
时空锁模：开辟超快光源的新世界

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25489.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！

时空锁模：开辟超快光源的新世界。



耗散孤子是在色散与非线性、增益与损耗达到微妙平衡后产生的局域波，广泛存在于非线性系统中。光学系统是研究耗散孤子的理想场所。单模光纤锁模激光器中通过同步纵模可以实现时域耗散孤子，它是现代超快光纤激光器的基础。最近，同步横向和纵向模式的时空锁模（STML）引起了人们的广泛关注。多模光纤激光器为实现STML提供了灵活的平台。空间维度的扩展带来了复杂的非线性时空相互作用和丰富的时空物理现象，在这种条件下产生的耗散孤子被称为时空耗散孤子（STDS）。

2017年，发表在Science上的开创性论文 "Spatiotemporal mode-locking in multimode fiber laser" 介绍了在多模光纤激光器中通过时空锁模实现STDS。在这一里程碑之后，有关 STML 的研究蓬勃发展。然而，我们对多模激光器中 STDS 和 STML 的理解和控制仍然不足，面临的挑战包括在多模激光器中实现超高脉冲能量，任意的模场调控以及完善的时空表征技术。克服这些障碍将使多模光纤激光器在精密测距、激光加工、非线性光谱学、光镊和散射介质成像等领域得到广泛应用。

近日，清华大学精密仪器系杨昌喜和鲍成英团队以Spatiotemporal mode-locking and dissipative solitons in multimode fiber lasers为题在Light: Science Applications发表综述文章，对多模光纤激光器

中的时空锁模和时空耗散孤子研究进展进行了总结和展望。清华大学精仪系曹博和高晨心为论文的共同第一作者，杨昌喜教授与鲍成英副教授为论文的共同通讯作者，其他作者包括清华大学精仪系的刘可为博士，北京邮电大学的肖晓晟副教授。该研究获得国家自然科学基金、清华大学原创科研计划、清华-丰田联合研究基金的支持。

在该综述中，作者介绍和讨论了多模光纤激光器在不同腔参数下实现时空锁模的物理机制，针对时空耗散孤子的测量、时空动力学研究进展、模场调控和高能量超短脉冲产生等进行了阐述，最后讨论了它们的潜在应用场景和发展趋势。这篇综述兼顾科学和应用的角度，为时空锁模激光器的深入研究和广泛应用提供参考价值。

时空锁模的物理机制

平衡模间色散和同步模式分辨脉冲是实现STML的先决条件。根据模间色散的大小，有三种主导机制有助于平衡模间色散并控制STML：克尔非线性主导机制、时空可饱和吸收主导机制和空间耦合主导机制（图1b）。对于三维脉冲来说，每种机制都表现出不同的动态特性（图1c）。这些STDS与具有固定脉冲形状的传统STDS不同，因为复杂的时空耦合性质会影响其时间、光谱和空间特性。

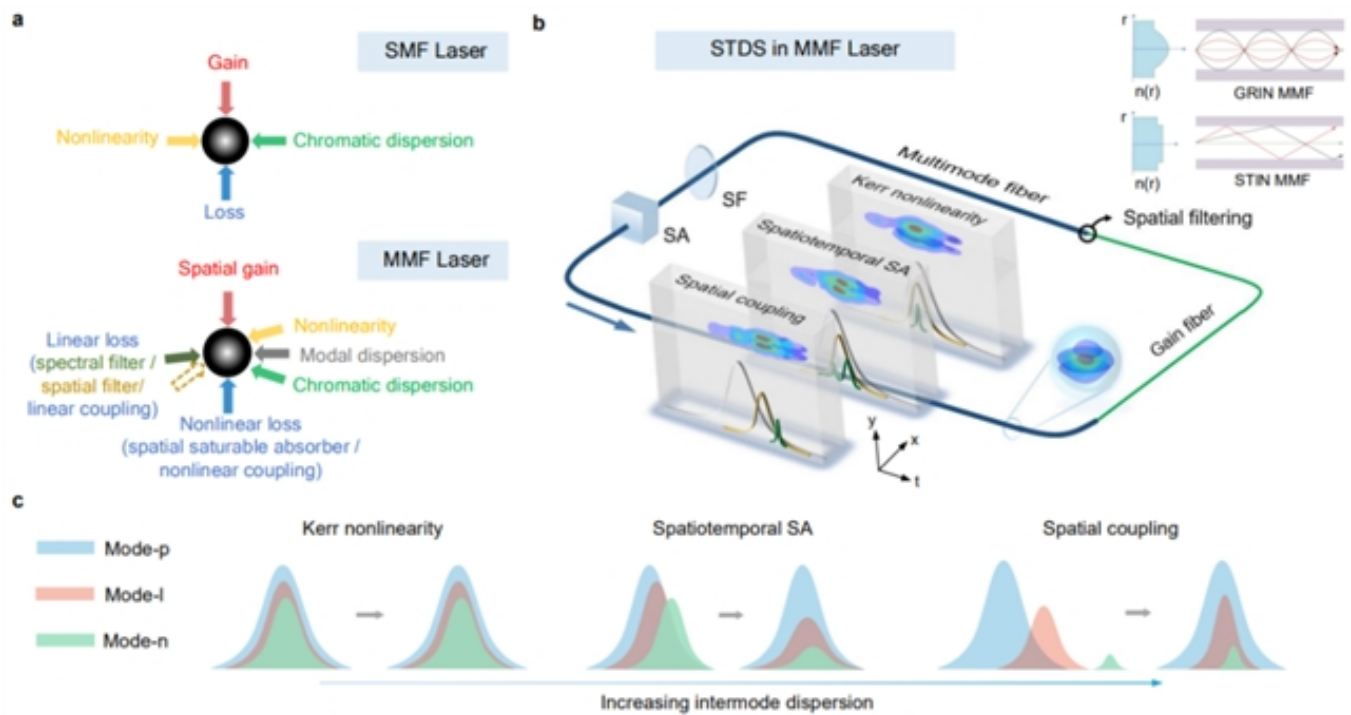


图1：多模激光器中时空锁模和时空耗散孤子的示意图

非线性时空耗散孤子动力学

目前常用的表征时空特征的方法是光谱滤波和空间采样，但这些方法只能对模式成分进行粗略估计。要得到确切的模式含量（包括振幅和相位），模式分解技术是有效手段，目前已经有多种模式分解技术手段可供选择，如空间和光谱分辨成像（S²）技术，相关滤波技术，延迟扫描离轴全息技术，机器学习等。此外，对于光场的实时、多维度测量是理解和认识时空动力学的基础，作者认为结合多模色散傅里叶变换、时间透镜、模式分解、时间抖动测量等技术的三维光场测量

系统将成为研究时空动力学的有力平台（图2）。

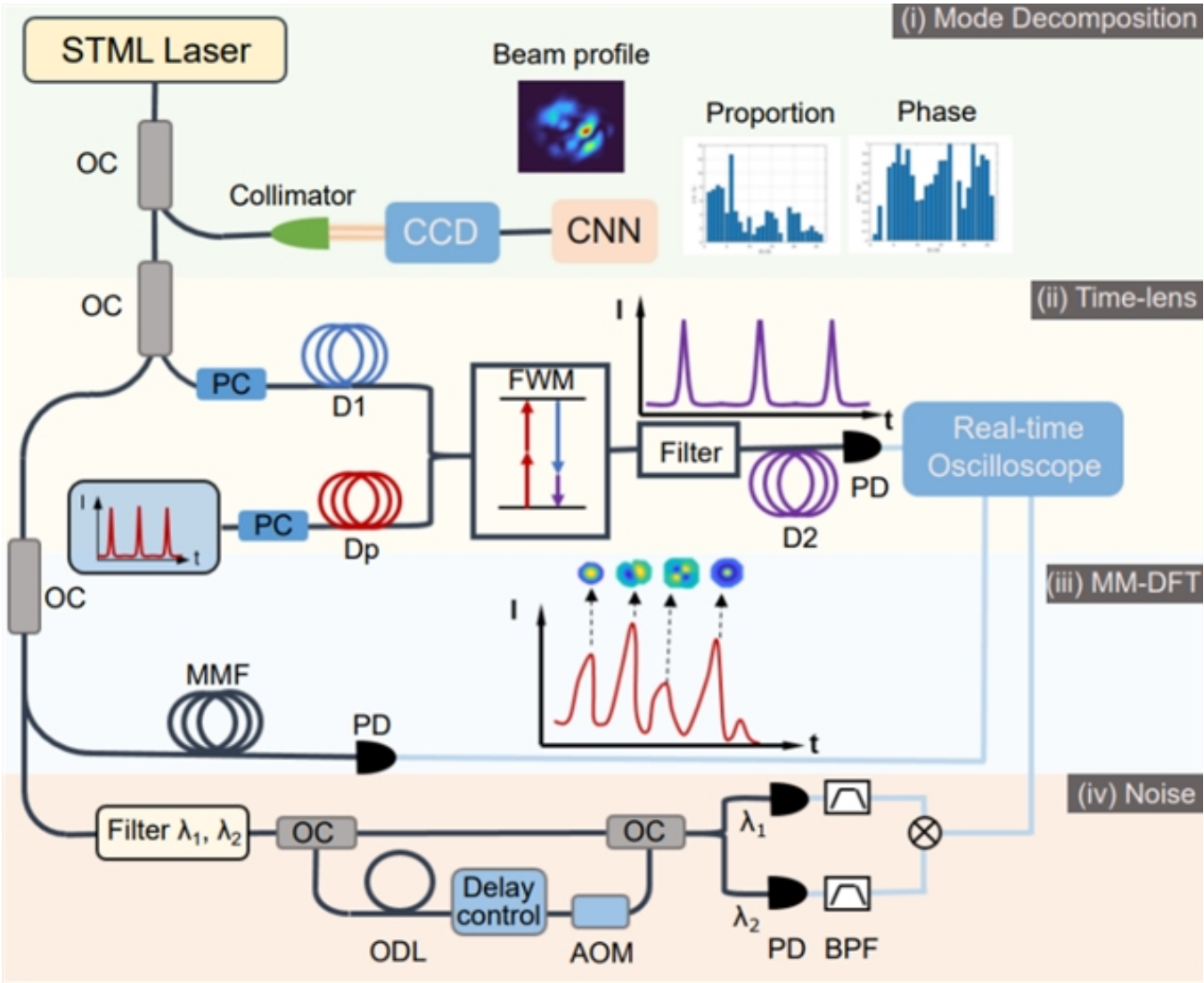


图2：用于表征STDS的多维系统

空间维度的拓展带来了复杂的非线性时空相互作用和丰富的时空物理现象，结合色散傅里叶变换等技术，一些时变动力学过程也表明时空锁模的复杂性。这些动力学过程从更高的维度展现了耗散系统的复杂相互作用。模场调控和波前整形可以应用于很多领域，但到目前为，在多模激光器中定制化模场仍然是纸上谈兵。对于大多数应用场景而言，较好的光束质量是有益的，Kerr自清洁和振荡器内引入空间光调制器（SLM）都可以实现对模场的调控。此外，通过增大光纤芯径，可以进一步提升锁模激光器的输出脉冲能量，也是时空锁模激光器的另一个研究目标。未来，全多模的Mamyshev振荡器、全光纤的结构、自相似时空脉冲、腔内增益工程都是多模光纤激光器潜在的研究热点。

讨论

作者在该部分对时空锁模激光器的应用和一些新型的技术路径进行了讨论，包括多模光频梳、波分复用技术用于多模激光器、多模超连续谱的产生、模式复用单腔双/多光梳、相干泵浦多模激

光器等等。此外，作者指出一些应用并非需要高时空相干的脉冲，低的时空相干性会降低控制的复杂性，在散射介质成像、波前整形、光学相干断层扫描技术、混沌光梳雷达等领域具有重要应用潜力。

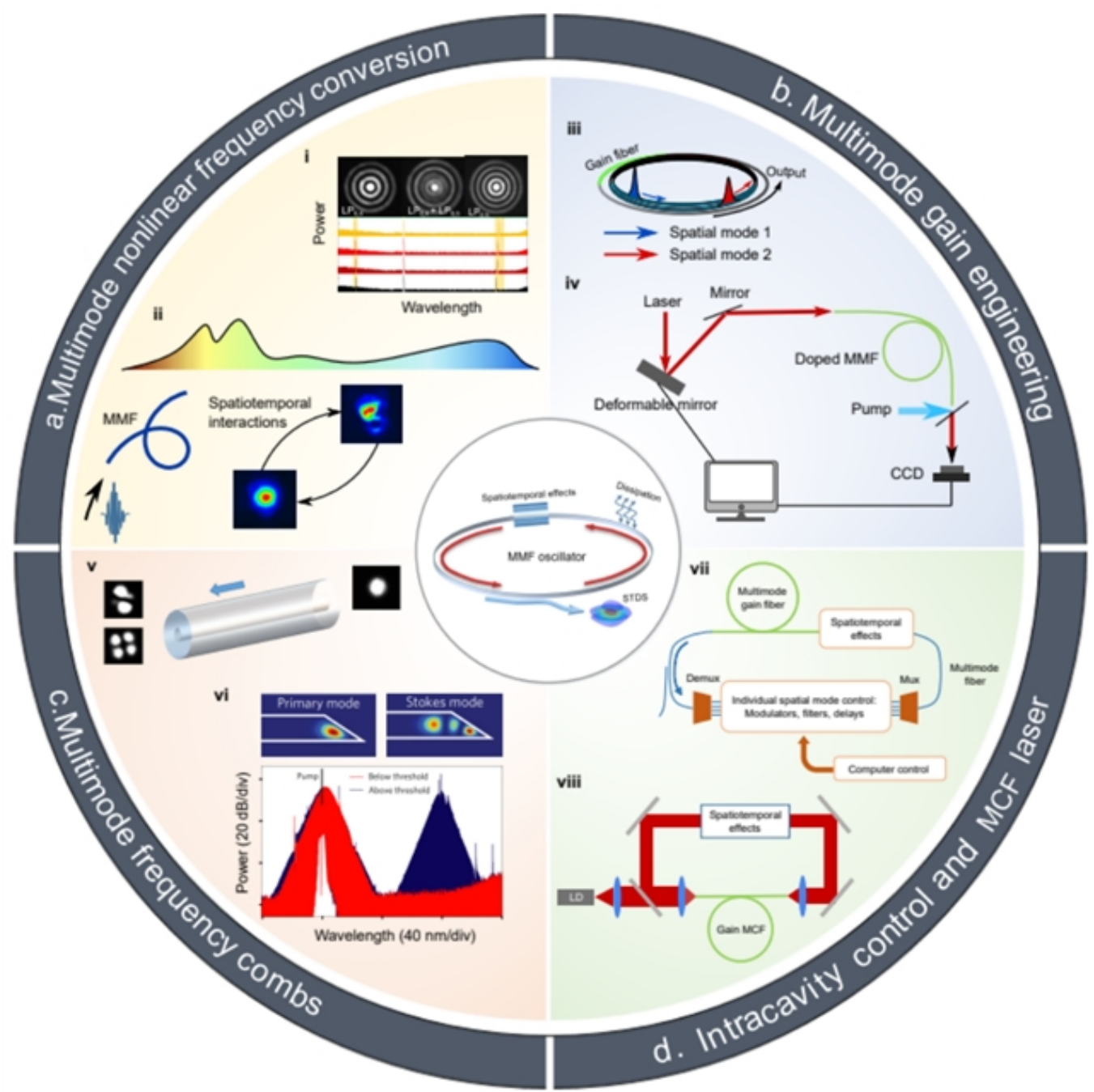


图3：时空锁模激光器的应用

（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01305-0>

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：杨昌喜等 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