

高效 Nd·S-VAP 激光器的特性研究

沈德元 王长青 邵宗书 孟宪林 蒋民华

(山东大学晶体材料研究所 济南 250100)

提要 报道了激光二极管泵浦高效 Nd·S-VAP 激光器输出特性的研究结果。激光晶体掺钕浓度为 ~ 3%, 厚度为 2.6 mm, 基横模输出功率为 233.0 mW, 斜率效率为 42.2%。

关键词 激光二极管, 泵浦, 氟钒酸锶, 激光器

1 引 言

掺钕氟钒酸锶[Nd·Sr₅(VO₄)₃F, 或 Nd·S-VAP] 是近年来国外报道的一种新型激光晶体材料^[1~3]。该晶体是磷灰石结构, 属六方晶系, 空间群为 *P63/m*, 是负单轴晶体。*o* 光和 *e* 光的折射率差很小($n_o = 1.810$, $n_e = 1.809$), 且 dn/dT 为负值($-8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 和 $-11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)。该晶体适合激光二极管(LD)泵浦用的吸收峰在 809.6 nm 处, 吸收线宽为 1.6 nm(FWHM)。在 1065 nm 处的受激发射截面为 $5 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, 荧光寿命为 230 μs 。Nd·S-VAP 泵浦阈值低、转换效率高, 生长制备技术较为简单, 容易获得大尺寸、高光学质量的晶体, 适于制作 LD 泵浦的中小功率固体激光器, 具有广阔的应用前景。我们于 1994 年 10 月研制成功 Nd·S-VAP 晶体, 并报道了用国产 LD 泵浦、KTP 腔内倍频的 Nd·S-VAP 绿光激光器^[4]。本文对钕掺杂浓度为 ~ 3%、厚度为 2.6 mm 晶体的激光特性进行了研究, 分析了激光器的噪声分布及腔模束腰半径与泵浦功率的关系。激光器连续运转, TEM₀₀模输出功率为 233.0 mW, 斜率效率为 42.2%。

2 实验及结果分析

由于 Nd·S-VAP 晶体属六方晶系, 沿 *X*-轴方向和 *Y*-轴方向的晶格结构和面网密度都不同, 其光谱特性也有所不同, 沿 *X*(*a*)-轴切割的样品具有增益截面大、荧光谱的偏振度高等优点。实验中所用的 Nd·S-VAP 样品沿 *X*(*a*)-轴方向切割, 晶体尺寸为 4.4 × 3.9 × 2.6 (mm), 通光方向长度为 2.6 mm。晶体对 809.6 nm 泵浦光的吸收系数为 10.71 cm^{-1} 。LD 泵浦 Nd·S-VAP 晶体的激光实验采用端面泵浦方式, 泵浦光源是中国科学院半导体研究所生产的激光二极管, 其发光元面积为 $1 \times 100 \mu\text{m}^2$, 中心波长为 809 nm, 根据 GaAlAs 异质结的波导特性, 该 LD 的输出为线偏振的 TE 模。实验所用 LD 的最大输出功率为 1 W, 外加温控仪对其发射波长进行控制。用梯度折射率透镜进行端面泵浦耦合。晶体的一端面镀有 1.06 μm 全反膜 ($R \geq 99.5\%$), 作为激光谐振腔的一个腔镜, 晶体的另一端镀 1.06 μm 增透膜, 以减小腔内反射

损耗。输出镜为一平面镜,对 $1.06 \mu\text{m}$ 基频振荡的透过率为 3%。输出镜与镀 $1.06 \mu\text{m}$ 增透膜的晶体表面的距离为 $\sim 1 \text{ mm}$,即谐振腔的几何腔长约为 3.6 mm 。泵浦系统(LD+ 梯度折射率透镜)至激光晶体的距离可精确调整从而改变泵浦光焦点在晶体中的位置。

控制 LD 的温度使其发射谱的中心波长恰好等于 Nd·S-VAP 晶体的峰值吸收波长,泵浦光的偏振方向与晶体的 c 轴平行(π 偏振)。仔细调整谐振腔及泵浦光焦点在晶体中的位置,用 CCD 摄像系统监测激光输出的模式,保证其基横模工作。测量了激光器的输入-输出特性曲线,如图 1 所示。在泵浦功率为 577.0 mW 时得到 $1.065 \mu\text{m}$ 激光输出最大功率 233.0 mW ,对应的光-光转换效率为 40.4%,激光器的斜率效率为 42.2%。激光器的实测阈值泵浦功率为 7.1 mW ,与理论估算值基本一致。需要指出的是,在上面计算激光器的效率时我们没有考虑作为腔镜的激光晶体前表面对泵浦光的反射损失及没有被晶体吸收的泵浦光的透过损失部分。根据晶体的厚度和对泵浦光的吸收系数可以算出,在波长匹配的情况下进入晶体的泵浦光只有 93.8% 被吸收而起到泵浦作用。我们相信,如能提高 Nd·S-VAP 对泵浦光的吸收系数并在晶体的前表面镀以泵浦光(809.6 nm)的增透膜,激光器的效率可进一步提高。

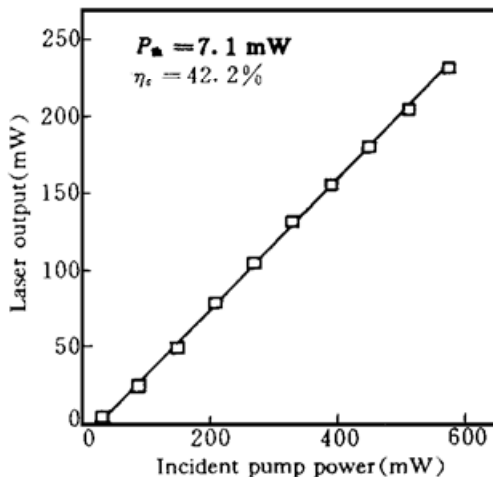


图 1 输出耦合为 $T = 3\%$ 时, Nd·S-VAP 激光器的输出功率与输入泵浦功率关系

Fig. 1 Output power of the Nd·S-VAP laser versus incident pump power with an output coupler of $T = 3\%$ used

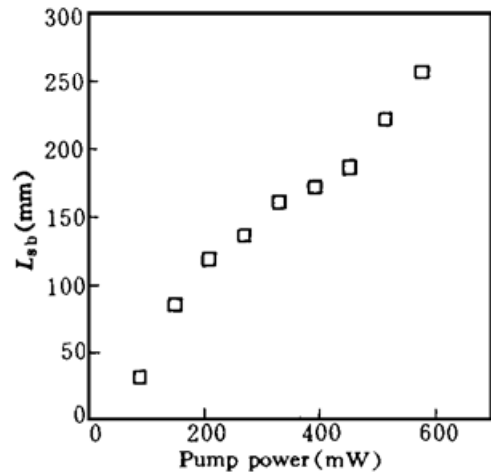


图 2 Nd·S-VAP 激光器稳定振荡的最大腔长 L_{sb} 与泵浦功率对应关系

L_{sb} : 振荡变为不稳定时的腔长

Fig. 2 Variation of the maximum cavity length L_{sb} of the Nd·S-VAP laser with the pump power

L_{sb} : cavity length at which the resonator becomes unstable

图 2 给出不同泵浦功率对应的激光器能稳定振荡的最大腔长 L_{sb} 。可以看出, L_{sb} 随泵浦功率呈单调增加的趋势。我们知道,对于折射率温度梯度为正值的激光工作物质($dn/dT > 0$),在泵浦功率较大时其稳定振荡的谐振腔长随泵浦功率的增加而减小。Nd·S-VAP 激光器的上述性质是与晶体折射率的温度梯度为负值分不开的。

用 HP3585A 型频谱分析仪(频率范围: $20 \text{ Hz} \sim 40 \text{ MHz}$)和快速光二极管探测器测量了 $20 \text{ Hz} \sim 2 \text{ MHz}$ 范围内 Nd·S-VAP 激光器输出的幅度噪声谱。图 3 是激光器输出功率为 150 mW 时的噪声谱, 680 kHz 处的尖峰是由 Nd·S-VAP 激光器的弛豫振荡造成的,这是引起固体激光器输出涨落的主要机制。尖峰随着泵浦功率的变化而发生移动,其变化速率与泵浦功率

的二分之一次方成正比。在低频处的噪声为激光器的寄生噪声, 主要由泵浦源自身的涨落、激光器谐振腔的不稳定及谐振腔内的空气湍流等因素造成。

泵浦光束形状和晶体的热透镜效应对于平行平面腔激光器的模式起着决定作用。当泵浦光束的焦点位于激光晶体内部时容易获得基横模输出; 而当泵浦光束焦点位于晶体两侧时激光器输出光斑一般为椭圆, 这是由于离焦点后泵浦光束的形状偏离了圆形分布。研究还发现, 泵浦功率的大小对激光模式有较大的影响。如果在泵浦功率较小时调节激光器的谐振腔使其输出为多模或某一高阶横模, 随着泵浦功率的增加激光器可变为基横模运转。图 4 是用 CCD 记录的激光器横模的远场图像, (a) 和 (b) 分别对应泵浦功率为 20 mW 和 120 mW 时的情形。

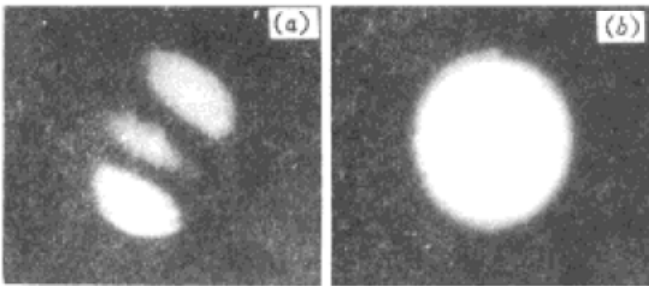


图 4 用 CCD 记录的 Nd·S-VAP 激光器横模远场图像 (a) 泵浦功率为 20 mW; (b) 泵浦功率为 120 mW

Fig. 4 Pattern of the transverse mode of the Nd·S-VAP laser recorded with a CCD camera in the far-field with a pump power of (a) 20 mW and (b) 120 mW

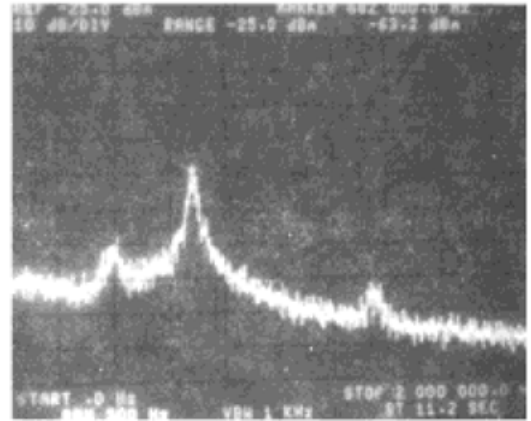


图 3 用 300 Hz 带宽分辨率的频谱分析仪获得的 Nd·S-VAP 激光器的噪声谱

Fig. 3 Noise spectrum of the Nd·S-VAP laser obtained using a spectrum analyzer with a resolution bandwidth of 300 Hz (horizontal scale: 200 kHz/div)

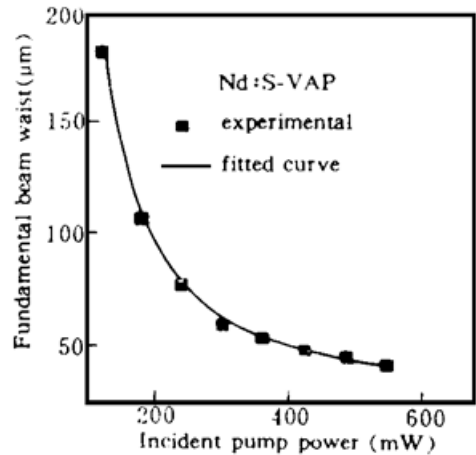


图 5 振荡束腰与泵浦功率的关系

Fig. 5 Oscillating waist within the device as a function of the incident pump power

在保证激光器为基横模运转的情况下用 CCD 摄像系统和针孔探测器一维扫描两种方法研究了 Nd·S-VAP 激光器光束发散角与泵浦功率的关系。实验发现, 光束的发散角随泵浦功率的增加迅速变大。图 5 是根据发散角求得的激光器基模振荡束腰 W_0 (μm) 与泵浦功率 P_p (mW) 大小的关系, 经计算机拟合发现 W_0 与 $P_p^{-1.7}$ 成正比。

参 考 文 献

1 S. A. Payne, B. H. T. Chai, W. L. Kway *et al.*. New high cross section laser crystal: Neodymium-doped Strontium Fluorovanadate. CLEO'93, Baltimore, 1993, Postdeadline Paper CPD12-1/24

- 2 George Loutts, Ping Hong, Bruce Chai. Comparison of neodymium laser hosts based on fluoro-apatite structure. MRS Fall Meeting, Boston, 1993, 12 : Paper R4. 2
- 3 Laura D. Deloach, Stephen A. Payne, Bruce H. T. Chai *et al.*. Laser demonstration of neodymium-doped strontium chlorovanadate. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(10) : 1208
- 4 Wang Changqing, Shen Deyuan, Meng Xianlin *et al.*. A diode-pumped low threshold Nd :S-VAP/KTP Laser. *Chinese Journal of Lasers*, 1995, **B4**(5) : 393

Performance of a Diode-Laser End-pumped Highly Efficient Nd :S-VAP Laser

Shen Deyuan Wang Changqing Shao Zongshu Meng Xianlin Jiang Minhua
(*Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100*)

Abstract The characteristic of a LD pumped highly efficient Nd :S-VAP laser using a plano-plano resonator is presented. The output power at 1.065 μm is 233 mW for an incident pump power of 577 mW, yielding an optical efficiency of 42.4%.

Key words laser diode, pump, Nd :Sr₅(VO₄)₃F (or Nd :S-VAP), laser

勘
误

因作者疏忽,本刊1997年第2期上刊登的“激光与DNA作用的非线性扰动方程的研究”一文内,第185页“引言”下的第11行中“建立”应改为“使用”,特此更正,并致歉意。