

[新闻动态](#)当前位置: [首页](#) > [新闻动态](#) > [科研动态](#)[所内新闻](#)[科研动态](#)[综合新闻](#)[通知公告](#)[媒体扫描](#)[物理所公开课](#)**中国科学院物理研究所  
北京凝聚态物理国家研究中心****L07组供稿****第71期****2019年11月20日**

## 超低相噪全固态光学频率梳及连续激光频率的精确锁定

自本世纪初飞秒光学频率梳(光频梳)问世并获得2005年诺贝尔物理学奖以来,其发展不仅日新月异,而且应用也层出不穷,从光频标、精密光谱学、阿秒科学、基本物理常数等基础研究拓展到了绝对距离测量、地外行星探测、微波光子学等高技术领域,特别是近年来在空间高精度频标、空地高精度时频传递等重大需求中也呈现出越来越广泛而重要的应用潜力。在光频梳研究中,一个重要的问题是对载波包络相移频率 $f_{ceo}$ 的精确锁定,其不仅决定着整个频率梳的初始频率漂移,而且在飞秒激光与物质相互作用研究中也影响着所能得到的作用效果与物理效应,因此如何精密控制并锁定 $f_{ceo}$ 以获得极低相噪的结果,是光频梳与超快激光研究中极具挑战性的工作之一,也是光频梳所能达到水平的重要标志。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心光物理实验室L07组多年来一直致力于低相噪高稳定光学频率梳技术及频率锁定的研究,曾提出整形光谱自差频测量 $f_{ceo}$ 的技术,证明了一种获得高信噪比 $f_{ceo}$ 的方案,并结合电子锁相环反馈控制技术实现了相位漂移低至55mrad的超低相噪钛宝石光频梳。近年来,一种新的 $f_{ceo}$ 反馈技术——前置反馈锁定技术,由于可直接补偿抵消 $f_{ceo}$ 漂移,因此受到人们的广泛关注。所谓前置反馈锁定技术,是在输出激光中插入一个声光调制移频器(Acousto-optic Frequency Shifter, AOFS),通过将测到的 $f_{ceo}$ 频率直接调制到声光晶体上,从而在其一级衍射光中得到频率被量身修正的输出激光。相比传统的电子锁相环反馈技术,前置反馈锁定没有比例积分滤波(PID)环节,相当于具有很宽的带宽,因此可以瞬时响应误差信号,从而很好地抑制高频相噪,理论上具有极低的噪声。最重要的一点,AOFS是直接插入在输出激光中,对激光器系统没有任何影响,这就大大增加了该技术的实用性。最近,该组的韩海年副研究员、博士研究生张子越和魏志义研究员等人在多年努力的基础上,首次实现了全固态克尔透镜锁模Yb:CYA激光 $f_{ceo}$ 的前置反馈锁定,从而实现了一种超低相噪的全固态新型光学频率梳。图1所示为实验装置及结果,实验中他们研制的全固态克尔透镜锁模Yb:CYA激光的输出功率为200mW、脉宽为57fs、重复频率为84MHz,通过在AOFS的零级和一级衍射光后各搭建一套 $f/2$ 干涉装置作为内环和外环,并将内环测到的 $f_{ceo}$ 信号直接反馈到AOFS以控制 $f_{ceo}$ 的漂移、外环测到的 $f_{ceo}$ 信号用于分析锁定结果。得益于AOFS前置反馈锁定控制带宽的大幅度提升,最后测得该光频梳的 $f_{ceo}$ 积分相位噪声(1Hz-1MHz)低至79.3mrad,相对采用传统锁相环泵浦反馈方式的316mrad结果,相位噪声降低了70%,这也是迄今基于全固态激光在1 $\mu$ m波段得到的最低 $f_{ceo}$ 相噪。此外通过对1Hz以下相位噪声功率谱密度和长时间频率不稳定的分析,表明他们发展的该项技术在高频相噪抑制方面更具优势。该项工作结果以“Ultra-low-noise carrier-envelope phase stabilization of a Kerr-lens mode-locked Yb:CYA laser frequency comb with a feed-forward method”为题目发表在最新一期的《光学快报》上(Optics Letters Vol.44(22),2019)。

如何实现光频梳和连续激光之间的相干连接,是光频梳和光频测量比对研究中另一个具有重要意义和挑战性的研究内容。将锁定到超稳激光的光频梳再与任何一个连续激光相干连接,超稳激光的频率稳定度可准确地传递到这个连续激光,这样就成为一个完美的光学频率综合器,可在微波至光频波段提供任意的低相噪高稳定频率源。AOFS前置反馈锁定技术同样可以用于连续激光和光频梳之间的相干连接,基于该项发明专利(专利号:ZL 201811074118.3),韩海年副研究员、博士研究生邵晓东和魏志义研究员等人也进一步实现了频率稳定性的相干传递。实验中首先将一台1064nm连续激光器和光频梳进行拍频,然后将得到的拍频信号与本振信号混频后驱动AOFS以实现前置反馈,这样经过AOFS后的一级衍射光就被锁定到了光频梳上(图2左),这台光频梳是锁定在一台超稳972nm连续光源上。锁定前,1064nm连续激光器每小时的频率漂移约几十kHz,锁定后测量得到10000s积分时间下一级衍射光的频率漂移偏差仅为4.1mHz,对应的频率稳定性为 $1.5 \times 10^{-17}/s$ (图2右),噪声被极大压制,长期稳定性也得到了极大提高,很好地实

现了光频梳和连续激光之间的相干连接。主要结果最近以“Precision locking CW laser to ultrastable optical frequency comb by feed-forward method”为题目发表在AIP Advances 9 (11) 2019上。

以上研究获得了中国科学院先导专项(XDA1502040404, XDB21010400)及国家自然科学基金项目(91850209, 11434016, 61575219)的支持。

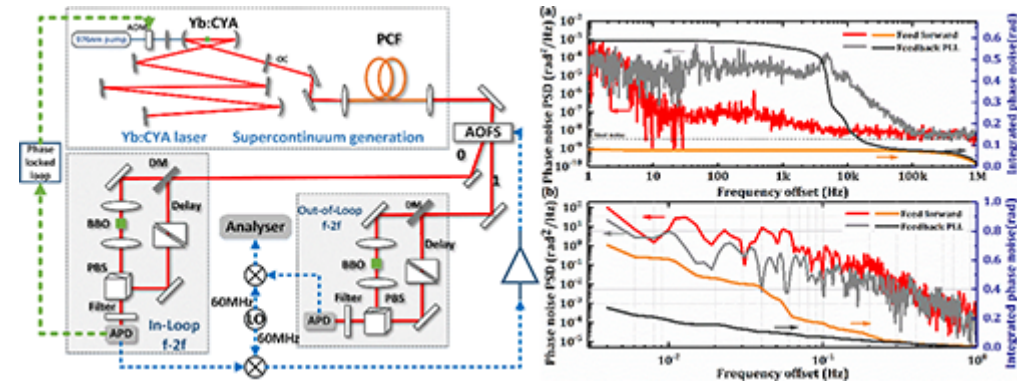


图1. 基于前置反馈锁定技术的全固态克尔透镜锁模Yb:C:YAG光频梳光路（左）及不同频率范围内的相噪曲线（右）

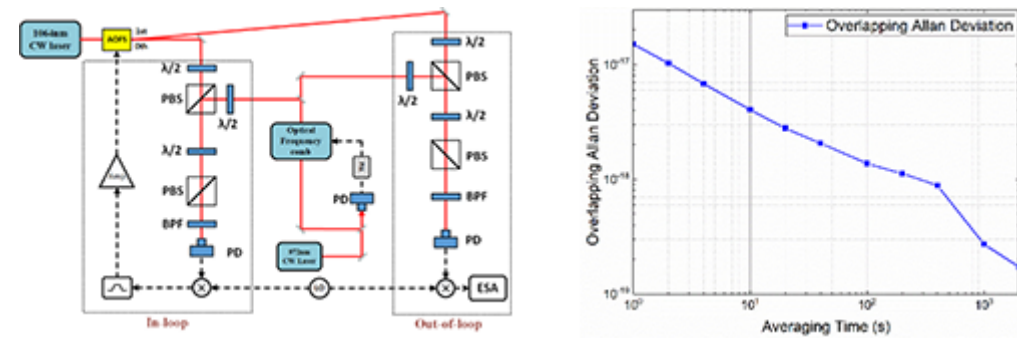


图2. 前置反馈技术锁定超稳光频梳和连续激光的光路图（左）及锁定后连续1064nm激光的频率稳定性结果（右）

>> 附件列表:

- [下载附件>> AIP Advances 9, 115003 \(2019\).pdf](#)
- [下载附件>> Optics Letters 44, 5489 \(2019\).pdf](#)

[电子所刊](#)

[公开课](#)

[微信](#)

[联系我们](#)

[友情链接](#)

[所长信箱](#)

[违纪违法举报](#)

