

高功率光纤超快激光

光纤光学

郝强 李文雪 曾和平

(华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室, 上海 200062)

飞秒激光科学和光纤激光技术的完美结合——高功率光纤超快激光, 极大地拓展了超快激光的应用领域, 为基础科学研究和超精细工业加工提供了全新的途径和手段。高功率光纤激光不仅具有飞秒激光高脉冲功率、强脉冲能量的特点, 还兼备了光纤激光器的诸多独特优势, 如高能量转换效率、近衍射极限的光斑、优良的散热性能、全封闭的柔性光路、模块化的结构设计等等。这些特点的相互融合使得此种光源在金属与非金属材料的加工、半导体材料和磁性材料的表面处理、激光焊接、激光切割、激光打标等应用领域拥有着传统固体激光器不可比拟的优势。

实验上采用光纤长腔结构和交叉吸收调制技术, 实现了 1038 nm 掺镱光纤激光器和 1533 nm 掺铒光纤激光器与 780 nm 钛宝石飞秒激光器的同步锁模输出, 腔长失配长度分别可达 8.2 cm 和 3.6 cm, 同步精度皆小于 1 ps^[1]。两光纤激光器的输出脉冲宽度可随着注入光纤激光器中的钛宝石激光能量的改变在皮秒到纳秒范围内精确可调。通过进一步结合主振荡多级放大技术, 以掺镱大模场双包层光子晶体光纤(提供高能量增益的同时, 还确保近衍射极限的激光光斑质量)为激光放大介质, 采用两级单模光纤和两级双包层光纤的级联放大结构, 实现了平均功率 131 W、脉冲宽度 2 ns、中心波长 1040 nm 的光纤激光与平均功率 1 W、脉冲宽度 70 fs 钛宝石激光器的同步锁模输出^[2,3], 同步精度为 13 ps, 相应的光纤激光的单脉冲能量为 0.55 mJ。此外, 采用光谱分离放大技术和光纤级联放大结构, 实现了平均功率 262 W、脉冲宽度 2.57 ps、中心波长 1034 nm 的光纤激光与平均功率 100 mW、脉冲宽度 10 fs 近周期量级钛宝石激光器的同步锁模输出, 同步精度小于 25 fs^[4]。光纤主放大器的输出斜率效率曲线如图 1 所示。采用高衍射效率的透射式光栅对放大后的激光脉冲压缩, 该激光脉冲最窄可压缩到 270 fs, 激光峰值功率达兆瓦量级。

将上述主振荡放大技术与啁啾脉冲放大技术结合, 可实现平均功率超过百瓦、脉冲重复频率从 kHz 到 GHz 的飞秒激光输出。而且, 通过进一步结合激光同步技术和电子锁

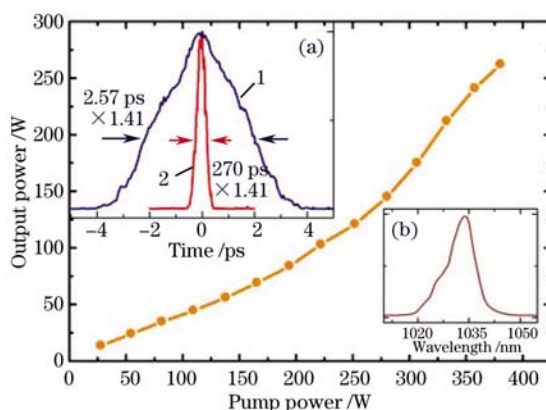


图 1 光纤主放大器的输出斜率效率曲线, (a) 放大激光压缩前 1 和压缩后 2 的自相关曲线, (b) 放大激光的输出光谱

相环技术, 可实现多波长高功率超快光纤激光与高能量钛宝石飞秒激光的同步相位锁定输出, 同步精度最高可达飞秒量级, 相位噪声可控制在毫赫兹量级。这些技术可为高重复频率光学参量啁啾脉冲放大和紫外光学频率梳的研究提供有效的技术途径。

为了保护掺镱大模场双包层光子晶体光纤内部的微结构和提高激光输出效率, 光纤的端面都需经过特殊的工序处理, 并夹持于散热模块上。整个激光系统可安放在 200 cm × 150 cm 的光学平台上。通过进一步进行模块化和集成化改进, 该系统体积有望大幅度减小, 以方便在科学研究和工业生产中的应用。

基金项目: 上海市自然科学基金(10ZR1409000)资助课题。

通信作者: 曾和平, E-mail: hpzeng@phy.ecnu.edu.cn

参考文献

- 1 Y. Ming *et al.*, *Opt. Lett.*, 2009, **34**(13): 2018~2020
- 2 Y. Ming *et al.*, *Opt. Lett.*, 2009, **34**(21): 3331~3333
- 3 W. Li *et al.*, *Opt. Exp.*, 2009, **17**(12): 10113~10118
- 4 Q. Hao *et al.*, *Opt. Exp.*, 2009, **17**(7): 5815~5821