

文章编号: 0529-6579 (2000) 03-0133-02

低泵浦功率自启动 KLM 锁模钛宝石飞秒激光器^{*}

文锦辉, 郭 冰, 张海潮, 廖 睿, 林位株

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室, 广东 广州 510275)

关键词: 钛宝石飞秒激光器; 克尔透镜锁模; 增益调制

中图分类号: TN242; TN248.1 文献标识码: A

克尔透镜锁模(KLM)钛宝石激光器现已成为产生可调谐飞秒激光脉冲的主要设备, 但由连续状态进入锁模运转往往需要外界的扰动来实现, 这会造成操作上的麻烦和不确定性. 因此, 实现该激光器锁模的自启动, 便成为近年来人们感兴趣的课题. 国外曾报导采用对称腔结构, 或工作在长波段等方法实现自启动^[1,4], 但通常需要较高的泵浦功率. 而我们自行研制的一台 KLM 飞秒钛宝石激光器, 当泵浦功率增至 3.5 W 时, 激光器即由连续运转自动进入锁模状态; 一旦失锁, 也能自动恢复锁模. 输出功率约 300 mW, 最短脉宽为 15 fs.

克尔透镜锁模是利用钛宝石晶体本身的非线性自聚焦效应, 使腔内横模光斑大小随光强而变化, 在腔内放置硬光阑或利用泵浦光束本身轮廓对腔模的限制(软光阑), 可使连续运转时光强最大的脉冲起伏的损耗最小或增益最大, 从而优先得到放大而发展成锁模脉冲. 若损耗(增益)的调制度足够大, 可实现锁模的自启动. 而通常的软光阑锁模采用激光器工作在上稳定区, 使棒内腔模光斑随光强增大而缩小的方法, 由于增益饱和效应的限制, 不易实现自启动. 我们的钛宝石激光器为典型的 X 形四镜折叠腔结构^[3], 棒长 5 mm, 由 Ar⁺ 激光器全线泵浦, 激光器工作在下稳定区的上边界附近, 并使聚焦泵浦光束大于连续运转时的腔模半径, 由于激光棒内腔模光斑随光强增大而增大, 与泵浦光的耦合得到改善, 增益提高, 同时削弱增益饱和效应, 因而有利于实现低泵浦阈值的自启动锁模.

利用本室提出的“厚透镜”模型^[3], 可准确分析腔模调制的大小及泵浦光与腔模间的耦合. 腔内某位置小信号光斑半径相对变化 α 表示为: $\alpha = \left[\frac{\Delta w}{w} \right]_{n'=1} = 2 \frac{dw}{w dK} \Big|_{K \rightarrow 0}$, 其中克尔参数 $K = P/P_c$, P_c 为钛宝石晶体克尔效应的临界功率, P 是起伏脉冲的瞬时功率. α 值越大, 锁模越有利. 图 1 为亚腔长度 $b = 105.7$ mm 时子午面上短臂区端镜 M_3 和激光棒中央位置的 α 值(分别记作 α_3 和 α_c)随激光棒左表面 S_1 至折叠镜 M_1 的距离 l_1 变化的曲线. 可知 $l_1 \sim 51.6$ mm 时得到极值 $\alpha_c < 0$, 即棒内光斑随功率增大而增大. 弧矢面上的

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19874082); 广东省自然科学基金资助项目(980368)

收稿日期: 2000-04-01; 作者简介: 文锦辉(1964~), 男, 在职博士, 讲师.

情况类似. 计算可知腔模光腰为 $18\text{ }\mu\text{m}$, 泵浦光腰相应选为 $25\text{ }\mu\text{m}$. 假定激光器由连续运转过渡到锁模状态过程中, 腔内平均功率 P 保持不变, 则单程增益系数 G 正比于 $\exp\{F_1\}^{[4]}$, F_1 为泵浦光与腔模的重叠积分. 图2为 G 随克尔参数 K 的变化曲线. 可知 P 越大, 增益的相对变化 $\beta=\left.\frac{dG}{GdK}\right|_{K\rightarrow 0}$ 越大. 测得 $P=7.5\text{ W}$, 则这时 $\beta=14.2\%$; 且 G 随 K 值增大保持较稳定的增幅, 至 $K\sim 0.6$ 才趋于平缓, 这样光强最大的脉冲起伏将得到较大的增益, 在腔内往返传播时不断增强, 最终发展成锁模超短脉冲. 这是一种自适应的增益放大作用, 相当于一个正反馈效应, 因而容易自启动.

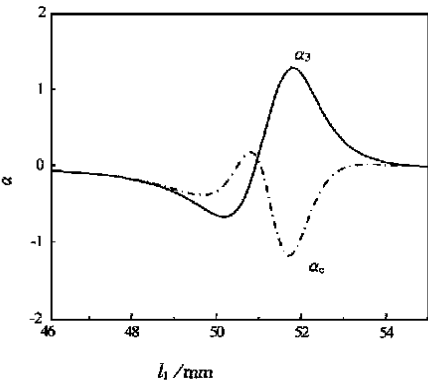


图1 子午面上 α_3 和 α_c 随棒位置 l_1 变化的曲线
Fig 1 α_3 and α_c as a function of the rod position l_1 in the tangential plane

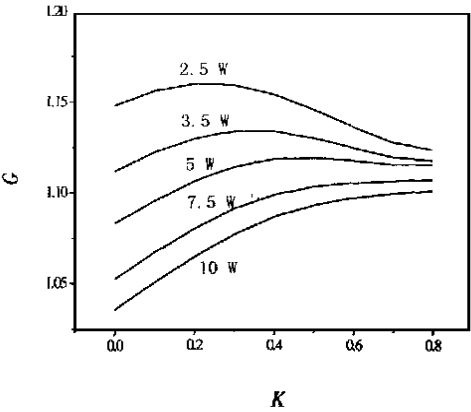


图2 单程增益 G 随克尔参数 K 的变化关系曲线
Fig 2 Single-pass gain G versus Kerr parameter K

参考文献:

[1] CERULLO G, DE SILVESTRI S, MAGNI V. Self-starting Kerr-lens modelocking of a Ti:sapphire laser. Opt Lett, 1994 19(14): 1040~1042.
[2] LAI M. Self-starting self-mode-locking Ti:sapphire laser. Opt Lett, 1994 19(10): 722~724.
[3] LIN W Z, CHEN Y C, WEN J H. A novel modeling of KLM solid state laser resonator. Laser Phys 1999(9): 324~327.
[4] KRAUSZ F, WININER E, SCHMIDT A J, et al. Continuous wave thin plate Nd: glass laser. IEEE JQE, 1990, 26(1): 158~168.

Low Pump Power Self-Starting KLM Ti Sapphire Femtosecond Laser

WEN Jin Hui^{*}, GUO Bing, ZHANG Hai-chao, LIAO Rui, LIN Wei-zhu

Abstract :A low pump power self-starting Kerr-lens mode-locking Ti:sapphire laser without internal aperture is demonstrated and analyzed with "thick-lens" model and with self-consistency gain modulation. Pulses as short as 15 fs are generated with pump power of 3.5 W.

Keywords :femtosecond Ti:sapphire laser ;Kerr-lens mode-locking ;gain modulation