飞秒激光原位沉积制备双模光电器件

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41291.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！

飞秒激光原位沉积制备双模光电器件。 导读

近日，清华大学机械系邹贵生、刘磊、霍金鹏团队提出微区飞秒激光沉积（M-FLD）技术，将二维黑磷微靶材在器件附近烧蚀并原位沉积纳米颗粒到MoS2沟道，结合h-BN纳米掩膜构建空间非对称0D/2D异质结构。该两端器件仅需反转电压方向即可在高速光电探测与神经形态视觉传感之间切换，兼具快速感知与光记忆能力，为高集成、可重构的类人视觉系统提供了新的微纳制造平台。相关研究成果以Dual-mode 0D/2D Spatial AsymmetryOptoelectronic Device Enabled by in situ Microzone Femtosecond Laser Deposition 为题发表于国际顶尖学术期刊Light: Science Applications。清华大学2022级博士生李泽华为论文第一作者，刘磊、霍金鹏为论文共同通讯作者。

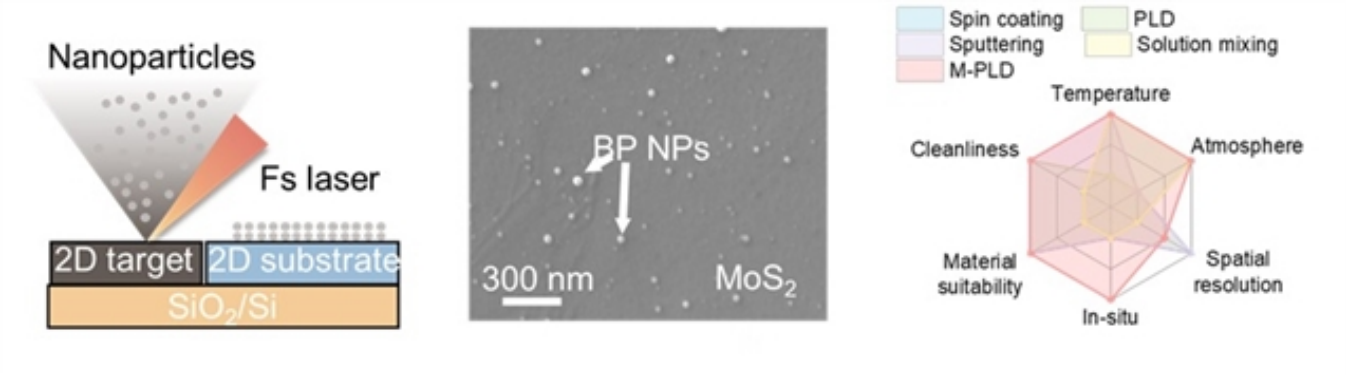
研究背景

在人工智能视觉、类人机器人与边缘计算日益走向端侧部署的趋势下，下一代视觉硬件不能只看见外界信息，还要在传感端完成一定程度的预处理与记忆。因此，把高速光电探测（PD）与神经形态视觉传感（NVS）集成到同一片上器件，成为推动感知—计算融合的关键路径之一：前者负责对快速变化的光信号进行高带宽捕获，后者则通过类突触可塑性实现光刺激的短时/长时记忆与学习，为降低数据搬运开销与系统能耗提供器件层面的可能。然而，现阶段多数学术工作仍停留在分立器件/分立模块组合，导致系统体积、连线与功耗难以进一步压缩，且功能切换往往依赖外部复杂电路或多端口控制，不利于工程落地。

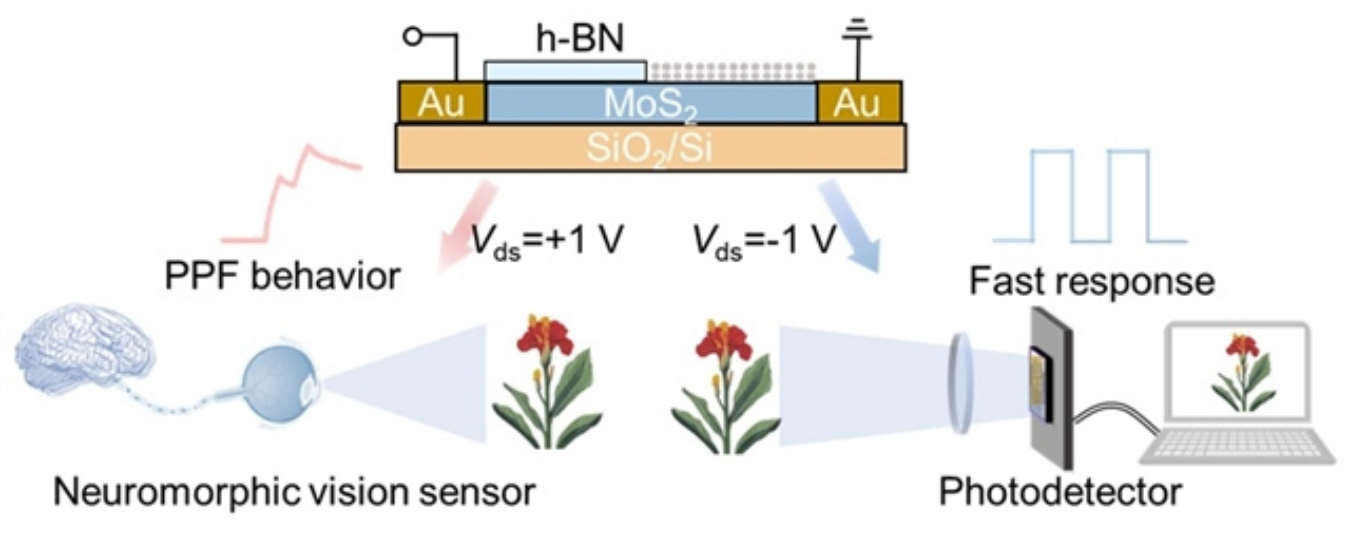
更核心的共同难题在于：快响应与可记忆在物理机制上天然冲突，同时又受制于可制造性。高速探测需要光生载流子快速产生与消散、低陷阱态与低滞后；而神经形态记忆通常依赖陷阱/界面态、光栅效应或势垒调制来实现可塑性与持久性，这往往会牺牲响应速度与恢复时间。与此同时，为实现双模功能，研究者常引入三端结构、复杂异质结/多层堆叠或溶液法组装0D/2D材料，但这些路线普遍面临工艺步骤多、选区沉积/位置可控性差、溶液残留带来污染与一致性不足等问题，最终限制了器件在微区精准构建、可重复制备的可扩展性。

研究亮点

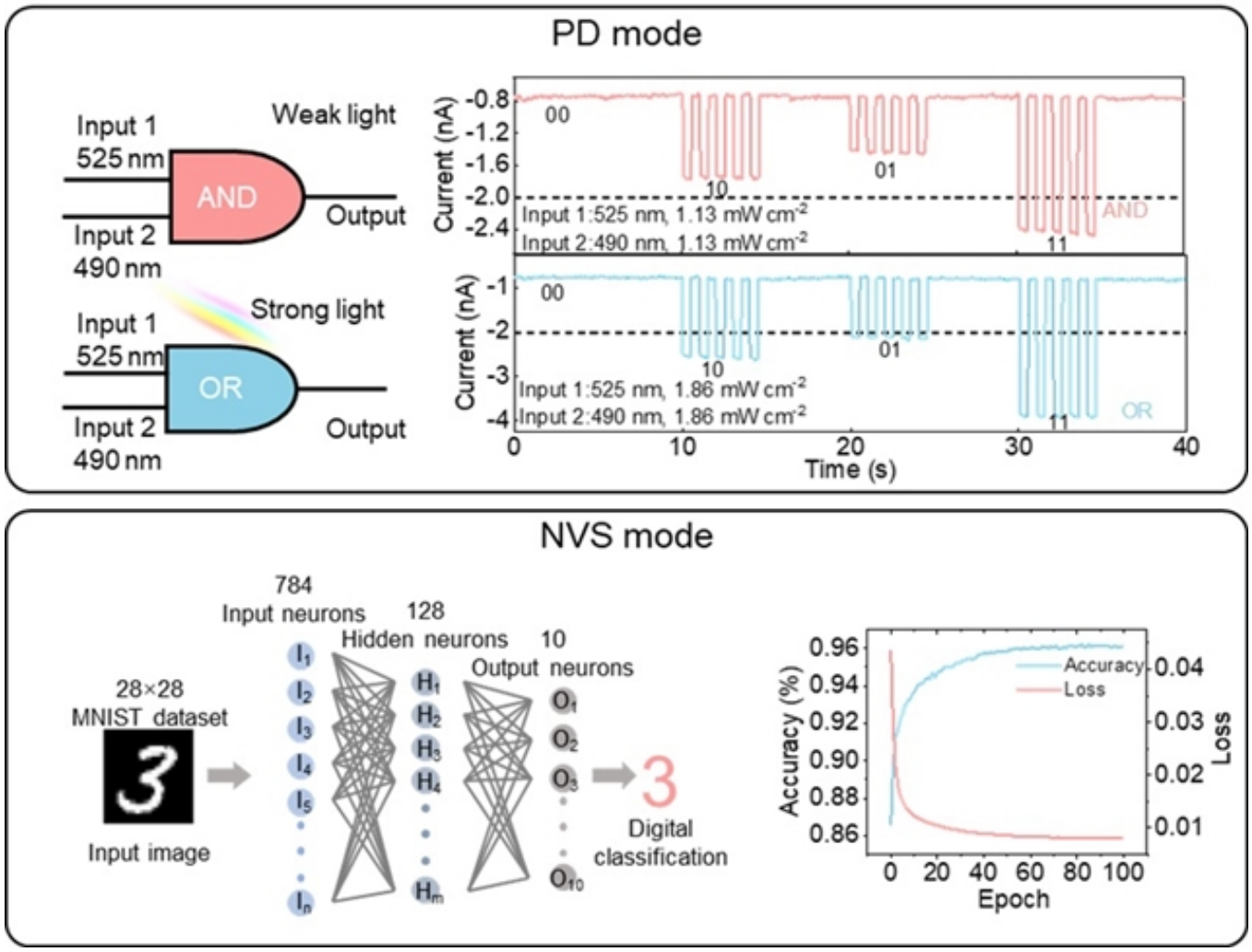
针对上述瓶颈，研究团队提出了一种微区飞秒激光沉积（M-FLD）新策略：以微尺度黑磷（BP）作为微靶材，利用飞秒激光脉冲实现靶材的局域烧蚀与纳米颗粒生成，并在器件附近完成原位、微区、无溶液的纳米颗粒沉积。该方法相当于把类似于PVD的材料转移过程进行微型化与片上化，使得0D纳米颗粒能够以微米级空间精度集成到二维MoS2沟道上，为可阵列化的异质结构制造提供了更可控、更洁净的工艺路线。



进一步结合h-BN纳米掩膜进行局部遮挡，构建出具有明确功能分区的空间非对称0D-BP/2D-MoS2异质结构：一侧保持洁净沟道与快速响应，另一侧引入界面调制与陷阱与光栅效应，为同一两端器件实现快探测与可记忆并存奠定结构基础。该器件实现了双模工作机制：无需额外栅极或复杂外围电路，仅通过反转Vds方向，即可在高速PD模式与NVS模式之间切换。在反向偏置下，器件表现为高带宽的光电探测单元，适用于高频光信号感知；在正向偏置下，BP纳米颗粒引入的界面势垒调控与光栅效应触发类突触可塑性响应，实现感知与记忆一体的神经形态视觉传感。



基于上述工艺过程，展示了器件在快速光学感知与类脑计算两类功能上的统一实现：在快速光信号驱动下，器件能够输出对应的时间序列响应，实现AND与OR等基本光学逻辑运算；同时，器件的可塑性/记忆型电学特征为神经形态计算提供了物理基础，可将手写数字等视觉输入映射到神经网络进行识别推理，从而体现其兼具高速光学信息处理与智能感知的潜力。



总结与展望

总体而言，本工作以微区飞秒激光沉积（M-FLD）为核心，将0D纳米颗粒的原位沉积与h-BN掩膜的空间隔离设计相结合，在两端器件中实现了可通过电压方向切换的PD/NVS双模视觉功能，为制造可控、结构简化、功能可重构的片上视觉单元提供了新的技术路线。

展望未来，围绕工程化与规模化应用仍有三条关键推进路径：其一，通过光束整形、沉积距离与靶材几何优化，实现纳米颗粒尺寸/密度与覆盖边界的更精确可编程控制，以提升阵列一致性与良率；其二，系统评估环境稳定性、循环可靠性与封装策略，建立面向长期运行的器件—材料退化模型；其三，将M-FLD拓展到更多材料体系与多层异质集成，进一步在感知、存储、预处理层面实现更高阶的可重构视觉计算，为边缘智能与类人机器人提供低功耗、高集成的硬件底座。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-026-02195-8

作者：邹贵生等 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转发