

二极管泵浦的高效连续波基横模 Nd:YAG 激光器

巩马理 万作文 金锋 卢希 富真

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘 要 报道了用激光二极管端面泵浦的高效连续波 TEM₀₀ 模 Nd:YAG 激光器, 最大输出为 0.65 W, 斜效率 51%, 光-光效率最高达 40.6%, 并给出了耦合光学系统和二极管泵浦 Nd:YAG 激光器的器件结构.

关键词 激光二极管, Nd:YAG 激光器.

1 引 言

通常二极管泵浦的固体激光器, 多模器件斜效率为 40% 以上, 最高达 60%^[1], 而常规基横模器件的效率则为 30~40%^[2], 文献[3]报道了二极管端面泵浦基模器件的最高斜效率为 60%, 采用了单晶非平面形激光器, 激光晶体的一个端面本身作为输出镜, 将所需元件降至最低, 并优选了激光材料. 本文采取通常的器件结构, 用二极管对 Nd:YAG 晶体进行端面泵浦, 得到了 51% 的斜效率, 输出达 0.65 W, 连续稳定工作数小时.

2 耦合光学系统和激光器的结构

实验所用激光二极管的发射波长在 25 °C 时为 806 nm, 光谱宽度 $\Delta\lambda \sim 2$ nm, 波长可随温度调谐, 调谐量为 0.3 nm/°C, 激光二极管的发光面为 $1 \times 500 \mu\text{m}$, 光束远场分布是非对称的, 在垂直于 P-N 结方向的发散角为 40°, 远场能量呈高斯分布. 在平行于 P-N 结方向发散角为 10°, 远场能量呈双峰分布. 垂直于 P-N 结方向的光束是衍射极限输出, 设定 $BQ_{\perp} = 1$, 则 $BQ_{\parallel} \approx 54$, 用一个 $f/2$ 透镜聚焦该光束, 在平行于 P-N 结方向的会聚光斑尺寸约 $170 \mu\text{m}$. 为了得到高效的基模器件, 必须仔细考虑泵浦光与激光谐振腔内激光模式的匹配, 为此必须将泵浦光在激光谐振腔内聚焦成一个尺寸小于激光腔内基模尺寸的光斑^[3], 使泵浦光尽可能多地耦合进基模体积内. 通常可采用耦合-整形-聚焦光学系统, 来消除光束的非对称性. 实验采用了三镜结构的耦合光学系统: 1) 一个 $NA = 0.65$, $f = 4.8$ mm 的双非球面镜, 耦合二极管输出; 2) 一个 $f = 50$ mm 的柱面镜用于整形光束; 3) 一个 $f = 18$ mm 的 $f/2$ 透镜对准直光束进行会聚. 仔细调整柱面镜与 $f/2$ 透镜的相对位置, 以使会聚光点最小.

实验装置如图 1 所示, 激光器采用半共焦腔结构, 晶体的一个端面直接镀双色膜(对 1.06

μm 激光波长高反 $R > 99.9\%$, 对 $0.81 \mu\text{m}$ 的二极管激光高透, $T_{0.81\mu\text{m}} \approx 97\%$) 作为全反射镜, Nd: YAG 晶体为 $\phi 3 \times 10 \text{ mm}$ 的圆棒, Nd 的浓度为 $1.0 \text{ at}\%$, 晶体另一端面镀增透膜, 对 $1.06 \mu\text{m}$ 激光波长的剩余反射率 $R < 0.5\%$, $f/2$ 透镜会聚二极管光束最小可达 $175 \mu\text{m}$ 的光斑, 因此为得到高效的基模输出, 输出镜 M_2 的曲率半径为 r , 在采用半共焦腔时必须满足以下条件:

$$r > 2\pi D^2/\lambda \quad (1)$$

式中 D 为泵浦光斑大小(在空气中), λ 为激光波长(空气中), 由(1)式得到 $r > 181 \text{ mm}$. 在实验选用 $r = 248 \text{ mm}$, 半共焦腔内基模束腰的大小约为 $w_0 \sim 205 \mu\text{m}$, 束散约 3.3 mrad , 腔内基模束腰 w_0 与泵浦光斑之比约为 $\alpha \sim 1.2$. 在 $\alpha > 1$, 有利于提高基模器件效率.

二极管泵浦连续波固体激光器的耦合输出镜透过率, 一般为百分之几, 文献[1]所得最佳透过率为 3% , 四能级连续波激光系统的最佳透过率与增益的二分之一次方成正比, 考虑到本文的激光增益小于文献[1]中的激光增益, 故应选取较小透过率的耦合输出镜, 实验所用之耦合输出镜透过率为 $T = 2.7\%$.

3 实验结果

在聚焦光学系统的焦点附近, 测得二极管激光泵浦功率曲线如图 2 所示, 最大功率为 1.63 W , 对二极管进行温度调谐, 使其发射波长位于 Nd: YAG 的 809 nm 吸收峰内, 测得 Nd: YAG 出光时, 泵浦光阈值功率为 252 mW , 仔细调整激光器, 使其在最高泵浦功率下仍保持 TEM_{00} 模输出. 激光输出与泵浦功率的关系如图 3 所示.

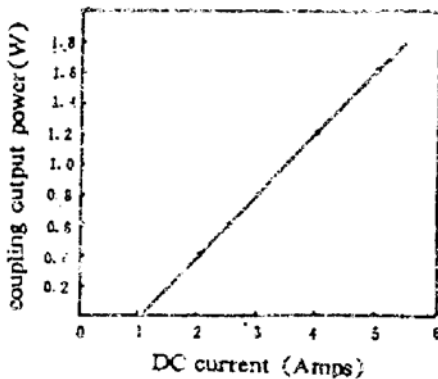


Fig. 2 Coupling output characteristic of LD

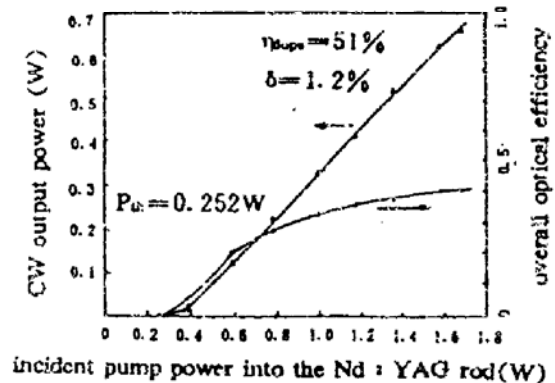


Fig. 3 The output power of LD pumped Nd: YAG laser versus the incident pump power into the crystal

在最大泵浦功率下的 TEM_{00} 模输出为 0.65 W , 输出激光与所吸收泵浦光间的斜效率为 51% , 晶体的吸收和散射损耗约 1.2% , 光学系统的耦合效率为 60% , 往返饱和增益为 3.9% , 腔内循环功率密度 I_c 约为 76.6 kW/cm^2 , 四能级系统的增益饱和小信号增益系数为

$$G_s = (2I_c/I_s + 1)(T + \delta) \quad (2)$$

式中 I_c 为腔内光强, I_s 为饱和光强(对 $1.0 \text{ at}\%$ 的 Nd: YAG, I_s 约为 2.3 kW/cm^2), T 为输出镜透过率, δ 为介质吸收与散射损耗. 将 $I_c \approx 76.6 \text{ kW/cm}^2$, $\delta = 1.2\%$, $\theta = 2.7\%$ 代入(2)式, 确

定出实验器件的小信号往返增益系数为 $G_0 = 2.64$, 单程增益系数为 $G_0' = 1.32$, 对于端面泵浦, 小信号指数增益系数 g 是轴向距离 z 的函数, 由于增益系数与泵浦功率成正比, 当介质长度远小于共焦参数时, 可近似由下式确定:

$$g(z) = g_0 e^{-\alpha_p z} \quad (3)$$

并且有

$$G_0' = \int_0^l g(z) dz \quad (4)$$

式中 $\alpha_p = 6 \text{ cm}^{-1}$ 为介质对泵浦光的吸收系数, g_0 为待定常数, $l = 10 \text{ mm}$ 将(3)式代入(4)式确定出 $g_0 = (G_0' \alpha_p) / (1 - e^{-\alpha_p l}) = 7.94$, 故在 Nd : YAG 介质内, 实验器件的增益系数

$$g(z) = 7.94 e^{-6z} \quad (5)$$

结 论 实现了二极管端面泵浦 Nd : YAG 激光器获得最大输出 0.65 W, 斜效率 51%。今后的主要工作侧重于改进耦合光学系统, 提高耦合效率, 改善泵浦光束的光束质量, 进一步提高器件的输出功率。

参 考 文 献

- [1] S. C. Tidwell *et al.*, Efficient, 15-W output power, diode-end-pumped Nd : YAG laser. *Opt. Lett.*, 1991, 10 (8) : 584~586
- [2] D. C. Shannon, R. W. Wallace, High-power Nd : YAG laser end pumped by a CW, 10 mm \times 1 μm aperture; 10-W laser-diode bar. *Opt. Lett.*, 1991, 16(5) : 318~320
- [3] E. A. P. Cheng, T. J. Kane, High-power single-mode diode-pumped Nd : YAG laser using a monolithic nonplanar ring resonator. *Opt. Lett.*, 1991, 16(7) : 478~480

A TEM₀₀ Mode High Efficient CW-Nd : YAG Laser End-Pumped by Laser Diode

Gong Mali Wan Zuowen Jin Feng Lu Xi Fu Zheng

(Advanced Laser Technology Laboratory, Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

(Received 27 June 1992; revised 18 February 1993)

Abstract The operation of a high efficient, TEM₀₀ mode, CW-Nd : YAG laser end-pumped by a laser diode is reported in this paper. The maximum output of 0.65 W with slope efficiency of 51% and optical efficiency of 40.6% is obtained, coupling optics and configuration of diode end-pumped laser are described.

Key words laser diode, Nd : YAG laser.