

晶体温度对 LD 泵浦 Nd : YVO₄/KTP 腔内 倍频激光器输出的影响

沈德元 王长青 邵宗书 蒋民华

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

提要 研究了 LD 泵浦 Nd : YVO₄/KTP 腔内倍频激光器中激光晶体与倍频晶体的温度对器件基频与倍频输出的影响。用国产 1 W 激光二极管作泵浦源, 通过选择合适的 Nd : YVO₄ 和 KTP 的工作温度, 在泵浦功率为 604.2 mW 时获得 133.6 mW 的绿光输出, 光-光转换效率为 22.1%。

关键词 激光二极管, 泵浦, Nd : YVO₄ 激光器

1 引言

掺钕钒酸钇晶体(Nd : YVO₄)对 809 nm 泵浦光具有宽的吸收带和高的吸收系数, 在 1.06 μm 处具有大的受激发射截面, 是 LD 泵浦的小型固体激光器的理想激光材料。更为重要的是, 沿 *a* 轴切割的 Nd : YVO₄ 能辐射偏振方向平行于 *c* 轴的线偏振光, 有利于腔内倍频。但 KTP 为双折射晶体, I 类位相匹配的 KTP 放入腔内后如果所起的波片作用不是 $\lambda/2$, 则腔内原来的偏振态将遭到破坏^[1,2], 除产生所谓“绿光问题”外, 还会使倍频效率降低。T. Sasaki 和 N. Mackinnon 等都分别对 Nd : YVO₄/KTP 腔内倍频激光器中倍频晶体 KTP 的波片作用进行过研究^[3,4], 发现随着 KTP 温度的改变激光器基频光的偏振状态及倍频光功率都发生周期性的变化。与 Nd : YAG 不同, Nd : YVO₄ 为各向异性晶体, 寻常光和非寻常光折射率分别为 1.958 和 2.168; 它们随温度的变化率 (dn/dT) 分别为 $+8.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 和 $+3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。当腔内原有的线偏振状态被 KTP 破坏后, 作为增益介质的 Nd : YVO₄ 也将对基频振荡的两个偏振分量起到相位延迟作用从而影响输出倍频光功率的大小。基于上述考虑, 本文研究了激光晶体 Nd : YVO₄ 温度的变化对基频光偏振状态及倍频光输出的影响, 并与 KTP 的影响进行了比较, 同时还对器件运行中激光晶体和倍频晶体温度以及器件输出特性与泵浦功率的关系进行了研究。

2 试验及结果

用中国科学院半导体所生产的中心波长为 809 nm、最大输出功率为 1 W 的激光二极管作泵浦源。激光二极管发出的光经一光学耦合系统聚焦到激光晶体上, 焦斑尺寸约为 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$, 光学系统的耦合效率为 65%。Nd : YVO₄ 的掺钕浓度为 2at-%, *a* 轴切割, 尺寸为 3.0

$\times 3.0 \times 1.3$ mm, 通光方向长度为 1.3 mm。晶体的一个表面镀有 $1.06 \mu\text{m}$ 的高反膜作为一个腔镜, 另一表面镀有 $1.06 \mu\text{m}$ 的增透膜以减少腔内损耗。倍频所用 KTP 晶体按 II 类相位匹配方向切割, 尺寸为 $4 \times 4 \times 5$ mm, 两端均镀有 $1.06 \mu\text{m}$ 和 $0.53 \mu\text{m}$ 的双色增透膜, 它在腔内与 Nd:YVO₄ 晶体紧贴, 其快轴与 Nd:YVO₄ 晶体的 *c* 轴成 45° 夹角。激光晶体 Nd:YVO₄ 和倍频晶体 KTP 均安装于半导体制冷片上以实现温控, 监测晶体温度的温度计紧贴于晶体侧面。

在泵浦功率为 330 mW 情况下仔细调节谐振腔及倍频晶体使激光器的输出最佳。先将 Nd:YVO₄ 的温度控制在 30°C , 改变 KTP 的温度测量激光器倍频光、总基频光及 π 偏振基频光输出功率, 它们与 KTP 温度的关系示于图 1。对于 5 mm 长的 KTP, 绿光随温度的变化周期约为 15°C 。图 2 是 KTP 的温度控制在 22°C 时激光器倍频及基频光输出与 Nd:YVO₄ 温度的关系。可以看出, 激光晶体的温度改变时绿光及 π (或 σ) 偏振基频光也发生周期性变化, 证明 Nd:YVO₄ 本身也起到了波片作用。激光晶体和倍频晶体一起形成复合波片对器件的输出产生影响。研究还发现, 激光晶体的波片作用并不是总能明显地表现出来, 它由 KTP 的状态决定。当 KTP 的温度控制在 22°C 时 Nd:YVO₄ 的波片作用最明显, 而当 KTP 温度控制在 15°C 或 30°C 时 Nd:YVO₄ 不表现出波片作用, 其它温度下 Nd:YVO₄ 的波片作用介于上述两种极限情形之间。由图 1(b) 可以看出, 当 KTP 的温度为 22°C 时激光器输出的 π 偏振和 σ 偏振基频光大小相等。 15°C 和 30°C 分别对应于 σ 和 π 偏振基频光取极大值的情形。

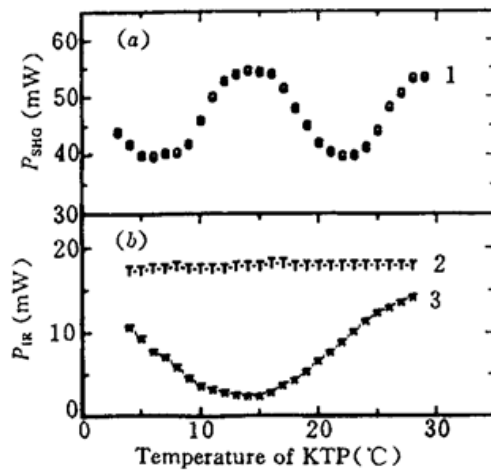


Fig. 1 Dependence of the SHG output power and the total and π polarized fundamental output on the temperature of the KTP crystal. The thickness of the KTP crystal is 5 mm and Nd:YVO₄ was temperature controlled at 30°C
1: SHG output; 2: total fundamental output; 3: fundamental output which has a polarization parallel to the *c* axis of Nd:YVO₄

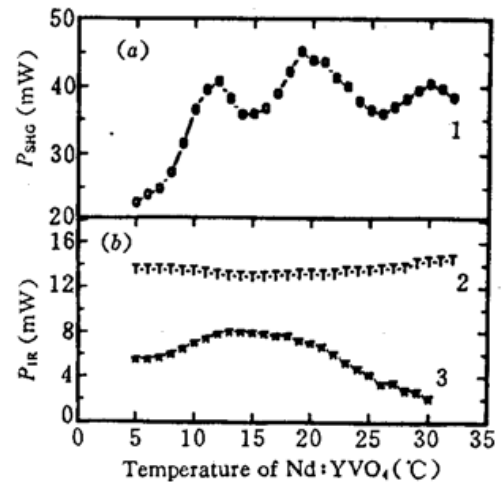


Fig. 2 Dependence of the SHG output power and the total and π polarized fundamental output on the temperature of the Nd:YVO₄ crystal. the KTP crystal was temperature controlled at 22°C
1: SHG output; 2: total fundamental output; 3: fundamental output which has a polarization parallel to the *c* axis of Nd:YVO₄

激光晶体温度的改变对器件输出特性的影响较倍频晶体 KTP 复杂, 除波片作用外, 激光晶体的荧光寿命、发射截面以及吸收特性均与温度有关。此外, 由于 Nd:YVO₄ 的一个表面是谐振腔的腔镜, 温度的改变使器件的腔参数发生变化而影响其输出。

图 3 是当 KTP 的温度控制在 30°C 、Nd:YVO₄ 的温度控制在 20°C 时器件倍频光及基频

光输出与泵浦功率的关系曲线,当泵浦功率为 604.2 mW 时获得 133.6 mW 单横模绿光输出,光-光转换效率为 22.1%。图中实线是根据腔内倍频理论及输出腔镜对 1.06 μm 基频光的剩余透过率(0.08%)算得的倍频及基频光输出与输入泵浦功率的关系,和实验曲线基本符合。

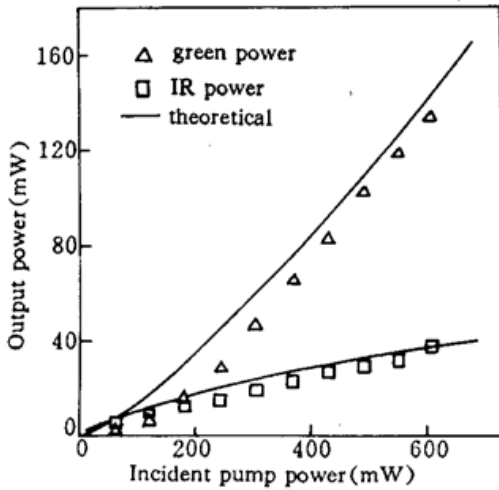


Fig. 3 Observed green output power (open triangles) and total fundamental output power (open squares) as a function of incident pump power. Solid lines; theoretically predicted values

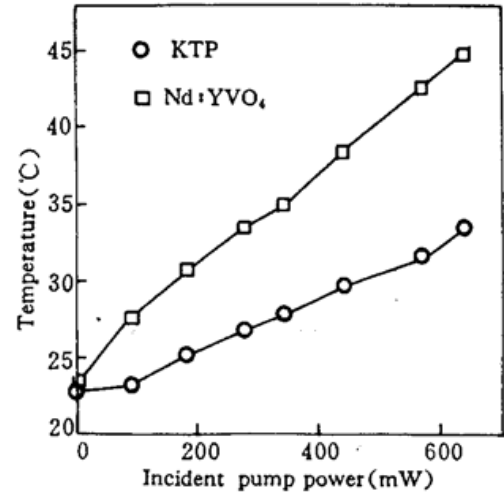


Fig. 4 Dependence of the temperature of Nd:YVO₄ and KTP on the incident pump power with a room-temperature of 22.8 °C

实用、小型、简单化是衡量器件优劣的重要标准之一。因此有必要对无温控情况下激光器的输出特性进行研究。图 4 给出室温为 22.8 °C 时在本实验所采用的晶体安装条件下激光及倍频晶体温度与泵浦功率的关系。当泵浦功率由 0 增加到 637.5 mW 时, Nd:YVO₄ 和 KTP 的温度分别由室温升到了 44.8 °C 和 33.5 °C。由于一般情况下是在泵浦功率为 330 mW 时, 调节谐振腔及倍频晶体使激光器的输出最佳, 由图 4 可知当泵浦功率增加到 637.5 mW 时, Nd:YVO₄ 和 KTP 的温度与 330 mW 时的值分别偏离了 10.8 °C 和 6.5 °C。如果晶体的散热状况得到改善可使上述的温度变化进一步减小。

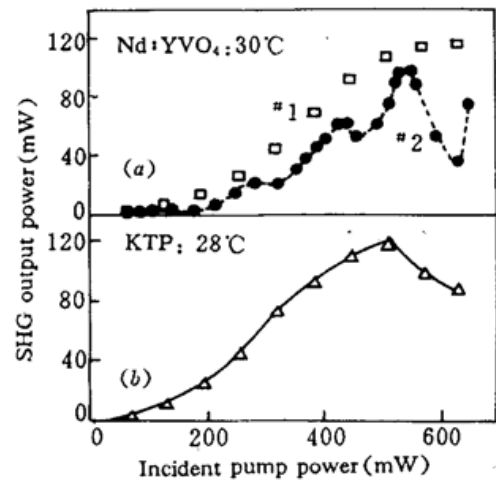


Fig. 5 Dependence of SHG output power on the incident pump power with
(a) a non-temperature-controlled KTP;
(b) a non-temperature-controlled Nd:YVO₄

图 5(a) 给出 Nd:YVO₄ 温控在 30 °C 而 KTP 没有温控情况下绿光输出与泵浦功率的关系。曲线 #2 是在 KTP 与支架之间导热较差的情况下测得的, 可以看出, 绿光随泵浦功率的增加经历了三个周期的变化。由图 1(a) 可以推知此时 KTP 的温度变化约为 45 °C, 小于 5 mm KTP 的容限温度 51.4 °C^[4]。所以, 曲线 #2 中绿光随泵浦功率的周期性波动是由 KTP 的波片作用引起的而非相位失配造成。曲线 #1 是改善 KTP 散热后的情况, 可以看出, 绿光在高泵浦功率时仅呈“饱和”趋势而并无明显下降。比较曲线 #1 和 #2 可得到如下结论:

(1) 要延长绿光随泵浦光的波动周期应改善倍频晶体的散热状况。这包括小横截面 KTP

的使用和晶体与支架之间导热的改善。

(2)在散热条件好而泵浦功率又不太高(几百毫瓦)的情况下由热效应引起的 KTP 波片作用的变化不会引起绿光输出的大幅度下降。

图 5(b) 是 KTP 温控在 28 °C 而 Nd : YVO₄ 没有温控情况下绿光输出与泵浦功率的关系, 当泵浦功率增加到 500 mW 时绿光输出开始下降。由图 4 我们已经知道, 随泵浦功率的增加 Nd : YVO₄ 的温度变化大于 KTP。而激光晶体温度的改变除了能在一定情况下导致波片作用发生变化外, 还改变了晶体的荧光寿命、发射截面、吸收特性及腔参数从而影响器件的输出。因此, 解决好激光晶体的散热是改善器件输出的关键问题之一。

参 考 文 献

- 1 Sten Helmfrid, Kimio Tatsuno. Stable single-mode operation of intracavity-doubled diode-pumped Nd : YVO₄ lasers; theoretical study. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, 11(3) : 436
- 2 K. Tatsuno, T. Andou, S. Nakatsuka *et al.*. Highly efficient and stable green microlaser consisting of Nd : YVO₄ with intracavity KTP for optical storage. *Conference on Lasers and Electro-Optics*, 1992, CWQ8 : 374
- 3 N. Mackinnon, B. D. Sinclair. A laser diode array pumped, Nd : YVO₄/KTP, composite material microchip laser. *Opt. Commun.*, 1994, 105(3,4) : 183
- 4 T. Sasaki, T. Kojima, A. Yokotani *et al.*. Single-longitudinal-mode operation and second-harmonic generation of Nd : YVO₄ microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1991, 16(21) : 1665

Thermal Effects of a Nd : YVO₄/KTP Diode-laser End-pumped Laser

Shen Deyuan Wang Changqing Shao Zongshu Jiang Minghua

(*Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100*)

Abstract Thermal effects of Nd : YVO₄ and KTP on a laser-diode end-pumped intracavity frequency-doubled laser was presented. The phase-retardation effects of Nd : YVO₄ were highlighted in this paper. 133.6 mW of green fundamental spatial mode light have been generated with a "light to light" conversion efficiency of 22.1% when the incident pump power was 604.2 mW.

Key words laser diode, pump, Nd : YVO₄ laser