

1.34 μm Nd:YAP 激光器的被动锁模

薛绍林 杨香春 叶霖 朱小磊 孙占鳌 吴兆庆

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

演示了氙灯泵浦的 Nd:YAP 激光器在波长 1.34 μm 处的被动锁模, 利用染料 BDN-3e 溶于二甲亚砜作为可饱和吸收体, 获得了波长为 1.34 μm 的被动锁模脉冲序列输出. 锁模脉冲序列的总能量达到 2.2 mJ, 每个脉冲的平均脉宽为 120 ps.

关键词 1.34 μm 锁模, BDN-3e, 二甲亚砜.

1 引 言

众所周知, 1.3 μm 波段的激光锁模是一个比较困难的工作, 主要原因是: (1) Nd:YAP, Nd:YAG, Nd:YLF, Nd:BEL 等晶体在该波段增益较小, 在做锁模实验时, 很难抑制 1.0 μm 波段激光的竞争; (2) 缺少适合该波段激光被动锁模的可饱和吸收体, 由于吸收截面, 弛豫时间和光化学稳定性等方面的原因, 使得现有的染料很难成为该波段激光的理想被动锁模材料. Stankov *et al.* [1,2] 利用二次谐波非线性镜代替染料, 实现了波长 1.34 μm 的 Nd:YAP 激光器的被动锁模, 但得到的锁模脉冲序列很长, 就好象稀染料锁模一样, 这可能是非线性镜非线性作用不够大的原因. 据知, 利用染料作为可饱和吸收体, 实现氙灯泵浦的 Nd:YAP 激光器在波长 1.34 μm 处的被动锁模还未见报道, 而在这一波段的超短脉冲是非常具有实际意义的, 例如, 它可以作为大功率碘激光系统的种子脉冲, 在研究激光核聚变中有重要应用; 它也可以广泛应用于光纤研究中.

Shen *et al.* [3] 测量了 Nd:YAP 中的 Nd 离子的 ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{13/2}$ 跃迁(对应的波长是 1.34 μm) 截面为 $2.2 \times 10^{-19} \text{cm}^2$, 它比 Nd:YAG, Nd:YLF 和 Nd:BEL 等晶体在同一波段的跃迁截面大 2.4 倍以上[4], 这说明 Nd:YAP 是一种优良的 1.3 μm 波段的激光晶体, 另外 Nd:YAP 晶体具有很宽的增益带宽, 因此在反射上具有高度非线性和在波长 1.34 μm 处跃迁的低增益(相对于 1.079 μm 波长), 这对锁模脉冲序列发展和脉冲宽度的压缩提供了较长的时间. 本实验实现了氙灯泵浦 Nd:YAP 激光器在波长 1.34 μm 处的被动锁模, 用 BDN-3e 作为染料, BDN-3e 的分子式是 $\text{C}_{44}\text{H}_{56}\text{N}_4\text{S}_4\text{Ni}$, 化学名称是二[1,2-二(N,N-二乙氨基苯基)二硫双烯]合镍, 是华东化工学院最新研制成的 1.3 μm 波段的激光染料. 用二甲亚砜作为溶剂, 结果获得良好的锁模, 锁模脉冲序列的总能量达到 2.2 mJ(此时静态输出为 15.3 mJ), 用非共线二次谐波-自相关法测得每个脉冲的平均脉宽是 120 ps.

2 实 验

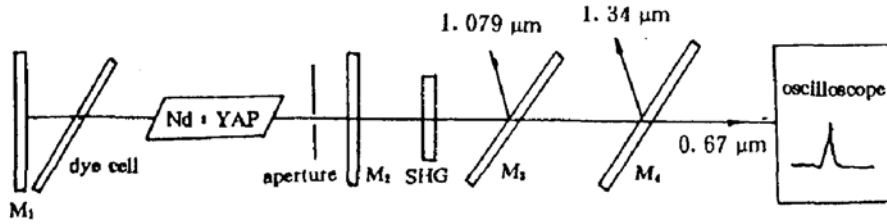


Fig. 1 Schematic of the mode-locked Nd:YAP laser system at 1.34 μm

实验装置如图 1. M_1 和 M_2 构成激光谐振腔, 腔长 1.2 m. 镜 M_1 对波长 1.34 μm 光全反, 对 1.079 μm 光的透过率为 100%; 镜 M_2 对 1.34 μm 光的透过率为 80%, 对 1.079 μm 的透过率为 50%; 氙灯泵浦的 Nd:YAP 棒的尺寸是 $\Phi 6.8 \times 80$ (mm × mm), 端面磨斜约 1.5 度未镀增透膜; 染料池厚度为 2 mm, 靠近腔镜 M_1 放置, 与光轴夹角约为 15°; M_3 是与光轴成 45 度放置的, 它对 1.079 μm 光全反, 作用是消除输出激光中微弱的 1.079 μm 光的成份, 以保证实验的准确性. 倍频晶体用 BBO 晶体, 作用是将基波 1.34 μm 激光倍频成 0.67 μm 的倍频光, 以便于示波器接收, 另外它也很容易判断腔中是 1.34 μm 激光振荡还是 1.079 μm 激光振荡, 因为 1.34 μm 光的倍频光 (0.67 μm) 是红光, 1.079 μm 光的倍频光 (0.5395 μm) 是绿光. M_4 是与光轴成 45° 放置的 1.34 μm 光的全反镜, 目的是消除倍频后的基波 (1.34 μm) 成份, M_4 后面是存储示波器, 用于观察锁模脉冲波形和拍摄照片.

Nd:YAP 可以发出 1.079 μm 和 1.34 μm 两种波长的激光, 根据文献[3], 它在波长 1.079 μm 处的受激发射截面约为 $4.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 大约是波长 1.34 μm 处的受激发射截面的 2 倍, 由此可见, 波长为 1.079 μm 的激光增益系数比波长 1.34 μm 处的增益系数大两倍多, 所以在做 1.34 μm 波长激光锁模时, 要抑制 1.079 μm 波长激光振荡, 为此, 在腔内所加的任何光学元件都要考虑有利于 1.34 μm 激光的产生和加大 1.079 μm 光的损耗, 甚至还要另加一些镜片来达到这一目的, 在实际实验中, 在腔中放了一块 22.5° 的 1.06 μm 的全反镜来实现的, 这块全反镜对 1.34 μm 的透过率大约是 93%.

对脉冲宽度, 利用非共线二次谐波—自相关方法测量.

3 实验结果

首先调试静态 1.34 μm 激光输出, 调节 Nd:YAP 棒的方向以及腔镜 M_1 和 M_2 , 使得激光器产生静态 1.34 μm 激光, 用能量计测量输出, 取十次测量结果平均, 结果是 15.3 mJ. 加入染料, 观察动态, 适当调节腔镜 M_1 , 不断改变染料浓度 (即改变透过率), 观察示波器, 发现当染料透过率 (对 1.34 μm) 为 63.8% 时, 就会出现锁模, 锁模成功率约为 50%, 提高染料浓度, 锁模成功率增加; 当染料透过率减少到 50% 时, 会出现良好锁模, 这时锁模成功率达到 100%, 锁模波形和输出能量都很稳定. 取锁模输出能量十次平均, 结果为 2.2 mJ. 另外, 还观察到随着染料浓度增加, 锁模脉冲序列所包络的脉冲个数减少. 染料透过率为 50% 时, 锁模波形如图 2.

利用非共线二次谐波—自相关方法测量脉宽. 在染料透过率为 50% 时, 测得脉冲的平均宽度为 120 ps. 自相关曲线如图 3.

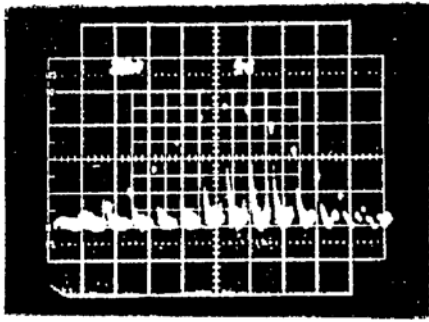


Fig. 2 Mode-locked pulse train of the Nd:YAP at 1.34 μm (dye transmissivity $T_0 = 50\%$, $V_m = 1100 \text{ V}$)

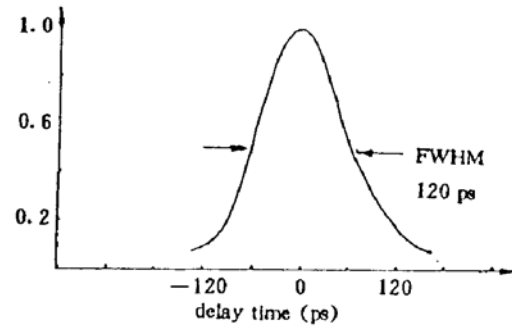


Fig. 3 The curve of autocorrelation at 1.34 μm (dye transmissivity $T_0 = 50\%$, $V_m = 1100 \text{ V}$)

4 总 结

本实验成功地实现了 Nd:YAP 在 1.34 μm 处可饱和染料被动锁模. 利用二甲亚砜作为溶剂有一定的缺点, 因为二甲亚砜的粘度系数很大, 染料不易溶解; 另外, 二甲亚砜具有很强的吸水性, H-OH 对红外激光有淬灭作用. 所有这些都不利于锁模. 但到目前为止, 还找不到更好的溶剂来代替.

本实验中所用的染料是华东化工学院最新研制成的. 我们在这里非常感谢染料的研制者陈翔凤同志和他的导师程铸生教授.

参 考 文 献

- [1] K. A. Stankov, A mirror with an intensity-dependent reflection coefficient. *Appl. Phys. (B)*, 1988, **B45**:191~195
- [2] K. A. Stankov, V. Kubecek, K. Hamal, Mode locking of a Nd:YAlO₃ laser at the 1.34 μm transition by a second-harmonic nonlinear mirror. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(7):505
- [3] H. Y. Shen, T. Q. Lian, R. R. Zheng, *et al.*, Measurement of the stimulated emission cross section for the ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{13/2}$ transition of Nd³⁺ in YAlO₃ crystal. *IEEE J. Q. E.*, 1989, **QE-24**(2):144
- [4] H. Y. Shen, R. R. Zheng, Y. P. Zhou *et al.*, Comparison of simultaneous multiple wavelength lasing in various neodymium host crystal at transitions from ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{13/2}$ and ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{13/2}$. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(20):1937

Passive mode-locking of a Nd:YAP laser at 1.34 μm

XUE Shaoling YANG Xiangchun YE Ling
ZHU Xiaolei SUN Zhanao WU Zhaoqing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 24 November 1992)

Abstract

The passive mode-locking of a Nd:YAP laser at 1.34 μm has been demonstrated. By using BDN-3e dissolved in Dimethyl Sulfoxide good mode-locked pulse-train has been obtained. The total energy of the pulse-train reached 2.2 mJ and 15.3 mJ for free state. The average pulse-duration was 120 ps.

Key Words Nd:YAP mode-locking at 1.34 μm , BDN-3e, dimethyl sulfoxide.