

# 带抗共振环的非稳腔对撞脉冲锁模 Nd:YAP(Nd:YAlO<sub>3</sub>)激光器

朱小磊 孙占鳌 吴兆庆 杨香春  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

吕 坚 吴锦华 李敢生  
(中国科学院福建物质结构研究所)

## 提 要

本文报道用 Nd:YAP (Nd:YAlO<sub>3</sub>)激光介质在带抗共振环的平-凸非稳腔结构中,选用五甲川-1, 2-二氯乙烷染料,实现对撞脉冲被动锁模,获得良好锁模脉冲波形的实验结果。在 1Hz 的重复频率下,锁模脉冲平均脉宽 < 10ps, 输出脉冲系列平均能量 80mJ, 脉冲系列能量集中于中央的三个脉冲,锁模成功率 100%, 输出能量稳定性  $80 \pm 4$  mJ。

关键词: Nd:YAlO<sub>3</sub>; 抗共振环; 非稳腔; 对撞脉冲锁模。

## 一、引 言

自从用抗共振环结构实现对撞脉冲锁模的新技术出现以来,我们已经成功地把这种抗共振环引入到平-凸非稳腔结构中,实现了 Nd:YAG 激光器的对撞脉冲被动锁模(CPM)输出<sup>[1]</sup>, 实验发现选用这种非稳腔结构实现对撞脉冲锁模所获得的脉冲宽度比普通的线型腔锁模所获得的脉冲宽度<sup>[2]</sup>窄 2/3 倍,脉宽可达 10ps; 脉冲系列总能量提高 3~4 倍,达 69mJ, 而且能量主要集中在脉冲系列包络的中央三个脉冲上,锁模输出具有较好的能量稳定性和波形重复性。总之,实验结果显示了这种腔结构用于脉冲锁模的优越性。通常 Nd:YAG 激光器最佳锁模工作状态要求锁模染料(五甲川-1, 2-二氯乙烷溶液)的初始透过率  $T_0 \approx 20\% \sim 30\%$ , 限制了 CPM 锁模脉冲能量的进一步提高及脉宽的进一步压缩。

我们知道, Nd:YAP 激光介质的许多特性有利于锁模应用<sup>[3]</sup>, 具有提高锁模脉冲能量和压窄脉冲宽度的能力。首先 Nd:YAP 激光介质具有较高的激光转换效率,而且输出是线偏振的,有利于降低锁模脉冲的振荡阈值,减少抗共振环的损耗;其次 Nd:YAP 介质的荧光带宽较宽,约为 Nd:YAG 2 倍(YAP 为 10Å, YAG 为 6Å),因此在相同的实验条件下,用 Nd:YAP 介质可以获得更窄的锁模脉宽,提高锁模稳定性;再者 Nd:YAP 介质的激发截面  $\sigma$  较小,约为  $2 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ , 有利于腔内激活粒子数积累,提高锁模脉冲系列能量。当然 Nd:YAP 介质的荧光寿命  $\tau$  比 Nd:YAG 的短,为 170  $\mu\text{s}$ , 相对地较容易导致自发辐射损耗,然而这种较强的初始自发辐射噪声波,对于脉冲被动锁模而言,更有利于锁模种子脉冲的形成。根据上述 Nd:YAP 介质的特性,我们认为用带抗共振环的平-凸非稳腔可较好

地获得 Nd:YAP 介质对撞脉冲锁模的实验结果。设计腔结构参数时,应使其具有腔内振荡模建立时间  $\tau_r$  较短的特性,同时泵浦速度足够快,以便实现稳定的锁模输出。

## 二、实验装置及结果讨论

我们的实验装置与文献[1]相似,只是腔参数及工作物质有所不同。全反凸面镜的曲率半径  $R \sim 4\text{m}$ , Nd:YAP 棒尺寸为  $\phi 6.6 \times 87\text{mm}$ , 两端面磨斜  $2.5^\circ$ , 用以抑制自发辐射引起的自激振荡和子腔振荡, 消除寄生场干扰; 单氙灯泵浦; 选用五甲川-1, 2-二氯乙烷溶液作锁模染料, 染料盒厚  $d=1\text{mm}$ ; 由于 Nd:YAP 属中等增益介质, 因此所用非稳腔结构的腔几何放大率  $M$  必须适中, 如果  $M$  值过大, 则腔几何损耗增加, 从而锁模振荡阈值升高; 而  $M$  值过小, 又会导致腔的横模鉴别能力降低, 腔内振荡模建立时间拉长, 两者都不利于 Nd:YAP 的锁模。根据文献[1]

中的公式(5)、(12), 得到图 1 所示的  $\tau_r-M$  关系曲线。据此, 我们认为对于 Nd:YAP 介质, 取  $M=2.6$  左右比较适宜, 此时  $\tau_r \approx 17\text{ns}$ 。结果表明, 选用这组腔参数是适于 Nd:YAP 介质的稳定锁模振荡, 能获得良好的对撞脉冲锁模波形。用新配置的五甲川-1, 2-二氯乙烷溶液, 染料的初始透过率  $T_0 \approx 8\%$  时, Nd:YAP 激光器在  $1\text{Hz}$  的重复率下工作, 锁模成功几率达  $100\%$  (染料不流动), 而且输出锁模脉冲系列包络具有很好的重复性和能量稳定性。表 1 是  $1\text{Hz}$  重复率下测得的十次能量值。

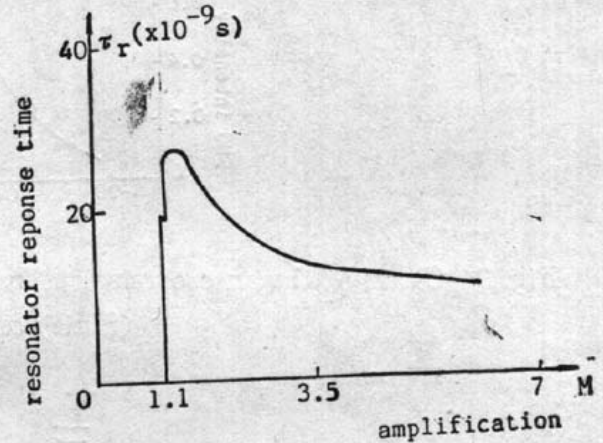


Fig. 1 The resonator response time  $\tau_r$  as a function of the magnification  $M$

Table 1 Mode-locking pulse output energy of Nd:YAP lasers

No. of measurement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
energy(mJ)	83	80	80	83	80	79	76	80	76	83

$$E_A = 80\text{ mJ}; \Delta E_{\max} = 4\text{ mJ}; \Delta \delta_{\max} = 5\%$$

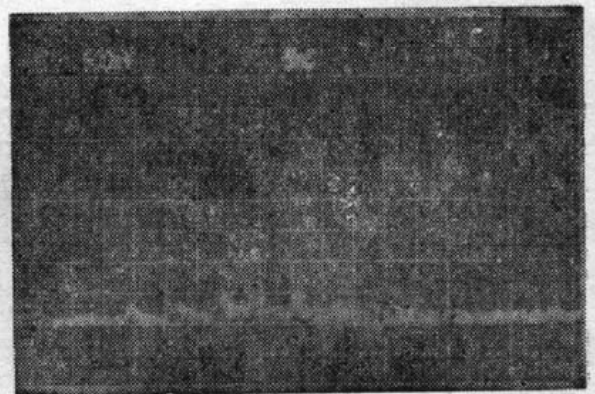


Fig. 2 Oscillogram of mode-locked pulse train from Nd:YAP lasers

图 2 所示锁模脉冲波形, 是 Nd:YAP 介质在带抗共振环的非稳腔结构中对撞脉冲被动锁模的脉冲系列示波照片。很明显整个锁模脉冲系列包络内占有能量的脉冲只有  $7 \sim 9$  个, 而其中三个脉冲峰值突出。这种锁模脉冲系列包络形状与 Nd:YAG 所得的结果具有一致性。

图 3 所示是用非共线二次谐波法测得谐波强度-延时相关曲线。测量谐波曲线的半高度

值处全宽(FWHM), 计算得到 Nd:YAP 锁模脉冲的平均脉宽  $\Delta\tau \leq 10\text{ps}$ , 达到了锁模染料五甲川-1, 2-二氯乙烷溶液的弛豫时间限( $\approx 9 \pm 1\text{ps}$ )<sup>[4]</sup>。我们认为 Nd:YAP 介质对撞脉冲锁模的脉冲宽度没有达到预期结果的原因是受到了锁模染料弛豫时间的制约。

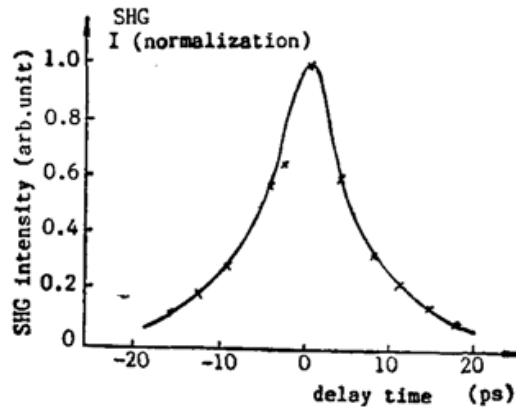


Fig. 3 Curve of the autocorrelation function of nonlinear second harmonic generation (SHG) of Nd:YAP lasers

### 三、结 论

我们用带抗共振环的平-凸非稳腔结构, 首次成功地实现了 Nd:YAP 激光介质的对撞脉冲被动锁模, 腔中抗共振环的压缩脉宽作用使得锁模脉冲平均宽度  $\leq 10\text{ps}$ , 达到了腔内锁模染料的弛豫时间限; 平-凸非稳腔结构具有振荡模体积大的特性提高了锁模脉冲输出能量。此外合适的腔结构参数改善了被动脉冲锁模 Nd:YAP 激光器的输出稳定性。根据 Nd:YAP 介质的特性, 我们认为选用具有较大漂白光强  $I_0$  的锁模染料, 或弛豫时间更短的锁模染料, 并配置较浓的染料浓度, 将会更进一步压缩锁模脉冲宽度, 流动的锁模染料会更有利于脉冲锁模。

### 参 考 文 献

- [1] 孙占鳌等;《中国激光》, 1989, 16, No. 5 (May), 302~304.
- [2] R. T. Lewhurst *et al.*; *Opt. Comm.*, 1979, 28, No. 1, 107~110.
- [3] M. I. Demchuk *et al.*; *Opt. and Quantum Electronics*, 1985, 17, 79~82.
- [4] 邱佩华等;《中国激光》, 1983, 10, No. 3 (Mar), 143~146.

## A colliding pulse mode-locking Nd:YAP(Nd:YAlO<sub>3</sub>) laser using an unstable resonator with an antiresonant ring

ZHU XIAOLEI, SUN ZHANAQ, WU ZHAOQIN AND YANG XIANGCHUN  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

LU JIAN, WU JINHUA AND LI GANSHENG  
(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica)

(Received 29 September 1989; revised 27 December 1989)

### Abstract

We present a colliding pulse passively mode-locking Nd:YAP(Nd:YAlO<sub>3</sub>) laser using an unstable plano-convex resonator configuration with an antiresonant ring. Using this system, we have obtained a perfect mode-locking pulse train. At 1Hz repetition rate, shorter than 10ps average pulsewidth and up to 80mJ output energy of the pulse train are obtained. There are three higher pulses in the centre of the pulse train. The reproducibility of mode-locking pulse train and the stability of output energy are excellent.

**Key words:** Nd:YAlO<sub>3</sub> antiresonant ring; unstable resonator; colliding pulse mode-locking.

## 宽波段高重复率脉冲激光能量的高灵敏度实时监测系统

中国科学院上海光学精密机械研究所研制并建立了宽波段高重复率脉冲激光能量的高灵敏度实时监测系统。

该系统解决了强激光(兆瓦级)定比衰减绝对能量定标和测量(量程扩展到微弱能量),以及系统波长特性修正的问题;运用双通道信号积分放大器和计算机,实现了测量自动化;测量不受杂光和气流的影响。

该系统具有波段宽(0.35~2.5 μm),分辨率高(0.1 nJ)和自动化程度高的特点;具有较高的测量精度(不确定度 <9%),并且能够实时监测高重复率激光脉冲的能量,能够同时监测双光束以进行效率、损耗等研究。

该技术系统已于1990年4月2日由中国科学院组织的专家鉴定通过。

(乙 民供稿)