

紧凑型 LD 端面抽运 Nd :YAG 内腔三倍频 准连续 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)

(2008 年 10 月 13 日收到,2008 年 12 月 17 日收到修改稿)

报道了一台 LD 端面抽运 Nd :YAG 晶体内腔三倍频 355 nm 激光高效率、高峰值功率准连续输出的全固态紫外激光器.激光腔采用紧凑型平平直腔,腔长仅 106 mm.当注入抽运功率为 5.73 W、重复频率为 9 kHz 时,获得 163 mW 的 355 nm 激光准连续输出,光光转换效率达到最高 2.84%.当注入抽运功率为 6.7 W 重复频率为 5 kHz 时,获得最高 174 mW 的 355 nm 激光准连续输出,输出功率短期不稳定性为 5%,光束质量因子 M^2 为 3.79.当注入抽运功率为 5.73 W、重复频率为 2 kHz 时,获得 112 mW 的 355 nm 激光准连续输出,峰值功率最高达到 9.15 kW.通过采用内腔倍频技术和设计合理的腔结构,实现了中小功率准连续输出的全固态紫外激光器的小型化、便携化,进一步拓宽了紫外激光器的应用领域.

关键词:LD 端面抽运,内腔三倍频,声光调 Q ,紫外激光

PACC:4260D,4260F,7280H,7840

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、体积小和性能稳定等诸多特点,已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 :YAG, Nd :YVO₄ 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均不断出现^[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].本文中,我们利用两块 LBO 晶体对 LD 端面抽运 Nd :YAG 晶体声光调 Q 1064 nm 激光进行了内腔二倍频和三倍频,实现了紧凑型 355 nm 紫外激光器稳定运转.

2. 理论分析

2.1. 倍频与和频晶体的选择

三次谐波的产生分为两个部分.在第一个晶体(二倍频)中,部分基频光转换为二次谐波,接着在第二个晶体(三倍频)中,未转换的基频光与二次谐波和频产生三次谐波.对于三倍频,有 $\omega_2 = 2\omega_1$, $\omega_3 = 3\omega_1$.为了提高倍频效率和和频光的功率输出,相位匹配条件应尽量满足,即 $\Delta k = 0$.令参量 S 为三倍频晶体中二次谐波功率与总功率之比,即 $S = P_{2\omega} / (P_{\omega} + P_{2\omega})$.当 ω 和 2ω 输入的光子匹配为 1:1, $S = 0.67$,此时理论上在小信号近似的情况下,输入光束都能转换成三次谐波.因此在实验中为了得到高转换效率,高功率的 355 nm 激光输出,应尽可能提高二次谐波转换效率.根据理论计算,Ⅰ类(二倍频晶体)和Ⅱ类(三倍频晶体)组合时, $S = 0.67$;Ⅱ类(二倍频晶

[†] E-mail: lh@mail. tsinghua. edu. cn

体和II类(三倍频晶体)组合时, $S = 0.41$ II类(二倍频晶体)和I类(三倍频晶体)组合时, $S = 0.41$ [22]. 因此根据最佳匹配方案,我们在实验中选择I类(二倍频晶体)和II类(三倍频晶体)组合.

目前已报道的基于 Nd:YAG 晶体 1064 nm 激光二倍频非线性晶体主要是 KTP 和 LBO 两种晶体 [3,4], 而三倍频非线性晶体主要是 LBO, BBO, CBO 和 CLBO 晶体 [4,6,7,11,12]. 选择倍频晶体时,晶体的匹配类型、匹配角度、有效非线性系数、走离角、允许角和允许温度等参数都要考虑. 这些参数决定着对倍频晶体的切割角度和长度的选择,同时也决定着激光腔的设计. 通过 SNLO 软件,我们分别计算了室温 300 K 时 KTP 和 LBO 晶体对 1064 nm 激光二倍频时的相位匹配参数,以及 LBO, BBO 和 CLBO 晶体对 1064 nm 激光和 532 nm 激光和频时的相位匹配参数,结果如表 1 和表 2 所示.

表 1 KTP 和 LBO 晶体在 1064 nm 激光倍频时的相位匹配参数及允许参量对比

相位匹配类型	KTP II	LBO I
相位匹配角($^{\circ}$)	$\theta = 90, \varphi = 23.5$	$\theta = 90, \varphi = 11.3$
有效非线性系数/ $\text{pm} \cdot \text{V}^{-1}$	3.34	0.832
走离角/mrad	4.13	6.88
允许角/mradcm	62.68	9.63
允许温度/Kcm	25.41	7.04

表 2 LBO, BBO 和 CLBO 晶体在 1064 和 532 nm 激光和频时的相位匹配参数及允许参量对比

相位匹配类型	LBO		BBO		CLBO	
	I	II	I	II	I	II
相位匹配角($^{\circ}$)	$\theta = 90, \varphi = 37.1$	$\theta = 42.5, \varphi = 90$	$\theta = 31.3$	$\theta = 38.2$	$\theta = 38.7$	$\theta = 48.3$
有效非线性系数/ $\text{pm} \cdot \text{V}^{-1}$	0.715	0.533	2.02	1.3	0.67	1.01
走离角/mrad	18.17	9.35	72.27	77.66	37.1	37.3
允许角/mradcm	1.21	3.53	0.29	0.39	0.64	0.91
允许温度/Kcm	17.54	3.47	15.43	16.69	20.27	20.27

KTP 晶体作为一种综合性能非常优秀的非线性晶体具有透光波段宽、非线性系数和电光系数大、允许参量大以及相对高损伤阈值等优点. KTP 晶体的 II 类相位匹配方式被广泛应用于倍频 1064 nm 激光

以获得 532 nm 绿光输出 [3,18,21]. 与 KTP 晶体相比, LBO 晶体虽然有效非线性系数比 KTP 晶体低一些,但透光范围和匹配范围更宽,并且具有比 KTP 高得多的损伤阈值(可达 26 GW/cm^2),适合于内腔倍频 [20,22]. LBO 晶体的 I 类相位匹配方式可以用来倍频 1064 nm 激光来获得 532 nm 激光输出,此时产生的二次谐波与基波具有相互垂直的偏振态,恰好能满足 LBO(II 类)三倍频的匹配条件,偏振损耗小. LBO 晶体的有效非线性系数虽然低于 KTP 晶体,却具有走离角小的优点. 因此实验中,我们选用比较长的 LBO 晶体来弥补其有效非线性系数不高的缺点.

三倍频 355 nm 激光是通过非线性晶体对 1064 nm 基波和二次谐波的和频产生的. LBO, BBO, CLBO 晶体是目前最为常用的用于紫外波段频率转换的非线性晶体. 表 2 给出了这三种晶体在 1064 nm 激光和 532 nm 激光和频时的相位匹配参数和允许参数. 由表 2 可知, BBO 晶体的有效非线性系数最大,但其接受角太小、走离角大、晶体有效透光长度短,不利于提高转换效率. 另外 BBO 晶体存在潮解和难以生长出较大尺寸晶体的问题,且价格较贵. CLBO 晶体的非线性特性介于 BBO 晶体和 LBO 晶体之间,已被证明是一种非常优良的三倍频和四倍频晶体,但价格较为昂贵 [7]. LBO 晶体在紫外波段的有效非线性系数虽然不高,但其走离角小、允许角大、破坏阈值高、晶体生长技术成熟,实验中仍可通过选择比较长的 LBO 晶体来弥补其有效非线性系数不高的缺点.

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,我们采用了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. 二倍频晶体的参数如下: I 类临界相位匹配,切割角为 $\theta = 90^{\circ}, \varphi = 12^{\circ}$, 尺寸为 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$. 晶体两面镀有对 1064 nm/532 nm 增透双色膜. 三倍频晶体的参数如下: II 类临界相位匹配,切割角为 $\theta = 43.9^{\circ}, \varphi = 90^{\circ}$, 尺寸为 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$. 谐振腔内的激光束在两块 LBO 晶体中的偏振匹配如图 1 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 和 3.47 Kcm, 为了获得稳定的紫外光输出,我们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 晶体温度控制的需要.

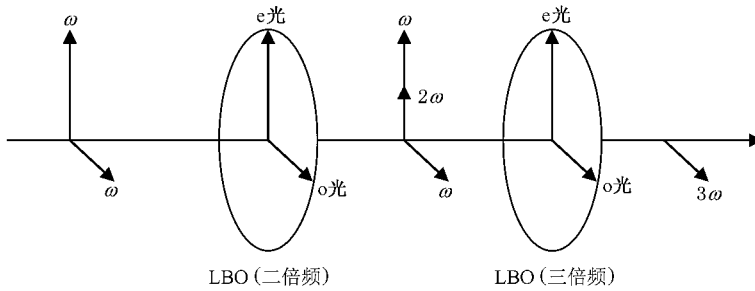


图1 LBO 晶体中倍频(I 类)与 LBO 晶体中三倍频(II 类)光束的偏振匹配情况

2.2. 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.但通过合理的腔参数设计,可以实现比较理想的倍频光输出.实验中我们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:YAG 晶体的热透镜焦距公式可以表示为^[23-24]

$$f_T = \frac{2\pi K_c \bar{\omega}_p^2}{P_h} \left[\frac{dn}{dT} + n(1 + \nu)\alpha_T + n^3 \alpha_T C_r \right]^{-1}, \quad (1)$$

式中, $P_h = \xi \eta_a P_{in}$, ξ 是热产生系数, $\xi = 0.2$, $\eta_a = 1 - \exp(-\alpha L)$ 为激光棒对抽运光的吸收效率, P_{in} 是注入抽运功率, $\alpha = 3.41 \text{ cm}^{-1}$, $L = 9 \text{ mm}$, $K_c = 0.13 \text{ W/Kcm}$, $n = 1.82$, $\frac{dn}{dT} = 7.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\nu = 0.25$, $\alpha_T = 7.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $C_r = 0.017$, $\bar{\omega}_p = 225 \text{ }\mu\text{m}$. 注入抽运功率与激光晶体热透镜焦距的关系如图 2 所示.由图 2 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,当抽运功率低于 6.4 W 时,激光晶体的热透镜焦距在 106 mm 以上.

由于热透镜效应的产生,使得平-平腔变得类似

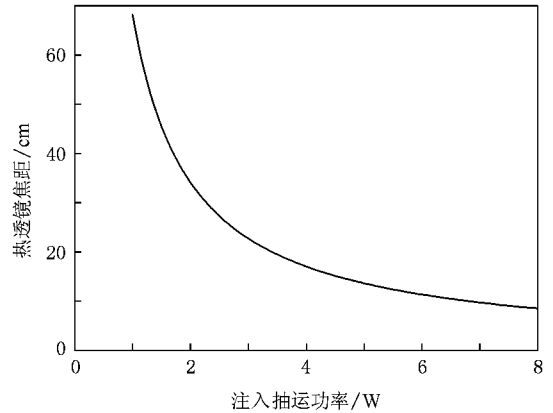


图2 注入抽运功率与热透镜焦距的关系

于凹-平腔.根据 ABCD 定律,当激光晶体的热透镜焦距为 118 mm,腔长为 106 mm 时基频光在腔内的光斑分布如图 3 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 344 μm ,在输出镜上的光斑半径为 109 μm ,基频光束腰位于输出镜上.为了获得较高的倍频效率,我们将二倍频和三倍频晶体靠近输出镜放置.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.当腔长为 106 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

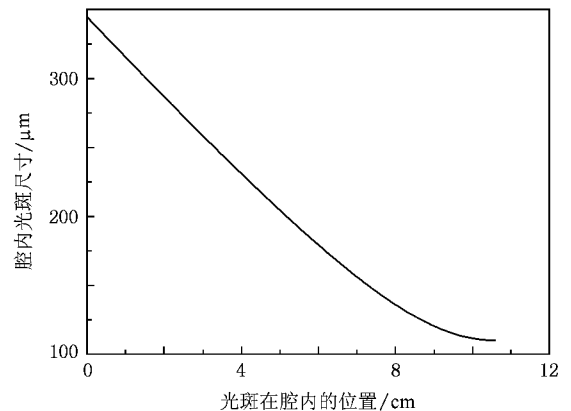


图3 基频光在腔内各个位置的光斑尺寸

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 6.6 W 时,谐振腔均处于稳区中,这完全符合我们的实验要求。

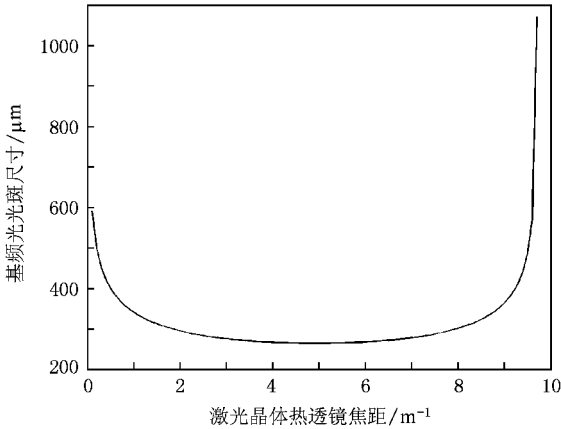


图 4 激光晶体的热透镜焦距与基频光在激光晶体上光斑尺寸关系

3. 实验装置

LD 端面抽运 Nd:YAG 内腔三倍频 355 nm 紫外

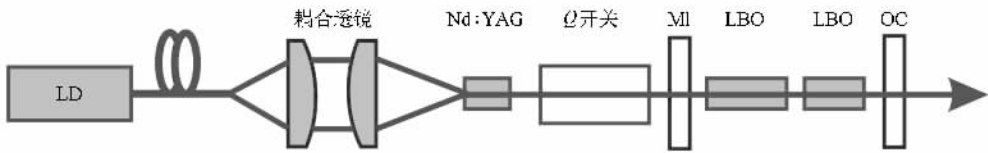


图 5 355 nm 紫外激光器实验结构示意图

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。当重复频率为 5 kHz,注入抽运功率为 6.7 W 时,355 nm 激光平均功率达到最高 174 mW,脉冲宽度为 8.93 ns。当声光重复频率为 9 kHz,注入抽运功率为 5.73 W 时,可获得 163 mW 的 355 nm 激光准连续输出,光光转换效率达到最高 2.84%,脉冲宽度为 14.23 ns。当声光重复频率为 2 kHz,注入抽运功率为 5.73 W 时,355 nm 激光的平均功率为 112 mW,脉冲宽度为 6.393 ns,355 nm 激光峰值功率达到最高 9.15 kW,此时我们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 5 kHz 对应的平均功率较高的原因在于 Nd:YAG 上能级寿命大约为 230 μs,与此时间

激光器的结构如图 5 所示。谐振腔结构为紧凑型平平直腔,腔长仅为 106 mm。采用 nLIGHT 公司生产的 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,光纤芯径为 400 μm,数值孔径为 0.22。光学耦合系统可以将抽运光聚焦成直径约为 450 μm 的光斑,对 808 nm 激光的透过率大于 95%。增益介质原子分数为 1.1% 掺杂的 Nd:YAG 晶体,尺寸为 2.5 mm × 2.5 mm × 9 mm,其中入射端面镀有对 808 nm 高透和 1064 nm 高反的膜系,在谐振腔中作为一个端镜;出射端面镀有对 1064 nm 高透的膜系。为了提高基频光的峰值功率,我们在腔内插入声光 Q 开关,通光长度 10 mm,重复频率从 1—50 kHz 连续可调。由于激光晶体的入射面没有镀对 532 nm 高反的膜系,因此在腔内插入 M1 平镜,靠近声光 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。输出镜为平面镜,对 1064,532 和 355 nm 激光的透过率分别为 0.19%, 0.57% 和 88.18%。

匹配的重复频率为 4.35 kHz,而 5 kHz 与此接近,其他频率与此相差较远。

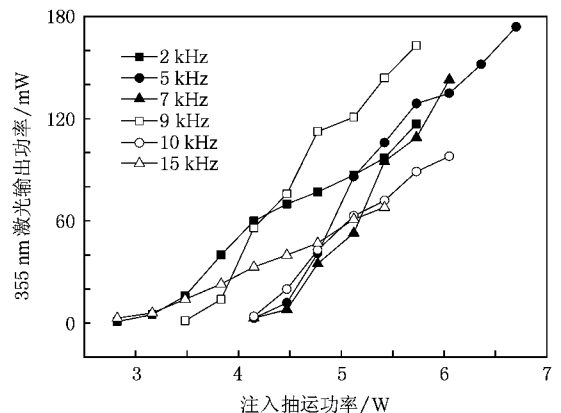


图 6 不同重复频率下 355 nm 激光输出功率与注入抽运功率的关系

图 7 给出了不同重复频率下 355 nm 激光输出平均功率最大时,脉冲宽度和峰值功率与重复频率的关系.随着重复频率的升高,脉冲宽度不断增加,峰值功率不断降低.当重复频率为 2 kHz 时,355 nm 激光的脉冲宽度为最窄 6.393 ns,峰值功率为最高 9.15 kW;当重复频率为 15 kHz 时,355 nm 激光的脉冲宽度为最宽 22.66 ns,峰值功率为最低 0.2 kW.图 8 所示的是由示波器(Tektronix TDS 3032B)给出的重复频率为 9 kHz,355 nm 激光输出功率为 163 mW 时的紫外激光单脉冲形状,脉冲宽度为 14.23 ns.

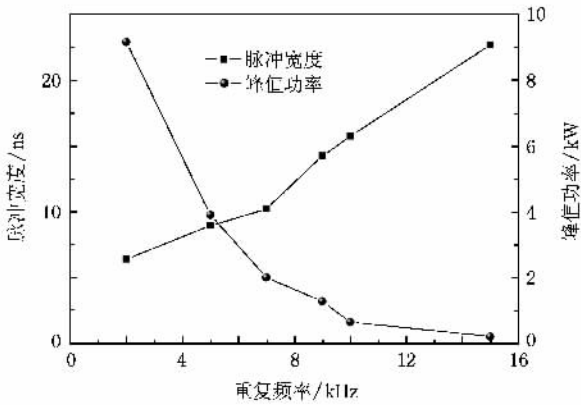


图 7 355 nm 激光脉冲宽度和峰值功率与重复频率的关系

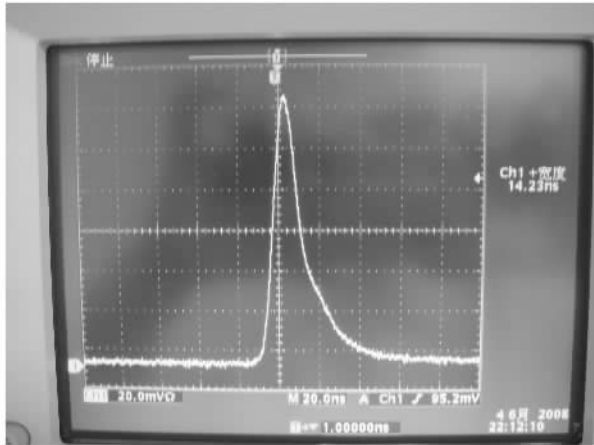


图 8 355 nm 激光单脉冲形状

另外,我们对 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 15 min 内输出功率的不稳定度为

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

图 9 给出了重复频率为 5 kHz,355 nm 激光输出功率为 174 mW 时,15 min 之内的输出功率稳定性曲线.输出功率短期不稳定性为 5%.同时我们用 Spiricon M^2 -200S 型光束质量分析仪测量了此时 355 nm 激光的光束质量因子 M^2 .经过仔细调节,紫外激光的光束质量因子为 $M_x^2 = 3.79, M_y^2 = 4.01$,远场光斑形状如图 10 所示.

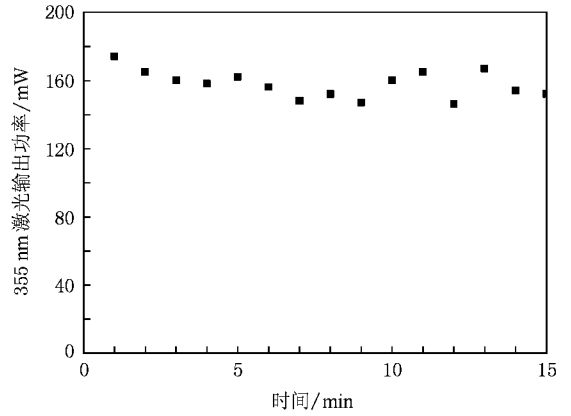


图 9 355 nm 激光在重复频率为 5 kHz,输出功率为 174 mW 时的功率稳定性

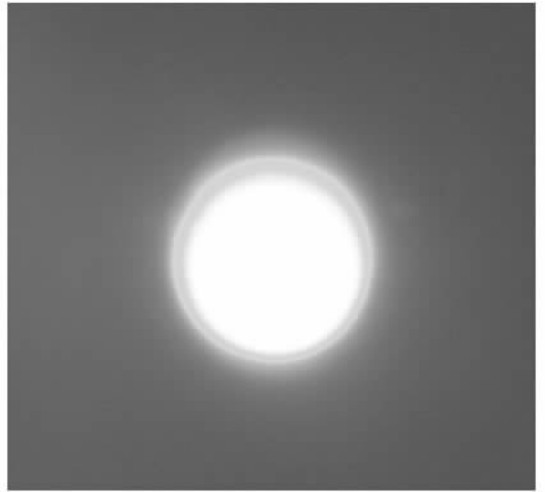


图 10 355 nm 激光的远场光斑

5. 结 论

本文报道了一台 LD 端面抽运 Nd:YAG LBO 内腔三倍频 355 nm 激光高效率、高峰值功率稳定输出的小型紫外激光器.采用简单平直腔结构,腔长仅为 106 mm.当注入抽运功率为 5.73 W,重复频率为 9 kHz 时,获得 163 mW 的 355 nm 激光准连续输出,

光光转换效率达到最高 2.84%。当注入抽运功率为 6.7 W, 重复频率为 5 kHz 时, 获得最高 174 mW 的 355 nm 激光准连续输出, 输出功率短期不稳定性为 5%, 光束质量因子 M^2 为 $M_x^2 = 3.79, M_y^2 = 4.01$ 。当注入抽运功率为 5.73 W, 重复频率为 2 kHz 时, 获得 112 mW 的 355 nm 激光准连续输出, 脉冲宽度为 6.393 ns, 355 nm 激光峰值功率达到最高 9.15 kW。

实验结果以及整台激光器的小型化程度均达到了国内领先水平, 也是目前所了解的在国内关于中小功率紫外激光器中最好的结果之一。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, 我们的工作成果将在小型紫外激光器产品化方面具有重要的应用价值。

- [1] He J L, Lu X Q, Jia Y L, Man B Y 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 2106 (in Chinese) [何京良、卢兴强、贾玉磊、满宝元 2000 物理学报 **49** 2106]
- [2] Shen G, Tan H M, Fu X H, Nan N, Zhao Y H 2008 *Chin. J. Lasers* **35** 191 (in Chinese) [申 高、檀慧明、付喜宏、南 楠、赵玉环 2008 中国激光 **35** 191]
- [3] Chang L B, Wang S C, Kung A H 2002 *Opt. Commun.* **209** 397
- [4] R K Wu 1993 *Appl. Opt.* **32** 971
- [5] Wang Y, Fan X W, Peng Q Q, Liu J, He J L 2005 *J. Optoelectron. Laser* **16** 550 (in Chinese) [王 云、范秀伟、彭倩倩、刘 杰、何京良 2005 光电子激光 **16** 550]
- [6] Kitano H, Matsui T, Sato K, Ushiyama N, Yoshimura M, Mori Y, Sasaki T 2003 *Opt. Lett.* **28** 263
- [7] Wang G L, Geng A C, Bo Y, Li H Q, Sun Z P, Bi Y, Cui D F, Xu Z Y, Yuan X, Wang X Q, Shen G Q, Shen D Z 2006 *Opt. Commun.* **259** 820
- [8] Kojima T, Konno S, Fujikawa S, Yasui K, Yoshizawa K, Mori Y, Sasaki T, Tanaka M, Okada Y 2000 *Opt. Lett.* **25** 58
- [9] Mizuuchi K, Morikawa A, Sugita T, Yamamoto K, Pavel N, Taira T 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 3959
- [10] Wan Y F, Han K Z, Zuo C H, He J L 2007 *Acta Photon.* **36** 2182 (in Chinese) [万云芳、韩克祯、左春华、何京良 2007 光子学报 **36** 2182]
- [11] Jia F Q, Zheng Q, Xue Q H, Bu Y K, Qian L S 2007 *Appl. Opt.* **46** 2975
- [12] Liu X M, Li D J, Shi P, Haas C R, Schell A, Wu N L, Du K M 2007 *Opt. Commun.* **272** 192
- [13] Bi Y, Feng Y, Gong H R, Zhang H B, Xu Z Y 2003 *Chin. Opt. Lett.* **1** 91
- [14] Shi C H, Fan Z W, Zhang Y, Zhang J, Niu G, Wang P F, Cui J F, Pei B 2007 *Chin. J. Lasers* **34** 27 (in Chinese) [石朝辉、樊仲维、张 瑛、张 晶、牛 岗、王培峰、崔建丰、裴 博 2007 中国激光 **34** 27]
- [15] Guo L, Wang G L, Zhang H B, Cui D F, Wu Y C, Lu L, Huang J Y, Xu Z Y 2007 *Appl. Phys. B* **88** 197
- [16] Jing L 2007 *Opt. Commun.* **277** 114
- [17] Sun Z P, Li R N, Bi Y, Yang X D, Bo Y, Hou W, Liu X C, Zhang H B, Cui D F, Xu Z Y 2004 *Opt. Express* **12** 6428
- [18] Du C, Wang Z, Liu J, Xu X, Fu K, Xu G, Wang J, Shao Z 2002 *Appl. Phys. B* **74** 125
- [19] Shen G, Tan H M, Liu F 2007 *Opto-Electron. Eng.* **34** 23 (in Chinese) [申 高、檀慧明、刘 飞 2007 光电工程 **34** 23]
- [20] Lü Y F, Zhang X H, Yao Z H, Tan H M, Xia J, Wang Z Q, Li C L, Zhang F D 2007 *Chin. J. Lasers* **34** 1048 (in Chinese) [吕彦飞、张喜和、姚治海、檀慧明、夏 菁、王志强、李昌立、张凤东 2007 中国激光 **34** 1048]
- [21] Chen D Z, Guo H Q, Qing G B, Liu Y, Gao J B, Lu Y B 2006 *Laser Technol.* **29** 514 (in Chinese) [陈德章、郭弘其、卿光弼、刘 韵、高剑波、路英宾 2006 激光技术 **29** 514]
- [22] Zhang J, Fan Z W, Qi Y, Bi Y, Shi C H, Zhang Y, Pei B, Zhao J B 2006 *J. Optoelectron. Laser* **17** 1474 (in Chinese) [张 晶、樊仲维、元 岩、毕 勇、石朝辉、张 瑛、裴 博、赵剑波 2006 光电子激光 **17** 1474]
- [23] Shen H Y 1990 *Chin. Phys. Lett.* **7** 174
- [24] Chen Y F 2000 *Appl. Phys. B* **70** 475

Compact LD end-pumped Nd :YAG intracavity frequency-tripled quasi-continuous 355 nm laser

Liu Huan[†] Gong Ma-Li

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

(Received 13 October 2008 ; revised manuscript received 17 December 2008)

Abstract

A diode-end-pumped Nd :YAG intracavity frequency-tripled quasi-continuous 355 nm laser has been demonstrated. The efficient third-harmonic generation with high peak power and stable operation is generated by a lithium triborate (LBO) crystal successfully. The laser cavity is a simple plane-to-plane linear cavity , which is short and compact. An average 355 nm laser output power of 163 mW is obtained at a pump power of 5.73 W and a pulse repetition rate of 9 kHz , with the highest optical-to-optical efficiency of 2.84% . The highest average 355 nm laser output power is up to 174 mW at a pump power of 6.7 W and a pulse repetition rate of 5 kHz. The instability of the output power of 174 mW is less than 5% and the beam quality M^2 factor is 3.79. An average 355 nm laser output power of 112 mW is achieved at a pump power of 5.73 W and a pulse repetition rate of 2 kHz and the peak power reaches the highest value of 9.15 kW. Compared with the technology of external cavity frequency conversion , the technology of intracavity frequency conversion can cut down some of the optical elements in the laser cavity , reduce the size of the laser , and enhance the handiness of the laser. These advantages will benefit the wide applications of the ultraviolet lasers.

Keywords : LD end-pumped , intracavity frequency-tripled , acousto-optic Q -switch , ultraviolet laser

PACC : 4260D , 4260F , 7280H , 7840

[†] E-mail : lh@mail.tsinghua.edu.cn