

半导体激光器

单片高功率锥形激光器实现真正的单模输出

单片MOPA技术使得锥形半导体激光器能够在当下的一些新兴领域获得广泛应用，如用于自动驾驶车辆的激光雷达。

文/Adam Erlich

输出功率大于10W的多模半导体激光器很容易获得。但是，在不进行光泵浦的情况下，以同样功率水平输出的单模激光器，目前只能在大学或政府部门的实验室中才能实现。美国Sheaumann Laser公司正在与马萨诸塞州洛厄尔大学（University of Massachusetts Lowell）合作，开发出一款商业可行的、基于MOPA（主振荡功率放大）技术的单片集成锥形激光器。该激光器输出功率大于8W，且能够实现真正的单纵模输出。^[1]双方的这次合作，是首次尝试开发可制造的、经久耐用且性能可靠的商用型高功率锥形激光器。

这款锥形激光器是一个单片集成的光子器件，能够实现真正的单模高功率输出。它包括一个主振荡器，主振荡器又由种子光源、集成的布拉格反射器和功率放大部分组成。

激光雷达、医疗、激光泵浦和拉曼光谱等应用领域，对可靠的紧凑型高功率单模半导体激光器的需求正在迅速增长。^[2,5]但是，目前市场上的单模激光器并不具备足够高的输出功

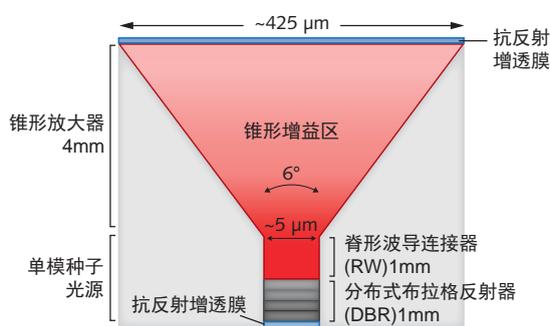


图1: Sheaumann Laser公司开发的单片锥形激光器示意图。

率，并且体积大、结构复杂难集成，同时价格也比较昂贵。^[3,4]Sheaumann Laser公司开发的这款单片锥形激光器，克服了目前市场上单模激光器低功率、成本高、体积大等缺点，实现了真正的单模输出。

这款锥形激光器的独特之处在于：输出功率高，且单片集成，因而结构紧凑，批量生产成本低。单片集成的另一个好处是：它比二极管泵浦的固态（DPSS）激光器具有更高的总转换效率。这是因为DPSS激光器是光泵浦的，而锥形激光器由电泵浦，直接将电转换为激光输出。

开发细节

开发锥形激光器，尽管其他的设计方案还有很多，但是其他方案都需

要进一步集成，因此它们并不具备单片器件优势。单片结构将整个激光器占用的空间减少了大约两倍，同时也降低了封装成本。此外，单片结构还避免了不同元器件之间的机械对准误差，从而更易于光纤耦合集成。值得一提的是，设计这款单片激光器、并使其正常运转，是一个非常复杂的开发过程。

该集成系统需要开发人员拥有丰富的建模和实证经验，这样才能同时优化该锥形激光器外延层及每个组成部件的生产。例如，要想维持良好的模式输出，就要对外延层进行优化设计；此外，分布式布拉格反射器（DBR）的光栅设计也同样重要。光栅的一些参数如占空比、蚀刻深度等必须要优化到最佳值，才能保证良好的光束质量输出。光栅是DBR的一部分，但是光栅的设计不只是影响DBR的性能，而且也关系到DBR和放大器之间相互配合的性能。这是因为DBR部分与放大器共同组成的一个更长的腔体结构。

开发锥形激光器的另一个关键因素是，需要恰当的电连接和电源管理。

主振荡器由种子光源、集成的布拉格反射器和功率放大模块组成。主振荡器部分只需要几毫安的电流就可以工作，但是紧挨着振荡器的锥形放大器部分，其工作电流需要几个安培。这样就需要提供有效的电连接将主振荡器和放大器部分连接起来，并且将串扰降到最小，否则就会导致种子光源工作故障。在一块很小的半导体芯片上管理不同的电流要求，不是一件容易的事，因此在电源管理和电连接方面，需要创新的方法做支撑。

单片结构最大的优势是：减少了封装所占用的空间，并避免了不同元器件之间的机械对准误差。Sheumann Laser 公司的工程师在开发这款锥形激光器的过程中克服的一个关键挑战是：获得稳定的高光束质量、高功率单模输出，并且这种高功率是在可接受的阈值电流和斜率效率下获得的。

激光器的热管理直接影响着其可靠性和使用寿命。因此，高功率半导体激光器需要创新的封装和冷却技术，来保证整个系统的可靠运行。研究人员创造性地将底座与散热器连接起来，起到了很好的散热效果。此外，

腔面镀膜不仅能维持高功率激光输出，同时也能保障激光器的使用寿命和可靠性。

将多个独立的元器件集成到一个单元上，并且这个单元是晶圆时，就特别需要精心的设计、合理的规划和良好的执行，才能开发出一个统一标准的结构。Sheumann Laser 公司开发了一种工艺流程，以在子部件级和晶圆级满足每个元器件的需求。

技术优势

与现有的一些先进技术相比，MOPA 锥形激光器有诸多实际好处。由于是单片集成，因而可以封装成紧凑型结构，易于光纤耦合集成。尽管 DPSS 激光器也能实现高功率单模输出，但是其尺寸要比锥形激光器至少大一个数量级，并且效率更低。

目前最常用的单模激光光源有：DBR 半导体激光器、分布式反馈 (DFB) 激光器、脊形激光器和宽发射域半导体激光器。^[4] 与单片 MOPA 锥形激光器相比，DBR 激光器在单模运转、输出 500mW 功率时，有明显的光谱模式跳跃和较高的热漂移。^[2] 脊形激光器虽然光束质量好，但是其

输出功率比较低。宽发射域半导体激光器的输出功率虽然高，但是光束质量较差，并且其热效应明显，会引起光学灾变损伤 (COD)。^[1,4] 相比之下，锥形激光器克服了上述几款激光器的缺点，能够同时实现高光束质量的高功率输出。

Sheumann Laser 公司目前正在开发 1060nm 的锥形激光器，另外 780~1080nm 的其他波长的激光器也在开发中。该公司很快将可以应用磷化铟 (InP) 晶圆，将其半导体激光器的波长扩展到 1875nm。该公司可以定制锥形激光器及其他半导体激光器，并能实现可靠的大批量生产。□

参考文献

1. J. M. G. Tijero et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 19, 20, 1041-1135 (2007).
2. N. Werner et al., Proc. SPIE, 10553, 105531D, 1-9 (2018).
3. C. Rablau, Proc. SPIE, 11443, 111430C, 1-14 (2019).
4. G. Kochem, M. Haverkamp, and K. Boucke, Proc. SPIE, 6997, 69971A (2008); <https://doi.org/10.1117/12.780241>.
5. J. A. Beil et al., Proc. SPIE, 10514, 10514U, 1-7 (2018).

上接第30页

量子生物传感器合成与起始材料和合成工艺条件的关系，来推动这项工作。^[2] 他们也在开发用于诊断的微流体芯片实验室系统。

Greta Nölke 和她在弗劳恩霍夫分子生物学与应用生态研究所 (IME) 的团队，在重组蛋白和抗体技术、生物分子功能化，以及病原体 and 毒素探测技术和测定方法的开发方面，贡献了专业知识。^[3] 进一步的研究工作包

括基于细胞的样本检测，以用于生物标记物的高通量显微镜检查和毒性评估 (例如纳米材料)。

QC-DNA 适用于生物系统中高灵敏度传感器的开发，并有望提供先进、智能且价格合理的疗法。目前，该项目合作伙伴正在设计大量量子生物传感器，他们计划扩大规模并为大学医院中的可行性研究做准备。在后续项目中，他们计划开发一种高度灵敏且

具有成本效益的便携式读出装置，该装置可快速可靠地探测各种病原体、毒素和癌细胞。□

参考文献

1. D. de Bruin et al., J. Nanobiotechnol., 16, 37 (2018).
2. N. Bossert et al., Sci Rep., 7, 45882 (2017).
3. S. Achtsnicht et al., PLoS One, 14, 7, e0219356 (2019).