

激光二极管泵浦 Nd : YVO₄ 晶体的激光特性

黄奕川 邱闽旺 赵挺洁 陈 光 罗遵度

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

提要 报道了用激光二极管纵向泵浦掺钕钒酸钇晶体的激光实验结果。当输入功率为 320 mW 时, 激光输出为 78.8 mW, 光-光转换效率为 24.6%。

关键词 半导体激光二极管, Nd : YVO₄ 晶体, CW 激光

1 引 言

掺钕钒酸钇晶体 [Nd : YVO₄] 为四方晶体。锆英石 (SrSiO₄) 型结构, 属单轴晶系。Nd : YVO₄ 中激活离子位置具有低的点群对称性, 离子的振荡强度大, 这种基质对 Nd³⁺ 有敏化作用, 提高了 Nd³⁺ 离子的吸收能力。Nd : YVO₄ 在 1.06 μm 处具有较大的受激发射截面 ($20 \sim 30 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-1}$), 大约为 Nd : YAG ($6.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-1}$) 的四倍。通过晶体的光谱实验, 从吸收光谱图 1, 明显看出在 0.809 μm 附近, Nd : YVO₄ 的吸收带宽 (约为 21 nm) 约为 Nd : YAG (10 nm) 的二倍。吸收峰也较高。有利于用激光二极管泵浦, 并易获得稳定的 1.06 μm 的激光输出。同时 Nd : YVO₄ 是一种高双折射率晶体 (在 1.06 μm 处, $n_o = 1.958$, $n_e = 2.168$)。只要对晶体的一端稍加磨斜, 就具有内腔偏振镜的作用, 可以使器件进一步简化。上述情况表明: Nd : YVO₄ 与 Nd : YAG 相比, 具有高增益、宽吸收带、低阈值等优点。

自 60 年代后期起, 国际上就曾用伯努利法、浮区法、助熔剂法生长 Nd : YVO₄ 晶体。由于 Nd : YVO₄ 晶体生长原料组份 Y₂O₃ 和 V₂O₅ 之间的熔点相差过大, 很难获得组份偏离小、光学均匀性好的 Nd : YVO₄ 晶体。我所运用液相配料法, 摸索出一套最佳的生长工艺参数, 降低了生长过程中由于 V₂O₅ 的挥发导致的组份偏离, 利用中频感应加热炉, 采用提拉法, 沿着 C 轴方向成功地生长出 $\phi 15 \times 20 \times 50 \text{ mm}$ 的组份偏离小、光学均匀性较好的完整大单晶。

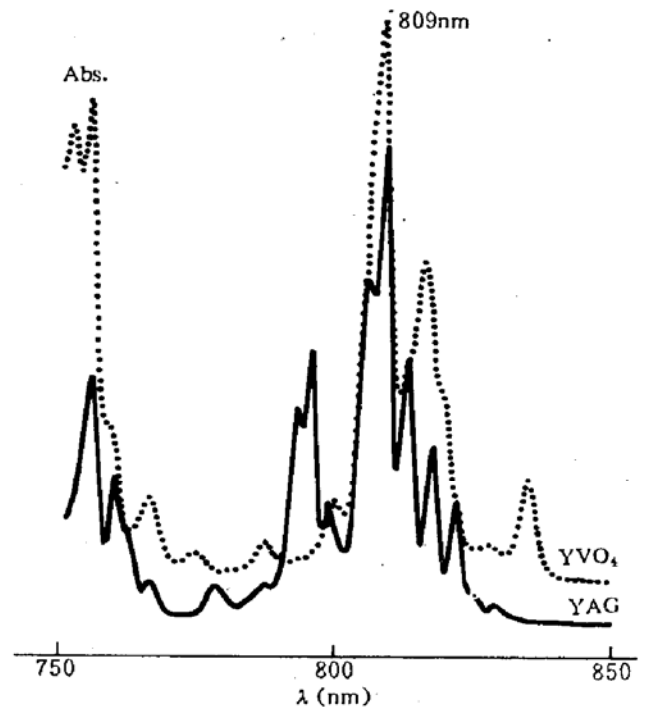


Fig. 1 Absorption spectra of YVO₄ and YAG

2 激光实验及分析

LD 泵浦我所研制的 Nd : YVO₄ 晶体(采用 a 轴切割),其激光实验装置如图 2 所示。

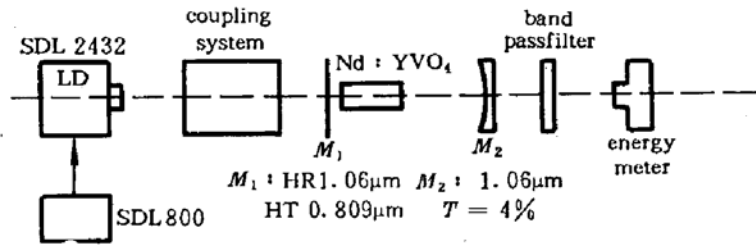


Fig. 2 Schematic diagram of LD pumped Nd : YVO₄ laser

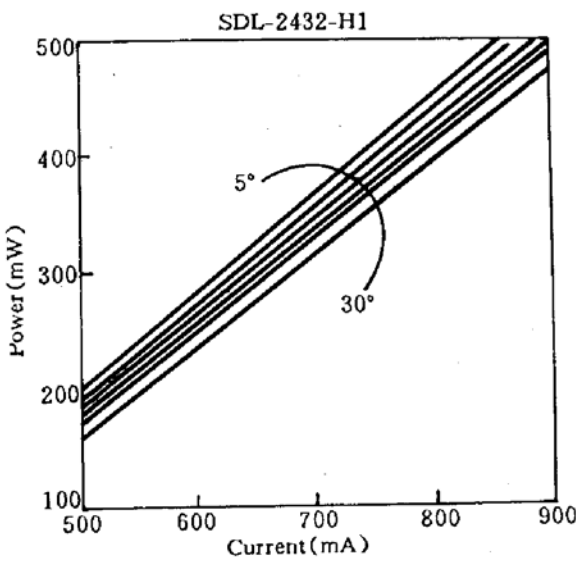


Fig. 3 LD output power vs inject current and temperature

我们使用的半导体激光二极管是美国光谱物理公司生产的 SDL-2432 型。它的发光面积 $W \times H = 100 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$, 发散角 $\theta_{//}$ 和 θ_{\perp} 分别是 10° 和 40° 。发射光谱的波长范围是 $790 \sim 835 \text{ nm}$ 。激光输出的中心波长与注入的电流和温度有关。波长的温度系数为 $\Delta\lambda/\Delta T = 0.24 \text{ nm}/^\circ\text{C}$, 如图 3, 图 4 所示。

根据半导体激光二极管和固体激光器的特点,要使 LD 泵浦 Nd : YVO₄ 激光器获得较理想的激光输出,需要做好以下几项工作:

1) 利用 LD 的温控调节系统,根据 LD 的温度、波长、电流的关系,选择好 LD 的发射光谱的中心波长使其与 Nd : YVO₄ 的最强吸收峰(809 nm)达到最佳匹配。

2) 选择好聚焦耦合系统。由于 LD 的发散角大、而且水平和垂直方向的发散角相差很大,

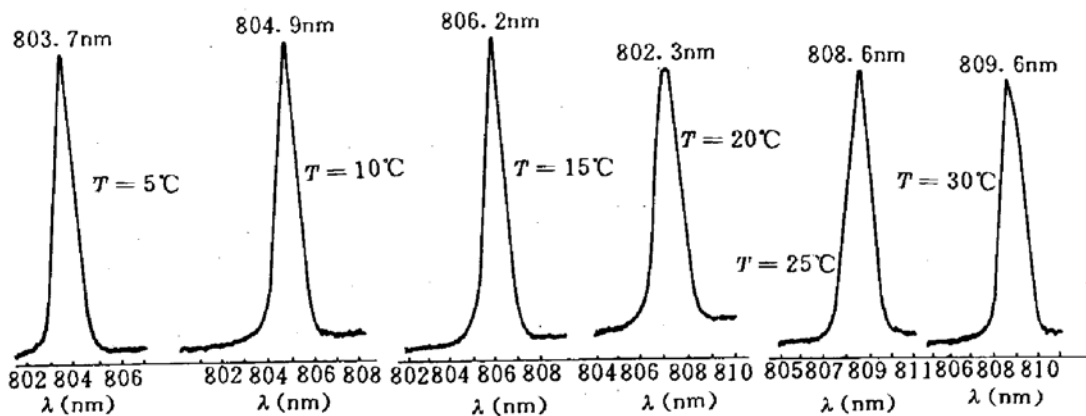


Fig. 4 The central wavelength of LD vs control temperature

根据纵向泵浦激光器的阈值公式

$$P_{th} = \frac{\pi h\nu\delta(\omega_o + \omega_p)}{2\sigma_s\eta_p\tau}$$

其中 ω_0 是固体激光器的基模半径, ω_p 是泵浦光经过光学聚焦耦合系统后的焦斑半径, δ 是激光器的损耗。从上式可见 P_{th} 直接与 ω_0, ω_p 有关, ω_p 小, 阈值低。因此必须使 LD 通过聚焦系统后的光束直径小、光密度大, 而且超过泵浦阈值, 满足模匹配的聚焦长度越长越好。一般可选用圆聚焦镜和柱面透镜组成的透镜组。以改善泵浦光的光束质量。

3) 固体激光器一般采用平凹谐振腔, 由于平凹谐振腔结构的束腰位于平面镜上, 其高斯光束参数是

$$\omega_0 = \left[\frac{\lambda^2 L (R - L)}{\pi^2} \right]^{1/4}$$

λ 是激光波长, R 是凹面镜的曲率半径, L 是谐振腔的腔长。从上式可以看出 ω_0 直接与 L, R 有关。因此, 可根据泵浦光的光斑 ω_p 适当地选择 R 和 L , 使固体激光器的束腰 ω_0 和模体积与泵浦光束能很好地匹配, 以求达到最佳的泵浦效率。

实验步骤:

用 He-Ne 激光和内调焦平行光管来准直和调节各光学部件。

(1) 调准 LD 发射光束与 He-Ne 光束同轴, 然后调好聚焦系统, 使聚焦系统、LD 发射光束与 He-Ne 光束同轴, 光路重合。并调节 LD 与聚焦系统的相对位置, 使 LD 发射的光束通过聚焦系统后的光斑半径小于 80 μm ;

(2) Nd:YVO₄ 激光器是由 3 mm × 3 mm × 5 mm 的晶体和平凹谐振腔构成的。采用外腔式腔。平行平面镜为全反镜, 对 1.06 μm 高反, 反射率达 99.9%, 对 790~830 nm 高透, 透过率达 90% 以上。平凹镜为输出镜, 其曲率半径 $R = 80 \text{ mm}$, 其 1.06 μm 的透过率 $T = 4\%$ 。晶体放在靠近平面镜一端, 晶体和平凹腔都有独立的调节系统, 可用 He-Ne 光束和内调焦平行光管仔细地调节使其各个光学平面相互平行和同轴。

(3) 以 He-Ne 光束为基准。调节好泵浦光的光轴与固体激光器的腔轴线重合。并调节固体激光器与 LD 系统的相对位置, 使泵浦光的焦点准确地落在晶体的合适位置上, 使泵浦光的光束体积与腔的模体积相匹配, 采用这样的调节方法, 很快可以获得激光输出。

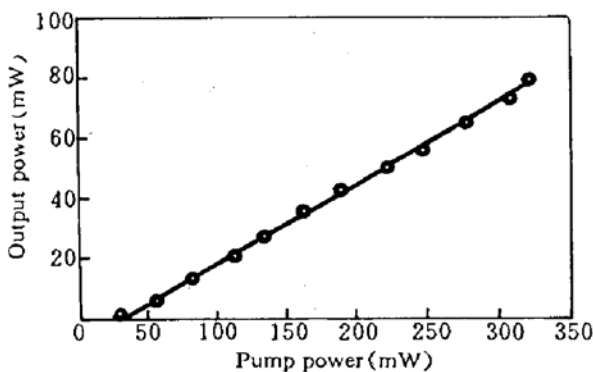


Fig. 5 The output power curves of LD-pumped Nd:YVO₄ laser

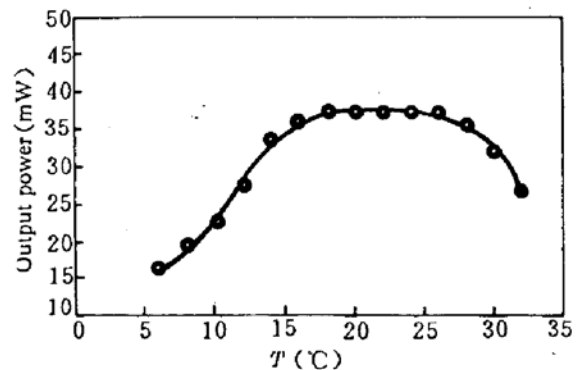


Fig. 6 The curves of Nd:YVO₄ output power vs LD temperature

我们用 LPE-1B 功率计, 测量泵浦光和 1.06 μm 激光的功率, 其输入功率~输出功率的曲线如图 5 所示, 并测出 LD 的温度与输出功率的关系如图 6 所示。当泵浦光的功率为 320 mW 时, Nd:YVO₄ 激光器输出的 1.06 μm 激光功率为 78.8 mW, 转换效率为 24.6%, 阈值功率小

于 30 mW。

3 结 论

上述实验表明,由于 Nd : YVO₄ 晶体在 808 nm 处有宽的吸收带和高的吸收系数。而 Ga_{1-x}Al_xAs 激光二极管的发射光谱区域正好落在 790~830 nm 范围,用温度控制器可以准确地控制 LD 的发射谱与 Nd : YVO₄ 的吸收谱完全匹配。从图 6 明显看出当激光二极管的控制温度从 18 °C 变化到 28 °C 时,1.06 μm 的激光输出变化很小,实验证明用 LD 泵浦 Nd : YVO₄ 容易获得高转换效率、高稳定的激光输出。

参 考 文 献

- 1 单振国. 中国激光, 1990, 17(5) : 577
- 2 Fan T. V., Byer R. L. . *IEEE J. Quant. Electr.* , 1988, QE-24(6) : 905
- 3 屠钦澧, 张自襄. 激光实验原理和方法. 北京: 北京工业学院出版社, 1988. 156
- 4 P. Laporta *et al.* . *IEEE J. Quant. Electr.* , 1991, QE-27(10) : 2319
- 5 R. A. Fields *et al.* . *Appl. Phys Lett.* , 1987, 51(23) : 1885

Laser Characteristics of LD Pumped Nd : YVO₄ Crystal

Huang Yichuan Qiu Mingwang Zhao Tingjie Chen Guang Luo Zengduo
(Fujian Institute of Research of the Structure of Matter, Academy of Sciences, Fuzhou 350002)

Abstract The experimental result of LD pumped Nd : YVO₄ laser was reported. When input laser power is 320 mW, its output laser power is up to 78.8 mW, light to light conversion efficiency is up to 24.6%.

Key words semiconductor laser diode, Nd : YVO₄ crystal, CW laser