
GHz重复频率光纤激光动态增益引导孤子锁模

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31004.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！

GHz重复频率光纤激光动态增益引导孤子锁模。导读

近年来，在高速发展的超快激光领域，具有GHz重复频率的超快激光在材料加工、相干光通信、生物医学、光子雷达和精密测量等方面具有重要且特殊的应用价值。

作为一种产生GHz重复频率超短脉冲的有效方式，被动锁模高重复频率光纤激光器具有结构紧凑、稳定性高、光束质量优良等诸多优点。然而，当锁模基频达到GHz量级时，由于孤子与孤子间较短的时间间隔（小于ns量级），孤子锁模过程中引入多尺度的动态增益，对锁模脉冲激光的稳定性产生复杂影响，涉及的机理未明。实验结果表明，光纤短腔内的孤子不稳定性与传统调Q锁模在动力学现象上有所不同，具体表现为方波调Q脉冲序列包络，这种孤子锁模演化过程难以由现有锁模理论解释。此外，实验中GHz重复频率光纤短腔内实现连续波锁模的孤子能量远低于现有锁模理论的预测（小两个数量级），这对解释光纤激光器中孤子锁模机理提出了挑战，限制了GHz重复频率光纤激光性能优化。

针对上述问题，近日，华南理工大学杨中民教授、韦小明教授课题组深入研究了GHz重复频率超快光纤激光器中的孤子锁模动力学过程，建立了动态增益引导孤子锁模理论框架，解决了现有理论预测与实验结果存在显著偏差的问题，获得了基频高达21GHz的超快光纤激光器。

相关研究成果以Dynamic gain driven mode-locking in GHz fiber laser为题发表在Light：Science Applications。

GHz重复频率锁模光纤激光器原理如图1左上所示，超短谐振腔由可饱和吸收体、增益光纤和二色镜组成。研究团队利用多时间尺度分析方法，分别在快、慢变时间尺度上分析了相邻孤子以及孤子簇间的动态增益特性，如图1下所示。当锁模基频达GHz量级时，孤子的时间间隔较短，增益消耗-恢复过程难以平衡，使得孤子受动态增益影响而相互绑定在一起，并进一步地在慢变时间尺度下形成孤子晶体。这种孤子晶体可视作由多个超短谐振腔组成的虚拟长腔产生（图1右上）。

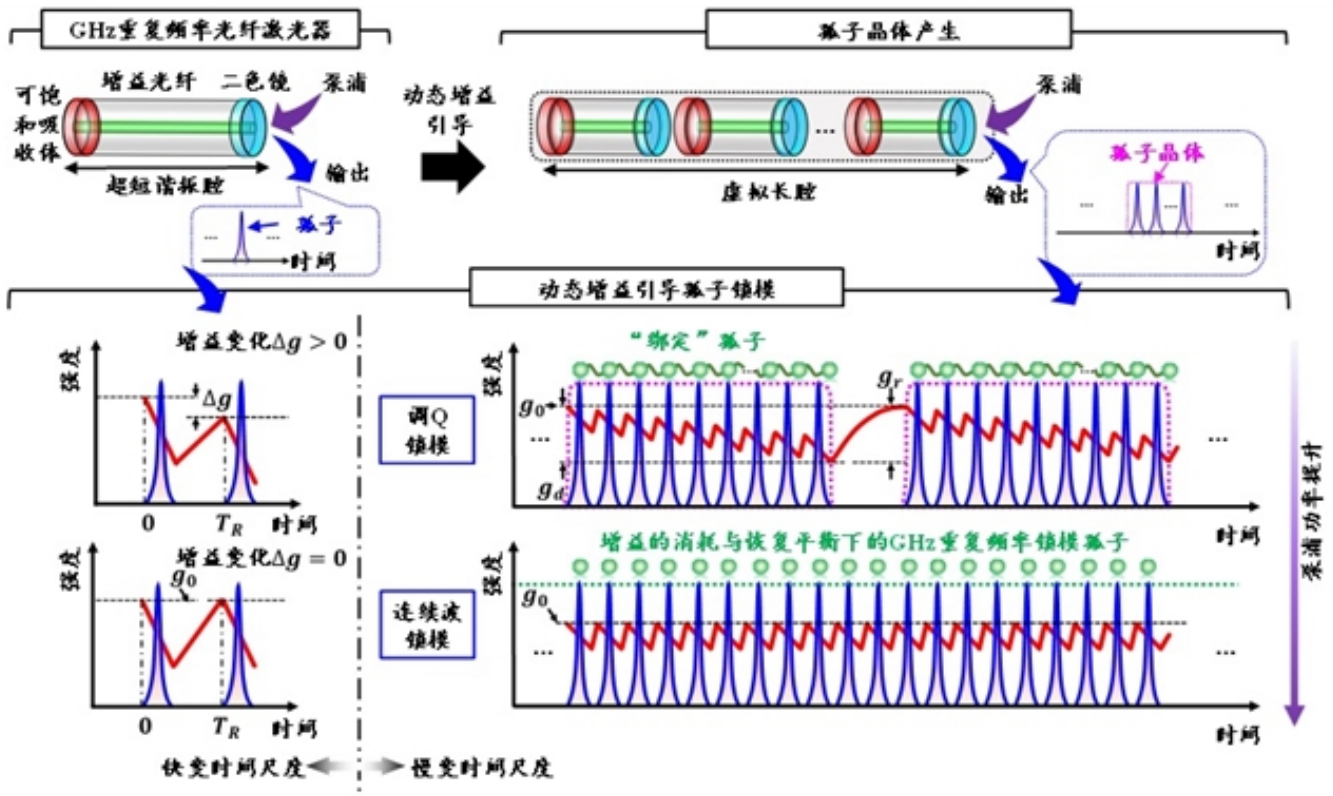


图1. 动态增益引导孤子锁模机理。

随着泵浦功率提升，孤子间增益的消耗与恢复逐步达到平衡，使孤子晶体逐步扩展并演变为稳定的GHz重复频率脉冲序列，实现从调Q锁模向连续波锁模转变，如图2所示。研究团队将这种借助动态增益来绑定孤子的锁模方式称为动态增益引导孤子锁模。

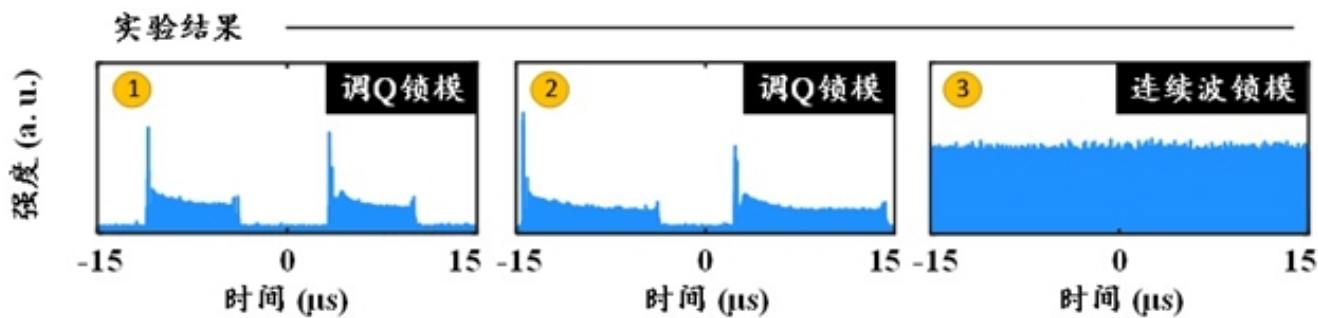


图2. 调Q锁模到连续波锁模的演变过程。

为了掌握锁模的演变过程，研究团队利用时间透镜实时测量技术研究了调Q锁模状态下的孤子演化特性，如图3所示。在调Q锁模状态下，孤子晶体在形成初期，孤子晶体内部在时域上呈现出较强的强度振荡结构，随后逐步进入稳态。通过对比孤子晶体中处于稳态的孤子序列与连续波锁模状态下的孤子序列，发现两者在脉冲宽度和脉冲形状上均具有高度一致性。结果表明，GHz重复频率光纤激光器中的孤子行为与MHz重复频率孤子存在显著差别，通过动态增益主导的孤子绑定机制，使孤子间相互关联并迅速进入稳态。

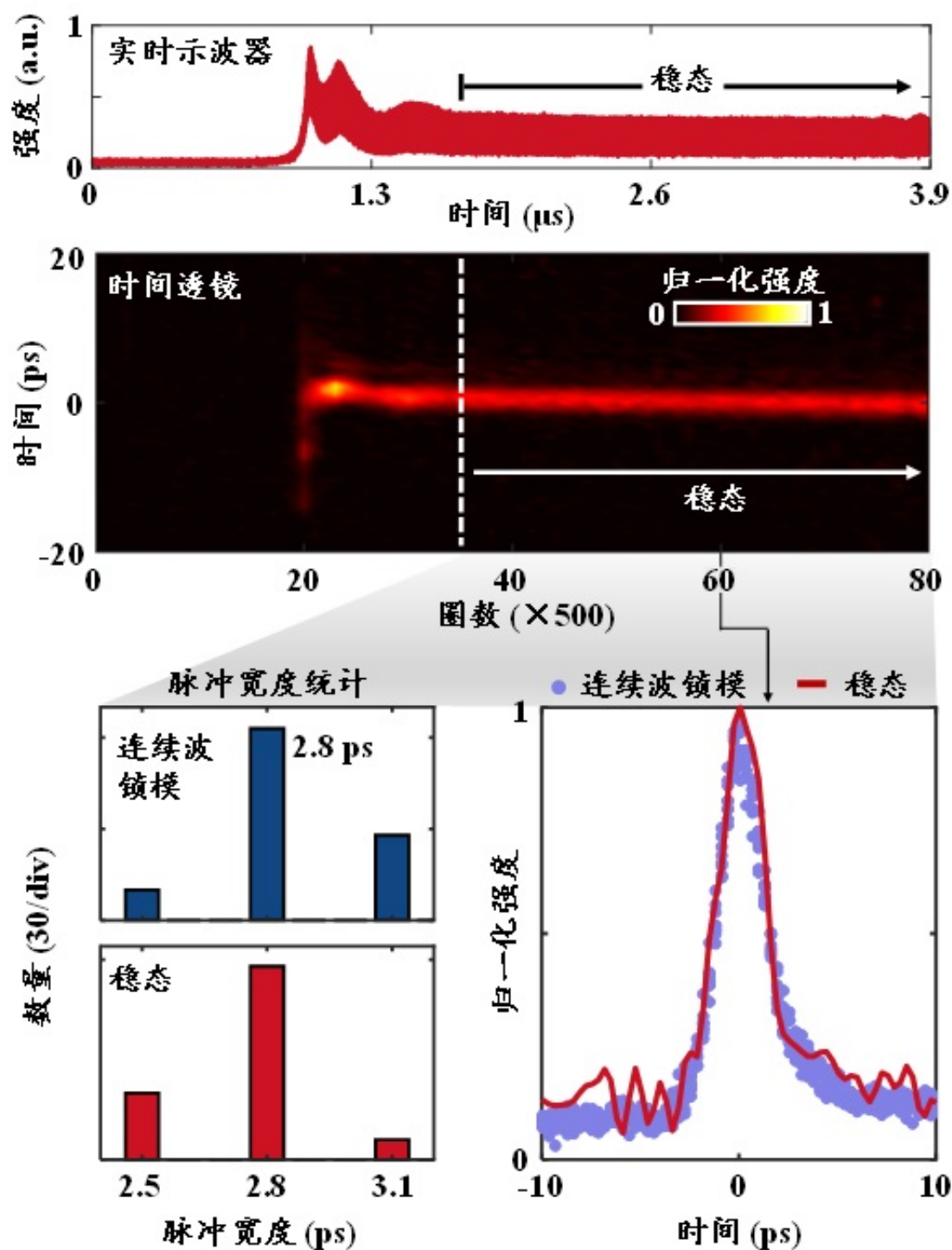


图3. 动态增益引导调Q锁模孤子特性。

研究团队基于动态增益引导孤子锁模理论支撑，最终实现了21GHz基频的超快光纤激光器。实验中得到的连续波锁模阈值与新提出的理论预测相符，对应的锁模光谱和射频谱如图4所示，21GHz基频信号的信噪比可达85.9dB。

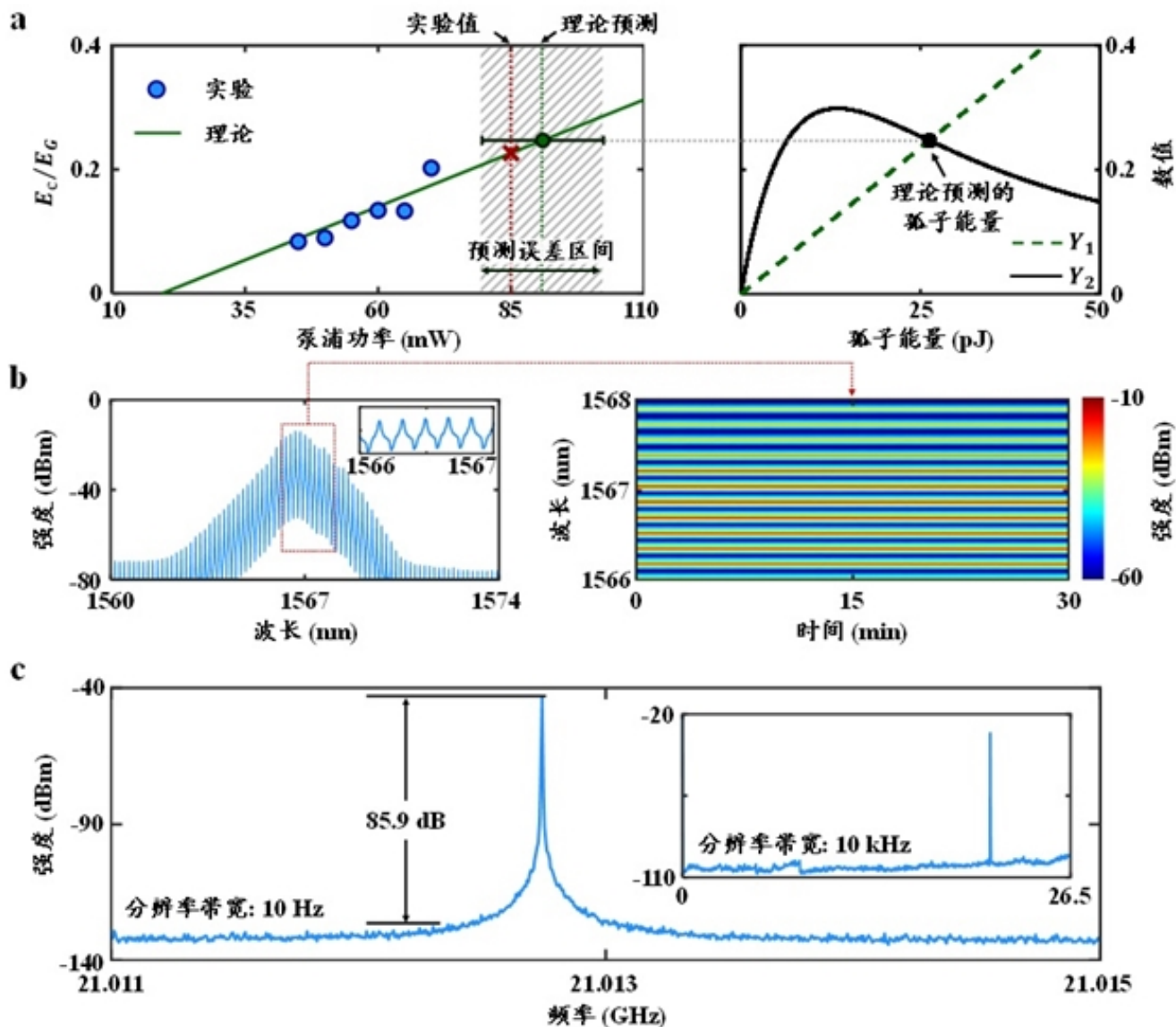


图4：21GHz基频锁模光纤激光性能。(a) 实验与理论的阈值对比；(b)光谱；(c) 射频谱。

本工作深入探索了GHz重复频率光纤激光器中多尺度动态增益特性，提出了动态增益引导孤子锁模理论，并基于该理论进一步分析了GHz重复频率孤子的动力学特征和演化机理，解决了实验研究中孤子锁模阈值与传统理论存在显著偏差的问题，为研究孤子锁模提供了新视角，有望推动高性能超高重复频率光纤激光器研究。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01613-z>

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：杨中民等 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