

文章编号:1001-5078(2007)05-0427-03

5kHz 电光调 Q LD 端面泵浦 Nd:YVO₄ 紫外激光器

宋 标

(南京信息工程大学物理系, 江苏 南京 210044)

摘 要:介绍了二极管连续激光器(LD)端面泵浦 Nd:YVO₄ 晶体,在 200~5000Hz 电光调 Q 的情况下激光输出的特性。当二极管输入电流 10W,电光 Q 开关重复频率为 1kHz 时,355nm 激光的平均输出功率为 15mW,脉宽为 20ns。并对实验结果进行了分析和讨论。

关键词:紫外激光器;LD 端面泵浦;激光调 Q ;高重复频率

中图分类号:TN248.1

文献标识码:A

LD End-pumped Actively Electro-optic Q -switching UV Lasers with Pulse Repetition Rates up to 5kHz

SONG Biao

(Department of Physics, Nanjing University of Information & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The characteristic of a continuous-wave (CW) laser diode (LD) end-pumped Nd:YVO₄ crystal electro-optic Q -switching with pulse repetition rate from 200 to 5000Hz laser is presented in this paper. With 10W of the incident pump laser, 1kHz of pluse repetition frequency, Q -switching 355nm laser with average power of 15mW, pulse width of 20ns is obtained. And experimental results are briefly analyzed and discussed.

Key words: UV laser; LD end-pumped; Q -switching laser; high repetition frequency

1 引 言

连续泵浦千赫兹电光调 Q 输出的全固态激光器在工业、农业、国防、科技、医疗等方面有着广泛的用途,而紫外激光在光数据存储、光盘控制、微加工、大气探测、微电子学、光化学、光生物学以及医疗等领域尤为重要,这是因为全固态紫外光源具有效率高、重复频率高、性能可靠、小型化、光束质量好及输出功率稳定性高等特点。因此研究这种千赫兹级电光调 Q 的激光器输出特性具有非常重要的意义。

在国内,半导体抽运 Nd:YVO₄ 晶体输出功率已经达到 15W 以上^[1],腔内倍频获得连续绿光输出 5W 以上^[2],1kHz 电光调 Q 输出 1064nm 达 100mW,脉冲宽度为 20ns^[3],532nm 输出达 28mW^[4]。本文报道用连续输出为 15W 的国产激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 固体激光器的连续输出和连续泵浦高重复率调 Q 的实验结果和理论分析结果。

2 实验装置

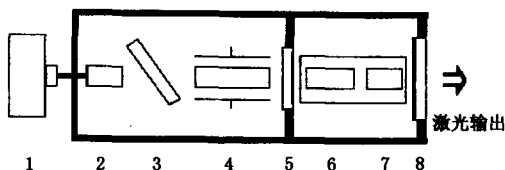
实验装置采用直腔式,如图 1 所示。整个激光器实验装置主要由通过光纤耦合的泵浦源 LD、Nd:YVO₄ 激光晶体、BP、BBO 晶体、LBO 晶体、输出镜以及电源组成。实验中,LD 为国产连续输出的激光二极管,工作温度为 25℃ 时的中心波长是 808nm。LD 的输出采用单光纤耦合方式,这种光纤输出的光束质量好,在激光介质中形成圆对称横向分布,有利于 1064nm 激光横模的改善。激光介质是一块 3mm × 3mm × 5mm a - 切割的 Nd:YVO₄ 晶体、掺杂浓度为 0.5at%,面向光纤的一端面镀 1064nm 全反和 808nm 高透膜,并作为谐振腔全反

基金项目:南京信息工程大学科研基金项目。

作者简介:宋 标(1977 -),男,南京信息工程大学,主要从事全固化固体激光器的研究及应用。E-mail:biaos@nuist.edu.cn

收稿日期:2006-10-25

镜;另一端面镀 1064nm 增透膜,晶体放在导热性能良好的热沉上。BP 为布氏片,与腔体轴线的夹角以布儒斯特角装置于腔内,在腔中增加起偏度。BBO 为调 Q 晶体, z - 轴切割,尺寸为 3mm × 3mm × 20mm,两端面镀增透膜,采用横向加压方式工作,重复率在 (1 ~ 10) kHz 之间连续可调。在调 Q 晶体和倍频晶体之间插入双通倍频片,双通倍频片相对于布氏片的一面镀有 1064nm 增透膜,另一面镀有 532nm 和 355nm 高反膜。长度为 3mm × 3mm × 12mm 的 LBO 倍频晶体以及长度为 3mm × 3mm × 9mm 的 BBO 和频晶体,放置在 BP 布氏片和输出镜之间的光斑束腰位置处,实现腔内倍频^[5-7]、和频 355nm 激光输出, LBO 晶体端面镀有 1064nm/532nm 双色增透膜,采用腔内 I 类相位匹配, BBO 晶体的两端面镀双色增透膜,采用腔内 II 类相位匹配,并且对 LBO、BBO 晶体进行温度控制。OC (output coupler) 是输出腔片,镀有 1064nm 全反和 532nm 高透膜,与 Nd:YVO₄ 晶体的入射面构成谐振腔,腔长为 125mm。



1-LD;2-Nd:YVO₄;3-布氏片;4-电光调 Q 晶体;5-双通倍频片;6-倍频晶体 LBO;7-和频晶体 BBO;8-输出腔片

图1 腔内和频 LD 泵浦电光调 Q Nd:YVO₄ 紫外激光器

采用腔内谐波转换的方式得到 1064nm 和 532nm 的和频 355nm 紫外激光,利用 BBO 晶体的 II 类相位匹配获得和频输出,输出功率的强度理论计算可以由公式^[8]求得:

$$P_3 = \frac{8\pi^3 \omega_3^2}{c^3 \sqrt{\varepsilon(\omega_3)\varepsilon(\omega_2)\varepsilon(\omega_1)}} |\chi_{\text{eff}}^{(2)}|^2 z^2 \left(\frac{P_1 P_2}{A} \right)$$

式中, A 是光束的横截面积,以 cm² 为单位; z 以 cm 为单位,并且采用了近似 $P_i = I_i A$,以 MW 为单位; $\chi_{\text{eff}}^{(2)}$ 为有效非线性极化率; $\varepsilon(\omega_i)$ 为频率是 ω_i 的光波场的振幅。由上式可以知道和频的输出功率和两个和频波的功率有很大的关系,和它们功率的乘积成正比。532nm 激光光束的光子能量是 1064nm 的 2 倍,但是它的光束密度低于 1064nm 的一半,为了得到高转换、高功率的 355nm 输出,要求基波光 and 倍频光的输出功率为最大。

由于和频波的产生是基频波和二次谐波在非线性

性晶体内有效的能量转换的结果,而且此转换过程必须同时满足能量守恒和动量守恒,所以必须考虑各波偏振态之间的关系,也就是 BBO 晶体的放置角度。应该仔细调整 BBO 晶体的放置角度务求得较高的谐波转换效率。

对于电光调 Q 固体紫外激光器,仍然选用调 Q 重复率为 1kHz,腔长 125mm 的平-平腔。双通倍频片镀 532nm/355nm 高反膜,输出镜片镀 532nm 和 1064nm 全反膜,都基本达到要求,两者构成谐振腔的子腔。其中双通倍频片可以将反射回来的 1064nm 通过 LBO 产生的绿光和输出镜反射回来的绿光再次反射回去,使得子腔内有足够的绿光反复穿梭于和频晶体之中,这样可以提高和频晶体的转换效率;双通倍频片上镀的 355nm 高反膜,可以使子腔内产生的紫外激光反射回去,通过输出腔片输出,这样就提高了紫外激光的输出功率。

精细调节电光 Q 开关、倍频晶体 LBO 的角度与和频晶体 BBO 的放置角度和位置,以及复合腔中各反射镜水平及俯仰的角度,可使 355nm 紫外输出达到最佳。在 1kHz 重复频率运转状态下,改变泵浦功率的大小,测量 355nm 的输出功率的变化(如图 2 所示),同时测量了紫外激光输出脉宽为 20ns(如图 3 所示),以及紫外激光的发散角小于 3mrad。

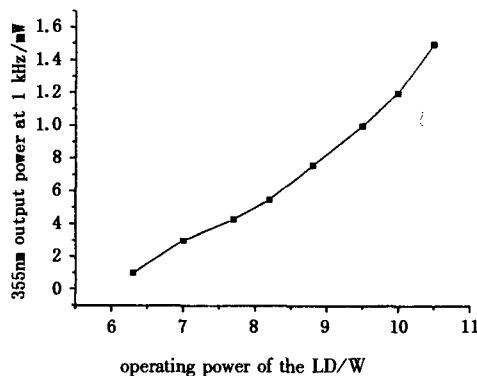


图2 电光调 Q 355nm 紫外光的输入输出关系

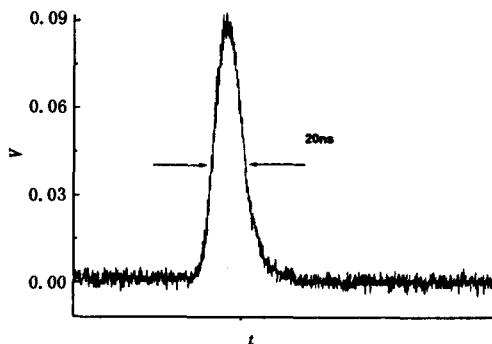


图3 355nm 激光输出的脉冲波形

从图 2 不难看出,在泵浦光功率为 10.50W 时,最高输出可达 15mW。

图 4 是 355nm 脉冲输出光斑的空间分布图形,表明了 355nm 脉冲紫外光光斑接近于 TEM₀₀ 模。

以上实验都是在重复频率为 1kHz 的情况下进行的,当重复率在 (0.2~5)kHz 变化时,激光器也能正常运转,并未出现多脉冲现象。

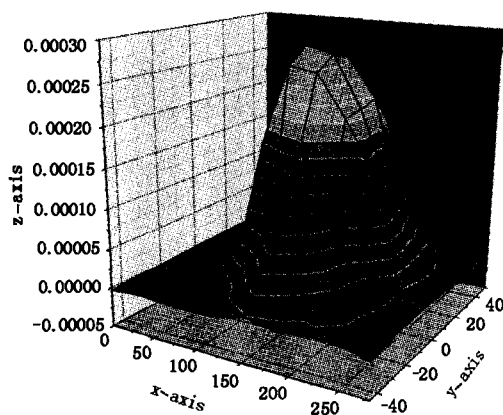


图 4 355nm 输出激光光斑的空间分布图形

3 结论

当二极管输入电流 10W,电光 Q 开关重复频率

(上接第 426 页)

察到的现象,反映了本文所研究的光纤激光器并不是单纵模的激光器。从图 2 看到,激光器的谐振腔由光纤光栅和二色镜组成。工作物质钕离子发射光谱比较宽,而且二色镜也是一个宽带元件,因此对光谱带宽的限制主要由光栅决定。光栅的选频作用把自由振荡的激光光谱的中心波长拉向与光栅的中心波长保持一致,光栅的带宽限制激光光谱的带宽。在图 7(a)中看到,激光光谱宽度约 5nm,这实际上包含了几个纵模在内,每个纵模的宽度都小于 5nm。因为光谱仪的分辨率不够,我们不能看到模式竞争的现象。中心波长由 1.0536 μ m 到 1.0538 μ m 的跳变,也反映了模式竞争是存在的。图 7(f)的情况,测量的是某一个纵模的谱宽,只看到一条直线,说明此纵模的宽度与此时的分辨率 0.1nm 相当或小一些。因光谱仪分辨率有限,不能看到光谱的更细微之处。因此在使用光谱仪时,可以遵循两个原则:在测量、观察 Yb 离子的荧光谱时,选用较低的分辨率,可以比较快地看到较宽的荧光谱;测量激光光谱时,则应选择较高的分辨率。也可以推

为 1kHz 时,355nm 激光的平均输出功率为 15mW,脉宽为 20ns。输出功率稳定性较好,当重复率在 (0.2~5)kHz 之间变化时,激光器也能正常运转,并未出现多脉冲现象。

参考文献:

- [1] E C Honea, et al. Opt. Lett. [J], 1998, 1203.
- [2] Liu Junhai, et al. Efficient 15W Nd:YVO₄ solid-state single-end-pumped by a fiber-coupled diode-laser-array[J]. Chin Phys. Lett., 1999, B8(5): 121.
- [3] 宋标,等.量子电子学报,2004,21(1):15.
- [4] 宋标,等.5kHz 电光调 Q LD 端面泵浦 Nd:YVO₄ 绿光激光器[J].激光与红外,2006,36(2):102-103.
- [5] A Yariv. Quantum Electronics [C]//2nd ed. New York Wiley, 1975:333.
- [6] G D Goodno, Z Guo, et al. Investigation of β -BaB₂O₄ as a Q switch for high power applications [J]. Appl. Phys. Lett., 1995, 66(13): 1575-1577.
- [7] Chris A Ebers. Linear electro-optic effect in β -BaB₂O₄ [J]. Appl. Phys. Lett., 1988, 52(23): 1948-1949.
- [8] Y R Shen. The principles of nonlinear optics [M]. New York: John Wiley & Sons, 1984:83.

广到其他类似的激光器的光谱测量中。

5 小结

通过三种实验方案,研究了 1053nm 光纤激光器的特性。将光纤光栅与二色镜组成谐振腔,实现了激光器的低阈值运转。通过对实验结果的分析,在以下几个方面还有待于进一步改善实验方案,以得到更好的实验结果。第一,从光谱看到,剩余泵浦光还是稍大,不能被忽略,因此光纤长度可能需要再长一些;第二,二色镜的反射率对激光输出并不是最佳的,还需要通过实验与理论计算来确定;第三,需要分辨率更高的光谱仪来测量激光光谱。另外,分析了激光光谱随光谱仪分辨率的变化,对正确使用光谱仪提出了一点建议。

参考文献:

- [1] D C Hanna, R M Percival, I R Perry, et al. Yb-doped monomode fiber laser: broadly tunable operation from 1.010 μ m to 1.62 μ m and 3-level operation at 974nm [J]. Journal of modern Optics, 1987, 37: 329-331.
- [2] 杜戈果,阮双琛,罗烽,等.国产 LD 泵浦掺 Yb 双包层光纤光谱特性研究[J].激光与红外,2004,34(2):149-152.