
OEA | SnS₂微环谐振腔异质集成器件：光调制与光探测双功能协同

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42530.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！

OEA | SnS₂微环谐振腔异质集成器件：光调制与光探测双功能协同。



Opto-Electronic Advances论文推荐北京信息科技大学祝连庆教授研究团队提出并通过实验验证了一种基于SnS₂与硅微环谐振腔异质集成的双功能器件，在无需任何栅压辅助、无需依赖单层石墨烯和无需电容结构的前提下，在同一个微环平台上同时实现了C波段23 dB的调制深度和在__2 V偏压下0.38 A/W的探测响应度。

文章 Du JY, Lu LD, Zhang X et al. Heterogeneously integrated micro-ring with SnS₂ for dual-functional optical modulation and photodetection. Opto-Electron Adv 9, 260042 (2026).

作者：杜锦翼[?]，鹿利单[?]，张旭^{*}，祝博飞，薄文博，徐英杰，陈光，何彦霖，任光辉^{*}，娄小平，尤政^{*}，祝连庆^{*}

[?]同等贡献作者，^{*}通信作者

研究背景

在光电子集成芯片和光学神经网络等前沿系统中，光探测器和光调制器是两大基础功能模块。前者承担着将光信号转换为电信号的任务，是监控光功率、开展后续电子处理的关键环节；后者则将电信号加载到光载波上，实现对光传输状态的动态操控。两者协同工作，构成了大多数光电计算与通信系统的基石。实际上，光探测器与光调制器的核心工作原理都围绕着对光与物质相互作用的精细调控。

传统的光子计算与通信架构依赖于分立、物理上相互独立的光探测器和调制器，光功率需通过旁路波导分支，导入专门的光探测器，产生的微弱光电流再经放大、转换成驱

动电压后才能作用于另一个独立的调制器。这种离散连接的链路不仅会引入显著的功耗、增加传输延迟，也提升了芯片制造的复杂性，成为制约高密度光学计算系统发展的根本性瓶颈。除此之外，以ChatGPT为代表的大模型和各类人工智能应用的爆发式增长，对底层硬件算力提出了巨大需求。与传统电子芯片相比，光子芯片天然具备高带宽、低串扰和低传输损耗等优势，但其发展中依然面临挑战：如何在单一芯片上高效率地集成多种光功能模块。

本文亮点

二维材料的出现为这一问题提供了解决方案，其原子级厚度、门电压可调的费米能级、强光-物质相互作用以及超宽谱响应等特性，适合在同一波导平台上协同集成探测与调制功能。北京信息科技大学祝连庆教授研究团队提出并通过实验验证了一种基于SnS₂与硅微环谐振腔异质集成的双功能器件，在无需任何栅压辅助、无需依赖单层石墨烯和无需电容结构的前提下，在同一个微环平台上同时实现了C波段23 dB的调制深度和在2 V偏压下0.38 A/W的探测响应度。该工作以Heterogeneously Integrated Micro-ring with SnS₂ for Dual-functional Optical Modulation and Photodetection 为题发表在Opto-Electronic Advances 2026年第8期。

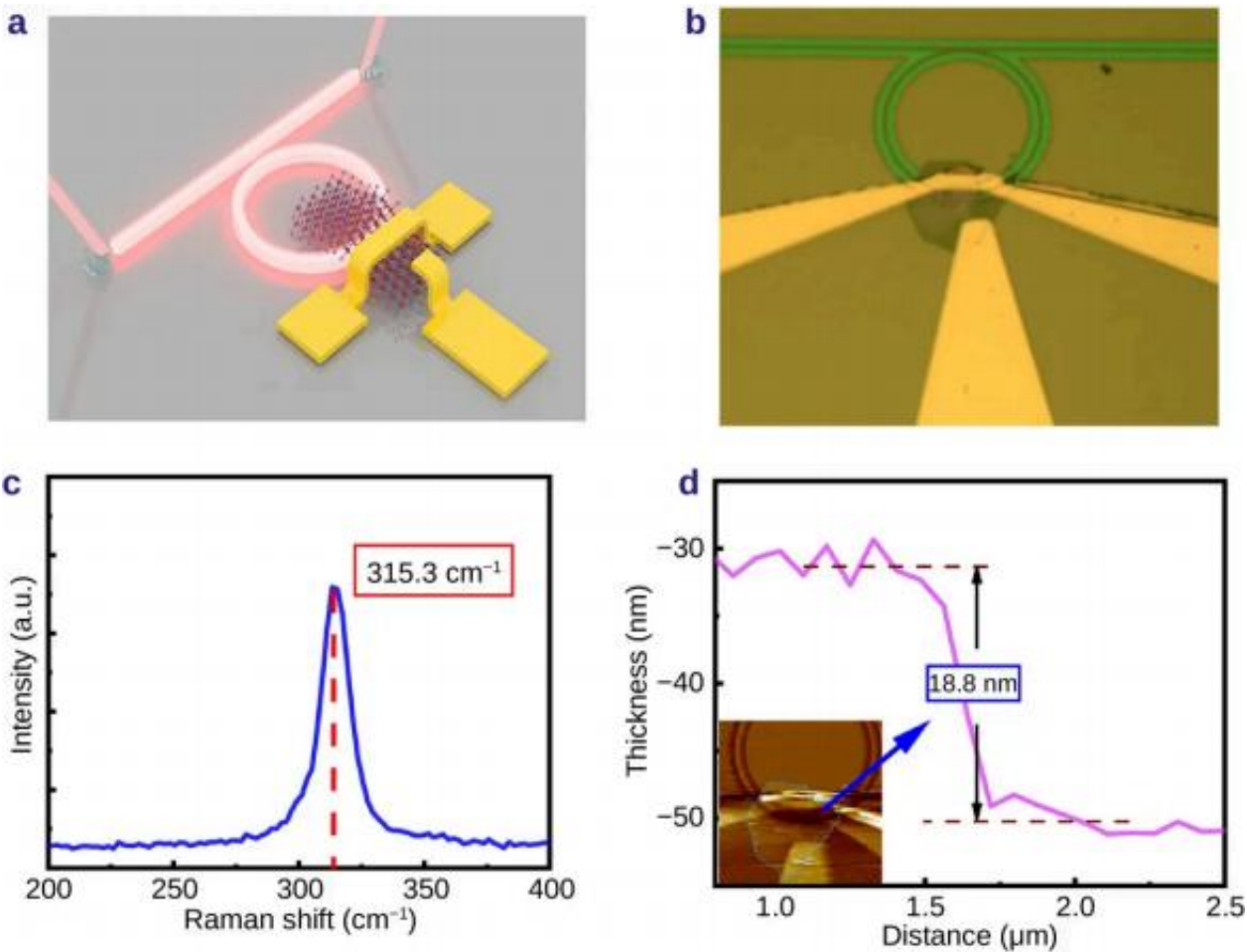


图1(a)基于SnS₂与微环谐振腔集成的光调制与光探测双功能器件；(b)器件的显微镜图像；(c)SnS₂薄膜的拉曼光谱；(d)AFM高度分布图

研究发现，由于1550 nm通信波段的光子能量低于SnS₂材料本征带隙

，无法通过传统能带跃迁产生本征带间吸收。然而，将SnS2与硅微环谐振腔异质集成，基于显著的光热效应，进而引起器件电阻变化，最终在1550 nm红外波段实现高效的光电探测。与此同时，设计的金加热电极不仅优化了结构的载流子传输和光吸收效率，还进一步提升了热载流子的产生效率。当调制信号施加于电极之上时，通过热阻模型描述的平均温升引起微环谐振腔折射率的改变，进而波导模式的有效折射率随之变化，最终导致谐振波长产生偏移。得益于这种双通道复用物理调控机制的协同，设计的异质集成器件不仅摆脱了对复杂栅压调控、严格单层材料退化和电容式结构的外部依赖，也为光子芯片中探测和调制物理功能单元的单一集成铺设了技术路径。

除了性能指标的提升外，还提供了一类通用且灵活的双功能集成方案。在传统光子电路设计中，当系统需要兼顾对信号的主动调制和实时功率监控时，通常需要将光信号分出一支馈入独立的光电二极管，这一过程既占据芯片面积，也增加插入损耗。双功能器件设计使得一个微环谐振腔即可同时实现控制器和监测器的双重角色，不仅让芯片布局更加紧凑，更简化了光子网络的架构。所报道器件的响应时间目前限制在微秒量级，因此，后续的研究重点是：一方面，通过缺陷钝化、界面工程或引入具有更高迁移率的二维材料体系，进一步提升载流子的输运速度；另一方面，探索更高效电热转换结构，

例如嵌入热隔离槽或采用更高电阻率的加热材料，以期突破调制带宽和响应速度的瓶颈。这项研究的集成概念和设计思路为可扩展、集成度更高的大规模硅光计算芯片提供了一个新方向。未来，实时光学调制与电学读出双端口并行反馈的配置将允许在线原位监控调制状态，真正实现光子计算功能动态调节和自检能力的高度集成。

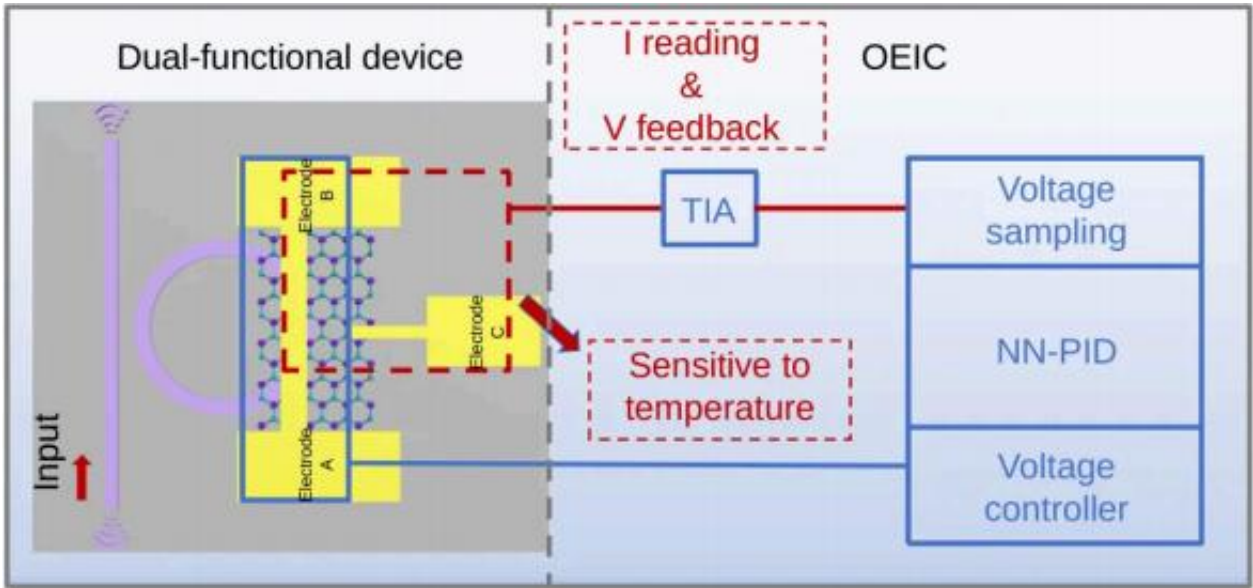


图2实时反馈监测原理图

该研究为人机交互、自动驾驶和光互连等场景提供了全新的赋能可能性。在数据中心的光互连模块中，动态的实时路由光交换和信号质量监控通常需要多个独立元件协作，单芯片多任务处理设计则允许多通道并行处理的任务将来有望在该体系架构中拓展。

由于采用的无栅压、单材料和常规CMOS兼容工艺流程，在光子芯片的大规模、高良率低成本制造上展现出了实际潜力，进而为实现超紧凑型光电集成回路提供了技术可行性。

研究团队简介

北京信息科技大学祝连庆教授研究团队依托教育部重点实验室和国家111基地，联合清华大学、墨尔本皇家理工大学在红外探测技术与光电子集成器件、智能感知技术与系统、光子计算芯片、光纤传感与系统、光电与视觉检测系统等领域开展研究，拥有国家级百千万人才、国家有突出贡献中青年专家、北京学者、全国模范教师、全国优秀科技工作者等研究人员30余人，在读博士、硕士290余人，团队入选教育部长江学者与创新团队、北京市战略科技团队、北京市优秀研究生指导团队，取得了一批具有国际先进水平的研究成果，发表学术论文500余篇，授权发明专利160余项，出版专著4部，获国家科技进步二等奖、教育部技术发明一等奖及省部级奖励10余项，研究成果在航空航天、先进制造及国防军事等领域得到广泛应用。







长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

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