

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0102-03

平均功率达 68 W 的 LD 抽运倍频 Nd:YAG 激光器

姜东升 赵 鸿 王建军 赵海霞 周寿桓

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要 在二极管侧面抽运条件下,通过对工作物质的增益分布特性与光-光耦合结构特性相互关系的研究,进一步提高了二极管抽运倍频 Nd:YAG 固体激光器的效率和输出光束的质量。当采用 30 个 20 W 的连续激光二极管阵列抽运时,在重复频率为 10 kHz 下,实现了最大平均功率为 68 W,脉宽为 110 ns 的 532 nm 的激光输出。光-光转换效率为 11.3%,电-光转换效率为 5%。

关键词 二极管抽运, 增益分布, 耦合结构, 腔内倍频

中图分类号 TN248.1⁺3 **文献标识码** A

68 W Green-beam Operation of a Diode-pumped Nd:YAG Rod Laser

JIANG Dong-sheng ZHAO Hong WANG Jian-jun ZHAO Hai-xia ZHOU Shou-huan

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015)

Abstract The relationship between gain profile and pump cavity structure was studied for LD side-pumped Nd:YAG laser, the conversion efficiency and beam quality were improved by use of an advanced cavity configuration. A maximum green power of 68W was generated at 10-kHz repetition rate when the two Nd:YAG rods were pumped by total 600 W power of laser diodes, leading to 11.3% optical-to-optical conversion efficiency and 5% electrical-to-optical conversion efficiency.

Key words diode-pumped, gain profile, coupling structure, intracavity-frequency-doubling

激光二极管侧面抽运固体激光器中,由于工作物质内部各部分对抽运光能量的吸收并不是均匀的,最终导致了工作物质内增益分布的不均匀性。与传统的灯抽运、椭圆聚光腔结构相比,单个激光二极管侧面抽运时,工作物质内增益分布不均匀的问题显得更为突出^[1]。但与灯抽运固体激光器显著不同的是,在激光二极管抽运条件下,我们可以利用多种方法,如改变激光二极管发射端与工作物质间的距离、激光二极管的发散角、工作物质的掺杂浓度、采用多个激光二极管多方向侧面抽运等,改变激光二极管抽运光的空间分布,使工作物质内部的增益分布特性得到极大的改善。所有这些对激光二极管侧面抽运结构的优化设计,最终对于获得高光束质量、高效率的激光输出是非常必要的^[2-7]。

本文作者曾报道了采用国产 35 个 CW 15 W 的连续激光二极管阵列作为抽运源,研制出一种激光二极管阵列侧面抽运用的聚光腔,并以单个该聚光腔作为激光头,实现了重复频率为 5 kHz~50 kHz、最大平均功率达 56 W、脉宽最小为 90 ns 的倍频绿

光的输出^[8]。基于此,结合对不同抽运耦合结构条件下工作物质内增益分布特性的计算模拟情况,对原有的聚光腔结构进行了优化设计,现在单个聚光腔内仅用 15 个 CW 20 W 的连续激光二极管阵列作为抽运源,抽运效率和抽运均匀性均得到提高。实验中,我们以两个该聚光腔为激光头,采用 L 型谐振腔,并插入声光调制器和倍频器,在 LD 输入抽运总功率为 600 W 的情况下,实现了重复频率为 5 kHz~50 kHz、最大平均功率达 68 W、同时脉宽为 110 ns 的倍频绿光的输出。在此条件下,进行了长期连续工作的可靠性实验,激光器连续工作 4 小时以上时,激光输出功率不稳定性保持在 5% 以内。

1 工作物质内增益分布特性模拟研究

单排激光二极管侧面抽运条件下,工作物质内不可能获得均匀或中心对称的增益分布。这种增益分布的不均匀性会使振荡激光产生畸变,严重破坏了输出激光的光束质量。为了获得高光束质量、高

效激光输出,与激光谐振腔低阶模甚至 TEM_{00} 模空间匹配良好的增益分布是非常重要的前提条件之一。工程上,获得理想增益分布的最简单、最有效的方法是多排激光二极管(如三排、五排甚至更多排二极管)等间距环绕抽运。多排激光二极管等间距环绕抽运能够使工作物质内增益分布特性大为改善,环绕抽运用的激光二极管越多,工作物质中的增益分布就越理想。除此之外,二极管侧面抽运条件下,工作物质的半径、吸收系数、激光二极管的发散角及二极管输出端与工作物质间的距离等参数的变化都会对增益分布产生一定的影响。

根据文献[7]中所建立的计算模型,结合我们所研制的聚光腔的结构特性,对 5 排激光二极管等间距环绕抽运条件下工作物质内的增益分布特性进行了计算机模拟。

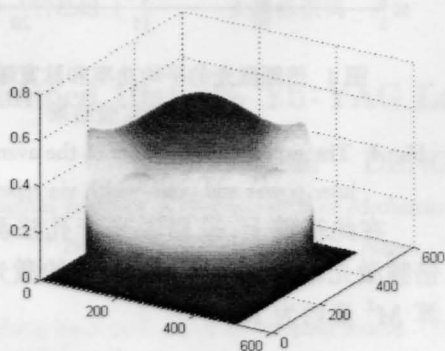


图 1 五排激光二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 的增益分布模拟(二极管输出端与石英管外边缘相距 6 mm)

Fig.1 Simulation on gain distribution of Nd:YAG surrounded by five laser diode modules in equidistance. (The distance is 6 mm between laser diode and the exterior of quartz tube)

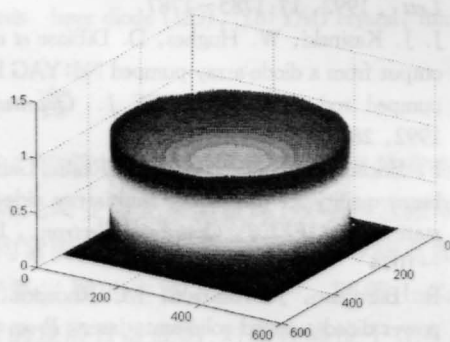
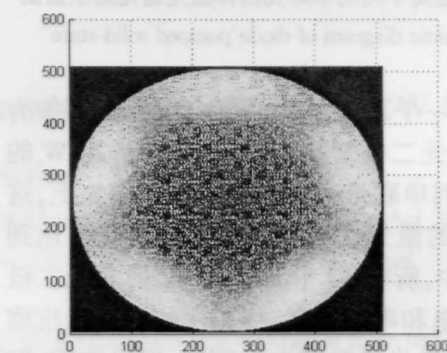


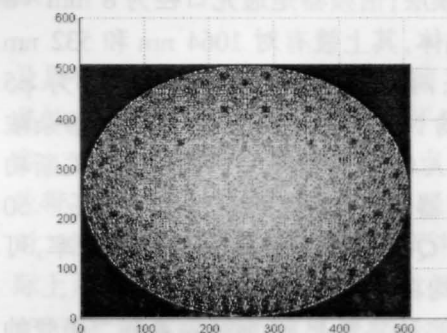
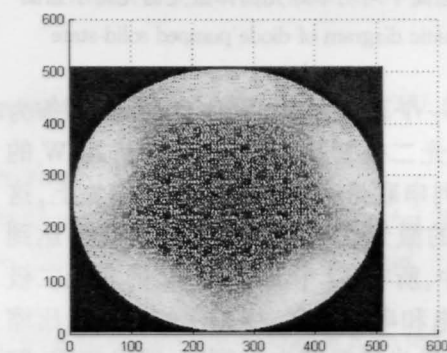
图 2 五排激光二极管等间距环绕抽运 Nd:YAG 的增益分布模拟(二极管输出端与石英管外边缘相距 12 mm)

Fig.2 Simulation on gain distribution of Nd:YAG surrounded by five laser diode modules in equidistance. (The distance is 12 mm between laser diode and the exterior of quartz tube)

由图 1 和图 2 可看出,其它条件不变的情况下,激光二极管输出端与工作物质间的距离越近,工作物质靠近中心的区域对抽运光的吸收就越多,但抽运的均匀性就越差;激光二极管输出端与工作物质

间的距离越远,抽运的均匀性就越好,但工作物质中心区的吸收就减少。所以工作物质与激光二极管间的距离是改善光束质量、提高激光效率的关键参数之一。

图 2 是在图 1 的基础上,将激光二极管输出端与石英管外边缘拉长为 12 mm 时的增益分布的计算机模拟图。



间的距离越远,抽运的均匀性就越好,但工作物质中心区的吸收就减少。所以工作物质与激光二极管间的距离是改善光束质量、提高激光效率的关键参数之一。

2 实验结果

图3是二极管侧面抽运Nd:YAG圆棒的声光调Q腔内倍频激光器的实验装置。图中,1和7为全反镜,2为声光调制器,3为Nd:YAG圆棒,4为抽运用聚光腔,5为输出耦合镜,6为倍频器,8为90°旋光器,9为大功率连续二极管阵列排。

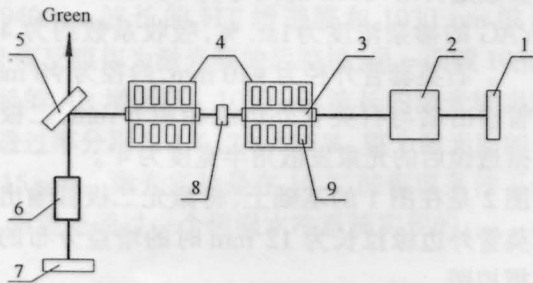


图3 二极管抽运高平均功率绿光固体激光器光路示意图

Fig.3 Schematic diagram of diode pumped solid-state green laser

图中的每一个聚光腔均采用了15个单条为CW 20 W的激光二极管阵列,每3个CW 20 W的激光二极管阵列串联排列在同一个金属模块上,这样两个聚光腔的激光二极管的总抽运功率可达到600 W。实验中,所有30个CW 20 W的激光二极管阵列串联供电和串联通水,冷却水的温度由压缩制冷机来控制;激光谐振腔为L型凹-凹稳定腔,腔长为830 mm, M_1 和 M_7 是曲率半径为2 m的凹面镜,其上镀有对1064 nm和532 nm双全反的膜层, M_5 是平面镜,其上镀有对1064 nm 45°全反和532 nm 45°高透的膜层;倍频器是通光口径为8 mm×8 mm的KTP晶体,其上镀有对1064 nm和532 nm双高透的膜层;两个激光工作物质均是尺寸为 $\varphi 5$ mm×75 mm的Nd:YAG圆棒,Nd:离子的掺杂浓度为1 at.-%;A-O Q开关是我们研制的高关断功率的声光调制器,其频率调制范围为1 kHz~50 kHz,通过调节Q开关的关断时间和射频功率,可以实现最大平均功率的调Q激光输出。

在图3的实验装置上,开展了一系列二极管抽运Nd:YAG圆棒的实验,通过改变注入电流、重复频率等条件,研究相应输出激光的平均功率和脉宽的变化情况。图4是532 nm的倍频激光的输出平均功率和输出脉宽,在激光二极管阵列的注入电流为25 A(即注入总功率为600 W)时,随重复频率变化(5 kHz~25 kHz)的情况。由图4可见,输出激光的脉宽随重复频率的增大而加宽,重复频率为5 kHz时,输出激光的脉宽最小为70 ns;输出激光的

平均功率在重复频率为10 kHz时达到最大,为68 W,此时输出激光的脉宽为110 ns。去掉倍频器,并将腔镜 M_7 换成只对1064 nm基频激光部分透过的输出耦合镜,在相同注入电流和重复频率下,通过调节输出镜的耦合度,获得的最大基频激光的输出平均功率为118 W。

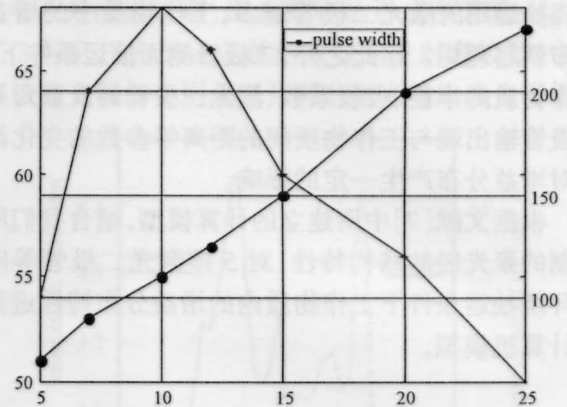


图4 倍频激光的平均功率和脉宽随重复频率变化的实验结果

Fig.4 The experimental results of the average output green laser power and pulse-width via repetition rate

在此基础上,采用激光套孔法测得当532 nm倍频激光输出功率为68 W时的激光发散角,经换算 M^2 值约为18。

参考文献

- H. Ajer, S. Landre, G. Rustad *et al.*. Efficient diode-laser side-pumped TEM₀₀-mode Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**:1785~1787
- J. J. Kasinski, W. Hughes, D. DiBiase *et al.*. One Joule output from a diode-array-pumped Nd:YAG laser with side-pumped rod geometry. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**:977~985
- 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**:1070~1074
- R. Burnham, J. Kasinski, M. Rhoades. High average power diode-pumped solid-state laser. *Proc. SPIE*, 1993, **1865**:28~34
- G. Hollemann, H. Muller, H. Voelckel. High-power cw diode-pumped Nd:YAG rod lasers for industrial applications. *Proc. SPIE*, 1996, **2772**:2~6
- T. Kojima, K. Yasui. Efficient diode side-pumped configuration of a Nd:YAG rod laser with a diffusive cavity. *Appl. Opt.*, 1997, **36**:4981~4984
- 赵鸿. 二极管侧面抽运倍频固体激光技术研究, 博士论文, 中国科学院西安光机所, 2001.5
- 姜东升等. 二极管侧面抽运的高平均功率倍频Nd:YAG激光器. *中国激光*, 2001, **A28**:301~303