

文章编号:1001-5078(2005)12-0926-03

LD 阵列面状泵浦 Nd:YAG 板条激光器实验研究

杨文是, 秘国江, 孙维娜, 王伟力, 朱 辰
(固体激光技术国家级重点实验室, 北京 100015)

摘 要:在国内研制的大型二极管泵浦阵列和大功率二极管脉冲驱动源的基础上,设计了二极管阵列面状泵浦 $22 \times 6 \times 123 \text{mm}^3$ Nd:YAG 板条聚光腔结构,测量了板条泵浦均匀性,对不同泵浦功率下的能量转换特性等进行了实验研究,取得最高光-光转换效率为 25.5% 实验结果,为高泵浦功率下的放大打下了一定的基础。

关键词:激光二极管阵列;Nd:YAG 板条;泵浦均匀性;光-光转换效率

中图分类号:TN248.1⁺3 **文献标识码:**A

The Experimental Research of Nd:YAG Slab Laser Side Pumped by Large-Scale Diode Array

YANG Wen-shi, Bi Guo-jiang, SUN Wei-na, WANG Wei-li, ZHU Chen
(National Key Laboratory of Solid-state Laser, Beijing 10015, China)

Abstract: On the base of domestic diode array and high power diodes driver, a $22 \times 6 \times 123 \text{mm}^3$ Nd:YAG slab cavity side-pumped by large-scale diode array is designed. Furthermore, the research of gain distribution characteristics and energy conversion efficiency of the Nd:YAG slab is done, which some valuable results are obtained.

Key words: diode array; Nd:YAG slab laser; gain distribution characteristics; optical to optical efficiency

1 引 言

众所周知,板条激光器是基于利用介质几何结构对称性和锯齿形光路来补偿热透镜效应、应力双折射和退偏效应,可以避免传统的棒状固体激光器在高功率泵浦下产生的严重热效应和光束质量变差,而获得好的光束质量。激光二极管泵浦的固体激光器以其高效率、稳定、紧凑、长寿命等优点使固体激光器迅速发展。近年来,大功率激光二极管阵列泵浦 Nd:YAG 板条固体激光器在国际上得到迅猛发展,并取得了许多好的实验结果^[1-3]。而国内这方面的报道较少^[4]。

在国内研制大型二极管泵浦阵列和大功率二极管脉冲驱动源的基础上,我们设计了二极管阵列面状泵浦 Nd:YAG 板条聚光腔结构,测量了 $22 \times 6 \times$

123mm^3 板条的泵浦均匀性,冷却水温度对板条激光器输出效率的影响,及不同泵浦功率下的能量转换特性等进行了实验研究,取得了一些有价值的实验结果,为以后高泵浦功率下的放大打下了一定的基础。

2 板条聚光腔结构

Nd:YAG 板条尺寸为 $22 \times 6 \times 123 \text{mm}^3$, Nd^{3+} 掺杂浓度为 1at%,板条两端为布儒斯特角,光束在激活介质内形成 12 次反射。泵浦腔体与结构示意图如图 1 所示,板条侧面与石英窗片间均有约 1mm 厚冷却水层。板条与二极管面阵间距小于 4mm,单侧

作者简介:杨文是(1975-),男,1998 年毕业于西北大学物理系应用光学专业,现为华北光电技术研究所硕士研究生,目前主要从事激光技术的研究。

收稿日期:2005-08-02

面泵浦,两者为分水冷却。侧面透过泵浦腔体的石英窗片和 Nd:YAG 板条,可看到二极管面状阵列,固定在四个热沉上。每个热沉内都有冷却水通过,均固定有两排峰值功率 100W 二极管,每排 25 个,峰值泵浦功率为 5kW。板条另一侧面石英窗片外紧贴一对 808nm 反射的抛光银箔,可使透过板条的剩余泵浦光反射被板条吸收。板条上下两个端面与腔体间有精密间隙调整机构,可微调冷却水层的大小,从而调整板条上下端面的热透镜效应改变输出光束的发散角。

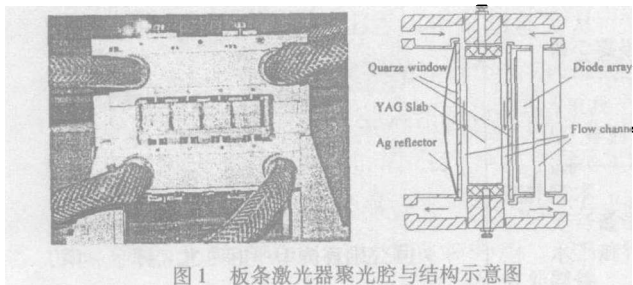


图 1 板条激光器聚光腔与结构示意图

3 实验装置与结果

3.1 板条泵浦均匀性测量

Nd:YAG 激光工作物质对 808nm 泵浦光的吸收为 $e^{-\alpha l}$, α 为介质吸收系数 2.2cm^{-1} , l 为泵浦光进入介质的深度。板条端面测量的荧光分布如图 2 所示。靠近二极管面阵的右侧面附近荧光分布较强,沿板条厚度方向逐渐减弱。而左侧面附近的增强是银箔的反射引起的。为了提高二极管阵列的耦合效率,二极管在板条宽度上为慢轴方向,发散角为 10° 。热沉上两排二极管之间为了电极绝缘,有一仅为 0.5mm 间隙,但 808nm 光叠加后产生了约 2.5mm 宽的暗区。

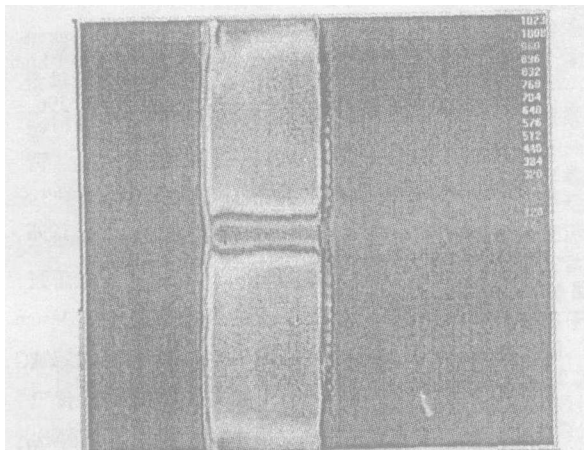


图 2 板条端面荧光分布图

可见,激光二极管阵列发射的泵浦光具有耦合效率

高,方向性好,能量相对集中等优点,但与氙灯相比,更容易引起工作物质泵浦的不均匀,并会因此导致工作物质温度分布不均匀、热畸变,激光光束质量下降等一系列不良结果。因此,要合理设计二极管的泵浦结构,在高效耦合的情况下,力求减小泵浦不均匀性。实验测得板条侧面 808nm 泵浦光透过率约 15%,与理论值相符。

3.2 不同温度下板条谐振腔的功率输出特性

二极管阵列温度 20°C 时测得泵浦光峰值波长为 804nm,出光阈值为 15A,斜效率平均为 46.1%。为了更好的分析温度对板条输出功率的影响,先做了板条谐振腔的实验。全反镜为平凹 2m,输出镜为 $T=20\%$ 的平镜。板条泵浦电流为 90A,电流脉宽为 $230\mu\text{s}$,频率 40Hz,泵浦功率为 127.6W 时,激光输出功率随二极管面阵温度的变化如图 3 所示。

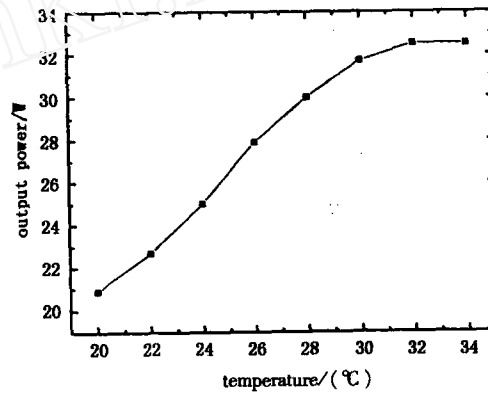


图 3 不同温度下板条谐振腔功率输出特性

可知二极管阵列随水温升高,泵浦光逐步接近 808nm,谐振腔输出功率逐渐增高。谐振腔最佳工作温度为 32°C ,输出功率为 32.5W,光-光转换效率为 25.5%。

3.3 Nd:YAG 板条放大实验

系统由两部分组成,如图 4 所示,前端为一灯泵的种子源,全反镜为平凹镜,输出镜为 VRM。输出光束经柱面透镜组及矩形光阑整形为 $5.5 \times 21.5\text{mm}^2$ 的平行光束,进入横截面为 $6.0 \times 22.0\text{mm}^2$ 的板条放大器。

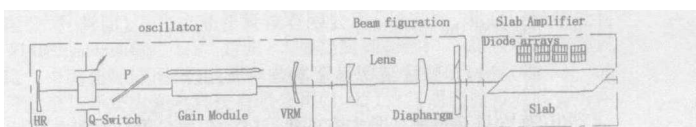


图 4 Nd:YAG 板条放大实验图

3.3.1 不同泵浦电流脉宽下 Nd:YAG 板条的功率放大特性

前端种子源灯泵电压 950V, 充电电容为 $80\mu\text{F}$, 频率为 40Hz 时, 经柱面透镜组与光阑后静态与动态功率分别为 7W 与 7.4W。二极管阵列电流脉冲为矩形波, 脉宽从 $200\mu\text{s}$ 增大到 $300\mu\text{s}$ 时, 静态与动态输出功率基本成线性增长, 如图 5 所示。

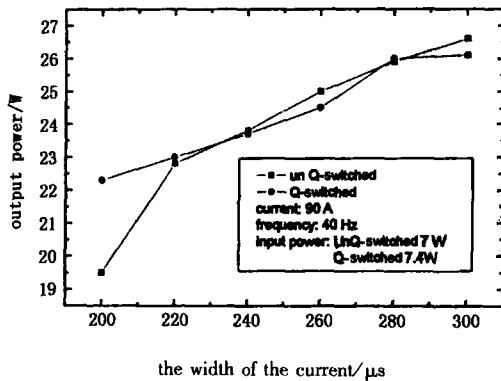


图 5 不同泵浦电流脉宽下激光板条的功率放大特性

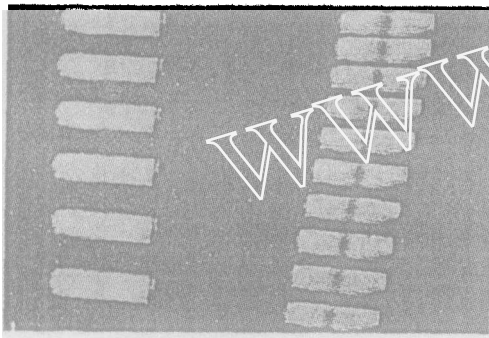


图 6 板条放大器输出近场光斑

动态与静态光斑分布如图 6 所示, 二极管泵浦时, 板条中间的暗区引起输出光斑中间也有一暗区。右侧为静态光斑分布, 中间暗区更为明显。光斑长度与宽度方向发散角分别测得为 1.1mrad 与 1.2mrad 。

3.3.2 Nd:YAG 板条在不同泵浦功率下的输出功率

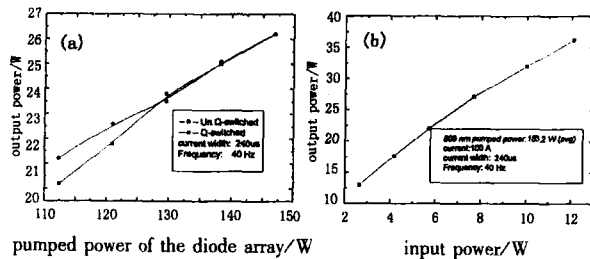


图 7 板条放大器输出功率曲线

前端种子源输出动态、静态光束到 Nd:YAG 板条前功率均为 7W。图 7(a) 为板条放大器注入为

7W 时, 输出功率随板条泵浦功率的变化。可见在低端动态输出略高于静态输出, 高端二者基本相同, 均呈线性增长。图 7(b) 为板条泵浦功率为 140.8W 时, 静态输出功率随输入功率成线性增长。

实验中, 在种子源注入为 12.1W 时, 板条输出功率为 36.2W。每个脉冲输出能量为 900mJ 脉冲, 从板条放大器抽取能量大于 600mJ, 光-光转换效率为 17.1%, 激光斜效率为 29%。静态输出脉宽为 $170\mu\text{s}$, 动态为 14ns。

4 讨论

从实验结果可以看出, 二极管阵列面状泵浦激光板条, 取得了较好的实验结果:

(1) 激光板条谐振腔二极管阵列最佳冷却温度 32°C , 泵浦功率 127.6W 时, 激光板条谐振腔输出功率为 32.5W, 光-光转换效率达 25.5%。

(2) 二极管阵列泵浦激光板条放大器, 泵浦功率 140.8W 时, 板条输出功率为 36.2W, 板条放大器每脉冲抽取的能量大于 600mJ, 光-光转换效率为 17.1%。

由于泵浦功率较低, Nd:YAG 板条的上能级储能密度远远低于饱和储能密度, 可以加大二极管阵列的泵浦功率密度。受二极管阵列制作工艺的限制, 只能通过耦合棱镜或透镜组合提高单位面积的泵浦功率。实验中板条仅为 6mm 厚, 泵浦光透过板条厚度后约剩余 15%, 会损伤对面二极管, 无法实现双面泵浦。故我们设计了双面泵浦尺寸 $22 \times 10 \times 144\text{mm}^3$ 的 Nd:YAG 板条放大器, 透过板条厚度后的泵浦光小于 3%, 预计单脉冲可提取能量 1.5J。

参考文献:

- [1] Sho Amano, Takayasu Mochizuki. High Average and high Peak Brightness Slab Laser[J]. IEEE J. 2001, 37, 296 - 303.
- [2] Randall J St Pierre, David W Mordaunt, Hagop Injeyan, et al. Diode array pumped kilowatt laser[A]. SPIE, 1998, 3264, 59 - 65.
- [3] Georg F Alabrecht, John M Eggleston, J J Ewing. Design and Characterization of a High Average power Slab YAG Laser[J]. IEEE J. 1986, 22, 11, 2099 - 2106.
- [4] 王卫民, 高清松, 尹湘宁. 二极管面阵侧泵浦 Nd:YAG 双板条激光器[J]. 强激光与粒子束, 1999, 11, (5): 527 - 530.