文章编号：1001-3806(2010)02-0265-03

高效高峰值功率全固态355nm紫外激光器

李玉文[1]，李 斌[2]，王靖田[3]，魏艳玲[1]，曹思维[3]
（1. 吉林工程技术师范学院 基础科学系，长春 130022；2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所，长春 130033；3. 长春理工大学 理学院，长春 130022）

摘要：为了获得结构紧凑的瓦级实用化高峰值全固态355nm紫外激光器，采用简单紧凑的平平直腔结构，使用声光Q开关进行调制，通过LD端面抽运Nd: YAG激光晶体，在重复频率1kHz～50kHz的情况下，产生平均功率1.03W～6.1W的1064nm红外光；采用LBO晶体进行2倍频和3倍频，在重复频率10kHz时得到紫外的最高输出功率1.08W，峰值12kW；在重复频率5kHz时得到紫外的最高峰值功率为17kW。结果表明，该方案满足了实际的应用需求。

关键词：激光技术；全固态；紫外激光器；高峰值功率
中图分类号：TN248.1 **文献标识码**：A **doi**：10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.033

Efficient high peak power all-solid-state 355nm UV laser

LI Yu-wen[1], *LI Bin*[2], *WANG Jing-tian*[3], *WEI Yan-ling*[1], *CAO Si-wei*[3]
(1. Basic Science Department, Jilin Teacher's Institute of Engineering and Technology, Changchun 130022, China; 2. Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 3. College of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to get a compact watt-level high peak power UV laser, a compact plane-plane linear cavity, LD end pumped acoustic-optic Q-switched configuration was used, from which 1.03W ~ 6.1W 1064nm IR laser at 1kHz ~ 50kHz repetition rate was obtained. With a LBO crystal employed to generate the second and third harmonic wave, the maximum output power of 1.08W UV at 10kHz repetition rate was achieved with peak power up to 12kW. The maximum peak power of UV laser was 17kW at 5kHz. The resules show that the practical application was satisfied in many fields.

Key words: laser technique; all-solid-state; UV laser; high peak power

版权所有 © 《激光技术》编辑部

引 言

LD抽运全固态激光器从20世纪80年代以来获得长足的进步，紫外激光器因其在荧光检测、精细加工、光刻等方面的应用[1]，一直以来就是人们研究的热点。从微光刻到打标和打印，紫外激光器的应用是目前工业激光市场增长最快的部分，由于紫外较短的波长能够加工更小的部件。光束的衍射现象是限制加工部件最小尺寸的主要因素，最小可达到的聚焦点的直径随着波长的增加而线性增加。高能量的光子可以直接破坏材料的化学键。紫外光加工材料的过程称为光蚀效应，高能量的光子直接破坏材料的化学键是“冷”处理过程，热影响区域微乎其微；相比之下，可见光和红外激光器利用聚焦到加工部位的热量来熔化材料，热量经过传导会影响到周围的材料，产生热影响区域。良好的聚焦性能和冷处理两个优点结合在一起，使得紫外激光器可以加工极其微小的部件；不仅如此，由于大多数材料都能够有效地吸收紫外光，从而紫外激光器有更高的灵活性和更广的应用场合，可以被用来加工红外和可见光激光器加工不了的材料。

LD端面抽运的全固态紫外激光器效率高、结构紧凑、光束质量好等优点而取代准分子激光器成为研究热点[2-9]。大功率端抽运紫外激光器多采用Nd: YVO_4作为激光晶体[10]，其特点是重复频率比较高，但峰值功率比较低，本文中报道了LD抽运Nd: YAG作为激光晶体，用两块LBO分别作为2倍频和3倍频晶体，得到高峰值功率的355nm紫外激光器，在重复频率为5kHz时峰值功率达17kW；10kHz时得到最高的输出功率1.08W。

1 实验设计

图1为试验装置图，LD为LIMO公司生产的光纤耦合输出列阵模块，其输出功率30W，光纤芯径400μm，数值孔径为0.22，Nd: YAG为∅4mm×4mm，掺杂原子

作者简介：李玉文（1965-），男，高级工程师，主要从事物理研究与教学工作。
E-mail：ddlyw@163.com
收稿日期：2008-12-11；收到修改稿日期：2009-03-20

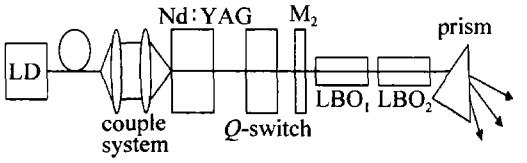

Fig. 1 The 355nm UV laser setup

数分数为 0.01，左端镀 808nm@AR 和 1064nm@HR 膜，作为谐振腔的一个腔镜，右端镀 1064nm@AR 膜，用铟铂包裹放在紫铜热沉中，用热电制冷器精确控温，Q-switch 为声光 Q 开关，通光方向 30mm，超声波频率为 68MHz，两端镀 1064nm@AR 膜，M_2 为红外输出镜，1064nm 透过率为 35%，产生紫外和绿光的非线性晶体都采用三硼酸锂（LiB_3O_5，LBO）晶体，LBO 是一种优良的非线性晶体，相比硼酸铋（BiB_3O_6，BIBO）与偏硼酸钡（B-BaB_2O_4，BBO）等晶体；LBO 具有走离角小、接受角大等优点，但 LBO 的有效非线性系数较 BBO 和 BIBO 小，不过利用其走离角小、接受角大的特点，可以采用较长的晶体来弥补其非线性系数小的缺点，并且由于 LBO 走离角小，因此，采用 LBO 晶体倍频后能够得到较好的光束质量。因而本实验中的倍频、和频晶体皆采用 LBO。其中 LBO_1 为 2 倍频晶体，左端镀 1064nm@AR 右端镀 1064nm@AR 和 532nm@AR，LBO_2 为 3 倍频晶体，左端镀 1064nm@AR，532nm@AR，右端镀 1064nm@AR 和 532nm@AR，355nm@AR，规格都为 3mm×3mm×15mm，由于采用 Nd: YAG 作为激光介质，利用其峰值功率高的特点，并且采用平平腔结构，在激光晶体热作用的情况下，光腰落在输出镜上，因而没有采用任何的聚焦系统来提高倍频和和频的功率，实验证明，这种方法是可行的，是可以获得较高的倍频效率的。

通过光学耦合系统对抽运光斑进行整形后入射到 Nd: YAG 晶体的抽运光斑半径为 300μm，取谐振腔长度为 70mm，根据 *ABCD* 定律计算得到晶体上的激光光斑半径与热透镜焦距的关系，如图 2 所示。

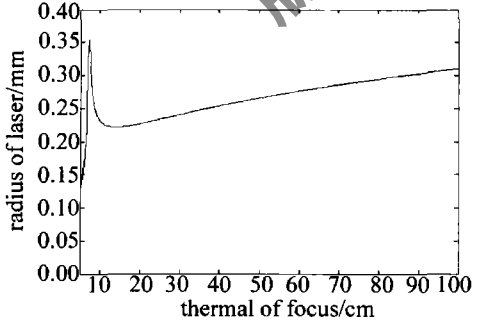

Fig. 2 The radius of laser versus thermal of focus

利用稳腔法测得在抽运功率为 25W 时 Nd: YAG 的热透镜焦距为 95mm，由图 2 可以看出该谐振腔处于稳定范围内，晶体上的激光光斑半径为 230μm 左右，与抽运光光斑半径的比值为 0.77，满足大功率抽运下模式匹配要求。

2 实验数据与分析

当注入功率为 25W 时，1064nm 红外激光重复频率与输出功率的关系如图 3 所示。由图 3 可以看出，10kHz 以下激光输出功率随频率变化的斜率比较大，大于 10kHz 时斜率变低，在重复频率 1kHz ~ 50kHz 时，脉宽从 7ns 变化到 30ns。不同重复频率对应的峰值功率的关系如图 4 所示，在重复频率由 1kHz ~ 50kHz 变化时，峰值功率从 103kW 变化到 4.1kW。

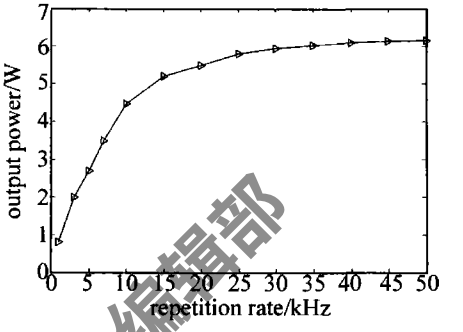

Fig. 3 The output power of IR versus repetition rate

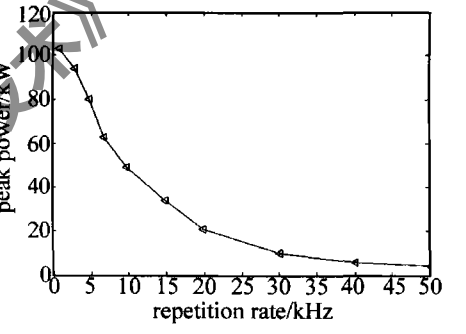

Fig. 4 The peak power of IR versus repetition rate

红外光路调好后，将 LBO_1 放入到光路中，进行 2 倍频，仔细调节其放置的角度，直到绿光的输出功率最高，得到绿光的输出功率与重复频率之间的关系，如图 5 所示。

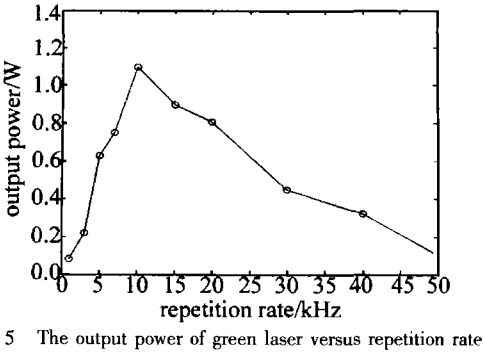

Fig. 5 The output power of green laser versus repetition rate

绿光功率在 10kHz 时最高为 1.1W，这是由于 2 倍频的功率由基波的平均功率和峰值功率两方面决定，由图 3 和图 4 可以看出，基波的输出功率与重复频率成正比，而峰值功率与重复频率成反比，所以综合两者的关系，倍频光的输出功率在 10kHz 时最高。得到

版权所有 ©《激光技术》编辑部

绿光的峰值功率与重复频率之间的关系如图 6 所示，重复频率由 1kHz ~ 50kHz 变化时峰值功率由 3.6kW 变化到 18kW，在重复频率为 5kHz 时最高为 18kW。

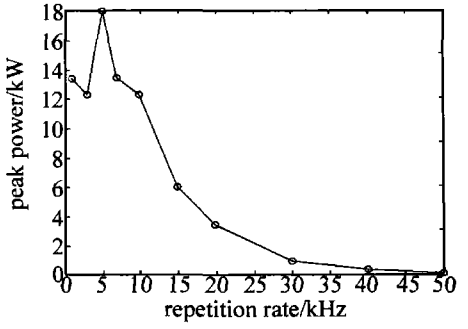

Fig. 6　The peak power of green laser versus repetition rate

将 LBO_2 放入光路中进行 3 倍频实验，当抽运功率为 25W 时，紫外输出功率与重复频率之间的关系如图 7 所示，在重复频率为 10kHz 时输出功率最高为 1.08W，将重复频率固定为 10kHz 时，得到抽运功率与输出功率之间的关系如图 8 所示，阈值功率为 6W，当抽运功率为 25W 时紫外最高输出为 1.08W，峰值功率为 12kW；当重复频率为 5kHz 时峰值功率最高为 17kW，而 1kHz 时峰值功率不是最高的，这是由于 1kHz 时晶体的热效应严重，对光束质量有很大的影响，导致倍频效率下降，从而影响了激光的峰值功率。

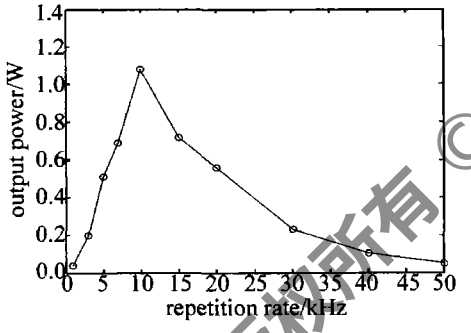

Fig. 7　The output power of UV versus repetition rate

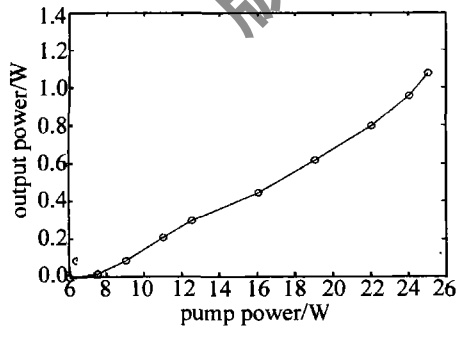

Fig. 8　The output power of UV versus pump power

作者得到 10kHz 时紫外激光的脉冲波形和远场光斑如图 9 和图 10 所示，由图 10 可以看出，355nm 紫外激光的光斑质量非常好，为 TEM_{00} 模，利用刀口法对 M^2 进行测量，得到 $M^2 = 1.3$，光斑椭圆度为 0.92，基本为圆对称，这是因为采用了Ⅱ类匹配的 LBO 晶体作为

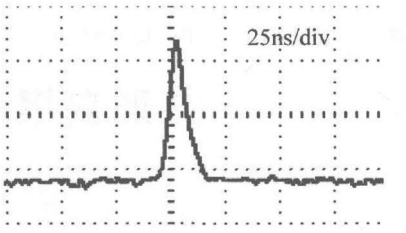

Fig. 9　The shape of pulse

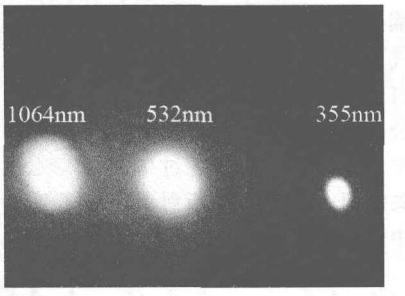

Fig. 10　the spot of laser

3 倍频晶体，其走离角较之 BBO 与 BIBO 小很多，所以光斑质量比较好。

3　结　论

利用简单的平平腔结构 Nd: YAG 作为工作物质，用声光 Q 开关进行脉冲调制，双 LBO 分别进行 2 倍频和 3 倍频，没有采用任何的聚焦装置。当注入功率为 25W、调制频率为 10kHz 时，获得紫外 355nm 的激光功率 1.08W，功率峰值功率为 12kW；当重复频率为 5kHz 时峰值功率最高为 17kW（为国内报道同等条件下最高），M^2 因子为 1.3，光斑椭圆度为 0.92，完全满足紫外微加工的需求，该装置总长度 150mm，结构紧凑、适合产品化。

参　考　文　献

[1]　TANG J, LIAO J H, MENG H Y, *et al*. Ultra violet laser and its application in laser processing[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2007(8):52-56(in Chinese).

[2]　HICKS A V, WANG C X, WANG G Y. Advancesin high power diode-pumped ultraviolet lasers[J]. Proc SPIE, 2004, 5332:120-133.

[3]　KITANO H, MATSUI T, SATO K, *et al*. Efficient 355nm generation in CsB_3O_5 crystal [J]. Opt Lett, 2003, 28(4):263-265.

[4]　WU Y Ch, CHANG F, FU P Zh, *et al*. High-average-power third harmonic generation at 355nm with CsB_3O_5 crystal[J]. Chinese Physics Letters, 2005, 22 (6):1426-1428.

[5]　GAO L, TAN H M. LD end-pumped all-solid-state ultraviolet laser[J]. Optoelectronic Technology, 2003, 23 (2): 109-112 (in Chinese).

[6]　TAN Ch Q, XUE Q H, JIA F Q, *et al*. LD-pumped Nd: YAG out cavity fourth harmonic generation high power ultraviolet Laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(9):1289-1292(in Chinese).

[7]　ZHOU Ch, YE Z Q, ZHENG Q, *et al*. Investigation for passively Q-switched Cr^{4+}: YAG all-solid-state ultraviolet laser of fourth-harmonic generation[J]. Laser Technology, 2003, 27(4):339-341(in Chinese).

（下转第 271 页）

版权所有 © 《激光技术》编辑部

[4] ARTZNER G. Microlens arrays for shack-Hartmann wave front sensors [J]. Opt Engng, 1992, 31(6): 1311-1322.

[5] OGATA S, LSHIDA J, SASANO T. Optical sensor array in an artificial compound eye[J]. Opt Engng, 1994, 33(11): 3649-3655.

[6] RONG G L, CHEN B, PANY L, *et al*. Novel method for fabricating micro lens array[J]. SPIE, 1997, 3099: 99-105.

[7] LI Y L, HUO J M, HE Zh Q. The development and application of GRIN lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2000, 29(s1): 302-306(in Chinese).

[8] HAN Y L, LIU D S, LI J Y, *et al*. Research on manufacture of square gradient-index lens[J]. Acta Photonica Sininca, 2006, 35(9): 1301-1304(in Chinese).

[9] CHEN K, ZHOU Z G, ZHANG R, *et al*. Study on ray theory of square gradient-index lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(9): 1739-1742(in Chinese).

[10] LI Ch H, DAI J Zh, SONG X X, *et al*. Fabrication of optical waveguide in glass with field-assisted ion exchange[J]. Laser Technology, 2006, 30(2): 189-191(in Chinese).

[11] HAN Y L. Theoretical analysis and manufacture craft of square self-focusing lens and it's array[D]. Chongqing: Southwest Normal University, 2006: 31(in Chinese).

[12] LIU D S. Gradient-index material theory and technical practice [M]. Chongqing: Southwest Normal University Press, 2005: 399-401(in Chinese).

[13] HAN Y L. Theoretical analysis and manufacture craft of square self-focusing lens and it's array[D]. Chongqing: Southwest Normal University, 2006: 24-26(in Chinese).

[14] HAN Y L. Theoretical analysis and manufacture craft of square self-focusing lens and it's anay[D]. Chongqing: Southwest Normal University, 2006: 37-39(in Chinese).

(上接第 267 页)

[8] FAN X W, WANG Y, PENG Q Q. Laser-diode pumped Nd: $GdVO_4$ ultraviolet laser [J]. Laser & Infrared, 2005, 35(5): 331-334(in Chinese).

[9] WANG Y, FAN X W, PENG Q Q, *et al*. LD pumped Nd: $GdVO_4$ crystal ultraviolet laser with LBO frequency tripling [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2005, 16(5): 551-553(in Chinese).

[10] SHI Zh H, FAN Zh W, ZHANG Y, *et al*. High efficiency and high power all-solid-state ultraviolet laser[J]. Chinese Journal of Laser, 2007, 34(1): 27-30(in Chinese).

版权所有 © 《激光技术》编辑部