

Nd : YLF 激光器中以负反馈强迫的 自锁模技术

朱健强 张筑虹 陈绍和 陈韬略 郭小东 陈有明 逮其荣 葛夏平
范滇元 邓锡铭

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文首次利用 GaAs 光电导开关, 控制 Nd : YLF 激光器腔内的 Q 值, 实现自锁模. 稳态自锁脉冲序列长 50 μ s, 单脉冲脉宽为 10 ps, 能量为 0.1 μ J.

关键词 自锁模, GaAs 光电导开关, 负反馈.

1 引 言

近年来, 用固体激光器获得短脉冲, 是一个非常活跃的研究方向. 用非线性外腔, 附加脉冲等锁模技术获取短脉冲, 从理论和实验两方面都有较详尽的论述^[1~4]. 用上述方法在 Ti : Al₂O₃, Nd : YAG 及 Nd : YLF 激光器中实现自锁也见报道^[5~7]. 也有采用同步泵浦 Ti : Al₂O₃ 的方案^[8]. 通常, 这些锁模方式需要极高的调整精度, Ti : Al₂O₃ 激光的自锁也需外界扰动, 所以在实际应用中, 受到了很大程度的限制.

寻求一种可控的自锁技术, 成为大家努力的方向. 以前, 作者已经用 GaAs 光电导开关控制的正负反馈技术, 在 Nd : YLF 激光器中, 实现了单纵模的选择和锁模^[8,9].

本文首次用 GaAs 光电导开关实现的负反馈技术, 动态控制激光器腔内的 Q 值, 使腔内的弛豫振荡达到动态平衡, 以延长每个弛豫振荡脉冲的时间, 实现模式自锁. 自锁单脉冲的脉宽为 10 ps, 能量为 0.1 μ J.

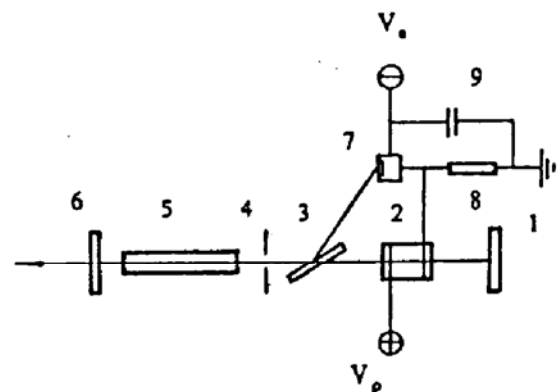


Fig. 1 Experimental setup of Cr-doped GaAs switch for realizing the negative feedback controlled free running Nd : YLF laser system. 1 the spherical concave mirror; 2 the pockels cell (PC); 3 the thin-film polarizer; 4 the Nd : YLF rod ($\phi 4 \times 50$ mm); 5 the aperture ($\phi 2$ mm); 6 the Cr-doped photoconductive switch; 7 the negative feedback coupled resistance R ; and 8 the capacity

2 实验装置及结果

用 GaAs 光电导开关实现负反馈控制腔内 Q 值的激光器装置如图 1 所示. 总的腔长为 1.5 m, 双灯脉冲泵浦. 其中 1 为后腔镜, 曲率半径为 3 m, 镀 1.053 μm 的全反膜; 2 为普克尔盒 (PC); 3 为薄膜偏振片; 4 为 Nd:YLF 棒 ($\varnothing 4 \times 50 \text{ mm}$), 二端有 1° 的小楔角; 5 为小孔 ($\varnothing 2 \text{ mm}$), 6 为掺 Cr 的 GaAs 光电导开关; 7 为反馈电压耦合电阻, 阻值为 15 k Ω , 8 为 50 pF 的电容. 用以维持反馈电压. V_1 和 V_2 是接在 PC 及 GaAs 光电导电极上的高压. $V_1 = 2000 \text{ V}$, $V_2 = -3000 \text{ V}$.

GaAs 光电导开关具有灵敏度高, 暗电阻大 (其暗电阻阻值高达 $10^9 \Omega$) 的特性. 其电阻与照射光的强度成反比, 而且响应时间快 ($\sim 100 \text{ ps}$). 当 GaAs 光电导开关接收到由偏振片反射出的光信号后导通, 负高压 V_2 耦合到电阻 R 上, 形成反馈电压 V_f . 此时加在普克尔盒上的有效电压 V_{eff} 为:

$$V_{\text{eff}} = V_1 - V_f \quad (1)$$

式中 V_1 为普克尔盒上的预加电压, 以使其工作在线性透过区域. 当 GaAs 光电导开关接收到的光信号越强, 则反馈耦合负高压 V_f 也越大, V_{eff} 就越大, 腔内损耗也就增大, 负反馈网路形成. 通过调节反馈参数 R 或 V_2 的值, 可使弛豫振荡进入稳态. 在本文的实验中, 反馈参数 $R = 10 \text{ k}\Omega$, $V_2 = -3 \text{ kV}$, 是最佳值.

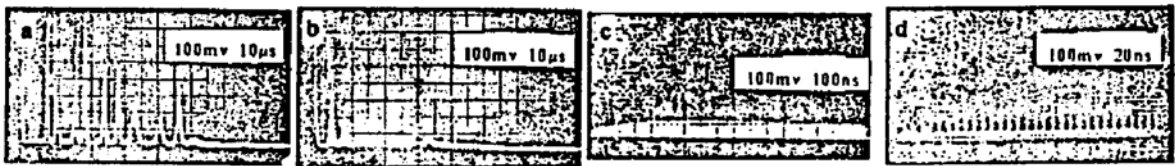


Fig. 2 The experimental results. 2a the relaxation oscillation state only with the bias voltage V_1 on PC; 2b the oscillation with cavity negative feedback taking effect, 2c the stable self-mode-locking pulse train (100 ns/div); and 2d the stable self-mode-locking pulse train

图 2 是实验结果. 图 2(a) 是仅有 V_1 作用在普克尔盒上时的弛豫振荡波形, 弛豫时间约为 110 μs . 各激光尖峰的相位无关, 其弛豫振荡时间由泵浦源、激活介质的增益和腔内损耗共同决定. 当 GaAs 光电导开关构成的负反馈网路起作用时, 激光弛豫振荡波形如图 2(b) 所示, 每个尖峰的振荡时间被延长, 并且经过一段时间后, 弛豫振荡进入稳态. 约 20 μs 后, 就可以看到弛豫振荡产生强烈调制. 为判断此调制是否由自锁产生, 可以加快示波器的扫描速度, 图 2(c) 是 100 ns/div 时的稳态激光波形, 图 2(d) 是 20 ns/div 的稳态波形. 从图 2(d) 中, 可以发现各个脉冲的脉宽极窄. 调制度很深, 且脉冲之间的间隔与腔长 (1.5 m) 相匹配. 由此可以判定, 此种调制, 即是振荡模式的自锁.

自锁脉冲的脉宽由条纹相机 (Hamamatsu Temporal disperser C979) 测得在 10~12 ps 之间测量结果如图 3 所示. 稳态自锁的脉宽窄, 且无细结构. 单脉冲的能量测量值为 0.1 μJ .

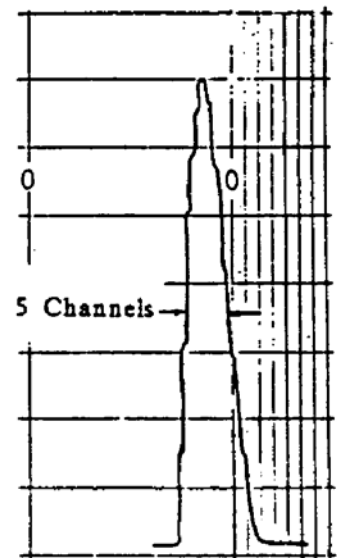


Fig. 3 Streak camera record of single stable mode-locking pulse at 0.526 μm , the pulse duration is about 10 ps. The camera sweep rate is 2.15 ps/channel

3 理论分析

在拉姆(Lamb)半经典理论中,讨论了三模自锁的情况.但只给出了结果,而没有讨论三模自锁的建立时间.实际上,激光弛豫振荡模式的锁定,有一个时间发展过程.用负反馈技术动态控制腔内的 Q 值,延长弛豫振荡中每个模式的振荡时间以达到稳态自锁.

为讨论问题简单起见,仍以三模情况来说明问题.从拉姆的半经典理论有^[12]:

$$d\psi_n/dt = d + l \sin(\psi_n - \psi_0) \quad (2)$$

$$\psi_n = 2\psi_n - \psi_{n+1} - \psi_{n-1} \quad (3)$$

式中 ϕ_n, ϕ_{n+1} 和 ϕ_{n-1} 为任意相邻模的相位, d, l 及 ψ_0 的物理意义与文献[12]中的相同.在稳态条件下, $E_{n-1} = E_n = E_{n+1}$, 即各模式的振幅相同.此时 $|d| \ll |l|$ 是满足的,则(2)式可以积分成^[11]:

$$\psi(t) = 2 \operatorname{arctg} \{ \operatorname{tg} [\psi(0)/2] \exp (lt) \} \quad (4)$$

(4)式的稳态解为:

$$\psi(\infty) = \begin{cases} 0 & l < 0 \\ \pm \pi & l > 0 \end{cases} \quad (5)$$

(5)式的结论与拉姆理论一致, $l < 0$, 对应于调幅锁模, $l > 0$, 对应调相锁模.(4)式随时间的发展,计算结果如图 4 所示^[11];从图中可以看到,各模式渡越 $25 \mu\text{s}$ 以后,相位趋于 $2m\pi$, 即模式锁定,其中 m 是整数.从实验结果图 2(b)可以看到,由负反馈的作用,弛豫振荡经 $20 \mu\text{s}$ 后,模式也锁定,由此可以看出实验结果与理论是相符的.

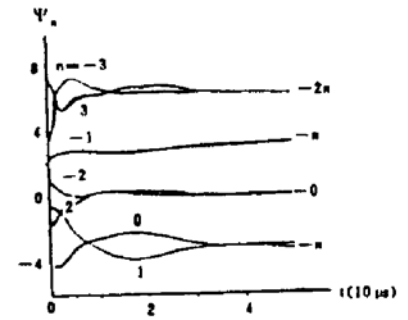


Fig. 4 Calculation results of self-mode-locking

4 结 论

本文提出的 GaAs 光电导开关控制的负反馈自锁方法,不仅能得到稳态的锁模脉冲,而且为可控自锁开辟了一种新途径.并从实验及理论上丰富了拉姆的自锁理论.

目前,作者正用这种自锁技术,实现 $\text{Ti} : \text{Al}_2\text{O}_3$ 激光器的可控自锁模,以获得稳定的超短脉冲.

参 考 文 献

- [1] L. T. Mollenauer, R. H. Stolen, The soliton laser. *Opt. Lett.*, 1984, 9(1): 13~15
- [2] P. N. Kean, X. Zhu, D. W. Crust *et al.*, Enhanced mode locking of color-center lasers. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 39~41
- [3] J. Mark, L. Y. Lui, K. L. Hall *et al.*, Femtosecond pulse generation in a laser with nonlinear external resonator. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 48~50
- [4] K. J. Blow, D. Wood, Mode-locked lasers with nonlinear external cavities. *J. Opt. Soc. Am.*, 1988, B5(3): 629~634
- [5] J. Goodberlet, J. Wang, J. G. Fujimoto *et al.*, Starting dynamics of additive-pulse mode locking in the $\text{Ti} : \text{Al}_2\text{O}_3$ laser. *Opt. Lett.*, 15(22): 1300~1302
- [6] J. Goodberlet, J. Jacobson, J. G. Fujimoto *et al.*, Self-stating additive-pulse mode-locked diode-pumped Nd : YAG laser. *Opt. Lett.*, 1990, 15(9): 504~506
- [7] G. P. A. Malcolm, P. F. Curley, A. I. Ferguson, Additive-pulse mode locking of a diode-pumped Nd : YLF laser.

- Opt. Lett.* , 1990, **15**(22) : 1303~1305
- [8] Ch. Spielmann, F. Kransz, T. Brabec, T. Brabec *et al.* , Femtosecond pulse generation from a synchronously pumped Ti : sapphire laser. *Opt. Lett.* , 1991, **16**(15) : 1880~1883
- [9] S. Chen, T. Chen, Y. Chen *et al.* , A novel mode-selecting and Q-switch technique. *IEEE J. Quant. Electron.* , 1992, **QE-28**(11) : 2556~2559
- [10] S. Chen, T. Chen, Y. Chen *et al.* , A novel mode-locking technique. *Chinese Science Bulltin* , 1992, **37**(10) : 819~822
- [11] W. Brunner, R. Fisher, H. Paul *et al.* , Self-phase locking in lasers with homogeneously broadened emission lines. *Appl. Phys.* , 1984, **B33**(3) : 187~193
- [12] M. Sargent ■ M. O. Scully, W. E. Lamb, Jr. , *Laser Physics* . , P86~101, (Addision-Wesley, Reading, MA 1974)

Negative feedback forced self-mode-locking in Nd : YLF laser

Zhu Jiangqiang Zhang Zhuhong Chen Shaohu Chen Taolu
Guo Xiaodong Chen Youming Lu Qirong Ge Xiaping
Fan Dianyuan Deng Ximing

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 20 January 1993)

Abstract

The self-mode-locking in Nd:YLF laser has been obtained by using GaAs photoconductive switch to control Q-factor of the cavity via negative feedback. The stable self-mode-locking pulse train of 50 μ s has been generated with pulse duration of 10 ps and energy of 0.1 μ J

Key words self-mode-locking, GaAs photoconductive switch, negative feedback.