

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0008-03

平均功率达 300 W 的 LD 抽运 Nd:YAG 激光器

姜东升, 赵鸿, 王建军, 周寿桓

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要 针对大功率连续激光二极管抽运的 Nd:YAG 圆棒状固体激光器中激光输出功率与光束质量的关系问题进行了深入的理论和实验研究。在二极管侧面抽运条件下,通过优化抽运腔的结构设计以提高抽运的均匀性和对抽运光的吸收效率;在激光谐振腔内采用双棒结构,通过优化激光谐振腔的设计来补偿热透镜效应;在双棒之间插入偏振旋光器和光学成像系统,以补偿热致双折射效应。当每个抽运腔采用 30 个 20 W 的连续激光二极管阵列抽运,总抽运功率达 1200 W 时,实现了最大平均功率为 300 W,光-光转换效率为 25% 的激光输出。在此基础上进行声光调 Q,获得了重复频率为 15 KHz,脉宽为 110 ns,平均功率为 240 W,光束质量 M^2 为 18 的调 Q 基频激光的输出。

关键词 激光技术; 二极管抽运; 双棒结构; 偏振旋光器; 声光调 Q

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

LD Pumped Nd:YAG Laser with Output Power of 300W

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

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

Abstract The careful theoretical and experimental study was performed on the relationship between laser output power and beam quality for the cw laser diode pumped Nd:YAG rod laser. In the condition of LD side pumping, the pumping uniform and the absorption efficiency to pumping light was compensated by optimizing the laser resonator with dual rod structure. The thermal induced birefringence was compensated by inserting polarization rotator and optical image system between two rods. The average laser output power of 300W with 25% light-light conversion efficiency was obtained when the total pumping power was 1200 W. The Q-switched laser beam at repetition rate of 15 kHz with average output power of 240 W, beam quality M^2 of 18 and pulse width of 110 ns was obtained too.

Key words laser technique; laser diode pumping; dual rod structure; polarization rotator; acoustic-optic switch

1 引言

Nd:YAG 固体激光器, 在实现高功率输出的同时要保证高光束质量很难兼顾。这主要是受限于 Nd:YAG 工作物质的热效应, 包括热透镜效应、热致双折射效应等, 它们极大地限制了输出功率和光束质量的提高。如何有效地解决这一的矛盾, 是进一步促进固体激光器广泛应用的关键。国内外学者在这方面也做了大量的工作^[1-4]。本文基于大功率连续激光二极管侧面抽运 Nd:YAG 圆棒状固体介质, 报道了当采用两个激光头, 总抽运功率达 1200 W 时, 波长为 1064 nm 的输出激光的性能、热效应的补偿、光束质量的改进等方面的结果。

2 激光头结构的改进

以前我们曾报道过采用 35 个 15 W/bar 的连续

激光二极管阵列抽运单个激光头, 实现了功率达 130 W 的 1064 nm 多模激光输出^[5], 在此基础上, 采用 30 个 20 W/bar 的连续激光二极管环绕抽运激光介质, 每 6 个 20 W/bar 串联形成一个金属模块, 这 5 组模块呈五边对称形围绕在激光介质 Nd:YAG 圆棒的周围, 每组模块的输出激光通过镀有增透膜的柱面透镜耦合进激光介质内。为了进一步提高对抽运光的吸收效率, 金属腔体的内部进行镀金处理。图 1 是这种改进型激光头的横截面结构示意图。

我们对文献[6]中激光头的激活介质内温度分布和增益分布的特点进行了研究和计算机模拟, 当注入电流为 25 A (总抽运光功率为 600 W) 时, 在 Nd:YAG 圆棒的横截面内形成的 1064 nm 的荧光分布图, 实验与计算模拟结果比较吻合, 见图 2。

为了进一步验证该激光头的效率, 将其置入一个腔长为 300 mm 左右的平-平激光谐振腔内, 输

作者简介: 姜东升(1969-), 男, 华北光电技术研究所博士, 研究员, 主要从事二极管抽运固体激光器技术及产业化方面的研究。

E-mail:jiangds@263.net

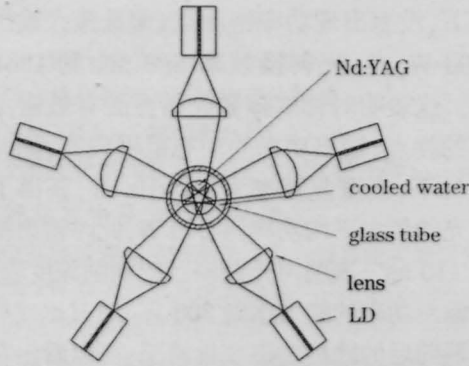


图1 改进型激光头结构示意图

Fig.1 Schematic of the advanced laser head structure
出镜的耦合透过率为 15%，当工作电流达 25 A 时，

1064 nm 的多模输出激光功率为 180 W，光-光转换效率达到 30%，表明改进后的激光头的光-光转换效率有了明显提高。

此外测量了在激光晶体内的热效应所导致的热焦距的变化情况，见图 3。所采用的晶体为 $\phi 4 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 的 Nd:YAG 圆棒，当抽运电流为 25 A 时，即抽运总功率达 600 W 时，激光介质的热焦距仅为 280 mm，表明热效应已十分严重，必须采取补偿措施才能实现高光束质量的激光输出，通常需要根据实际情况将激光介质的两个端面加工成凹面，以补偿热透镜效应对谐振腔稳定性的影响。

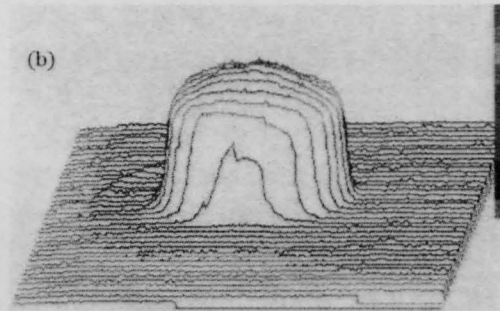
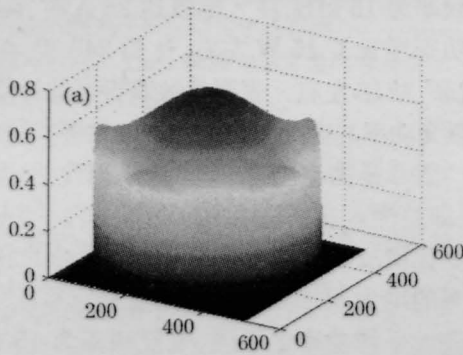


图 2 计算机模拟的激光介质内荧光分布图(a)和实际测量的荧光分布图(b)

Fig.2 Comparization between the computer simulation and the measured results of the fluorescence profile on the cross section of the Nd:YAG rod

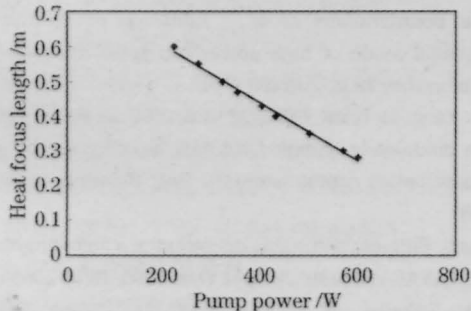


图 3 Nd:YAG 热透镜焦距实测曲线

Fig.3 Measured focal length of Nd:YAG induced by thermal lens

晶体内的径向和切向偏振光的偏振状态，确保两种偏振状态的激光光程相等，相互抵消双聚焦现象，从而改善输出激光的光束质量。图 4 是这种谐振腔的结构示意图。

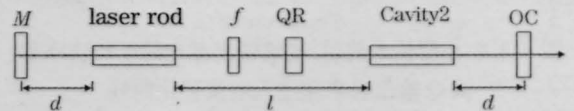


图 4 双激光头谐振腔示意图

Fig.4 Schematic of dual rod laser resonator

3 双激光头的谐振腔设计

为了进一步提高激光的输出功率，对于连续抽运的固体激光器，一种措施就是在激光谐振腔内采用多个激光头进行相干合成放大。为此采用激光谐振腔为双棒对称平-平稳定腔，两个激光头的抽运功率、结构以及所采用的激光晶体的性能、规格完全一致，为了补偿激光晶体中的热致双聚焦现象，采用了热致双折射补偿技术，即在两个激光头之间插入石英旋光器和光学成像系统，以交替改变两个激光

图 4 中，激光谐振腔为直通型平-平稳定腔， M 为平面全反镜， OC 为平面输出镜，对 1064 nm 波长的输出耦合度为 25%；两个激光头对称放置，与两个谐振腔腔镜的距离相等，谐振腔腔长为 650 mm；棒 1 和棒 2 是两个完全一致的激光头：激光二极管的抽运功率均为 600 W，激光晶体为 $\phi 4 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 的 Nd:YAG 圆棒，Nd 离子的掺杂浓度为 1at%；QR 是 90° 石英旋光器； f 为成像透镜。

对于这种平平腔，输出激光的光束质量(M^2)可由 ABCD 光线传输矩阵推导出^[7]： $M^2=R^2/hv_0^2$ 。其中， R 为

激光晶体的半径, w_0 为激光在晶体内的基模半径。由此可见, 为了提高输出激光的光束质量, 必须采用较细的晶体或增大基模在激光晶体内的模半径。但晶体过细, 所能吸收的抽运功率有限, 不易实现高功率输出, 因此如何增大基模在激光晶体内的模体积, 成为实现高光束质量的关键。本文通过对两个激光头内的激光晶体进行端面修磨, 拉长谐振腔的腔长, 并辅之以在腔内加入成像透镜的方法来提高基模的模体积, 最终实现高光束质量的激光输出。

4 实验结果及分析

通过在两个激光头之间插入石英旋光器, 与不插入时相对, 研究连续输出平均功率随注入电流变化的情况; 同时, 在腔内插入声光调制器, 研究相应输出激光的平均功率和脉宽的变化情况。图 5 是在插入和不插入旋光器两种情况下连续输出平均功率和调 Q 输出功率, 随注入电流的变化。由图可见, 随着注入电流的增长, 激光的连续输出平均功率和调 Q 输出平均功率也随着线性增长。在现有抽运功

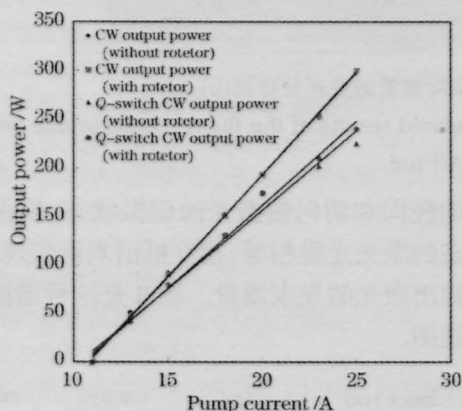


图 5 采取补偿技术前后, 连续输出激光的平均功率和调 Q 输出功率随注入电流变化曲线

Fig.5 Curves of continuously output and Q-switched output power vs current with and without compensation technology

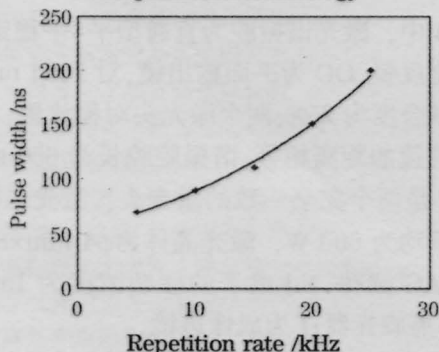


图 6 基频调 Q 输出激光的脉宽变化情况

Fig.6 Pulse duration of Q-switched laser vs repetition rate

率水平下, 没有出现功率饱和点, 而且最大输出功率达到 300 W, 光-光转换效率(808 nm 到 1064 nm)为 25%, 这表明对称双棒激光谐振腔有效避免了输出功率的拐点, 输出功率的动态范围较宽; 同时在满负荷条件下, 当重复频率为 15 kHz 时, 获得了调 Q 输出激光的最大平均功率为 240 W, 此时输出激光的脉宽为 110 ns, 表明声光调制器的调制深度较大, 最大关断输出功率的能力达到 300 W。通过比较插入石英旋光器前后的输出功率变化情况, 可以看出在现有条件下, 对于连续输出的激光功率影响不大, 但在调 Q 下, 插入旋光器后, 激光输出的调 Q 功率有明显提高, 越是在高注入电流下, 功率的增长越是明显, 当重复频率为 15 kHz, 注入电流达 25 A 时, 调 Q 输出平均功率增长了 15 W 左右, 达到 240 W, 在此种状态下, M^2 为 18 左右, 表明热致双折射的补偿有利于调 Q 激光功率的提高和光束质量的改进。

图 6 是在不同重复频率下, 当注入电流为 25 A 时, 即总注入功率达 1200 W 时, 调 Q 输出激光的脉宽变化情况。由图 6 可见, 输出激光的脉宽随重复频率的增大而加宽, 但不同重复频率下, 输出激光的最大平均功率也不同, 重复频率为 15 kHz 时, 输出激光的平均功率最大, 为 240 W。

参考文献

- 1 Jerome Bourderionnet *et al.*. Influence of aberrations on fundamental mode of high power rod solid-state lasers [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **204**:299-310
- 2 Hongru Yang. 41 W cw TEM₀₀($M^2=1.2$)1064 nm beam generation from a diode-side-pumped Nd:YAG laser by use of a dual-telescopic optics configuration[J]. *Opt. Commun.*, 2002, **204**: 263-266
- 3 Koji Yasui. Efficient and stable operation of a high-brightness cw 500-W Nd:YAG rod laser [J]. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(5): 2566-2569
- 4 D.Golla, S.Knoke, W. Schone *et al.*. 300-W cw diode-laser side-pumped Nd:YAG rod laser [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(10): 1148-1150
- 5 Jiang Dongsheng, Zhou Shouhuan, Zhao Hong *et al.*. High average power double frequency operation of Nd:YAG rod lasers side pumped by diode arrays [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(4):301-303
姜东升, 周寿桓, 赵鸿等. 二极管侧面抽运的高平均功率倍频 Nd:YAG 激光器[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(4):301-303
- 6 Jiang Dongsheng, Zhao Hong, Wang Jianjun *et al.*. 68 W green-beam operation of a diode-pumped Nd:YAG rod laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **A29**(Suppl.):102-104
姜东升, 赵鸿, 王建军等. "平均功率达 68W 的 LD 抽运倍频 Nd:YAG 激光器[J]. *中国激光*, 2003, **A29**(Suppl.):102-104
- 7 Hyun Su Kim, Sungman Lee *et al.*. Dependence of the stability and the beam quality on the distance between two rods in a double laser-head resonator[J]. *Opt. Commun.*, 2002, **201**:381-389