

连续激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 激光器的腔内倍频

何慧娟 廖 严

(中国科学院上海光学精密机械研究所激光技术开放实验室, 上海 201800)

摘 要 报道连续激光二极管泵浦的 Nd:YVO₄ 激光器的腔内倍频实验结果, 比较了不同掺杂浓度的 Nd:YVO₄ 晶体的倍频输出功率, 最大绿光输出功率为 22.2 mW, 光-光转换效率为 3.5%。此外, 还研究了腔内倍频的输出涨落特性。

关键词 二极管泵浦, 腔内倍频, 输出涨落。

1 引 言

近年来, 激光二极管泵浦的固体激光器引起了人们高度的重视。因为这类激光器件体积小、寿命长、效率高, 有广泛的应用前景。由 1064 nm 激光倍频产生的 532 nm 二次谐波作为一种有效的激光光源, 应用于医学诊断和光盘存储等领域。

提高二次谐波的转换效率, 要求基波具有高的功率密度, 而连续泵浦的激光系统, 其腔外激光功率密度是达不到这一要求的, 所以不能进行腔外倍频。有效办法是把非线性晶体放入激光器谐振腔内, 腔内运行的功率约为输出功率的 $1/T$ 倍 (T 是输出耦合镜的基波透过率), 内腔倍频激光谐振腔的输出耦合镜是把对基波透射率为 T 的输出耦合镜, 换成一个对基波具有 100% 反射率, 而对二次谐波具有高透射率的输出镜。

2 实验装置及结果

如图 1 所示, 由二极管发出的 809 nm 泵浦光通过一透镜系统聚焦于一块尺寸为 $3 \times 3 \times 1 \text{ mm}^3$ 的 Nd:YVO₄ 晶体上, 晶体的泵浦面镀 809 nm 高透膜及 1064 nm 和 532 nm 全反膜, 另一面镀 1064 nm 增透膜。倍频晶体为一块 $3 \times 3 \times 5 \text{ mm}^3$ 的 KTP

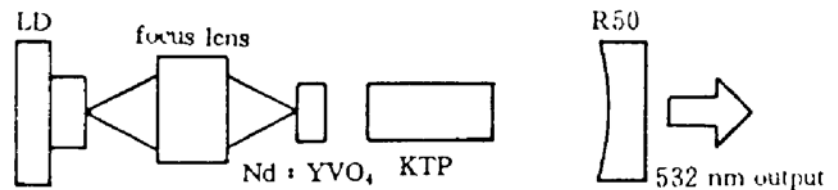


Fig. 1 Schematic diagram of the diode-pumped Nd:YVO₄ laser with an intracavity-doubling crystal

晶体, 相位匹配为 I 类, $\phi = 23^\circ$, $\theta = 90^\circ$ 双面镀 1064 nm 和 532 nm 增透膜。输出耦合镜是一块 $R = 50 \text{ mm}$ 的平凹球面镜, 镀 1064 nm 全反膜和 532 nm 高透膜。采用近共心腔, 总腔长约

45 mm。

实验中使用两块 Nd:YVO₄ 晶体, 其浓度分别为 1% 和 2%, 尺寸相同, 倍频 532 nm 光输出曲线如图 2 所示, 测量时用一块镀有 1064 nm 全反膜 ($R > 99.8\%$) 和 532 nm 增透膜的平板, 以滤除 1064 nm 激光。在相同的谐振腔型下, 腔内不放非线性晶体 KTP, 这时输出耦合镜在 1064 nm 处的剩余输出功率曲线如图 3 所示, 由输出耦合镜的剩余透过率 ($T = 0.14\%$), 可以得到腔内的运行功率。在泵浦功率最高处, 对浓度为 1% 和 2% 的晶体, 腔内功率分别为 16 W 及 25 W, KTP 晶体处的平均功率密度约为 $5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ 及 $8 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ 。比较图 2、图 3 中两条曲线可知, 对两种浓度的晶体当 1064 nm 输出功率相等时, 倍频产生的 532 nm 输出激光功率也大致相等, 这是因为谐振腔结构相同, 输出 1064 nm 功率相等意味着腔内功率密度也相等, 所以有相同的 532 nm 谐波输出。但浓度高的晶体对泵浦光的吸收系数大, 效率高, 其二次谐波输出最大功率为 22.2 mW, 效率 3.5%。用波长计测量 Nd:YVO₄ 晶体输出基波波长约 $1064.4 \pm 0.2 \text{ nm}$, 倍频输出波长约 532.2 nm。

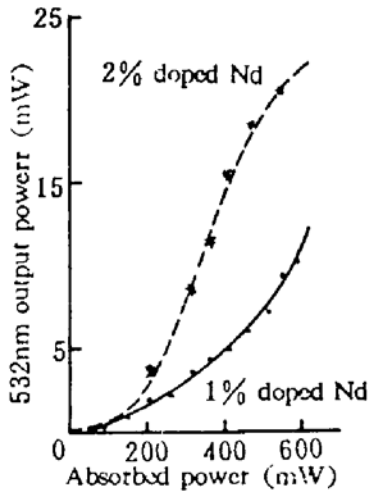


Fig. 2 Green output power as a function of pump power

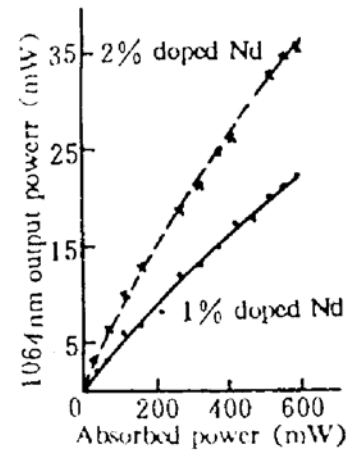


Fig. 3 1064 nm output power vs. pump power when without nonlinear crystal

3 倍频输出特性

谐振腔内加入非线性晶体以后, 激光器的输出稳定性比未加入非线性晶体时差很多^[1]。由于腔内倍频的这种特性, 使得研制稳定可靠的器件具有较大的难度。因为固体激光器中存在空间烧孔效应, 再加上倍频晶体的非线性耦合, 常常引起输出模式不稳定、起伏以及很大程度的振幅涨落, 激光器难于长期稳定工作。研制高效可靠的腔内倍频激光器的很大一部分工作, 就是研究这些不稳定性, 改进激光器设计构型以稳定输出^[2~5]。

实验中可观察到明显的模式跳变, 图 4 即为这种模式跳变的典型曲线。当逐次增加激光二极管电流与逐次减少激光二极管电流时, 测量各种

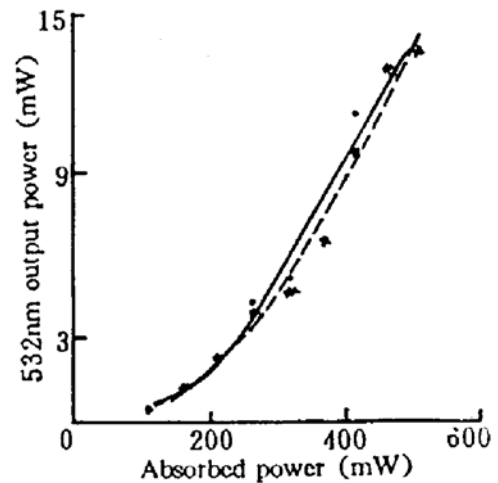


Fig. 4 Green output power of the intracavity doubled laser. The solid (+) and dashed (o) lines show the output power measured with increasing and decreasing pump power respectively

激光二极管电流下倍频光的输出功率并取平均值, 结果发现逐渐增加激光二极管电流情况下测出的输出功率曲线与逐渐减少激光二极管电流时测出的输出曲线不同, 中间出现“回线”, 这是因为泵浦功率增加和减少的过程中, 经历的模式跳变过程是不一样的。这种现象随泵浦激光二极管电流的循环增加和减少具有重复性。

实验中观察了输出不稳定性, 倍频输出光强度具有较大的幅度涨落。图 5(a) 为在泵浦功率较高时的输出涨落的示波器照片, 横轴代表时间 $5 \mu\text{s}/\text{div}$, 纵轴代表幅度。可见输出随时间有大的无规涨落, 这是由于空间烧孔效应引起的腔内多纵模耦合的结果。图 5(b) 为扫描干涉仪测量的纵模谱, 此时腔内确实是多模振荡。当降低泵浦功率时, 腔内可振荡的纵模数也发生变化, 当泵浦功率降至较低水平时, 只剩下两个纵模示于图 6, 这是输出光经扫描干涉仪和

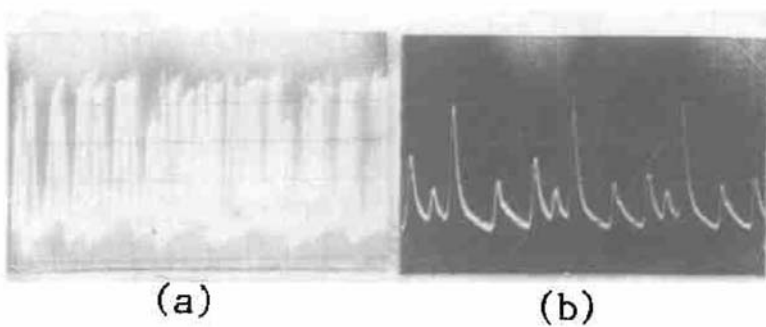


Fig. 5 (a) Output power fluctuation of the intracavity doubled laser with more than two modes. Horizontal axis shows $5 \mu\text{s}/\text{div}$. (b) Optical spectrum of multi-mode operation measured by using a scanning confocal interferometer

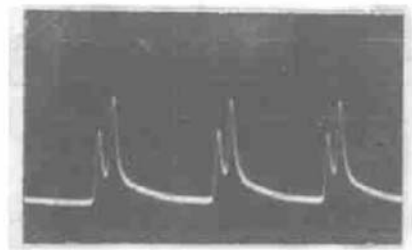


Fig. 6 Two laser modes measured by using a scanning confocal interferometer

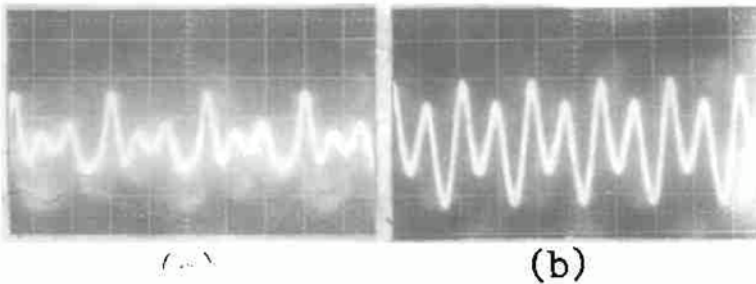


Fig. 7 Output power fluctuation of the laser with two modes taken at different operating time. Horizontal axis shows $2 \mu\text{s}/\text{div}$

光电管显示于示波器上的图形。此时输出光的幅度起伏如图 7(a)、图 7(b) 所示。图 7(a) 和图 7(b) 是在激光器开启后的不同时刻拍摄的, 虽然都是两个纵模耦合, 但由于不同时刻模的耦合情况不同, 模式跳变也常常发生, 故输出起伏情况也不“稳定”。倍频激光输出对热效应和机械扰动等非常敏感。由于腔内倍频所特有的性质, 输出难于长期稳定, 有关稳定输出的工作将另文发表。

结 论 用 Nd:YVO_4 晶体经腔内倍频获得了 22.2 mW 的二次谐波输出, 光-光转换效率达到 3.5% , 并证明了高掺杂浓度的 Nd:YVO_4 晶体具有较高的效率。

Nd:YVO_4 晶体由福州科风激光有限公司提供, 在此致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] T. Baer, Large-amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers. *J. Opt. Soc. Amer. B.*, 1986, **3**(9): 1175~1180
- [2] M. Oka, S. Kubota, Stable intracavity doubling of orthogonal linearly polarized modes in diode-pumped Nd:YAG lasers. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(10): 805~807
- [3] G. E. James, E. H. Harrel, C. Bracikowski *et al.*, Elimination of chaos in an intracavity doubled Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(20): 1141~1143
- [4] H. Nagai, M. Kume, I. Ohta *et al.*, Low-noise operation of a diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG laser using a brewster plate. *IEEE, J. Quant. Electron.*, 1992, **28**(4): 1164~1168
- [5] L. Y. Liu, M. Oka, W. Wiechmann *et al.*, Longitudinally diode-pumped continuous-wave 3.5 W green laser. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(3): 189~191

Continuous Diode-Pumped Intracavity-Doubled Nd:YVO₄ Laser

He Huijuan Liao Yan

(Laboratory of Laser Technology, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 6 July 1994)

Abstract The experimental result of diode-pumped intracavity-doubled Nd:YVO₄ laser was reported. The output powers of different doped Nd:YVO₄ crystals were compared. The maximum output power at 532 nm was 22.2 mW with the optical efficiency of 3.5%. We also investigated the output character of the intracavity second harmonic generation.

Key words diode-pumped laser, intracavity second harmonic generation, output fluctuation.