

主被动锁模 Nd: YLF 激光器

王 春 陈绍和 马忠林 许世忠
(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 在脉冲抽运主动锁模 Nd: YLF 激光器中,用倍频晶体 CLBO 和双色镜构成的非线性镜取代输出镜,实现了主被动锁模,与纯主动锁模相比,脉冲宽度压缩了 8 倍,获得了 15 ps 的锁模脉冲。

关键词 非线性镜, 双色镜, 主被动锁模

1 引 言

锁模固体激光器是一种主要的脉冲相干光源,多年来一直被广泛应用。主动锁模激光器的最大优点是可以人为地主动控制,稳定性较好,最大缺点是受电子器件响应频率和调制深度限制,锁模脉冲宽度通常在 80~ 200 ps^[1],难以得到更短的激光脉冲。被动锁模可以得到更短的激光脉冲,被动锁模中的锁模元件通常使用饱和吸收体,而饱和吸收体可分为自然饱和吸收体(如染料)和人造饱和吸收体(如非线性外腔^[2]、非线性镜^[3,4]等)。自然饱和吸收体因其光化学稳定性差难以稳定持久,通常辅以液体循环系统以保证锁模的正常进行,同时对染料浓度也有严格的要求,而人造饱和吸收体中的非线性镜因结构简单、性能可靠、稳定持久而获得广泛应用。

本文在主动锁模的基础上,用新型倍频晶体 CLBO 与双色镜构成的非线性镜作饱和吸收体,实现了主被动锁模,与纯主动锁模相比,脉冲宽度压缩了 8 倍。

2 实验装置及实验结果

脉冲抽运主被动锁模 Nd: YLF 激光器的实验装置如图 1 所示。激光介质为 $\varnothing 5 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ 的 Nd: YLF 棒, AOM 为声光锁模调制器,调制频率为 50 MHz, DM_1 为带有 1° 楔角,对 $1.053 \mu\text{m}$ 全反,对 $0.53 \mu\text{m}$ 透过 25% 的双色平面镜,可有效地输出二次谐波,避免二次谐波返回倍频晶体引起基波与谐波位相混乱致使锁模不稳定, T 为用于选基横模的 $3 \times$ 望远镜系统,同时用来提高腔内光功率密度以提高倍频效率, P 为薄膜偏振片,非线性镜由 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ I I 类相位匹配 CLBO 及双色镜 DM_2 构成, CLBO 通光方向对 DM_2 一侧镀二次谐波增透膜,另一侧镀基波增透膜, DM_2 为带有 1° 楔角的对基波透过 25% 而对二次谐波全反的双色平面镜。在动态情况下,当工作物质被抽运而使增益超过阈值后,由于腔内纵模间的相互作用,将产生 $1.053 \mu\text{m}$ 的调制基波,基波通过望远镜系统后,光束口径缩小,功率密度提

高, 经倍频晶体后部分转化为倍频光, 再经 DM_2 反射后返回, 当基波与二次谐波返回到倍频晶体时的位相 φ_1, φ_2 满足 $\theta = 2\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{\pi}{2} + 2m\pi$ (m 为整数) 时, 基频光和倍频光再次通过倍频晶体时二次谐波将转化为基波, 若基波强度较小, 产生的二次谐波则可以忽略, 此时非线性镜对基波的反射率直接由非线性镜对基波的反射率 $R_{1\omega}$ 给出, 当基波强度较高时, 二次谐波转换效率提高, 二次谐波通过晶体时转化为基波, 使基波得到放大, 因此非线性镜对基波的反射率随光强增加而增大, 在这种情况下非线性镜在主动锁模中形成正反馈, 使脉冲得到进一步压缩。

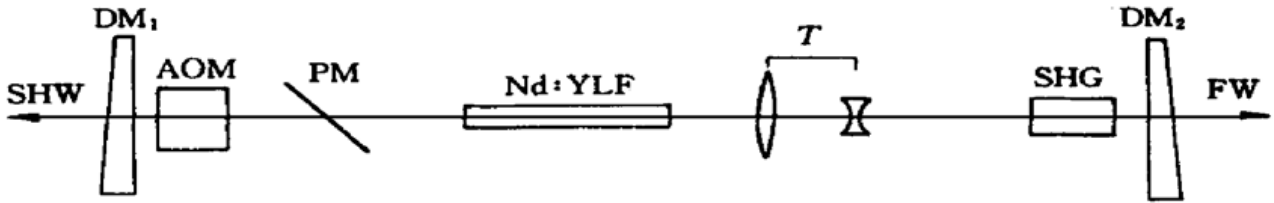


图 1 主被动锁模 Nd:YLF 激光器的实验装置图

DM: 双色镜; AOM: 声光调制器; PM: 薄膜偏振片; T: 望远镜系统; SHG: 倍频晶体; SHW: 二次谐波; FW: 基波

Fig. 1 Experimental setup of active-passive mode-locking of Nd:YLF laser

DM: dichroic mirror; AOM: acousto-optical modulator; PM: polarization mirror; T: telescope;

SHG: crystal for second harmonic generation; SHW: second harmonic wave; FW: fundamental wave

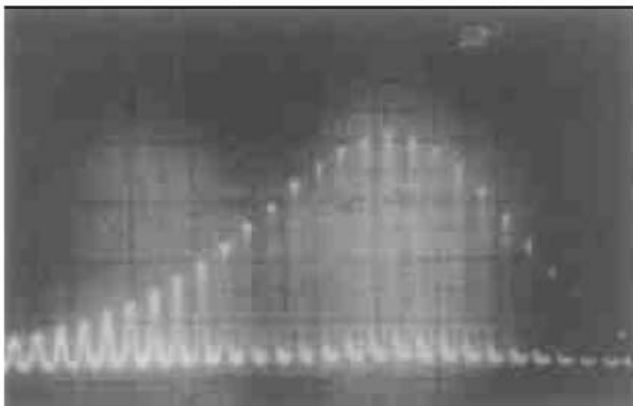


图 2 纯主动锁模时单一锁模序列的脉冲波形

Fig. 2 Pulse form of a single pulse train in a purely active mode-locking (10 ns/div)

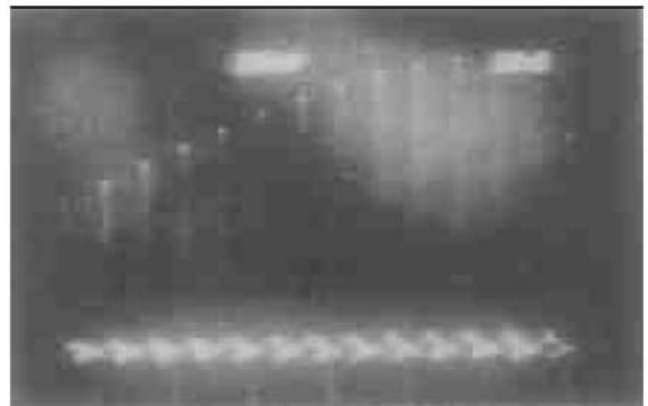


图 3 主被动锁模脉冲序列

Fig. 3 Part of the active-passive mode-locking train (10 ns/div)

倍频晶体 CLBO 装在带有精密调整平台的用以调整倍频晶体与双色镜 DM_2 间距离的调整架上, 以满足锁模需要的基波与谐波间合适的位相差。锁模状态由快速响应的强流管探测器来监视, 锁模序列波形由宽带存储示波器记录, 脉冲宽度由条纹相机测量。

激光器工作时重复频率设置在 1 Hz, 腔长为 1.5 m, 与声光调制器的重复频率 50 MHz 相一致。首先调整倍频晶体使之偏离相位匹配角, 此时没有倍频光产生, 开启声光调制器, 精确调节腔长, 使激光器工作在主动锁模状态, 可得到包络宽度为 120 ns, 脉冲间隔为 10 ns, 100% 调制的锁模脉冲, 锁模脉冲序列如图 2 所示, 其脉宽为 120 ps。仔细调节倍频晶体相位匹配角使倍频光输出最强, 再调节倍频晶体与双色镜 DM_2 之间的距离使基波与二次谐波经 DM_2 反射后入射到倍频晶体时的位相 φ_1, φ_2 满足 $\theta = 2\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{\pi}{2} + 2m\pi$ (m 为整数), 此时基波与谐波在再次通过倍频晶体过程中谐波将转化为基波使基波得到放大, 产生对基波随入射强

度增加而增大的非线性反射率,从而使脉冲中心部分得到较大的放大,两翼不能放大且因部分输出而降低,在这种情况下非线性镜作为锁模元件在激光器中形成正反馈,使主动锁模中的脉冲得到进一步压缩。图 3 为快速响应强流管测得的主被动锁模脉冲序列,用条纹相机测得的锁模脉冲波形如图 4 所示,脉宽为 15 ps,比纯主动锁模缩短 8 倍。

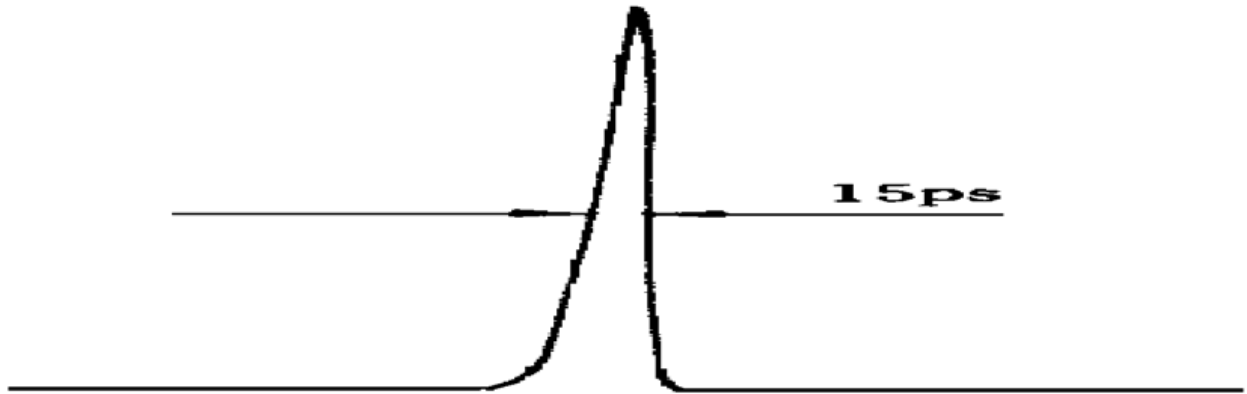


图 4 条纹相机测得主被动锁模 Nd: YLF 激光器二次谐波单个脉冲波形,脉宽为 15 ps

Fig. 4 Streak camera of the individual pulse of the active-passive mode locking Nd: YLF laser at the second harmonic wavelength showing the pulse duration of 15 ps

参 考 文 献

- 1 D. J. Kuizenga. Short-pulse oscillator development for the Nd: glass laser-fusion systems. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **QE-17**(9): 1694~ 1708
- 2 P. F. Curley, Ch. Spielmann, T. Brabec *et al.*. Operation of a femtosecond Ti: sapphire solitary laser in the vicinity of zero group-delay dispersion. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(1): 54~ 56
- 3 K. A. Stankov, J. Jethwa. A new mode-locking technique using a nonlinear mirror. *Opt. Commun.*, 1987, **66**(1): 41~ 46
- 4 Lu Zhenguo, Zhou Zuoping, Wu Qi *et al.*. Ultrashort laser pulse generation based on a nonlinear auxiliary coupled cavity. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1994, **14**(8): 809~ 813 (in Chinese)

Active-passive Mode-locking of Nd: YLF Laser

Wang Chun Chen Shaohe Ma Zhonglin Xu Shizhong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Active-passive mode-locking was observed in Nd: YLF laser when one of the mirror was replaced with a nonlinear mirror which composed of CLBO crystal and a dichroic mirror. Pulse shortening as much as 8 times in comparison with purely active mode-locking was measured. The individual pulse duration as short as 15 ps was obtained.

Key words nonlinear mirror, dichroic mirror, active-passive mode-locking