

基于钛宝石拼接技术的 100 TW 光放大器

近年来,基于啁啾脉冲放大技术的超强超短激光迅速发展,已实现峰值功率为 10 PW (1 PW = 10^{15} W) 量级的输出,聚焦后峰值功率密度可达 10^{22} W/cm² 量级,这有利于人类在实验室中创造出极端物理实验条件,极大促进了强场激光物理的研究。随着对超强超短激光峰值功率的需求的提升,啁啾脉冲激光放大器所支持的能量越来越高,这对激光放大器材料(如钛宝石晶体)的尺寸和寄生振荡抑制等带来巨大的挑战。通过晶体拼接技术,在理论上可以有效地解决大尺寸晶体来源问题和大口径晶体特有的寄生振荡问题。通过开展钛宝石晶体拼接技术中各项关键技术包括光谱调制、寄生振荡抑制、近场和远场光束分布等的理论和实验研究,验证了钛宝石拼接技术的可行性,并通过搭建钛宝石晶体拼接的啁啾脉冲激光放大器,最终获得了 5 J 脉冲放大输出,压缩后的平均脉冲宽度为 30.6 fs,支持脉冲峰值功率可达 100 TW,为基于啁啾脉冲放大技术的超强超短激光装置实现更高峰值功率输出

(>10 拍瓦)提供了参考。

图 1 为拼接多通放大器示意图,其中图 1(a)为拼接多通放大器的整体分布。拼接多通放大器的增益介质是四块方形钛宝石晶体“拼接”而成的,如图 1(b)所示,四块晶体被铜质安装架固定包裹,内充冷却循环水,每块晶体尺寸为 14 mm × 14 mm × 25 mm,晶体间距为 6 mm。种子光经钛宝石晶体放大前需进行空间整形,以便其形状及尺寸匹配晶体。传统的光束空间整形采用“光阑+空间滤波器”的方式,其中光阑改变光斑的形状,空间滤波器消除整形后光束中存在的高频衍射成分。通常采用锯齿软边光阑进行光束近场整形,图 1(c)所示是实验中所采用的软边四方孔光阑,四个方孔尺寸为 10 mm × 10 mm,种子光经该光阑后变成四束独立光束,并被同一块反射镜反射至钛宝石表面,如图 1(d)所示,这样能确保四束光的传输一致性,不会引入额外的延时抖动。实验中所采用的泵浦光为倍频 Nd:YAG 脉冲激光器,输出能量为 ~4.5 J,频率为 1 Hz,光

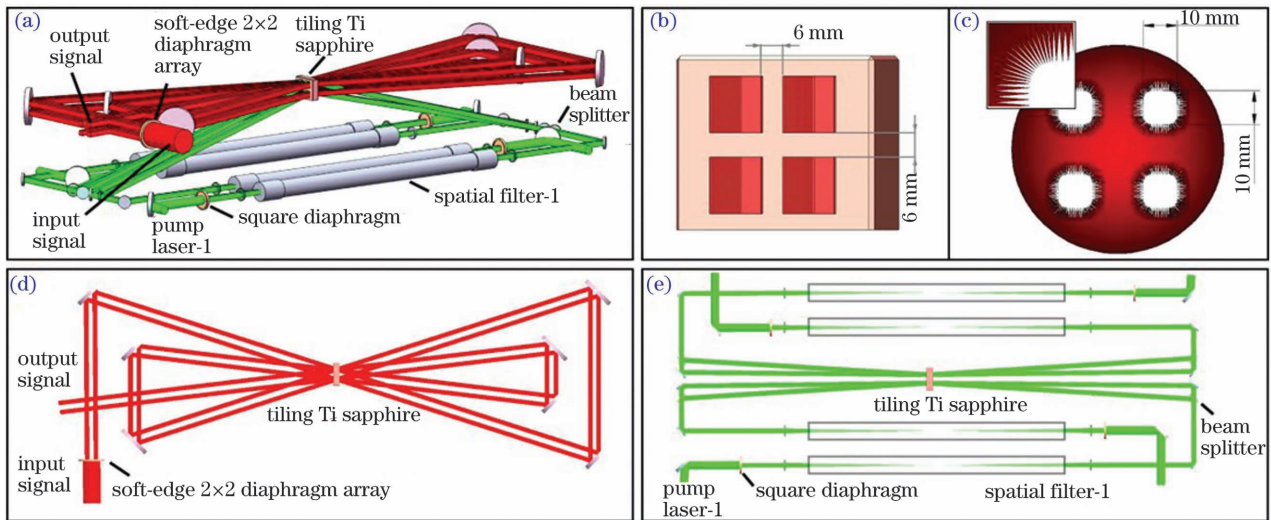


图 1 拼接多通放大器示意图。(a)放大器的结构图;(b)2×2 钛宝石阵列;(c)2×2 软边光阑阵列;(d)种子光脉冲与(e)泵浦光脉冲的光路图

Fig. 1 Schematics of spliced multipass amplifier. (a) Structural diagram of amplifier; (b) 2×2 array installation of Ti sapphire; (c) soft-edge 2×2 diaphragm array; optical paths of (d) seed light pulse and (e) pump light pulse

斑直径为 ~ 20 mm, 泵浦光整形及整体光路如图 1(e) 所示, 四台泵浦光均采用相同的整形方式, 激光器输出圆形光斑, 经方形光阑整形, 后经透镜、真空滤波管(管内滤波小孔直径为 20 倍的衍射极限)、透镜, 最后经 1:1 分束片分为能量均等的两束,

入射至钛宝石晶体。最终在泵浦能量为 11.2 J 的条件下, 实现了最高 5 J 能量及 114 TW 功率的放大输出, 对应种子光的注入能量为 343 mJ, 脉宽约为 30 fs, 其光-光转换效率约为 41.6%, 其效率与传统放大器效率接近。

刘彦祺¹, 刘柯阳², 唐云海¹, 宋立伟¹, 彭宇杰¹, 许毅¹, 冷雨欣^{1*}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800;

²中国科学院西安光学精密机械研究所, 上海 201800

通信作者: *lengyuxin@siom.ac.cn

收稿日期: 2021-09-16; 修回日期: 2021-09-24; 录用日期: 2021-10-21