

LD 泵浦微型 YAG 激光器的单模连续运转*

单振国 黄国松 符祖良 方祖捷

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道了 793 nm LD 泵浦 YAG 激光器 TEM₀₀ 模的连续运转, 描述了实验系统, 给出了实验结果, 讨论了模式匹配、光谱匹配、阈值功率和斜率效率等问题。

关键词: LD 泵浦, TEM₀₀ 模连续运转

TEM₀₀ mode CW operation of LD pumped YAG lasers

Shan Zhenguo, Huang Guosong, Fu Zuliang, Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia, Sinica, Shanghai)

Abstract: TEM₀₀ mode CW operation of 793 nm LD pumped YAG lasers was obtained. Its experimental set-up and results are described, and mode matching, spectral matching, threshold power and efficiency are discussed.

Key words: LD pumping, TEM₀₀ CW operation

LD 泵浦微型固体激光器越来越受到人们的重视, 它体积小、重量轻、寿命长、效率高、光谱稳定且可工作于高重复频率, 是很有用的相干辐射源和注入种子源。近年来, 国内已有许多单位在从事这方面的研究工作, 本文报道获得单模连续运转的结果。

一、实验系统

实验系统如图 1 所示。激光电源可连续运转, 也可脉冲运转。温度控制器的控制范围为

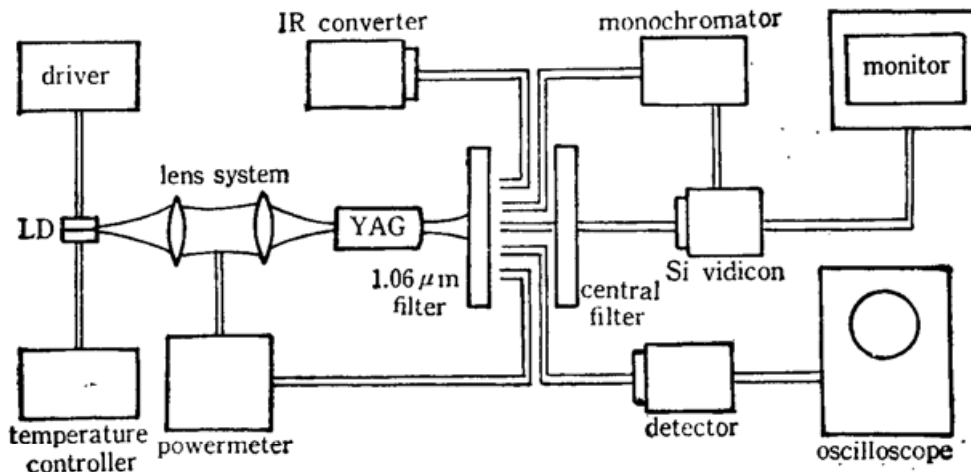


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up for LD pumped solid state lasers

收稿日期: 1990年12月13日。

*本工作为国家自然科学基金资助项目。

5~50°C, 精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。实验所用的泵浦光源为 AG8 型小功率半导体激光器, 标称功率为 5 mW, 通过透镜变成平行光的标称功率仅为 2~3 mW。为了实现单模连续运转, 必须迫使该器件超负荷工作, 在短时间内注入到 YAG 棒输入端面的连续功率 $> 10 \text{ mW}$ 。该器件的标称波长为 $\sim 780 \text{ nm}$, 为实现光谱匹配, 必须改变激光器的工作温度。光学系统与 2 透镜系统类似, 光学系统的参数由模式匹配要求决定。激光谐振腔为单块 YAG 构成平-凹腔, 平端镀有 $1.064 \mu\text{m}$ 的全反射膜和 $0.81 \mu\text{m}$ 的增透膜, 为输入端面; 输出端面镀有 $1.064 \mu\text{m}$ 的高反射膜, 透过率为 0.003。此外, 还镀有 $0.81 \mu\text{m}$ 的反射膜。凹面的曲率半径为 20 mm, 棒长 5 mm, 直径 3 mm。我们用以下 5 种手段对 LD 泵浦微型 YAG 激光器的输出光束进行研究: 1. 红外变相管, 用来粗调光路, 观察模式图样; 2. 光栅光谱仪 + 红外摄像系统, 用来监测 LD 发射波长、YAG 吸收谱和 LD 泵浦 YAG 激光器的输出波长; 3. 显微镜 + 红外摄像系统, 用来精调光路和观察模式图样、模场分布; 4. 快速光探测器 + 示波器, 用来观察噪声、自脉动和其它瞬态过程; 5. 光功率计, 用来测量 LD 发射功率、泵浦功率和输出功率。

二、光谱匹配的实现

我们已在文献[1]中详细地讨论过 LD 泵浦 YAG 激光器的光谱匹配问题。本文再作一些补充。YAG 材料在 800 nm 附近有 3 个吸收峰, 即 808 nm、796 nm、793 nm 峰^[2]。808

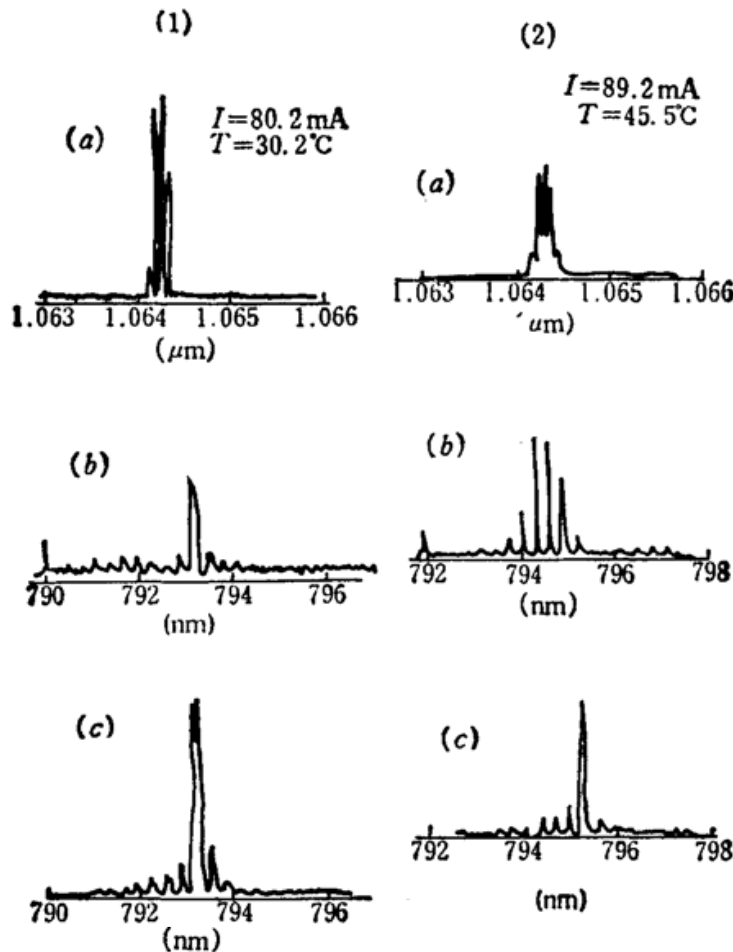


Fig. 2 Lasing spectrum of single transverse mode, TEM_{00} (a), the absorption spectrum of YAG (b) and lasing spectrum of a diode laser used in the experiment (c), at different temperatures: left: $T = 30.2^\circ\text{C}$; right: $T = 45.5^\circ\text{C}$

nm 峰吸收系数较大, 但吸收带宽较窄约为 1 nm; 793 nm 峰吸收系数较小, 约为 808 nm 峰的 1/3, 但吸收带宽较大, 约为 808 nm 峰处的 2 倍。小功率半导体激光器的标称波长为 780 nm, 加热到 30.2°C 时, 中心波长在 793.2 nm 附近, 如图 2(1)(c) 所示。在 45.5°C 时, 中心波长在 795.3 nm 附近。图 2(1)(b) 和 (2)(b) 分别为两个温度时的 YAG 吸收谱。显然, YAG 棒对这一波长的吸收是不充分的。在上述温度范围内, LD 基本发射单纵模, 而且也基本落在 YAG 793 nm 峰的范围, 因此, 可以认为, 光谱匹配效率接近 100%。由图 2(a) 所示, 现在所说的单模, 还只是单横模, 不是单纵模。如何才能获得单纵模, 是我们研究的一个新问题。

由于 YAG 在 793 nm 的吸收峰较宽, 而 LD 发射谱较窄, 所以, 当 LD 工作温度改变时, 对光谱匹配效率的影响不是很大。实验发现, 当 LD 温度改变 20°C 时, 仍能保持 LD 泵浦 YAG 激光器的单模连续运转。当然, 由于光谱匹配的微小差别和工作环境对 LD 的影响, 仍存在一个最佳工作温度问题。但是, 利用 793 nm 峰, 可使 LD 泵浦 YAG 激光器对温度的要求大大降低, 则是很明显的。

三、模式匹配的实现在

为了实现单模连续运转, 必须认真考虑泵浦光束形状和 TEM_{00} 模之间的匹配问题, 即使泵浦光束在整个棒内都小于 TEM_{00} 模体积。有关模式匹配的计算机模拟已有文献 [3] 介绍, 图 3 是计算机模拟结果。显然, 图 3(a) 情形对获得单模是不利的。原因之一是由于泵浦光束在 y 方向大于 TEM_{00} , 使模匹配效率变小(据计算, 此时模匹配为 65.5%), 从而使阈值升高; 原因之二是在 TEM_{00} 模体积外面的泵浦光, 有可能激发高阶模, 如 TEM_{01} (见图 4(b)) 等。图 3(b) 是理想情况, 这时模匹配效率接近 100%, 且不易激励高阶模。图 4(a) 是 TEM_{00} 模的远场照片。改变观察距离和测量模斑大小, 可得该模的发散角, 约为 3°。

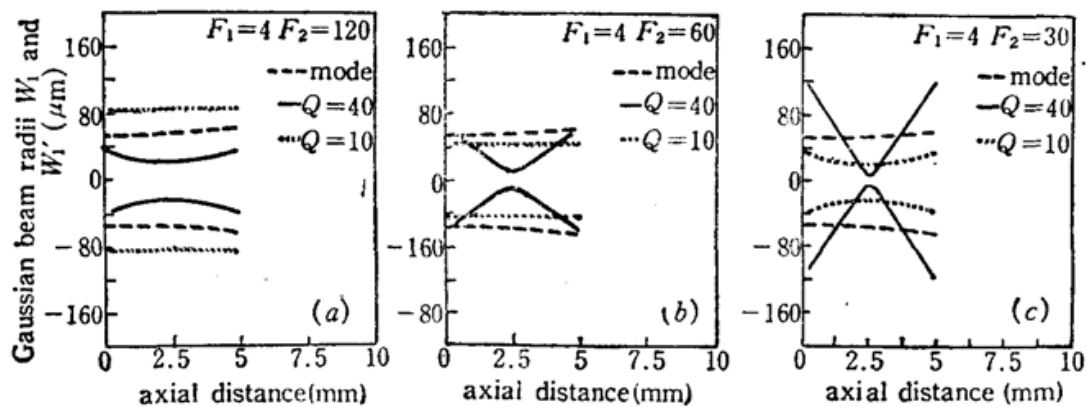


Fig. 3 Examples of mode matching computer simulation for LD pumped solid state lasers

The dashed lines represent the waist W_1 of TEM_{00} of the plane-concave resonator, and the solid lines and dotted lines represent pumping Gaussian beam radii W_1' after a 2 lens system perpendicular and parallel to $P-N$ junction of diode lasers, respectively. The parameters of the 2 lens system are: (a)

$$F_1=4, F_2=120, (b) F_1=4, F_2=60, (c) F_1=4, F_2=30 \text{ mm}$$

图 3(c) 情况最糟, 尽管根据计算, 这时模匹配效率仍为 75%, 但由于 x 方向泵浦光束大小随轴向距离 z 变化剧烈, 当 YAG 棒的中心稍一偏离 L_2 焦点时, 模匹配效率会急剧下降, 根本无法使 TEM_{00} 模受激, 也无法激励高阶模。

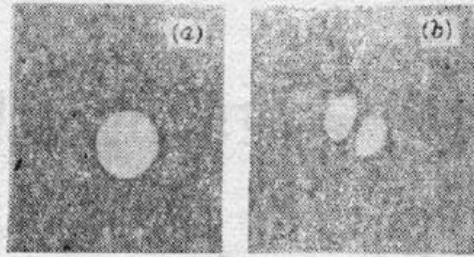


Fig. 4 Transverse mode patterns
(a) TEM_{00} ; (b) TEM_{01}

综上所述,光学系统的设计对单模连续运转的实现是非常重要的。在光学系统确定之后,还有两个因素必须考虑:(1)半导体激光器本身应为基横模输出,否则,也不易实现单模连续运转,除非对光学系统重新设计;(2)应仔细调节泵浦光束与 TEM_{00} 模的相对位置,应尽可能地使它们的轴重合,否则也会出现各式各样的高阶模。

四、阈值功率和斜率效率问题

图 5 是实测的 LD 泵浦 YAG 激光器的输入-输出关系。有趣的是,在多模运转时,输入-输出特性呈非线性。我们观察到,在拐点附近,有模式转换现象。在单模运转时,模式图样不随泵浦功率变化而变化,输出功率是随输入功率线性上升的。

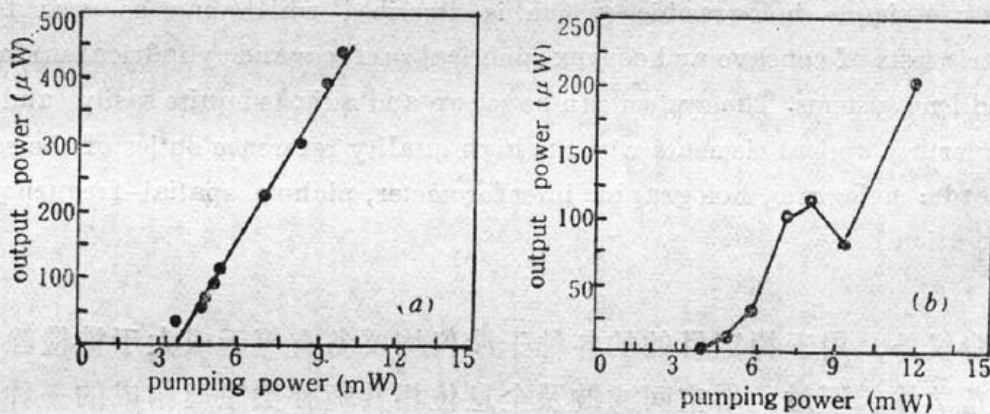


Fig. 5 The output-input curves of LD-pumped solid state lasers. (a) TEM_{00} ,
(b) higher order transverse mode

在单模运转时,阈值功率为 3.7 mW,斜率效率为 7%。我们采用[2]中的公式(7)和(12)估算,考虑到用 793 nm 波长泵浦时的影响,估算结果是:阈值功率为 3.5 mW,斜率效率为 6.4%,与实验一致得很好。

金志良曾帮助测试光谱,陈云良帮助拍摄照片,屠玉珍、顾德英等提供试验器件,在此,作者谨向他们表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 单振国,刘祝安 *et al.*,中国激光,17(10),577(1990)
- 2 Tso Yee Fan, R. L. Byer, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-24(6), 895(1988)
- 3 单振国,黄国松,符祖良,待发表