

文章编号: 0258-7025(2009)06-1341-06

紧凑型激光二极管端面抽运 Nd : YVO₄ 内腔 三倍频 355 nm 紫外激光器

刘 欢 巩马理

(清华大学精密仪器与机械学系 光子与电子技术研究中心, 北京 100084)

摘要 报道了一台激光二极管(LD)端面抽运 Nd : YVO₄ 晶体,利用两块 LBO 晶体进行内腔二倍频和三倍频,实现了高效率、高峰值功率 355 nm 激光准连续输出的紧凑型全固态紫外激光器。激光腔采用简单平平直腔,腔长仅 108 mm。当注入抽运功率 6.76 W,重复频率 20 kHz 时,355 nm 激光输出平均功率最高达 245 mW,相应的光光转换效率为 3.62%,脉冲宽度为 8.0 ns,脉冲峰值功率为 1.52 kW,输出功率短期不稳定性小于 4.2%,光束质量好。通过采用内腔倍频技术和设计合理的腔结构,整套激光器结构紧凑,体积小,便携性强,适合于中小功率紫外激光的输出,有利于进一步拓宽紫外激光器的应用领域。

关键词 激光器;激光二极管端面抽运;内腔三倍频;声光调 Q;355 nm 紫外激光器

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093606.1341

Compact LD End-Pumped Nd : YVO₄ Intracavity Frequency-Tripled 355 nm Laser

Liu Huan Gong Mali

(Center for Photonics and Electronics, Department of Precision Instruments and Mechanology,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A laser diode-end-pumped Nd : YVO₄ intracavity frequency-tripled quasi-continuous 355 nm laser has been demonstrated. The efficient second and third-harmonic generation with the high peak power and stable operation is generated by two lithium triborate (LBO) crystals. The laser cavity is a simple plane-to-plane linear cavity with the cavity length of 108 mm. An average 355 nm laser with output power of 245 mW is obtained at a pump power of 6.76 W, a pulse repetition rate of 20 kHz and the highest optical-to-optical efficiency of 3.62%. The corresponding pulse width and pulse peak power are 8.0 ns and 1.52 kW, respectively. The instability is less than 4.2% and the beam quality is satisfactory. This technique can decrease some optical elements reduce the size and enhance the handiness of the laser. These advantages will benefit the broad applications of the ultraviolet lasers.

Key words lasers; laser diode end-pumped; intracavity frequency-tripling; acousto-optic Q-switch; 355 nm ultraviolet laser

1 引 言

紫外激光器具有波长短、易聚焦、能量集中、分辨率高等优点,在光学信息存储、精密材料加工、光印刷、医疗等方面具有广泛的用途^[1~4]。与传统紫外波段的准分子激光器相比,激光二极管(LD)抽运的全固态紫外激光器由于具有效率高、重复频率高、体积小、性能稳定等诸多特点,而成为紫外激光器发

展的主要方向。全固态紫外激光器主要是利用倍频、和频技术在非线性晶体(如 KTP, LBO, BBO, CLBO, CBO 等)中进行腔外或腔内频率转换得到 Nd : YVO₄, Nd : YAG 或 Nd : GdVO₄ 激光的三次或四次谐波^[2~8]。外腔倍频技术获得的紫外激光稳定性好,转换效率较高,是获得大功率紫外激光的常用方法,但对腔匹配条件要求苛刻,并且结构复

收稿日期: 2008-11-21; 收到修改稿日期: 2009-01-14

作者简介: 刘欢(1980-),女,博士后,主要从事全固态激光器的实验研究。E-mail: lh@mail.tsinghua.edu.cn

导师简介: 巩马理(1959-),男,教授,博士生导师,主要从事光电子与激光技术方面的研究。

E-mail: gongml@mail.tsinghua.edu.cn

杂^[6~15];内腔倍频技术获得的紫外激光转换效率较高,激光器结构紧凑,体积小巧^[16~22],同时由于腔内光学元件的减少,降低了光路调节难度,提高了激光器的便携性,有利于紫外激光器的广泛应用,适合于中小功率紫外激光的输出。目前,利用外腔倍频技术获得大功率和中小功率的 355 nm 紫外激光输出的报道不断出现^[5, 6, 9~15],但利用内腔倍频技术获得紫外激光的报道却相对缺乏^[18~22]。本文利用两块 LBO 晶体对 LD 端面抽运 Nd:YVO₄ 晶体连续和准连续 1064 nm 激光进行了内腔二倍频和三倍频,实现了紧凑型 355 nm 紫外激光器的稳定运转。

2 激光器腔型设计

在内腔倍频固体激光器中,常见的谐振腔有线性直腔,V型腔和Z型腔等折叠谐振腔。采用折叠腔可在腔内形成多个束腰,将倍频晶体放置到较小的束腰处可提高倍频效率,但腔内元件较多,导致损耗增大,折叠腔内一般会存在像散,影响光斑质量。采用线性直腔的优势是腔内元件较少,结构紧凑小巧,光路易于调节,对抽运功率的允许范围较大,而光束质量和倍频效率一般。实验中采用紧凑型平平直腔结构,通过控制腔长和仔细调节光路,得到了较好的实验结果。

激光晶体的热透镜效应会使腔内光束模式变差,发散角增加,从而影响到腔内倍频效率和输出功率。在腔内倍频激光器的设计过程中应首先考虑激光晶体的热透镜效应,再根据热透镜焦距设计出合适的腔结构。

端面抽运 Nd:YVO₄ 晶体的热透镜焦距公式可以表示为^[23,24]

$$\frac{1}{f_T} = \frac{\xi P_{\text{abs}}}{4\pi K_c \bar{w}_p^2} \left[\frac{dn}{dT} + (n-1) \right] \alpha_T, \quad (1)$$

式中 P_{abs} 为吸收的抽运功率, ξ 为热负荷比, K_c 为热导率, \bar{w}_p 为平均抽运光斑半径, n 为 Nd:YVO₄ 晶体的折射率, $\frac{dn}{dT}$ 为折射率温度系数, α_T 为热膨胀系数。实验中采用的 Nd:YVO₄ 晶体的各项参数为: $\xi=0.4$, $K_c=5.23 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$, $\bar{w}_p=200 \mu\text{m}$, $n=2.192$, $\frac{dn}{dT}=5.092 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_T=4.43 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。

注入抽运功率与激光晶体热透镜焦距的关系如图 1 所示。由图 1 可知,随着抽运功率的升高,激光晶体的热透镜焦距逐渐缩短,由于采用的是一块掺杂浓度较低的 Nd:YVO₄ 晶体,因此当抽运功率低

于 10 W 时,激光晶体的热透镜焦距在 150 mm 以上。

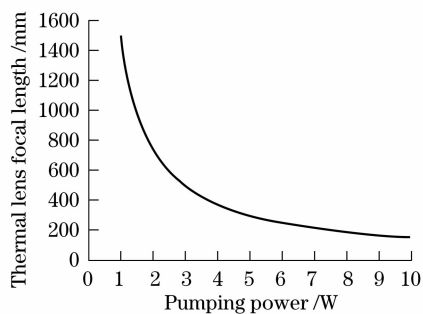


图 1 热透镜焦距与注入抽运功率的关系

Fig. 1 Curve for the thermal lens focal length versus the pumping power

由于热透镜效应的产生,使得平平腔变得类似于凹平腔。根据 ABCD 定律,当激光晶体的热透镜焦距为 220 mm,腔长 108 mm 时基频光在腔内的光斑分布如图 2 所示。基频光光斑位置以激光晶体的抽运光入射端面为基准,由此可知,基频光在激光晶体入射面的光斑半径为 268 μm ,在输出镜上的光斑半径为 192 μm ,基频光束腰位于输出镜上。为了获得较高的倍频效率,将二倍频和三倍频晶体靠近输出镜放置,如图 3 所示。随着抽运功率的升高,激光晶体的热透镜效应不断加剧,这严重影响着激光腔的稳定性。当腔长 108 mm 时激光晶体的热透镜焦距与基频光在激光晶体上光斑尺寸的关系如图 4 所示。根据已计算出的热透镜焦距与注入抽运功率的关系可知,注入抽运功率不高于 14 W 时,谐振腔均处于稳区中,这完全符合实验要求。

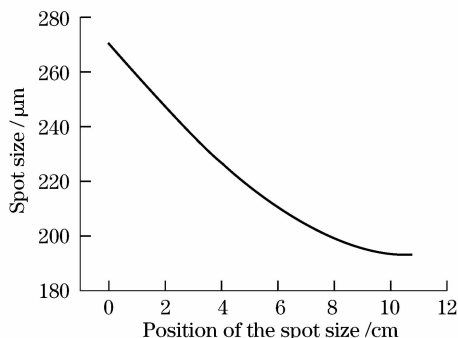


图 2 基频光在腔内各个位置的光斑尺寸

Fig. 2 Spot size of the fundamental wave at every position in the cavity

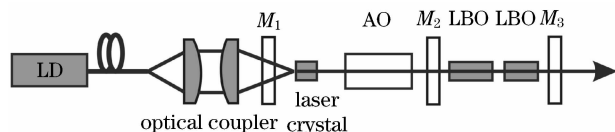


图 3 355 nm 紫外激光器实验结构示意图

Fig. 3 Experimental setup of the 355 nm ultraviolet laser

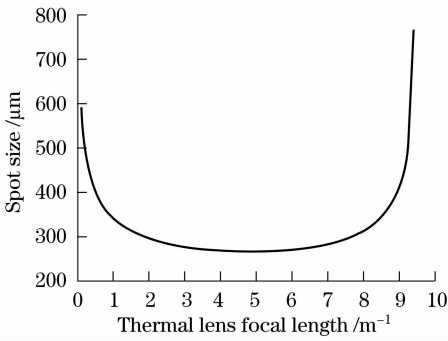


图4 基频光在激光晶体上光斑尺寸与热透镜焦距的关系
Fig. 4 Curve for the spot size of the fundamental wave at the laser crystal versus the thermal lens focal length

3 实验装置

LD 端面抽运 Nd:YVO₄ 内腔三倍频 355 nm 紫外激光器的结构如图 3 所示。谐振腔结构为紧凑型平平直腔,腔长仅 108 mm。采用 nLIGHT 公司 808 nm 光纤输出半导体激光器作为抽运源,最大输出功率 30 W,光纤芯径 400 μm,数值孔径 0.22。光学耦合系统可以将抽运光聚焦成直径约为 400 μm 的光斑,对 808 nm 激光的透过率大于 97%。增益介质为掺杂原子数分数 0.3% 的 Nd:YVO₄ 晶体,尺寸为 3 mm×3 mm×9 mm,其中入射端面镀有对 808 nm 和 1064 nm 高透的膜系,出射端面镀有对 1064 nm 高透的膜系。由于晶体的入射端面未镀有对 1064 nm 高反的膜系,图 3 中的 M₁ 平镜在靠近 Nd:YVO₄ 晶体的一面镀有 1064 nm 高反膜 (R>99%),但未镀有对 808 nm 高透的膜系,通过实际测量得知,M₁ 镜对 808 nm 的透过率大概为 82%。为了提高基频光的峰值功率,在腔内插入声光 Q 开关,通光长度 10 mm,重复频率从 1~50 kHz 连续可调。由于 M₁ 镜没有镀对 532 nm 高反的膜系,因此在腔内插入 M₂ 平镜,靠近声光(AO)Q 开关的一面镀有对 1064 nm 高透 (R<0.5%) 的膜系,靠近 LBO 晶体的一面镀有对 1064 nm 高透 (R<0.2%) 和 532 nm 高反 (R>99.5%) 的膜系,实现 532 nm 激光在谐振腔内来回振荡,以提高三倍频的转换效率。输出镜 M₃ 为平面镜,对 1064 nm,532 nm 和 355 nm 激光的透过率分别为 0.19%,0.57% 和 88.18%。

考虑各种非线性晶体的优缺点和实验中最佳相位匹配条件,实验中采用两块由福建福晶科技有限公司提供的 LBO 晶体作为二倍频和三倍频晶体。

二倍频晶体的参数为:I 类临界相位匹配,切割角为 $\theta=90^\circ, \varphi=12^\circ$,尺寸为 3 mm×3 mm×20 mm。晶体两面镀有对 1064 nm/532 nm 增透双色膜。三倍频晶体的参数为:II 类临界相位匹配,切割角为 $\theta=43.9^\circ, \varphi=90^\circ$,尺寸为 3 mm×3 mm×15 mm。谐振腔内的激光束在两块 LBO 晶体中的偏振匹配如图 5 所示。晶体两面镀有对 1064 nm/532 nm/355 nm 增透三色膜。由于允许温度分别只有 7.04 K·cm 和 3.47 K·cm,为了获得稳定的紫外光输出,设计并制作了一个半导体制冷和风冷相结合的高精度温度控制系统,该系统能够对 LBO 晶体的温度进行精确的控制,其温度控制精度可达到 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,完全能够满足实验中对 LBO 晶体温度控制的需求。

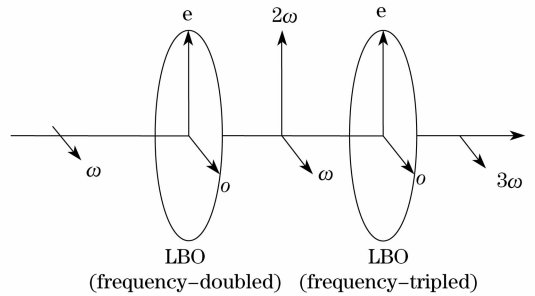


图5 LBO 晶体中倍频(I类),LBO 晶体中三倍频(II类)光束的偏振匹配情况
Fig. 5 Schematic of polarization states of the second (type I) and third (type II) harmonic for laser beams in two LBO crystals

4 实验结果及分析

不同重复频率下紫外激光器的输出功率随抽运功率变化曲线如图 6 所示。当重复频率 8 kHz,注入抽运功率 5.74 W 时,355 nm 激光平均功率为 133 mW,光光转换效率达到 2.32%,脉冲宽度 8.9 ns,峰值功率达到 1.86 kW。当重复频率 20 kHz,注入抽运功率 6.76 W 时,可获得 245 mW 的 355 nm 准连续输出,光光转换效率达到 3.62%,脉冲宽度为 8.0 ns,峰值功率达到 1.52 kW,此时获得了单脉冲能量大,峰值功率高的三倍频 355 nm 窄脉冲激光。重复频率 20 kHz 对应的平均功率较高的原因在于 Nd:YVO₄ 上能级寿命大约 90 μs,与此时间匹配的重复频率为 20 kHz,正好与设定的重复频率相吻合。

图 7 给出了重复频率 20 kHz 时,355 nm 激光的平均输出功率和三倍频光光转换效率(即 355 nm

激光输出功率与注入抽运功率之比)与注入抽运功率的关系。随着抽运功率的不断增加,355 nm 激光的平均输出功率和光光转换效率均随之增加,并未出现饱和或下降的态势,说明该台小型紫外激光器的腔形设计和腔内各元件的参数选择十分合理。

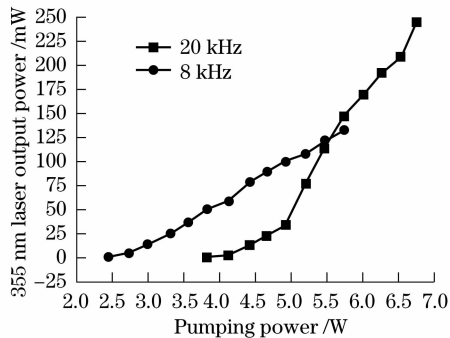


图 6 不同重复频率下 355 nm 激光输出功率与注入抽运功率的关系

Fig. 6 Curves for the 355 nm laser output power versus the pumping power at different repetition frequencies

图 8 给出了重复频率 20 kHz 时,355 nm 激光脉冲宽度和峰值功率与注入抽运功率的关系。随着抽运功率的增加,355 nm 激光的脉冲宽度不断减少,峰值功率相应增加。脉冲宽度最窄为 8.0 ns,峰值功率最高为 1.52 kW。图 9 所示为由示波器 (Tektronix TDS 3032B) 给出的重复频率 20 kHz,355 nm 激光输出功率 245 mW 时的紫外激光单脉冲形状图,脉冲宽度 8.0 ns。

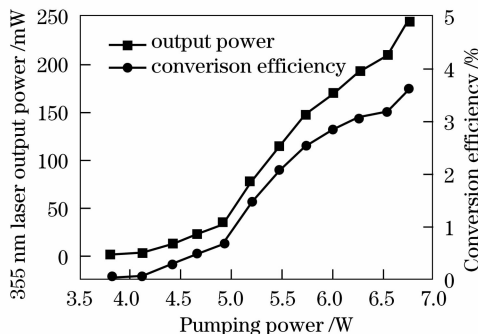


图 7 355 nm 激光输出功率和光光转换效率与注入抽运功率的关系

Fig. 7 Curves for the 355 nm laser output power and optical-to-optical conversion efficiency versus the pumping power

另外对 355 nm 激光输出功率的短期不稳定性进行了分析,每隔 1 min 读取一个输出功率,在 11 min 内,输出功率的不稳定性为

$$\Delta P / \bar{P} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \cdot \frac{1}{\bar{P}} \quad (n = 15). \quad (2)$$

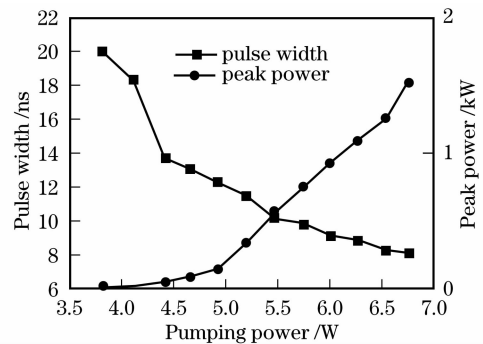


图 8 355 nm 激光脉冲宽度和峰值功率与注入抽运功率的关系

Fig. 8 Curves for the pulse width and peak power of the 355 nm laser versus the pumping power

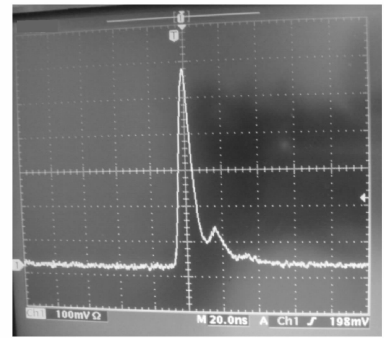


图 9 355 nm 激光单脉冲形状图

Fig. 9 Single pulse shape of the 355 nm laser

图 10 给出了重复频率 20 kHz,355 nm 激光输出功率 245 mW 时,11 min 之内的输出功率稳定性曲线,输出功率短期不稳定性为 4.2%。由于激光腔采用紧凑型直腔结构,导致高功率抽运条件下基频光斑质量受到影响,另外 532 nm 绿光存在一定的走离角,因此 355 nm 激光的远场光斑略呈现椭圆形,光束质量一般,当注入抽运功率高于 6.76 W 时,虽然 355 nm 紫外激光的平均输出功率随之升高,但由于此时基频光斑质量变差,导致倍频效率和和频效率下降。用 Spiricon M^2-200 S 光束质量分析仪测量了 355 nm 激光在输出功率最高时的光束质量因子 M^2 ,经过仔细调节,355 nm 激光的光束质量因子为 $M_x^2 = 8.82$, $M_y^2 = 6.7$,远场光斑形状如图 11 所示。

5 结 论

报道了一台 LD 端面抽运 Nd:YVO₄ LBO 内腔三倍频 355 nm 激光高效率、高峰值功率稳定输

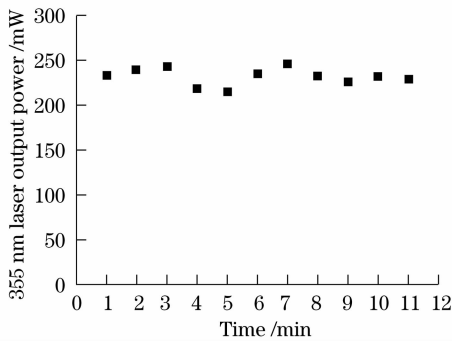


图 10 355 nm 激光在重复频率 20 kHz, 输出功率 245 mW 时的功率稳定性

Fig. 10 Short-term stability of the 355 nm laser with output power of 245 mW at the repetition frequency of 20 kHz

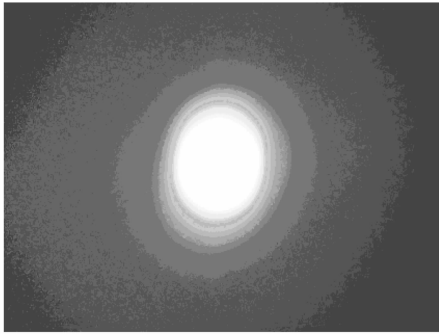


图 11 355 nm 激光的远场光斑图

Fig. 11 Far field spot shape of the 355 nm laser

出的小型紫外激光器。采用简单平直腔结构,腔长仅 108 mm。当注入抽运功率 6.76 W, 重复频率 20 kHz 时, 获得 245 mW 的 355 nm 准连续输出, 光光转换效率达到最高 3.62%, 脉冲宽度 8.0 ns, 峰值功率 1.52 kW。355 nm 激光平均输出功率短期不稳定性为 4.2%, M^2 因子为 6.7。全固态紫外激光器的小型化、便携化将进一步扩展紫外激光器的应用领域, 本工作成果将在小型紫外激光器产品化方面具有较重要的应用价值。

参 考 文 献

- 1 He Jingliang, Lu Xingqiang, Jia Yulei *et al.*. All-solid-state Nd : YVO₄ UV laser at 266 nm by fourth harmonic using BBO crystal [J]. *Acta Physica Sinica*, 2000, **49**(10): 2106~2108
何京良, 卢兴强, 贾玉磊等. BBO 四倍频全固态 Nd : YVO₄ 紫外激光器 [J]. *物理学报*, 2000, **49**(10): 2106~2108
- 2 Shen Gao, Tan Huiming, Fu Xihong *et al.*. 355 nm laser based on a Nd:YAG/Cr : YAG composite crystal [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(2): 191~194
申高, 檀慧明, 付喜宏等. Nd : YAG/Cr : YAG 键合晶体的 355 nm 激光器 [J]. *中国激光*, 2008, **35**(2): 191~194
- 3 L. B. Chang, S. C. Wang, A. H. Kung. Efficient compact watt-level deep-ultraviolet laser generated from a multi-kHz Q-switched diode-pumped solid-state laser system [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **209**(4-6): 397~401
- 4 Wu Ruikun. High-efficiency and compact blue source; intracavity frequency tripling by using LBO and BBO without the influence of birefringence [J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(6): 971~975
- 5 Wang Yun, Fan Xiuwei, Peng Qianqian *et al.*. LD pumped Nd : GdVO₄ crystal ultraviolet laser with LBO frequency tripling [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2005, **16**(5): 550~553
王云, 范秀伟, 彭倩倩等. LD 泵浦 Nd : GdVO₄ 晶体 LBO 三倍频紫外激光器 [J]. *光电子·激光*, 2005, **16**(5): 550~553
- 6 H. Kitano, T. Matsui, K. Sato *et al.*. Efficient 355-nm generation in CsB₃O₅ crystal [J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(4): 263~265
- 7 Wang Guiling, Geng Aicong, Bo Yong *et al.*. 28.4 W 266 nm ultraviolet-beam generation by fourth-harmonic generation of an all-solid-state laser [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **259**(2): 820~822
- 8 T. Kojima, S. Konno, S. Fujikawa *et al.*. 20-W ultraviolet-beam generation by fourth-harmonic generation of an all-solid-state laser [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(1): 58~60
- 9 K. Mizuuchi, A. Morikawa, T. Sugita *et al.*. Continuous-wave ultraviolet generation at 354 nm in a periodically poled MgO : LiNbO₃ by frequency tripling of a diode end-pumped Nd : GdVO₄ microlaser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, **85**(18): 3959~3961
- 10 Wan Yunfang, Han Kezhen, Zuo Chunhua *et al.*. An efficient diode-pumped Nd : YAG/LBO triple-frequency UV laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12): 2182~2186
万云芳, 韩克桢, 左春华等. 高效三倍频全固态 Nd : YAG/LBO 紫外激光器 [J]. *光子学报*, 2007, **36**(12): 2182~2186
- 11 Jia Fuqiang, Zheng Quan, Xue Qinghua *et al.*. High-power high-repetition-rate UV light at 355 nm generated by a diode-end-pumped passively Q-switched Nd : YAG laser [J]. *Appl. Opt.*, 2007, **46**(15): 2975~2979
- 12 Liu Xiaomeng, Li Daijun, Shi Peng *et al.*. Highly efficient third-harmonic generation with electro-optically Q-switched diode-end-pumped Nd : YVO₄ slab laser [J]. *Opt. Commun.*, 2007, **272**(1): 192~196
- 13 Yong Bi, Yan Feng, Huarong Gong *et al.*. High-average power THG of a diode-pumped Nd : YAG laser at 355 nm generated by LiB₃O₅ crystal [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(2): 91~92
- 14 Shi Chaohui, Fan Zhongwei, Zhang Ying *et al.*. High efficiency and high power all-solid-state ultraviolet laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1): 29~32
石朝辉, 樊仲维, 张瑛等. 高效率大功率全固态紫外激光器 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(1): 29~32
- 15 L. Guo, G. L. Wang, H. B. Zhang *et al.*. High-power picoseconds 355 nm laser by third harmonic generation based on CsB₃O₅ crystal [J]. *Appl. Phys. B*, 2007, **88**(2): 197~200
- 16 Li Jing. All-solid-state continuous wave intracavity frequency-tripled Nd : YVO₄-LiB₃O₄ blue laser using double-resonant approach [J]. *Opt. Commun.*, 2007, **277**(1): 114~117
- 17 Sun Zhipei, Li Ruining, Bi Yong *et al.*. Generation of 4.3-W coherent blue light by frequency-tripling of a side-pumped Nd : YAG laser in LBO crystals [J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(26): 6428~6433
- 18 C. Du, Z. Wang, J. Liu *et al.*. Investigation of intracavity third-harmonic generation at 1.06 μm in YCa₄O(BO₃)₃ crystals [J]. *Appl. Phys. B*, 2002, **74**(2): 125~127
- 19 Shen Gao, Tan Huiming, Liu Fei. LD pumped all-solid-state continuous-wave ultraviolet laser [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(5): 23~26
申高, 檀慧明, 刘飞. LD 抽运 355 nm 连续紫外激光器 [J]. *光电工程*, 2007, **34**(5): 23~26
- 20 Lu Yanfei, Zhang Xihe, Yao Zhihai *et al.*. Laser-diode pumped all-solid-state continuous-wave ultraviolet laser at 355 nm [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8): 1048~1050

吕彦飞,张喜和,姚治海等. 激光二极管抽运全固态 355 nm 连续波紫外激光器[J]. 中国激光, 2007, 34(8): 1048~1050

21 Chen Dezhang, Guo Hongqi, Qing Guangbi et al.. LD pumped 355 nm quasi-CW ultraviolet laser [J]. *Laser Technology*, 2006, 29(5): 514~515

陈德章,郭弘其,卿光弼等. LD 抽运 355 nm 准连续紫外激光器[J]. 激光技术, 2006, 29(5): 514~515

22 Zhang Jing, Fan Zhongwei, Qi Yan et al.. Efficient intracavity dispersion Q CW Nd: YAG UV laser[J]. *J. Optoelectronics*


Laser, 2006, 17(12): 1474~1476

张晶,樊仲维,亓岩等. 高效腔内调 Q Nd: YAG 紫外激光器[J]. 光电子·激光, 2006, 17(12): 1474~1476

23 H. Y. Shen. Oscillation condition of simultaneous multiple wavelength lasing [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 1990, 7(4): 174~176

24 Y. F. Chen. CW dual-wavelength operation of a diode-end-pumped Nd: YVO₄ laser [J]. *Appl. Phys. B*, 2000, 70(4): 475~478

· 广 告 ·

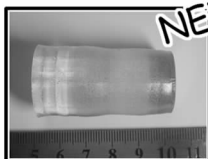


全球领先的激光晶体和非线性光学晶体制造商

LASER
World of PHOTONICS 2009
德国慕尼黑激光、光电展
2009年6月15-18日
欢迎光临我们的展位: Hall B1 #175

磁光晶体系列


铽镱石榴石 (TGG)



NEW

产品系列

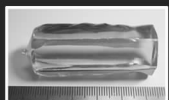
1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光、蓝光晶体组件
4. 声光和电光晶体
5. 双折射晶体
6. 闪烁晶体
7. 激光光学产品
8. 通讯光学产品
9. 光通讯薄膜滤光片
10. 红外光学产品
11. Q-开关、温控炉等




BBO Q-开关

BBO 普克尔盒的应用


- 1、高重复频率DPSS中Q 开关的理想选择
- 2、用于高重复频率再生放大系统的控制
- 3、腔倒空系统
- 4、削波



超长 Nd:YVO₄ 晶体



光学产品



Q开关驱动源

地址: 中国福建省福州市杨桥西路155号 电话: +86-591-83710533 传真: +86-591-83711593 [Http://www.castech.com](http://www.castech.com) E-mail:sales@castech.com