
超宽谱近零色散微腔光频梳

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22399.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！

超宽谱近零色散微腔光频梳。基于微谐振腔的克尔光频梳具有大带宽、低噪声、高重频、小尺寸的优势，近年来被广泛应用于相干光通讯、激光雷达、光钟以及频率合成等研究领域，并有望为上述领域带来革命性的技术突破。

谐振腔的群速度色散是决定克尔光频梳动态过程的一个关键因素，当群速度色散为反常色散时，克尔光频梳能够形成亮孤子锁模，而当群速度色散为正常色散时，克尔光频梳能够形成暗孤子锁模。

近年来，国内外研究团队将研究重点聚焦于近零色散的微腔光频梳的非线性动力学研究，该方案能够进一步拓展微腔光频梳的光谱覆盖范围，这对促进微腔光频梳的应用至关重要。然而，在近零色散区域，由于群速度色散几乎消失，微腔的高阶色散将主导腔内光频梳的演化过程，从而影响了光频梳在锁模状态下的稳定性以及光场分布。基于近零色散微腔的克尔光频梳研究有望为倍频程、锁模光频梳产生提供了一条可行的技术路线。

近日，上海交通大学吴侃教授课题组联合电子科技大学姚佰承教授，在基于高非线性光纤的法布里-珀罗(FP)微谐振腔中，探索了在近零反常色散区域克尔光频梳的动态演化过程。

该工作在没有任何外部非线性光谱展宽的条件下，在谐振腔调制不稳定态获得了频率间隔约为10 GHz、光谱宽度超过2/3倍频程的光频梳。此外，还首次在近零反常色散区域观察到了一种新型的克尔光孤子结构，并将其称为基于反常色散的近零色散孤子(AD-NZDS)。该孤子结构局部的脉冲重复频率高达8.6 THz，单个脉冲持续时间<100 fs。

这项工作完善了克尔光频梳在近零色散区域的动力学研究，并能激发近零色散克尔光频梳在光计算、光传感、以及光相干层析成像中的应用。

该研究成果以Near-zero-dispersion soliton and broadband modulational instability Kerr microcombs in anomalous dispersion为题在线发表在Light: Science Applications。

与其他微谐振腔平台相比，光纤FP微谐振器具有易耦合、低损耗、模式分布简单以及色散控制成熟的优点。实验中所用光纤FP微腔的照片如图1(b)所示，其腔长约为1cm，自由光谱范围(FSR)为10.41506 GHz，在1550 nm处的Q值为 1.3×10^7 。

该光纤FP微腔的非线性系数相比于单模光纤高一个数量级，而群速度色散相比于单模光梳小一个数量级，非常适合近零色散光频梳的研究。实验装置如图1(a)所示，光纤FP微腔由脉冲泵浦方

案驱动，泵浦脉冲的重复频率可以由加载在强度和相位调制器上的射频信号精确控制。

实验采用的泵浦脉冲波形分布如图1(c)所示，经过拟合后获得的脉冲持续时间为2.1 ps。

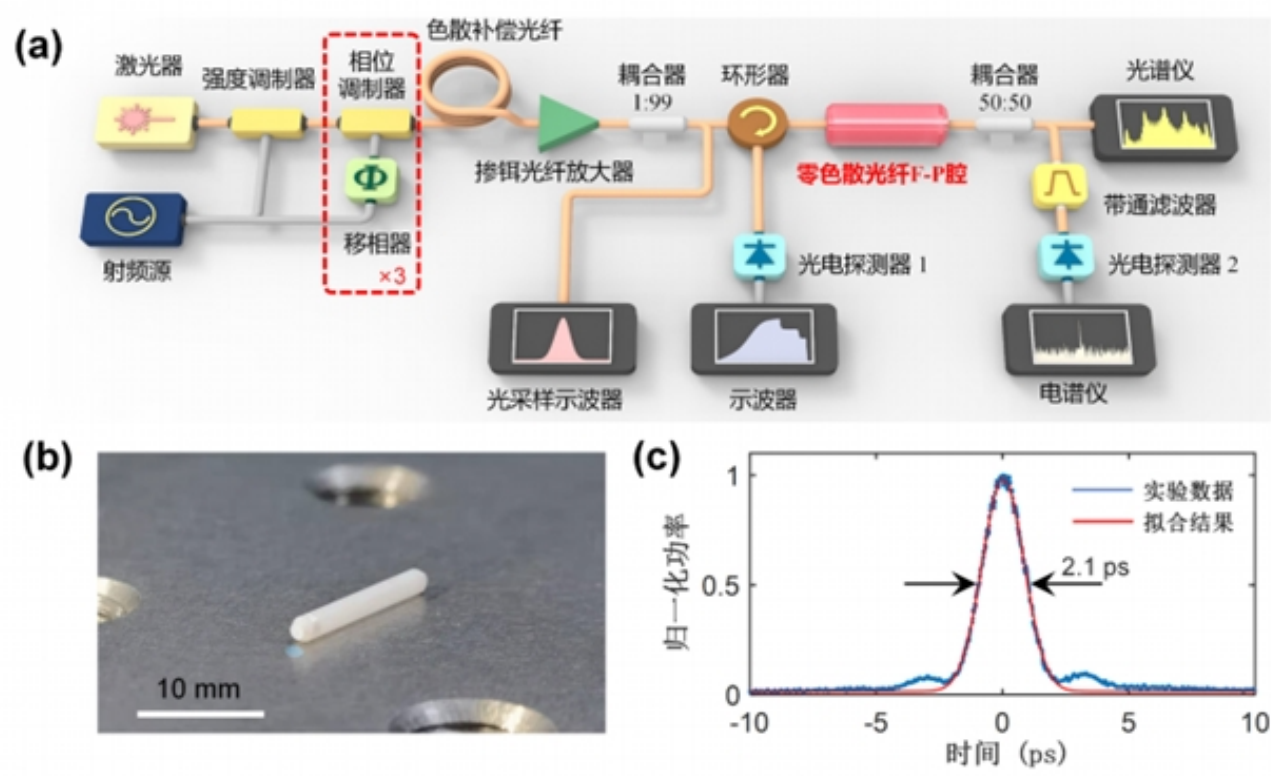


图1：高Q值光纤FP微腔产生近零色散光频梳。(a)实验装置图。(b)光纤FP微腔照片。(c)泵浦光脉冲波形。

由于所用光纤FP微腔具有近零平坦的色散分布，在腔外脉冲泵浦的驱动下获得了带宽超过2/3倍频程的调制不稳定态光频梳。

如图2(a)所示，调制不稳定态光频梳光谱覆盖范围为1240 nm到1950 nm，光梳模式间距约为10 GHz，相应的光梳数量超过8400根。

图2(b)展示了FP微腔两端高反膜的透射谱测试结果，用于和图2(a)中光谱进行对比。从图中可以看出，调制不稳定态光频梳两端的高功率包络与反射膜透射峰(由T1-T5标记)频率位置一致，说明腔内光场从反射膜透射峰泄露出来，从而形成了超宽光谱的微腔光频梳。

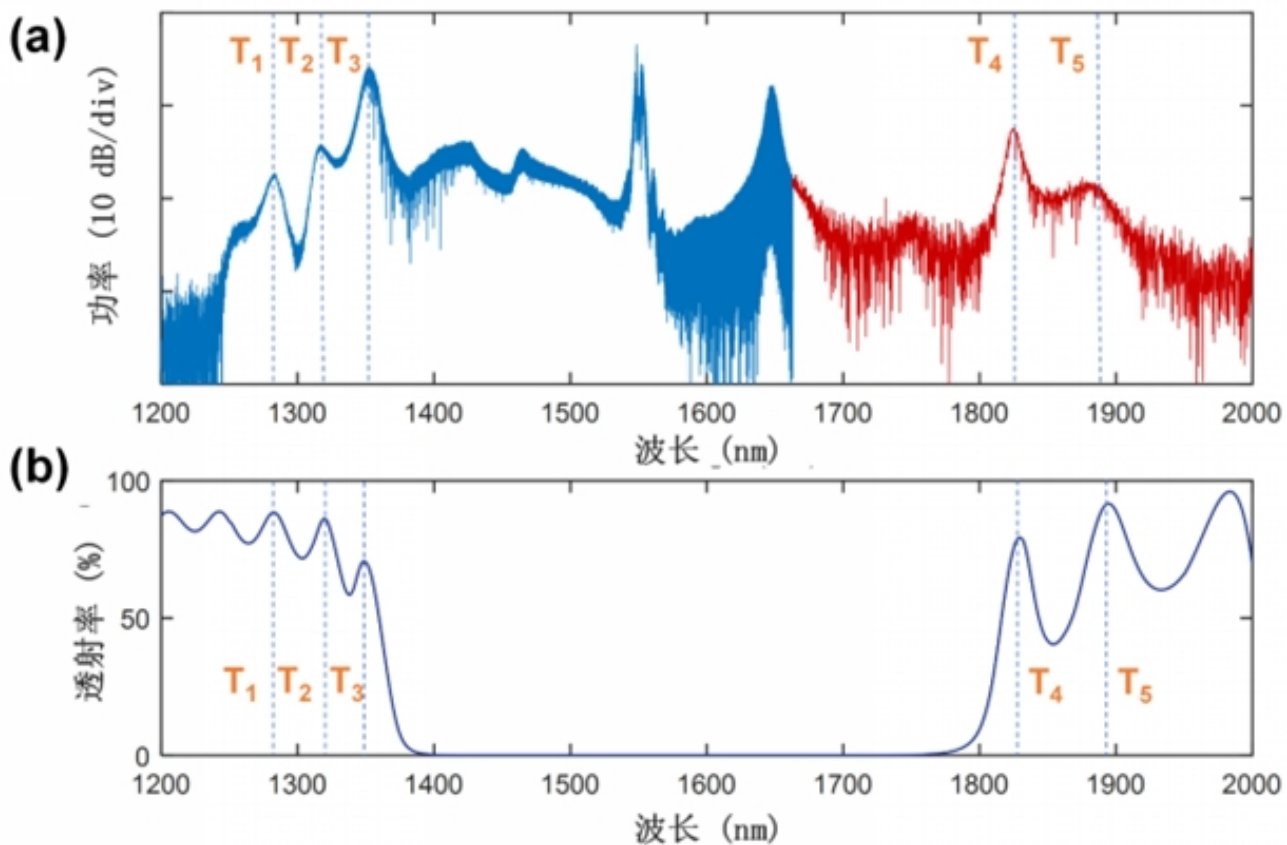


图2：宽谱调制不稳定态光频梳产生。(a)宽谱调制不稳定态光频梳。(b)光纤FP微腔反射膜传输谱。

根据近零色散孤子中绑定脉冲的数量 n (n 为正整数)，我们将它们定义为NZDS(n)。

图3(a)展示了NZDS(12-10)的光谱分布，而图3(b)展示了通过数值仿真所还原的NZDS(12-10)的时域波形分布。

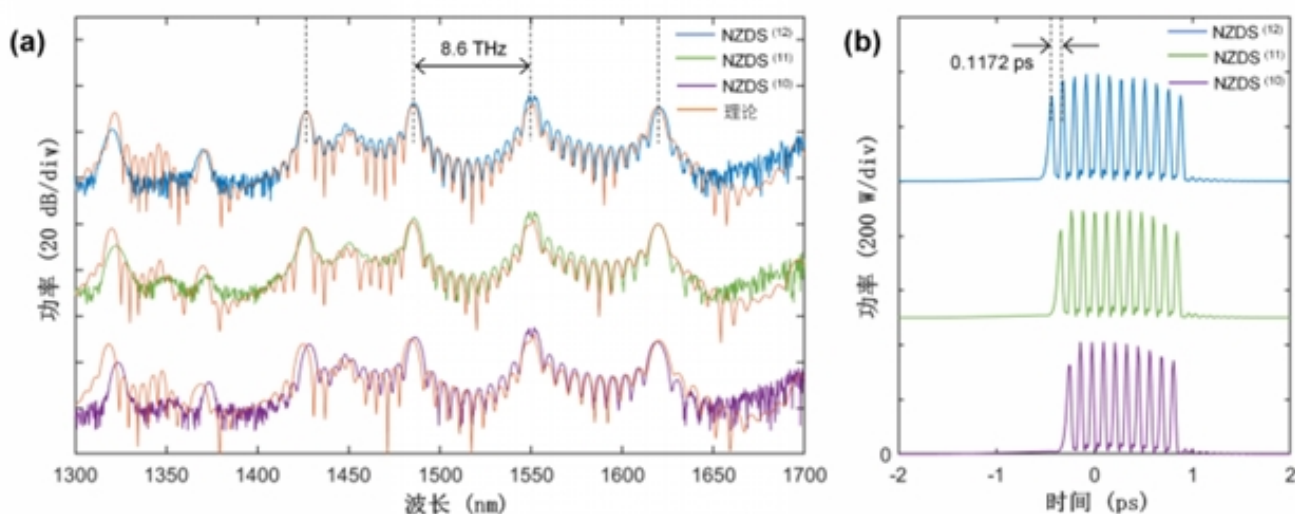


图3：近零色散光孤子产生。(a)近零色散光孤子光谱分布。(b)光谱对应的时域波形仿真。

从图中可以看出近零色散孤子是由一系列相互绑定的单脉冲组成，脉冲间具有相同的时间间隔。近零色散孤子中绑定脉冲的数量为区分不同NZDS(n)的阶数提供了一个显著特征。此外，NZDS(n)的阶数还可以通过光谱的相干周期性包络的数量来判定。

从实验和仿真结果可以看出，近零色散孤子具有形成密集孤子簇的优势。例如，在NZDS(12)状态下，孤子簇的局部重复频率高达8.6 THz，而单个脉宽小于100 fs。近零色散孤子这种独特的时域波形结构将拓展克尔光频梳在光学计算、信号处理和传感方面的应用潜力。

由于腔内热效应引入的扰动，阻碍了实验中低阶近零色散孤子的直接产生。为了使得腔内光场稳定在低阶的近零色散孤子态，在实验中进一步使用了热辅助激光器泵浦方案[Light: Science Applications 8, 50 (2019);]缓解腔内功率变化引入的扰动。

图4(a)展示了NZDS(2)态的光谱分布，而图4(b)展示了NZDS(3)态的光谱分布，在光谱中能够观察到明显的色散波包络[Science 351, 357 (2016)]。

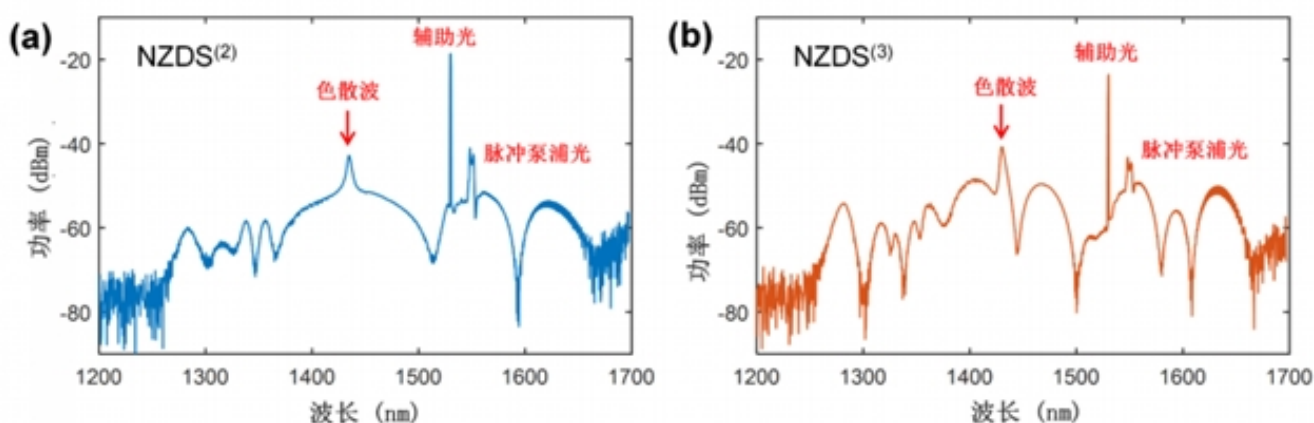


图4：基于辅助激光器方案的低阶近零色散孤子产生。(a)二阶近零色散孤子光谱分布。(b)三阶近零色散孤子光谱分布。

实验中获得近零色散孤子光谱宽度大于32 THz，包含了3200根以上的相干光频梳。低阶近零色散孤子的实验验证丰富了近零色散孤子的理论基础，有助于进一步拓展近零色散孤子的应用。

总结与展望

该工作基于高Q值光纤FP微谐振腔探究了近零反常色散区域的微腔克尔光频梳的动态演化过程，实现了超宽光谱的调制不稳定态光频梳，并首次发现了基于反常色散的近零色散光孤子。

这两种不同的微腔光梳状态有各自的优势：宽谱调制不稳定态光频梳拥有高转换效率、宽光谱和梳齿数量多的优势，而近零色散孤子态则表现出更低的相位噪声和超高的局部时域重频。

这项作为克尔微腔光频梳在近零色散区域的非线性动力学研究提供了一个全新视角，并且根据应用场景需求提出了一种灵活选择微腔光频梳工作状态的策略。(来源：LightScienceApplications

微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01076-8>

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：吴侃等 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