

二极管激光侧面泵浦的全固态 主动锁模 Nd:YAG 激光器*

令维军, 贾玉磊, 王 鹏, 王兆华, 魏志义

(中国科学院 物理研究所 光物理重点实验室, 北京 100080)

摘 要: 利用优化的腔设计, 使谐振腔中增益介质中有大的模体积, 并在高功率泵浦下具有高的热稳定性; 采用热补偿环形径向侧面泵浦模块技术进行了连续 Nd:YAG 主动声光锁模的实验研究, 利用自行设计的锁相环反馈电路, 获得输出功率 10 W 的稳定的锁模脉冲输出。

关键词: 二极管侧面泵浦; 主动声光锁模; ps 激光器

中图分类号: TN248

文献标识码: A

主动锁模是产生超短激光脉冲的主要技术之一, 由于这种锁模方式输出的激光脉冲具有高稳定性、高平均功率及高重复频率的特点, 因此在闪光灯作为主要泵浦方式的年代, 曾是热门的研究内容, 并被广泛用来进一步泵浦染料激光器从而产生飞秒脉冲^[1~4]。近年来, 随着固体飞秒激光技术的快速发展, 主动锁模激光器由于固有的百 ps 量级的脉冲宽度, 逐渐受到冷遇。但是在某些应用领域, 如泵浦 OPCPA、作为大能量全固态脉冲激光的泵浦源、某些材料的超快过程研究等方面, 脉宽达数百皮秒的高稳定激光则是最理想的光源。目前采用二极管激光器作为泵浦源, 人们已经进行了大量的连续、调 Q 及被动锁模激光研究, 并成功得到了高功率的连续激光及宽度为 ns、数 ps 及 fs 量级的脉冲激光, 然而主动锁模的全固态激光器却鲜有报道, 数百 ps 的脉冲光源基本属于空白。针对这一背景, 我们研制设计了一台单模输出、平均功率 10 W 量级的全固态主动锁模 Nd:YAG 激光器。

1 实验装置与结果

图 1 为 CW 声光主动锁模 Nd:YAG 的腔结构示意图。采用平平腔设计, 为了最大限度的利用增益介质并抑制高阶模振荡, 必须保证在 Nd:YAG 棒中振荡光有大的模体积, 激光增益介质口径决定了增益介质中振荡光斑的最大值, 并在谐振腔中充当选模光阑的作用, 根据文献报道^[2,5,6], 增益介质半径与振荡光腰半径的最佳比值在 1.2 到 2 之间, 在实验中, 振荡光腰大小对平平腔中增益介质的位置比较敏感, 当增益介质的前端面到 M₁ 的距离为 446 mm 时, 振荡光模与增益介质匹配最好, 这时, 最佳比值约为 1.5。我们选用增益介质为尺寸 $\phi 3\text{ mm} \times 63\text{ mm}$ 的 Nd:YAG 棒, 由 3 只发射波长为 808 nm 的二极管激光列阵呈 120° 放置进行环形径向侧面泵浦, 并封装成标准模块 (CEO 公司, 型号 RB-33), 如图 2 所示。这种模块的优点是结构简单紧凑, 增益均匀, 热透镜效应低。在未插入声光锁模调制器 (AOM) 时, 其单模输出功率达 50 W。

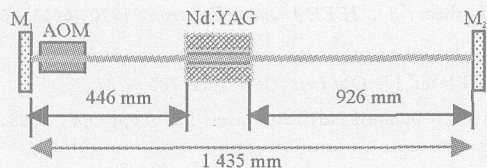


Fig. 1 Schematic diagram of active mode locking with AOM

图 1 声光锁模激光器示意图

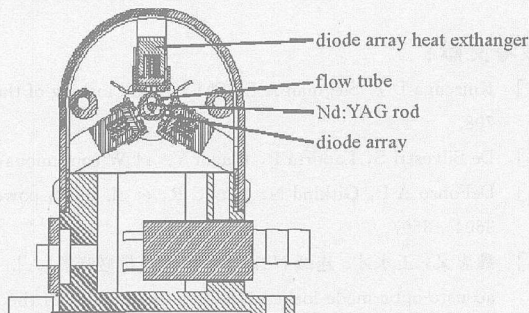


Fig. 2 Schematic drawings of radial pump

图 2 环形泵浦示意图

* 收稿日期: 2004 11 22; 修订日期: 2005 03 08

基金项目: 国家自然科学基金资助课题 (60225005 和 10227401); 国家 863 计划探索基金部分资助课题

作者简介: 令维军 (1968—), 男, 中科院物理研究所博士生, 从事全固态激光频率变换, 超短脉冲激光器及放大等方面的研究工作。

联系作者: 魏志义, E-mail: wzhy@aphy.iphy.ac.cn.

为了在高输出功率下获得锁模脉冲,我们选用光学吸收小,抗损伤阈值高的熔石英为声光介质,为获得最佳的锁模效果,我们在紧靠全反镜 M1 的一端插入 AOM,并将全反镜置于连接锁相环反馈电路的压电陶瓷 (PZT) 上。驱动源的频率为 50 MHz,调制器采用驻波工作方式,所以,腔内振荡光的调制频率为 100 MHz,由锁模条件

$$f = \frac{c}{2L} \tag{1}$$

可求得所需要的光学腔长 $L=1.5\text{ m}$ 。考虑到谐振腔中插入激光棒($n=1.823$)和长度为 $l=30\text{ mm}$ 的 AOM ($1.064\text{ }\mu\text{m}$ 时, $n=1.45$),经折射率修正后,实际的腔长为 $1\,435\text{ mm}$ 。声光介质中的声速 $v_s=3.76\times 10^5\text{ cm/s}$,可求得超声波长为 $\lambda_s=75\text{ }\mu\text{m}$,根据布喇格衍射条件

$$G = \frac{2\pi N}{n\lambda_s^2} \tag{2}$$

代入以上参数以后,可求得 $G=25$,满足布喇格衍射的判据。布喇格衍射可以得到较高的工作效率,有利于锁模启动。考虑到声光锁模的声波是以驻波形式注入介质的,在声光介质内形成等间隔的“相位光栅”,这种“光栅”在介质中的位置在空间上是固定的,只有当光以一定的角度入射到声光介质中时才能形成布喇格衍射,这个入射角 θ 必须满足关系式

$$\theta = \arcsin \frac{\lambda}{2\lambda_s} \tag{3}$$

代入有关参数后,求得布喇格角为 0.40° 。

利用图 1 所示的实验装置,我们首先通过计算确定实际的腔长为 $1\,435\text{ mm}$,然后求得最佳匹配时增益介质的位置。调整好锁模器的位置,使它对应一级衍射最强的方位,然后将锁模器驱动源的功率开在较大的档位。将输出光衰减后,观察输出的波形,微调固定在平移台上的输出镜,观察到稳定的锁模序列后,利用我们自行设计的锁相环反馈电路,维持稳定的锁模运转,获得输出功率大于 10 W 的单横模输出。图 3 是用时间分辨小于 2 ns 的示波器观察到的 CW 主动锁模 Nd:YAG 激光脉冲的输出波形。由于时间所限,尚未测量脉冲宽度。

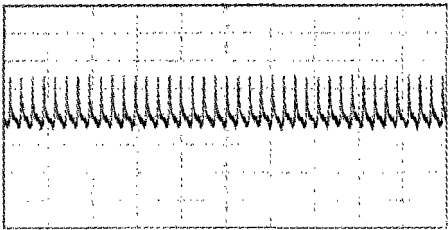


Fig. 3 Mode locked pulse train
图 3 锁模脉冲序列

3 结 论

在优化腔参数的基础上,利用平平腔进行了 CW 声光主动锁模 Nd:YAG 的实验研究。采用模块化的环形径向泵浦技术,不仅降低了热透镜效应,而且有利于获得较好的光束质量。利用自行设计的锁相环反馈电路,获得了平均功率为 10 W 的高稳定,高功率的锁模脉冲输出。进一步将该激光注入脉冲二极管激光器泵浦的再生放大器及多通放大器后,可望得到单脉冲能量达百 mJ 量级、脉宽百 ps 的放大结果。

参考文献:

[1] Kuizenga D J, Siegman A E. FM and AM locking of the homogeneous laser part I: theory[J] . *IEEE J Quant Electron*, 1970, **6**(11): 694—708.

[2] De Silvestri S, Laporta P, Magni V. 14 W continuous wave mode locked Nd: YAG laser[J] . *Opt Lett*, 1986, **11**: 785—787.

[3] DeFonzo A P, Gitkind N, Lutz C R, et al. High power harmonically mode locked cw pumped Nd: YAG laser[J] . *Appl Opt*, 1988, **27**: 3604—3607.

[4] 魏志义, 王水才. 连续 Nd: YAG 声光锁模激光器[A] . 第二届全国超快现象学术讨论会论文集[C] . 西安, 1990. (Wei Z Y, Wang S C. CW acousto optic mode locked Nd: YAG laser. Proc of the second national conference on ultra fast phenomena. Xi'an, 1990)

[5] Chesler R B, Maydan D. Convex concave resonators for TEM₀₀ operation of solid state ion lasers[J] . *J Appl Phys*, 1972, **43**: 2254—2257.

[6] Hauck R, Kortz H P, Weber H. Misalignment sensitivity of optical resonators[J] . *Appl Opt*, 1980, **192**: 598—603.

All solid state actively mode locked diode radial pumped Nd: YAG laser

LING Wei jun, WEI Zhi yi, JIA Yu lei, WANG Peng, WANG Zhao hua

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract An actively mode locked Nd:YAG laser with an optimized resonator was demonstrated which can provide with large mode volume in the active material and high stability against thermal lensing fluctuations. By using a compact pump module which utilizes a radial array of close coupled diode laser arrays for efficient direct side pumping of the Nd:YAG rod, as well as, a phase lock loop circuit, 10 W continuous wave mode locked stable pulses were obtained.

Key words: Diode side pumped; Actively mode locked; Picosecond laser