

激光自锁模现象的消除

郭大浩 吴鸿兴 王声波 戴宇生

(中国科学技术大学物理系, 合肥 230026)

提要 本文报道在硅酸盐钕玻璃激光器中消除激光自锁模现象及实现单纵模运转的方法, 并给出实验结果。

关键词 自锁模, 调制度, 单纵模

Elimination of self-mode-locking in laser

Guo Dahao, Wu Hongxing, Wang Shengbo, Dai Yusheng

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract The methods of eliminating self-mode-locking and realizing single longitudinal mode operation in silicate glass laser is reported. The experimental results have been given.

Key words self-mode-locking, degree of modulation, single longitudinal mode

1 引言

在观察钕玻璃及 YAG 等固体激光器的输出激光波形时, 经常可以看到自锁模式的调制现象^[1,2], 如图 1 (a) 及 (b)。但是, 为了使输出激光功率保持稳定和避免因功率过高而损坏腔内元件, 就需要克服这种自锁模现象。

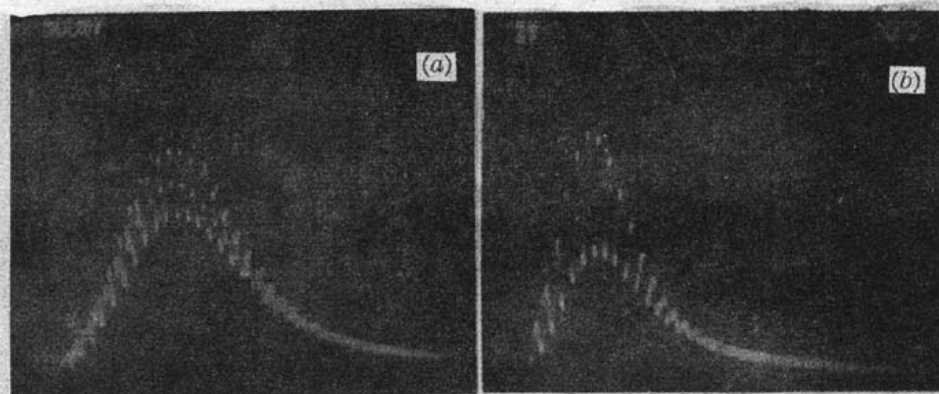


Fig. 1 The phenomena of self-mode-locking of laser waveform (50 ns/div)

要减弱或消除自锁模式的调制现象,当多纵模振荡时,就应该破坏自锁模所要求的频率条件和相位条件,或设法减少被锁定的纵模数目相对于总的振荡纵模数目的比值。当然,最好的办法是实现单纵模运转。为了上述目的,可以采取的办法有:(1) 将激活介质置于谐振腔中部;(2) 缩短腔长;(3) 采用 F-P 标准具组合;(4) 采用预激光调 Q 技术。本文将用实验和理论分析来探讨这些方法的作用效果。

2 克服自锁模的措施

2.1 理论分析已经表明^[3,4],当激活介质与谐振腔的腔镜距离小于腔长的 1/3 时,是产生强的拍频信号的位相条件,此时比较容易实现自锁模。图 1 所示的波形正是在此条件下而且泵浦能量密度也较高(76 J/cm³)的情况下得到的。但是,当我们采用了图 2 的实验装置,把激活介质置于谐振腔中部时(此时图中镜片 M 除去),在与上面相同的泵浦能量密度下拍摄了输出激光波形照片(图 3),可以看到自锁模现象仍经常出现,但总的趋势是调制度比较小。这是因为此时激活介质所处的位置正是产生弱拍频信号的位相条件,这一因素使得自锁模不大容易实现,或者说被锁定的纵模数相对变少了,因此,把激活介质置于腔中部是减小自锁模式的波形调制度的一项措施。

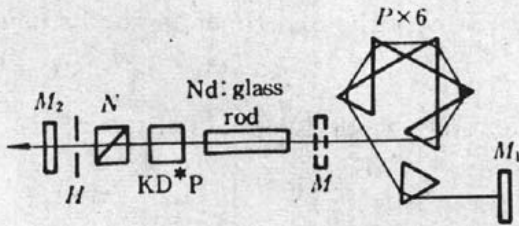


Fig. 2 Schematic diagram of experimental arrangement (cavity length $L = M_1M_2 = 1.5 \text{ m}$)

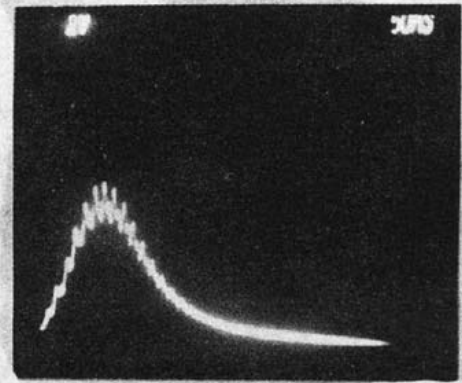


Fig. 3 The laser waveform as active medium placed in the middle part of resonant cavity (50 ns/div.)

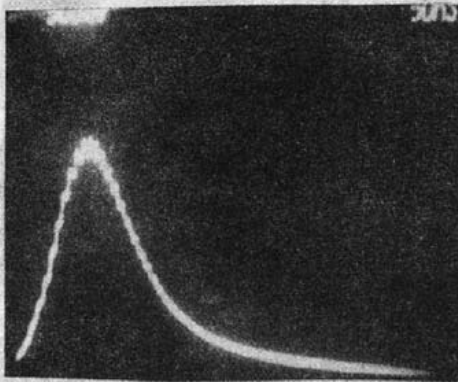


Fig. 4 The laser waveform in the case of shorter cavity ($L = 0.8 \text{ m}$), (50 ns/div.)

2.2 图 4 是对应于短腔($L = M_2M = 0.8 \text{ m}$)激光器输出激光波形照片。此时,在图 2 所示装置中把全反射镜从 M_1 移置于 M 处,同时泵浦能量密度减至 45 J/cm^3 ,由于短腔时相邻频率间隔加大,而且光泵密度较低,频率牵引数值较小,这些因素都使被锁定的纵模数相对说来较少,因此波形调制度也小了。

2.3 当在图 2 中 M 处插入一个 F-P 标准具时,由于它对不同波长光波有不同的透过率^[5],其透过率表达式为(光线正入射时)

$$T(\lambda) = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{2\pi nd}{\lambda}\right)} \quad (1)$$

式中 d 为标准具厚度, n 为折射率, λ 为波长, R 为标准具对入射光的反射率,而每个透过率峰宽

度为

$$\Delta\omega_i = \frac{c}{nd} \left(\frac{1-R}{\sqrt{R}} \right) \quad (2)$$

两相邻透过率峰的间隔为

$$\Delta\omega_m = \frac{\pi c}{nd} \quad (3)$$

在我们的装置中, M_2 是一个标准具 (F-P)₁, 其反射率 $R_1 = 60\%$, $d_1 = 2 \text{ mm}$, $n_1 \cong 1.5$, M 是标准具 (F-P)₂, 其 $R_2 \cong 8\%$, $d_2 = 2 \text{ mm}$, $n_2 = 1.5$ 。这二个标准具相距 0.8 m , 当它们相互平行时, 可以构成第三个标准具 (F-P)₃, 其反射率 $R_3 \cong 46\%$, $d_3 = 800 \text{ mm}$, $n_3 \approx 1$ 。这三个标准具的透过率曲线如图 5 所示。由于在腔内振荡的每个纵模每次都要通过每一个标准具, 它们在腔内的损耗的差别将随其通过的标准具数目的增加而扩大, 因此, 多个标准具组合使能锁定的纵模数减少了许多, 特别是当振荡次数增多时, 更能发挥标准具组的选纵模作用。因此, 在腔内插入标准具组是减少激光波形的调制度的一个有效措施。

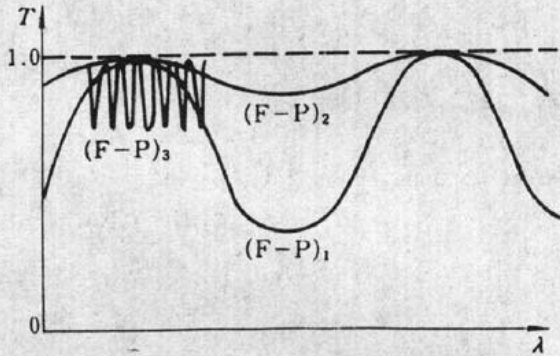


Fig. 5 Transmissivity curves of F-P etalons

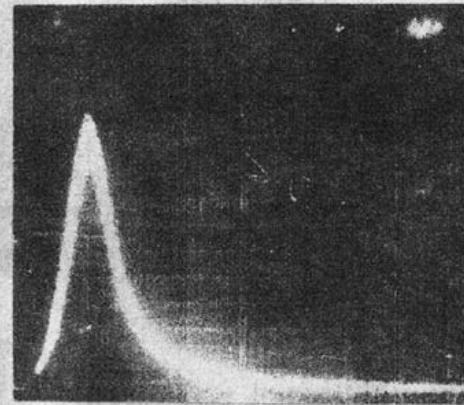


Fig. 6 First pulse of pre-lase relaxation oscillation ($1 \mu\text{s}/\text{div}$)

2.4 激光器在以调 Q 方式工作时, 在巨脉冲形成之前腔损耗很大, 各纵模很难振荡。在巨脉冲形成期间其持续时间较短, 各纵模在腔中振荡次数较少, 竞争不充分, 其损耗之差别不够大。这就导致有一定数量的纵模成长起来并实现自锁, 为了使各纵模有足够长的竞争过程而抑制多数纵模, 可使用预激光技术, 也就是使 Q 开关分两步打开。第一步, 将电光调 Q 开关部分打开, 激光在阈值附近振荡, 一开始只能有少数纵模起振, 它们在腔内可有千次左右的振荡, 这样, 原先损耗差别很小的各纵模多次通过标准具组, 其损耗的差别不断加大, 而且它们从激活介质获得的增益的差别也越来越大。因此, 有许多模被抑制下去, 自锁模条件当然难以满足。特别是, 由于标准具 (F-P)₃ 的每个透过率峰中只能容纳一个纵模 (因 (F-P)₃ 的峰宽 $\Delta\omega_m = 4.5 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$, 而谐振腔的相邻纵模间隔为 $2\pi c/2L = 6 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$), 所以在我们的装置上实现了单纵模运转。图 6 是预激光弛豫振荡的第一个脉冲, 它从偏振片 N 反射出去, 被 PIN 光电二极管接收后使 Q 开关完全打开, 激光器就输出调 Q 脉冲。

总之, 由于同时采取了上述几种方法, 使自锁模式的调制现象基本上消除了, 从而使调 Q 激光器可以稳定地输出调制度很小而波形相当光滑的激光脉冲, 并有相当大的几率实现单纵模运转。图 7 是单纵模运转时激光波形的照片。

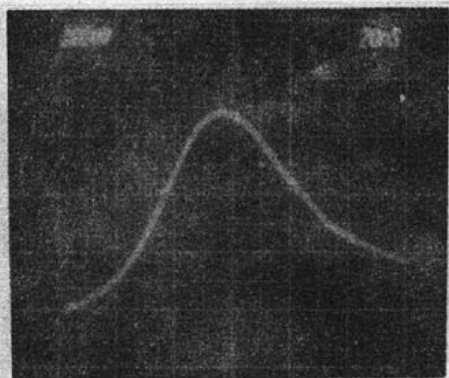


Fig. 7 Laser waveform of single longitudinal mode
(20 ns/div)

谨对中国科学院上海光学精密机械研究所陈绍和、范滇元等同志的有益讨论表示谢意。

参 考 文 献

- 1 郭大浩 *et al.*, 光学学报, 11(3), 198~201(1991)
- 2 樊立明 *et al.*, 光学学报, 12(1), 16~19(1992)
- 3 《激光物理学》编写组, 激光物理学, 上海人民出版社, 上海, 1975, 226~235
- 4 H. Statz *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 38(5), 2212(1967)
- 5 M. Born, E. Wolf, *Principle of Optics*, Pergamon Press, Oxford London, 1964, 256