片上非线性光子学：二维材料的混合集成

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25035.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！

片上非线性光子学：二维材料的混合集成。目前硅基电子系统性能已趋近其物理极限，难以满足大数据时代信息处理要求。光信息处理具有无可比拟的速度与能耗优势。例如，基于非线性光学的全光信息处理器件可达到飞秒级的超高响应速度，远超同类别电子器件。最近，片上集成非线性光子器件采用二维新型半导体材料-光波导混合集成的设计思路，实现增强的非线性效应，有望进一步推动超快光开关、光参量放大、全光逻辑计算及量子光源等光子器件的发展。

近期，来自芬兰阿尔托大学的Vincent Pelgrin和他的合作者共同以Hybrid integration of 2D materials for on-chip nonlinear photonics为题在Light: Advanced Manufacturing 上发表了综述文章。

该文章首先概述了不同集成光学系统的线性与非线性性能以及不同二维材料的非线性效应；系统总结了二维材料-片上光子结构混合集成系统的建模与表征；详细分析了当前二维材料集成非线性光学的热点应用，并讨论了当前二维材料-光波导混合集成的主要挑战和未来的发展前景。作者相信，随着对各种新型二维材料的探索和光波导集成技术的不断提高，二维材料-光波导集成光子学将会在前沿科学研究、工业生产及日常生活中带来新突破。

二维材料-光波导混合集成系统的理论基础与制备方法

设计二维材料-光波导混合集成系统是有效实现其光学功能的关键步骤之一。通常，采用本征模计算分析其有效折射率、横向模场分布及工作波长的群速度色散等特性来设计适用波导及集成。图1模拟了当工作波长为1550
nm时，覆盖二硫化钼（MoS2）的平面掩埋条状氮化硅（SiN）波导横截面的TE模场分布。

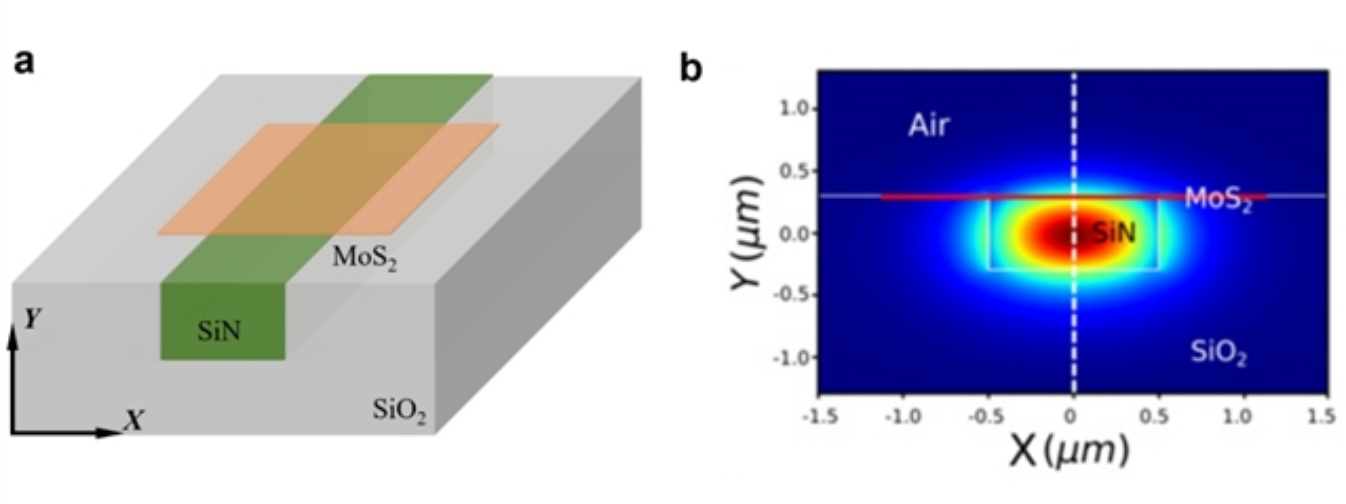


图1：MoS?-SiN波导混合集成系统的模场分布

根据波导有效非线性性质（如三阶非线性效应、自由载流子数目和线性被动损耗等），结合广义非线性薛定谔方程可模拟波导中的脉冲传输。图2模拟SiN波导系统中非线性脉冲的传输，其中蓝色矩形框区域为MoS2-SiN混合区域，由于增强的非线性效应，其极大展宽输入脉冲的光谱宽度。

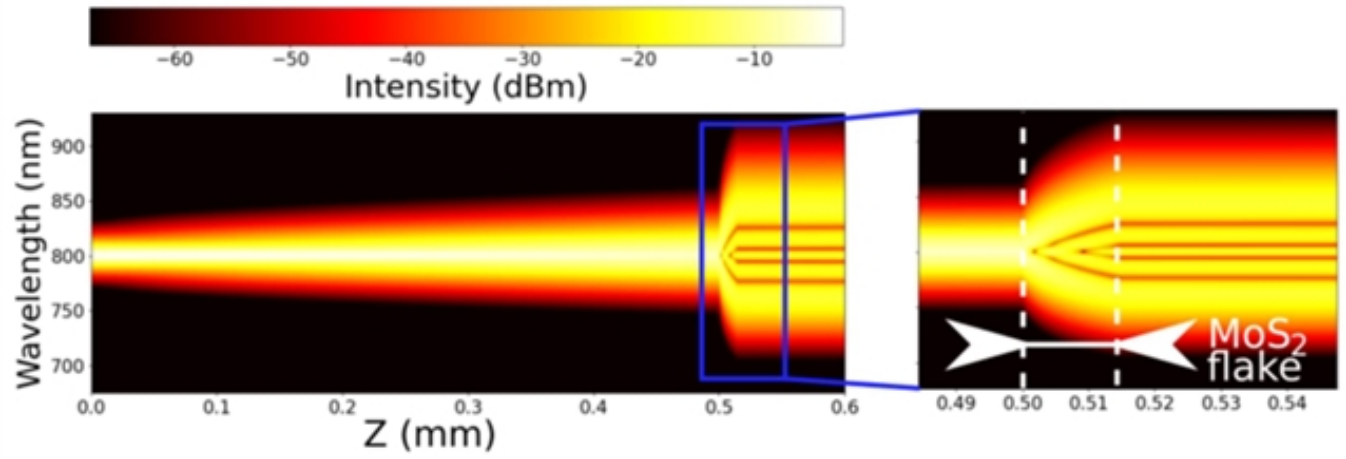


图2：MoS?-SiN波导混合集成系统中非线性脉冲的传输

此外，作者还总结了目前二维材料的主要制备（例如机械剥离、液相剥离和化学气相沉积）和转移方法（例如湿法转移、干法转移或半干法转移）制备集成二维材料波导器件。近年来，科技研究工作者也实现了在波导（如光子晶体光纤）中直接生长二维材料。

二维材料的非线性光学

作者简单回顾了典型二维材料（如图3a所示石墨烯、黑磷、六方氮化硼、过渡金属硫族化合物等）的二次谐波（SHG）、三次谐波（THG）、拉曼（CARS SRS）及可饱和吸收等非线性光学现象（图3b），解释了目前二维材料的非线性系数有关实验研究结论差异显著的原因，并指出二维材料非线性现象背后的物理机制仍有待完善。

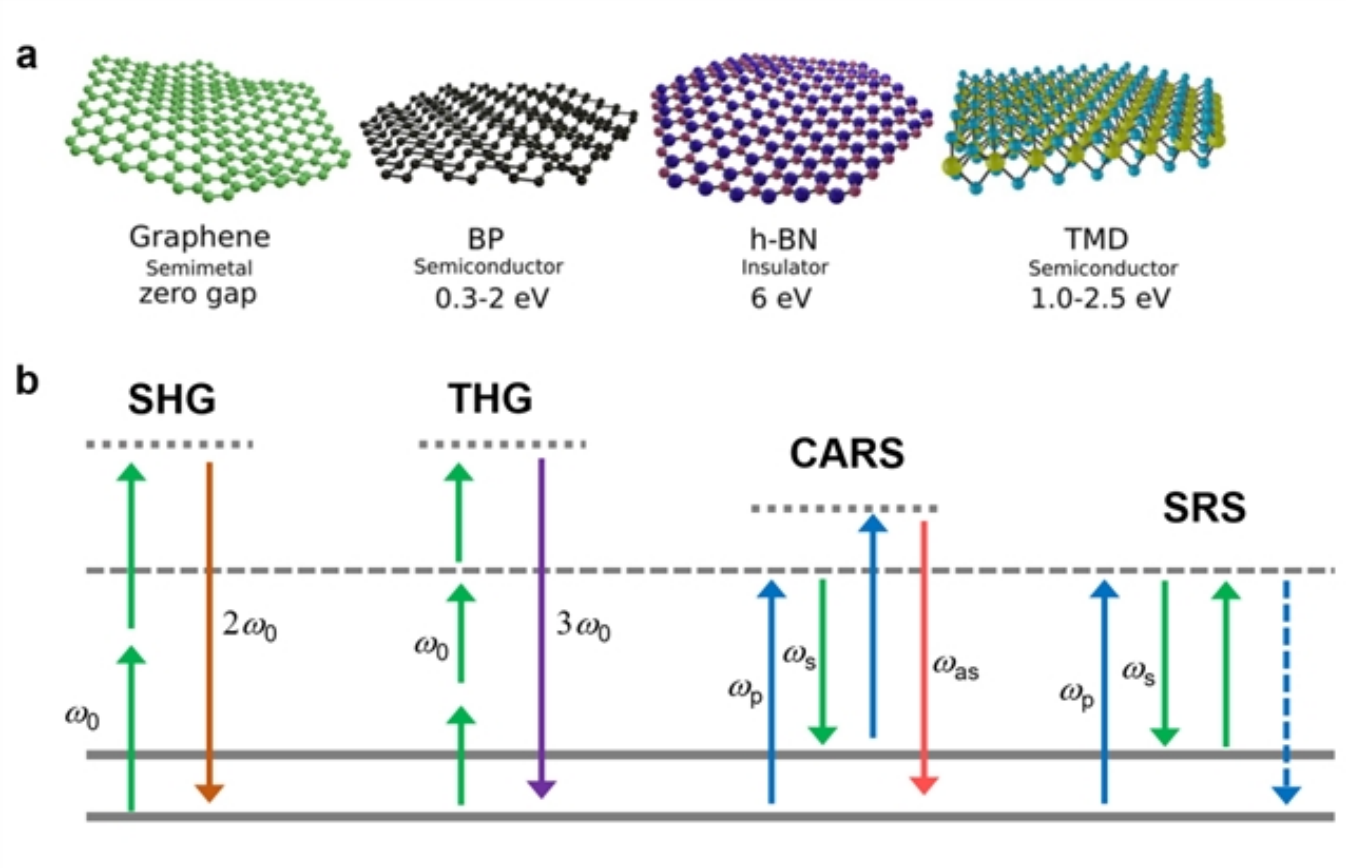


图3：典型二维材料及其非线性效应

二维材料-光波导混合集成系统的研究进展

作者详细介绍了二维材料-光波导混合集成系统的最新研究进展。图4a展示了利用氧化石墨烯-硅环谐振器系统增强四波混频效应；图4b展示了利用外加电场实现石墨烯-平面波导系统四波混频的调谐；图4c和图4d分别展示了利用平面硅波导和光纤实现过渡金属硫族化合物中二次谐波的增强。

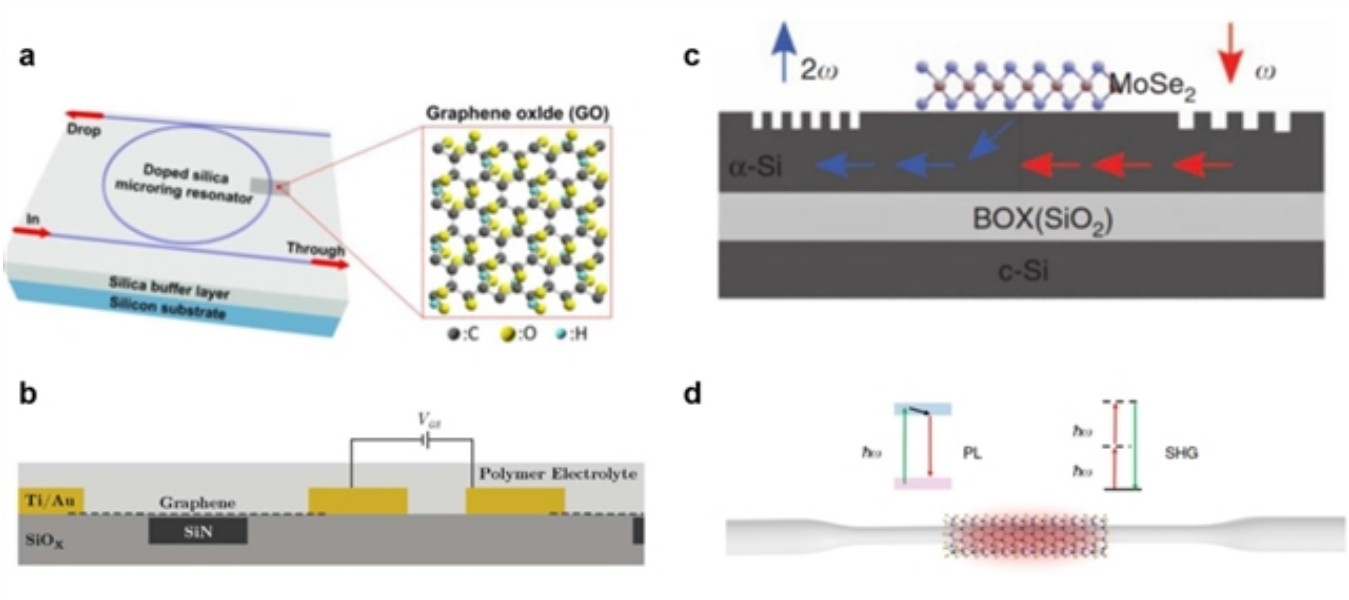


图4：二维材料-波导混合集成系统中的非线性效应增强实验研究进展

图5a和图5b展示了利用光子晶体微腔增强石墨烯的拉曼响应；图5c和图5d展示了通过设计不同波导结构实现石墨烯的可饱和吸收。

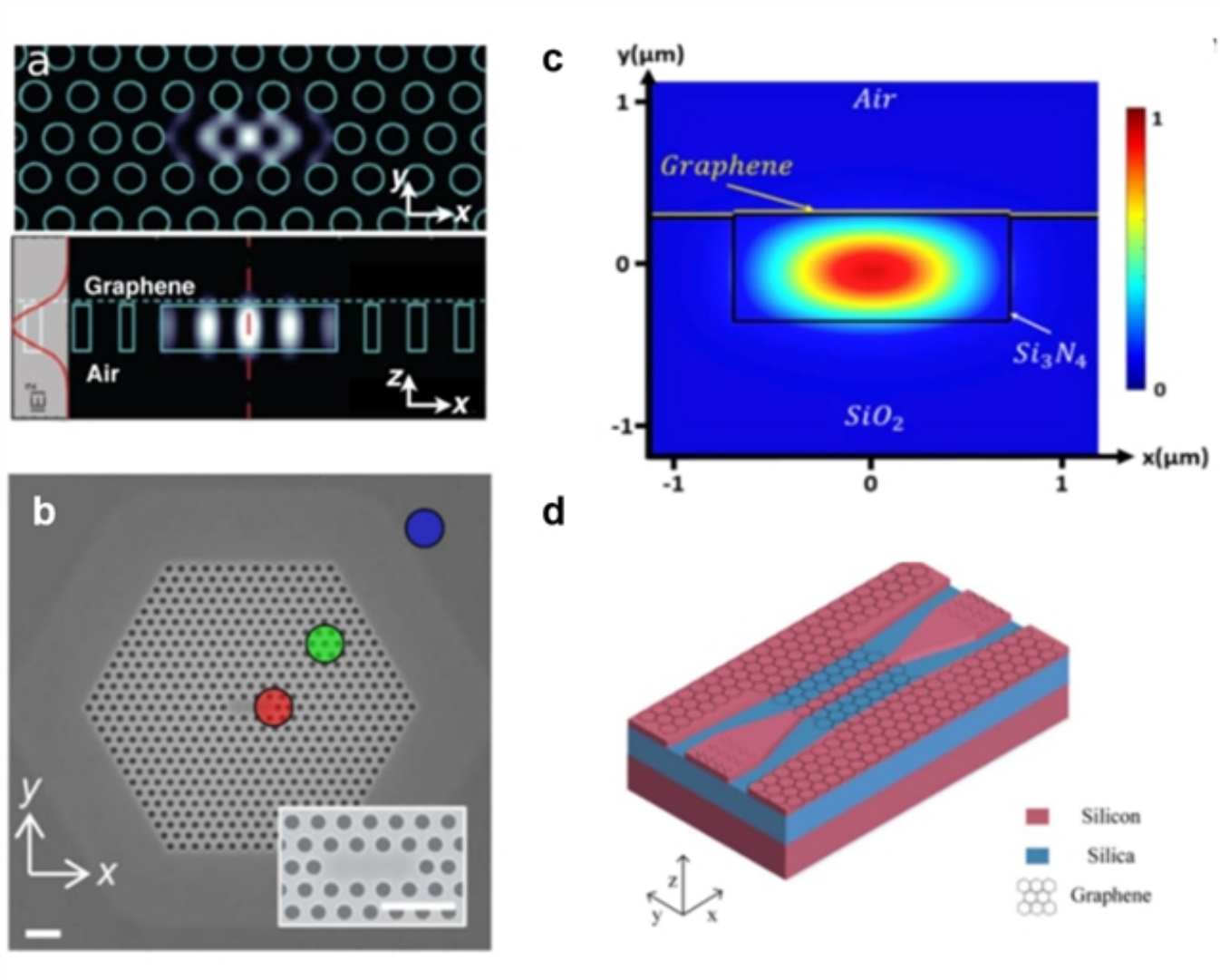


图5：二维材料-波导混合集成系统中的拉曼增强和可饱和吸收实验研究进展

前景展望

二维材料-光波导混合集成研究技术表明其可绕过不同集成光子系统的物理极限；丰富并改善微纳光子系统的性能；并在物理、化学及生物调节等方面引入新功能。最后，作者分析了利用新颖表征工具、具有高非线性系数的新型二维材料及其异质结、互补金属-氧化物-半导体技术（CMOS）兼容制造技术以及新型集成平台实现更高性能的集成光电子器件，并展望了其在宽带片上光源、光频梳产生、全光计算、光参量放大及光量子应用等新兴方向的前景。

综上，作者认为二维材料混合集成光子技术研究才刚刚开始，随着新型结构及新型二维层状材料的发展，更多高效片上光学功能均有可能实现。同时作者指出了该领域急需解决的一些关键科学问题（如传播损耗对二维材料的选择、可靠性及集成方法的影响）。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2023.014

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等事宜，请与我们接洽。
作者：Vincent Pelgrin 来源：《光：先进制造》

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