

## 混合集成窄线宽半导体激光器实现 220 mW 功率输出

高功率、窄线宽的混合集成外腔半导体激光器在空间相干激光通信、激光雷达、光学传感等领域中有着广泛应用。随着相干激光通信技术的迅猛发展,1.55  $\mu\text{m}$  波段高功率窄线宽半导体激光器性能得到了非常明显的提升。2020年,美国研究者报道了输出功率为 150 mW、线宽为 60 kHz 的混合集成硅光子可调谐激光器;2022年,上海交通大学研究者报道了输出功率为 26.7 mW、激光线宽为 4 kHz 的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  外腔可调谐激光器。受芯片波导损耗、耦合方式、有源芯片增益的限制,同时实现高功率和窄线宽存在挑战。为了削弱波导模式的限制,改善芯片耦合效率,进一步提升激光器的输出功率和压窄线宽,中国科学院上海光学精密机械研究所联合大连理工大学提出了混合集成高功率窄线宽激光器方案并研制成功,实现了激光线宽  $< 8$  kHz,调谐范围为 55 nm,保偏输出功率为 220 mW,据我们所知,这是目前报道的混合集成窄线宽半导体激光器所能达到的最高功率。

图 1 为混合集成高功率窄线宽激光器的方案示意图和封装成品图。该混合集成激光器由 GaAs 半导体光放大器(SOA)、InP 增益芯片、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  双微环窄带滤波芯片、准直透镜和保偏光纤准直器构成。增益芯片与  $\text{Si}_3\text{N}_4$  芯片采用端面耦合方式进行对准以构成外腔激光器, $\text{Si}_3\text{N}_4$  芯片上设计模斑转换器、双微环滤波器、相位调节和功率调节四个部分,其中模斑转换器用于匹

配增益芯片的模场、增大耦合效率,高 Q 值双微环滤波器用于实现激光器的选频和线宽压窄。增益芯片的背向窄线宽激光被耦合到 SOA 芯片中进行光功率放大,考虑到增益芯片与 SOA 模场尺寸的差别及热串扰的影响,采用双准直透镜结构提高耦合效率。SOA 放大后的激光被耦合到保偏光纤准直器中,实现了高功率窄线宽的激光保偏输出。增益芯片长度为 1 mm,前端面镀有增透膜,反射率为 0.01%。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  波导损耗  $< 0.1$  dB/cm。SOA 芯片左右两侧均镀有抗反射膜,最大工作电流为 1.5 A,在光波长为 1550 nm、输入光功率为 10 mW 时放大系数大于 25 dB。图 2(a)所示为该激光器在中心波长 1550.67 nm 处的功率-电流曲线。测试温度为 22.2  $^{\circ}\text{C}$ ,分别在 100、150、200 mA 增益芯片电流下进行测试。当 SOA 电流为 1.2 A、增益芯片电流为 200 mA 时,可以实现 226.3 mW 的光纤耦合功率输出,耦合效率为 90.34%。如图 2(b)所示,通过调节外腔芯片上的相位和微环上的电极功率,可以在 1529~1584 nm 范围内实现激光器调谐,该范围覆盖增益芯片的增益谱。激光器的频率噪声曲线如图 2(c)所示,在不同中心波长下,实现了窄线宽激光输出,激光线宽为 2~8 kHz[图 2(c)插图]。下一步工作将优化激光器的驱动控制电路,实现激光器波长的精准控制,改善 SOA 的工作效率,提高激光器的输出功率。

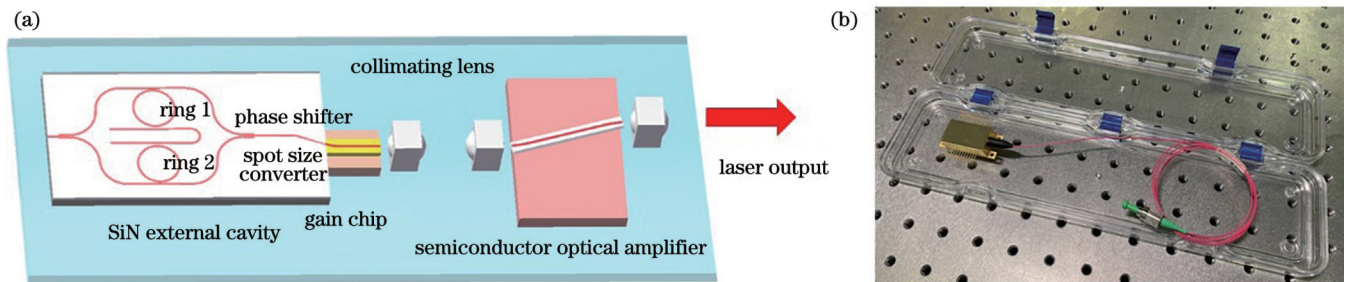


图 1 混合集成半导体激光器。(a)结构示意图;(b)蝶形封装成品

Fig. 1 Hybrid integrated semiconductor laser. (a) Structural diagram; (b) finished product after butterfly packaging

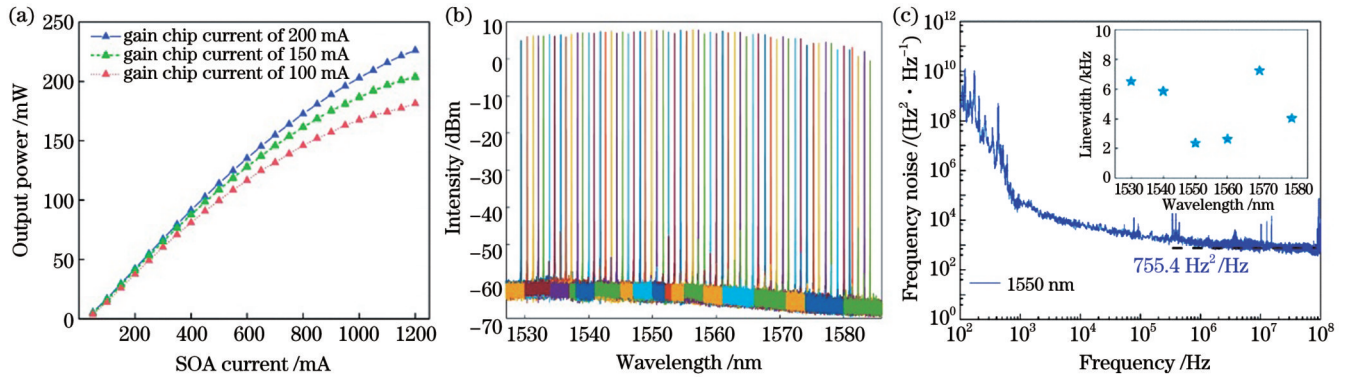


图 2 激光器性能测试结果。(a)功率-电流曲线;(b)波长调谐曲线;(c)频率噪声曲线

Fig. 2 Performance test results of laser. (a) Power-current curves; (b) wavelength tuning curve; (c) frequency noise curve

陈晨<sup>1,2</sup>, 魏芳<sup>1,3\*</sup>, 苏庆帅<sup>1</sup>, 皮浩洋<sup>1</sup>, 辛国锋<sup>1</sup>, 武慧敏<sup>1</sup>, 孙延光<sup>1</sup>, 叶青<sup>1</sup>, 韩秀友<sup>2\*\*</sup>, 蔡海文<sup>1,3\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800;

<sup>2</sup>大连理工大学, 辽宁 大连 116033;

<sup>3</sup>张江实验室, 上海 200120

通信作者: \*weifang@siom.ac.cn; \*\*xyhan@dlut.edu.cn; \*\*\*hwcai@siom.ac.cn

收稿日期: 2022-11-30; 修回日期: 2023-01-03; 录用日期: 2023-01-06; 网络首发日期: 2023-01-15