

## 高功率中红外量子级联激光器模块

李森森<sup>1,2</sup>, 王毕艺<sup>1</sup>, 周冠军<sup>1</sup>, 刘强虎<sup>1</sup>, 毕祥丽<sup>1</sup>, 吴凡<sup>2</sup>, 王津楠<sup>2</sup>, 李玉<sup>2</sup>, 杨瑞瑶<sup>2</sup>, 王巾<sup>2</sup>,  
许宏<sup>1</sup>, 张景胜<sup>1</sup>, 赵万利<sup>1</sup>, 蔡军<sup>1</sup>, 吴卓昆<sup>2</sup>, 闫秀生<sup>1</sup>

(1. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 天津 300308;  
2. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

量子级联激光器 (QCL) 是一类新型半导体激光器, 利用量子级联激光器产生中红外波段 (3~5  $\mu\text{m}$ ) 激光是目前的研究热点。尤其是随着中红外激光在定向红外对抗系统、自由空间光通信和痕量气体传感等领域的应用, QCL 更加受到人们重视。QCL 在中红外波段的辐射是独特的优势, 具有体积小、质量轻、可直接电调制、电光效率高等特点。基于最先进的量子阱外延层生长技术, 采用磷化铟为基底、高可靠性脊波导结构, 采用法布里-珀罗腔型的量子级联激光器能够输出单管功率 1 W 量级的中红外波段激光。目前, 如何提高 QCL 输出激光功率及其应用是研究热点, 也是 QCL 未来的发展趋势。

1994 年, 第一支 QCL 诞生于美国。随后十多年, 在基础科学研究方面取得了诸多进展, 包括室温工作、连续工作、波长设计、功率提高等方面。在高功率 QCL 产品研制方面, 美国 Daylight 公司在 2008~2011 年之间, 交付 15 种 QCL 机载产品样机, 单管功率 2 W, 合束模块功率达 10 W。我国中红外波段 QCL 在基础研究水平上与国际水平相当, 中国科学院半导体研究所和中国科学院上海微系统研究所等单位做了大量的研究工作, 1998 年, 国内第一个 QCL 诞

生。目前, 已实现实验室内 1 W 量级中红外激光。

笔者所在实验室自 2017 年开展了 QCL 多路合束关键技术和应用方面的研究工作。在高功率 QCL 合束技术、高效 QCL 系统热管理技术、高光束质量 QCL 控制技术、QCL 特种驱动电源等方面进行了技术攻关。最近, 通过 8 路功率 0.5 W 的单管 QCL 合束, 实现了 3.6 W 中红外激光输出。激光系统合束总体采用 4 路几何拼束, 实现  $2\times 2$  阵列输出。2 组阵列通过偏振合束的方式实现共孔径输出, 最终输出激光为  $2\times 2$  阵列。各子束激光经过非球面透镜准直整形后, 输出激光模式达到近单模,  $M^2$  因子优于 1.3。合束激光输出近场空间上是 4 个光斑, 如图 (a) 所示。各子束激光精确调试实现平行输出, 远场指向重合, 其输出激光远场光斑如图 (b) 所示。合束激光输出光束口径 10 mm, 远场发散角 5 mrad。同时, 在控制合束模块不超过 1 kg 的前提下, 提高了整体输出激光功率, 实现了 3.6 W 激光输出, 模块合束效率为 90%。此功率水平代表了当前国内公开报道的量子级联激光系统的最高输出功率。这将为高功率中红外量子级联激光器的应用提供思路。

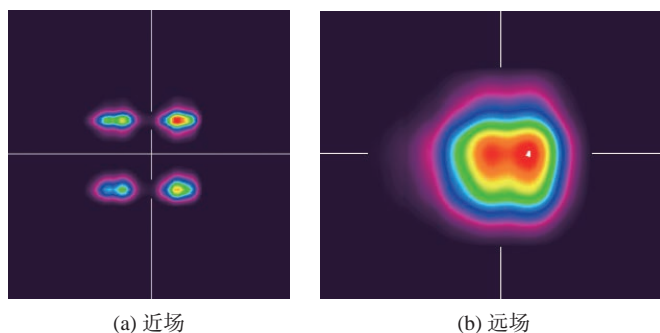


图 3.6 W 多管合束量子级联激光器输出激光光斑