

可调谐自注入锁定窄线宽片上光源

窄线宽激光器在相干激光通信、相干探测激光雷达、高精度分布式光纤传感等领域有着重要而广泛的应用。高品质因子(Q值)氮化硅(Si_3N_4)微环谐振腔可提供积累的离散分布光反馈,将其与分布式反馈(DFB)半导体激光器进行混合集成,可获得高集成度的片上窄线宽光源,有望应用于硅基光电子芯片的系统级集成。2021年,美国UCSB大学基于Q值为 10^8 的 Si_3N_4 微环谐振腔的背向瑞利散射实现了自注入锁定(SIL),获得Hz量级的本征线宽;2021年,清华大学在Q值为 8×10^5 的 Si_3N_4 微环谐振腔中制备孔缺陷,背向瑞利散射强度得到增强,得到了更优的噪声抑制效果,本征线宽低至34.2 Hz。2022年,瑞士EPFL大学在 Si_3N_4 微环谐振腔上方制备了压电陶瓷(PZT)薄膜,实现了100 Hz本征线宽、1 GHz调谐范围的调频连续激光输出。近期,重庆大学提出了自适应分布反馈激光线宽深压缩的方法,搭建了一种单纵模DFB激光主腔结合分布反馈结构的混合集成式片上激光系统,在常态条件下获得了积分线宽为10 Hz的激光。背向瑞利散射强度与微环谐振腔波导尺寸、加工工艺以及耦合封装损耗相关,通常强度较低且难以精确调控,自注入锁定激光器存在稳定性不高、调谐范围受限的问题。

为提升自注入锁定的稳定性、优化噪声抑制效果、进一步扩展激光器的调谐范围,中国科学院上海光学精密机械研究所空间激光信息传输与探测技术重点实

验室设计了光反馈强度可调的自注入锁定窄线宽可调谐激光器。如图1所示,混合集成激光器由DFB激光器与 Si_3N_4 外腔芯片经端面耦合构成, Si_3N_4 芯片除含有高Q值微环谐振腔外,还包含一个由马赫-曾德尔干涉仪(MZI)和环形镜构成的反射率可调反射镜,可通过热调(heater)改变MZI两臂相位差,调控反馈光强度,达到最优自注入锁定状态。不同反馈光强度下激光器频率噪声、线宽(本征线宽、1 ms积分线宽、延时自外差线宽)分别如图2(a)、(b)所示,结果表明:自注入锁定反馈光强度存在最优值,当反射镜的反射率增大至32%时,得到最佳噪声抑制效果,本征线宽低至60 Hz,积分线宽为15.47 kHz @ 1 ms,延时自外差(DSH)线宽为4.5 kHz;若继续增大反馈光强度,线宽出现劣化,激光器进入多纵模状态。同时,增大反馈光强度可有效提升自注入锁定带宽,如图3所示,基于背向瑞利散射的自注入锁定调谐范围仅为1.6 GHz,反射镜反射率为32%时调谐范围扩展至6.3 GHz。据我们所知,这是首个反馈光强度可调的片上自注入锁定激光器设计(在输出激光频率位于微环谐振腔谐振中心的前提下),解决了背向瑞利散射强度不可控的问题,通过人为调控反射镜反射率,取得了更优的噪声抑制效果,同时调谐范围得到明显提升。另外,本课题组正在进一步提升微环谐振腔Q值,并适当增大微环谐振腔自由光谱范围(FSR),以期实现更窄线宽、更大调谐范围激光输出。

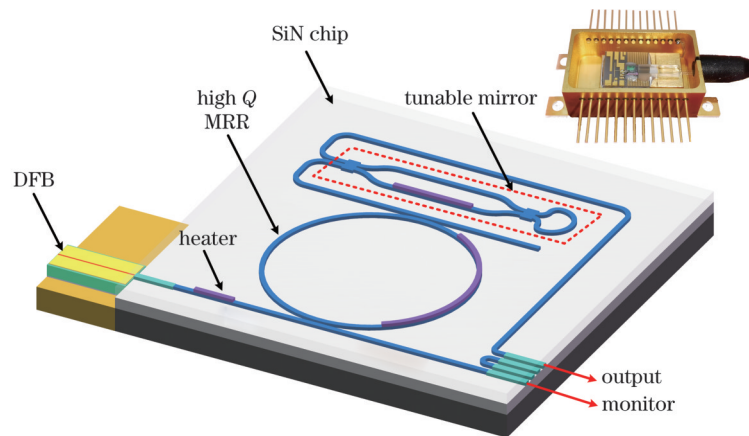


图1 混合集成自注入锁定窄线宽激光器的结构示意图和封装成品(插图)

Fig. 1 Structural diagram and packaged product (inset) of hybrid integrated self-injection locked narrow-linewidth laser

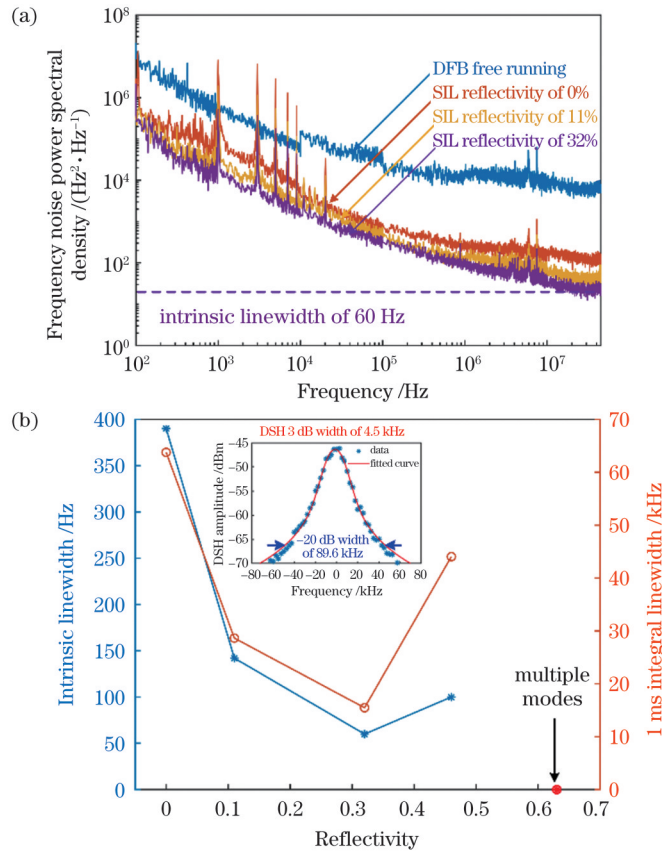


图 2 不同光反馈强度下的激光器频率噪声、线宽测试结果。(a)激光器频率噪声功率谱密度;(b)激光器本征线宽、1 ms 积分线宽、延时自外差线宽

Fig. 2 Laser frequency noise and linewidth test results at different optical feedback intensities. (a) Laser frequency noise power spectral density; (b) laser intrinsic linewidth, 1 ms integral linewidth, and delayed self-heterodyne linewidth

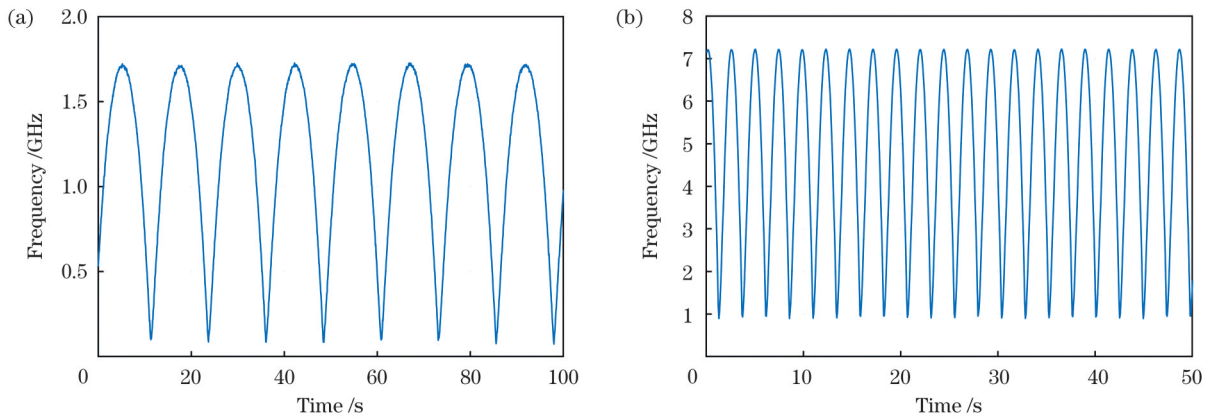


图 3 优化光反馈强度前、后激光器的调谐范围对比。(a)可调反射镜反射率为 0 时;(b)可调反射镜反射率为 32% 时

Fig. 3 Comparison of laser tuning ranges before and after optimization of optical feedback intensity. (a) When reflectivity of tunable mirror is 0; (b) when reflectivity of tunable mirror is 32%

苏庆帅^{1,2}, 魏芳^{1,3*}, 陈晨¹, 皮浩洋¹, 陈迪俊¹, 杨丰赫³, 武慧敏^{1,2}, 章郑豪^{1,2}, 杨飞¹,
叶青¹, 蔡海文^{1,3}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所空间激光信息传输与探测技术重点实验室, 上海 201800;

²中国科学院大学, 北京 100049;

³张江实验室, 上海 201210;

通信作者: *weifang@siom.ac.cn

收稿日期: 2022-11-29; 修回日期: 2022-12-15; 录用日期: 2022-12-19; 网络首发日期: 2022-12-29