

单频运转的 Nd:YVO₄ 激光器*

林岳明 何慧娟

(中科院上海光机所激光技术实验室, 上海 201800)

摘 要 报道了激光二极管纵向泵浦单频运转的 Nd:YVO₄ 激光器。用波长为 809 nm 激光二极管的连续输出功率 660 mW 泵浦, 获得 1064 nm、功率为 155 mW 连续单频输出, 泵浦阈值 226 mW, 斜率效率 33.8%, 线宽小于 10 MHz。

关键词 单频运转, 激光二极管泵浦, 固体激光。

在光雷达、光通信、引力波测量、高分辨率光谱测量以及量子光学中压缩态研究等等许多激光应用领域都需稳定的单频激光器。目前, 已有许多方法可实现固体激光器的单频工作如环形激光器^[1], 微型激光器^[2]以及腔内放置四分之一波片消除空间烧孔效应的扭摆模腔激光器^[3, 4]。本文把高吸收系数的增益介质置于各纵模空间叠加的腔面上, 是实现固体激光器单纵模运转的另一种方法。实验采用在 809 nm 处吸收系数大、跃迁带宽窄的 Nd:YVO₄, 实现单频运转。增益介质处于腔面时比处于腔中心时可获取更高的单频功率, 原因是在驻波型的激光器腔内各纵模波节都固定在腔面上^[5, 6]。在本文的方法中, 激光器实现单频运转的根本原因在于短的吸收长度而不是短腔长。一定长度的激光腔中不需插入任意光学元件可以实现单频运转。

实验装置同文献[7], 如图 1 所示。激光二极管是 SDL-2462-P1 (Spectra Diode Labs 公司产品), 运转在 809 nm 处, 连续输出功率为 1 W, 内带半导体制冷器, 可以很方便地控制激光二极管的温度, 调节它的工作波长。L₁ 和 L₂ 分别为准直透镜和聚焦透镜。Nd:YVO₄ 是 a 轴切割晶片, 尺寸为 3 mm×3 mm×1 mm, 是单轴晶体, 泵浦光在平行(α)和垂直(π) c 轴方向上有不同的吸收系数。本文采用吸收系数大的 π 方向即激光二极管输出光的偏振方向与 c 轴垂直。Nd³⁺ 离子在 YVO₄ 晶体中浓度 2% (重量比)。在晶体的 a 面上镀有双色膜, 即 809 nm 增透膜 ($T_{809\text{ nm}} > 99.9\%$) 和 1064 nm 高反膜 ($R_{1064\text{ nm}} > 99.9\%$), 并把它作为激光谐振腔的一个后腔板; 晶体的 b 面镀有 1064 nm 增透膜。M 为激光谐振腔的输出耦合板。泵浦光经过 L₁, L₂ 光学耦合系统聚焦在晶体的 a 面上。

在上述装置中, 进行了不同类型谐振腔的实验研究。首先采用稳定的平凹腔。此时输出耦合板 M 的曲率半径和反射率分别为 100 mm 和 90.3%, 腔长可变。用自由光谱范围为 1

* 本工作得到中国科学院上海光学精密机械研究所量子光学开放实验室的支持。

收稿日期: 1994年3月16日

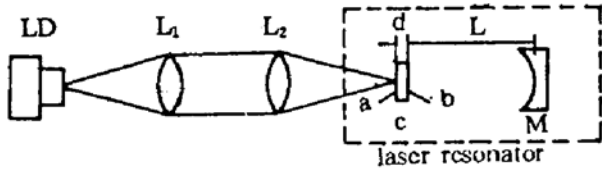


Fig. 1 The schematic diagram of diode-laser pumped Nd : YVO₄ laser. LD: phase-locked CW 1 W diode laser array. L₁ and L₂ are collimating and focusing lens, respectively. C : 2% doped Nd:YVO₄ crystal with dimension 3 mm×3 mm×1 mm. M is output coupler

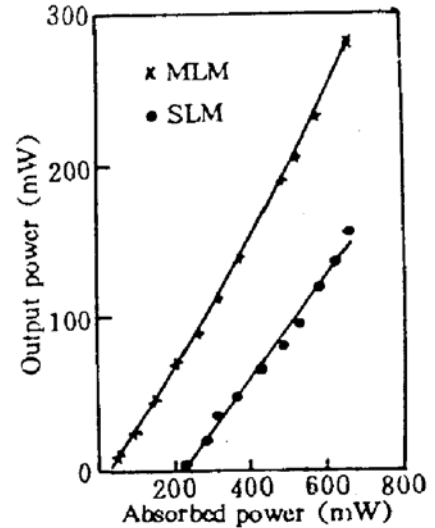


Fig. 2 Output power of Nd : YVO₄ laser at 1064 nm as a function of absorbed pumping power

GHz, 精细度为 100 的扫描共焦干涉仪检测激光输出的模式。激光输出为多模, 单纵模的输出功率最多只有几十毫瓦。如图 2 所示, 当腔长为 10 mm, 泵浦功率为 660 mW, 最大多模输出功率可达 281 mW, 斜率效率 49.8%。单纵模输出功率小的原因是泵浦光束与腔基模体积不匹配造成的。因为即使半共焦腔的束腰半径大, W_0 只有 130 μm , 而发光面积 200 $\mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 激光二极管经过光学耦合系统后光斑为近似 300 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 。

其次, 用平面镜作为输出耦合板, 构成平-平激光谐振腔。实验中采用不同激光腔长和不同反射率的输出镜。仔细调整谐振腔, 用变象管直接观看输出激光的模式, 保证其基横模工作。然后用扫描共焦干涉仪测量其纵模谱, 判断激光输出是否单纵模运转。结果表明, 当腔长 $L_1 = 35 \text{ mm}$ 时, 输出镜的反射率为 82.5%, 可得到最大的单纵模输出。从图 2 可见, 当连续泵浦功率为 660 mW, Nd:YVO₄ 单纵模输出功率为 155 mW, 阈值为 226 mW, 斜率效率为 33.8%。Nd:YVO₄ 激光最大单纵模输出情形下的纵模谱示于图 3, 其激光线宽小于 10 MHz (受仪器测量精度限制)。此时, 共焦干涉仪扫描周期时间为 1 ms。纵模谱证实了 Nd:YVO₄ 激光器在单纵模状态运转。

用 Tektronix 495P 频谱分析仪测量了 0~2 MHz 范围内 Nd:YVO₄ 激光器输出的幅度噪声谱。输出激光经快速光二极管探测, 其交变信号送入频谱仪测量分析。图 4 为 Nd:YVO₄ 输出最大时的幅度噪声谱。760 KHz 处的尖峰是由 Nd:YVO₄ 激光器弛豫振荡引起的。实验中发现尖峰随着泵浦功率的变化会发生移动而且频率的变化方向与泵浦功率成正比。这与理论预言的 $\omega_p \propto P^{1/2}$ 完全一致。图 5 为图 4 情形下 1 分 20 秒内幅度/频率漂移图。可以看出, 激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 激光器在自由运行情形下噪声小于 1 MHz。而且它们主要集中在 600 KHz 和 200 KHz 附近, 这些噪声可能由作为泵浦源的激光二极管输出不稳定, 环境的机械振动和空气中的声振动引起。

总之, 利用增益介质吸收系数大, 发射带窄的特点实现固体激光器单频运转, 是一种既简单又方便的方法。它克服了一般微型驻波激光器不足: 1) 为使纵模间隔大于增益带宽, 保证固体激光器单频工作, 需要缩短的激光腔长, 晶体长度只有几百微米, 这样引起加工上的

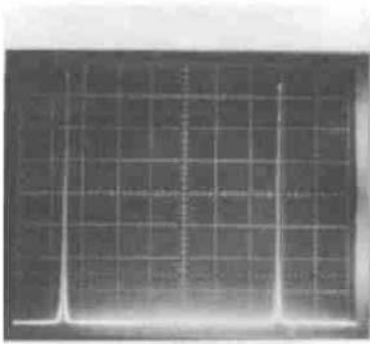


Fig. 3 Optical spectrum of single-mode operation at 1064 nm measured by using a scanning confocal interferometer

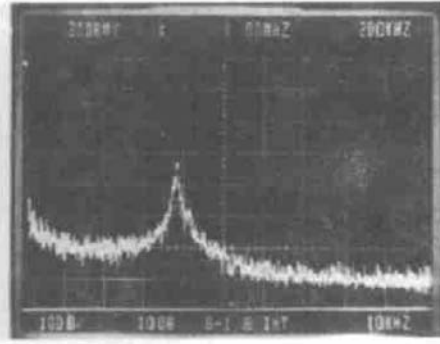


Fig. 4 Amplitude-noise power spectrum of the single-frequency Nd:YVO₄ laser

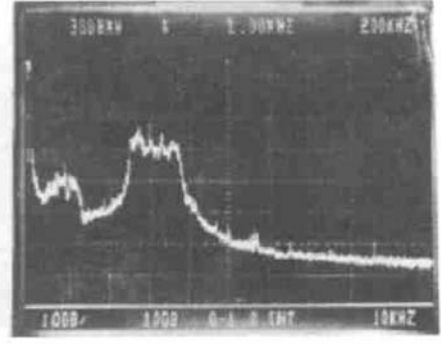


Fig. 5 The graphic record of amplitude/frequency

困难; 2) 激光器效率低。由于增益介质短, 因而输出功率低。本文采用新的方法, 腔长为 35 mm 平-平腔在 809 nm 激光二极管 660 mW 连续泵浦下, 获得 Nd:YVO₄ 激光器的 1064 nm 单纵模工作, 输出功率为 155 mW, 线宽小于 10 MHz, 斜率效率为 33.8%, 阈值为 226 mW。

致谢 福州科风激光有限公司提供 Nd:YVO₄ 晶体, 作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Thomas J. Kane, Robert L. Byer, Monolithic unidirectional single-frequency Nd:YAG ring laser. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2): 65~67
- [2] J. J. Zayhowski, A. Mooradian, Single-frequency microchip Nd laser. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 24~26
- [3] K. Wallmeroth, Monolithic integrated Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1990, 15(16): 903~905
- [4] 林岳明, 何慧娟, 陆雨田, 激光二极管泵浦的单频连续工作的 Nd:YAG 激光器. *光学学报*, 1994, 14(8): 891~893
- [5] Gregory J. Kintz, Thomas Baer, Single-frequency operation in solid-state laser materials with short absorption depths. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1990, 28(9): 1457~1459
- [6] Anthony E. Siegman, *Laser*. University Science Books, Mill Valley, Calif., 1986: 465~466
- [7] 何慧娟, 林岳明, 陆雨田, 高效率 Nd:YVO₄ 激光特性研究. *中国激光*, 1994, 21(8): 621~623

Single-Frequency Operation of Nd:YVO₄ Laser

Lin Yueming He Huijuan

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

(Received 16 March 1994)

Abstract Single-frequency output power of 155 mW has been obtained in 2% doped Nd:YVO₄ crystal pumped with a 1 W laser diode. Continuous wave thresholds of 226 mW have been observed with slope efficiencies of 33%. The linewidth is less than 10 MHz.

Key words single-frequency, diode-laser pumping, solid state lasers.