

# 激光二极管泵浦单频连续工作的 Nd:YAG 激光器\*

林岳明 何慧娟 陆雨田

(中国科学院上海光学精密机械研究所激光技术实验室\*, 上海 201800)

**摘 要** 在国内首次报道了激光二极管泵浦单频连续工作的 Nd:YAG 激光器. 采用扭摆模腔 (TWC) 技术方法, 在 808 nm 激光二极管连续泵浦下, 取得 1064 nm 连续单频工作, 输出功率 55 mW 的结果. 泵浦阈值 276 mW, 斜率效率 23%, 线宽小于 25 MHz (受仪器测量精度限制).

**关键词** 单频, 激光二极管泵浦, 扭摆模腔.

## 1 引 言

国际上 1985 年首次报道了稳频的激光二极管泵浦的 Nd:YAG 激光器<sup>[1]</sup>, 这几年来二极管激光泵浦的固体激光器的单频工作研究进展很快. 驻波腔内固体激光介质中的空间烧孔效应导致该器件难以运行在单纵模状态, 克服空间烧孔效应的方案不少, 至今比较成功的有 1) 单片扭摆模腔方案. 短期运行线宽小于 10 kHz, 最大 TEM<sub>00</sub> 单频功率 82 mW<sup>[2]</sup>; 2) 非平面环形振荡器. 短期线宽达到 ~10 kHz<sup>[3]</sup>; 3) 微型激光器. 单频线宽小于 5 kHz<sup>[4]</sup>. 本文采用扭摆模腔方案, 用机械方式集分立元件于一体, 实现稳定的固体激光器单频工作.

## 2 原 理

激光器单频运转的首要条件是限制其工作在基横模 (TEM<sub>00</sub>). 灯泵固体激光器通常采用小孔光阑获得基横模, 而二极管激光泵浦的固体激光器则用纵向泵浦方式, 使泵浦光束与固体激光 TEM<sub>00</sub> 模体积匹配, 以保

证其运转在 TEM<sub>00</sub> 模状态. 因此, 实现固体激光器单频工作的关键在于消除驻波腔内增益介质中的空间烧孔效应. 早在 1965 年 Siegman 等人提出扭摆模腔技术<sup>[5]</sup>消除空间烧孔效应.

如图 1 所示, 激光腔由 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、1/4 波片 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、激光棒和起偏器组成. P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 的快轴相互垂直, 并与起偏器偏振方向成 45°, 假定 X、Y 轴方向同 P<sub>1</sub> 波片的快慢轴重叠, 则 P<sub>1</sub> 处入射

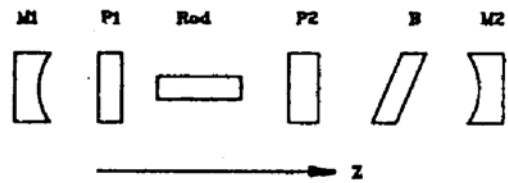


Fig. 1 The diagram of a "twisted-mode" laser resonator

\* 本工作得到上海光机所量子光学开放实验室的支持.

收稿日期: 1993 年 6 月 4 日; 收到修改稿日期: 1993 年 9 月 15 日

线偏振为:

$$E_{x1} = E \sin(\omega t - kz), \quad E_{y1} = E \sin(\omega t - kz) \quad (1)$$

其中角频率  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  为波长, 通过  $P_1$  后, 线偏振变为圆偏振.

$$E_{x2} = E \sin(\omega t - kz + \pi/2), \quad E_{y2} = E \sin(\omega t - kz) \quad (2)$$

偏振光通过  $P_2$  后, 在  $Y$  方向延迟  $\pi/2$ , 成为线偏振, 经过  $M_2$  反射后, 再次通过  $P_2$ , 线偏振光又变为圆偏振光:

$$E_{x3} = E \sin(\omega t - 2kL + kz + \pi/2), \quad E_{y3} = E \sin(\omega t - 2kL + kz + \pi) \quad (3)$$

式中  $L$  为腔长, 第二次通过  $P_1$ , 经  $M_1$  反射,  $X$ 、 $Y$  方向的相位差又变为零. 因此, 在激光腔内可以存在稳定的模. 在激光棒内, 两传播方向相反的圆偏振光经叠加后有:

$$E_x = 2E \cos(\omega t - kL) \cos k(L - z), \quad E_y = 2E \cos(\omega t - kL) \sin k(L - z) \quad (4)$$

因此, 激光棒内光强为:

$$E_x^2 + E_y^2 = 4E^2 \cos^2(\omega t - kL) \quad (5)$$

由(5)式可知, 激光棒内的光强同  $z$  无关即沿激光棒轴向方向, 能量均匀分布, 因而不存在反转粒子数空间烧孔效应, 激光器可以单纵模工作.

总之, 用纵向泵浦方式, 使泵浦光束与固体激光器基模体积匹配, 用内腔插入两个  $1/4$  波片和起偏器可以消除空间烧孔效应, 实现固体激光器单频工作.

### 3 实验与分析

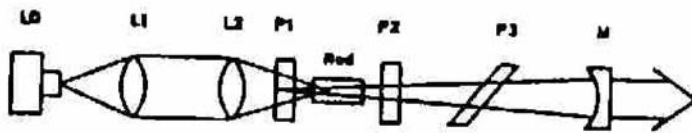


Fig. 2 The schematic diagram of diode-laser-pumped Nd:YAG twisted-mode cavity lasers.

LD is a diode array laser.  $L_1$  and  $L_2$  are collimating and focusing lens, respectively.  $P_1$  and  $P_2$  are quarter-wave plates.  $P_3$  is a polarizer.  $M$  is an output coupler

本文采用图 2 所示实验装置. LD 为二极管激光器, 内带电致冷(TEC), 可以很方便地控制温度, 调节二极管激光器的工作波长.  $L_1$ 、 $L_2$  分别为准直透镜和聚焦透镜,  $P_1$ 、 $P_2$  为  $1/4$  波片,  $P_1$  的一端面蒸镀  $1064 \text{ nm}$  高反,  $808 \text{ nm}$  增透的介质膜, 另一面为  $1064 \text{ nm}$  增透,  $P_2$  两面均镀  $1064 \text{ nm}$  增透. 激光棒 Nd:YAG 尺寸是  $4 \times 4 \times 5 \text{ mm}^3$ .  $P_3$  为起偏器,  $M$  为输出耦合镜, 曲率半径  $100 \text{ mm}$ , 对  $1064 \text{ nm}$ ,  $R = 87\%$ .  $P_3$  前端面

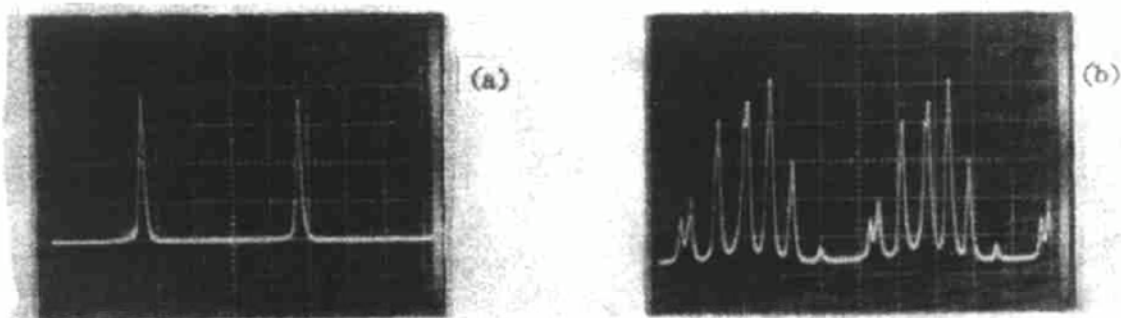


Fig. 3 Optical spectrum of the diode-laser-pumped Nd:YAG twisted-mode cavity laser measured by a scanning confocal interferometer with 41 fineness and 1.07 GHz free spectral range.

a. with a polarizer; b. without a polarizer

与  $M$  镜组成稳定的平凹腔, 谐振腔几何长度 97.6 mm. 从  $M$  输出的 1064 nm 激光, 用自由光谱范围 1 GHz, 精细度 41 的扫描共焦腔干涉测量仪测量激光器纵模谱.

当二极管泵浦光功率 375 mW 下,  $F$ - $P$  扫描周期 20 ms, 测得图 3 所示纵模光谱.  $a$  为  $P_3$  起偏器偏振方向与  $P_1$ 、 $P_2$  成  $45^\circ$  时的纵模谱. 两透射峰间的距离为 1 GHz. 激光器纵模间隔为  $\Delta D = c/2L = 1.39$  GHz.  $b$  为无起偏器时激光器的纵模谱. 两种情形比较, 更确证了激光器单纵模运转. 根据上面的分析, 起偏器的作用是保证波片与腔镜区域内光束是线偏振, 从而保证增益介质内光束是圆偏振. 这个结果同理论预计完全一致. 泵浦功率达到最大时, 固体激光器仍保持图 3(a) 的单模光谱, 此时输出功率 55 mW. 图 4 为泵浦功率同单模输出功率的关系曲线. 激光器斜率效率 23%, 泵浦阈值 276 mW. 由于内腔插入元件多腔内损耗大. 因此, 泵浦阈值高.

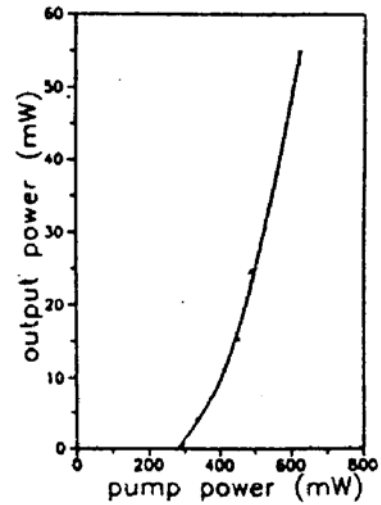


Fig. 4 Input-output power characteristics

### 参 考 文 献

- [1] Bingkun Zhou, Thomas J. Kane, Georgo J. Dixon *et al.*, Efficient frequency-stable laser-diode-pumped Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2): 62~64
- [2] K. Wallmeroth, Monolithic integrated Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1990, 15(16): 903~905
- [3] Thomas J. Kane, Robert L. Byer, Monolithic, unidirectional single-mode Nd:YAG ring laser. *Opt. Lett.*, 1985, 10(2): 65~67
- [4] J. J. Zayhouski, A. Mooradian, Single-frequency microchip Nd laser. *Opt. Lett.*, 1989, 14(1): 24~26
- [5] V. E. Vtuhov, A. E. Siegman, A twist-mode technique for obtaining axially uniform energy density in a laser cavity. *Appl. Opt.*, 1965, 4(1): 142~143

## CW Single-Frequency Operation of a Diode Laser-Pumped Nd:YAG Laser

Lin Yueming      He Huijuan      Lu Yutian

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

(Received 4 June 1993; revised 15 September 1993)

**Abstract** Single-longitudinal-mode, TEM<sub>00</sub> output of 55 mW has been obtained from a end-pumped twisted-mode cavity Nd:YAG laser. Continuous wave thresholds of ~300 mW have been observed with slope efficiencies of 23%. The linewidth is less than 25 MHz.

**Key words** single-frequency, diode-laser pumping, twisted-mode cavity.