
基于微腔多边形模式的孤子微梳产生

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/32016.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！

基于微腔多边形模式的孤子微梳产生

。华东师范大学程亚教授、上海光机所林锦添研究员团队与之江实验室姚妮副研究员合作，在正常色散的铌酸锂微腔中，通过激发具有反常色散的多边形模式，实现了低阈值的孤子微梳产生。这项模式色散操控技术，使得孤子微梳对微腔几何色散的敏感度降低，允许在具有更高Q值的正常色散微腔产生低泵浦阈值的孤子微梳。光学频率梳是由一系列离散、频率等间隔、彼此锁定的谱线构成的相干光源，它在时域对应一个超短激光脉冲，在许多实际应用上发挥重要作用，比如构建原子光钟、寻找类地行星、探究量子光学、光频合成、高精度光谱分析、激光雷达、高速光通信和微波光子学等等。

近年来，人们通过设计反常色散的微腔结构以平衡克尔非线性效应实现了片上孤子微梳，它具有低的泵浦功率、紧凑的结构、优秀的稳定性、高的重频和低的制造成本等优点，逐渐发展成为下一代重要的光学频率梳，为器件的小型化和便携式应用提供了全新的机遇，正在推动着高速信息处理、时频精密测量和高灵敏传感等相关领域的发展。包括硅、氮化硅、碳化硅、氮化铝、氟化钙、氟化镁、二氧化硅、铝镓砷、硫系玻璃、高折射率二氧化硅和铌酸锂等在内的大量光子集成平台材料，通过激发它们的二阶或三阶非线性光学效应的方式，已经被成功用于制备(二阶)泡克尔或(三阶)克尔孤子微梳。

在小型化微梳的产生过程中，为了在时域形成一个稳定的孤子脉冲链，光学微腔被要求工作在反常色散区，以平衡光克尔效应。在具体实施上，通常是通过控制微腔回音壁模式的几何色散来满足这一要求。其中，回音壁模式的色散对微腔几何结构形状和制备误差相当敏感，因此不可避免地导致了回音壁模式品质因子(Q值)的降低和光频梳产生所需泵浦阈值的增加。而且，在一些卓越的光集成材料平台，比如具有大的二阶非线性系数和强的电光效应的铌酸锂中，孤子微梳已经得到演示。这种铌酸锂微腔为孤子微梳提供了一些关键的性能，使得此类孤子微梳具有高速电光调制、倍频自参考和微梳自启动的可能性。

但是，由于铌酸锂具有很强的拉曼活性，很容易激发受激拉曼散射，从而消耗泵浦光功率，并与光克尔效应竞争，干扰孤子微梳的形成，使得孤子微梳产生所需的泵浦阈值大幅度提升。因此，在单个正常色散的光学微腔中，虽然其基模通常具有超高的Q值，有利于微梳的低泵浦阈值运转，但克尔孤子微梳暂时还未能产生。

华东师范大学程亚教授、上海光机所林锦添研究员团队与之江实验室姚妮副研究员合作，通过在正常色散的铌酸锂微腔中激发具有反常色散的多边形模式，实现了孤子微梳产生。这些微腔多边形模式，是通过一根锥形光纤耦合到微腔上，对微腔模场产生微扰，从而引起微腔固有的近简并模式发生重组，相干合成多边形模式。通过调节锥形光纤与微腔的耦合位置和泵浦波长，可灵活

激发具有不同色散特性的多种多边形模式。与回音壁模式不同，光以多边形模式传播时的传播轨迹，通常远离微腔较为粗糙的边界和光耦合区，因此，尽管锥形光纤是直接贴在微腔表面上，多边形模式遭遇的边界散射损耗仍然得到大幅降低。所以，多边形模式可以具有比回音壁基模更高的Q值，达到了 4.1×10^6 。同时，多边形模式具有特殊的空间模场分布，一组多边形模式族(比如四边形模式族)与另外一组不同的多边形族(比如五边形模式族)以及常规的回音壁模式族，具有很小的空间重叠，因此，对某一组多边形模式进行激发时，不会同时激发出其他模式，从而显著抑制了拉曼效应和模式交叉。

更重要的是，与回音壁模式不同，多边形模式得到了经典轨道的保护，从而具有较低的色散特性，可以提供反常群速色散和更高的模场空间重叠。所以，在1550 nm光通信波段，尽管实验使用到了回音壁基模群速色散为25.5 ps²/km的正常色散铌酸锂微腔，相干合成的四边形模式仍然具有反常群速色散-4.9 ps²/km，如图1(a)所示。因此，对谐振波长在1542.8 nm附近的四边形模式，将泵浦光波长从模式的红失谐边扫描到蓝失谐边，借助铌酸锂的光折变效应，获得了光谱范围覆盖1450 nm到1620 nm的光频梳产生，而且光梳包络呈现双曲正割形状，符合孤子光梳特征，如图1(b)所示。由于激发的是具有超高Q值的多边形模式，维持孤子微梳运转的泵浦功率为11.1 mW，仅为已报道的基于铌酸锂平台的孤子微梳最低泵浦纪录的1/3。

图1微腔多边形模式的孤子微梳产生。(a)微腔横电场偏振的回音壁基模色散和四边形模式色散对比，分别在光通信波段显示了正常色散和反常色散。插图为铌酸锂微腔的扫描电镜，标尺对应20 μ W。(b)基于微腔多边形模式产生孤子微梳的光谱，插图为微腔四边形模式光发射的光学显微图。

因此，通过对微腔引入微扰合成了具有超高Q值的多边形模式，提供了合适的反常色散和更高的空间模场重叠，促进了孤子微梳的低泵浦阈值运转。这项模式色散操控技术，使得孤子微梳对微腔几何色散的敏感度降低，允许在具有更高Q值的正常色散微腔产生低泵浦阈值的孤子微梳。该工作获得了国家科技部、基金委、上海市和中国科学院等的资助，以Soliton microcomb generation by cavity polygon modes 为题作为封面文章发表在Opto-Electronic Advances(OEA, 光电进展)2024年第8期。研究团队简介 在本项工作中，研究团队利用程亚教授发明的化学机械抛光方法与工艺，制备了高Q铌酸锂微腔;借助团队前期在微腔多边形模式调控的基础，林锦添等人发现了新的光梳产生条件;付博涛开展了理论模拟。在此基础上，姚妮、林锦添和程亚教授进一步充分讨论，分析得到了新的色散机理。

林锦添, 中国科学院上海光机所研究员, 博士生导师。主要从事超快激光微纳制造、集成光学和非线性光学研究。合作发表SCI论文60余篇, 论文被引超2400次(据web of science), 以第一(含共同)/通讯作者在PRL、Adv. Photonics、Laser Photonics Rev.等期刊以发表论文20余篇, 其中ESI高被引论文3篇。曾获得饶毓泰基础光学奖和上海市优博奖, 2021年获国家优秀青年科学基金资助。

程亚, 华东师范大学教授、博士生导师;中国科学院上海光机所研究员;先后担任国家科技部重大科学研究计划项目、重点研发计划项目首席科学家;获国家自然科学基金杰出青年基金、国家万人计划领军人才、上海领军人才、上海市优秀学术带头人等荣誉。现为美国光学学会会士、英国物理学会会士等。主要从事超快激光与材料相互作用机理与微纳加工技术研究, 在飞秒激光微纳加工技术的工艺创新、高性能铌酸锂光子器件的制备和应用探索等方面取得若干成果, 获中国发明专利授权20余项, 美国专利授权8项;发表SCI论文200余篇, 被Web of Science引用万余次, H因子约60。应Pan Stanford Publishing与Springer London等国际著名出版社邀请, 出版英文论著5本(独立撰著1本, 合著2本, 合编2本), 并应科学出版社邀请出版中文论著1本。应邀在国际光电领域的重要国际学术会议上作邀请报告150余次。领衔获上海市自然科学一等奖、科技部颠覆性技术大赛优胜奖等。相关论文 Fu BT, Gao RH, Yao N et al.Soliton microcomb generation by cavity polygon modes.Opto-Electron Adv7, 240061 (2024). DOI:10.29026/oea.2024.240061

作者: 林锦添、程亚等 来源: OEA

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