

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0105-03

LD 抽运的 Nd:YAG 内腔倍频全固态蓝光激光器

李瑞宁¹ 余建华² 来引娟¹ 马小涛¹

(¹ 山西大学电子信息技术系, 太原 030006)
(² 深圳大学科技研究院, 深圳 518060)

提要 报道了一个 LD 抽运的 Nd:YAG+LBO 蓝光倍频激光器,采用折叠的 Semi-monolithic 腔,实现了高效倍频运转,蓝光输出达到 42 mW,转换效率为 4.2%。

关键词 LD 抽运, 全固态蓝光激光器, 内腔倍频

中图分类号 TN248.1⁺3 **文献标识码** A

LD Pumped Nd:YAG/LBO Blue Laser

LI Rui-ning¹ YU Jian-hua² LAI Yin-juan¹ MA Xiao-tao¹

(¹ Department of Electronics and Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006)
(² Institute of Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060)

Abstract In this paper a kind of laser-diode pumped and frequency doubled Nd:YAG/LBO blue laser is reported. It utilizes a folded Semi-monolithic cavity and archives high output operation. The blue light output reaches 42 mW and its conversion efficiency is 4.2%.

Key words LD pumped, all solid-state blue laser, intercavity double-frequency

1 引言

全固态蓝光激光器作为一种新的相干光源,具有体积小、结构紧凑、寿命长、效率高、运转可靠等一系列优点,能够在高密度光存储、数字视频技术、彩色激光显示、激光印刷、激光医学、生化技术、材料科学和水下光通信等许多领域得到广泛的应用。

目前产生蓝色激光的全固态激光器主要有三种,即半导体蓝光激光器^[1-3]、和频率上转换蓝光激光器^[4-8];SHG (Second Harmonic Generation)法产生的蓝光激光器^[9-24]。近几年来,蓝光激光二极管获得了迅猛的发展,现在市场上已有蓝光 LD 出售,但价格高功率低,因此离真正的实用化还有一段距离。和频率上转换蓝光激光器结构复杂,对器件要求高,也难以实用化。通过二次谐波(SHG)将

LD 的近红外输出直接倍频而得到蓝色激光的方案,能够实现高的光-光转换效率。但它要求 LD 必须实现单管、单频运转,再加上技术上的一些难度,限制了这种方法的应用;利用 LD 抽运 Nd:YAG 及 Nd:YVO₄,实现⁴F_{3/2}→⁴I_{9/2}准三能级的 946 nm 或 914 nm 激光振荡,并运用 KN 和 LBO 等非线性晶体通过内腔倍频得到蓝色激光输出是目前获得全固态蓝光激光器最有效的手段。

2 准三能级系统的工作原理

在 Nd³⁺ 的⁴F_{3/2}→⁴I_{9/2} (0.946 μm)跃迁中,激光下能级处于基态能级的某个子能级,距基态 857 cm⁻¹,室温下有少量的粒子数布居,由准三能级系统激光上能级和激光下能级的速率方程^[27]:

$$\frac{dN_b(r, z)}{dt} = f_b R r_p(r, z) - \frac{N_b(r, z) - N_b^0}{\tau} - \frac{f_b c \sigma [N_b(r, z) - N_a(r, z)]}{n} S_{S_0}(r, z) \quad (1a)$$

$$\frac{dN_a(r, z)}{dt} = -f_a R r_p(r, z) - \frac{N_a(r, z) - N_a^0}{\tau} - \frac{f_a c \sigma [N_b(r, z) - N_a(r, z)]}{n} S_{S_0}(r, z) \quad (1b)$$

可以得到阈值以上的稳态解和阈值抽运功率:

$$\Delta N(r, z) = \frac{\tau_f R r_p(r, z) - N_a^0}{1 + (c\sigma\tau/n) f S s_0(r, z)}, \quad P_{th} = \frac{\pi h \nu_p}{2 f \tau \eta_p [1 - \exp(-\alpha L)]} (\omega_0^2 + \omega_p^2) \left(\frac{\delta}{2\sigma} + N_a^0 L \right) \quad (2)$$

从阈值抽运功率表达式可以看到准三能级系统高效运转必须解决好以下三个关键问题:首先是激光晶体的长度优化,第一项和第三项中都包含了激光晶体的长度,一方面,晶体越长,吸收的抽运功率就越多。但是,晶体越长会带来更严重的重复吸收损耗,因此,激光晶体存在着一个最佳长度;其次是通过制冷减少激光下能级粒子集居数 N_a^0 ,降低晶体的重复吸收,这样才有利于准三能级系统的运转;第三是通过抽运光束的整形和谐振腔的选择使抽运模与激光振荡模在激光晶体中达到精确匹配。除了这三个问题以外,准三能级系统运转还存在着一个

很重要的问题,那就是与四能级系统跃迁的竞争,由于 Nd^{3+} 的 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ ($0.946 \mu\text{m}$) 与 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ ($1.064 \mu\text{m}$) 的跃迁处于同一个激光上能级而对应于不同的激光下能级,四能级又具有比准三能级大一个数量级的发射截面,很容易起振,这就需要通过谐振腔膜系的选择来抑制四能级的起振。

3 实验装置和实验结果

实验装置如图 1 所示。

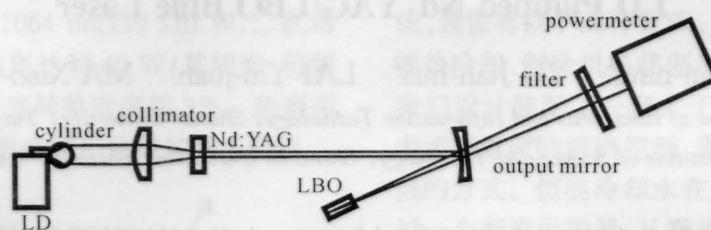


图 1 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Nd:YAG/LBO blue laser

1) LD 发光面为 $1 \times 200 \mu\text{m}$, 由 $\phi 600 \mu\text{m}$ 的柱面镜准直, 然后用 $f = 10 \text{ mm}$ 的非球面透镜聚焦, 焦点位于 Nd:YAG 的端面, 激光二极管由低噪声电源驱动, 并由控温仪补偿由于外界环境和电流变化引起的波长漂移, 当抽运电流为 2.2 A 时输出功率为 2 W , 相对 Nd:YAG 的吸收峰波长漂移 $\leq 0.1 \text{ nm}$ 。

2) Nd:YAG 晶体的浓度为 1% , 尺寸为 $\phi 2 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$, 其中一个表面作为谐振腔镜: 对 $0.946 \mu\text{m}$ 高反, $R_{0.946 \mu\text{m}} \geq 99.8\%$, 对 808 nm 增透, $T_{0.808 \mu\text{m}} \geq 95\%$, 同时对 $1.06 \mu\text{m}$ 增透, $T_{1.06 \mu\text{m}} \geq 30\%$; 另一个面是平面, 对 $0.946 \mu\text{m}$ 和 $1.06 \mu\text{m}$ 增透, $R_{0.94 \mu\text{m}} \leq 0.1\%$, $R_{1.06 \mu\text{m}} \leq 0.5\%$ 。晶体除表面留一对 $\phi 1 \text{ mm}$ 的通光孔外, 用铝箔封装在无氧铜制作的热沉中, 整个热沉被 TEC 制冷到 0°C 附近。

3) 输出镜的曲率半径为 50 mm , 对 $0.946 \mu\text{m}$ 高反, $R_{0.946 \mu\text{m}} \geq 99.8\%$, 对 473 nm 和 $1.06 \mu\text{m}$ 增透, $T_{0.946 \mu\text{m}} \geq 90\%$, $T_{1.06 \mu\text{m}} \geq 30\%$; 另一个面是平面, 对 $0.473 \mu\text{m}$ 增透, $R_{0.473 \mu\text{m}} \geq 0.1\%$ 。

4) LBO 晶体的尺寸为 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, I 类角度匹配, 其中一个表面对 $0.946 \mu\text{m}$ 和 $0.473 \mu\text{m}$ 高反, 其中 $R_{0.946 \mu\text{m}} \geq 99.8\%$, 另一个表面对

$0.946 \mu\text{m}$ 和 $0.473 \mu\text{m}$ 增透, 其中 $R_{0.946 \mu\text{m}} \geq 99.8\%$, 为得到稳定高效的蓝光输出, LBO 安装在精度为 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 的微型控温炉中。

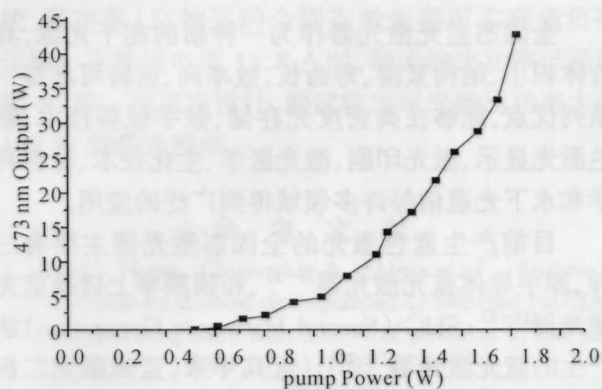


图 2 腔内倍频 Nd:YAG 激光器 473 nm 的输出功率与抽运功率的关系

Fig. 2 Output power of the intracavity-doubled Nd:YAG at 473 nm as a function of pump power

为提高倍频效率, 采用折叠 Semi-monolithic 谐振腔, Nd:YAG 和 LBO 的一个表面分别作为腔镜, 输出镜与 Nd:YAG 和 LBO 端面的距离约为 50 mm 和 30 mm , 折叠角为 10° , 仔细调整输出镜与 LBO 端面之间的距离, 可使 Nd:YAG 端面上的光斑直径约 $80 \mu\text{m}$, 基本与抽运光模匹配。由于 Nd:YAG 的温度

保持在0℃左右,为防止晶体表面附着冷凝水,整个系统密闭在充满干燥氮气的容器中。

当LD的波长精确控制在Nd:YAG的吸收峰时,Nd:YAG吸收抽运功率约50%,阈值吸收抽运功率230 mW,逐渐增加抽运功率,并仔细调谐LBO的温度,当吸收抽运功率为1 W时,最大蓝光输出功率为42 mW,用光束分析仪可观察到对称的高斯分布, M^2 等于1.1。

4 结束语

我们使用折叠的Semi-monolithic腔研制了一台LD抽运的高效内腔倍频蓝光激光器,并得到了稳定的蓝光输出。但是进一步的试验发现,与内腔倍频绿光激光器相似,蓝光功率存在频率约几百kHz噪声,另外LBO表面的双高反射膜的牢固度有待进一步提高。本试验部分工作在美国B&W Tek Inc.公司完成。

参 考 文 献

- 1 D. Y. Oberli *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**:1239
- 2 S. G. Anderson. *Laser Focus World*, 1995, **31**(12):35
- 3 E. J. Lerner. *Laser Focus World*, 1998, **34**(4):91
- 4 J.-C. Baumer, F. M. Schellenberg, W. P. Risk. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(26):2192
- 5 W. P. Risk, W. J. Kozlovsky. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(10):707
- 6 Y. X. Zhao, S. Fleming, S. Poole. *Opt. Commun.*, 1995, **114**:285
- 7 於祖兰,巩马理. 激光技术, 1996, **20**(1):52
- 8 黄元庆. 物理, 1997, **26**(6):349
- 9 L. Goldkey, M. K. Chun. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**(3):218
- 10 W. J. Kozlovsky, W. Lenth, E. E. Latta *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(23):2291
- 11 A. Hemmerich, C. Zimmermann, T. W. Hansch. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(6):988
- 12 J. A. Trail, J. L. Nightingale *et al.* *Proc. SPIE*, 1995, **2380**:68
- 13 W. P. Risk, W. Lenth. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(12):993
- 14 W. P. Risk. *Proc. SPIE*, 1989, **104**:13
- 15 W. A. Clarkson, R. Koch, D. C. Hanna. *Opt. Lett.*, 1996, **21**:737
- 16 I. D. Lindsay, M. Ebrahimzadeh. *Appl. Opt.*, 1998, **37**:3961
- 17 M. T. Sunekane, N. Taguchi, H. Inabe. *Appl. Opt.*, 1998, **37**:5713
- 18 G. Hollemann, E. Peik, H. Walther. *Opt. Lett.*, 1994, **19**:192
- 19 F. Hanson. *Appl. Opt. Lett.*, 1995, **66**:3549
- 20 D. G. Matthews, R. S. Conray, B. D. Sinclair *et al.* *Opt. Lett.*, 1996, **21**:198
- 21 T. Kellner, F. Heine, G. Hubber. *Appl. Phys. B*, 1995, **65**:789
- 22 M. Pierrou, F. Laurell *et al.* *Opt. Lett.*, 1999, **24**:205
- 23 P. Zeller, P. Peuser. *Opt. Lett.*, 2000, **25**:34
- 24 S. Tsuda, W. H. Knox, S. T. Cundiff. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**:1538
- 25 姚健铨等. 非线性频率变换及激光调谐技术. 北京:科学出版社, 1995
- 26 T. Y. Fan, Robert L. Byer. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1987, **23**(5):605
- 27 W. P. Risk. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1988, **5**(7):1412