

文章编号: 1001-5078 (2007) 07-0617-04

LD 抽运直角棱镜腔电光调 Q 固体激光器

张 晶, 卢常勇, 张 玺, 万 强, 王小兵
(武汉军械士官学校光电技术研究所, 湖北 武汉 430075)

摘 要:为了改善在热传导冷却非均匀抽运条件下, 热效应引起的光束质量和输出稳定性的下降, 采用了半圆柱面 LD 阵列结合直角棱镜谐振腔结构, 获得高稳定性、高光束质量的激光输出。所研制的样机在重频 20 Hz 工作, 单脉冲能量 75 mJ, 光轴漂移量小于 0.1 mrad, 远场发散角 2.2 mrad, 输出稳定性 $\leq 3\%$ 。

关键词: LD; 直角棱镜; 电光调 Q; 激光器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Laser-diode Pumped Right-angle Prism Cavity Electro-optic Q-switched Solid State Laser

ZHANG Jing, LU Chang-yong, ZHANG Xi, WAN Qiang, WANG Xiao-bing

(Faculty for Opto-Electronics, Wuhan Ordnance Noncommissioned Officers School, Wuhan 430075, China)

Abstract: An innovative gain module is employed to improve the performance of heat-conduct cooled asymmetric laser, which consists of a Nd:YAG rod pumped by a semicylindrically arranged LD array, and right-angle prism as the mirror, leading to a highly stable output with a high quality. The laser works at 20 Hz, and the output energy per pulse is 75 mJ, the optic axis excursion is less than 0.1 mrad, the divergence angle is 2.2 mrad, and output stability is 3%.

Key words: LD; right-angle prism; electro-optic Q-switched; laser

1 引 言

DPL 激光器在军事上的应用是一个重要的研究领域, 军用激光器不仅要求具有良好的光束质量 (能量稳定、发散角小、光轴指向稳定、光斑能量分布均匀等), 还要求体积小、质量轻、机械稳定性强、工作效率高^[3]。由于对激光器体积和质量的要求, 一般采用从激光介质一侧抽运, 另一侧进行热传导冷却的工作模式。但在这种工作方式下, 随着激光器工作频率的上升, 热效应会带来激光输出能量下降、光轴的漂移以及发散角变大等缺点, 这也是制约 DPL 激光器应用的瓶颈。如何解决热效应对激光器的影响, 是激光器亟待解决的难题。

综合以上考虑, 我们设计了半圆柱面 LD 侧向 (水平方向) 抽运激光介质, 平面输出镜直角棱镜谐振腔 (棱线竖直放置)。结果明显改善侧面紧贴直接抽运的光束质量, 并利用直角棱镜水平方向上的匀光效应, 补偿了激光棒水平方向上的热楔效应, 改善了热效应对光束质量及光轴漂移的影响。

2 激光器的设计和计算

2.1 泵浦几何的设计

在 LD 抽运的固体激光器中, 从激光介质一侧抽运, 另一侧进行热传导冷却, 是得到小型、结构简单工程实用样机的优选方案, 供冷却的侧面可以与热沉紧密接触, 通过热传导方式快速散热。该方式免去了复杂水冷设备, 有利于减少体积和降低功耗。考虑到样机对于激光器尺寸和功耗的要求。本设计采用半柱面二极管阵列侧向抽运激光棒、非抽运面进行热传导冷却的抽运方式。

但是这种抽运方式的不均匀性, 导致了激光介质内的增益分布不均匀, 光束质量下降。因此, 设计的关键是增大抽运光与 TEM_{00} 模体积的空间重叠程度并改善增益的均匀性, 降低热效应对较高功率下 TEM_{00} 模的影响, 改善光束质量^[3]。

作者简介: 张 晶 (1983 -), 女, 助教, 主要从事全固态激光器件的研究与设计。E-mail: gdyjs@263.net

收稿日期: 2006-11-14

对于半径为 r 、长度为 L 的圆柱体增益介质侧向抽运,若均匀地分布在全棒,其交叠积分^[4] (Overlap Integral) 为 $J = 1/\pi r^2 L$,当 LD 抽运功率不充分且侧向不均匀抽运时,抽运功率在截面上增益分布是不均匀的。设计中采用半柱面 LD 阵列,抽运 Nd:YAG 激光棒。因为这种半圆柱面式的 LD 阵列发光面距离激光棒的距离相等。所以它有利于激光抽运的均匀性。但是这种单侧的抽运模式,仍然会产生抽运方向上的不均匀。

LD 在激光工作物质横截面上的增益分布可用以下两式表示:

$$I(x, z) = A \exp \left\{ -2 \left[\frac{x^2}{\omega_x^2(z)} \right] \right\} \quad (1)$$

$$A = I_0 \exp \left\{ 2 \left[\frac{y^2}{\omega_y^2(z)} \right] \right\} \quad (2)$$

其中, I 为光强; A 为振幅。

工作介质对泵浦光的吸收由下式表示:

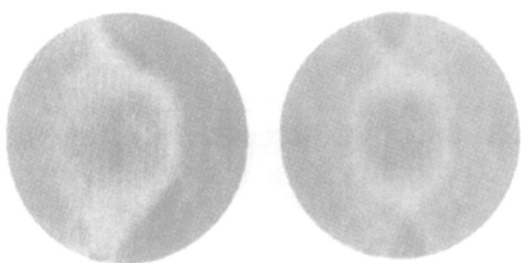
$$P_{ab} = P[1 - \exp(-al)] \quad (3)$$

其中, P 为抽运光入射光功率; a 为工作物质的吸收系数; l 为光线穿过该基本单元的长度。式 (1)、(3) 决定了介质内的增益不均匀。由于直角棱镜棱线垂直方向上的“镜像”作用,使得腔内的增益重新分配,实现了增益的匀化。当采用直角棱镜谐振腔时,光线在腔内左右交换穿行(棱线竖直放置),在水平方向上具有匀光效应^[5-6]

$$I(-x+d, -z) = I_0 \exp \left\{ -2 \left[\frac{y^2}{\omega_y^2(z)} \right] \right\} \exp \left\{ -2 \left[\frac{x^2}{\omega_x^2(z)} \right] \right\} dy \quad (4)$$

式中, d 为 LD 到中心的距离。可见,直角棱镜谐振腔改善了不均匀抽运的交叠程度,使 TEM_{00} 效率提高。

由于激光介质的增益分布程度与所吸收的抽运光成比例,所以可以通过检测抽运光的荧光分布来分析激光介质的增益分布情况,图 1(a)、(b) 分别为实验测得的平面镜和直角棱镜作为反射镜的激光介质横截面内的荧光分布。可以看出在直角棱镜作为反射镜时,激光介质内的增益在棒中心处最高,随着半径增加逐渐减小,近似呈平顶高斯分布,实现了热传导冷却条件下的均匀泵浦效果。



(a) 平面腔荧光分布 (b) 直角棱镜腔荧光分布

图 1 荧光分布图

随着激光器重复频率的提高,热沉不能及时把热量传递出去,致使激光棒和腔内温度升高,晶体的热畸变和热效应随之增大。必然会导致光束质量的下降,输出能量不稳定、发散角变大、光轴出现漂移。因此,谐振腔结构设计的关键就是:①改善热光楔对光轴指向的影响;②获得小的发散角;③输出能量稳定。

由于采用侧向抽运(抽运方向为水平方向)的方式,所以激光输出的不均匀性主要出现在水平方向,图 2 为激光器的热效应模型,激光棒的温度变化主要体现在 x 方向。由于采用了热传导的方式冷却,激光棒离散热面越远的部分,散热效应就越差,是沿着 x 轴方向递增的。这种热效应就相当于一个光楔^[5]。

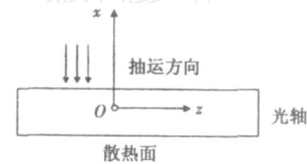


图 2 热传导冷却的热效应模式

为了补偿这类光楔的热效应以直角棱镜取代全反镜(直角棱镜的棱线垂直 xOz 面),设激光棒的长度为 L ,折射率为 n ,在 xOz 平面内,激光棒的增广传输矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & L/n & 0 & (1-1/n)\varepsilon \\ 0 & 1 & 0 & 2(n-1)\varepsilon \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{平面反射镜的传输矩阵为 } M_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\text{直角的传输矩阵为}^{[8]}: M_r = \begin{bmatrix} -1 & -2h/n \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, h 为直角棱镜的高; n 为折射率。由式 (5)、(6)、(7) 可得光线经一个往返后满足

$$x_0 = -x_i - (2L + 2h/n)\theta_i - 2(n-1)\varepsilon(L + 2h/n) \quad (8)$$

$$\theta_0 = -\theta_i \quad (9)$$

可见在直角棱镜谐振腔中,光线经直角棱镜反射之后,在 xOz 面,光线的传播方向与热效应无关,即对热畸变不敏感^[9]。提高了激光器对于热效应的容限。实验结果表明,直角棱镜腔在能量的稳定性、光束质量和光轴漂移的改善等方面都有着重要的作用。直角棱镜腔中振荡光束左右交换穿行,能抵消垂直棱线方向上,由于热效应和增益不均匀造成的影响,从而改善光轴漂移和光束质量。所以我们采用了一个棱线竖直放置的直角棱镜作为激光器的全反镜,改善了由于热效应带来的光束质量的下

降和光轴的漂移。

2.2 结构设计

激光器的具体结构如图3所示,三个国产半圆柱形LD阵列(每个阵列有18个线阵,抽运电流为75A时,每个线阵峰值功率为60W)侧向抽运 $\phi 5\text{mm} \times 60\text{mm}$ Nd:YAG激光棒。抽运方式如图4所示。激光棒侧面打毛,既改善了泵浦的均匀性,又可以避免寄生振荡的产生^[1,3,9]。LD的热量通过热沉将热量传递给散热器,温控电路通过闭环控制半导体制冷器的工作电流及温度。激光棒非抽运侧面紧贴在散热凹槽上,激光棒和凹槽之间垫一层与YAG热膨胀系数接近的铜铂,实现热传导冷却。

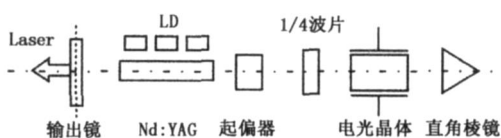


图3 激光器结构

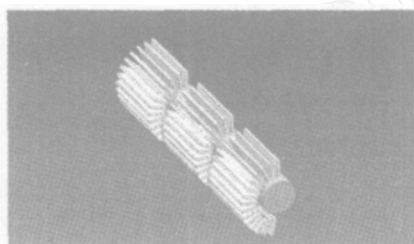


图4 抽运方式

采用带偏振器的电光调Q。铌酸锂晶体(LiNbO_3)作为调Q晶体。根据谐振腔参数,适当设计电光晶体的尺寸,调Q高压脉冲参数,并采用光学预偏置技术,大大提高电光调Q开关的抗破坏阈值和动态转换效率^[11], $\phi 8 \times 8\text{mm}$ (底面镀 $1.06\mu\text{m}$ 增透膜)的直角棱镜和平面输出镜构成腔长为160mm的激光器。

3 实验与结果

用EPM1000型激光功率能量计监测激光输出,TEK-P6701A型光电探头和TDS3052型500MHz数字式存储示波器测量脉宽,LBA-700PC-D型光束质量分析仪监测荧光分布和激光场分布。

LD工作电流为48A,抽运脉宽为 $240\mu\text{s}$,抽运能量为497mJ,激光器平均输出动态能量约75mJ。光-光效率达到15%。激光器在20Hz工作,图5为激光器一个工作周期内,用EPM1000监测到的激光输出能量,能量的稳定性达到2.5%。由于采用了直角棱镜来补偿水平方向上热效应造成的激光棒变形,避免了热楔效应,激光器输出稳定。

图5为Beam View光束质量分析仪测得20Hz条件下近场及远场光场分布,光束的均匀性良好,可见半圆柱型抽运方式配合直角棱镜在水平方向的

“匀光效应”,改善了不均匀抽运的交叠程度,使 TEM_{00} 效率提高。

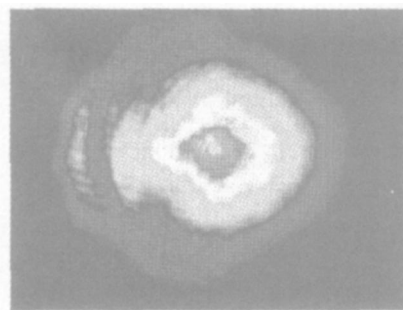


图5(a) 近场光场分布

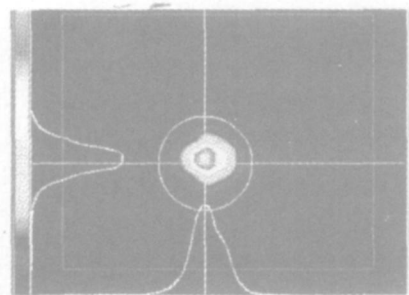


图5(b) 远场光场分布

通过套孔法测得发散角仅为 2.2mrad ,且工作一个周期内几乎没有变化,激光光斑均匀性良好,图6为样机工作15s过程中,通过1m透镜在感光纸上接到的连续光斑,光斑均匀且大小几乎没有变化,也进一步验证了光斑的均匀性和能量的稳定性。图7为工作15s,通过1m透镜在感光纸上接到的光斑,可以看出激光器工作过程中光轴近乎零漂移。直角棱镜在垂直于棱方向上由于热效应和增益不均匀造成的影响,以改善激光性能和光轴漂移。用TEK-P6701A型光电探头和TDS3052型500MHz数字式存储示波器测量脉宽,得到脉宽为13ns左右的稳定脉冲波形,如图8所示。

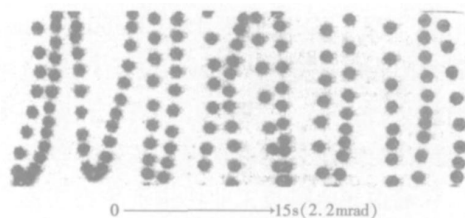


图6 15s连续光斑

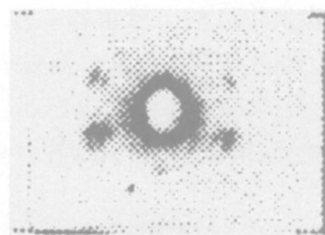


图7 光轴近乎零漂移

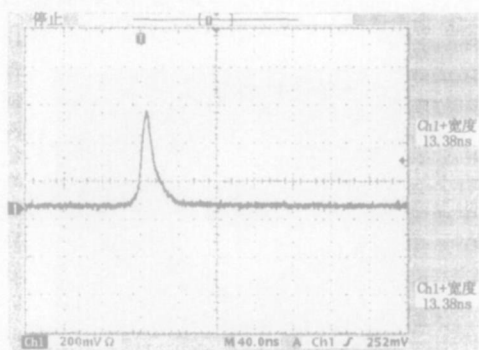


图 8 单脉冲波形

4 结 论

本文通过对侧向非均匀泵浦 DP 的分析,设计了直角棱镜谐振腔半圆形 LD 阵列侧向非均匀抽运激光器。实验证明,直角棱镜谐振腔对于改善由于不均匀泵浦导致的热楔效应有非常明显的效果。对于提高激光器能量稳定性、光束能量的均匀性、发散角、光轴漂移等方面都起到了重要作用。在重复频率 20Hz 时,得到了输出能量 75mJ、脉宽 13ns、光束发散角 2.2mrad、稳定性 $\pm 2.5\%$ 、光-光效率达到 15%,且光轴指向稳定。具有小型、高效、结构紧凑、功耗小、光束质量好等优点,各项参数均达到或超过指标要求,满足了军用激光器对光束质量和稳定性的要求。

参考文献:

- [1] 程勇,陈波,王小兵,等. LD 抽运免调试谐振腔被动调 Q 的固体激光器 [J]. 中国激光, 2003, 30 (11): 973 - 976
- [2] 王小兵. 全固化激光器的可靠性设计 [D]. 安徽:中国科学院安徽光学精密机械研究所, 2004: 16 - 18
- [3] 程勇,孙斌,王古常,等. 光学补偿 LD 侧向非均匀泵浦全固化激光器 [J]. 强激光与粒子数, 2005, 17 (S0): 74 - 77.
- [4] 戴特力. 半导体二极管泵浦固体激光器 [M]. 成都:四川大学出版社, 1993: 122 - 124
- [5] 王小兵,程勇,王古常. 定向棱镜改善重频 DPL 光束质量的研究 [J]. 量子电子学报, 2005, 22 (2): 186 - 191.
- [6] 程勇,王小兵,孙斌等. 定向棱镜谐振腔特性的研究 [J]. 中国激光, 2000, A27 (6): 537 - 541.
- [7] 陈肖燕,赵刚. 小型热传导冷却 (Cd, Ce): YAG 激光器热稳定性研究 [J]. 激光技术, 2001, 25 (1): 64 - 65
- [8] Crow T G. Laser apparatus employing mechanical stabilization means [P]. US Patent 3924201, 1974
- [9] W Koechner. Solid state laser engineering [M]. 5th, New York: Springer Press, 1999: 223 - 235
- [10] 李忠建,胡文华,李喜福,等. 高效风冷小型化电光调 Q - Nd:Ce:YAG 激光器 [J]. 光电子·激光, 2001, 12 (4): 382 - 384

中国台湾举办台北光电周

2007 年 6 月 13 日台北光电周开幕。本次光电周包括了第 16 届国际光电大展、opto Taiwan; 第 3 届 LED 照明展 LED Lighting Taiwan; 首届太阳光电展 Solar Taiwan 以及 LED 应用国际研讨会; 台湾固态照明国际研讨会; 薄膜太阳充电产品与市场策略论坛等一系列内容。

台湾由光电科技工业协进会主办与推广的此项活动目前已有 24 年历史。今年的展会分别在台北世贸中心的 1 号馆和 2 号馆 (平板显示) 举办。据悉有 460 余家厂商参展。据有关方面报道,台湾 2007 年的光电产业总产值将约达 450 亿美元,增长率达 15%,并占有 14% 的世

界市场份额。其中 LED 封装、STN/TFT-LCD 面板、CD、数码相机和 OLED 等产量都居全世界的前三名。目前,台湾的光电产值和增长率已超过日本和韩国。

会上还进行了台湾十大杰出光电产品的评选和颁奖活动。

中国光学光电子行业协会也第二次组团,有近 40 人前往参观、交流。据笔者观察,此展会基本上反映了目前台湾的光电产业发展状况,感觉台湾的光电产业目前在亚洲和世界上已占有相当的地位和影响。

(所洪涛供稿)