

新型全固态超快激光及光学频率梳

超快光学

周斌斌 张 炜 张永东 许长文 赵研英 韩海年 滕 浩 李德华 张治国 魏志义

(中国科学院物理研究所, 北京 100190)

目前基于掺钛蓝宝石晶体的飞秒激光在强场物理、超快过程、精密计量、先进制造等领域已成为不可或缺的重要工具,但由于该激光不能采用二极管激光直接抽运,因此在光电转化效率、实用可靠性及成本等方面尚不尽人意。最近我们与有关研究小组合作,利用新型激光增益介质及半导体饱和吸收反射镜(SESAM),通过优化克尔透镜锁模腔型结构、选择目标波长、抑制自调Q运转、补偿腔内色散等技术,相继实现1 μm 波段的飞秒Yb:GYSO^[1]、Yb:YGG^[2]、Yb:YAG^[3]激光及准三能级运行的皮秒Nd:GSAG^[4]激光。其中前两类飞秒激光系国际首次报道,其中心波长分别为1093和1045 nm,相应的脉宽分别为210和245 fs,平均功率分别为300和570 mW。在后两类激光的锁模研究中,我们通过抑制高增益振荡波长,也首次实现了中心波长1053 nm的飞秒Yb:YAG激光及942.6 nm的皮秒Nd:GSAG激光,相应的脉宽分别为170 fs和8.7 ps,平均功率为180和510 mW。图1为970 nm二极管激光抽运的Yb:YGG激光的实验光路及锁模光谱曲线(插图)。从所得到的结果来看,这些激光表现出优异的物理特性和激光性能,特别是3种Yb掺杂的激光所具有的光谱带宽表明还可望进一步取得小于100 fs的脉冲宽度,换用高亮度的大功率二极管激光抽运后,突破1 W的平均功率将是完全可能的。而皮秒运转的全固态激光不仅在加工、测距、时间分辨及超强激光等领域有特殊的应用需求,所输出的942 nm波长也是激光差分雷达等应用所需要的理想波长。

作为飞秒激光最重要的应用之一,光学频率梳及测量

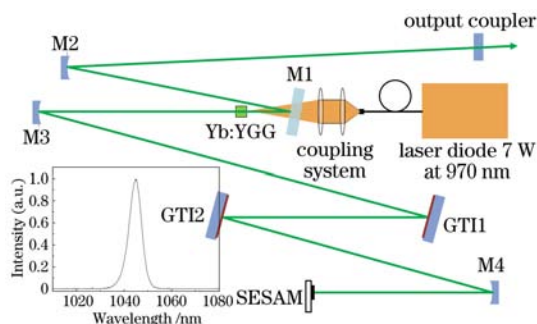


图1 全固态飞秒Yb:YGG激光实验光路图。插图为锁模脉冲的光谱曲线

绝对频率的研究是近年来超快光学及精密光谱学共同感兴趣的前沿热点。在该研究中,最核心的问题当属飞秒脉冲载波包络相位(CEP)的测量与控制。但迄今最常用的所谓“自参考技术”由于所用光子晶体光纤对光束指向的敏感性和高透射损耗及表面损伤等问题,不可避免地限制了CEP测量与控制的长期稳定性及激光输出功率。针对该问题,人们发现通过超宽带飞秒激光在周期极化的非线性晶体中的自差频,不仅可以获得CEP稳定性及输出功率显著提高的激光脉冲,而且附加的差频激光在扩展光谱的同时还具有CEP自稳定的特性。由于这一方案的简洁性,因此也被称之为“单块方案”。目前“单块方案”已被成功用于阿秒激光的驱动光源中,但重复频率尚不到100 MHz。针对光学频率梳的高重复频率要求,我们通过提高亚10 fs钛宝石激光的重复频率研究及增强差频效应等技术,并借助高精度电子锁相环系统与微波原子钟,成功实现了重复频率350 MHz的“单块光梳”,与“自参考技术”的比较实验也证明了这种光梳在长期稳定性及频率传递精度等方面的优越性能^[5]。载波包络相位漂移(CEO)频率随傅里叶频率的单边带相位噪声功率谱密度(SSB PSD)及随观察时间的积累相位噪声。结果也证明了该“单块光学频率梳”的理想性能。我们已取得的结果为进一步实现1 GHz重复频率的光学频率梳提供了可行的基础,并可望在光钟的发展、精密光谱学研究、基本物理常数测量等方面取得优良的应用效果。

感谢中国科学院上海硅酸盐研究所徐军、山东大学张怀金、武汉物理数学研究所高克林及本组杜强等人的合作与有益讨论。

基金项目:国家自然科学基金重大项目(60490281)及973项目(2007CB815104)资助课题。

通信作者:魏志义,E-mail: zywei@aphy.iphy.ac.cn

参考文献

- 1 B. Zhou *et al.*, *Opt Lett.*, 2009, **34**(1): 31~33
- 2 Y. Zhang *et al.*, *Opt Lett.*, 2009, **34**(11): 3316~3318
- 3 B. Zhou *et al.*, *Chin. Phys. Lett.*, 2009, **26**(5): 054208
- 4 C. Xu *et al.*, *Opt. Lett.*, 2009, **34**(8): 2324~2326
- 5 W. Zhang *et al.*, *Opt. Exp.*, 2009, **17**(8): 6059~6067