
芯片集成Pockels激光器释放光学测量潜能

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36302.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！

芯片集成Pockels激光器释放光学测量潜能。 导读

基于精密光学测量中对激光器频率稳定性与快速调控的关键需求，来自罗切斯特大学与加州大学圣芭芭拉分校的课题组合作开发出一种基于薄膜铌酸锂的集成Pockels激光器。通过弱反射布拉格反射器（eDBR）结构与片上电极共驱动技术，该激光器实现了167 Hz的超窄线宽、超过10 GHz的高速调制带宽以及高达 2×10^{19} Hz/s的频率啁啾速率。利用这一新型激光器，研究团队不仅成功实现了短距离、高速物体（最高达40 m/s）的精确测速和测距，还首次在无额外光学调制元件下完成了Pound-Drever-Hall激光频率锁定，为未来光通信、自动驾驶与量子计算等领域提供了新的技术选择。

该成果发表在《Light: Science Applications》，题为Pockels Laser Directly Driving Ultrafast Optical Metrology。罗切斯特大学博士生薛世欣、加州大学圣芭芭拉分校博士后研究员李鸣骁为论文共同第一作者，林强教授和John E. Bowers教授为共同通讯作者。

研究背景

数十年前，激光器的发明奠定了现代光学测量系统的基础；然而直至今日，精密光学测量系统依旧受到光源频率稳定性和精确调控能力的限制。对于如光学原子钟、量子传感器及光量子计算系统这一类的应用，他们往往需要复杂而庞大的外部光电控制装置，而这大大限制了设备的集成化程度、实用性以及普及程度。另一方面，对于目前自动驾驶领域基于光波段的测速技术，现有的FMCW激光雷达受限于激光频率调制的速度和线性度，难以有效应对高速、短距离的测量任务，带来难以逾越的技术瓶颈。

研究创新

针对这一系列挑战，团队设计出一种基于薄膜铌酸锂（TFLN）的集成Pockels激光器。该激光器将Pockels效应集成于传统半导体激光器内部，以实现超快速频率调制。整体激光结构采用扩展式分布布拉格反射器（extended DBR）结构，其中布拉格光栅被置于低折射率的二氧化硅包层中，并通过调节二氧化硅包层厚度或光栅刻蚀深度，实现对布拉格散射强度的灵活调控。另一方面，二氧化硅拥有相比于铌酸锂更优质的等离子体刻蚀特性，便于在光栅区域实现更低散射强度（ $= 5.4 \text{ cm}^{-1}$ ），从而获得超窄反射带宽的光栅谱，而这一点对于窄线宽单模激光至关重要。同时，配合集成于反射器结构两侧的电极，激光波长可通过铌酸锂的Pockels效应实现高速调谐；进一步结合与铌酸锂波导共驱动的相位调控区，可实现简化结构下的模式无跳变宽带调谐。这种共调谐方案相比于传统环形腔结构，降低了电驱复杂度，具备即插即用的操作特性。

图1. 激光器结构示意图与eDBR区域放大图。

实验结果显示，该激光器在光通信C-band工作波长附近实现了单模输出，并实现超过 58 dB的边模抑制比和13 mW的芯片输出功率。通过对白噪声频率噪声密度的测量，其对应的本征线宽为167 Hz，低于现有的基于砷酸锂的单一片上激光器。结合其超过10 GHz的调制带宽和 2×10^{19} Hz/s的频率啁啾速率，该激光器可实现片上高速闭环反馈锁定。

以该器件为光源，研究人员成功构建了一个高速物体测速系统，它所采用的FMCW光雷达技术在实验中实现了对位于0.4 m距离下40 m/s高速目标的测速，并达成 <2 cm的测距分辨率。事实上，这一结果仍然受限于实验中使用的目标物体的速度极限，在1 m的测量距离上，该器件的理论测速极限是第一宇宙速度（7.91 km/s）。

在另一个基于相同器件的实验中，得益于激光的调制范围以及稳定性，使用Pound-Drever-Hall技术，团队实现了无需外部光调控的激光频率锁定，仅通过与参考气体池的片内直接反馈，激光在1小时内保持 ± 6.5 MHz 的频率稳定性。

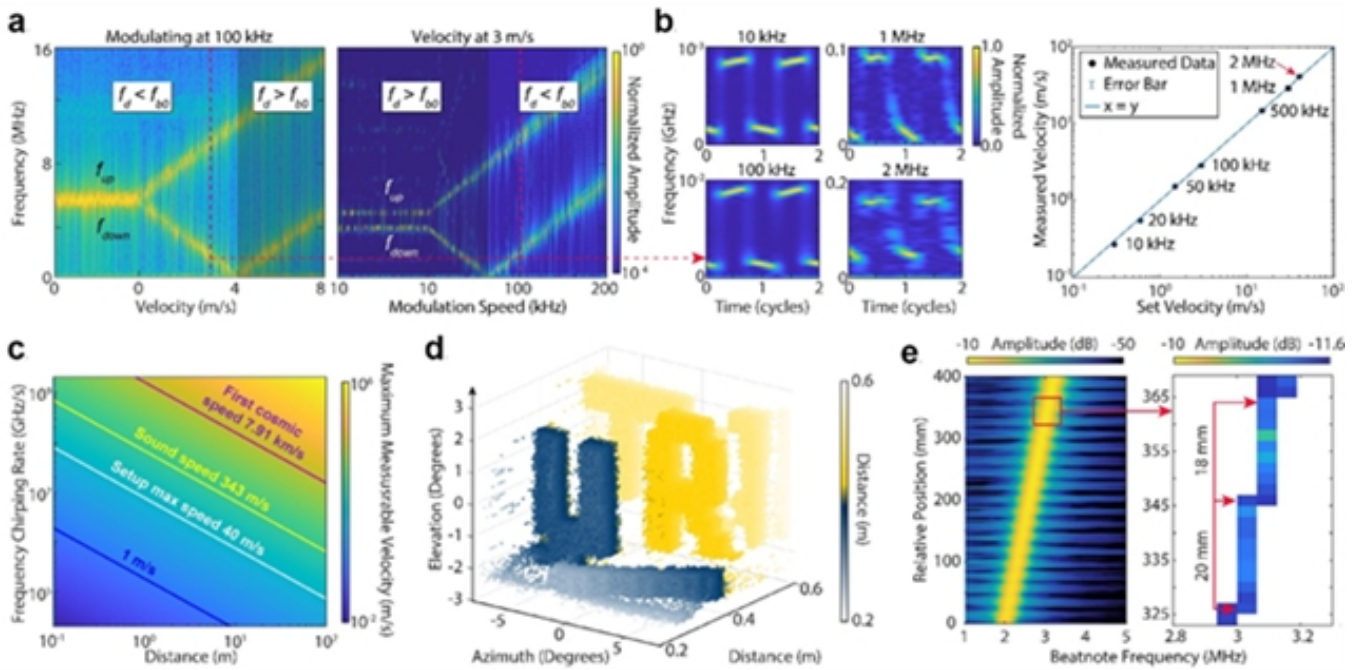


图2. FMCW光雷达测速(a, b, c)与测距(d, e)结果。

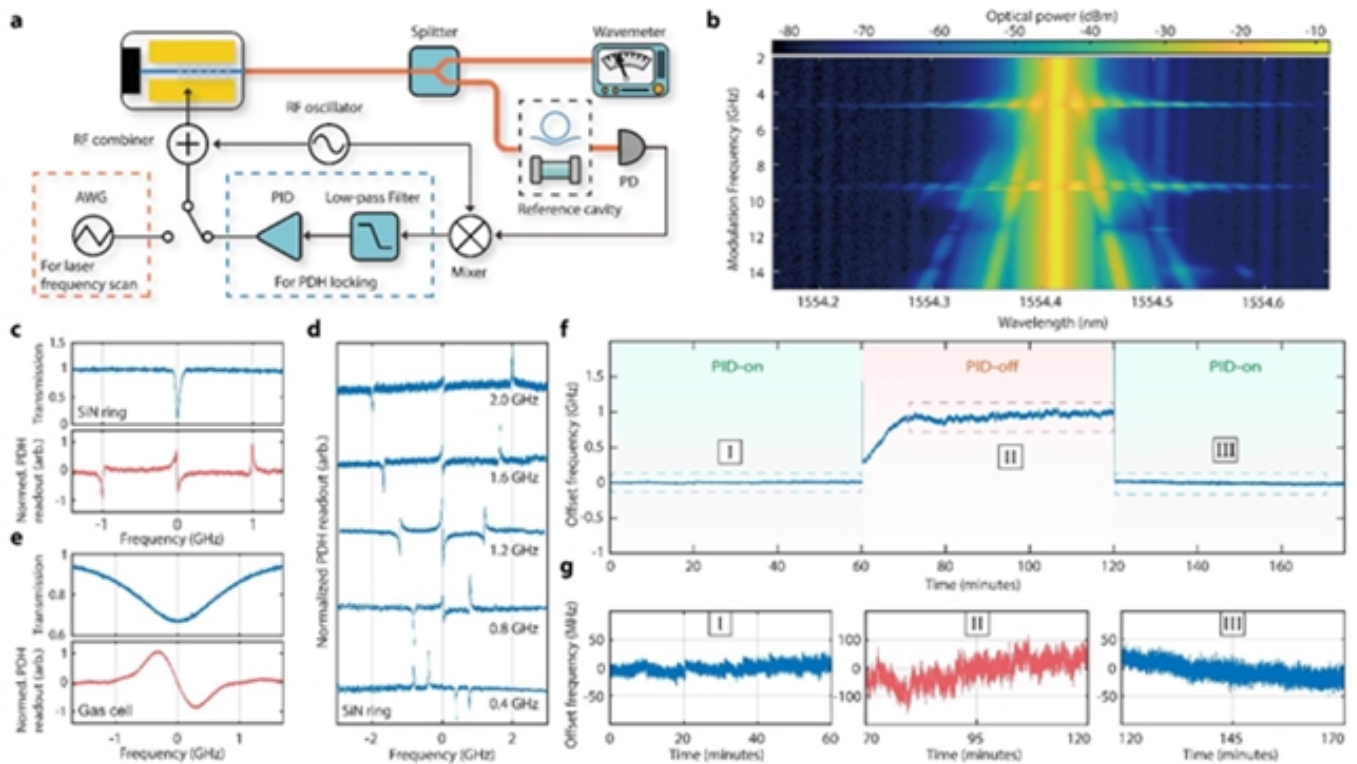


图3. 激光器主动锁模(b)与PDH锁定实验(c, d, e, f, g)结果。

前景展望

该激光器在结构简洁性、高相干性与快速可调性方面的综合优势，展现出广泛的光学测量应用潜力。在光学原子钟和量子计算等前沿领域，尽管参考腔、原子气室与离子阱等关键模块已实现小型化，激光器频率控制仍依赖体积庞大、结构复杂的外部模块，限制了系统的集成度与可部署性。该研究提出的激光器架构有望突破该瓶颈，实现激光源本体的高性能频率调控，为上述系统的实用化部署奠定基础。此外，在冲击波诊断与惯性约束聚变等领域，面对极端多普勒频移所带来的探测带宽挑战，该激光器所具备的超快频率啁啾特性可通过引入延迟诱导频率位移进行补偿，显著提升系统测速能力。凭借其高相干、多功能、可扩展的优异特性，该激光器同样具备在高速通信、精密光频合成、微波光子学等方向拓展应用的广阔潜力。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01872-4>

作者：林强等 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