

文章编号: 1001-5078 (2007) 08-0719-03

# LD 抽运 Nd GdVO<sub>4</sub> /LBO 内腔倍频 456nm 深蓝光激光器

吕彦飞, 张喜和, 姚治海, 李昌立  
(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

**摘要:**用国产半导体激光二极管抽运 Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体, 在室温下获得 912nm 激光连续输出, 用 I 类临界位相匹配 LBO 内腔倍频获得 456nm 深蓝光激光输出, 当注入抽运功率为 1.8W 时, 深蓝光最大输出为 53mW, 光-光转化效率为 2.9%, 功率稳定度 24h 内优于 ±2.3%。

**关键词:**激光二极管抽运; Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体; LBO 倍频; 深蓝激光  
**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

## Laser-diode Pumped Nd GdVO<sub>4</sub> /LBO 456nm Deep Blue Laser by Intracavity Doubling

LÜ Yan-fei, ZHANG Xi-he, YAO Zhi-hai, LI Chang-li  
(Changchun University of Sciences and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** An optimized designed CW 912nm laser at room temperature is obtained. Using type-I critical-matching LBO crystal, 456nm deep blue laser is obtained by 912nm intracavity frequency doubling. The maximum laser output power of 53mW is obtained when incident pump laser of 1.8W is used. The optical-to-optical conversion up to 2.9%, the power instability in 24h is better than ±2.3%.

**Key words:** LD-pumped; Nd GdVO<sub>4</sub> crystal; LBO frequency-doubling; deep-blue laser

### 1 引言

近年来, LD 抽运的全固态激光器已取得了长足的进步, 尤其是利用倍频技术产生蓝光激光器<sup>[1-6]</sup>, 一直是国际上研究的热点, 实现 LD 抽运的全固态蓝色激光器主要是采用 LD 抽运 Nd:YAG 或 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体实现 946nm 或 914nm 波长的运转, 再通过倍频晶体输出 473nm 或 457nm 的蓝激光。目前在该领域的研究主要是 473nm 的蓝激光, 457nm 激光器也有少量的报道, 457nm 蓝激光同 473nm 蓝激光相比具有颜色更饱满、波长更短、光子能量更大、光点面积更小等优点, 使其在高密度数据存储、激光彩色显示、水下通讯、海洋资源探测和光量子学分析上有着更为广阔的应用前景。由于 Nd:YAG (946nm) 和 Nd:YVO<sub>4</sub> (914nm) 获得蓝激光的能级跃迁都是准三能级, Nd:YVO<sub>4</sub> 的激光下能级粒子数比 Nd:YAG 占能级粒子总数比例更大, 导致激光阈值更高, 使得 Nd:YVO<sub>4</sub> 的准三能级系统实现起来更为

困难, Nd:GdVO<sub>4</sub> 和 Nd:YVO<sub>4</sub> 的特性相似, 但由于 Nd:GdVO<sub>4</sub> (912nm) 与 Nd:YVO<sub>4</sub> (914nm) 相比, Nd:GdVO<sub>4</sub> 发射截面和热导率更大, 吸收带更宽<sup>[7-9]</sup>, 所以利用 Nd:GdVO<sub>4</sub> 实现 456nm 蓝激光比利用 Nd:YVO<sub>4</sub> 实现 457nm 蓝激光更容易, 效率更高, 而 456nm 同样有着 457nm 激光器的优点, 而 456nm 激光器在国内还没有报道。本文利用 Nd:GdVO<sub>4</sub> 晶体的 <sup>4</sup>F<sub>3/2</sub> - <sup>4</sup>I<sub>7/2</sub> 跃迁获得 912nm 激光, 在利用 LBO 晶体 I 类临界位相匹配倍频获得 456nm 连续波深蓝光输出。

### 2 实验装置

Nd:GdVO<sub>4</sub> 晶体的荧光特性如图 1 所示, 由图 1 可以看出 Nd:GdVO<sub>4</sub> 有线偏振发射优点, 基波场矢

基金项目: 国防科工委国防基础科研项目 (No: A3620060122)。

作者简介: 吕彦飞 (1976 - ), 男, 博士, 主要从事光学设计, 半导体激光泵浦全固态激光器及非线性光学频率变换技术的研究, 现在长春理工大学从事科研与教学工作。E-mail: custlaser@163.com

收稿日期: 2007-01-19

量平行于晶体光轴方向的 偏振和 偏振的光谱特性具有明显的差异,其最强发射和最强吸收都发生在 偏振取向,因此在实验中我们采用  $a$ 轴切割晶体获得 偏光输出,同时我们把 Nd GdVO<sub>4</sub> 与 Nd YVO<sub>4</sub>和 Nd YAG的光谱特性进行比较,具体参数见表 1。

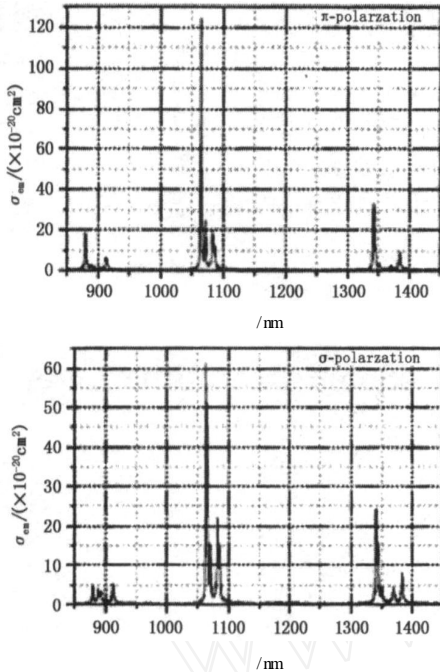


图 1 Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体的荧光特性

表 1 Nd GdVO<sub>4</sub> 与 Nd YVO<sub>4</sub> 和 Nd YAG 的光谱特性参数

	Nd GdVO <sub>4</sub>	Nd YVO <sub>4</sub>	Nd YAG
lifetime/ $\mu$ m	100	97	250
pump wavelength/nm	808	808	808
abs. eff/ $(\times 10^{-20} \text{cm}^2)$	53.6 12.3 ( )	60.1 ( ) 12.0 ( )	7.9
/nm	1.6 ( ) 2.2 ( )	1.3 ( ) 1.8 ( )	0.8
laser wavelength/nm	912nm	914nm	946nm
em. eff/ $(\times 10^{-20} \text{cm}^2)$	6.6 5.6 ( )	4.8 ( ) 4.3 ( )	3.7
thermal conductivity 300K $(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	11.7	5.1	11.1

实验装置如图 2 所示,抽运源是最大输出功率为 2W 的 LD,通过调节 LD 致冷器 (TEC1) 的电流,使抽运光中心波长与 Nd GdVO<sub>4</sub> 的中心吸收波长重合,经过准直、扩束、聚焦,最终成为椭圆度为 0.88、束腰半径约为 90 $\mu$ m 的抽运光斑,入射到 Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体中。

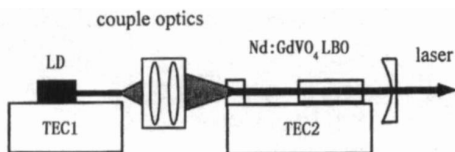


图 2 456nm 激光器实验装置

Fig 2 the setup of LD pumped 456nm blue laser

Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体中钕离子掺杂浓度为 1.0%,通光长度为 2mm,其左端镀 808nm 增透膜和 912nm 高反膜作为一个腔镜,右端对 912nm 增透,侧面裹上一层铝箔安装在紫铜热沉上,通过半导体制冷器 (TEC1) 进行温度控制。曲率半径为 50mm 的平凹镜作为输出镜,凹面镀 1062nm 增透膜、912nm 高反膜和 456nm 增透膜,平面对 456nm 增透,倍频晶体采用 I 类临界位相匹配 LBO,尺寸为 2mm  $\times$  2mm  $\times$  10mm,两端面镀 912nm/456nm 双色增透膜。腔长约为 20mm,机械结构稳定、抗震动。对 LD, Nd GdVO<sub>4</sub> 和 LBO 用半导体致冷器 (TEC2) 进行严格的温控,温度精度为 0.02。

### 3 实验结果

采用 LBO 晶体进行内腔倍频,用滤光片滤去 808nm 抽运光和 912nm 基频光的干扰,测量了 456nm 深蓝激光输出功率随抽运功率的变化,图 3 给出了 456nm 深蓝光输出功率随注入抽运功率的函数曲线。从图中可以看出,激光器的阈值功率约为 0.2W。在注入抽运功率为 1.8W 时,测得 456nm 深蓝激光的功率为 53mW。并且可以看出在该抽运功率下,激光输出功率并未达到饱和,这就说明如果抽运功率进一步加大,激光的输出功率仍会增加。

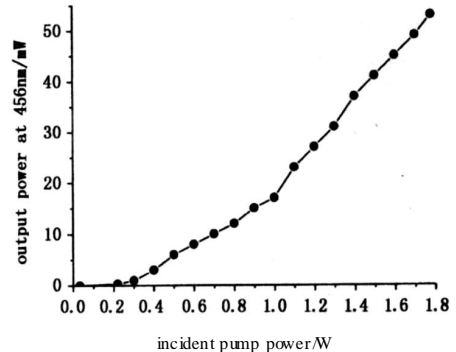


图 3 456nm 激光输出功率随注入抽运光功率变换

Fig 3 456nm output power via incident pump power

采用光束质量分析仪测量 456nm 深蓝激光输出光斑质量如图 4 所示,该光束的椭圆度为 0.99。

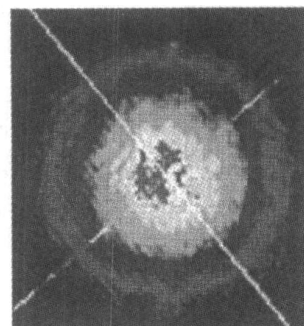


图 4 456nm 深蓝激光光束质量

Fig 4 the beam quality of 456nm deep blue laser

## 4 结论

研究了采用 2W 的 LD 抽运 Nd GdVO<sub>4</sub> 晶体,采用 LBO I 类临界相位匹配内腔倍频,获得了 53mW 的 456nm 连续波深蓝激光输出,光光转换效率为 2.9%,功率稳定度 24h 内优于 ±2.3%。实验结果表明,采用 LD 抽运 Nd GdVO<sub>4</sub>,通过 LBO 内腔倍频是获得 456nm 深蓝激光一种高效的方法,因此,LD 抽运 Nd GdVO<sub>4</sub> 的内腔倍频技术,为今后实现大功率全固态连续波蓝光激光器的发展提供了一个新的方向。

### 参考文献:

- [1] 高兰兰,檀慧明.利用复合 Nd YAG实现 600mW 高效紧凑型蓝光激光器[J].光子学报,2004,33(1):8-10
- [2] M Pierrou, T Keller Generation of 740mW of blue light by intra-cavity frequency doubling with a first-order quasi-phase-matched KTDP0<sub>4</sub> crystal[J]. Opt Lett, 1999, 24(4): 205 - 207.

- [3] 郑权,赵岭,钱龙生. LD 泵浦 Nd YAG/LBO 蓝光激光器的低噪声运转[J].光子学报,2003,32(11):1291-1293
- [4] 卜轶坤,陈颖新,郑权,等. LD 泵浦 Nd YVO<sub>4</sub> 晶体 LBO 倍频 457nm 蓝色激光器[J].光子学报,2005,34(3):336-339
- [5] 刘伟仁,霍玉晶,何淑芳.激光二极管抽运的全固态 457nm 深蓝激光器[J].光学学报,2002,22(8):980-982
- [6] Z Quan, Z Ling Efficient blue laser generation at 473nm by a BBO crystal[J]. Optics & Laser Technology, 2004, 36(6): 449 - 451.
- [7] W 克希耐尔.固体激光工程[M].孙文,等译.北京:科学出版社,2002:39-56
- [8] 张庆礼,殷绍唐,王爱华,等. Nd GdVO<sub>4</sub> 的晶体生长和光谱特性[J].量子电子学报 2002,19(4):310-313
- [9] 秦连杰,孟宪林,杜晨林,等. Nd GdVO<sub>4</sub> 热常数的测量和激光性能研究[J].人工晶体学报,2003,32(5):502-507.

(上接第 716 页)

### 3.3 误差信号提取

在 APT 系统中,位置误差信号的提取是非常关键的一环。光学天线接收到的光信号,通过由捕获探测器 (CCD) 和定位探测器 (Q - PN) 组成探测接收单元转换, CCD 完成捕获和粗跟踪,并将接收光引导至 Q - PN 上,在 Q - PN 中进行误差信号的检测。

由光电探测原理可知,四象限探测器每象限输出电信号强弱与受照光斑面积有关,经 A, B, C, D 通道放大归一化后,水平方向和垂直方向误差信号

$x_e(t)$  和  $y_e(t)$  分别为:

$$x_e(t) = k_x \frac{[x_1(t) + x_2(t)] - [x_3(t) + x_4(t)]}{\sum_{i=1}^4 x_i(t)} \quad (5)$$

$$y_e(t) = k_y \frac{[x_1(t) + x_4(t)] - [x_2(t) + x_3(t)]}{\sum_{i=1}^4 x_i(t)} \quad (6)$$

式中,  $k_x$  和  $k_y$  为比例系数;  $x_i$  表示相应象限输出电流。严格来讲,要计算 Q - PN 上光斑在每象限光能量必须采用积分的方法,因为光斑能量成高斯分布,由于探测器的探测面相对于光斑的面积要小得多,因此探测器上探测到的光信号可以近似看成均匀分布。由式 (5) 和式 (6) 可以看出,当光斑中心不在四象限探测器中心时,将产生水平或垂直方向的误差电压。选择面积较大的 4Q - PN,可以满足系

统接收视场的要求。目前直径大于 10mm 的 4Q - PN 已很成熟,选用等效焦距  $f$  为 600mm,其接收视场 FOV 为:

$$F = 2 \arctan \frac{d_R}{2f} = 2 \arctan \frac{10}{2 \times 600} = 16.7 \text{ mrad} = 0.95^\circ$$

## 4 结论

由于激光具有频带宽、方向性好、保密性强、费用经济并且频谱资源丰富等优势,非常适于军事应用。参考已经比较成熟的卫星 APT 技术,通过计算仿真,我们对自由空间激光通信在海上特定条件下 APT 瞄准系统的主要技术指标进行了分析和讨论,给出了 APT 瞄准系统初步理论设计的参数。说明激光通信在舰船间通信联络的广阔应用前景。

### 参考文献:

- [1] Djahani P, Kahn J M. Analysis of infrared wireless links employing multi beam transmitters and imaging diversity receivers [J]. IEEE Trans on Comm., 2000, 48: 2077 - 2088
- [2] Rezunkov Y A, Osipov V M, Savelyeva V, et al Atmospheric phenomena affecting laser-propelling capability of vehicles in the atmosphere[C]//High-Power Laser Ablation, 2000: 421 - 427.
- [3] 李晓峰,陈彦,胡渝.空-地激光通信链路波长选择因素分析[J].应用光学,2004,25(1):30-33
- [4] 蒋丽娟,朱道伟.近地实用大气激光通信系统设计[J].光通信技术,2000,24(3):220-222