

频调锁模 Nd:YAG 激光器

李世忱 倪文俊 李明 张肇源
(天津大学精密仪器系)

提 要

本器件以连续 FM 锁模工作, 利用非正弦调制实现了相锁态的分离, 可长期稳定运转。脉宽 66 ps, 带宽 10.6 GHz, 脉冲幅稳度 $\pm 3\%$ 。平均功率 200 mW。最大带宽可达 15.6 GHz, 相应脉宽小于 50 ps。

一、引 言

如果在 FM 锁模激光器中所用的相位调制器是以正弦调制方式工作的, 则在理论和实验上都已证实该激光器存在两个相位互差 180° 的稳态解。因而 FM 锁模激光器的输出脉冲常常发生 180° 的相位跳变, 使得激光器不能稳定工作^[1,2,3]。本文旨在描述利用非正弦相位调制方法消除上述双解效应的影响, 以求制做一种能够稳定工作的窄脉宽 FM 锁模 Nd:YAG 激光器。

二、非正弦调制器

因为激光通过 LN 调制晶体的相位变化 $\delta(t)$ 正比于加于它上面的电场, 因而实现非正弦相位调制的问题, 也就是如何在晶体内形成相应的非正弦电场的问题。在甚高频条件下, 利用基频场及其倍频场合成非正弦场显然是一种最为简便可行的方法, 因为只要用一个适当的双共振匹配网络就可能把上述两个正弦电场同时加于晶体上。并且容易证明, 倍频波经 90° 相移再与其基波相加才可能得到偶对称的合成场, 或偶对称的相位调制函数

$$\delta(t) = \delta_1 \sin \omega_m t + \delta_2 \sin(2\omega_m t - 90^\circ) = \delta_1 \sin \omega_m t + 2\delta_2 \sin^2 \omega_m t - \delta_2。$$

由此也易证明, 当取调制度 $\delta_1 = 2\delta_2 = \delta_0$ 时, $\delta(t)$ 将是一种底部平坦的钟状脉冲图象。这显然是有利于消除上述双解效应的一种理想的场结构。

这一讨论说明, 只要控制两个正弦场的相对强度, 和保证倍频场相对于基频场的 90° 相移, 就可以得到我们所设想的理想调制效果。

三、实验装置

实验系统装置如图 1 所示。两支串联的 $\phi 9.5 \times 100$ (mm) 的 Kr 灯由稳流电源供电, 并设有光强反馈控制回路, 可使激光器的平均输出功率稳定在 1% 以内。 $\phi 5 \times 60$ (mm) Nd:YAG 棒封装在石英滤光套管内, 用自来水冷却。聚光罩为双椭圆形。激光器光学腔长

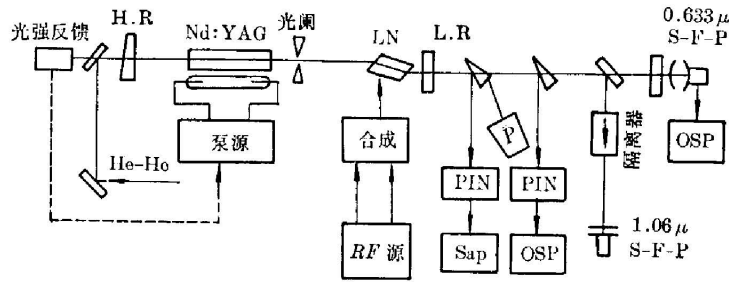


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

75cm, 由于是钢基座, 输出镜用楔形平面镜, 透过率为 10%。选模光阑为 $\phi 1.5\text{mm}$ 。

按布氏角切割的 LiNbO_3 晶体相位调制器尺寸为 $18 \times 5 \times 6(\text{mm})^3$ 。用一特殊的匹配电

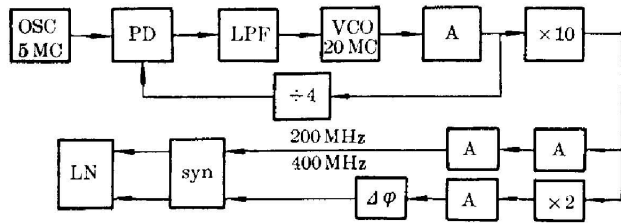


图 2 调制系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of modulation system

路使调制器既能以 200 MHz 工作, 又能以 400 MHz 工作, 也可以其双频合成工作, 借以实现非正弦调制。调制器驱动源的长期频率稳定度为 3 Hz/天, 频率瞬稳度指标满足锁模要求。200 MHz 源的最大输出功率为 5 W; 400 MHz 源为 3 W, 通常都用到

1.5 W 以内, 输出阻抗为 50Ω 。电路结构示于图 2。

上升时间 $< 50\text{ps}$ 的 PIN 光探测器和 35ps 的取样示波器用以测量脉宽。350 MHz 通用示波器和雪崩光二极管, 用以监视锁定情况, 并测量脉冲幅度稳定度。自制 $1.06\mu\text{m}$ 波段的 F-P 扫描球面干涉仪测量脉冲光谱宽度。He-Ne 扫描干涉仪是为监测调制器的调制度和调制场结构而设置的。图 1 中的 S-F-P 代表扫描干涉仪; \bar{P} 代表激光功率计; OSP 和 Sap 分别代表示波器和取样示波器。

四、实验结果

把 200 MHz 及其倍频波通过一特别的双共振升压电路加于 LN 晶体, 控制 200 MHz 和 400 MHz 电功率, 并调节二者的相移, 便可在 LN 晶体内得到一个符合需要的合成场。由于直接探测这一场是困难的, 所以我们转而借助于 He-Ne 扫描干涉仪来研究其频谱^[4]。实验表明, 按照下述要求选择调制器参数时, 都会得到良好的锁模效果: (1) 场频谱(200 MHz 边带和 400 MHz 边带)要调到对称。(2) 400 MHz 一级边带高度调到 200 MHz 一级边带高度的 15~30%。由[4]可证明, 满足这二项调整要求的合成场正是前面讨论过的偶对称钟状脉冲波形。这样, 当使用 200 MHz 调制度为 0.25rad 和 400 MHz 调制度 0.13rad 进行锁模实验时, 很容易得到脉宽 66 ps, 脉冲带宽 10.6 GHz 的 TEM_{00} 模高斯形脉冲列。脉冲幅度稳定度约 $\pm 3\%$ 。平均输出功率在 50~200 mW 内, 脉冲各参数无明显变化。当把上述调制度增加到 0.38rad 和 0.20rad 时, 输出脉冲谱宽扩展到 15.6 GHz, 相应脉宽 50 ps (包括探测系统的固有展宽在内)。改变调制度到 0.16rad 和 0.085rad 时输出脉宽变为

80 ps, 脉冲带宽 8.8 GHz。把调制度进一步减小到 0.1 rad 和 0.05 rad 时, 脉宽增加到 100 ps, 脉冲谱宽约为 7.5 GHz。脉宽从 60~90 ps 范围内脉带宽积都保持到 0.7 左右, 重复性极好。在上述所有情况下, 锁相调谐区只有一个, 区宽约 1.3×10^{-5} 腔长。锁模运转和自由运转的平均输出功率基本不变。图 3~6 是本实验得到的输出脉冲列和光谱的典型示波图象。

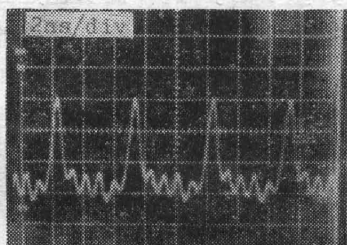


图 3 锁模光脉冲列的 350 MC 示波器照片。次结构是雪崩光二极管阻抗与示波器不匹配所致

Fig. 3 The photo of mode-locking pulse series on 350 MC oscilloscope

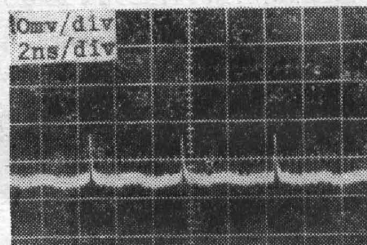


图 4 锁模脉冲列的 12.4 GC 取样示波器图象
Fig. 4 The mode-locking pulse series on 12.4 GC samplescope

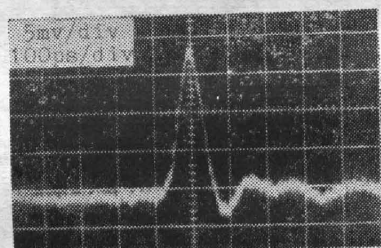


图 5 锁模脉冲列的 12.4 GC 取样示波器图象(脉宽 66 ps)

Fig. 5 The mode-locking pulse series on 12.4 GC samplescope (pulsewidth 66 ps)

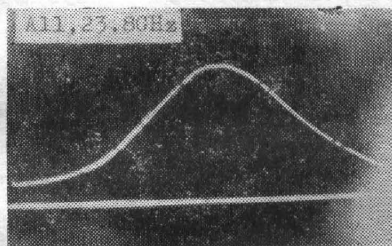


图 6 锁模脉冲列的光谱图象(带宽 10.6 GHz)
Fig. 6 The spectral of the mode-locking pulse (bandwidth 10.6 GHz)

在长期的实验工作中, 我们十分注意地观察了相锁态的分离效果。当只用 200 MHz 的正弦调制时, 我们发现腔内存在的寄生光反馈会使脉冲的相跳变加剧, 常常是至多有 1~2 分钟的稳定性; 但一经加入 400 MHz 调制, 相跳变现象随即消失。用非正弦调制我们从未观察到脉冲列的 180° 相跳变现象, 这种情况下较强的寄生光学反馈只可能引起瞬时失锁, 或影响运转稳定性, 而绝不会出现双解性机理的跳变现象。

五、讨 论

(1) 用非正弦调制实现 FM 锁模激光器的相锁态分离是有效可靠的。并且容易获得窄脉宽。由本实验得到的稳定的窄脉宽和 0.7 的脉宽带宽积数据, 以及脉冲和光谱的示波图象等判断, 我们做到了完全锁模运转。 >100 ps 时的积值稍有增大可能是由于此时调制度较小, 锁模情况有所变坏。至于 ≤ 60 ps 时的积值增大, 是因为此时探测系统响应限制, 参数测量的准确性下降, 因而不好断言。

(2) 对于依靠调整调制度来调节输出脉宽, 非正弦调制要比正弦调制有效得多。这无疑是一优点。

(3) 调制器驱动源的频率瞬稳度指标不容忽视, 当它不被满足时, 几乎不可能目瞬到一种光滑稳定的谱包络和不被弛预调制的脉冲列。当然也不能得到一张象样的示波照片。

(4) 防止腔内水的寄生光学反馈, 对稳定运转是十分重要的。这种扰动也是正弦调制时导致相锁态频繁交换的重要原因。因此最理想的光路结构是腔内所有插入元件的端面都切成布氏角。我们的调制晶体已切成布氏角, 但把 Nd:YAG 棒切成布氏角在结构上很不方便, 一种权宜的办法是切成 2° 左右的角度, 而后端面增透。

纪国勤同志参加了本机的机械设计和装调等方面的工作。

参 考 文 献

- [1] G. W. Hong, J. R. Whinnery; *IEEE JQE.*, 1969, **QE-5**, No. 7 (Jul), 367.
- [2] D. J. Kuizenga, A. E. Seigman; *IEEE JQE.*, 1970, **QE-6**, No. 7 (Jul), 694.
- [3] T. S. Kinsel; *IEEE JQE.*, 1973, **QE-9**, No. 1 (Jan),
- [4] 李世忱等;《激光》, 1981, **8**, No. 5 (May), 19.

The FM mode-locking Nd:YAG laser

LI SHICHEN NI WANJUN LI MING AND ZHANG ZHAOYUAN

(Department of Precision Instrument Tianjin University)

(Received 16 May 1983; revised 7 October 1983)

Abstract

The laser described in this paper is working in CW FM mode-locking operation. The mode-locking states have been separated in this laser. The stable operation for a long time has been obtained. The pulsewidth of the output pulse is 66 ps, and the bandwidth is 10.6 GHz. The stability of the pulse amplitude is $\pm 3\%$. The average output power is 200 mW. The maximum oscillation bandwidth is 15.6 GHz and the corresponding pulse width is less than 50 ps.