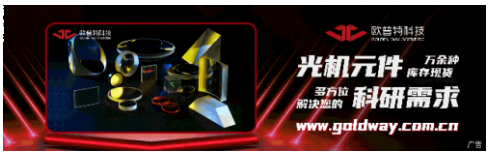
OEA丨基于啁啾相干探测技术的多稳态微腔孤子动力学研究

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41221.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！

OEA丨基于啁啾相干探测技术的多稳态微腔孤子动力学研究。



Opto-Electronic Advances论文推荐华中科技大学张新亮教授、张驰教授团队与中科院西安光机所张文富教授团队合作搭建了基于双连续光泵浦的多稳态微腔孤子产生平台
，填补了多稳态微腔孤子作用的机制空白，并推动其作为新型片上单腔双梳源在精密计量
、高速通信等领域的应用发展。

爱科学
iikx.com

OEA | Opto-Electronic Advances

Article

May 2026, Vol. 9, No. 5

Open Access

Multistable soliton dynamics in an optical microresonator

Zichun Liao[1,2†], Yuchong Cai[1,2†], Lun Li[5], Weiqiang Wang[3,4], Shuai Li[1,2], Chi Zhang[1,2*], Wenfu Zhang[3,4*] and Xinliang Zhang[1,2*]

Abstract: Dissipative Kerr solitons (DKSs) generated in optical microresonators have shown considerable promise across multiple applications, particularly in metrology and spectroscopy. Multistable solitons enable on-chip single-cavity dual-comb generation, and can be excited via multicolor pumping in a microresonator featuring high-quality factor and strong nonlinearity, whose dispersion profile governs the soliton velocity mismatch. However, real-time characterization of complex multistable soliton dynamics remains highly challenging due to their transient nature, large bandwidth, and high repetition rate. In this work, we generate multistable soliton dynamics using a dual-pump scheme targeting distinct cavity modes and report, for the first time, their simultaneous time- and spectral-domain characterization via a chirped coherent detection scheme. These multistable solitons are measured at different carrier-envelope offset frequencies, allowing for the observation of soliton switching and annihilation processes during pump detuning. Furthermore, the gain transfer mechanisms underpinning the influence of pump detuning on soliton dynamics are investigated. This study not only deepens our understanding of complex soliton interactions within optical microresonators but also supports enhanced control and utilization of single-cavity dual-comb sources.

Keywords: microcomb; multistable soliton dynamics; coherent detection; real-time characterization

DOI: 10.29026/oea.2026.250329 | CSTR: 32247.14.oea.2026.250329

Citation: Liao ZC, Cai YC, Li L et al. Multistable soliton dynamics in an optical microresonator. *Opto-Electron Adv* **9**, 250329 (2026).

[1]Wuhan National Laboratory for Optoelectronics & School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; [2]Optics Valley Laboratory, Wuhan 430074, China; [3]State Key Laboratory of Ultrafast Optical Science and Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China; [4]University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; [5]Photonics Research Institute & Department of Electrical and Electronic Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong SAR 999077, China.
† These authors contributed equally to this work.
*Correspondence: C Zhang, E-mail: chizheung@hust.edu.cn; WF Zhang, E-mail: wfuzhang@opt.ac.cn;
XL Zhang, E-mail: xlzhang@mail.hust.edu.cn

文章 Liao ZC, Cai YC, Li L et al. Multistable soliton dynamics in an optical m i croresonator. Opto-Electron A dv 9, 250329 (2026).

第一作者：廖子淳，蔡宇翀

通信作者：张驰，张文富，张新亮

研究背景

产生于高品质因子（Q factor）光学微腔中的耗散克尔孤子（Dissipative Kerr Soliton）作为一种先进激光光源，其频率成分像发梳的梳齿一样均匀排列，故常被称为微腔孤子光频梳。由于高Q光学微腔具有低损耗、小尺寸、强非线性等特点，微腔孤子光频梳的梳齿间距可达几十GHz乃至THz，且具有低功耗、小体积（硬币大小）

和低噪声等显著优势
，在精密测量、高速通信、微波光子学等领域展现出显著的应用潜力。此外
，光学微腔的制备工艺与现有CMOS技术兼容，易于大规模生产
，在工业界亦有广大的市场前景。

在测距、光谱分析等计量领域，为提升测量精度和分辨率，常采用双光梳探测系统。相比于传统的独立双梳结构，多稳态微腔孤子可在单个微腔内同时产生两组具有稳定重频差的光梳，大大降低系统成本和复杂度，并具有更好的双梳相干性。另一方面，多稳态微腔孤子的产生过程伴随着丰富的动态现象如孤子切换、孤子碰撞等，对这些动态的研究不仅拓展了基本的孤子作用机理，更有助于优化多稳态微腔孤子光梳的产生和调控过程，提升片上单腔双梳源的灵活度，推动其应用发展。然而，微腔孤子动态发生时间太短（微秒量级），时域脉冲过窄（亚皮秒量级），频域带宽要求大（太赫兹量级），对其动力学时域、频谱演化的实时全场表征是一个亟待突破的关键挑战。

本文亮点

在上述背景下，华中科技大学张新亮教授、张驰教授团队与中科院西安光机所张文富教授团队合作搭建了基于双连续光泵浦的多稳态微腔孤子产生平台。为突破微腔孤子动态观测的诸多挑战，张驰教授团队基于色散拉伸和相干探测技术创新性地提出并搭建了啁啾相干探测系统，可以实时表征微腔孤子动态的光谱和时域全场（强度和相位）演化过程。如图1所示，其核心创新点在于
，完美结合色散拉伸的时频映射优势和相干探测技术的全场信息探测能力
，在数字域构建虚拟时域透镜，实现微腔孤子频谱全场信息的实时测量，同时
，对信号频谱全场信息作傅里叶逆变换即可得到其时域全场信息，从而规避了微腔孤子直接探测的带宽受限问题和传统光学时域透镜结构复杂、探测噪声大等问题。
基于啁啾相干探测系统可实现20 MHz的探测帧率、25 nm的光谱探测带宽、28 pm的频谱分辨率、520 ps的单帧窗口和280 fs的时间分辨率。

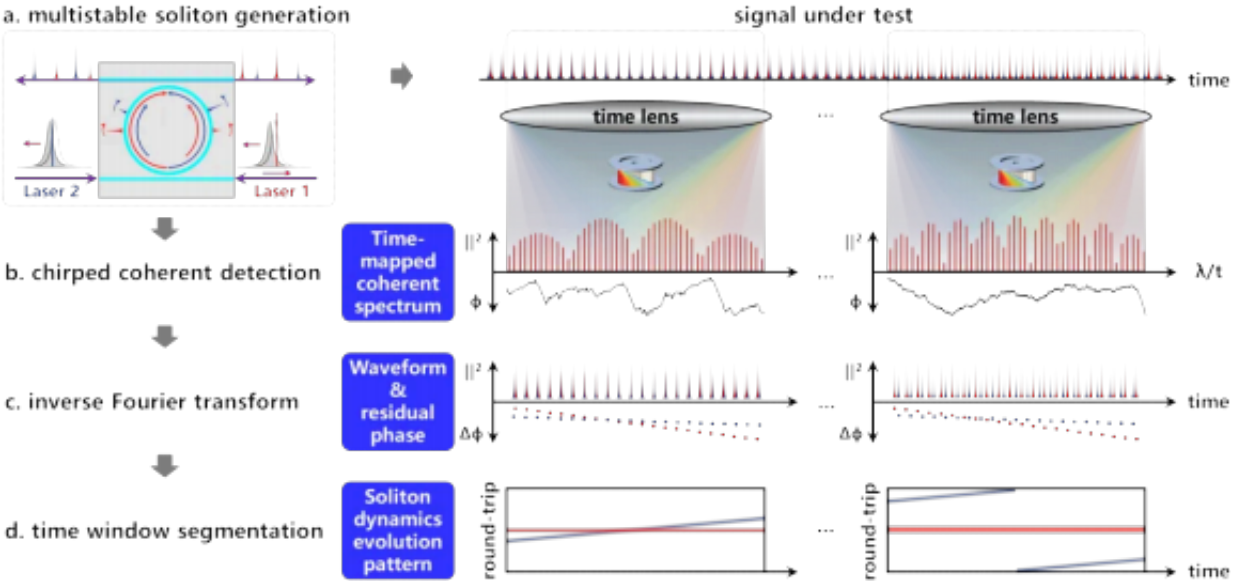


图1基于啁啾相干探测系统的孤子动态表征原理示意图

研究团队使用上述系统观测到多稳态孤子碰撞互穿及融合现象和多稳态孤子切换现象，分别如图

2和图3所示。其中，多稳态孤子切换现象是目前集成微腔孤子动态研究领域的一大新发现。

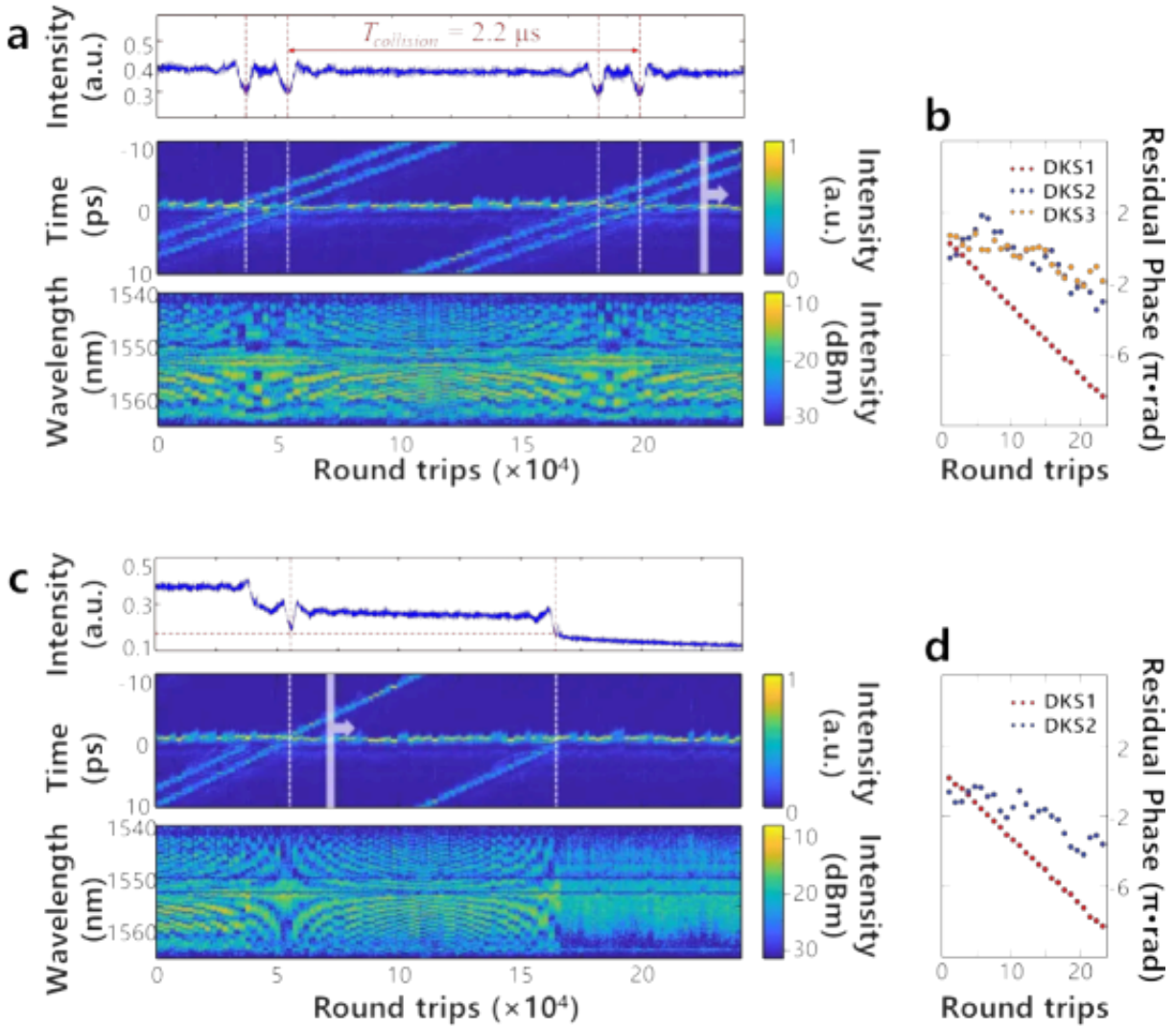


图2多稳态孤子碰撞的时频演化表征结果

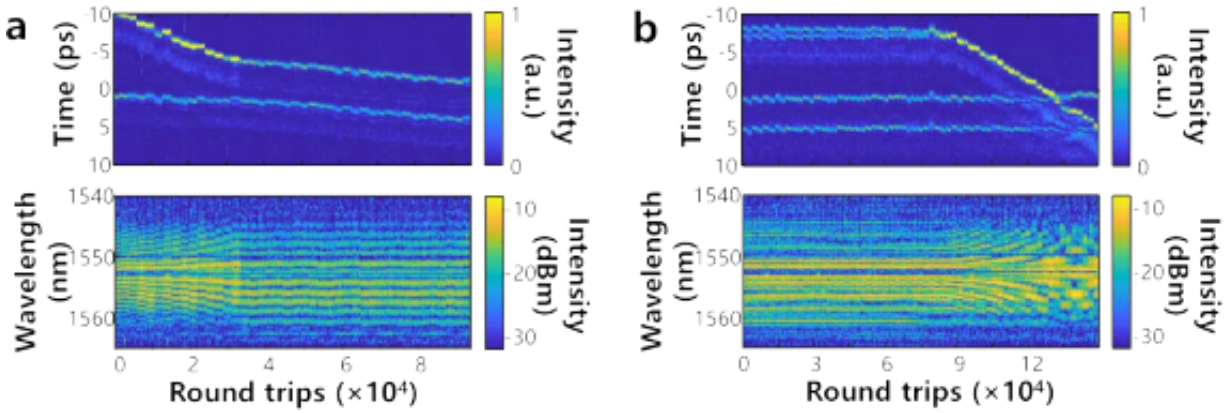


图3多稳态孤子切换的时频演化表征结果

该工作验证了啁啾相干探测系统在高速微腔孤子动态表征场景下的强大能力

，为多稳态孤子的精确操控奠定了可靠基础。研究成果填补了多稳态微腔孤子作用的机制空白，并推动其作为新型片上单腔双梳源在精密计量、高速通信等领域的应用发展。
该工作以Multistable soliton dynamics in an optical microresonator为题发表在Opto - Electronic Advances 2026年第5期上。

研究团队简介

张驰，华中科技大学武汉光电国家研究中心教授、博士生导师。
主要从事超快光学测量技术研究，开发了高帧率光谱仪和超带宽实时光示波器。在Science Advances、Light: Science Applications、Opto-Electronic Advances等期刊发表SCI论文100余篇。作为项目负责人承担国家自然科学基金联合基金重点项目、面上项目、青年基金项目、华为公司技术开发项目等。先后入选国家青年拔尖、湖北省青A、楚天学子、光谷产业教授等，担任《光学学报》青年编委。



华中科技大学张驰教授团队合影

张文富，中国科学院西安光机所研究员、博士生导师，中国科学院大学岗位教授，超快光科学与技术全国重点实验室副主任，主要从事光子集成芯片研究，包含硅基光互连芯片、集成微腔光学频率梳、窄线宽半导体激光器等，主持国家自然科学基金青年科学基金项目（A类）、科技部国家重点研发计划项目、JKW某专项重点项目、中国科学院战略先导专项（B类）项目、中组部WR计划青年拔尖人才项目等10余项，近5年以通讯作者（含共同）在Nature Communications、Science Advances、Physical Review Letters等期刊发表文章10余篇，申请专利20余项（美国专利5项）。

张新亮，华中科技大学武汉光电国家研究中心教授、博士生导师。
长期从事光电子器件与集成方面的研究工作，围绕着高速光通信网络关键器件及集成芯片、光计算、超快光学测量等方向开展研究。先后入选国家杰出青年基金、万人计划科技创新领军人才、教育部重大人才计划等，是中国光学学会会士、美国光学学会会士。

现任国务院学位委员会光学工程学科评议组秘书长
、教育部高等学校光电信息科学与工程专业教学指导分委员会副主任、
中国光学学会常务理事和中国电子学会常务理事等。先后获得省部级自然科学一等奖5项、
国家教学成果一等奖、二等奖各1项。



长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

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转发