

染料激光泵浦 Nd:S-VAP 晶体激光特性研究

王青圃 赵圣之 张行愚 王效杰

(山东大学光学系, 济南 250100)

孙连科 张少军

(山东大学晶体所, 济南 250100)

王象太

(山东师范大学物理系, 济南 250002)

摘 要 实验测定了 Nd:Sr₅(VO₄)₃F(简称 Nd:S-VAP)晶体的吸收光谱特性;在 583.0 nm 和 809.0 nm 处有强的吸收峰。用可调谐染料激光作泵浦源,实现了低阈值、高效率的激光运转。在透射率 15%的平面平行腔情况下,斜率效率为 50%,阈值为 2 mJ。倍频光中心波长为 536.0 nm,线宽为 1.4 nm。本文还对 Nd:S-VAP 晶体可作为 LD 泵浦的小型激光器的工作物质等问题进行了讨论。

关键词 Nd:S-VAP, 激光特性, 低阈值, 高效率。

1 引 言

用激光二极管或微型氙灯泵浦掺钕晶体的中、低功率(或能量)激光器,在许多应用中受到人们的关注。为了尽量减小泵浦功率的损耗,要求激活介质具有尽可能小的工作阈值和高的运转效率。除多年来研究的 Nd:YVO₄^[1,2]等晶体以外,最近用提拉法研制成功的 Nd:S-VAP 晶体,它在实现低阈值、高效率的激光运转方面具有独特的优点。本文就其激光特性进行报道。

2 实 验

Nd:S-VAP 为磷灰石结构、单轴晶体。折射率为 1.810, 1.809;且 dn/dT 为负值(-8×10^{-6} , $-11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;而 Nd:YVO₄ 为 8.5×10^{-6} , $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)。它具有大的受激发射截面($50 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$)和长的亚稳态寿命(230 μs),发射截面和寿命的积为 $11.5 \times 10^{-20} \text{ ms} \cdot \text{cm}^2$ (Nd:YVO₄ 为 $10 \times 10^{-20} \text{ ms} \cdot \text{cm}^2$),具有宽的有效吸收带和二一个强的吸收峰(583.0 nm, 809.0 nm)。Nd:S-VAP 是一种物理化学性能稳定,适合作袖珍激光器的工作物质,与 YVO₄ 相比易于生长。

实验装置如图 1 所示。其中 1 为 Quanta Ray DCR-3 可调谐染料激光器,调谐范围为

570.0~590.0 nm, 线宽为 2.0 nm, 脉冲宽度 10 ns。3 为 Nd:S-VAP 晶体, 其尺寸为 3×3×3 mm, 通光的两个端面平行于光轴。4、5 构成平面平行腔, 腔长 5 cm, 其中后反射镜 R_H 的反射率为 99.6%, R_∞ 为可调输出耦合的反射镜。2 为两个垂直放置的柱面透镜, 它们将染料激光聚焦, 焦点约在 Nd:S-VAP 晶体的后表面处, 这样实现了横向泵浦。6 为倍频用的 KTP 晶体。7 为 NJ-J₁ 型脉冲能量计。8 和 9 为活动式反射镜。10 为 M1460 光学多道分析仪 (OMA-ⅢR), 用来测量倍频光的光谱特性。11 为 TEK-466 型存贮示波器, 测量输出激光波形。

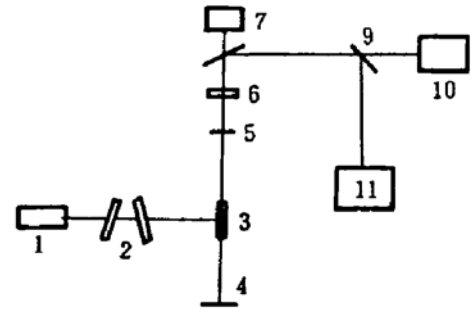


Fig. 1 Arrangement for transverse laser-pumped laser experiments

3 实验结果与讨论

3.1 吸收与发射光谱特性

图 2 给出日立-340 分光光度计测得的吸收光谱。与 YAG、NAB 等的吸收光谱相比, Nd^{3+} 离子在基质材料 S-VAP 中的吸收光谱, 同样有宽的吸收带。可以用氙灯作泵浦源。吸收光谱图还显示, 在 583.0 nm 和 809.0 nm 附近有强的吸收峰, 对应两大吸收截面。后者的峰值半宽度 (FWHM) 为 ~1 nm, 中心波长恰在室温工作的激光二极管中心波长附近。因此可以预料, Nd:S-VAP 更适合于用激光二极管泵浦源以实现中低能量激光器的小型化。图 3 是

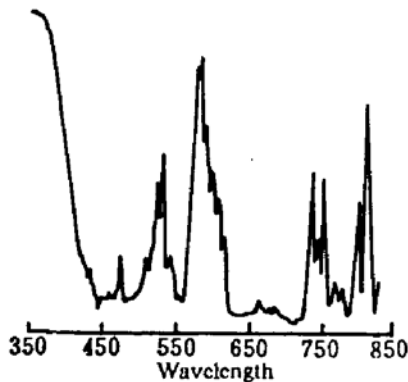


Fig. 2 Room temperature absorption spectrum of Nd:S-VAP

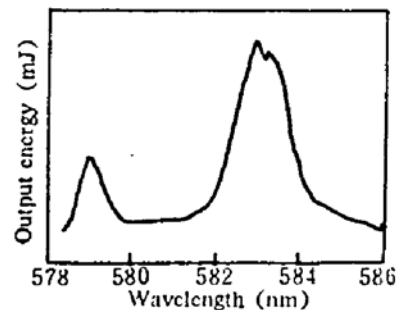


Fig. 3 The output laser versus the wavelengths of pumping light

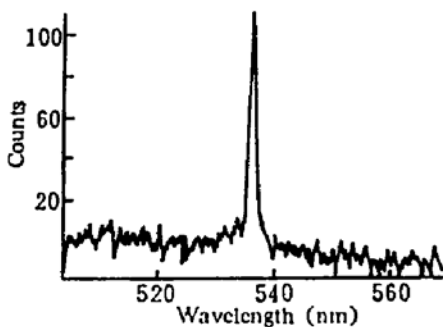


Fig. 4 The emission spectrum of the output frequency-doubling laser

在谐振腔结构和泵浦能量不变时, 激光输出能量随泵浦波长的变化关系。可见在 583.0 nm 处输出最大, 可以说当泵浦波长为 583.0 nm 时, 对应于最大的吸收截面。这与图 2 的吸收谱线所示的结果符合得很好。

图 4 给出了用 KTP 晶体倍频后的绿光谱线特性。这是 M1460 光学多道分析仪在用 632.8 nm、钠光灯和 532.0 nm 三个波长标定后, 测得的 Nd:S-VAP 倍频光的结果。绿光的中心波长为 536.0 nm, 其峰值半宽度 (FWHM) 为 1.4 nm。

另外, 用 LGP-4 格兰泰勒偏光镜测量了 Nd:S-VAP 输出激光的偏振特性。其输出接近全

偏振光。极窄的发射光谱和全偏振光输出，可以断言 Nd:S-VAP 晶体有大的受激发射截面 σ_{em} 。

3.2 能量输出特性

用不同透射率的输出耦合，都获得比较稳定的输出。图 5 给出了输出透射率为 15%、

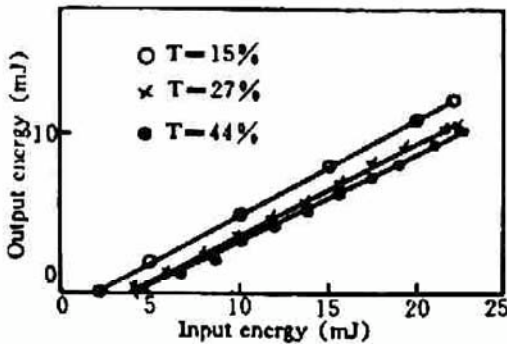


Fig. 5 The variations of the output laser energy versus pumping laser energy

24%和 44%时，输出能量对泵浦能量的关系。三种情况下，最大斜率效率为 50%，阈值泵浦能量分别为 2.0 mJ、4.0 mJ 和 4.5 mJ。应该指出的是，由于二垂直柱面镜 2 的调整精度，不一定使柱面镜达到理想的聚焦程度，激活区不一定完全充满 S-VAP 晶体，且采用的是损耗较大的平面平行腔，在这种情况下，实现 50%的斜率效率已充分说明该晶体是一种高效激光晶体。

图 6 给出了在输出透过率为 15%时，用 TEK 466 存贮示波器获得的输出脉冲波形，经卷积处理后，得到峰值半宽度为 5 ns。本文实验用的 Nd:S-VAP 晶体，经测量其亚稳态寿命为 230 μ s，用脉宽 10 ns 的染料激光泵浦时，图 6 说明，激光过程是瞬间完成的。这与长脉冲泵浦，例如氙灯泵浦情况下的电光调 Q 的激光过程相似。基于这样的考虑，可以给出输出耦合 $\ln(1/R_o)$ 和阈值泵浦能量的关系曲线，如图 7 所示。 R_o 为输出镜的反射率， E_{th} 是不同输出耦合时的阈值能量。由图 7 可以求得与晶体非激活吸收、散射、腔的衍射损耗有关的被动损耗 $L = 8\%$ ，与小信号增益系数有关的泵浦系数 $k = 0.333$ ，由文献[3, 4]可以求得在给定泵浦能量下的最佳输出耦合，以获得最大的运转效率和最小的脉冲宽度。本文在实验中采用的输出耦合不一定是最佳的，如按上述方法，在实现最佳输出耦合时，可以获得大于 50%的转换效率。

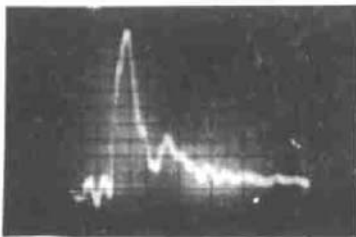


Fig. 6 The pulse shape of the output laser

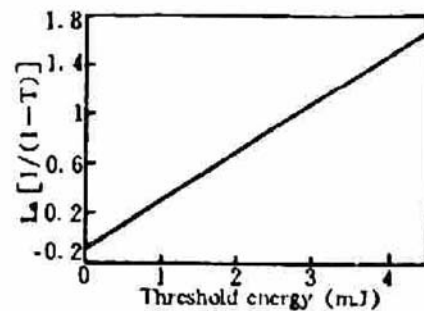


Fig. 7 The reflectivity of the output mirror versus threshold energy

结 论 稳定的输出、被动损耗小、低的泵浦阈值和高的转换效率，说明 Nd:S-VAP 晶体是一种优质激光工作物质。它具有宽的吸收带，可作为氙灯泵浦小型激光器的工作物质；在 809.0 nm 附近有强的吸收峰，这与激光二极管室温发射波长相匹配。该晶体是一种阈值低、效率高、发射谱线窄、偏光输出的晶体。Nd:S-VAP 适合于激光二极管泵浦，若采用合适的调 Q 方式，有可能实现强的绿光输出。

参 考 文 献

- [1] R. A. Fieds, M. Birnbaum, C. L. Fincher, Highly efficient Nd:YVO₄ diode-laser end-pumped laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23): 1885~1886
- [2] X. X. Zhang, G. B. Louts, M. Bass, *et al.*, Growth of laser-quality single crystals of Nd³⁺-doped calcium fluorapatite and their efficient lasing performance. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(1): 10~12
- [3] J. J. Degnan, Theory of the optimally couple Q-switched laser. *IEEE, J. Quant. Electron.*, 1989, **QE-25**(2): 214~220
- [4] 赵圣之, 王青圃, 张行愚, 单频脉冲透射式 Q 开关钕玻璃激光器. *光学学报*, 1992, **12**(4): 298~302

Laser Characteristics of Nd:S-VAP Crystal Pumped with Dye-Laser

Wang Qingpu Zhao Shengzhi Zhang Xingyu Wang Xiaojie

(Optics Department, Shandong University, Jinan 250100)

Sun Lianke Zhang Shaojun

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

Wang Xiangtai

(Physics Department, Shandong Normal University, Jinan 250002)

(Received 11 July 1994; revised 10 October 1994)

Abstract The absorption spectrum of a sort of new crystal Nd:S-VAP was measured, which showed that Nd:S-VAP is appropriately pumped at 583.0 nm and 809.0 nm. By using tunable dye-laser as pumping light, the performance of low threshold and high efficiency Nd:S-VAP laser has been realized. Up to 50% slope efficiency and down to 2 mJ threshold energy were obtained. The center wavelength of frequency-doubling laser is 536.0 nm and the emission linewidth is 1.4 nm. In addition, the prospect application of Nd:S-VAP crystal for low threshold, high efficiency miniature laser pumped with LD was discussed.

Key words Nd:S-VAP crystal, laser characteristics, low threshold, high efficiency.