

LBO 晶体长度对全固态 473 nm 蓝光激光器效率的影响

李业秋 刘艳娟 李勇 岱钦

(沈阳理工大学理学院, 辽宁 沈阳 110159)

摘要 报道了结构紧凑、输出稳定的 473 nm 连续全固态蓝光激光器。模拟分析了 LBO 晶体长度与激光输出效率的关系, 选择了最佳长度为 10 mm 的 I 类相位匹配的 LBO 晶体。当抽运功率为 3 W 时, 获得了 210 mW 的 473 nm 蓝光激光输出功率, 光-光转换效率为 7%, 激光输出功率起伏小于 3%。

关键词 激光器; 蓝光激光器; 全固态; LBO 晶体

中图分类号 TN248 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP49.101403

LBO Crystal Length on the Efficiency of All Solid-State 473 nm Blue Laser

Li Yeqiu Liu Yanjuan Li Yong Dai Qin

(School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang, Liaoning 110159, China)

Abstract A compact and stable 473 nm continuous all-solid-state blue laser is reported. Simulation analysis of the relationship between the LBO crystal length and the laser output efficiency is done. An optimal length of 10 mm type I phase-matching LBO crystal is chosen. Under the pump power of 3 W, 210 mW of the blue laser at 473 nm is obtained. The optical-to-optical conversion efficiency is up to 7%. The fluctuation of laser output power is less than 3%.

Key words lasers; blue laser; all-solid-state; LBO crystal

OCIS codes 140.3480; 140.3325; 140.3515; 140.3580

1 引言

全固态蓝光激光器具有体积小、结构紧凑、光斑面积小、输出稳定等诸多优点, 它在数字视频技术、彩色激光显示、高密度光存储、海洋资源探测、军事方面的水下探测、定位等领域有着重要的应用价值^[1,2]。获得蓝色激光的主要方法有: 1) 直接发射蓝光的半导体激光器; 2) 对红外激光二极管(LD)输出光直接倍频; 3) LD 抽运激光工作物质并利用二倍频技术(SHG)获得蓝光输出。随着大功率半导体激光器制造工艺的成熟及成本的不断降低, 采用 LD 抽运 Nd:YAG 晶体, 通过非线性晶体倍频输出 473 nm 蓝光的全固态激光器已经成为获得蓝光的一个重要途径^[3]。

2 理论分析与数值模拟

激光器采用的激光工作物质为 Nd:YAG 晶体。Nd:YAG 激光晶体具有三条分别是 1064 nm, 1319 nm, 946 nm 的荧光谱线^[3]。其中, 1064 nm 和 1319 nm 两条谱线属于四能级结构, 在激光腔内容易实现激光振荡。而 946 nm 谱线属于准三能级结构, 存在再次吸收问题, 并且 946 nm 谱线的受激截面比 1064 nm 和 1319 nm 两条谱线小得多, 系统阈值高, 实现激光振荡相对较困难^[4]。为了得到 946 nm 谱线, 通过对 Nd:YAG 激光工作物质镀膜系来抑制 1064 nm 及 1319 nm 谱线振荡。系统采用 LD 端面抽运 Nd:YAG 晶体, 谐振腔采用平凹腔结构, 可以实现很好的光束匹配, 提高激光输出质量^[5]。

收稿日期: 2012-05-23; 收到修改稿日期: 2012-06-28; 网络出版日期: 2012-08-30

作者简介: 李业秋(1981—), 男, 硕士, 讲师, 主要从事激光器件与技术等方面的研究。E-mail: liyequaini@163.com

倍频晶体采用 LBO 晶体。LBO 倍频晶体具有较大的允许角及较小的走离角、良好的物理化学性能、较高的激光损伤阈值和较大的有效非线性系数,因此选择 LBO 晶体作为输出 473 nm 激光的理想倍频晶体^[5]。在 LBO 倍频晶体 I 类相位匹配条件下,用 Matlab 软件模拟分析了激光器输出功率和转换效率与 LBO 晶体长度的关系。图 1 和图 2 分别为激光转换效率及输出功率与 LBO 倍频晶体长度的关系。可以看出当抽运功率一定时,随着晶体长度的增加激光转换效率和输出功率逐渐提高,当晶体长度达到一定数值时激光转换效率和输出功率趋于饱和,达到最大值^[6]。所以,选择适当的晶体长度对提高激光转换效率,获得高的蓝光输出功率意义重大。

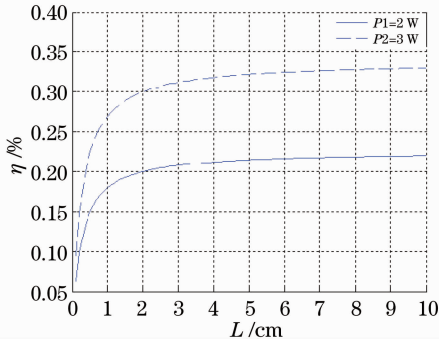


图 1 转换效率与晶体长度的关系

Fig. 1 Relationship between conversion efficiency and the crystal length

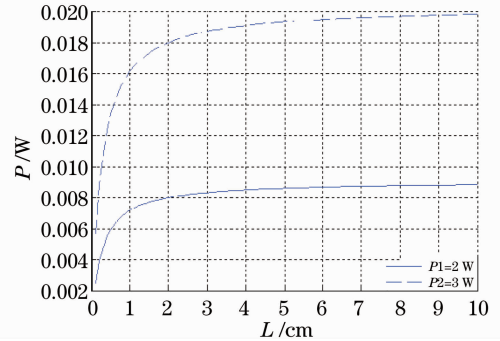


图 2 输出功率与晶体长度的关系

Fig. 2 Relationship between output power and the crystal length

3 实验装置

图 3 为 LD 抽运 Nd:YAG 连续 473 nm 激光器实验装置图,系统采用 LD 抽运 Nd:YAG 晶体实现了 946 nm 谱线的运转,并利用 I 类相位匹配的 LBO 倍频晶体进行腔内倍频获得 473 nm 蓝光激光输出。对 LD 抽运光进行光束耦合,谐振腔采用平凹腔,在 Nd:YAG 激光工作物质的左端面镀制高反膜作为谐振腔的一个端面,另一个端面采用凹面镜作为输出镜^[6]。

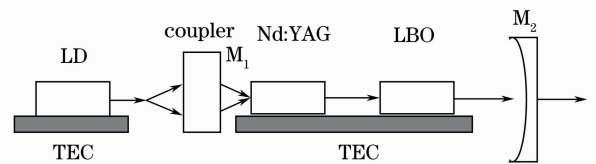


图 3 473 nm 蓝光激光器实验装置图

Fig. 3 Experimental setup of 473 nm blue laser

激光谐振腔长 43 mm,Nd:YAG 激光工作物质左端面镀制 808 nm 高透膜(透射率 $T > 98\%$),1064 nm 高透膜($T > 90\%$)和 946 nm 以及 473 nm 高反膜,作为谐振腔反射镜,右端镀制 946 nm 高透膜。采用 I 类相位匹配 LBO 晶体作为倍频晶体,相位匹配角为 $\theta = 90^\circ$, $\phi = 19.3^\circ$,尺寸为 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$,两端镀制了 946 nm 和 473 nm 增透膜。输出镜曲率半径为 100 mm,镀制 946 nm 高反膜,1064 nm 及 1319 nm 增透膜,473 nm 增透膜,抑制 1064 nm 及 1319 nm 谱线振荡。

4 实验结果

实验过程中,对激光器进行总体调试,将工作物质封装在铜制热沉内,倍频晶体用铝箔包裹后放在铜夹具上,再置于半导体制冷器件(TEC)上。对 LD 抽运源光束进行准直、扩束、圆化后将抽运光会聚入射到激光晶体内部,对激光谐振腔的输出腔镜进行微调,使输出的 946 nm 激光光斑达到最佳的状态。在谐振腔中放入倍频晶体 LBO,并对倍频晶体的放置角度进行调节,测量输出的 473 nm 蓝光激光,分析激光器的各输出实验参数^[6~8]。

实验过程中,采用 LPE-1A 型的功率计对 473 nm 蓝光激光的输出功率进行测量,获得 473 nm 蓝光输出功率与抽运功率的关系如图 4 所示。随着抽运功率的进一步增大,473 nm 激光的输出功率也相应地逐渐增加,抽运功率增大到 3 W 时,473 nm 激光的输出功率达到最大值 210 mW。对激光器在 210 mW 附近进行了稳定性测试,结果如图 5 所示。由图 5 可以看到,蓝光输出功率在 210 mW 附近上下起伏,功率波动起

伏小于 3%。

实验过程中,倍频晶体 LBO 的位置尽量放置在基频光的光腰处,以使基频光的转换效率尽量高^[9,10]。实验中采用 Spiricon LBA-USB 光束测试仪测量激光光斑,如图 6 和图 7 所示。

图 8 为通过光纤光谱仪测得的 473 nm 蓝光激光输出光谱。通过图 9 可以看出,远场光斑具有高亮度,形状近似正圆,质量较好,光斑形状规则,能量分布均匀。

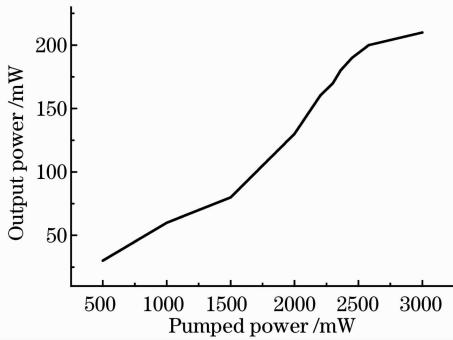


图 4 激光输出功率与抽运功率之间的关系

Fig. 4 Laser output power and pump current relationship

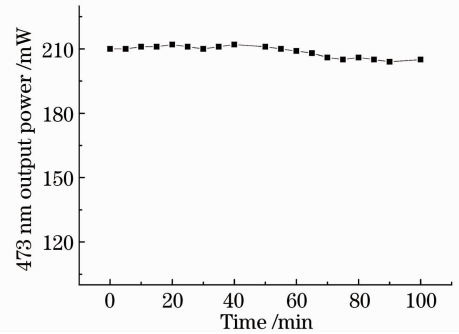


图 5 激光器 473 nm 输出功率稳定性

Fig. 5 Stability of laser output power at 473 nm

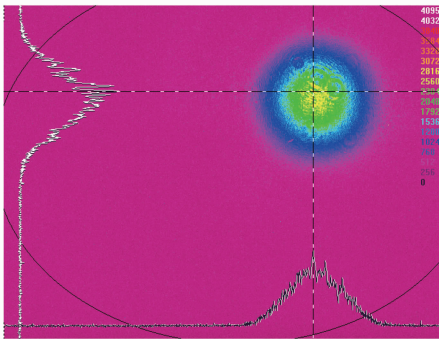


图 6 473 nm 蓝光激光光斑(2D)

Fig. 6 473 nm blue laser spot (2D)

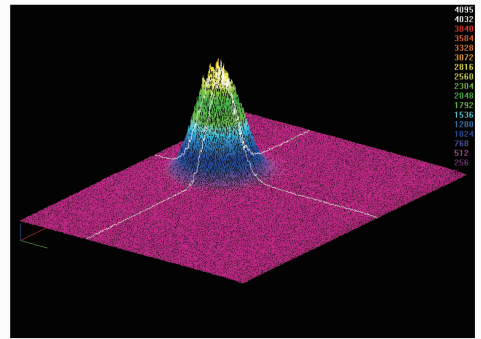


图 7 473 nm 蓝光激光光斑(3D)

Fig. 7 473 nm blue laser spot (3D)

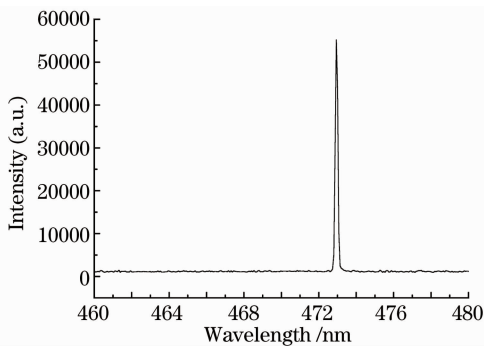


图 8 473 nm 蓝光谱线

Fig. 8 Spectrum line of 473 nm



图 9 473 nm 蓝光激光远场光斑

Fig. 9 473 nm blue laser far-field spot

5 结 论

从非线性理论出发,利用 Matlab 软件数值模拟了晶体 LBO 倍频过程中,晶体尺寸和激光转换效率及输出功率的关系。从激光器的整体设计出发,分别对激光器的 LD 抽运耦合系统,谐振腔膜系结构、LBO 倍频晶体以及制冷系统等各个单元进行了详细的实验设计,获得了 473 nm 连续激光输出。当抽运功率为 3 W 时,473 nm 连续蓝光的功率达到 210 mW。

参 考 文 献

- 1 Yanfei Lü, Jing Xia, Weibo Cheng *et al.*. Diode-pumped CW Nd:YAG three-level laser at 869 nm[J]. *Opt. Lett.*, 2010, **35**(21): 3670~3672
- 2 Yanfei Lü, Xihe Zhang, Weibo Cheng *et al.*. All-solid-state CW frequency-doubling Nd:YLiF₄/LBO blue laser with 4.33 W output power at 454 nm under in-band diode pumping at 880 nm[J]. *Appl. Opt.*, 2010, **49**(21): 4096~4099
- 3 C. Czeranowsky, E. Heumann, G. Huber. All-solid-state continuous-wave frequency-doubled Nd:YAG BiBO laser with 2.8-W output power at 473 nm[J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(6): 432~434
- 4 Yanfei Lü, Xihe Zhang, Zhihai Yao *et al.*. 6.2-W deep blue light generation by intracavity frequency-doubled Nd:GdVO₄ using BiBO[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(7): 407~408
- 5 Lü Yanfei, Tan Huiming, Miao Tongqun *et al.*. All-solid-state CW double resonant all-intracavity sum-frequency mixing 593 nm laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(6): 729~733
吕彦飞, 檀慧明, 缪同群 等. 全固态 593 nm 复合腔连续波和频激光器[J]. 中国激光, 2005, **32**(6): 729~733
- 6 Lü Yanfei, Tan Huiming, Qian Longsheng. Laser diode array pumped Nd:YAG dual wavelength laser with intracavity sum-frequency mixing at 589 nm[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4): 438~442
吕彦飞, 檀慧明, 钱龙生. 激光二极管阵列抽运 Nd:YAG 腔内双波长运转 589 nm 和频激光器[J]. 中国激光, 2006, **33**(4): 438~442
- 7 Yanfei Lü, Huiming Tan, Longsheng Qian. All-solid-state doubly resonant sum-frequency continuous-wave laser at 555 nm [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(1): 25~26
- 8 Yanfei Lü, Xihe Zhang, Zhihai Yao. All-solid-state sum-frequency generation of 1.12 W continuous-wave laser at 588 nm [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(6): 353~354
- 9 Lü Yanfei, Zhang Xihe, Yao Zhihai. All solid-state continuous wave yellow laser at 583 nm[J]. *Acta Armamentarii*, 2007, **28**(12): 1516~1518
吕彦飞, 张喜和, 姚治海. 全固态连续波 583 nm 黄光激光器[J]. 兵工学报, 2007, **28**(12): 1516~1518
- 10 Zheng Quan, Zhao Ling, Dong Shengming. High efficient blue laser generation at 473 nm by BiBO crystal[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(9): 1030~1032
郑 权, 赵 岭, 董胜明. BiBO 晶体腔内倍频高效率 473 nm 蓝光激光器[J]. 中国激光, 2004, **31**(9): 1030~1032