

氮化镓双功能智能传感：快与慢的单片集成

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37328.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！

氮化镓双功能智能传感：快与慢的单片集成。

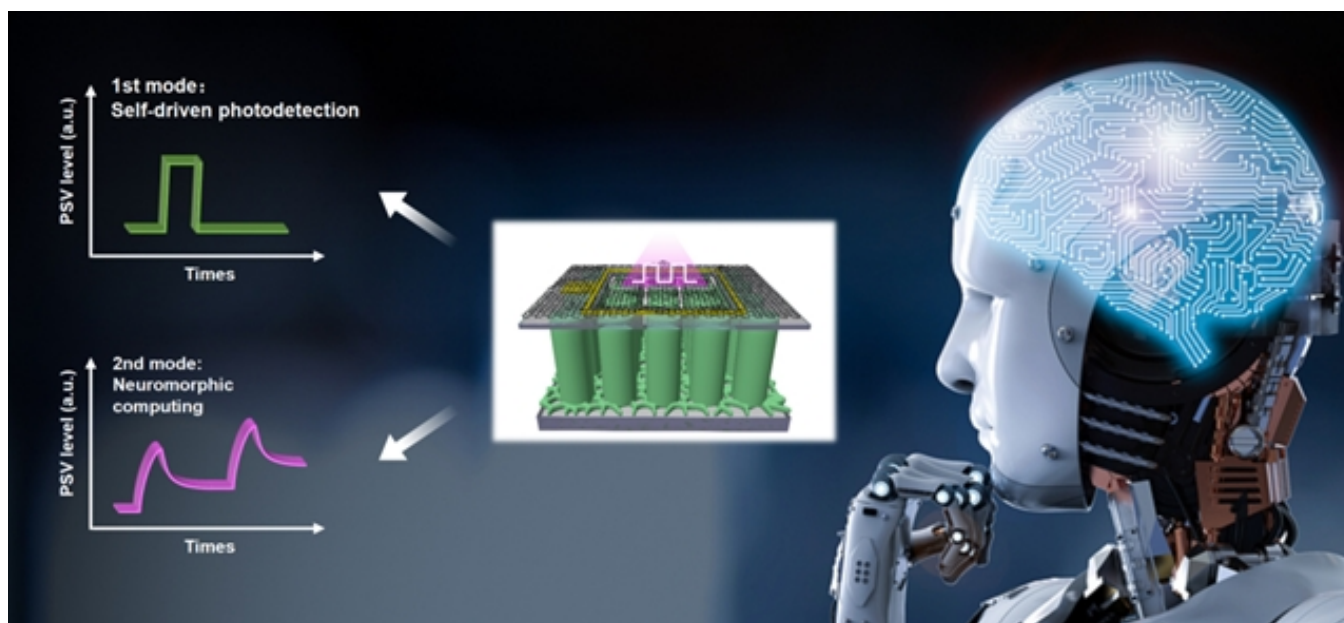


图1：氮化镓双功能智能传感

导读

近期，针对光电传感器快速与慢速响应之间固有时间尺度失配的挑战，中国科学院苏州纳米所赵宇坤、陆书龙、蒋敏与复旦大学边历峰、苏州科技大学张建亚进行团队合作，提出了一种创新单片集成方案。通过表面缺陷引入和局部接触界面设计，结合氮化镓（GaN）纳米线材料的剥离技术屏蔽原有硅基衬底干扰，将快速与慢速响应整合到单个器件中，实现了具有自驱动探测和神经突触双功能集成的透明器件，具备360°全向探测的能力。

该器件作为光电探测器，展现出毫秒量级的响应速度，作为人工突触器件，则表现出秒级乃至分钟级的弛豫时间，从而实现了超过1000倍的响应速度差异。该器件在人形机器人智能感知系统中成功进行应用验证，推动了多功能单片集成光电子器件的发展，为相关领域的深入研究提供了坚实基础。

该工作以A dual-mode transparent device for 360 ° quasi-omnidirectional self-driven photodetection and efficient ultralow-power neuromorphic computing为题，发表在Light: Science Applications。

光电探测器能快速、灵敏地将光信号变成电信号，帮助我们获取、传递和分析信息，是人类感知世界的重要工具，广泛用于航天、通信、工业、科研和医疗等领域。其中，自供电型光电探测器因能耗极低，备受产业界关注。另一方面，人类的视觉系统不仅能看见光，还能在脑中处理和记忆图像，高效地理解信息。受此启发，科学家开发了类脑计算系统，其核心是仿效大脑神经突触的人工突触器件，能同时存储和处理数据，提高效率。这类仿视觉的器件不仅能感知光信号，还能通过内部的突触处理信号，具备自适应的图像识别和分析能力。同时，氮化镓（GaN）具有优异的物理化学稳定性，是制备光电子器件的理想材料之一。因此，如果能将自供电探测器与突触器件集成在同一个GaN基器件里（图1），既能简化系统结构，也能大幅降低功耗，大大拓宽其应用范围。

光电探测器需要快速响应光线变化，而人工突触器件则需要更长时间来处理和存储信号，所以光电探测器很难像突触器件那样记忆图像或处理光信号。简而言之，两者反应速度的快慢差异太大，难以整合到同一个器件里高效协同工作。另一方面，要使探测角度更广，需要器件具有透明特性，但GaN纳米线常用的硅衬底材料在紫外和可见光范围是不透明的，这会导致整个器件不透明。因此，基于GaN纳米线的探测/突触双功能全向器件，至今尚无法研制成功。

为克服上述挑战，本研究采用电化学剥离技术移除硅外延衬底，并在透明基底上构建了界面-体相分离结构，包含石墨烯/(Al,Ga)N异质结功能区和GaN功能区，首次实现了自驱动360 ° 全向GaN基探测器与人工突触的单片集成。通过偏置电压精准调控载流子传输动力学与氧空位（VO）电离程度，成功在单一器件中融合快速响应与慢速弛豫特性。基于团队在GaN纳米线外延与器件工艺方面的技术积累[Adv. Funct. Mater. 35, 2416288 (2025, Front Cover); Commun. Mater. 6, 83 (2025); Small Methods 9, 2400989 (2025)], 本工作进一步实现了材料特性与器件功能的可控设计及集成应用。

本研究提出了电化学剥离、分区结构、偏压调控三位一体的新解决方案，实现了快与慢响应的单片集成，具有自驱动全向探测和神经突触双功能，并成功在人形智能机器人中进行验证。

工艺突破

采用电化学剥离技术移除硅外延衬底，解决器件透明化核心障碍。图2描述了透明器件的详细制备工艺，最终完成双模式单片集成器件的制备。

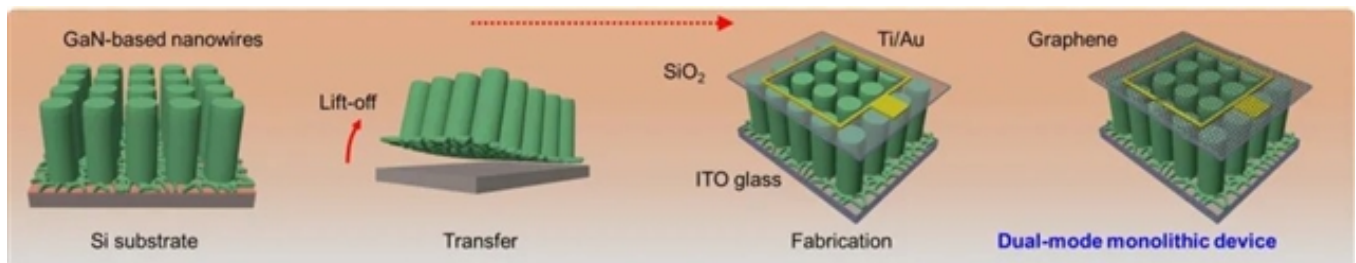


图2制备流程及器件结构

结构创新

界面-体相分离结构中的空间解耦设计是克服功能矛盾的集成关键，包括石墨烯/(Al,Ga)N异质结实现光电探测功能区（快速响应）和GaN体相实现突触功能区（慢速弛豫）。

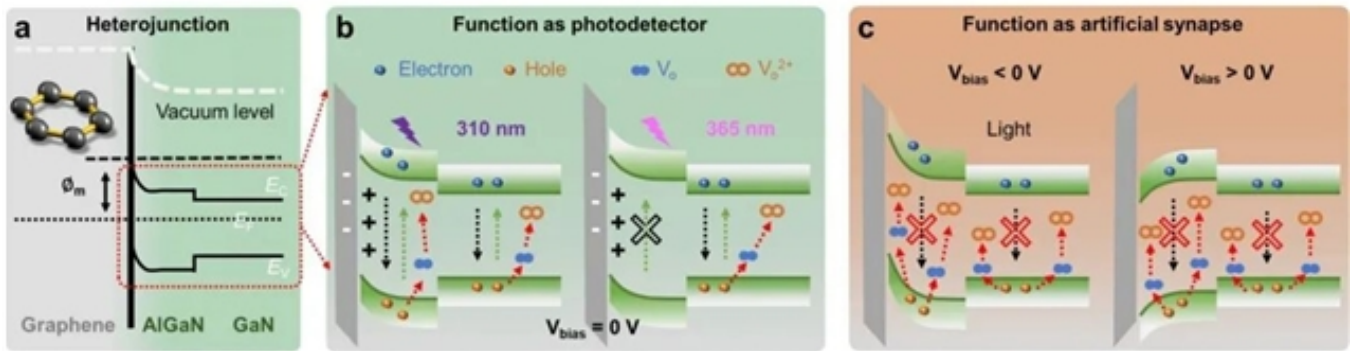


图3：石墨烯/(Al,Ga)N异质结的形成过程以及暗条件下(Al,Ga)N/GaN纳米线的能带图结构（左）。在310/365 nm波长光照下，该器件在0V偏压时作为光电探测器运行（中），而在负/正偏压时则转换为突触器件工作模式（右）

功能集成

如图4所示：器件具备近360°全向探测视野与4 ms的快速响应特性；其高透明性（可见光波段最高透光率>70%）同时支持正、背面双路光信号的高效传输，为双面信息传输应用奠定基础。

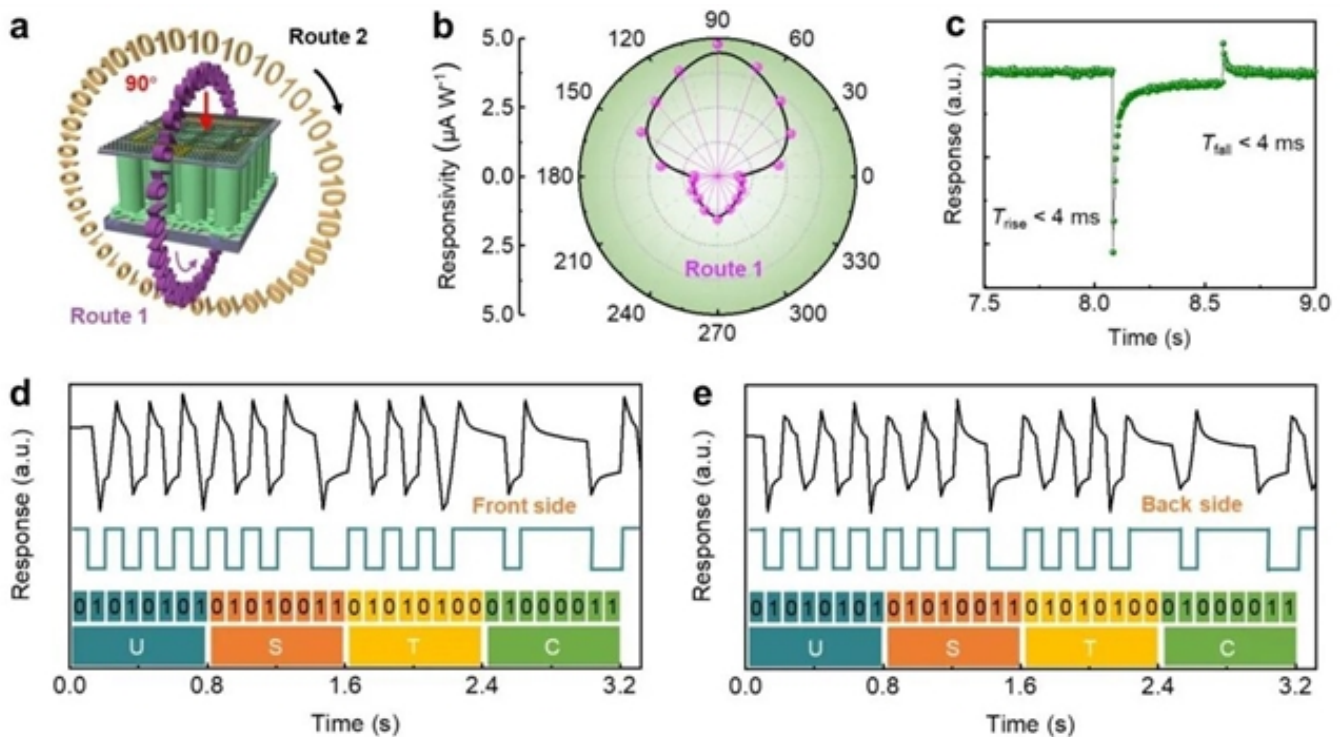


图4：近全向探测、响应度速度及正反双面信息传输能力测试

如图5所示，构建的神经形态视觉传感系统中：周期性光脉冲模拟神经递质输入，双模式器件作为突触信号处理单元。该器件在紫外成像场景中表现出独特优势，可见光抗干扰性强，深紫外/

可见光抑制比达到12908.7，适用于高亮度或低对比度环境，如烈日下户外监测。同时，该器件的单次突触事件能耗低至25 fJ，与生物突触能效相当，为超低功耗类脑芯片提供关键技术支撑。

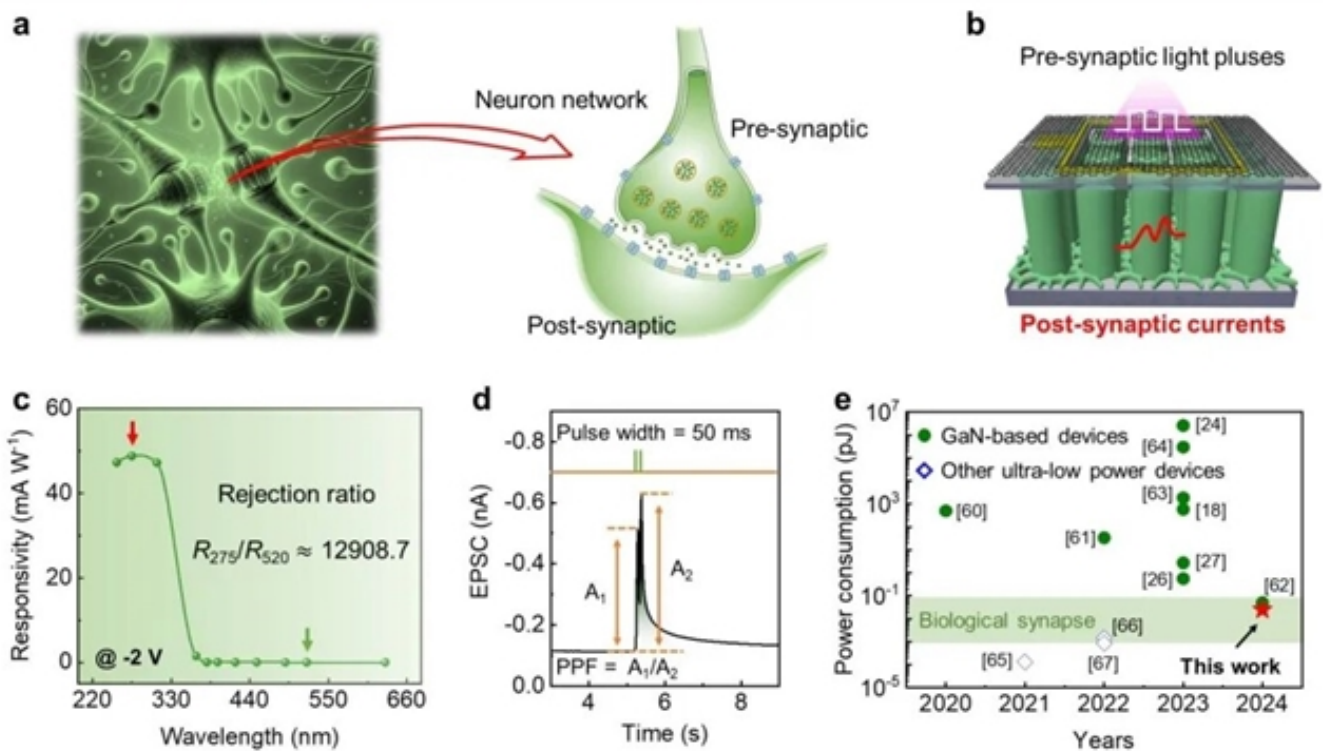


图5：神经突触仿生功能验证

人形机器人应用验证

如图6所示，团队率先验证了此新型双功能器件在人形机器人领域中的应用潜力，有助于提高人形智能机器人的智能感知与计算能力，并降低功耗。

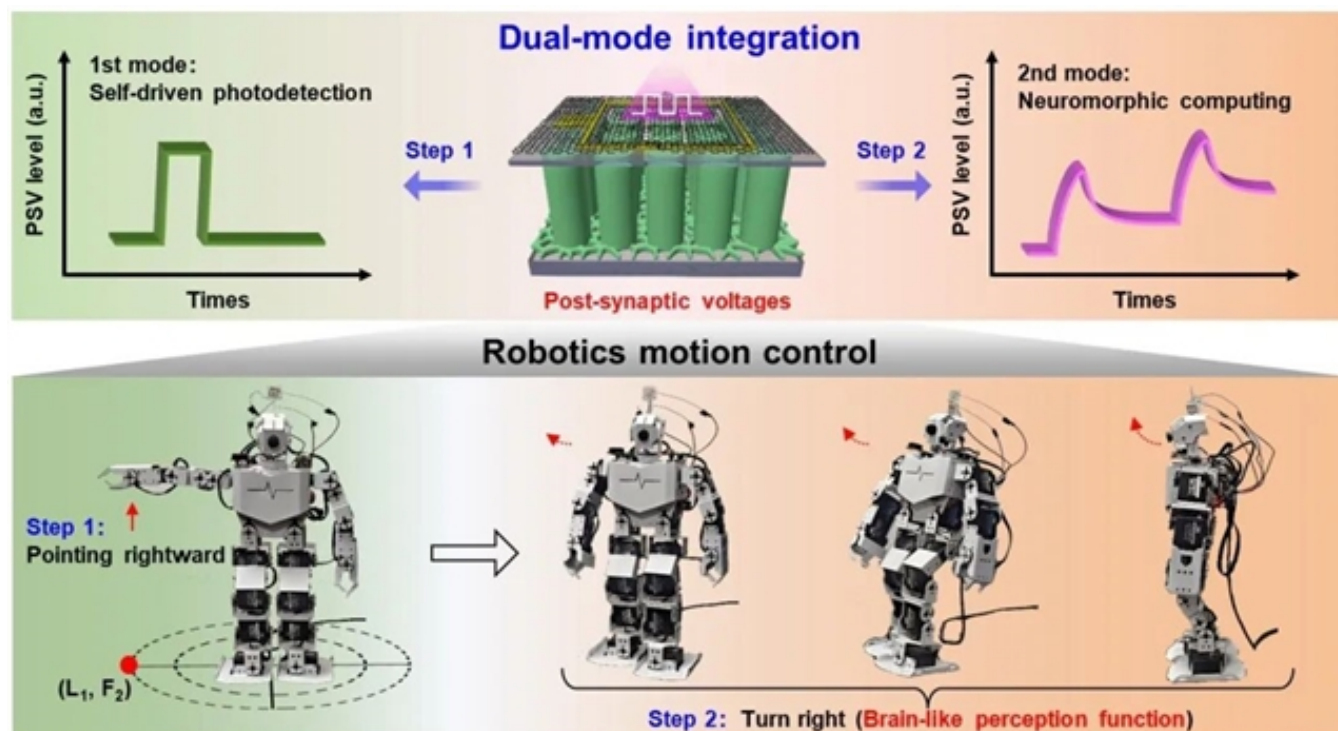


图6：双功能单片集成器件在人形机器人中的智能感知应用

应用前景与展望

本工作提出的双功能透明器件，为智能机器视觉系统提供了一种革新方案，其360°自驱动感知与片上处理能力，可提升人形智能机器人的环境适应性，如无死角避障与实时决策；同时为神经形态视觉芯片提供了可扩展单元，推动高效类脑计算硬件发展。未来，此工作有望为克服感知-处理分离架构难题提供有力的技术支撑，赋能新一代人工智能终端。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01991-y>

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：赵宇坤等 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