

稳态锁模产生 4 ps 激光脉冲

朱健强 陈绍和 张筑虹 陈韬略 陈有明 郭小东 逯其荣 邓锡铭
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 首次利用 GaAs 光电导开关, 控制 Nd: YLF 激光器腔内 Q 值, 实现稳态锁模, 获得脉宽和能量稳定性极高的 4 ps 激光脉冲.

关键词 GaAs 光电导开关, Q 值.

1 引 言

被动锁模理论认为^[1]锁模脉冲由初始的无规脉冲, 经染料的非线性吸收甄别发展而成. 因此, 通常的被动锁模激光输出, 尽管具有输出功率高, 脉宽窄, 但脉冲序列之间幅度的抖动是固有的. 从时间上来说, 锁模还未进入稳态, 脉冲的脉宽和能量并未稳定. 为获得脉宽和能量都恒定的窄脉冲, 文献[2]中, 用光电负反馈控制锁模激光器, 获得稳态脉冲序列(序列长 1.2 μs), 文献[3]中, 把 GaAs 片放入主被动锁模激光器内, 利用 GaAs 的双光子吸收及其自散焦特性, 实现了被动负反馈控制锁模, 获得了稳态锁模脉冲序列, 长约 600 ns, 单脉冲的能量稳定性优于 3%, 脉宽为 10 ps.

本文首次利用快速 GaAs 光电导开关, 与偏振片和普克尔盒构成反馈网络, 控制激光器腔内的 Q 值, 得到稳态锁模脉冲序列输出.

2 实验装置和结果

实验装置示意图如图 1 所示, 激光器的等效腔长为 1.7 m, 双灯泵浦. 其中 1 是凹面全反射镜 ($R = 5\text{ m}$), 2 是与后腔镜一体化的染料盒, 染料池厚度为 1 mm, 透过率为 50%, 染料为五甲川, 溶剂为 1,2 二氯乙烷, 3 是普克尔盒, 4 是介质膜偏振片, 5 是孔径光栏 ($\phi = 2\text{ mm}$), 6 是 Nd: YLF 激光棒 ($\phi 5 \times 70\text{ mm}$), 端面有 1° 楔角, 激光输出波长 1.053 μm , 7 是输出镜, $T = 50\%$, 8 是 GaAs 光电导开关, 9 是耦合电阻, 10 是高压电容.

V_1 为加在普克尔盒上的偏置电压, $V_1 = 2000\text{ V}$, 以使普克尔盒工作在线性区, 图 2 为 V_1 与激光阈值之间的实验结果. 由图 2 可见, 在 $V_1 = 2000\text{ V}$ 左右的区域, 近似可看作线性工作区. V_2 为加在 GaAs 光电导开关上的工作电压, $V_2 = -3000\text{ V}$. GaAs 光电导开关的暗电阻约为 $10^7\ \Omega$, 响应时间为 100 ps 左右.

当 GaAs 光电导开关接收到从偏振器反射的光信号时, GaAs 光电导开关导通, 电压 V_2 耦

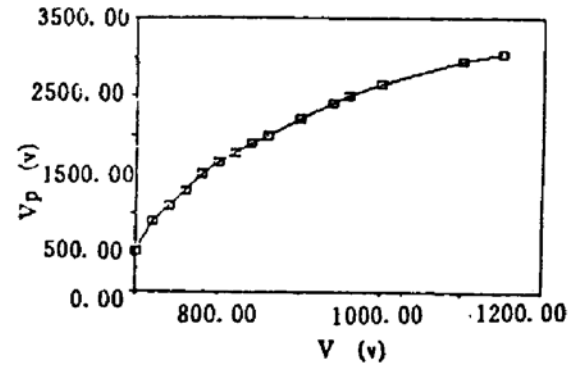
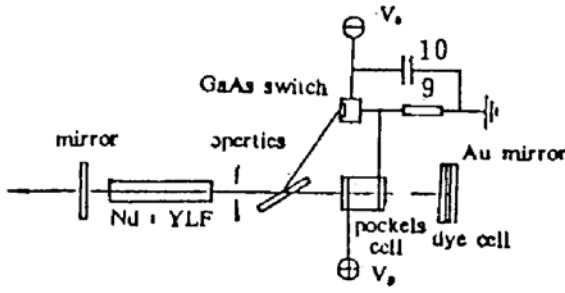


Fig. 1 Negative feedback controlled passive mode-locked laser systems

Fig. 2 Voltage on Pockels Cell (V_p) vs. laser threshold V (Voltage of energy supply)

合到电阻 R 上, 形成反馈电压 V_R . 光强越大, 反馈电压 V_R 也越大, 此时加在普克尔盒上的有效电压 V_{eff} 因 V_R 的增加而增加 ($V_{eff} = V_s - V_R$). 腔内 Q 值减小, 损耗增大, 负反馈网络形成, 通过选择 V_s 或电阻 R , 可以控制腔内的 Q 值, 当腔内锁模脉冲的强度达到某一特定值时, 腔内增益与损耗相等, 锁模进入稳态, 此时光脉冲的幅值和脉宽保持恒定, 且脉宽较窄.

图 3 是稳态锁模脉冲序列, 总的序列长 $6 \mu s$ (500 ns/div.), 稳态序列长 $3 \mu s$. 据作者所知, 这是至今用反馈控制锁模技术得到的最长脉冲序列. 图 4 是稳态锁模序列, 脉冲的强度和稳定性极高. 由自相关仪测得的脉宽为 4 ps , 如图 5 所示. 单脉冲的能量为 $10 \mu J$. 图 6 是稳态单脉冲能量的测量结果, 起伏小于 $\pm 2\%$.

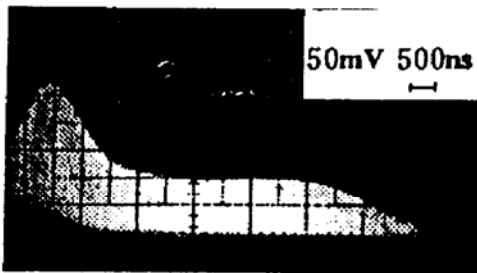


Fig. 3 Mode-locked pulse train

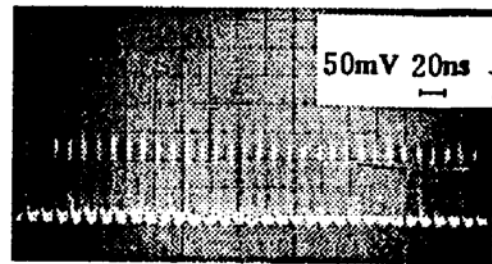


Fig. 4 Stable mode-locked pulse train

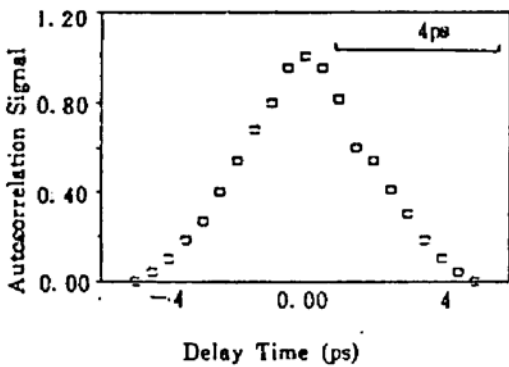


Fig. 5 Curves of autocorrelator measurement, output by computer

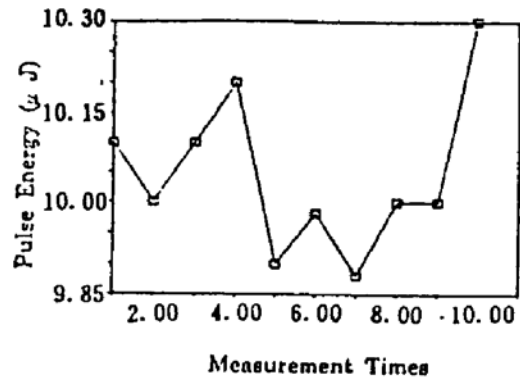


Fig. 6 Single pulse energy measurement

3 理论分析和结论

通常在最佳被动锁模状态下,脉冲的脉宽不能达到最窄^[4].以下从脉冲在激光腔内的发展讨论锁模进入稳态时,脉宽的变化及脉冲强度由负反馈的引入后的演变过程.

脉宽的发展,可从三方面考虑:1)脉宽因有限增益带宽而展宽;2)因增益介质的非线性吸收(双光子吸收)而展宽;3)因饱和吸收体的非线性作用而变窄.

定义 β 为腔内脉冲渡越 $n+1$ 次与 n 次的脉宽比,则有

$$\beta = \beta_{\text{GAIN}} \cdot \beta_{\text{TPA}} \cdot \beta_{\text{DYE}} \quad (1)$$

式中 β_{GAIN} , β_{TPA} 和 β_{DYE} 分别为上述脉宽影响因素对脉宽的影响率.

考虑脉冲波形为高斯型,则脉冲的半宽 $t_0 = 0.44/\Delta\nu$, $\Delta\nu$ 为增益带宽,据定义有

$$\beta_{\text{GAIN}} = (t_n^2 + t_0^2)^{1/2}/t_n \quad (2)$$

式中 t_n 为腔内第 n 次渡越脉冲的脉宽.仅考虑增益的双光子吸收效应,则单程透过率为

$$T_{\text{TPA}} = 1/[1 + 2\alpha l I_n \exp(-t^2/t_0^2)] \quad (3)$$

式中 α 为双光子吸收系数, l 为增益介质长度,取 $I_n = 0.5I_s$,代入(3)式,求得 \bar{T}_{TPA} ,并利用 $I_{n+1} = \bar{T}_{\text{TPA}} I_n$ 及 $\beta_{\text{TPA}} = t_{n+1}/t_n$,可求得

$$\beta_{\text{TPA}} = \frac{[\ln 2 + \ln(1 + 0.5\alpha l I_s)]^{1/2}}{(\ln 2)^{1/2}} \quad (4)$$

因 Nd:YLF 的双光子吸收系数较小,取 $I_s = 10^7 \text{ W/cm}^2$, $\alpha = 10^{-12} \text{ W/cm}$,可算得 $\beta_{\text{TPA}} \approx 1$,所以可以略去 β_{TPA} 对 β 的影响.

把饱和吸收体看作四能级系统,与光脉冲的相互作用可用以下速率方程描述

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{I_n(t)}{h\nu} \sigma (N - N_3) - \frac{N_3}{\tau} \quad (5)$$

$$\partial I_n(t)/\partial \tau = -I_n \sigma (N - N_3) \quad (6)$$

式中 N_3 为激发态染料分子数, N 为总的染料分子数, σ 为染料基态吸收截面, τ 为激发态的寿命,初值条件及边界条件为 $N_3(t = -\infty, \tau) = 0$, $I_n(t, \tau = 0) = I_n \exp(-t^2/t_0^2)$,利用(5),(6)式可以计算 $\beta_{\text{DYE}} = t_{n+1}/t_n$.

由以上讨论可知,考虑锁模脉冲的脉宽从非稳态进入稳态的过程,只要在腔内的渡越时间长,锁模就能进入稳态.图 7 是 β 与脉冲在腔内循环次数在关系.

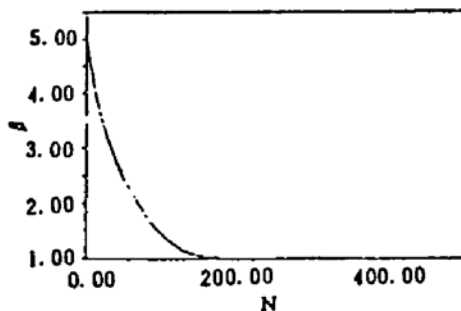


Fig. 7 Calculated pulse duration ration β vs. number of round trips N

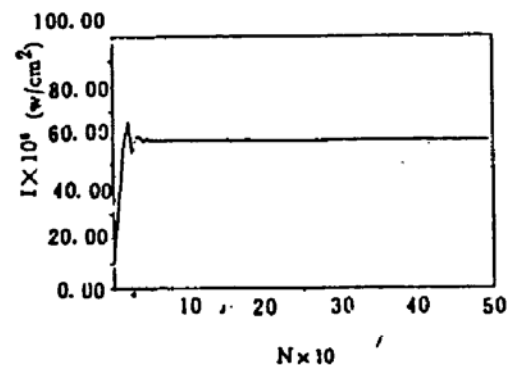


Fig. 8 Calculated pulse intensity I vs. number of round trips N

考虑负反馈的引入,对脉冲幅值的影响,用文献[5]的计算方法,并引入一因反馈而引起

的损耗项 $-\Delta I_s$, 在计算中取 $\Delta = 0.1$, 因为普克尔盒工作在线性区域, 所以 Δ 可取一常数. 图 8 是计算结果. 由此可见, 稳态锁模的脉冲强度和脉宽是稳定的. 本文论述的实验结果具有实际应用价值.

综上所述, 用 GaAs 光电导开关负反馈控制的稳态锁模, 得到了能量和脉宽都稳定的 4 ps 光脉冲. 这不仅对激光核聚变和强场物理具有重要意义, 而且也为同步泵浦掺钛宝石激光器产生短脉冲, 提供了有效的泵浦源.

参 考 文 献

- [1] W. H. Gleen, The fluctuation model of a passively mode-locked laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1975, QE-11 (1): 8
- [2] P. Heinz, A. Laubereau, Stable generation of subpicosecond pulses by feedback controlled mode locking of a Nd : glass laser. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1989, 6(8): 1574
- [3] A. DeCorno, G. Gabetta, G. C. Real *et al.*, Active-passive mode-locked Nd : YAG laser with passive negative feedback. *Opt. Lett.*, 1990, 15(13): 734
- [4] A. Laubereau, P. Heinz, R. Gagel, Generation of intense subpicosecond and femtosecond pulse using non-CW laser systems. *Proc. SPIE*, 1990, 1268: 48
- [5] 朱振和, 霍崇儒, 被动锁模激光器涨落模型的改进. *物理学报*, 1981, 30(2): 178

Generation of Four Picosecond Pulses from a Stable Passive Mode-Locked Nd : YLF Laser

Zhu Jiangqiang Chen Shaohu Zhang Zhuhong Chen Taolu
Chen Youming Guo Xiaodong Lu Qirong Deng Ximing
(Shanghai Institute of Optical and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 8 February 1993)

Abstract Stable passive mode-locked Nd : YLF was demonstrated for the first time by using GaAs photoconduct switch. 4 picosecond pulses with high stability of energy and duration has been generated.

Key words GaAs photoconduct switch, Q -value.