

高效率 Nd : YVO₄ 激光器的特性研究

何慧娟 林岳明 陆雨田

(中国科学院上海光机所激光技术实验室, 上海 201800)

提要 报道激光二极管泵浦的 Nd : YVO₄ 激光器的激光特性研究。激光晶体 Nd : YVO₄ 厚度为 1 mm, 基横模(TEM₀₀ 模)输出功率为 273 mW, 斜率效率为 41%。

关键词 固体激光器, 激光二极管泵浦

1 引 言

用激光二极管阵列作为泵浦源, 纵向终端泵浦方式仍然是获得高转换效率、高光束质量(TEM₀₀ 模)的小型固体激光器的最好方式。寻找高吸收系数的激光晶体是十分重要的, 它将进一步缩短晶体长度和减小损耗。Nd : YVO₄ 晶体的早期光谱研究^[1]已预示其激光增益高, 吸收光谱宽于 Nd : YAG。Nd : YVO₄ 晶体属于四方空间群, 存在 *a* 轴和 *c* 轴两种切割方式。*a* 轴切割晶体在 809 nm 处的吸收系数是 Nd : YAG 的 3.5 倍, 激光发射截面是 Nd : YAG 的 2.7 倍, 因此 Nd : YVO₄ 激光器具有低阈值和高转换效率的特点。

本文对 1 mm 厚的 Nd : YVO₄ 晶体的激光特性进行了研究, 连续 TEM₀₀ 模输出功率为 273 mW, 斜率效率为 41%。并对晶体的吸收系数进行了实验测量, 估算值为 20 cm⁻¹(Nd 浓度 1%)。

2 激光谐振腔和激光特性

激光谐振腔采用平凹腔, 它由曲率半径 $R = 100$ mm 的凹面镜和 Nd : YVO₄ 晶体的一个平面组成, 如图 1 所示。球面镜作为输出耦合镜, 镀以不同透过率的 1064 nm 反射膜。Nd : YVO₄ 是 *a* 轴切割的晶片, 厚度为 1 mm。晶体的 *a* 面上镀有 809 nm 增透膜和 1064 nm 高反膜, 并作为谐振腔的一个后腔板; 晶体的 *b* 面镀有 1064 nm 增透膜。泵浦光由激光二极管阵列经过耦合光学系统聚焦在晶体的 *a* 面上。图 2 给出了 Nd : YVO₄ 晶体的激光输入输出特性, 凹面镜的输出耦合率采用 $T = 9.7\%$, 13% , 18% 。实验测量认为最佳透过率是 13%。图中给出了二组曲线, 当 $T = 13\%$ 时, 输出功率达到 273 mW, 斜率效率为 41%, 阈值功率为 54 mW。当 $T = 18\%$ 时, 斜率效率为 35%, 阈值功率为 62 mW。

平凹腔的基横模半径是

$$\omega_0^2 = (\lambda/\pi)[L(R - L)]^{1/2} \tag{1}$$

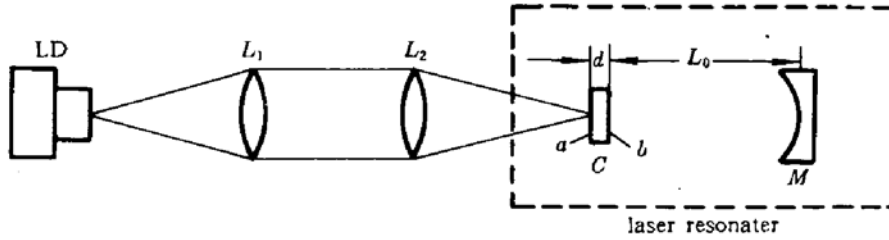


Fig. 1 The schematic diagram of diode-laser pumped Nd : YVO₄ laser.

LD: diode array laser; L₁ and L₂: collimating and focusing lens, respectively; C: Nd:YVO₄ crystal, length=1 mm; M: a concave mirror; R = 100 mm

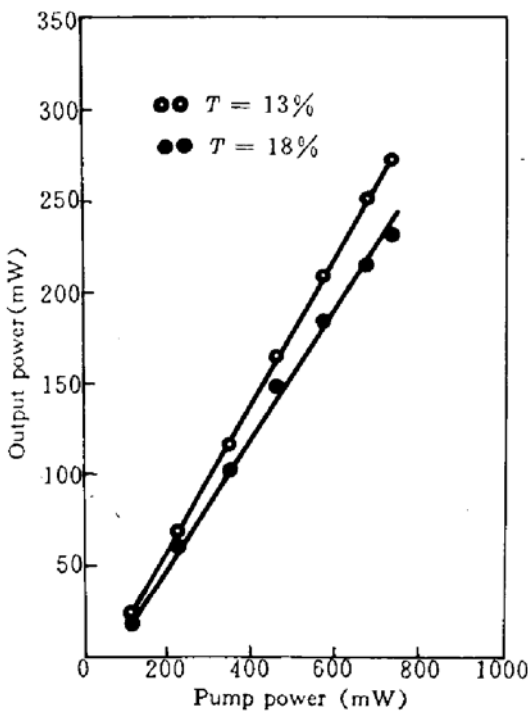


Fig. 2 TEM₀₀ mode output power as a function of pump power of Nd : YVO₄ laser

其中 λ 是激光波长, R 是凹面镜的曲率半径, L 是有效腔长, $L = d/n + L_0$, d 是晶体厚度, n 是晶体折射率, L_0 是晶体的 b 面到凹面镜的距离。当 $d = 1 \text{ mm}$, $L_0 = 94.65 \text{ mm}$, $n = 2.1652$, 从式(1)得出激光谐振腔的基横模 (TEM₀₀ 模) 的半径计算值 $\omega_0 = 85 \mu\text{m}$ 。

为了把实验结果与理论估算相比较, 给出了阈值功率 P_{th} 的表示式^[2]

$$P_{th} = \frac{\pi h c \omega_0^2 L_c}{2 \sigma \tau_f \lambda_p \eta_p F} \tag{2}$$

其中 h 是普朗克常数, c 是光速, ω_0 是 TEM₀₀ 模的半径, L_c 是腔的全部损耗, σ 是 Nd : YVO₄ 的激光发射截面, τ_f 是晶体的上能级寿命, λ_p 是泵浦光波长, η_p 是晶体对泵浦光的吸收效率, F 是 $4F_{3/2}$ 能级中激光工作能级的玻尔兹曼百分系数。由于 Nd : YVO₄ 基质中 $4F_{3/2}$ 能级的子能级分裂很小, 故对 Nd : YVO₄ 晶体, (2) 式中的 F 忽略不计。

斜率效率与激光腔内的全部损耗的关系式

为^[3]

$$L_c = \left(\frac{T}{\eta_s} \right) \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_L} \right) \eta_p \tag{3}$$

式中 T 是激光谐振腔输出耦合镜的透过率, η_s 是斜率效率, λ_p 和 λ_L 分别是泵浦光和输出激光的波长。

为了得出激光晶体的 η_p 或吸收系数 α_0 我们进行了实际测量。因为

$$I = I_0 e^{-\alpha_0 d} \tag{4}$$

式中 I_0 是晶体的入射光强, I 是泵浦光经过晶体吸收后剩余的光, d 是晶体厚度, α_0 是晶体吸收系数。所以测量 I 和 I_0 可得出 $\alpha_0 d$ 。实验中测得其平均值为 1.95, 当 $d = 0.1 \text{ cm}$ 时, $\alpha_0 = 19.5 \text{ cm}^{-1} \approx 20 \text{ cm}^{-1}$ 。

因此, 当激光腔的透过率 $T = 13\%$, $\eta_s = 41\%$, $\lambda_p = 809 \text{ nm}$, $\lambda_L = 1064 \text{ nm}$, $\eta_p = 0.86$, 由式(3)得出 $L_c = 0.21$ 。

Nd : YVO₄ 晶体的上能级寿命 $\tau_f = 90 \mu\text{s}$, 激光发射截面 σ 是 Nd : YAG 的 2.7 倍, Nd : YAG 的激光发射截面是 $4.6 \times 10^{-19} \text{cm}^2$ ^[4], 所以 Nd : YVO₄ 的 $\sigma = 12.42 \times 10^{-19} \text{cm}^2$, $\omega_0 = 85 \mu\text{m}$, $L_c = 0.21$, $\lambda_p = 809 \text{nm}$, $\eta_p = 0.86$ 。用式(2)得出阈值功率的计算值为 61 mW, 这与实验结果 54 mW 基本一致。

3 结 论

我们已研制成功低阈值高效率的激光二极管泵浦的连续 Nd : YVO₄ 激光器, 激光器 TEM₀₀ 模输出功率 273 mW, 阈值功率 54 mW, 斜率效率 41%, 并对 Nd : YVO₄ 晶体的吸收系数作了测量, 吸收系数是 20cm^{-1} 。

致谢 Nd : YVO₄ 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 J. R. O' Connor. *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **11**(9) : 407
- 2 T. Y. Fan, M. R. Kokta. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1989, **QE-25** : 1845
- 3 M. J. F. Digonnet, C. J. Gaeta. *Appl. Opt.*, 1985, **24** : 333
- 4 R. A. Fields, M. Birnbaum, C. L. Fincher. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23) : 1885

The Characteristic Study of High-efficiency Nd : YVO₄ Laser

He Huijuan Lin Yueming Lu Yutian

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

Abstract The diode-laser end-pump lasing of Nd : YVO₄ was reported. The low threshold (54 mW) and high output power (TEM₀₀ mode 273 mW) are observed. 41% optical slope efficiency is obtained. The length of Nd : YVO₄ crystal is 1 mm with Nd³⁺ concentration 1%.

Key words solid lasers, diode-pumped