
二维异质结纳米腔稳健锁模

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37560.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！

二维异质结纳米腔稳健锁模。超快光纤激光器是当代光学研究和工业应用的重要部件，其核心器件是能够将连续激光转换为脉冲激光输出的可饱和吸收体。然而，全光纤可饱和吸收体受限于不平衡的可饱和吸收特性，难以实现稳定的单孤子输出。

近日，北京大学刘开辉教授、洪浩副研究员与南京大学王枫秋教授团队合作，提出利用二维材料异质结构建纳米腔作为可饱和吸收体，实现全光纤超快激光器的稳健锁模。该设计优化了孤子动力学过程，并显著提升了激光器对偏振变化的容忍度，推动高集成度和高稳定性的全光纤超快激光器发展。

相关研究成果以 Robust mode-locking in all-fiber ultrafast laser by nanocavity of two-dimensional heterostructure 为题发表于《Light: Science Applications》。北京大学博士生邵嘉惠、北京大学博士后姚光杰、南京大学博士生吴学诚、北京大学博士生林凯风为论文共同第一作者；刘开辉教授、洪浩副研究员与王枫秋教授为论文共同通讯作者。

研究背景

超快全光纤激光器具有超快时间信息、超高峰值功率与卓越的运行稳定性，是超快探测、光通信及精密微加工等领域的重要工具。可饱和吸收体作为其核心元件，能够将连续激光转换为脉冲激光。然而，传统的商用半导体可饱和吸收镜依赖自由空间耦合，破坏了全光纤结构的紧凑性与稳定性。为此，研究人员尝试将二维材料直接集成于光纤，实现全光纤化可饱和吸收体。但这类器件的可饱和吸收特性往往难以实现稳定的锁模，在偏振扰动下易产生脉冲分裂等现象。因此，如何开发高集成度和高偏振容忍度的可饱和吸收体，是超快激光器领域亟待解决的挑战。

研究亮点

研究团队提出了一种新型的高集成度和高偏振容忍度的可饱和吸收体：在光纤端面集成由 MoS₂-BN-Graphene-BN-MoS₂ 异质结构成的纳米腔结构（图1a）。该异质结利用二维材料折射率差异，精准调控纳米腔内的光场分布（图1b），并借助石墨烯实现高效饱和吸收。通过改变 BN 层厚度，可使中心石墨烯处光场强度相较仅石墨烯实现 20% 至 230% 的调节。当光场显著增强时，饱和强度可降低约 65%（图1c），极大改善了饱和吸收特性，提升了锁模的自启动性能。

图1. (a) 二维材料异质结纳米腔的结构示意图；(b)异质结内部光场强度分布；(c) 异质结（橙色）和仅石墨烯（蓝色）的饱和吸收曲线。

研究团队搭建了光纤激光器环形腔，分别采用新型异质结与石墨烯作为可饱和吸收体进行锁模对比实验。结果显示，异质结锁模能够稳定输出单孤子脉冲，而石墨烯则出现了不期望的脉冲分裂，谐波锁模和孤子雨等现象。研究团队利用时间拉伸色散傅里叶变换技术，系统揭示了两种可饱和吸收体中孤子的实时生成与演化过程（图2a、2b），并阐明了异质结抑制脉冲分裂的潜在机制：有效消除中心波长附近的非孤子成分，并抑制了孤子形成前的竞争性背景脉冲。为进一步评估可饱和吸收体的偏振容忍度，团队搭建了可遍历庞加莱球全偏振态的全光纤超快激光器（图2c）。由于异质结将自振幅调制系数提升了3.4倍，使其在约85%的偏振态下均能稳定产生单孤子脉冲，而石墨烯这一比例仅为20%（图2d），证实了异质结锁模的鲁棒性。

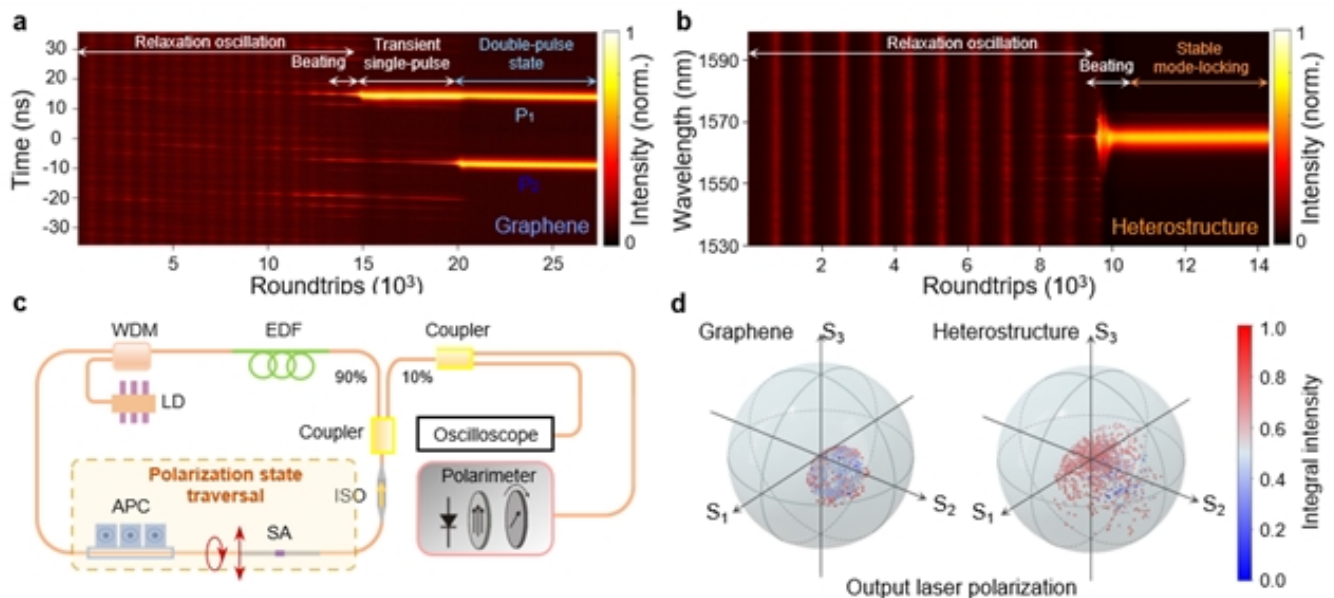


图2. (a)实时表征石墨烯锁模时双孤子的形成和演化过程；(b)实时表征异质结锁模时单孤子的形成和演化过程；(c)腔内偏振态遍历的全光纤激光器的锁模测试系统；(d)石墨烯（左）和异质结（右）作为可饱和吸收体时偏振相关的脉冲输出状态。

总结与展望

本研究提出了一种由二维材料异质结构成的新型纳米腔可饱和吸收体，通过精确控制异质结内部光场分布，实现对可饱和吸收特性的精准调节，从而在超快全光纤激光器中实现稳定锁模。研究团队系统分析了石墨烯与异质结作为可饱和吸收体时光纤腔内孤子的建立与演化过程，揭示了异质结避免脉冲分裂的机制。进一步的偏振态实验表明，该异质结对偏振变化具有高容忍度，为在复杂条件下稳定运行的高集成度全光纤超快激光系统提供了可行方案。这一设计为低维材料在可饱和吸收体中的实际应用奠定了基础，并有望在光频梳、超连续谱源以及片上脉冲激光器等领域展现广阔的应用前景。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02018-2>

作者：刘开辉等 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