
全芯片集成的光生微波振荡器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/35079.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！

导读

微波技术历经百年发展，已全面渗透到科研、民生和国防领域中。当前，研制低相位噪声的微波源仍是实现先进无线通信、精密授时、深空导航、高精度雷达及高灵敏度天文探测等尖端应用的核心任务。

传统微波生成技术主要依赖固态微波振荡器与真空电子器件。其中，低温蓝宝石微波振荡器已被用作铯喷泉钟的微波频率校准基准，支撑国际秒定义。激光技术的出现则为实现超低噪声微波源开辟了新路径。例如，基于光频梳分频技术（optical frequency division）的微波振荡器，其频率稳定度已远超传统低温蓝宝石微波振荡器。尽管如此，因其高功耗、大体积、高成本及系统复杂度等局限性，很多光生微波技术和系统难以走出实验室环境，从而进一步实现大规模应用部署。

依托于光子集成和光芯片技术的飞速发展，基于光学微腔的芯片级光频梳为微波合成带来了全新范式。芯片级光频梳具有体积小、能耗低等显著优势，并可通过与泵浦激光、高速光电探测器的结合来实现微波至毫米波的全频段生成。然而，只有将激光器、光电探测器与微腔光频梳集成于同一衬底上，才能实现真正意义上的全芯片集成的光生微波器件，对高性能光芯片和微波光子器件的大规模应用和部署起到关键推动作用。

在此背景和驱动下，深圳国际量子研究院的刘骏秋研究团队联合上海科技大学的陈伯乐研究团队近期成功研制出首款全芯片集成的、基于微腔光频梳的微波振荡器。该器件将分布式反馈（DFB）激光器芯片、高品质氮化硅微腔芯片和高速光电探测器芯片进行混合集成，在分米级尺度的芯片上同时实现了窄线宽激光器、相干微腔光频梳与低噪声微波源的三位一体集成。每个单独的芯片性能均达到业界标杆，同时该芯片系统可通过成熟的半导体CMOS和III-V族工艺实现低成本量产。该研究成果以A chip-integrated comb-based microwave oscillator为题发表在《Light: Science Applications》期刊。该工作得到了科技部2030、基金委、广东省以及深圳市的大力支持。

研究内容

该微波振荡器芯片的系统架构如图1所示。DFB激光器芯片由小型电路板驱动，可以输出1550 nm波长的连续激光。该激光通过端面耦合的方式注入自由光谱范围（FSR）为10.7 GHz的氮化硅微腔芯片。由于氮化硅微腔的克尔非线性、高品质因子（损耗低至每米1.3 dB）和微腔的正常群速度色散，微腔中形成模式间距为10.7 GHz的暗脉冲（dark pulse）型微腔光频梳。微腔光频梳进一步耦合进入高速光电探测器芯片。通过对暗脉冲进行高速探测，探测器芯

片最终输出10.7 GHz的微波基频及其高次谐波信号。整个芯片系统的总面积仅76平方毫米。

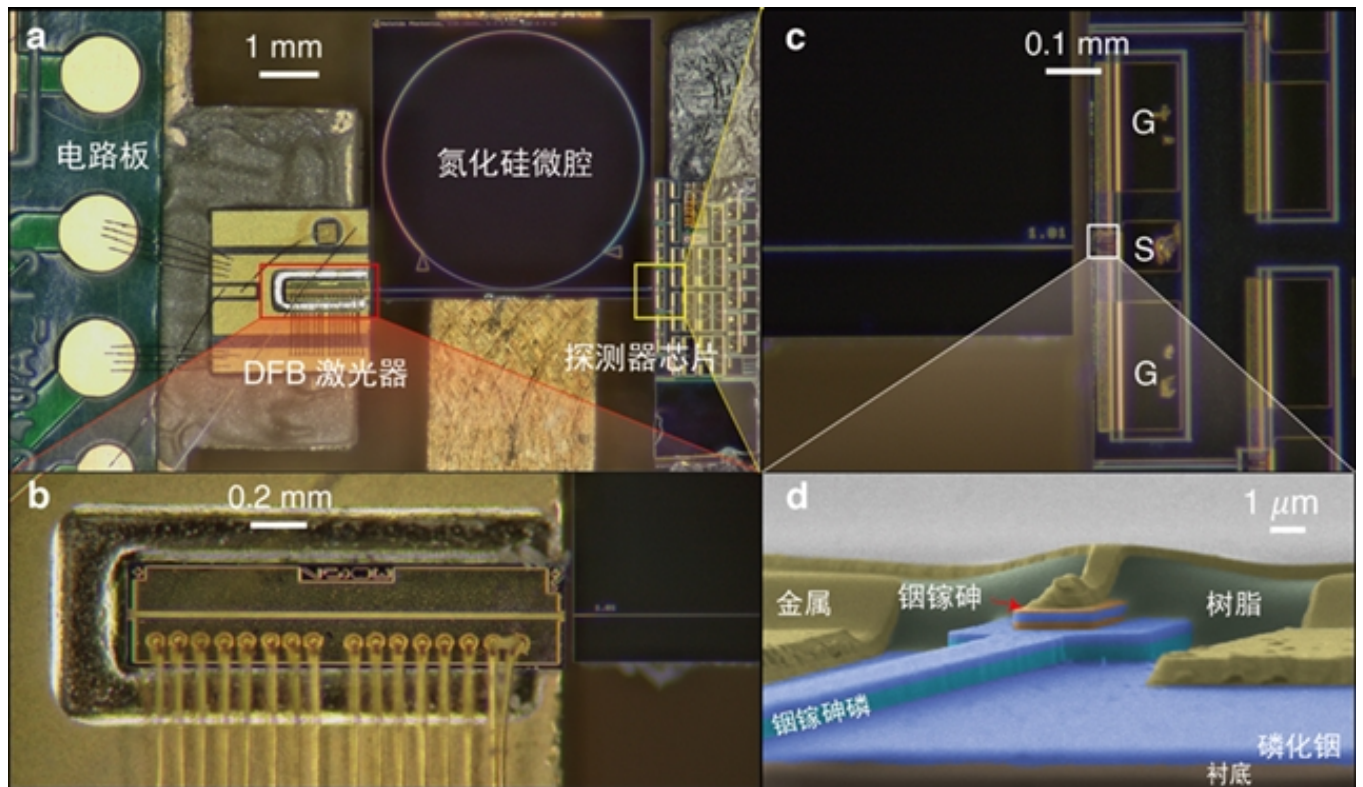


图1. 混合集成微波振荡器芯片及分立元件。(a) 包含印刷电路板、DFB激光器芯片、氮化硅微腔芯片和高速探测器芯片的整体器件图；(b) DFB激光器芯片的放大图；(c) 探测器芯片上单个探测单元；(d) 探测器内部结构的扫描电镜图。

与此同时，氮化硅微腔中的背散射光返回进入激光器芯片，产生激光频率的自注入锁定效应。在该效应下，激光频率噪声被抑制31 dB，使激光的本征线宽被压窄至仅6.9 Hz。通过精准调控激光器和氮化硅微腔的非线性相互作用，研究团队首次在离散微梳态中观测到独特的噪声淬灭动力学机制。该机制不仅赋予系统对激光电流噪声的抗干扰能力，更实现超过20 dB的微波相位噪声抑制与高达10 dB的微波功率提升。最终，光电探测器芯片输出的微波相位噪声在1/10/100 kHz傅里叶偏移频率处分别达到-75/-105/-130 dBc/Hz的突出指标。得益于探测器的110 GHz超宽频带以及0.3 A/W的高响应度特性，系统可高效生成10.7 GHz微波基频及其高次谐波信号（如21.4 GHz和32.1 GHz等）。

总结与展望

该研究工作通过微腔光频梳技术的创新应用与优化，成功研制出覆盖微波X和K波段的全芯片集成的光生微波振荡器。该器件得益于成熟的半导体CMOS和III-V工艺，为大规模量产打下了良好基础。低噪声微波振荡器是无线通信、雷达系统及时钟网络的核心基石之一。该光生微波技术已展现出良好的噪声性能，同时具有微型化、轻量化与低功耗的显著优势，可以广泛应用于微波光子学、地面宽带通信、智能交通管控、目标跟踪、模数转换、无线网络、空间链路及电子顺磁共振波谱等领域，为新一代集成和空间信息技术发展提供支撑。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01795-0>

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：刘骏秋等 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