

中国激光

“先进中红外激光技术及应用”专题

前 言

随着激光技术的发展,目前在航空航天、智能制造、能源动力、生物医疗乃至国防军事等生产生活或科学研究的各个领域,都活跃着激光的身影,激光技术已经成为重要的战略支撑技术之一。中红外波段的激光由于其重要的应用背景和极大的需求,已经成为激光领域的研究重点和热点。从发展历史来看,继梅曼发明红宝石激光器之后,世界上第二种激光器即基于掺三价铈氟化钙的中红外固体激光器迄今已有 61 载;从光谱波段来看,工作波长位于 $2\sim 20\ \mu\text{m}$ 的中红外激光光谱占据着从可见光至远红外光谱段的重要位置,且光谱范围宽,是人类可以利用的重要谱段;从谱段特征来看,该波段不仅位于“分子指纹区”,包含了众多重要的分子化学键特征振动吸收峰,还涵盖了 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 13\ \mu\text{m}$ 两个“大气传输窗口区”。因此,中红外激光在材料加工、生物医学、光谱诊断、激光遥感和国防安全等领域具有极大的应用价值。然而,相较于其他波段激光器成熟和广泛的市场应用,中红外激光在激光材料、功率效率、光学器件和整机集成等应用方面还面临着不少挑战,因此 *Nature Photonics* 发文将中红外激光看作是激光领域研究的一个新的机遇。

按照产生机理的不同,中红外激光的产生可大致分为两类:1) 利用增益介质的受激辐射特性直接产生中红外激光,如半导体激光器、稀土/过渡金属离子掺杂固体激光器、气体激光器、化学激光器和稀土离子掺杂的光纤激光器等;2) 利用非线性频率变换技术间接产生中红外激光,如拉曼激光器、差频激光器、光学参量振荡器和超连续谱激光器等。不同技术方案制备的中红外激光各有特色,同时也面临不同的技术瓶颈。在半导体激光器中,基于能带剪裁的量子级联激光器可覆盖 $3\sim 20\ \mu\text{m}$ 的中红外波段,但受限于材料和电光转换效率,其输出功率仍然较低。在化学激光器中,典型的氟化氙和氧化碘激光器可以获得非常高的连续功率输出,其在军事领域中的应用得到了广泛关注,美国已明确将以十兆瓦量级为目标,进一步增加输出

功率,但由于系统复杂、体积过于庞大,其应用范围受到了极大限制。以稀土离子掺杂的钕铝石榴石晶体、氟化物和硫化物玻璃及过渡金属掺杂的 II-VI 族半导体晶体为主的中红外固体激光器虽能实现较高功率的激光输出,但工作波长只能覆盖 $2\sim 6\ \mu\text{m}$,且面临着严重的热管理问题。基于软玻璃光纤的中红外光纤激光器虽然具有输出灵活、结构紧凑和光束质量高等优点,但存在机械强度差、玻璃软化点低和易潮解等问题。总之,不同的中红外激光产生技术各具优势、互为补充,尤其是在材料和器件的制备加工方面,仍有许多难点亟待解决。相信未来随着中红外激光材料制备技术和器件加工方法的突破,中红外激光技术将呈现出更高功率、更宽波段、更灵活可调、更高效实用的特点。

中红外激光技术的发展也为其在前沿交叉学科和国民经济中的应用开辟了前所未有的可能性。如在光谱传感和成像方面,中红外量子级联激光器具有尺寸小、光谱纯度高、单模运转的特性,被认为是痕量气体检测的理想光源;在光通信领域,基于差频的中红外连续激光器以其室温工作、固有 MHz 线宽、无需主动反馈的优势而得到广泛应用;在生物医学方面, Ho^{3+} :YAG 激光在外科手术中得到了全面应用,已从最初的骨科手术推广应用到泌尿外科、神经外科、普通外科、牙科等,被形象地誉为激光中的“瑞士军刀”。据权威报道,2020 年全球中红外激光器的市场规模已超 50 亿元。据 WOS(Web of Science)检索统计,近五年,每年包含“中红外”关键词的发文量均在 2000 篇以上。无论是在科学界还是在工业界,中红外激光正受到越来越多的关注。在这样的背景下,《中国激光》适时推出“先进中红外激光技术及应用”专题,得到了本领域专家学者的积极响应。专题最终收录论文 24 篇,内容涵盖中红外激光功能材料与器件、中红外全固态激光器、中红外光纤激光器、中红外量子级联激光器、中红外超连续谱、中红外超快激光、中红外激光的工业和医学应用等领域的前沿进展。

希望本专题的出版能使更多学者了解目前中红外激光研究领域中的热点、亮点和重点,为国内同行带来新的学术参考,同时吸引更多学者加入到中红外激光技术的研究队伍中来,推动我国中红外激光技术及应用的跨越式发展。

阮双琛,侯静,李剑峰,秦冠仕,叶锡生

2021-12-20