

## 用高破坏阈值半导体可饱和吸收镜进行 Yb:YAB 激光器锁模的研究\*

掺 Yb<sup>3+</sup> 介质作为 1 μm 波段全固态超短激光脉冲发射最有前途的激光介质受到普遍关注。与掺 Nd<sup>3+</sup> 介质相比它具有更宽的发射谱线,因此更容易实现 1 μm 附近宽调谐激光运转以及超短脉冲的产生;而它的吸收波长与 InGaAs 二极管激光器相匹配,可用于研制紧凑廉价的半导体激光抽运全固态激光器。此外,掺 Yb<sup>3+</sup> 介质能级结构简单,避免了激发态吸收、浓度猝灭和上转换等不必要的激光损耗。当然,掺 Yb<sup>3+</sup> 介质也有一定的缺点,例如其上能级寿命比较长,在利用半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 被动锁模时很容易产生调 Q 或者调 Q 锁模。

由山东大学研制的 Yb:YAB 晶体除了具有以上掺 Yb<sup>3+</sup> 介质的普遍优点外,还有相当大的二阶非线性系数 ( $d_{\text{eff}} > 1.4 \text{ pm/V}$ )<sup>[1,2]</sup>。Yb:YAB 晶体的荧光发射带宽为 20 nm (中心波长为 1040 nm),不仅能够在红外激光范围内实现小型化的连续 (CW) 或调 Q 激光器,而且能够有效地进行自倍频<sup>[3]</sup>,从而得到可见绿光的超短脉冲输出。

我们曾经报道了半导体可饱和吸收镜锁模 Yb:YAB 激光器的试验结果,同时得到了连续锁模的基频光和倍频光<sup>[4]</sup>。但是由于半导体可饱和吸收镜在抽运功率升高时,很容易被打坏,不能得到长时间的被动锁模,从而给实验带来了很大不便。根据实验

需要设计了一种高破坏阈值的半导体可饱和吸收镜,用这种半导体可饱和吸收镜进行 Yb:YAB 激光器的锁模实验,不仅很好地抑制了激光器的调 Q 倾向,得到了稳定的连续锁模;而且得到了相对较高的输出功率。这种半导体可饱和吸收镜的推广将为全固态超短脉冲激光器的研制和应用提供可靠的锁模器件。

实验装置如图 1 所示,其中所用高破坏阈值半导体可饱和吸收镜的具体结构如图 2 所示,图 2(a) 是半导体可饱和吸收镜基层的半导体结构,图 2(b) 是在半导体上增加的反射率为 84% 的介质膜层。这种结构的半导体可饱和吸收镜不仅提高了损伤阈值,而且调制深度也很小仅 1.7%,从而有效地抑制了准三能级系统调 Q 的倾向。当抽运功率为 5 W

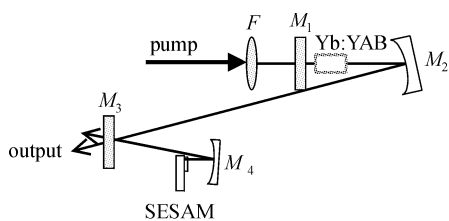


图 1 实验装置

F: 焦距为 18 mm 的非球面透镜; M<sub>1</sub>: 双色平面镜; M<sub>2</sub>: 曲率半径为 100 mm 的双凹透镜; M<sub>3</sub>: 1% 的耦合输出镜; M<sub>4</sub>: 焦距为 30 mm 的凹面镜; M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 以及 M<sub>3</sub> 和 M<sub>4</sub> 之间的距离分别为 500 mm 和 215 mm

Fig. 1 Structure of the cavity

F ( $f = 18 \text{ mm}$ ): focus lens; M<sub>1</sub>: dichroic mirror; M<sub>2</sub> ( $R = 100 \text{ mm}$ ): concavo-convex lens; M<sub>3</sub> (1%): output mirror; M<sub>4</sub> ( $R = 30 \text{ mm}$ ): concave mirror. The distance between M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub> is 550 mm, and the distance between M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub> is 215 mm

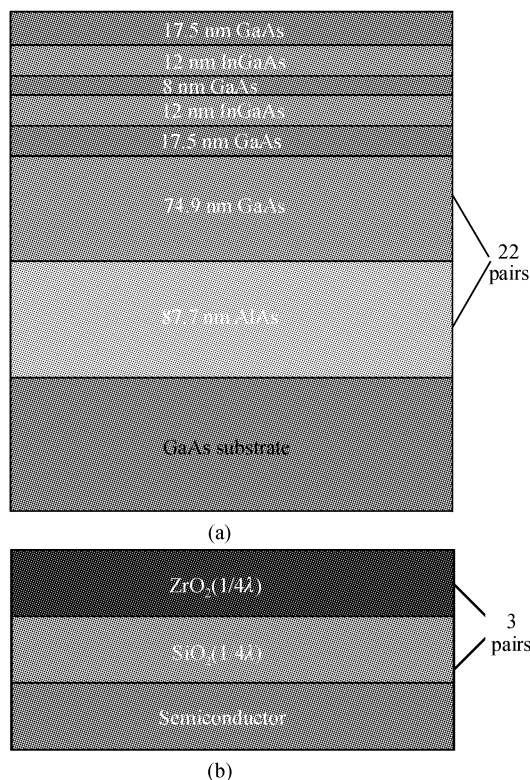


图 2 半导体可饱和吸收镜的结构图

(a) 基层半导体结构; (b) 反射率为 84% 的介质膜层

Fig. 2 Structure of the SESAM

(a) structure of the substrate semiconductor; (b) schematic diagram of dielectric film with reflectivity of 84%

\* 国家自然科学基金 (60178008) 和 973 计划 (G1999075201-2) 资助课题。

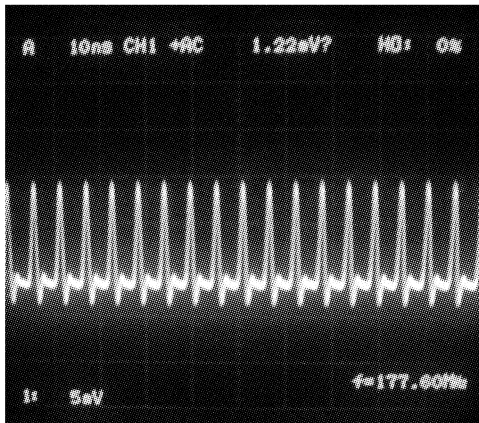


图3 利用半导体可饱和吸收镜得到的 Yb:YAB 激光器的连续锁模序列

Fig.3 CW mode-locking train of the Yb:YAB laser by the SESAM

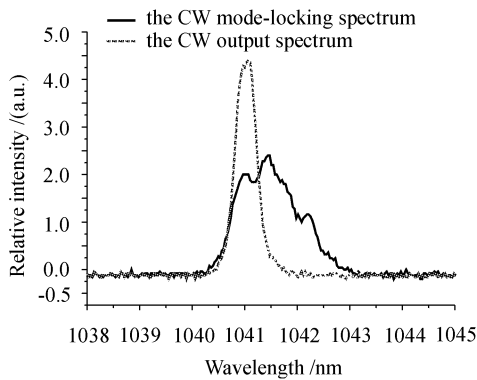


图4 Yb:YAB 激光器锁模前后的光谱

Fig.4 Measured spectra of CW and mode-locking state of the Yb:YAB laser

时,计算得到半导体可饱和吸收镜上的能量密度为  $0.88 \text{ mJ/cm}^2$ , 小于其破坏阈值 ( $0.12 \text{ J/cm}^2$ )。在这种情况下激光器连续工作超过 10 h 一直没有

发现半导体可饱和吸收镜损伤的现象。测量此时的单程输出功率为 300 mW, 激光中心波长为 1040 nm, 脉冲的重复频率为 177 MHz。图 3 是稳定锁模条件下得到的脉冲序列。图 4 给出了 Yb:YAB 激光器锁模前后的光谱变化, 从图中可以看出锁模光谱的半高宽  $\Delta\lambda = 1.5 \text{ nm}$ , 在满足傅里叶变换极限的条件下对应 0.76 ps 的脉冲宽度(假定脉冲形状为  $\text{sech}^2$  函数)。

### 参 考 文 献

- 1 G. Aka, N. Viegas, B. Teisseire *et al.*. Flux growth and characterization of rare-earth-doped non-linear huntite-type borate crystals:  $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_3(\text{BO}_3)_4$  and  $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  [J]. *J. Mater. Chem.*, 1995, **5**(4):583~587
- 2 P. Wang, J. M. Dawes, P. Dekker *et al.*. Growth and evaluation of ytterbium-doped yttrium aluminum borate as a potential self-doubling laser crystal [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1999, **16**(1):63~69
- 3 P. Wang, P. Dekker, J. M. Dawes *et al.*. Efficient continuous-wave self-frequency-doubling green diode-pumped Yb:YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(10):731~733
- 4 Yinghong Xue, Qingyue Wang, Zhigang Zhang *et al.*. Passive mode locking of an Yb:YAB laser with a low modulation depth SESAM [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(8):466~467

<sup>1</sup> 天津大学精密仪器与光电子工程学院超快激光实验室, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072

<sup>2</sup> 天津大学理学院, 天津 300072

<sup>3</sup> 山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100

薛迎红<sup>1</sup>, 王清月<sup>1</sup>, 王颖<sup>1</sup>, 王专<sup>1</sup>, 张志刚<sup>1</sup>  
柴路<sup>1</sup>, 王永刚<sup>1</sup>, 孙虹<sup>2</sup>, 王继扬<sup>3</sup>, 李静<sup>3</sup>

收稿日期:2004-09-20