

NYAB 晶体锁模激光特性

王青圃 张行愚 赵圣之 刘 华

(山东大学光学系, 济南 250100)

陆宝生 潘恒福

(山东大学晶体所, 济南 250100)

自激活自信频复合功能晶体四硼酸铝钕钇($\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$, 简称 NYAB)自诞生以来就以其高增益低阈值、大非线性系数和稳定的物理化学性能受到人们的特别关注^[1]. 在用染料激光器泵浦实现了由 $1.06\ \mu\text{m}$ 到 $0.5\ \mu\text{m}$ 激光自倍频转换后^[2], 人们又先后用二极管泵浦实现了连续运转, 用氙灯泵浦实现了自由运转^[3]. 我们用氙灯泵浦实现了调 Q 运转之后^[4], 本文报道用 BDM 染料的碘乙烷溶液首次实现了 NYAB 晶体的被动锁模的激光特性, 并讨论了实现 NYAB 晶体全固体无染料锁模的可能性.

实验中采用平凹腔, 腔长 $1\ \text{m}$. 后腔镜曲率半径 $3\ \text{m}$, 并镀制对 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $0.53\ \mu\text{m}$ 高反的介质膜. BDM 染料的碘乙烷溶液的染料合与后腔镜为一体, 染料层厚度为 $1\ \text{mm}$, 初始透过率为 55% , 所用 NYAB 晶体尺寸为 $\phi 3 \times 12\ \text{mm}$, 氙灯泵浦. NYAB 晶体与后腔镜之间有一直径为 $2\ \text{mm}$ 的光阑, 以限制横模和防止氙灯对染料的损伤. 当输出端平面镜选用对基波高反对谐波高透的腔镜时, (记为 $1^{\#}$ 镜) 得到 $0.53\ \mu\text{m}$ 超短激光脉冲串. 当输出镜选用对基频波长反射率为 60% , 对倍频波高透时 ($2^{\#}$ 镜) 激光器输出 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $0.53\ \mu\text{m}$ 双波长超短脉冲串.

用 MRD 500 硅光电二极管接收光脉冲串后由 Tek 466 存贮示波器进行显示. 图 1、图 2 分别给出了 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $0.53\ \mu\text{m}$ 光脉冲串的锁模波形.



Fig. 1 Pulse train of $1.06\ \mu\text{m}$ light

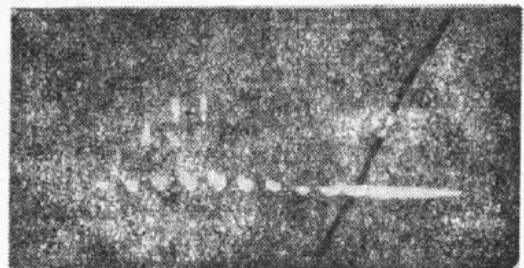


Fig. 2 The Pulse train of $0.53\ \mu\text{m}$ light

将 $1.06\ \mu\text{m}$ 光脉冲串经过放大后用非共线二次谐波法测量其脉冲宽度, 图 3 给出了 $1.06\ \mu\text{m}$ 光脉冲的自相关函数. 将脉冲做高斯近似, 则得其脉宽为 $310\ \text{ps}$. 因为 $0.53\ \mu\text{m}$ 光脉冲是 $1.06\ \mu\text{m}$ 光脉冲经晶体 NYAB 自倍频所得, 所以窄于 $310\ \text{ps}$. 若粗略认为 $0.53\ \mu\text{m}$ 光脉冲形状为 $1.06\ \mu\text{m}$ 光脉冲形状的正平方, 则 $0.53\ \mu\text{m}$ 光脉冲的宽度约为 $(310/\sqrt{2}) \approx 220\ \text{ps}$. 如果适当增大腔长选用不同的染料和溶剂, 可使锁模脉冲宽度进一步压缩.

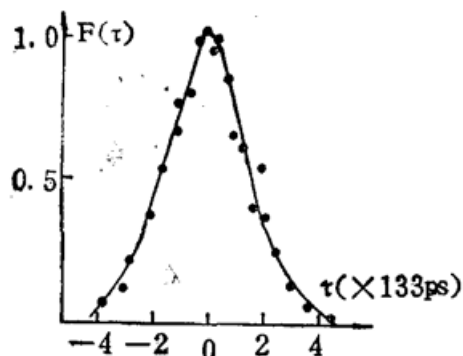


Fig. 3 The auto-correlation function of $1.06 \mu\text{m}$ pulse

Table 1 The characteristics of NPAB mode-locked laser emission

output mirror	$\bar{E}_{1.06\mu\text{m}}$ (m)	$\bar{E}_{0.53\mu\text{m}}$ (m)	$\frac{\Delta E_{1.06\mu\text{m}}}{E_{1.06\mu\text{m}}}$	$\frac{\Delta E_{0.53\mu\text{m}}}{E_{0.53\mu\text{m}}}$	$\alpha_{1.06\mu\text{m}}$ (m rad)	$\alpha_{0.53\mu\text{m}}$ (m rad)
1	0	0.22	/	5%		0.7
2	5.0	0.15	4%	6%	0.6	0.7

NYAB 晶体锁模的其他性质如脉冲串能量 $\bar{E}_{1.06 \mu\text{m}}$, $\bar{E}_{0.53 \mu\text{m}}$ 能量稳定性, 发散角 $\alpha_{1.06 \mu\text{m}}$, $\alpha_{0.53 \mu\text{m}}$ 等参数由表 1 给出. 其中能量稳定性由

$$(\Delta E/E) = \left[\sum_{i=1}^n |E_i - \bar{E}| \right] / n\bar{E}$$

来表征. 式中 $n=100$, 为测量次数.

由图 1、图 2 可以看出, 一串 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲的个数多于一串 $0.53 \mu\text{m}$ 光脉冲的个数, 这是因为 $0.53 \mu\text{m}$ 光脉冲是由 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲经 NYAB 晶体自倍频得来. 而脉冲强度越大, 倍频效率越高. $1.06 \mu\text{m}$ 脉冲串中只有中部较强脉冲才可能产生较强的绿光脉冲, 使得一串 $0.53 \mu\text{m}$ 光脉冲个数, 少于 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲个数.

当染料的初始透过率为 55% 时, 获得较好的锁模输出, 当染料浓度变小时, 达不到完全锁模, 当染料浓度增大时, 锁模效果也不好. 这是因为, 一方面 NYAB 晶体集激活与倍频于一身, 且 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲强度越大, 倍频光越强, 对 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲的损耗也越大, 这就限制了 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲的峰值功率不能太高; 而另一方面, 染料浓度加大后就需要更高的 $1.06 \mu\text{m}$ 光脉冲峰值功率才能将染料漂白, 以上两个方面问题相互制约, 使得染料浓度太大时锁模效果不好.

参 考 文 献

- [1] Heng-fu Pan, Ming-guo Liu, Jing Xue *et al.*, The spectra and sensitisation of laser self-frequency-doubling $\text{Nd}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}(\text{BO}_3)_4$ crystal. *J. Phys: Condens Matter*, 1990, **2**: 4525~4530
- [2] Bao-sheng Lu, Jun Wang, Heng-fu Pan *et al.*, Laser self-doubling in neodymium yttrium aluminum borate. *J. Appl. Phys.*, 1989, **65** (12): 6052~6054
- [3] Luo Zundu, Jiang Aidong, Huang Yichuan *et al.*, Xenon flash lamp pumped self-frequency doubling NYAB pulsed laser. *Chinese Phys. Lett.*, 1989, **6** (10): 440~443
- [4] 王青圃, 赵圣之, 张行愚等. 氙灯泵浦的 NYAB 晶体调 Q 激光理论和实验研究. *光学学报*, 1992, **12** (11): 969~974