
瓶颈突破：单谐振腔全光纤激光振荡器实现万瓦级激光输出

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/35084.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！

瓶颈突破：单谐振腔全光纤激光振荡器实现万瓦级激光输出。 导读

近日，国防科技大学南湖之光实验室陈金宝研究员团队在光纤激光领域取得重要进展。课题组突破了飞秒激光掩膜板刻写大芯径双包层光纤光栅的关键技术，成功制备了高性能光纤光栅，并构建了光纤谐振腔，结合创新性设计的模式控制方法，实现了单谐振腔全光纤激光振荡器超过10kW功率稳定输出，创造了国际上公开报道的全光纤激光振荡器输出功率的新纪录。该研究工作建立了全光纤振荡器的多模式耦合仿真模型，深入解析了谐振腔中的模式耦合特性，设计并验证了高效的模式耦合抑制方法，为突破高功率光纤激光领域的瓶颈限制因素提供了新思路和新方法。该研究成果以Transverse mode coupling in monolithic few-mode fiber laser oscillators为题发表在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》。论文通讯作者为国防科技大学陈金宝研究员、王泽锋教授和杨保来副研究员。

研究内容

在高功率光纤激光器领域，相比于光纤放大器采用单程放大结构，采用单谐振腔结构的全光纤激光振荡器具备抗回光能力强、控制逻辑简单、系统结构紧凑等优势。这些特点使全光纤激光振荡器在工业加工领域广泛应用。然而,采用单谐振腔结构也带来了新的挑战。与放大器的单程放大结构不同，振荡器谐振腔内激光多程振荡放大的特性导致了更强烈的模式竞争与模式耦合效应，使得振荡器通常表现出比放大器更低的横向模式不稳定效应（TMI）阈值特性，成为其功率提升与应用的主要瓶颈。TMI会引起纤芯基模向高阶模耦合，这不仅会造成激光功率滞胀，而且还会造成激光光束质量的急剧下降，严重影响激光器的稳定运行与应用。已报道的光纤振荡器理论研究大多仅分析谐振腔内基模和第一阶高阶模式的耦合，然而在实际系统及应用中，基模和多个高阶模式的竞争与耦合普遍存在（如图1所示），使得模式耦合特性更为复杂。

图1. 少模光纤振荡器中的模式耦合。

为攻克这一难题，国防科技大学王泽锋教授课题组创新性地提出了"频域模式解耦"策略：通过调控低反射光栅（LR）的线宽和光纤弯曲方式，将模式能量重新分配到非耦合频率域，从而有效抑制TMI。理论仿真分析表明，TMI阈值与弯曲半径呈非单调关系（如图2（a）所示），而LR线宽的优化能够显著减弱模式耦合，实现TMI阈值的显著提升（如图2（b）所示）。仿真分析为振荡器中掺铒光纤弯曲盘绕方法及光纤光栅的参数设计提供了有效的指导。

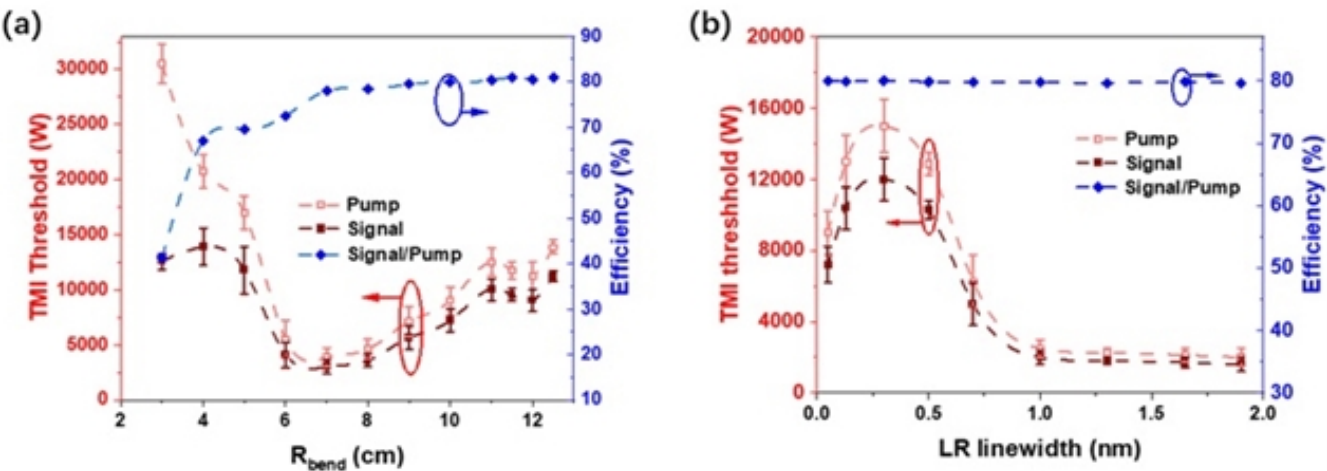


图2. 理论仿真的少模光纤激光振荡器模式不稳定阈值（a）随弯曲盘绕半径变化，（b）随LR线宽变化。

在实验研究中，团队采用30/600 μm 的掺铒光纤（YDF）和飞秒激光掩模板刻写的光纤光栅构建了全光纤激光振荡器（如图3）。通过精确控制光纤光栅的中心波长及线宽，结合对掺铒光纤弯曲盘绕方式的优化，成功将少模光纤激光振荡器的TMI阈值提升至10 kW以上，不同盘绕半径下全光纤振荡器输出激光特性见图4。

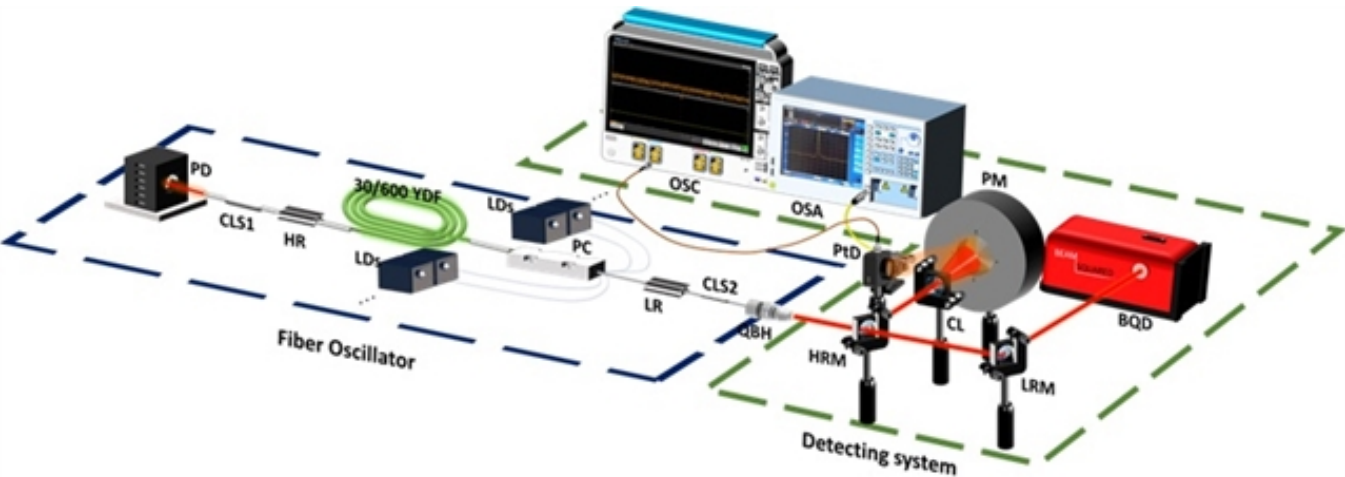


图3. 少模光纤激光振荡器实验系统。

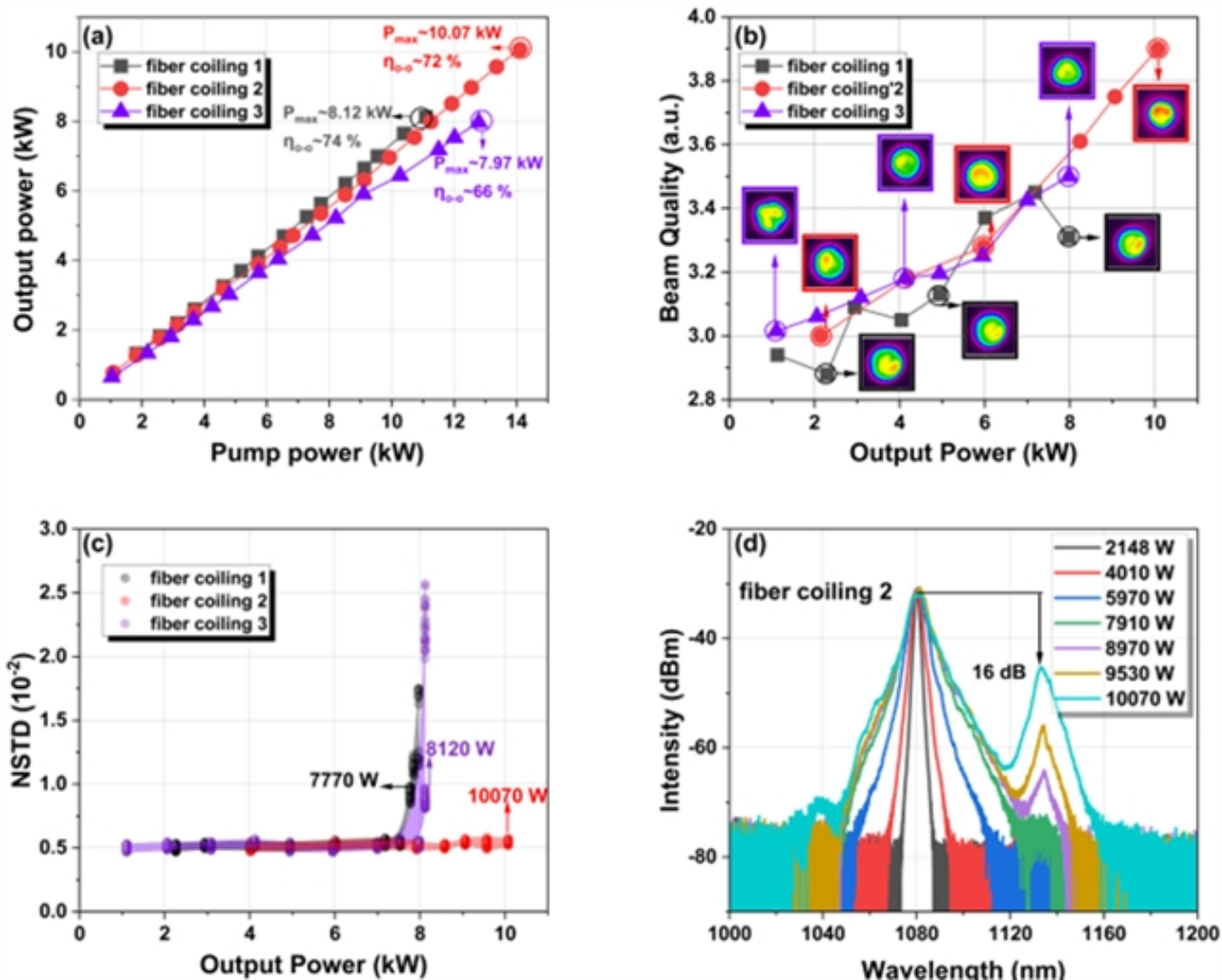


图4. 不同盘绕半径下少模光纤激光振荡器 (a) 效率对比、 (b) 光束质量、 (c) 时序不稳定性对比, (d) 优选盘绕方式后少模光纤激光振荡器输出光谱。

前景与展望

该研究工作突破了全光纤振荡器的瓶颈限制, 提出的谐振腔内模式调控方法也可为高功率光纤激光振荡器的研究和发展提供重要参考。研究实现的万瓦级单谐振腔全光纤激光振荡器, 可为工业加工领域提供稳定可靠的光纤激光光源, 具有重要的应用价值。研究团队下一步将重点研究提升全光纤激光振荡器的光束质量, 通过创新设计谐振器内模式调控方法, 力争实现近单模万瓦级全光纤激光振荡器, 进一步拓展全光纤振荡器在工业加工及国防领域的应用。(来源: LightScience Applications微信公众号)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41377-025-01862-6>

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: 陈金宝等 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