

大功率堆积型激光阵列光束的远场分布模型

高全华,王晋国,孙锋利

(长安大学理学院,陕西 西安 710064)

摘要:为了合理地设计光学系统以整形大功率激光二极管阵列(High Diode Laser Stack)出射光束,必须准确了解HDLS的远场分布,然而对于HDLS远场分布的研究还不多。从亥姆霍兹方程出发,以激光二极管(Diode Laser)远场分布特性为基础,提出了一种新的半导体激光器阵列的远场分布模型,通过计算机仿真给出了简化DLS模型的远场光场变化图;模型还可表示不对称的双峰结构,有一定的现实意义。

关键词:半导体激光器阵列;双峰结构;远场分布模型;光强分布

中图分类号:TN284.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.01.005

Far-field distribution pattern of high diode laser stack

GAO Quan-hua, WANG Jin-guo, SUN feng-li

(School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to design optical system to collimate laser beam, its far-field distribution should be acquired exactly. Based on Helmholtz equation and far-field distribution characteristic of DL (diode laser), a new far-field expression model of DLS (diode laser stack) is proposed. The changing graph of far-field intensity distribution of the simplified DLS is given by simulation. The model has some practical significance because it can express asymmetrical double-peak structure.

Key words: diode laser stack (DLS); double-peak structure; far-field expression; intensity distribution

1 引言

大功率激光二极管阵列作为一类体积小、效率高、可靠性好的激光光源,在泵浦固体激光器、激光测距、激光引信、激光打印、材料加工、激光雷达以及激光制导等方面获得了越来越广泛的应用。但由于其光束质量不好,平行于结平面和垂直于结平面方向光场分布相差很大,有很大的发散角和像散,因此在实际应用中,常常需要对光束进行空间整形。在空间整形光学元件的设计中,准确了解半导体激光器的光场分布,特别是远场分布十分重要。当前,对单管DL远场分布的研究已经比较成熟^[1-5],但报道的对于DLS远场分布的研究还很少^[6-7]。

本文从亥姆霍兹方程出发,以单管DL的远场结构模型为基础,建立了大功率激光二极管阵列的

远场分布模型,并进行了计算机模拟,这对于DLS远场传输特性的研究和远场整形光学系统的设计具有重要意义。

2 理论模型

在标量场理论中,单色光波的场分布必须满足时谐条件下的亥姆霍兹方程,在均匀介质中利用慢变化近似得到:

$$\frac{\partial^2 A(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A(x, y, z)}{\partial y^2} - 2ik \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

在可分离变量的条件下,基模高斯光束是该方程的最常见的一个特解,在此表达式的基础上可对横坐标 x 分别作以下变换^[8]:

作者简介:高全华(1976-),女,讲师,主要研究领域为激光光束整形,模式识别,图像分析等。E-mail:gaoqh@chd.edu.cn
收稿日期:2013-05-22

$x \rightarrow x + ix_+$ 和 $x \rightarrow x - ix_-$

其中, x_+ 和 x_- 均为正实数, 于是得到亥姆霍兹方程在慢变化条件下的另一个特解, 场分布为:

$$E(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{q_x(z)q_y(z)}} \exp(-ikz) \times \left\{ \exp\left[-ik\left(\frac{(x+ix_+)^2}{2q_x(z)} + \frac{y^2}{2q_y(z)}\right)\right] + \exp\left[-ik\left(\frac{(x-ix_-)^2}{2q_x(z)} + \frac{y^2}{2q_y(z)}\right)\right] \right\} \quad (2)$$

式(2)是由两个偏心椭圆高斯光束叠加而形成的, 其中:

$$\frac{1}{q_i(z)} = \frac{1}{z + iz_{oi}} = \frac{1}{\rho_i(z)} - i \frac{\lambda}{\pi \omega_i^2(z)} \quad (i = x, y) \quad (3)$$

$$\rho_i(z) = z \left(1 + \frac{z_{oi}^2}{z^2}\right)$$

$$\omega_i^2(z) = \omega_{oi}^2 \left(1 + \frac{z^2}{z_{oi}^2}\right)$$

$$z_{oi}^2 = \pi \frac{\omega_{oi}^2}{\lambda}$$

用这种模型可以方便地描述大功率 DL 双峰结构的远场光强分布。故而, 每个发光单元 emitter 的远场光强分布模型为:

$$I(x, y, z) = [E(x, y, z)]^2 = \frac{\omega_{ox}\omega_{oy}}{\omega_x\omega_y} \exp\left(-2\frac{y^2}{\omega_y^2(z)}\right) \times \left\{ \exp(k_+^2) \exp\left[-2\frac{(x+k_+\frac{\lambda}{\pi\omega_{ox}}z)^2}{\omega_x^2(z)}\right] + \exp(k_-^2) \exp\left[-2\frac{(x-k_-\frac{\lambda}{\pi\omega_{ox}}z)^2}{\omega_x^2(z)}\right] \right\} \quad (4)$$

其中, k_+ 和 k_- 称为光束质量偏心参数。

半导体激光阵列 (DLS) 通常是由多条 bar 堆积而成的, 每条 bar 由多个发光单元 (emitter) 组成, 如图 1 所示。Bar 间距为 h , emitter 间隔为 l 。x 方向为平行结平面方向, y 方向为垂直结平面方向, z 方向为光束传播方向。

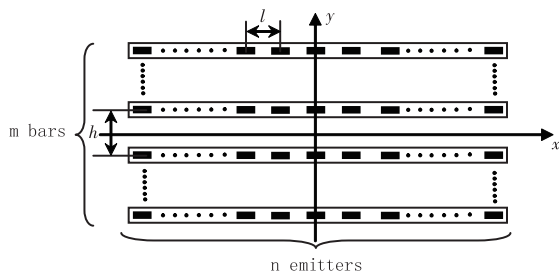


图1 DLS 结构图

Fig.1 Block diagram of DLS

通常 DLS 为多个 emitter 的非相干叠加, 这样在确定了单个 emitter 的光场分布模型之后, 便可以得到半导体激光阵列 DLS 的光强分布模型:

$$I_{\text{总}}(x, y, z) = \sum_{i=-m/2}^{m/2-1} \sum_{j=-n/2}^{n/2-1} I_{ij}(x_i, y_j, z) = \frac{\omega_{ox}\omega_{oy}}{\omega_x\omega_y} \times \sum_{i=-m/2}^{m/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} \exp\left(-2\frac{y_j^2}{\omega_y^2(z)}\right) \left\{ \exp(k_+^2) \exp\left[-2\frac{(x_i+k_+\frac{\lambda}{\pi\omega_{ox}}z)^2}{\omega_x^2(z)}\right] + \exp(k_-^2) \exp\left[-2\frac{(x_i-k_-\frac{\lambda}{\pi\omega_{ox}}z)^2}{\omega_x^2(z)}\right] \right\} \quad (5)$$

这里假设 m, n 均为偶数, 其中:

$$x_i = x - (i + 0.5) \times h$$

$$y_j = y - (j + 0.5) \times l, \text{其他参数同上。}$$

3 计算机仿真结果

在原理相同的情况下, 为了能够简单、清晰地说明问题, 这里以 2 个 bar, 4 个发光单元组成 DLS 简化模型为例, 给出计算机仿真结果, 如图 2 所示。

相关参数: $\lambda = 0.808 \mu\text{m}$, $\omega_{ox} = 1.8 \mu\text{m}$, $\omega_{oy} = 0.5 \mu\text{m}$, $k_+ = 1$, $k_- = 1$ 。

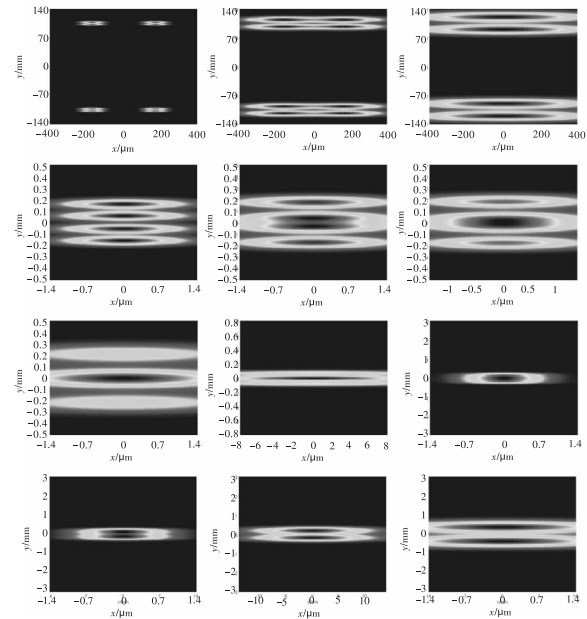


图2 简化 DLS 远场光强分布图

Fig.2 Graph of intensity distributing of the simplified DLS at $z = 50 \mu\text{m}, z = 160 \mu\text{m}, z = 300 \mu\text{m}, z = 1 \text{ mm}, z = 1.3 \text{ mm}, z = 1.4 \text{ mm}, z = 2 \text{ mm}, z = 3 \text{ mm}, z = 4 \text{ mm}, z = 4.5 \text{ mm}, z = 6 \text{ mm}, z = 12 \text{ mm}$

从图中可见, 在 $z = 50 \mu\text{m}$ 处, DLS 的光强分布由四个双峰结构构成, 即每个 emitter 是双峰结构, 光斑没有重叠现象; $z = 300 \mu\text{m}$ 处, 光强分布由四个

单峰构成,光斑开始重叠,双峰结构消失; $z=2\text{ mm}$,光强分布由三个单峰构成,并且中间光斑光强最大,两边光斑光强很小,此时光强主要集中于中间光斑; $z=4\text{ mm}$,光强分布呈现单光斑,光强分布比较均匀,此时有利于实际应用,比如作为泵浦源等; $z=4.5\text{ mm}$,光强分布由两个单峰构成;继续增加 z 值,光强分布不再变化,仍由两个单峰构成。

4 优点

模型中引入了光束质量偏心参数 k_+ 和 k_- ,使模型不但可以描述对称的双峰结构,而且还可以描述不对称的双峰结构,比如单峰结构(极端的不对称结构),与已有模型相比^[6-7]有一定的优越性,如图3所示。

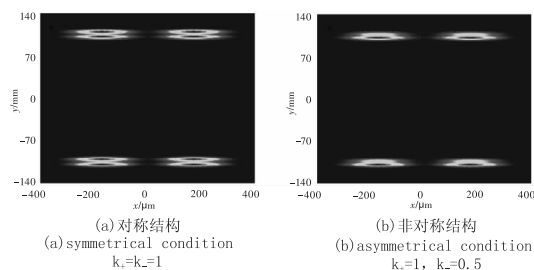


图3 $z=80\text{ }\mu\text{m}$ 时,简化DLS的远场光场分布

Fig. 3 Graph of intensity distributing of the simplified DLS at $z=80\text{ }\mu\text{m}$

5 结论

提出了一个DLS远场光场分布模型,通过计算机仿真给出了简化DLS模型的远场光场变化特性,指出光强呈现单光斑的位置,此时光强分布比较均匀,模型还可表示不对称的双峰结构,如单峰结构,故适用范围更广。这些,有利于进一步确定DLS的远场光强分布特性,对光束整形系统设计也具有一定的意义。尤其在大功率固体激光器的抽运,光束的传输、变换、聚焦与准直,光学整形系统的设计,以及光束质量评价等方面有很重要的意义。

参考文献:

[1] Wang Qiang, Zeng Xiaodong, An Yuying. A far-field distribution model describing the double-peak beam of high-power laser diodes[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(5): 619-622. (in Chinese)

王强,曾晓东,安毓英. 大功率激光二极管双峰结构远场分布模型[J]. 光学学报, 2005, 25(2): 619-622.

[2] Li Lina, Wu Jinhui, Song Jinfeng. Far-field characteristics of high power laser diode[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2004, 25(1): 95-97. (in Chinese)

李丽娜,吴金辉,宋金峰. 大功率半导体激光器远场特性研究[J]. 发光学报, 2004, 25(1): 95-97.

[3] X Zeng, A Naqwi. Far-field distribution of double-heterostructure diode laser beams[J]. Appl. Opt, 1993, 32(24): 4491-4494.

[4] Zeng Xiaodong, Feng Zhejun, An Yuying. Far-field expression of a high power laser diode[J]. Appl. Opt, 2004, 43(27): 5168-5172.

[5] Zeng Xiaodong, Mu Meili. Far-field properties of diode laser beams[J]. Acta Optica Sinica, 1997, 17(8): 1086-1088. (in Chinese)

曾小东,穆美丽. 半导体激光束远场特性研究[J]. 光学学报, 1997, 17(8): 1086-1088.

[6] Dong Lili, Xu Wenhui, Wan Junhua, et al. Study of far-field expression and distribution properties of laser diode arrays[J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2008, 19(10): 1304-1308. (in Chinese)

董丽丽,许文海,万军华,等. 半导体激光器阵列的远场分布模型和分布特征研究[J]. 光电子·激光, 2008, 19(10): 1304-1308.

[7] Li Bin, Zeng Xiao-dong, et al. Study on the far-field intensity distribution of high-power semiconductor Bar and Stack lasers[J]. Journal of Optoelectronics · laser, 2012, 23(4): 667-675. (in Chinese)

李彬,曾晓东,高继敏,等. 大功率半导体激光阵列远场光强分布研究[J]. 光电子·激光, 2012, 23(4): 667-675.

[8] Xu Qiang, Cao Changqing, et al. Propagation of double decent gaussian beam through an ABCD optical system[J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(12): 1912-1916. (in Chinese)

徐强,曹长庆,等. 双偏心椭圆高斯光束在一阶ABCD光学系统中的传输特征[J]. 光子学报, 2006, 35(12): 1912-1916.