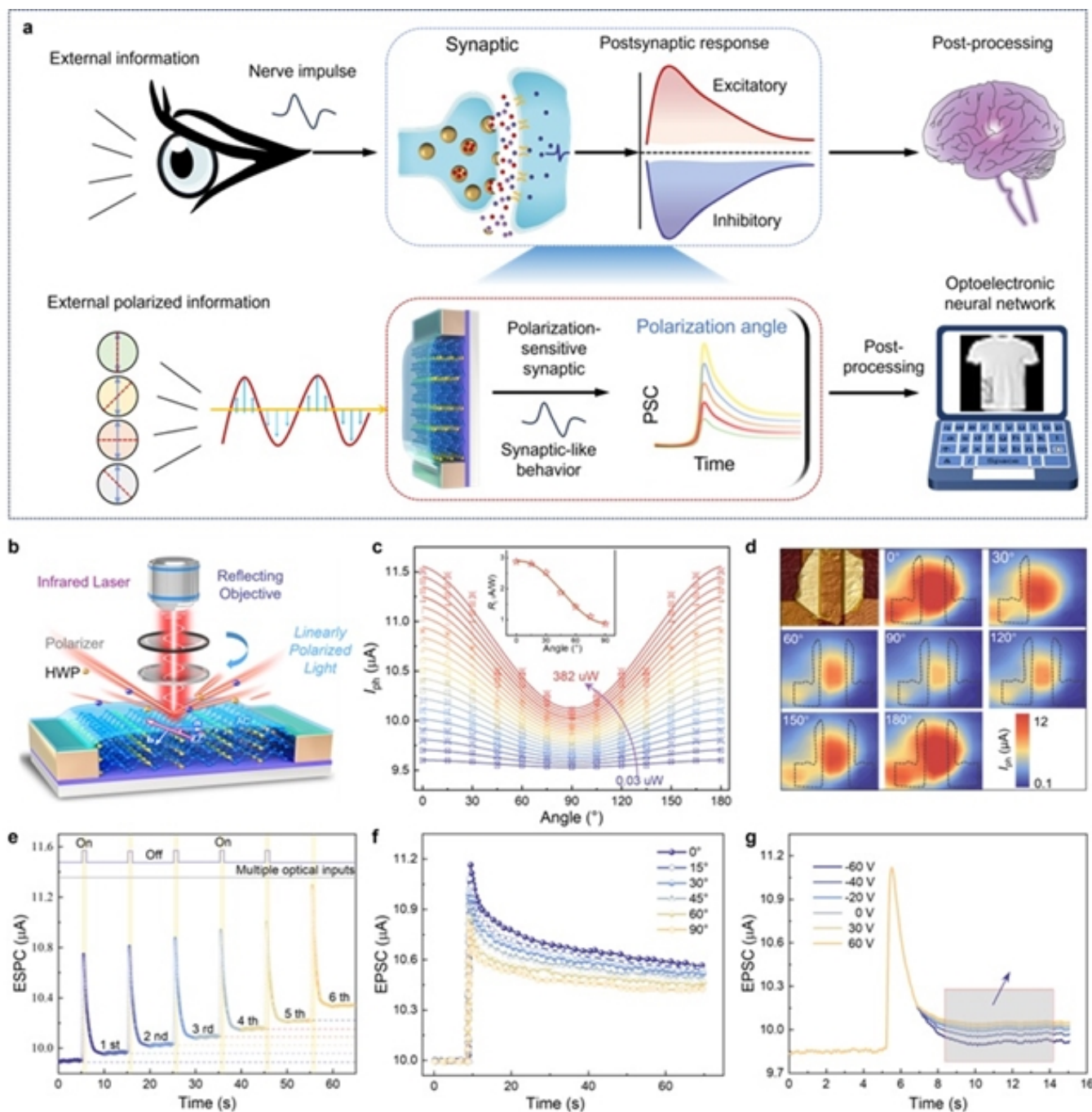


图3. 黑磷光电晶体管的偏振光电仿生突触功能

混合光电网实现智能计算与高保真隐蔽成像

该器件的神经拟态特性使其能够作为基础功能单元，构建出新型的混合光电神经网络，直接将偏振信息编码为神经网络的权重参数。在图像分类任务（Fashion-MNIST数据集）中实现了高精度，同时人脸图像重建（Yale Face Database）中也表现出卓越的重建能力。这表明偏振态编码策略可以充分利用器件的动态响应范围，扩大权重参数的调控维度

。团队演示了一种基于斯托克斯参数（Stokes parameter）重建和线性偏振度（DoLP）映射的偏振分辨成像技术。该技术能有效捕捉和可视化常规成像系统不可见的复杂偏振特征，甚至实现对隐蔽目标的高保真重建。这种功能对于在光学挑战环境中检测细微特征至关重要。

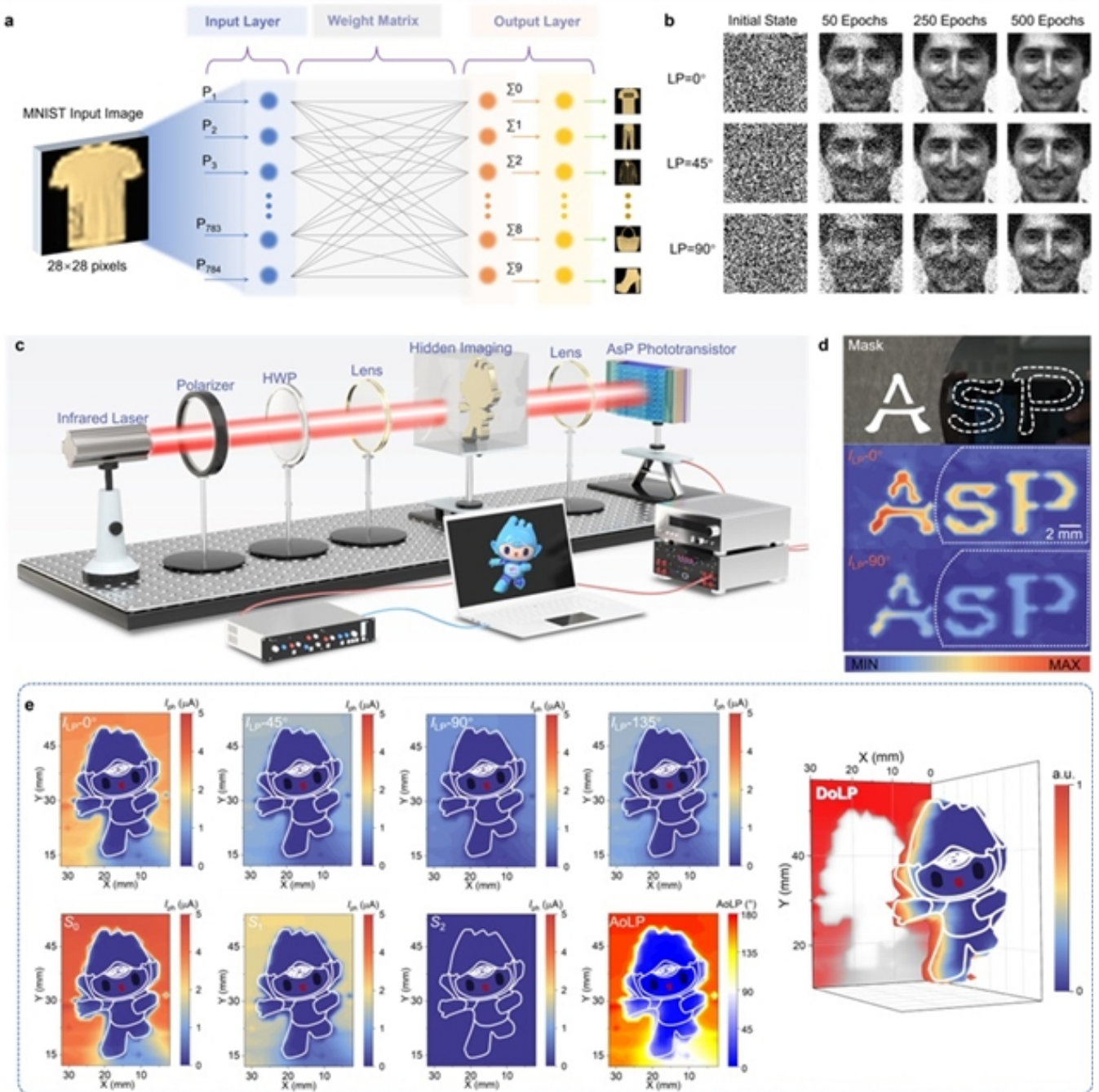


图4. 混合光电神经网络重构及Stokes parameter重建

总结与展望

该工作为高性能神经拟态视觉系统构建了一个基础平台，实现了偏振成像、偏振计算和偏振通信功能的无缝集成。未来，该研究不仅为开发高度集成、低功耗的智能光电技术提供了宝贵的参考

，而且为后续大规模器件集成（如偏振敏感传感器阵列）和系统级芯片（System-on-chip）的开发奠定了实验基础。这项发现有望在自动驾驶、光通信、生物医学成像以及远程传感等前沿领域中，推动脑启发式光电技术的实际应用。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02125-0>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：陈效双等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发