

以多掺杂 YAG 为调 Q 元件的主被动锁模激光器

陈有明 唐贵琛 裘佩霞 桂尤喜 姚广涛

(中国科学院上海光机所) (华北光电技术研究所)

提要: 报道一种新型主被动锁模激光器, 它的饱和吸收体是一种新型多掺杂 YAG 晶体。以 C 轴 YLF 为工作物质时, 得到的输出序列脉冲的平均能量为 5.64 mJ, 能量起伏小于 $\pm 5\%$, 所占几率为 96.9%, 脉冲半宽平均为 1.45 ns; 以 Nd:YAG 为工作物质时, 输出序列脉冲能量平均为 6.79 mJ, 能量起伏小于 $\pm 4\%$, 所占几率为 96%, 脉冲半宽平均为 270 ps。

Active-passive mode-locked laser using multi-compound doped YAG as Q-switch

Chen Youming, Tang Guishen, Qiu Peixia

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

Gui Youxi, Yao Guangtao

(North-China Institute of Optics and Electronics Technology, Beijing)

Abstract: A novel crystal—multi-compound doped YAG, is used for active-passive modelocking and Q-switching. For a C-axis Nd: YLF laser, the average energy of the pulse train is 5.64 mJ, the energy fluctuation is less than $\pm 5\%$ with a probability of 96.9% and the average pulse width is 1.45 ns when Nd: YAG is used as laser medium, the average energy of the pulse train is 6.79 mJ, the fluctuation is less than $\pm 4\%$ with a probability of 96% and an average pulse width (FWHM), is 270 ps.

一、序 言

以往的主被动锁模激光器, 被动元件大多采用具有非线性饱和吸收特性的染料溶液。为克服染料的瞬时热畸变, 大都采用循环染料系统^[1], 这给器件总体又增加了不少额外部件。染料在较长时间运转后, 由于长期强激光辐射和氙灯的紫外光照射, 会破坏长链分子, 引起染料分解, 从而影响了器件正常运

转, 要维持正常运转还需定期更换染料。为了解决这些问题, 我们对多掺 YAG 晶体进行了分析和研究, 得到了一些有价值的结果。

二、多掺晶体的特性及分析

多掺 YAG 晶体与一般 YAG 晶体最大的不同处是它在近红外波段有一吸收带^[2], 吸收几率与入射光强呈非线性关系。在此我

收稿日期: 1986年8月16日。

们用简化二能级系统模型, 简单分析该晶体的调 Q 锁模特性。

晶体对频率为 ν 的光波, 吸收几率随时间和入射激光辐射密度的变化方程^[3]。

$$\sigma(\nu) = \frac{h\nu}{C} B_{12}(\nu) \times \frac{\sigma_0 + [B_{12}(\nu) + B_{21}(\nu)] u e^{-\nu t}}{P} \quad (1)$$

式中

$$P = \sigma_s + [B_{12}(\nu) + B_{21}(\nu)] u \quad (2)$$

$B_{12}(\nu)$ 、 $B_{21}(\nu)$ 分别为相应频率的爱因斯坦感应吸收和发射系数, u 为激光辐射能量, σ_s 为自发辐射几率。初始 $t=0$ 时, 由(1)可知:

$$\sigma_0(\nu) = \frac{h\nu}{C} B_{12} \quad (3)$$

$$T(\nu) = e^{-[N\sigma(\nu)l]} \quad (4)$$

$T(\nu)$ 为多掺晶体透过率; N 为单位体积染料总分子数; l 为晶体长度。

由爱因斯坦系数的基本关系式, 可将(2)式变为:

$$P = \left[1 + 2 \frac{\pi C^3}{h\omega^3} u \right] \sigma_s t \quad (5)$$

从(1)、(5)两式可知, 当脉冲持续时间远短于分子的弛豫速率, 即 $\sigma_s t \ll 1$ 时, 吸收几率 $\sigma(\nu)$ 并无明显增加。只要增益线宽 $\Delta\omega_{\text{增益}} \gg \sigma_s$, 则脉冲的所有光谱成份均可被激光工作物质放大, 此时脉宽趋于某值 $t \sim \sigma_s^{-1}$ ^[4], 获得较短的锁模脉冲。

由文献 [2] 知, 多掺晶体的吸收带为 $0.93 \sim 1.35 \mu\text{m}$, 吸收峰为 $1.01 \sim 1.045 \mu\text{m}$, 带宽 35 nm , C 轴 YLF 和 Nd: YAG 的激光波长分别为 $1.053 \mu\text{m}$ 和 $1.064 \mu\text{m}$, 与多掺晶体的吸收基本接近。Nd: YAG 的荧光谱线宽度为 6 cm^{-1} , C 轴 YLF 的荧光谱线宽度为 12 cm^{-1} ^[5], 二者均远小于多掺 YAG 晶体的吸收线宽。如果晶体的恢复时间小于脉冲在腔内的往返周期, 则该晶体是可以用于被动锁模的。

为了消除“尖峰”脉冲无规竞争对锁模的影响, 在腔内加上一个声光锁模调制器。由

于声光调制器时间窗口的存在, 使在时间窗口之外的噪声脉冲被抑制, 从而可获得较为稳定的锁模脉冲序列。

三、实验装置

实验装置如图 1 所示。 R_1 为工作物质 (C 轴 YLF [$\phi 6 \times 80 \text{ mm}$] 和 Nd: YAG [$\phi 6 \times 60 \text{ mm}$])。其中 Nd: YAG 光学质量较好, 一端面磨斜 2° , 而 C 轴 YLF 光学质量较差, 且端面与棒轴垂直。 C 轴 YLF 和 Nd: YAG 所对应的腔长分别为 1.255 m 和 1.259 m ; M_1 为 $T=53\%$, $r=\infty$ 的输出腔镜; M_2 为 $r=5 \text{ m}$ 全反凹面镜; L 为 $\phi 2.00 \text{ mm}$ 的小孔光阑; R_2 为多掺 YAG 晶体 ($\phi 5 \times 70.5 \text{ mm}$), 透过率 ($1.06 \mu\text{m}$) 为 $T=41\%$; M 为声光调制器, 其调制频率为 58.59 MHz , 衍射效率高达 60% ($\lambda=514.5 \text{ nm}$)。用强流管接收光信号, 用快速示波器观察波形, 用条纹相机测量脉冲宽度, 用具有峰值保持功能的 PT-1 型激光能量计测量输出能量。

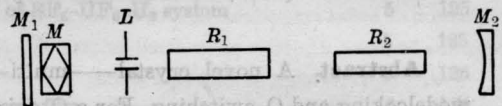


图 1 实验装置图

四、锁模实验

1. 以 C 轴 YLF 为工作物质

(1) 纯被动锁模实验

在上述实验条件下, 对器件精调以后, 可以获得光滑的调 Q 脉冲, 很难得到锁模的脉冲序列, 包络线光滑的几率高达 90% 以上。图 2 即为实验所摄得的光滑调 Q 波形。调 Q 脉冲半极大全宽度为 75 ns , 输出能量为 5.57 mJ 。

(2) 主被动锁模实验

驱动声光调制器, 精心调节腔长可获得

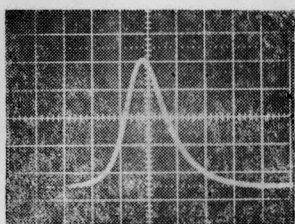


图2 多掺YAG调Q波形
[C轴YLF, 50ns/div, 0.5V/div]

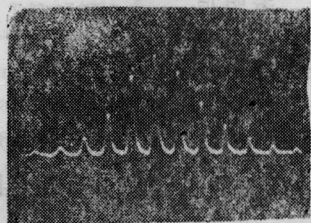


图3 多掺YAG主被动锁模波形
[C轴YLF, 20ns/div, 0.5V/div]

较好的锁模脉冲序列,其形状如图3所示,脉冲序列包络的半极大全宽度为65ns。由条纹相机测得单一脉冲的宽度平均为1.45ns,脉宽起伏小于±15%的只占55.6%,脉冲形状光滑的占70%,不光滑的占30%,如图

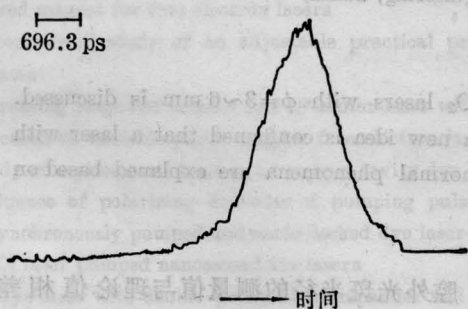


图4 条纹相机扫描所得光滑脉冲波形
[工作物质C轴YLF]

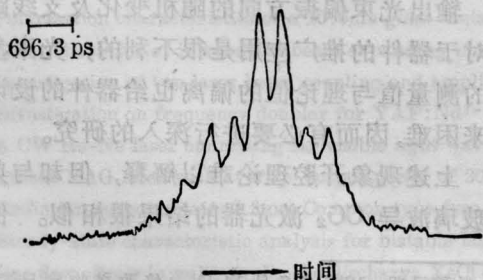


图5 条纹相机扫描所得多峰结构脉冲波形
[C轴YLF]

4、5所示。测得主被动锁模能量平均值为6.09mJ。

2. 以Nd:YAG为工作物质

(1) 纯被动锁模实验

用Nd:YAG棒取代C轴YLF棒,相应调整腔长,此时的纯被动锁模结果与以C轴YLF为工作物质的有所不同。实验观察到的波形几乎无一光滑的调Q波形,有时还会出现脉冲序列,见图6、7所示。同时,我们也观察了一下器件自由运转的情况,发现输出的激光波形几乎百分之百的出现自锁,见图8所示。而C轴YLF激光器自由运转时,几乎观察不到自锁现象。

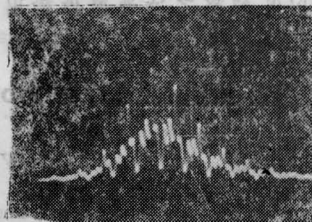


图6 多掺YAG调Q波形a
[Nd:YAG, 0.5V/div, 10ns/div]

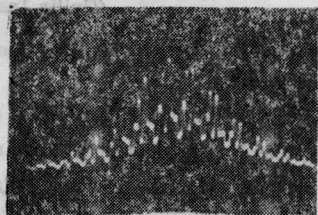


图7 多掺YAG调Q波形b
[Nd:YAG, 0.5V/div, 10ns/div]

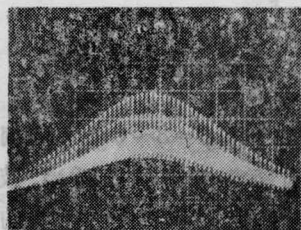


图8 Nd:YAG自锁模波形
[0.5V/div, 50ns/div]

(2) 主被动锁模实验

驱动声光调制器,可获得图9所示的主被动锁模波形,该波形包络的半极大全宽度(下转第717页)