

二极管抽运 200 Hz TEM₀₀模 Q 开关 Nd·YAG 激光器

赵 鸿 姜东升 周寿桓 王建军
(华北光电技术研究所 北京 100015)

陈国夫
(中国科学院西安光机所 西安 710068)

提要 用三只 QCW-600W 激光二极管侧面抽运 Nd·YAG 激光器,在重复频率为 200 Hz,单脉冲注入能量为 270 mJ 条件下,实现了 29.7 mJ,TEM₀₀模调 Q 激光输出, $M^2 = 1.12$,脉宽 6.4 ns,光-光转换效率 11%,斜效率 16.5%,输出能量不稳定性 1.14%。通过 KTP 晶体腔外倍频,获得了单脉冲能量 16.8 mJ,脉宽 5.6 ns 的绿光输出,倍频效率 56.6%。

关键词 侧面均匀抽运,电光调 Q,TEM₀₀模,倍频

1 引 言

激光二极管抽运固体激光器(DPL)由于具有效率高、寿命长、结构紧凑、性能稳定等一系列优越性,引起了人们的广泛兴趣。近年来,随着激光二极管(LD)制造工艺的日趋成熟,价格的迅速下降,LD 抽运固体激光器,尤其是小功率 DPL 得到了迅猛发展,许多成果已实现了商品化。但由于种种原因,国内开展大功率激光二极管抽运固体激光技术的研究工作起步较晚,文献报道也较少。

本文介绍了近期我们在大功率激光二极管抽运固体激光技术方面的一些进展。众所周知,二极管端面抽运装置简单,抽运光与谐振腔模匹配较好,增益介质对抽运光的吸收比较充分,容易实现 TEM₀₀模激光输出^[1]。目前小功率二极管抽运均采用这种技术。而在大功率激光二极管阵列抽运条件下,由于激光二极管阵列的发光面积较大,端面抽运比较困难,通常都采用侧面抽运。但是,在侧面抽运方式下,抽运光从工作物质的侧面入射,很难与腔模良好匹配,因此,输出激光常为多模^[2]。

为了提高输出激光的光束质量,我们对激光二极管抽运时工作物质的荧光分布进行了深入的实验研究,据此优化了抽运结构,极大地改善了工作物质内增益分布的均匀性,较好地实现了抽运光与腔模间的匹配。获得了重复频率 200 Hz,单脉冲能量 29.7 mJ 的 TEM₀₀模调 Q 激光输出。通过 KTP 晶体腔外倍频,实现了单脉冲能量 16.8 mJ,脉宽 5.6 ns 的绿光输出,倍频效率达 56.6%。这种激光器可广泛地应用在激光雷达、激光测距、激光通讯、光电对抗、激光探潜、非线性光学和激光加工等许多领域,有着广泛的应用前景。

2 实验装置

激光器原理装置如图 1 所示。激光谐振腔为平凹稳定腔, M_1 为全反射镜, 曲率半径 1.5 m, M_2 为 $T = 70\%$ 的平面输出镜, 腔长 185 mm。KD*P 晶体与偏振片一起组成电光 Q 开关。

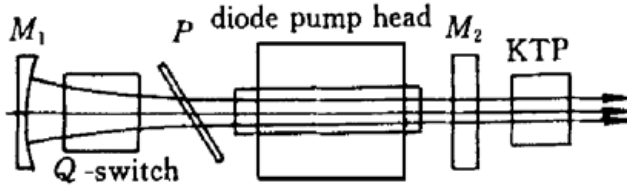


图 1 激光器原理装置示意图

Fig. 1 Schematic drawing of the cavity configuration

Nd:YAG 的尺寸为 $\Phi 4 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$, 外装有一个同心的石英套管, Nd:YAG 与套管内壁间通水冷却。抽运源为三只 QCW-600W 激光二极管阵列。每只激光二极管阵列均由 10 条发光截面长 10 mm 的线阵组装而成, 线列间距 2 mm, 发光截面总面积为 $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 。平行于有源层的方向上光束发散角 θ_{\parallel} 为 10° , 垂直于有源层方向上的发散角 θ_{\perp} 为 40° 。在阵列的输出端面上装有准直用的微透镜组件, 将 θ_{\perp} 压缩至 4° 。为进一步提高抽运功率密度, 在已经微透镜准直的二极管阵列前端装配了一个镀有 808 nm 增透膜的柱透镜, 将抽运光进一步会聚到 $2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 大小的区域中, 使抽运功率密度可提高到 2.5 kW/cm^2 。二极管阵列采用微通道冷却结构, 因此, 占空比可高达 20% 左右。实验中, 将工作温度设定在 25°C , 此时, 二极管阵列的抽运光中心波长为 808 nm, 光谱宽度(FWHM)为 2 nm。实验中, 在与工作物质垂直的横截面上, 三只激光二极管阵列呈 120° 等间隔放置, 以实现均匀抽运。二极管抽运 Nd:YAG 装置的结构示意图如图 2 所示。

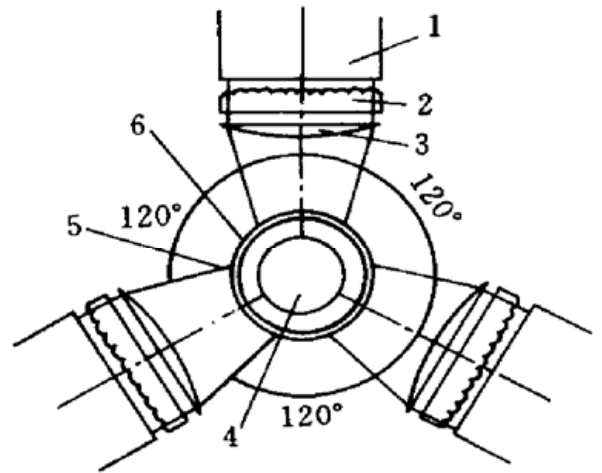


图 2 三只 QCW-600W 激光二极管阵列 120° 对称抽运剖面结构示意图

1: QCW-600W 激光二极管阵列; 2: 微透镜组件;
3: 柱透镜; 4: Nd:YAG; 5: 冷却循环水; 6: 石英管

Fig. 2 Schematic edge view of three-fold QCW-600W diode array pump module

1: QCW-600W diode array; 2: microlens array; 3: cylindrical lens; 4: Nd:YAG; 5: cooling water; 6: quartz tube

3 实验研究与分析

侧面抽运条件下, 抽运光束从工作物质的侧面入射, 抽运光能量在工作物质内部分布不均匀, 抽运光与谐振腔模匹配较差, 对输出激光的光束质量影响很大。为了获得高光束质量的激光输出, 必须对侧面抽运条件下的抽运结构和工作物质内抽运光分布的均匀性进行深入研究。最精确、最有效的模拟方法是光线追迹法, 文献[3]对单条二极管侧面抽运情况进行了模拟, 文献[4]对 12 条二极管侧面对称抽运的情况进行了分析。

由于工作物质内部增益的分布与荧光强度分布一致, 因此可以通过实验获得的荧光分布图像直观地分析工作物质内增益分布的规律性。作为与三管抽运情况的对比, 我们通过 CCD 拍摄了一只 QCW-600W 激光二极管阵列侧面抽运的荧光图像。图 3(a) 为单管抽运时的荧光分布三维示意图。在此条件下对应的激光输出近场光斑花样呈不规则的椭圆, 长轴与抽运方向平行。另外, 实验中还观察到, 输出激光沿长轴和短轴方向的发散角不相等。通过 KTP 晶体进

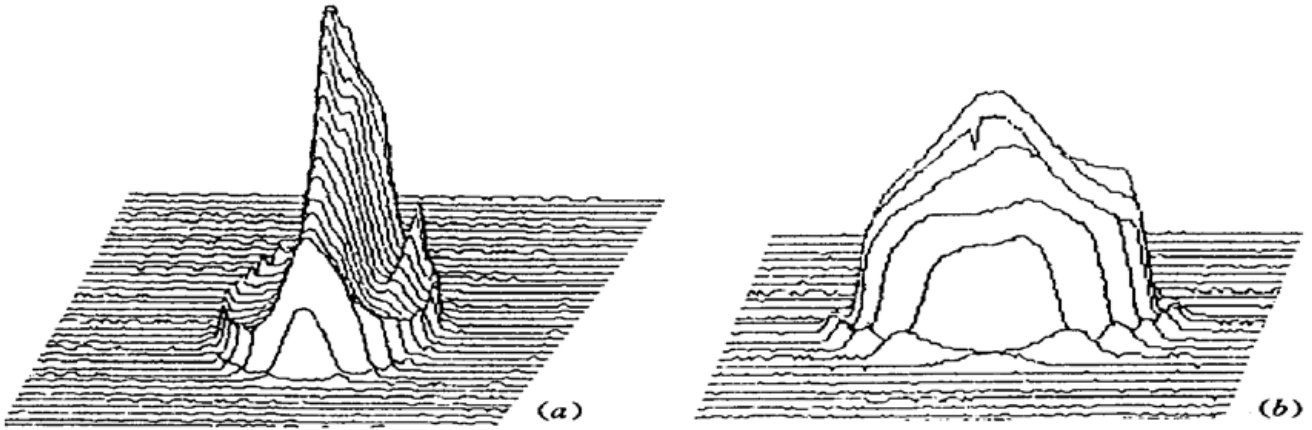


图 3 单管抽运 (a) 和三管抽运 (b) 的荧光分布三维示意图

Fig. 3 3D sketch map of fluorescence distribution by single diode pumping (a) and three-fold diode pumping (b)

行倍频, 倍频效率只有 30% 左右。

为了实现工作物质内的均匀抽运, 以获得高光束质量激光输出, 采用三只 QCW-600W 激光二极管阵列侧面抽运, 三只二极管呈 120° 等间距放置, 如图 2 所示。图 3 (b) 为三管抽运的荧光分布三维示意图。可以看出, 这种情况下, 抽运均匀性有了极大改善, 荧光在 Nd·YAG 横截面上近似于高斯分布, 中心有最大值, 说明中心处增益最强。这与理想条件下激光二极管端面抽运时工作物质横截面上的增益分布的情况极为相似, 所不同的只是在端面抽运中抽运强度还要沿轴线方向减弱, 而侧面抽运沿轴线方向相等而已。因此, 可以用端面抽运模型来解释这种情况下激光器的工作特性。

4 实验结果与讨论

在重复频率 200 Hz 条件下, 当注入电流为 55 A, 对应抽运光能量为 270 mJ 时, 用 EPM 1000 型激光能量计测量 1064 nm TEM₀₀ 模单脉冲最大输出能量为 29.7 mJ, 光-光转换效率 11%, 斜效率 16.5%, 能量不稳定性 1.14%。通过 M^2 参数测试仪对输出激光的光束质量进行了检测, 测量结果为, 水平方向 $M^2 = 1.119$, 垂直方向 $M^2 = 1.123$, 由此证明, 输出激光确为 TEM₀₀ 模。图 4 是用 CCD 拍摄的重复频率 200 Hz, 注入电流 55 A 基频激光输出光场分布三维图像。用 Tek380 示波器观察激光输出脉冲波形, 测得输出激光的脉冲宽度 (FWHM) 6.4 ns。通过 KTP 晶体腔外倍频, 获得了单脉冲能量 16.8 mJ, 脉宽 5.6 ns 的绿光输出, 倍频效率 56.6%。

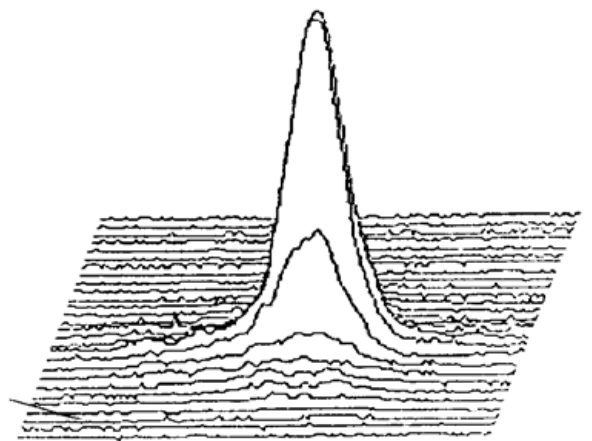


图 4 三管抽运对应的激光输出光斑花样
Fig. 4 3D map of laser beam distribution by three-fold diode pumping

实验表明, 在其他条件相同的情况下, 与激光二极管阵列直接抽运相比, 加石英套管会使输出功率下降 20% 以上。这是由于石英套管通光面上没有镀 808 nm 增透膜, 使抽运光能量损

失近 10% 所致。但在目前的技术条件下, 石英表面整体镀增透膜在工艺上仍存在一定的困难。

5 结 论

通过对侧面抽运结构的优化设计, 可以实现工作物质内增益分布与激光腔模的匹配, 有利于激光器单横模运转。因此, 侧面抽运的大功率激光二极管抽运固体激光器同样可以实现高光束质量激光输出。

致谢 感谢吕伯朗高工为本实验所提供的机械设计。

参 考 文 献

- 1 T. Y. Fan, R. L. Byer. Diode laser-pumped solid-state lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **24** (6): 895~ 912
- 2 Jiang Dongsheng. Technology Research on Diode Pumped Pulsed Solid-State Laser. Doctoral Dissertation, Chapter 3 (in Chinese)
- 3 Mao Shaoqing, Huang Tao, Wen Zhongyi *et al.*. Calculation and analyze of homogeneity of diode side pumped solid laser. *Laser Technology* (激光技术), 1997, **21**(3): 185~ 188 (in Chinese)
- 4 F. Brioschi, E. Nava, G. C. Reali. Gain shaping and beam quality in diode-laser multiarray side-pumped solid-state lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 1070~ 1074

Experiment Research of 200 Hz Repetition Rate *Q*-switched TEM₀₀-mode Nd:YAG Laser Side-pumped by Laser Diode Array

Zhao Hong Jiang Dongsheng Zhou Shouhuan Wang Jianjun
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015)

Chen Guofu

(Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

Abstract A laser diode array side-pumped high repetition rate, *Q*-switched, TEM₀₀-mode Nd:YAG laser is reported. With about 270 mJ pump energy, an energy of 29.7 mJ, pulse width of 6.4 ns TEM₀₀-mode laser output at 200 Hz repetition rate is obtained, slope efficiency is about 16.5%. By using a KTP as a frequency-doubling crystal, an energy of 16.8 mJ, pulse width of 5.6 ns green output is achieved, optical-optical efficiency is 56.6%.

Key words uniform side-pump, E-O *Q*-switched, TEM₀₀-mode, double-frequency