

掺钕硅酸盐玻璃激光器中的自锁模现象

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

本文报道了在掺钕硅酸盐玻璃激光器中的自锁模现象, 并对实验现象作了分析和讨论。

关键词: 自锁模、调制度、频率牵引。

一、引 言

用存储示波器仔细观察一些固体激光器的输出波形时, 常可见到波形是不光滑的, 呈现一种调制现象, 即随着波形的时间展开线的起伏, 有许多小尖峰, 且各小尖峰之间具有确定的周期性, 这一特征使人们联想到自锁模现象, 关于自锁模的问题早已有论述^[1,2], 近来国内也对其开展了研究^[3]。由于作者近年来研制万兆瓦级可调谐新型激光系统^[4], 使用的激活介质是掺钕硅酸盐玻璃, 因此对于这种激光器中出现的自锁模模式的调制现象给予特别的关注。

二、实验装置及实验结果

实验用的激光振荡器示意图如图 1 所示, 激活介质为 $\phi 6 \times 200$ mm 掺钕硅酸盐玻璃

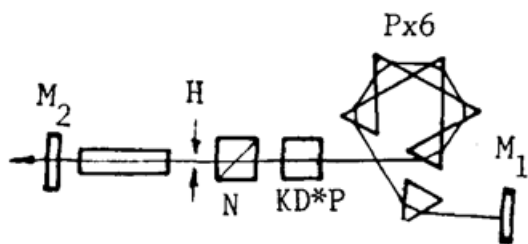


Fig. 1 The scheme of experimental arrangement

棒, 掺杂 (Nd^{3+}) 浓度为 1.2%, 聚光腔为双灯双椭圆柱腔, 谐振腔为平行平面腔, 其中 M_1 为全反射镜, M_2 为反射率 $R_2=70\%$ 的输出镜, 钕玻璃棒与输出镜的距离小于腔长的 $1/3$, 腔内用 KD^*P 晶体调 Q , N 为介质膜偏振片, $P \times 6$ 表示由 6 个棱镜串接的色散元件组, H 为 $\phi 3$ mm 选横模小孔, 构成了一台有效腔长 $L=1.5$ m 可调谐的、调 Q 的钕玻璃激光器,

输出激光波形用 PIN 硅光二极管接收并由快速存储的 Tektronix-7834 型示波器显示。

(1) 当激光器工作在阈值以上, 泵浦能量密度为 $76 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$, 输出调 Q 激光脉冲, 在同一条件下重复观察若干次波形, 得到如图 2 的几种具有代表性的波形照片。

图 2(a)、图 2(b) 是经常出现的具有调制状波形, 其调制度可达 30~60%, 实际上调制形状虽然都不大一样, 但小尖峰的间隔却是有确定大小的。从图 2(a) 明显地看出, 各小尖

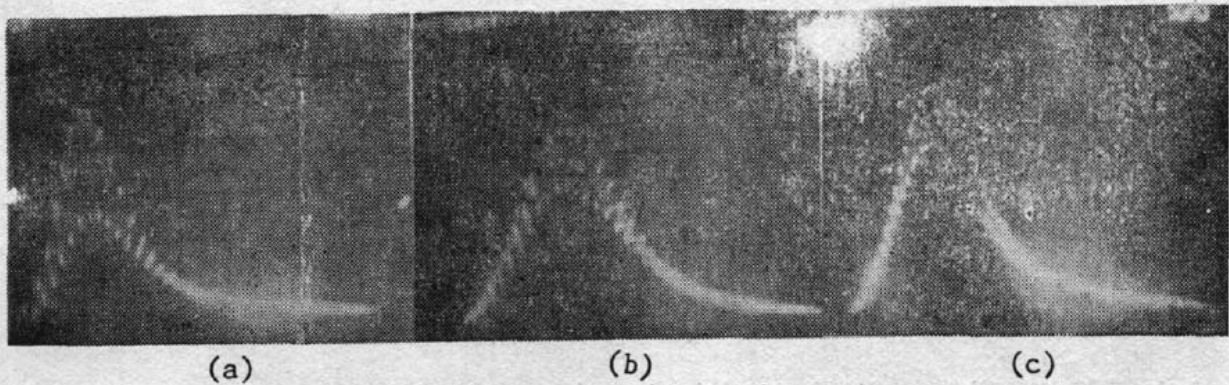


Fig. 2 Laser waveforms from a silicate Nd:glass laser (the distance between glass rod and output mirror of cavity $< L/3$, $L=1.5\text{m}$)

峰的波峰可以连接成处在上层的包络线，而其波谷可以连接成处在下层的包络线。相邻二个小波峰(或波谷)的间隔都相等，在图 2(b)中，这种包络线甚至成四层，而每层的相邻小波峰(或波谷)的间隔也相等，若令此间隔为 τ ，而 c 为光速，则存在着对应关系

$$\tau = \frac{2L}{c} \quad (1)$$

例如，当 $L=1.5\text{m}$ 时，实验测得 $\tau=10\text{ns}$ ，与由(1)式算得的 τ 值符合得很好，但是图 2(c)中小尖峰的间隔是 $(\tau/2)^*$ 。

(2) 把图 1 实验装置中的钕玻璃棒置于谐振腔的中部，重复小面的实验，得到的波形大体上与图 2 类似，但总的看调制度变小一些，一般 $< 30\%$ 。

(3) 若激光振荡器中不包含色散棱镜组，并将腔长缩短到 $L=0.8\text{m}$ ，当泵浦能量密度为 $45\text{J}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时，则波形的调制小尖峰比较小，调制度一般 $\leq 10\%$ ，而相邻小尖峰的间隔依然符合(1)式的关系。在这里， τ 值的计算值及实测值均为 5.3ns 。

(4) 在观察 YAG 激光器的调 Q 波形时，也常有小尖峰存在。特别是端面与棒中心线垂直的激光棒，当把棒端面调节到与谐振腔镜平行时，激光波形光滑的几率大大增加，即使有调制状波形，其调制度也相当小，这点对消除调制状波形来说具有重要的意义。

(5) 在观察自由振荡激光器输出波形时，调制小尖峰同样存在。

从上述五个实验结果，可以看出在钕玻璃及 YAG 等固体激光器中，激光波形的调制现象是普遍存在的。

三、产生调制的原因浅析

上述调制现象是与自锁模现象一致的，或者说这种调制小尖峰正是自锁模的表现形式。如所周知，一方面，激活介质的色散和谱线加宽将引起频移，定义频移为

$$\delta\omega_k = \omega_k - \omega_{ck}, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中 ω_k 为有源腔的纵模振荡频率， ω_{ck} 为无源腔的纵模共振频率。当 χ' 是极化率 P_k 的实部时，则有

* 后将予以解释。

$$\chi' = \frac{\omega_{ck}^2 - \omega_k^2}{\omega_k^2}, \quad (3)$$

由于 ω_k 与 ω_{ck} 相差很小, 因此有

$$\delta\omega_k \approx -\frac{\omega_k}{2} \chi'. \quad (4)$$

另一方面, 由极化源项的非线性作用产生的频率牵引或推移的数量为

$$\delta\omega_p = \frac{\omega_0}{2} \left| \frac{P_0}{E_0} \right|, \quad (5)$$

式中 ω_0 为所考虑的纵模频率, P_0 是对应于 ω_0 的非线性极化分量, E_0 为相应的电场强度。频移 $\delta\omega_k$ 使得各振荡模不易建立起确定的间隔, 而频率牵引 $\delta\omega_p$ 却有利于使各振荡模之间建立起具有确定的频率间隔的状态。自锁模能否形成, 主要要看 $\delta\omega_k$ 与 $\delta\omega_p$ 在数值上是否达到同一量级。尽管已有理论指出: 对于掺铈硅酸盐玻璃, 当考虑三模振荡时, 计算得到 $(\delta\omega_k/2\pi) = 5 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$, $(\delta\omega_p/2\pi) = 1.8 \times 10^3 \text{ sec}^{-1}$, 即铈玻璃的 $\delta\omega_p$ 比 $\delta\omega_k$ 小二个量级, 因而认为掺铈硅酸盐玻璃不易发生自锁模^[2]。但是, 应该看到, 多模振荡时, 各模间的相位关系取决于模的频率间隔, 激活介质在腔内的位置以及不均匀加宽的程度等多种因素。在实验 1 中, 首先, 振荡器腔长 $L=1.5 \text{ m}$, 相邻纵模间隔 $\Delta\omega \approx 6 \times 10^8 \text{ sec}^{-1}$, 而实际激光线宽约为 $\Delta\omega' \approx 10^{11} \text{ sec}^{-1}$, 故在激光线宽范围内有几百个纵模, 而且光泵密度较高 ($76 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$), 因而实际上有较多纵模同时起振。而腔内激光强度较大, 非线性极化分量加大, 故而实际的频率牵引数值要比估算值 $\delta\omega_p$ 大得多。其次, 分析表明^[2,5], 按照最大发射原理, 激活介质与腔镜距离小于腔长的 $1/3$ 时, 是产生强拍频信号的相位条件, 此时易实现自锁模, 正是因为这些原因, 在实验 1 中就很容易看到自锁模式的调制现象。

至于调制现象的多样性, 显然是由于具体的各次振荡其初始条件不相同, 导致不同数目或不同组的纵模同时满足频率条件和相位条件, 从而实现不同的部分自锁模。

例如图 2(a) 的情形, 相邻尖峰的间隔正好等于腔纵模频率间隔的倒数 τ , 这是典型的一组纵模实现自锁的情况。调制度较大说明被锁定的纵模数较多(因为锁模脉冲光强是与被锁定纵模数目的平方成正比的)。而光泵密度较高, 腔内光强大, 非线性极化分量加大, 导致频率牵引数量增大, 这些是造成被锁定的纵模数目增多的条件。

从图 2(b) 可以看到, 在间隔 τ 之中总共有二个尖峰。这可以认为是二组锁模系列脉冲的叠加, 它们是二组分别满足锁模条件的纵模各自实现自锁的结果。但由于两组纵模的数目不等, 因而其尖峰有大有小。

图 2(c) 与图 2(b) 是类似的, 在间隔 τ 之中也是有两个尖峰, 或者说相邻尖峰之间间隔为 $(\tau/2)$, 它也是由两组分别满足锁模条件的纵模各自实现自锁的结果。但此时两组纵模数目大体相等, 故二相邻尖峰大小基本相同, 因此, 前面所说的图 2(b) 的四层包络线简并为图 2(c) 的二层包络线了。

四、结 束 语

实验已经表明, 在掺铈硅酸盐玻璃和 YAG 等调 Q 或自由振荡方式的激光器中, 自锁模式的调制现象是经常出现的, 由于调制小尖峰使腔内光功率增高, 容易损坏元件; 而且调制

状态多变必然导致输出功率不够稳定等等人们所不希望的现象。因此需要采取措施去削弱甚至消除这种自锁模现象。

参 考 文 献

- [1] H. Stutz; *J. Appl. Phys.*, 1969, **38**, No. 12 (Dec), 4648~4655.
- [2] 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.
- [3] 张国轩等;《光学学报》, 1989, **9**, No. 2 (Feb), 170~174.
- [4] 吴鸿兴, 郭大浩等;《中国激光》, 1990, **17**, No. 4 (Apr), 216.
- [5] H. Stutz *et al.*; *J. Appl. Phys.* 1967, **38**, No. 5 (May), 2212.

Self-mode-locking in silicate glase laser

GUO DAHAO, WU HONGXING, WANG SHENGBO AND DAI YUSHENG

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

(Received 17 August 1990)

Abstract

The phenomenon of self-mode-locking in silicate glass laser is reported in this paper. The experimental results have been analyzed and discussed.

Key words: self-mode-locking, degree of modulation, frequency pulling.

第六届四省联合激光学术年会在山东省曲阜市召开

1990年9月19~24日在古城曲阜市召开了山东、河南、黑龙江、江苏四省第六届联合学术年会。来自四省及北京、上海等地代表共150名,大会收到的论文212篇,特邀报告2篇。其内容大致可包括激光元器件、激光光谱、激光物理、激光晶体、激光检测、全息与干涉术、激光医学和生物学、激光在工、农业上的应用以及其它。会议采取大会报告与小组交流相结合进行。

本届学术年会的论文报告充分反映出了近年来鲁、豫、黑、苏四省激光技术的显著进展,学术水平有很大程度的提高,特别在激光晶体、激光光谱学、激光元器件(例如激光偏光棱镜等)以及激光应用(例如:医学、生物学、激光雷达等)等方面的论文反映了这些领域的技术已达到国内领先或个别项目达国际水平。

会议由山东省激光学会主办,曲阜师范大学筹办,于1990年9月24日圆满结束,下届会议将由河南省激光学会主办,于河南省洛阳市召开。

(乙 民)