

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0139-03

Cr⁴⁺:YAG 晶体作为可饱和吸收体用于主-被动锁模的 Nd:YAG 激光器

冷雨欣 陆海鹤 林礼煌 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要 Cr⁴⁺:YAG 晶体作为可饱和吸收体用于主-被动锁模的 Nd:YAG 激光器中, 获得了稳定和完全的 1064nm 锁模脉冲列。更换具有不同初始透过率的 Cr⁴⁺:YAG 晶体, 获得了从 0.8 ns 到 2.4 ns 宽的单个锁模脉冲。对于使用不同初始透过率的 Cr⁴⁺:YAG 晶体, 存在一个合适的初始透过率, 使得脉冲宽度最短。考虑激发态的吸收, 利用速率方程分析了锁模的动力学过程, 解释了实验结果。

关键词 Cr⁴⁺:YAG 晶体, 主-被动锁模, 激发态吸收

中图分类号 TN248.1⁺3 **文献标识码** A

Cr⁴⁺:YAG Crystal Used as Saturable Absorber in Active-passive Mode-Locking Nd:YAG Laser

LENG Yu-xin LU Hai-he LIN Li-huang XU Zhi-zhan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Cr⁴⁺:YAG crystal was used as a saturable absorber in an active-passive mode-locked Nd:YAG laser. The stable and complete mode-locked pulse train was achieved at 1064 nm. The duration of a single pulse from ~0.8 ns to 2.4 ns was obtained by using Cr⁴⁺:YAG crystals with the different initial transmissions, and there was a shortest pulse width. The mode-locking dynamic process of Cr⁴⁺:YAG crystal was discussed to explain the experimental result, and the effect of excited-state absorption was considered.

Key words Cr⁴⁺:YAG, active-passive mode-locking, excited-state absorption

Cr⁴⁺:YAG 晶体作为可饱和吸收体已经被广泛地用作 Nd:YAG 激光器中的 Q 开关, 产生调 Q 脉冲。同时 Cr⁴⁺:YAG 晶体也是一种优良的激光晶体, 可以产生光谱范围在 1340 nm 到 1580 nm 的飞秒激光脉冲。最近, 利用 Cr⁴⁺:YAG 晶体在 1064 nm 附近的激发态吸收和激发态上能级的短寿命, 可能对 Nd:YAG 激光器进行锁模^[1]。由于 Cr⁴⁺:YAG 晶体的激发态饱和和吸收需要的光强和晶体初始透过率的限制, 利用 Cr⁴⁺:YAG 晶体的被动锁模不太稳定, 而且锁模脉冲的宽度难以通过更换不同初始透过率的晶体控制^[2]。

我们报道了在主-被动锁模的 Nd:YAG 激光器中, 利用 Cr⁴⁺:YAG 晶体作为可饱和吸收体, 获得了稳定和完全的锁模脉冲列。实验表明, 用具有不同初始透过率的 Cr⁴⁺:YAG 晶体, 可以获得不同宽度的锁模脉冲。其中存在一个合适的初始透过率使

得锁模脉冲宽度最短。通过速率方程的计算, 分析了 Cr⁴⁺:YAG 晶体的激发态吸收和 Q 开关的影响, 也发现存在一个初始透过率可以获得最佳的锁模效果, 验证了实验的结果。在实验中得到的不同宽度的纳秒主-被动锁模脉冲得到了解释, 并且和较宽的主动锁模脉冲和调 Q 脉冲进行了比较。

根据 Cr⁴⁺:YAG 晶体的能级图, 通过速率方程, 可以获得晶体初始透过率 T_0 和激发态饱和吸收光强 I_0 的关系[图 1(a)]:

$$T_0 = \exp[\sigma_g/\sigma_e(1 - I_0/I_{s0} - \ln I_0/I_{s0})] \quad (1)$$

以及晶体初始透过率 T_0 和可饱和吸收体的调制 $T-T_0$ 间的关系 [图 1(b)]:

$$T - T_0 = T_0 \exp[(1 - T)I\sigma_g/I_{s0}\sigma_e] \times \left(\frac{1 + TI\tau_1/I_{s0}\tau_3}{1 + I\tau_1/I_{s0}\tau_3} \right)^{1-\sigma_g/\sigma_e} - T_0 \quad (2)$$

这里 $I_{s0} = h\nu/\sigma_e\tau_3$ 是 Cr⁴⁺:YAG 晶体的激发态饱和

吸收的光强。目前不同报道中的晶体参数各不相同, 根据我们使用的 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体参数, $I_{s0} =$

261 MW/cm^2 。

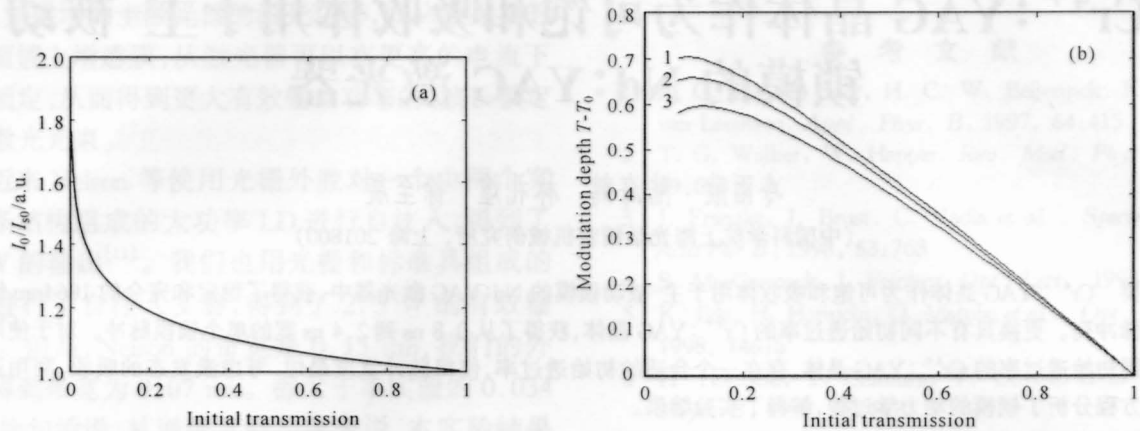


图 1 (a) 晶体初始透过率 T_0 与激发态饱和吸收光强 I_0 的关系; (b) 晶体初始透过率 T_0 与可饱和吸收体的调制 $T - T_0$ 间的关系

Fig.1 (a) Saturable intensity I_0 of the crystal is changed with the initial transmission T_0 for $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ crystal; (b) Modulation $T - T_0$ of the saturable absorber is changed with the different initial transmission T_0 of $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ crystal.

The incident intensity $I_0 = 1.5I_{s0}$ (1), I_{s0} (2) and $0.5I_{s0}$ (3)

从图 1 中可见, 晶体初始透过率越小, 晶体激发态饱和吸收需要的光强就越大, 因此产生被动锁模需要的光强也越大。当晶体初始透过率比较大时, 作为可饱和吸收体的透过率调制也比较小, 因此锁模效应也比较小。晶体初始透过率在 0.1 附近, 可以获得比较大的调制, 可以获得较好的锁模效应。

2.4 ns 的不同宽度的主-被动锁模脉冲列 (图 2)。当采用初始透过率 $T = 36.3\%$ 的 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体时, 获得了最短, 最稳定的锁模脉冲列。

实验中, 直接将 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体和声光调制器插入 $\text{Nd} : \text{YAG}$ 激光腔中。声光调制器工作在 50 MHz。激光器腔长 $\sim 1500 \text{ mm}$ 。在实验中, 更换不同初始透过率的 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体时, 微调激光器腔长, 使其和声光调制器工作频率匹配。随着 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体初始透过率的改变, 获得了从 0.8 ns 到

从图 2 中可见, 随着晶体初始透过率 T_0 的减小, 晶体激发态饱和吸收需要的人射光强相应增大, 而激光器振荡的阈值相应增加。因此难以获得激发态饱和吸收, 晶体的调 Q 影响增加。锁模效应主要来自主动锁模, 使得锁模脉冲宽度增加。而随着晶体初始透过率 T_0 的增加, 晶体激发态饱和吸收需要的人射光强减小。但是作为饱和吸收体, 调制的幅度相应减小, 导致锁模脉冲宽度增加, 同时锁模的

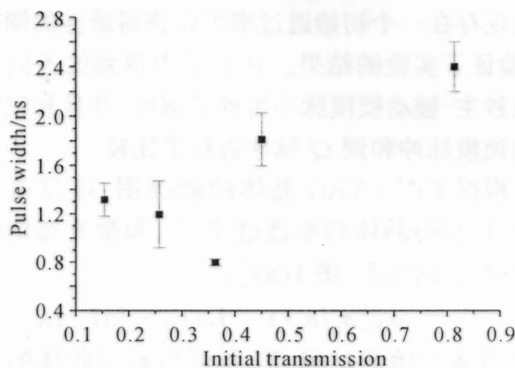


图 2 主-被动锁模脉冲宽度 (FWHM) 与 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体初始透过率 T_0 的关系

Fig.2 Relation between the active-passive mode-locking pulse width (FWHM) and the initial transmission T_0 of $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ crystal

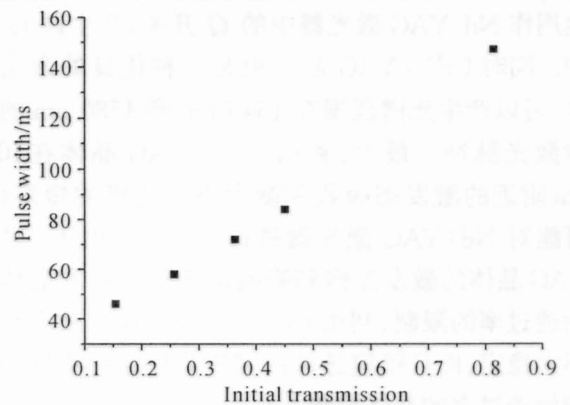


图 3 调 Q 脉冲宽度 (FWHM) 与 $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ 晶体初始透过率 T_0 的关系

Fig.3 Relation between the Q pulse width (FWHM) without the AOM working and the initial transmission T_0 of $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ crystal

