

# 双掺(Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG 晶体对撞脉冲锁模的研究

朱小磊 孙占鳌 吴兆庆 杨香春

(中国科学院上海光机所激光技术实验室, 201800)

## Investigation on colliding pulse mode-locking of (Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG laser

Zhu Xiaolei, Sun Zhanao, Wu Zhaoqing, Yang Xiangchun

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** In this paper, we present the results of colliding pulse mode-locking of (Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG laser using an antiresonant ring in the unstable resonator. Using a (Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG laser crystal of  $\phi 3 \times 40$  mm in size and the pentanethine cyanine in 1, 2-dichloroethane, 3.2mJ output energy with 9ps pulse width has been obtained.

**Key words:** colliding mode-locking, (Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG

### 一、引 言

新晶体双掺(Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG 是一种具有高转换效率的激光增益介质<sup>[1]</sup>, 它利用 Ce<sup>3+</sup>-Nd<sup>3+</sup> 的敏化途径提高激光效率。晶体中的 Ce<sup>3+</sup> 离子通过辐射和非辐射二种方式向 Nd<sup>3+</sup> 转移能量, 提高 Nd<sup>3+</sup> 的激光发射强度, 因而使晶体能有效地提高泵浦光的转换效率, 降低阈值输入能量。这种晶体的激光物理参数, 基本上与 Nd:YAG 晶体相一致。

为了实现小尺寸双掺(Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG 晶体的被动脉冲锁模, 我们选用带抗共振环的杂化非稳腔结构, 以增强锁模过程的“自起动”能力和横模鉴别能力, 实现快锁模, 有效地提高输出脉冲能量, 减少锁模脉冲序列包络内的脉冲个数, 等效地增大锁模脉冲的峰值功率。尽管非稳腔结构会引入较大的腔损耗, 不利于小尺寸增益介质的起振, 但由于腔结构中的抗共振环在锁模发展过程中会演变成一个相位共轭镜从而使腔转变成恒稳腔<sup>[2]</sup>, 大大降低了腔损耗, 可以很好地实现(Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG 晶体的被动脉冲锁模。

### 二、实验装置及结果

图 1 为实验装置, 双掺(Ce<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>):YAG 晶体尺寸为  $\phi 3 \times 40$  mm, 端面镀 1.064  $\mu$ m 增透膜, 用一支尺寸为  $\phi 3 \times 50$  mm 的脉冲氙灯泵浦, 几何腔长  $L=820$  mm, 凸面全反镜曲率半径  $r=-4$  m, 锁模染料用五甲川-二氯乙烷溶液, 石英染料池厚 2 mm, 腔输出耦合率为 10%。

为了研究锁模稳定性, 我们用存储示波器监测锁模脉冲序列波形。当锁模染料五甲川

-1, 2 二氯乙烷溶液的初始小信号透过率为 10~20% 时, 锁模脉冲序列波形相对比较稳定, 锁模成功率达 100%。取初始透过率  $T_0 \approx 10\%$ , 实验系统达到锁模振荡所需的阈值泵浦输入能量为 15J。当泵浦输入能量为 19J 时, 获得稳定的锁模脉冲输出, 脉冲序列平均能量达 3.2mJ, 脉冲序列包络中只出现 5 个脉冲。适当地增大染料的初始透过率  $T_0$  值, 可以使  $(\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+})$ :YAG CPM 激光器的阈值泵浦输入能量小于 10J。

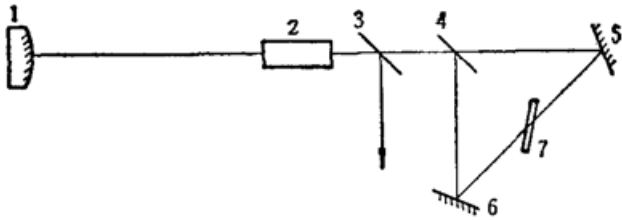


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

1—HR,  $r = -4\text{m}$ ; 2—rod; 3—output mirror; 4—50/50 beam splitter; 5, 6—HR mirrors; 7—dye cell

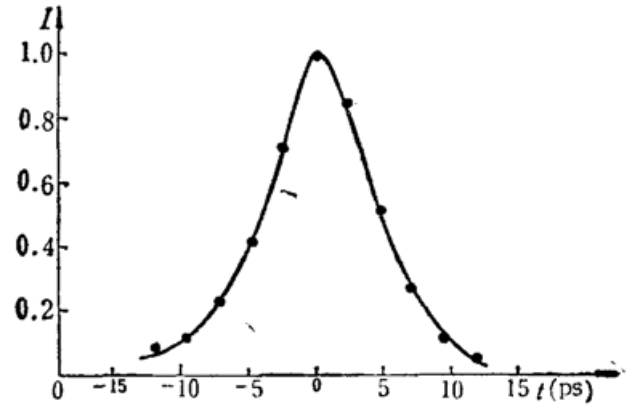


Fig. 2 Curve of the auto-correlation function of noncollinear SHG

图 2 是对上述实验条件下, 用非共线二次谐波强度-延时相关法测得的二次谐波相关曲线, 通过分析计算, 我们得到锁模脉冲的平均脉宽为  $\sim 9\text{ps}$ , 达到了锁模染料五甲川弛豫时间限。

### 三、讨 论

对撞脉冲锁模理论认为<sup>[8]</sup>, 腔内光强  $I_0$  与锁模染料的饱和光强  $I_s$  相近时, 初始锁模脉冲宽的单程压缩效果最佳。由于实验选用的  $(\text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+})$ :YAG 晶体尺寸小, 其单程增益  $(g_0 l_0)$  相对较小, 为了便于锁模起振和脉宽快压缩, 我们选取较小的腔耦合输出, 使得腔内有较合适的  $I_0$ , 并允许锁模染料的初始透过率  $T_0$  值取较小值, 以增强脉冲碰撞过程激发的非线性作用, 有效地形成相位共轭腔。锁模染料中强的近简并四波混频作用过程, 对每一个振荡纵模都能快速激发耦合边频纵模, 并得到有效放大, 产生谱展宽效应<sup>[2]</sup>。此外, 可饱和吸收体粒子数分布“瞬态布居光栅”的形成, 激发了很强的“吸收饱和”调制效应, 产生相位调制作用。此时引起快锁模、快压缩现象的主要机制已转变为由碰撞激发的强近简并四波混频作用和“瞬态布居光栅”的相位调制作用, 吸收体的吸收压缩只占次要地位, 结果使得锁模脉冲宽度能快速达到染料的弛豫时间限。当我们改变  $T_0$  使之有较大数值时, 锁模脉冲的稳定性变差。我们认为这是由于腔内  $I_0$  减小, 碰撞过程激发的非线性效应减弱造成的, 因为锁模染料的三阶非线性极化强度  $P^{(3)}$  随电场的增强而增大<sup>[4]</sup>。我们认为, 在一定的染料池厚度条件下, 适当地提高锁模染料的浓度, 有利于形成稳定的对撞脉冲锁模。

### 参 考 文 献

- 1 张思远 *et al.*, 中国激光, 17, 197 (1990)
- 2 孙占鳌 *et al.*, 光学学报, 11(6), 487 (1991)

3 M. I. Demchuk *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, 20(2), 174(1990).

4 沈元壤, 非线性光学原理, 上册, 科学出版社 1987, 271

(收稿日期: 1991 年 8 月 21 日)

## 金霉素链霉菌 (*S. aureofaciens*) 激光高产株的选育

吴振倡 郭红缨

(浙江省微生物研究所, 杭州 310012)

王凤仙

(浙江省医学科学院药物所, 杭州)

陈守川 戴春泉 游向东 石宝驹

(浙江大学, 杭州 310027)

白 骅 陈建华 陶正利

(浙江海门制药厂)

### Selection of laser-high-producing strain in streptomyces aureofaciens

*Wu Zhenchang*

(Zhejiang Institute of Microbiology, Tianmushan Road, Hangzhou)

*Wang Fengxian, Guo Hongying*

(Institute of Medicine, Zhejiang Academy of Medical Sciences, Hangzhou)

*Chen Shouchuan, Dai Chunquan, You Xiangdong, Shi Baoju*

(Zhejiang University, Hangzhou)

*Bai Hua, Chen Jianhua, Tao Zhengli*

(Haimen Pharmaceutical Plant, Haimen)

**Abstract:** The study of irradiation in streptomyces aureofaciens with copper vapor laser is reported. High yield strain with laser breeding of *S. aureofaciens* is also obtained, which increases the unit of fermentation by about 12% than that of control group.

**Key words:** streptomyces aureofaciens, laser irradiation, copper vapor laser

作者曾应用铜蒸气激光辐照棘孢小单孢菌 (*M. echinospora*), 获得高产株<sup>[1]</sup>。随后在龟裂链霉菌 (*S. rimosus*) 激光辐照研究中<sup>[2]</sup>及谷氨酸产生菌 (*Corynebacterium orenatum*) 激光育种合作研究中<sup>[3]</sup>, 得到高产株, 曾在国内应用。本文报道铜蒸气激光辐照金霉素链霉菌 (*S. aureofaciens*) 的研究结果。

### 材料与方 法

1. 出发菌株: 金霉素链霉菌 (*S. aureofaciens*) H<sub>-1</sub>。
2. 培养基: 斜面培养基——麸皮 5.0%, 琼脂 2.0%; 平板培养基——可溶性淀粉 2.0%, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.25%, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.025%, MgSO<sub>4</sub> 0.025%, 琼脂 2.0%, pH 自然; 种子培