

激光二极管泵浦 Nd·YVO₄ 晶体的 高效内腔倍频绿光激光器研究

何慧娟 廖 严 陈冰瑶

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 对两种 Nd·YVO₄ 晶体的内腔倍频特性进行了研究和实验对比, II 号晶体的倍频效率比 I 号晶体提高一倍, 斜率效率达到 31%。此外, 用 1 W 国产半导体二极管泵浦一块浓度 2% 的晶体, 其最高输出绿光达 108 mW, 降低输入泵浦功率, 单频绿光功率大于 10 mW。

关键词 二极管泵浦固体激光器, 内腔倍频, 高效率。

1 引 言

用激光二极管(LD)作为泵浦源泵浦固体激光介质, 是获得高转换效率、高光束质量的基波及二次谐波输出的小型固体激光器的有效途径。Nd·YVO₄ 晶体相对于 Nd·YAG 晶体具有高的激光增益、宽的吸收谱, 广泛地用作这类固体激光工作物质。Nd·YVO₄ 晶体可掺入高的 Nd³⁺ 离子浓度, 因而具有较高的吸收系数, 在端面泵浦方式下, 这有利于缩短晶体的长度, 便于泵浦光与激光模式的最佳耦合, 缩短谐振腔长度, 减小损耗, 提高效率^[1~3], 特别适合研制腔内倍频输出绿光的微型固体激光器。

腔内倍频同时产生向前和向后两个方向倍频输出, 而一般大部分固体激光工作物质均对其二次谐波有一定的吸收, 后向传播的倍频光经过激光工作物质会因吸收而损耗, 降低了倍频输出的转换效率。用折叠腔能有效提取后向传播的倍频光, 但增加的折叠镜增加了谐振腔的腔内损耗, 降低了谐振腔内的基波运行功率及倍频转换效率, 因而不适宜在低功率泵浦源下应用。因此, 若能找到对其二次谐波吸收较低的激光介质作内腔倍频, 一定会提高倍频光的转换效率。本文报道了由中国科学院福建物构所生长的新型 Nd·YVO₄ 晶体的内腔倍频结果, 新法生长的 Nd·YVO₄ 晶体降低了对二次谐波的吸收系数, 能获得较高的倍频效率, 并将它与传统方法生长的晶体的实验结果进行了比较。

2 实验研究与结果分析

实验所用的新型的 Nd·YVO₄ 晶体, 其 Nd³⁺ 离子掺杂浓度为 1%, 称 II 号晶体, 原来的称 I 号晶体。根据两种晶体的吸收谱, 在 809 nm 处两晶体的吸收几乎一致, 而在可见光短波

处，II号晶体的吸收有显著降低，在二次谐波 532 nm 处的吸收明显减少，如图 1 所示。两种晶体尺寸均为 $3 \times 3 \times 1 \text{ mm}^3$ ，镀同样的膜，一面镀 809 nm 高透及 532 nm 和 1064 nm 高反膜，另一面镀 1064 nm 增透膜。一块长度为 5 mm 的 KTP 晶体放置于谐振腔内进行内腔倍频实验，谐振腔的几何长度约 10 mm，KTP 晶体双面镀 1064 nm 及 532 nm 增透膜。

泵浦源采用国产输出功率 1 W 的半导体激光二极管纵向泵浦。由激光二极管发出的泵浦光经过准直-扩束-聚焦光学系统，对泵浦光束进行了整形，其光束的椭圆度得到显著的改善，使激光晶体中的激活区与谐振腔的激光模体积得到最佳匹配，从而提高了基波转换效率。图 2 为 II 号及 I 号 Nd·YVO₄ 晶体的内腔倍频绿光输出功率随泵浦功率的变化曲线。在约 500 mW 的泵浦功率下，用 II 号新型 Nd·YVO₄ 晶体能获得 84 mW 的 532 nm 绿光输出，光-光转换效率达 17%，而斜率效率则大于 31%；由于降低了对二次谐波吸收，不仅显著提高了效率，也提高了倍频输出的稳定性。与之相比较的 I 号 Nd·YVO₄ 晶体，在同等谐振腔下的倍频输出减小，输出效率降低。

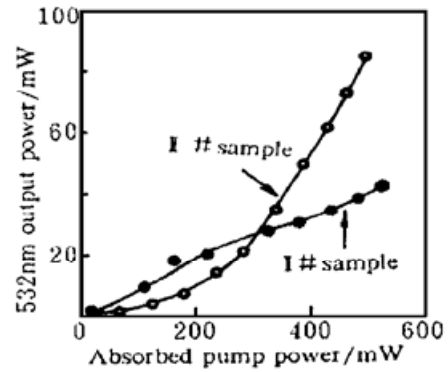
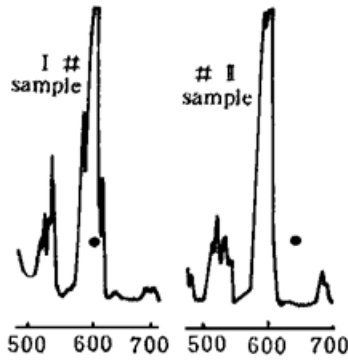


Fig. 1 Absorption spectrum of the two types of Nd·YVO₄

Fig. 2 SHG output power vs. absorbed pumped power of each type of Nd·YVO₄ crystal

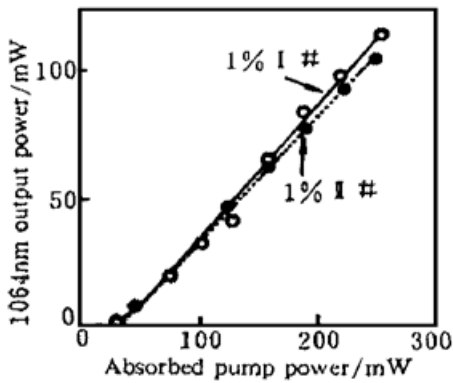


Fig. 3 Fundamental output power vs. absorbed pump power of each type of Nd·YVO₄ crystal

为了研究 II 号及 I 号 Nd·YVO₄ 晶体内腔倍频的输出效率差异，本文比较了两种 Nd·YVO₄ 晶体的 1064 nm 激光输出效率。图 3 即是在同等谐振腔下两种晶体输出 1064 nm 激光功率随泵浦功率的变化曲线。可见两种晶体的输出效率基本相同，I 号晶体斜率效率为 52%，II 号晶体为 48%。由于两种 Nd·YVO₄ 晶体具有相同的掺杂浓度，其对泵浦光的吸收系数和 1064 nm 基波激光输出效率也十分接近，显然它们在腔内倍频时的倍频效率的差异可能是晶体对二次谐波的不同吸收引起。假设晶体对二次谐波的吸收系数为 α ，光强为 I_0 的二次谐波通过厚度为 l 的 Nd·YVO₄ 晶体反射后出射光强为 I ，

显然

$$I = I_0 \exp(-2\alpha l) \tag{1}$$

出射后损失的光强

$$\Delta I = I_0 - I = I_0[1 - \exp(-2\alpha l)] \tag{2}$$

与入射光强成正比，由光强与功率的线性关系，当泵浦功率越高，绿光输出越大时，两种晶体倍频输出功率差别越大。

对图 2 中低泵浦功率下 I 号 Nd·YVO₄ 晶体的倍频光输出功率高于 II 号 Nd·YVO₄ 晶体，

也可作出如下解释: 虽然两块晶体两表面的平行度都不符合要求, 使得腔内损耗较大, 但 I 号晶体的平行度却比 II 号晶体好将近一倍。在作 1064 nm 基波功率输出时, 谐振腔输出镜已经有了一定的透过率, 由不平行的表面产生的损耗与输出镜透过损耗相比较小, 所以这点附加损耗对基波功率影响不明显。但是在二次谐波产生中, 由于对基波有一定透过的输出镜换成了对基波接近 100% 全反的输出反射镜, 此时由晶体表面不平行产生的损耗与由输出的反射镜对基波的剩余透过率产生的损耗可以相比拟, 不平行表面产生的损耗大小将直接影响到谐振腔内基波运行功率的高低。I 号 Nd·YVO₄ 晶体由于其表面之间平行度好于 II 号晶体, 它的谐振腔内具有的基波运行功率高于 II 晶体谐振腔, 二次谐波产生的功率与基波功率平方成正比, 所以 I 号晶体谐振腔内产生的绿光功率高于 II 号晶体, 再加上在低绿光输出功率下晶体对绿光的吸收也较小, 故 I 号晶体比 II 号晶体具有高的倍频输出效率。当泵浦功率越来越高, 二次谐波产生越来越强, 晶体对二次谐波的吸收也随之增大。当吸收二次谐波引起的绿光功率下降超过了因损耗较低引起的二次谐波功率的增加时, I 号晶体的倍频输出效率开始出现相对 II 号晶体倍频输出效率的下降。

此外, 作者用了一块掺杂浓度为 2%、按传统方法生长的 Nd·YVO₄ 晶体, 晶体尺寸为 3×3×1 mm³, 532 nm 倍频激光输出随泵浦激光二极管光变化的曲线如图 4 所示, 最高输出绿光功率为 108 mW, 输出最高点附近的斜率效率约 21%。阈值泵浦功率小于 1 mW, 实际上激光二极管发光的阈值电流也即是 532 nm 光输出的阈值电流。其光强空间分布的一、二、三维图象分别由图 5(a)、图 5(b)、图 5(c) 所示, 为 TEM₀₀ 输出。降低输入泵浦功率, 可获得单纵模运转, 输出单频绿光, 功率大于 10 mW。

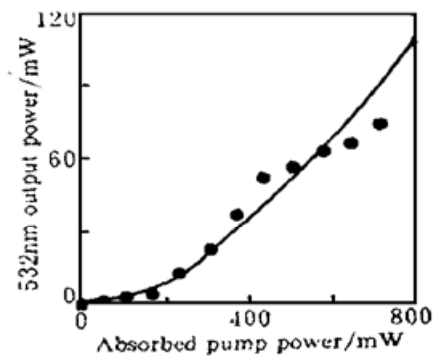


Fig. 4 SHG output power vs. absorbed pump power of 2% doped Nd·YVO₄ crystal

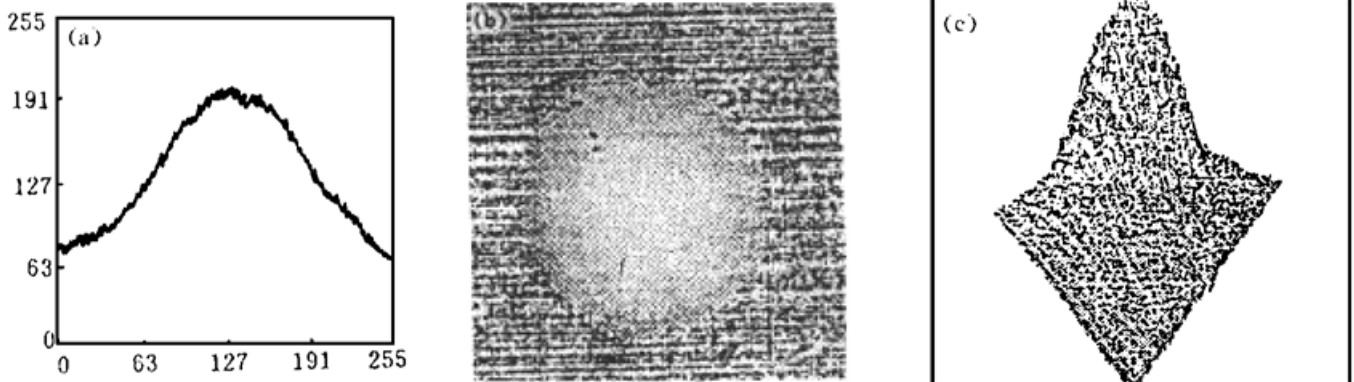


Fig. 5 Intensity distribution profiles of TEM₀₀ spot of laser beam. (a) One dimensional, (b) Two dimensional, (c) Three dimensional

结 论 研究了新型 Nd·YVO₄ 晶体的特性, 与传统方法生长的 Nd·YVO₄ 晶体相比, 降低了对二次谐波的吸收, 能获得更高的内腔倍频绿光输出效率。对加工质量并不理想的晶体, 已获得的斜率效率约 31%。此外, 作者用国产 1 W 连续输出的激光二极管泵浦一块 2% 浓度的 Nd·YVO₄ 晶体, 其内腔倍频输出功率达到 108 mW, 降低输入泵浦功率, 使激光器以单纵模运转, 单频绿光功率大于 10 mW。

感谢中国科学院福建物构所提供晶体。

参 考 文 献

- [1] R. A. Fields, M. Birnbaum, C. L. Fincher, High efficiency Nd:YVO₄ diode-laser end-pumped laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23) : 1885~ 1886
- [2] T. Sasaki, T. Kojima, A. Yotani *et al.*, Single-longitudinal-mode operation and second-harmonic generation of Nd:YVO₄ microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(21) : 1665~ 1667
- [3] 何慧娟, 林岳明, 陆雨田, 高效率 Nd:YVO₄ 激光特性研究. 中国激光, 1994, **21**(8) : 621~ 623

Study on LD Pumped Nd:YVO₄ Intracavity Doubling Frequency Laser with High Efficiency

He Huijuan Liao Yan Chen Bingyao

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800)

(Received 16 December 1996; revised 26 March 1997)

Abstract The diode-pumped intracavity SHG laser using a new type Nd:YVO₄ crystal is reported. We have compared the output characters of the new type with old type crystal Nd:YVO₄. The optical conversion efficiency of the new one is two times higher than that of the old one. The slope efficiency is up to 31%. In addition, the output power of green light is up to 108 mW. The single longitudinal mode can be operated by decreasing the pumping power. The output power of single frequency green light is more than 10 mW.

Key words diode-pumped solid-state laser, intracavity doubling frequency, high efficiency.