

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0035-03

边缘抽运薄片 Nd:YAG 激光器

柳 强, 巩马理, 闫 平, 琚立阳

(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

摘要 边缘抽运薄片激光器设计使得冷却面和抽运面分开, 解决了高功率抽运和抑制放大自发辐射问题, 简化了激光器的结构设计。利用边缘抽运六角形 1.at-% Nd:YAG 薄片获得了 5.1 W 的输出, 斜率效率为 11.9%, 并使用光线追迹的方法, 分析了抽运光在晶体中的分布和吸收情况, 指出了发展边缘抽运薄片激光器所要解决的关键技术。

关键词 激光技术; 激光二极管抽运固体激光器; 边缘抽运; 薄片激光

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

Edge-Pumped Thin-Disc Nd:YAG Lasers

LIU Qiang, GONG Ma-li, YAN Ping, JU Li-yang

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract The thin-disc lasers design based on conduction cooling and a novel pumping geometry called edge pumping was developed. The edge pumping geometry separated the cooling and optical pumping interfaces, resolves prior difficulties with high average power pumping and the rejection of amplified spontaneous emission (ASE), simplifying the laser head design. The 5 W output power with sloppy efficiency 11.9% from 1at-% Nd:YAG using edge pumping six corners disc was obtained. The pump light distributing and absorbing in the disc are analyzed using tray trace, problem for edge pumping disc laser are indicated.

Key words laser technique; LD-pumped solid-state lasers; edge pumping; thin-disc laser

薄片结构激光器由于冷却方向与激光谐振方向一致, 使得热梯度分布与在谐振腔光轴方向是一致的, 因此, 很大程度上减小了热聚焦效应, 有利于获得更高光束质量的激光输出。

本文采用透镜导管耦合边缘抽运正六角形晶体方式, 并使用光线追迹法, 分析了抽运光在晶体中的分布和吸收情况, 获得了 5.1 W 的连续激光输出, 斜率效率大于 10%。

1 实验方案设计

1.1 透镜导管设计

透镜导管可分为两种: 一种是实心的, 材料是光学玻璃, 其原理是利用介质的全内反射来达到对光束的会聚作用。另一种是空心结构, 它是利用金属上的高反射膜层会聚抽运光的。无论是实心的透镜导管还是空心透镜导管, 目前都已经被广泛地应用于端面抽运、侧面抽运等结构中^[1,2]。

实验中的抽运源为六个单 LD bar, 设计 requirements 是透镜导管对单 LD bar 进行光传输, 材料选为 K9 玻璃, 考虑透镜导管的输出面要与增益介质的抽运面

口径相匹配, 选定透镜导管的输出面尺寸为 1.4 mm×1.4 mm, 输入面与单 LD bar 发光面相匹配, 尺寸为 11 mm×1.4 mm, 输入和输出厚度没有变化, 主要是考虑加工的难度, 另外, 通过光线追迹, 厚度对透镜导管的影响较小。图 1 为透镜导管传输效率与长度的关系; 可以看出, 在 0~65 mm 范围内, 透过率上升较快, 65 mm 以上则相对平缓, 鉴于长度增加时加工困难, 且会造成器件体积过大, 因此最终确定光锥长度为 69 mm, 此时透镜导管传输效率为 83%。实际测量结果为 85%, 与理论计算的结果

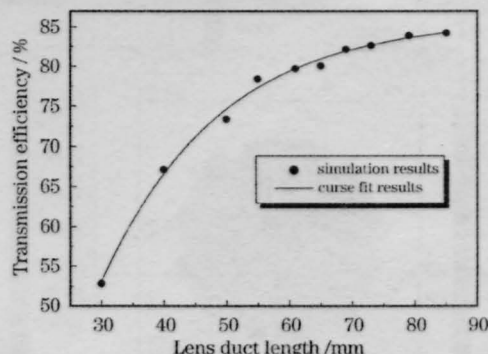


图 1 透镜导管传输效率与长度的关系

Fig.1 Transmission efficiency of lens duct vs length

作者简介: 柳 强(1971-),男,清华大学精密仪器与机械系助理研究员,博士。主要从事固体激光技术与非线性光学研究。

E-mail: liuq@pim.tsinghua.edu.cn

基本是一致的。如果考虑输入面设计为曲面,另外输入输出面镀上抽运波长的增透膜,透镜导管传输效率可以达到90%以上。

利用 ZEMAX 光学设计软件可以得到透镜导管对单 bar 光线传输的追迹结果,证明抽运光经过透镜导管后,虽然压缩了发光面积,但无论是快轴还是慢轴其发散角将变得很大。这样入射到晶体输入面上将产生一定的损耗。图 2 为透镜导管输出面上的光强分布,其均匀性尚可。

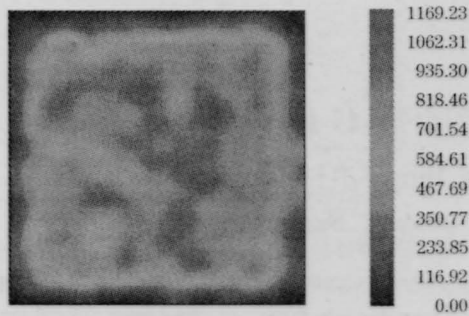


图 2 导光锥输出面上光强分布

Fig.2 Intensity distribution for export surface of lens duct

1.2 抽运均匀性分析

利用光线追迹法数值模拟了晶体内部抽运光的分布和吸收情况,设每个 LD bar 的功率为 15 W,透镜导管的尺寸同上面的优化设计结果,晶体为 1%掺杂的 Nd:YAG,外接圆为 $\phi 5$ mm 的正六边形,厚度为

2 mm,获得抽运光在晶体中沿厚度方向上的分布如图 3 所示,在 $Z=-0.4\sim 0.4$ mm 范围晶体内部抽运光分布较均匀,而在 $Z=-0.8$ mm 和 $Z=0.8$ mm 的位置晶体内部抽运光分布的均匀性较差,在 X 和 Y 方向上,刚进入晶体的部分分布比较强。其原因是由于所选晶体的吸收截面大,抽运功率低以及晶体的厚度大造成的。吸收情况为:抽运总功率为 90 W,透镜导光的传输效率为 83%,吸收为 1.5%,晶体的吸收效率为 90%,这样晶体总的吸收功率约为 65 W。

2 结果与讨论

实验装置如图 4 所示,6 个 LD bar 均匀分布在晶体的周围,晶体的前后分别镀有 1064 nm 增透膜和 1064 nm 高反膜,后端面通过铜薄片与热沉紧密接触,热沉通过冷却循环水机控制温度。输出耦合镜的曲率半径为 1 m,激光谐振腔长为 200 mm。

实验结果如图 5 和图 6 所示,在相同的抽运功率下,随着透过率的增加,激光振荡阈值增大,输出功率下降。当透过率为 1.4%时,最大输出为 5.1 W,光-光转换效率接近 8%,斜率效率为 11.9%,转换效率在抽运初期随抽运功率的增加上升得很快,当吸收的抽运功率超过 30 W 以后,转换效率逐渐趋于饱和。说明了在高功率抽运时,晶体的厚度方向的热梯度使谐振腔偏离了稳定区边界。另外,晶体内部

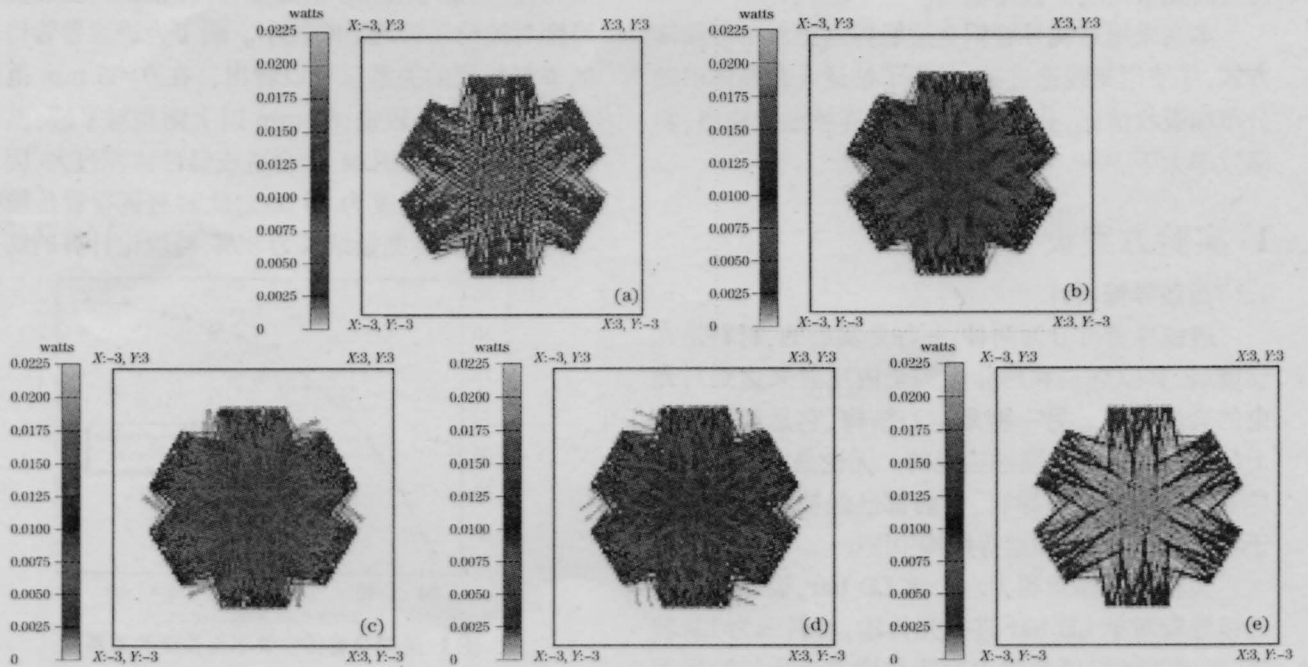


图 3 吸收的抽运光沿厚度方向上的分布

Fig.3 Absorbed power distributions along thickness direction

(a) $z=-0.8$; (b) $z=-0.4$; (c) $z=0$; (d) $z=0.4$; (e) $z=0.8$

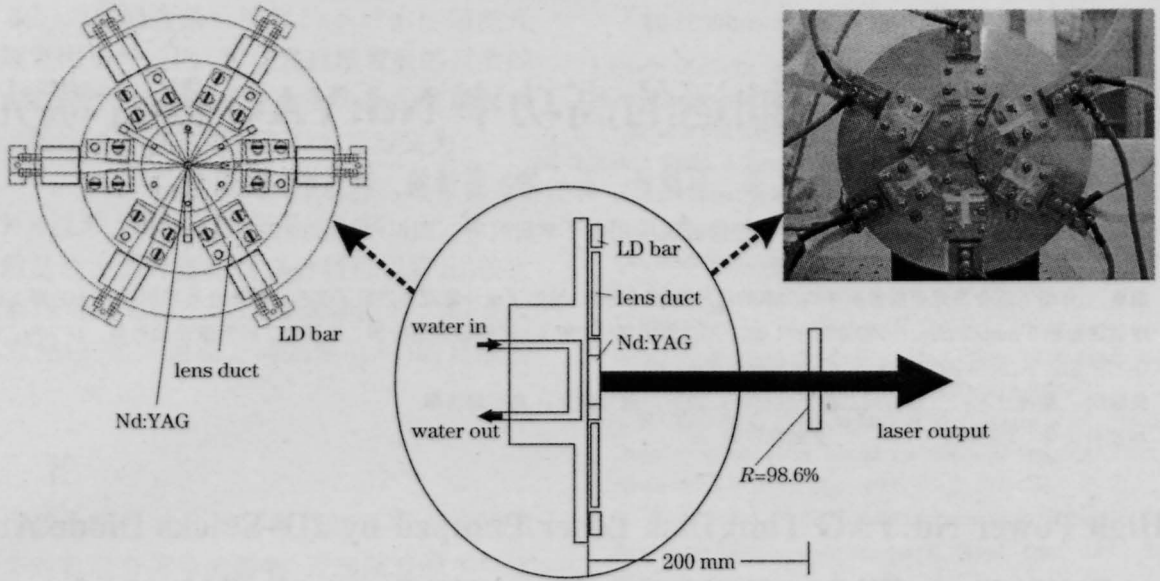


图4 边缘抽运实验装置图

Fig.4 Experimental setup for edge pumping

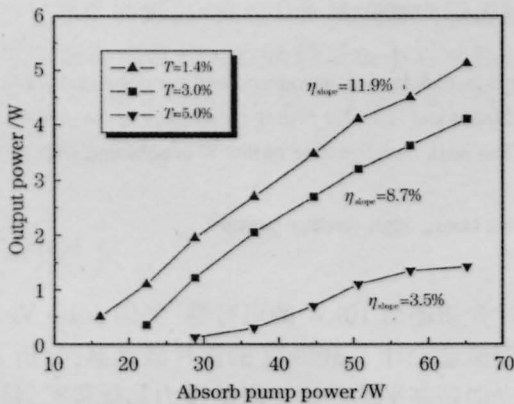


图5 输出耦合镜反射率变化时,输出功率随吸收抽运功率的变化

Fig.5 Different reflectivity of output mirror vs absorb pump power

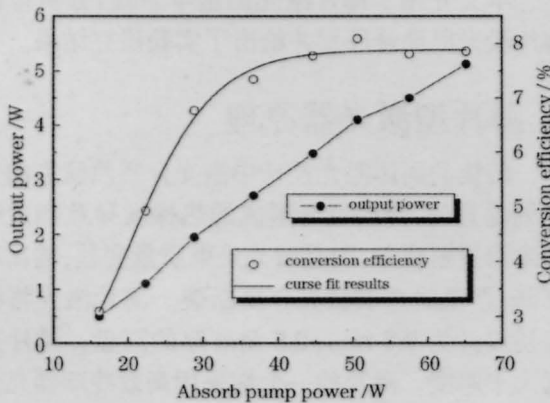


图6 输出功率和转换效率随吸收抽运功率的变化

Fig.6 Output power and conversion efficiency vs absorb pump power

3 结论

实验结果证明边缘抽运的可行性,但光-光转换效率较低,这是实现边缘抽运薄片激光器向高功率扩展所面临的问题:

1) 边缘抽运的薄片激光器由于散热面积小,所以热控管理将是其面临的最严峻考验,应该深入研究晶体和热沉之间的热分析和热设计,寻找高效的热传导冷却的方法,并选择量子损耗小的晶体作为增益介质。

2) 由于增益介质的所有表面都是高度抛光的,所以增益介质的光学加工工艺要求比较高,同时晶体内部由于全内反射会产生较大的自发辐射(ASE),克服自发辐射最有效的方法是采用“三明治”结构的复合晶体,类似于双包层光纤结构,增大增益介质的掺杂浓度,并适当降低其厚度。

3) 边缘抽运的薄片激光器的吸收路径短(薄片的厚度),为了提高抽运均匀性,并不是所有的增益介质都适合边缘抽运,必须选择吸收截面小的激光晶体。如 885 nm 抽运的 Nd:YAG 晶体;885 nm 或者 808 nm 抽运的 Nd:GdG 晶体;941 nm 抽运的 Yb:YAG 晶体等。

参考文献

1 C. Bibeau, R. J. Beach, S. C. Mitchell *et al.*. High-average-power 1- μ m performance and frequency conversion of a diode end pumped Yb:YAG laser[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, **34** (10):2010-2019
 2 E. C. Honea, R. J. Beach, S. C. Mitchell *et al.*. High-power dual-rod Yb:YAG laser[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(11): 805-807

放大的自发辐射可能比较严重。