

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0091-02

高功率全固态绿光激光器的设计与研究*

张帆 陈进 于意仲 王鹏 陆颖 禹延光 王涛 张勇 姚建铨

(天津大学精密仪器学院 激光与光电子研究所 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)

提要 报道了一种激光二极管(LD)侧面抽运 Nd:YAG 晶体,采用 KTP 晶体作内腔倍频的 Q 开关激光器。在重复频率为 13 kHz 时,绿光(532 nm)输出平均功率达到 40 W,电-光转换效率约为 3%。

关键词 激光二极管抽运, Nd:YAG 激光, 声光调 Q, 内腔倍频

中图分类号 TN248.1⁺3 文献标识码 A

High-average-power Diode-array-pumped Frequency-doubled Nd:YAG Laser

ZHANG Fan CHEN Jin YU Yi-zhong WANG Peng LU Ying YU Yan-guang
WANG Tao ZHANG Yong YAO Jianquan

(Institute of Laser and Opto-Electronics, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering,
Optoelectronic Information Science and Technology Laboratory, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract A intracavity frequency-doubled diode side-pumped Q-switched Nd:YAG laser was developed. Green power of 40 W was generated at 13 kHz repetition rate. The electrical-to-optical conversion efficiency is 3%.

Key words LD pump, Nd:YAG laser, AO-Q-switch, intracavity frequency doubling

高功率全固态绿光激光器在可调谐激光的抽运源、流场显示、水下通讯、海洋探测、激光医疗、激光演示、激光大屏幕彩色显示、激光分离同位素等多个方面有着极佳的应用前景。目前在二极管抽运固体激光器技术方面,特别是高功率器件方面主要存在的问题是:抽运耦合技术,激光二极管(LD)抽运工作介质的热效应分析及如何降低其影响,不同运转方式及抽运水平时谐振腔的设计,如何提高激光输出的光束质量问题,以及获得长时间稳定运转,高功率情况下腔内元件破坏等问题,尽管这些问题国际上已有不少解决方案,但仍须深入研究,我国在半导体抽运高功率全固态激光器方面的研究还停留在较低功率水平。因此,开展高功率绿光激光器的研究工作是非常必要的。

实验中抽运模块结构如图 1 所示。为了克服在 KTP 晶体中功率密度大,温升明显,采用了 L 型平-平腔结构的内腔倍频激光腔型。其结构如图 2 所示。

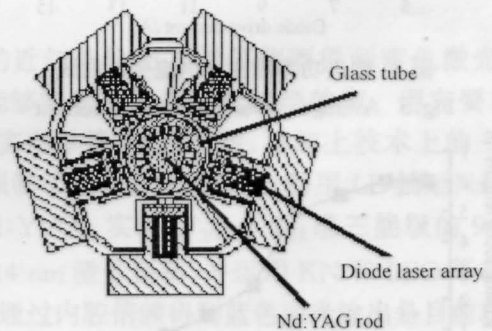


图 1 抽运模块结构图

Fig. 1 Pumping module geometry

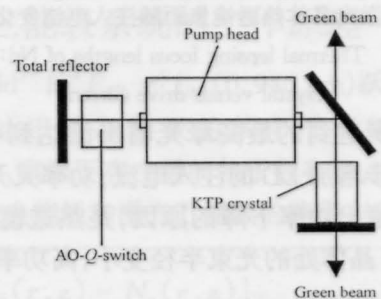


图 2 L-Shape 内腔倍频激光器

Fig. 2 Experimental set-up of L-shaped flat-flat intracavity frequency doubled Nd:YAG laser

*天津市光电子联合科学研究中心及激光技术国家重点实验室部分资助课题。

其中 Nd:YAG 晶体为 0.6% 掺杂、 $\phi 6.35 \text{ mm} \times 146 \text{ mm}$ 。为了补偿热透镜效应,在 YAG 棒的两个端面做了 1 m 曲率半径的凹面。实验中测得其热透镜效应还是很严重,见图 4。通过数值计算,当 KTP 晶体尺寸为 $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$,在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,II 类相位匹配,匹配角为 $\theta = 90^\circ$, $\phi = 23.97^\circ$ 。两输出腔片都是平面反射镜,对 1064 nm 为高反,对 532 nm 为高透。L 型内腔倍频激光谐振腔的特点是,其倍频绿光输出不再像直型腔那样被反射回去再次经过晶体,而是在两个方向上同时获得绿光输出。由于能过 KTP 晶体的绿光减少而一次通过,晶体内部吸收绿光造成的温升也相应较小。因此旋转晶体 ϕ 角一个很小的角度,就可以获得稳定的高功率输出。在抽运电流为 13.8 A,声光 Q 开关重复频率 13 kHz 时,基频激光功率(1064 nm)约 110 W,二次谐波(532 nm)输出平均功率达到 40 W,基频光-倍频光转换效率为 36%,电-光转换效率约 3%。所测得的 1064 nm 和 532 nm 激光输出曲线如图 3 所示。

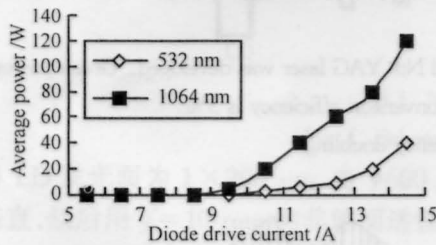


图 3 输出功率随注入电流变化曲线

Fig. 3 Average power versus drive current

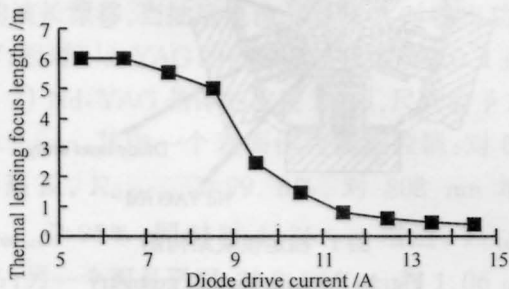


图 4 激光晶体热透镜焦距随注入电流变化曲线

Fig. 4 Thermal lensing focus lengths of Nd:YAG crystal versus drive current

实验所达到的最高绿光输出已达到 40 W。实验中进一步增加 LD 的注入电流,功率又开始下降。造成绿光输出功率下降的原因,是热透镜效应使得腔内 KTP 晶体处的光束半径变小,高功率密度使得

KTP 晶体内部温升也很高,温度梯度很大,导致 KTP 晶体变形,使得倍频光相位失配。故实验中要经常调整晶体最佳匹配角 ϕ ,以便获得高的绿光输出。如果充分考虑了温度升高造成的晶体最佳相位匹配角增加,采用新的晶体切割角度,可以实现更高的绿光输出。

本实验所用的 LD 管抽运模块 808 nm 激光最高输出功率是 1600 W(在抽运电流 30 A 时)。并配备了一套 5 kW 的水冷温控系统。众所周知,LD 的发光谱线随着温度的变化会影响激光器的稳定工作。经实验测定,对于基频光工作温度由 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 增加到 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时可使激光输出功率增加 20% 以上。因此,对于高功率 LD,精确地控制系统的温度是十分必要的。对于功率较大的 LD 通常采用强制水冷系统,通常有以下四种方式:自来水直接冷却,自来水换热冷却,制冷机换热制冷,变频制冷机换热制冷。我们设计装配了一套大于 5 kW 的水冷温控系统。考虑到温度的精确控制,采用了恒定制冷和控制加热的方式。恒温冷却水在进入激光器之前,必须经过一个断流保护器,从激光器出来的冷却水经过浮子流量计来显示流量并可随时调整。系统水量的损失例如渗漏、蒸发等可以通过膨胀水箱来补偿,并且可保证出口压力在一定的范围内。当冷水机组稳定工作时,激光器负荷发生变化所导致的温度变化,可稳定在设定值附近的 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内。利用此水冷系统,高功率 LD 抽运的全固态激光器可实现满负荷运转。在抽运电流 13.8 A 时,绿光输出功率已经达到 40 W。现正在设计,调试输出绿光输出功率大于 100 W 的激光腔体。

参 考 文 献

- 1 Eric C. Honea, Christopher A. Ebberts *et al.*. Analysis of an intracavity-doubled diode-pumped Q-switched Nd:YAG laser producing more than 100 W of power at $0.532 \text{ }\mu\text{m}$. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(15):1203~1205
- 2 Yao Jianquan. Nonlinear Optical Frequency Conversion and Solid-state Tunable Laser Technology. Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese)
- 3 B. J. Le Garrec, G. J. Raze, P. Y. Thro *et al.*. High-average-power diode-array-pumped frequency-doubled YAG laser. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(24):1990~1992