

# 改善高功率激光二极管阵列光束质量的一种新方法

苏宙平<sup>1)2)</sup> 楼祺洪<sup>1)</sup> 董景星<sup>1)</sup> 周 军<sup>1)</sup> 魏运荣<sup>1)</sup>

1) 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

2) 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(2007 年 1 月 30 日收到, 2007 年 3 月 5 日收到修改稿)

根据波导模理论, 推导了高功率激光二极管阵列的远场分布, 根据其分布特点, 设计了一种离轴外腔. 运用这种外腔, 在工作电流为 17 A 时, 光束的束宽积从自由运转时的 1100 mm·mrad 减小到 128 mm·mrad, 二极管阵列的光束质量提高了 8.5 倍左右, 输出功率约为自由运转时的 75%.

关键词: 二极管阵列, 外腔, 束宽积

PACC: 4260D, 4260B

## 1. 引 言

高功率激光二极管阵列由于其具有价格低廉、结构紧凑、易于操作等优点, 得到了广泛的应用<sup>[1-3]</sup>, 但它的一个重要缺陷是输出光束不对称, 具有严重的像散和大的发散角. 激光二极管在快轴方向, 光束质量比较好, 通过柱面镜可以准直到几个 mrad; 在慢轴方向, 光束质量非常差, 很难聚成一个小斑, 在慢轴方向上的束宽积(BPP)——光束宽度 × 全发散角约为 1200—1750 mm·mrad (在慢轴方向光束宽度为 10 mm, 全发散角为 120—175 mrad), 这样的光束质量想要直接使用, 非常困难. 例如, 把一束光聚到一个直径 600 μm, 数值孔径 NA = 0.22 的透镜上, 要求其束宽积小于 268 mm·mrad. 为了改善激光二极管阵列的慢轴方向的光束质量, 各种各样的整形方法被运用, 如双反镜整形法和棱镜堆整形法<sup>[4]</sup>. 但是这些整形系统加工和实施起来较为复杂. 各种各样的外腔反馈技术也被用来改善激光二极管的光束质量, 但都是针对单个小功率二极管进行的.

## 2. 理论分析

在分析激光二极管阵列光场分布之前, 首先对单个激光二极管光场分布进行分析, 激光二极管的谐振腔, 是一个波导结构, 因此可以解波动方程来确

定其光场分布. 光在波导中传播时, 波动方程如下:

$$\frac{d^2 E}{dx^2} + (k_0^2 n^2 - \beta^2)E = 0. \quad (1)$$

求解方程(1)得

$$E_m(x) = \frac{1}{\sqrt{x_0}} \sin\left(\frac{m\pi x}{2x_0} + \frac{m\pi}{2}\right) = \frac{i^{m-1}}{2\sqrt{x_0}} e^{\frac{im\pi x}{2x_0}} + (-i)^{m-1} e^{\frac{im\pi x}{2x_0}} \quad (2)$$

其中  $E_m$  表示第  $m$  阶模的光场分布.

根据 Verdiell 和 Frey 的理论<sup>[5]</sup>, 各阶模中, 存在某阶特定模, 该阶模的增益最强, 假设第  $m$  阶模就是这一特定模. 第  $m$  阶模的传播方向沿与光轴夹角为  $\pm \varphi_m$  的两个方向传播, 表达式如下:

$$\varphi_m = \frac{k_x}{k_0} = \pm \frac{m\pi}{2x_0 k_0}. \quad (3)$$

激光二极管的发光面上的光场分布可以作为近场分布, 因此激光二极管的近场分布可以用(2)式来表示. 将(2)式作快速傅里叶变换(FFT), 就可以得到二极管远场分布, 如图 1(a)所示.

激光二极管阵列光场分布可以用下式表示:

$$E = \sum_{v=1}^M \sum_{m=1}^N a_{vm} E_{vm}, \quad (4)$$

其中  $v$  表示第  $v$  个激光二极管,  $m$  表示单个二极管中的第  $m$  阶模,

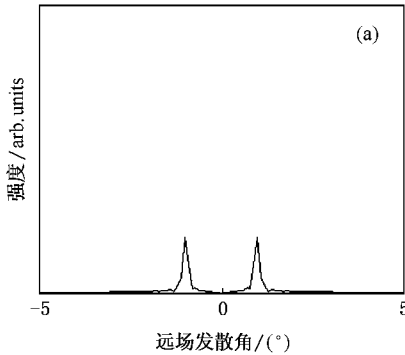
$$E_{vm}(x) = \frac{1}{\sqrt{x_0}} \sin\left(\frac{m\pi x}{2x_0} + \frac{m\pi}{2}\right)$$

$$\times \operatorname{rect}\left(\frac{x - (x_1 + vW)}{x_0}\right), \quad (5)$$

上式中  $W$  表示两个单管之间的中心间隔.

各单管的第  $m$  阶模的叠加即为二极管阵列的第  $m$  阶模的近场分布, 即

$$E_m(x) = \sum_{v=0}^{N-1} \frac{1}{\sqrt{x_0}} \sin\left(\frac{m\pi x}{2x_0} + \frac{m\pi}{2}\right)$$



$$\times \operatorname{rect}\left(\frac{x - (x_1 + vW)}{x_0}\right). \quad (6)$$

将(6)式作 FFT, 就可以得到二极管阵列远场分布, 如图 1(b)所示. 由图 1(b)可见二极管阵列的远场分布仍为双峰结构. 因此我们可以通过加外腔来控制一个方向作反馈, 另一方向作输出, 有效改善其方向性.

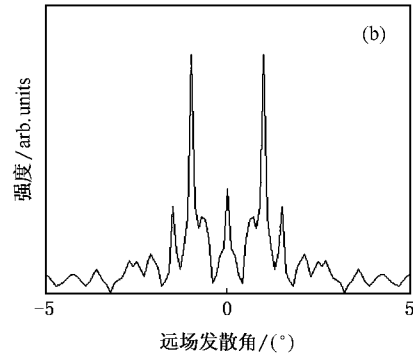


图 1 二极管单管与阵列的远场分布

### 3. 实 验

实验装置示意图如图 2 所表示, 激光二极管阵列(LDA)长 1 cm, 含有 46 个发光单元, 单个发光单元的尺寸为  $1 \times 80 \mu\text{m}$ , 发光单元之间的间隔为  $200 \mu\text{m}$ , 中心波长为 808 nm. LDA 发出的光经快轴准直镜( FAC )准直后, 在慢轴方向( $x$  方向)主要是分两路传播(这里主要就是要控制增益最强的模对应的传播方向), 这两路光经过一个焦距  $f = 150 \text{ mm}$  透镜 1 后向上传播的一路形成了上远场瓣(如图 2 中的  $a, c$  光线所示), 向下传播的一路形成了下远场瓣(如图 2 中的  $b, d$  光线所示). LDA 位于透镜 1 的前焦面, 因此后焦面就是 LDA 的远场. 向下传播的一路经过透镜 1 会聚到一个球面反射镜的球心上, 经球面反射镜沿原路返回到 LDA 中, 继续振荡放大, 另一路用作激光输出. 实验中的各光学元件均要镀上 808 nm 的增透膜. 球面反射镜、快轴准直镜和透镜 1 构成了离轴外腔. 由于外反馈的注入, 其他方向的振荡被有效抑制, 激光的振荡方向主要就是与光轴夹角  $\varphi_m$  方向, 因而输出激光的发散角明显减小.

图 3 是改善前后光斑, 很明显可以看出, 改善后光斑不仅尺寸变小, 而且亮度有了很大提高.

我们用光束的 BPP 来表征二极管阵列的光束质量, 这里提到的光束质量都是指慢轴方向的光束

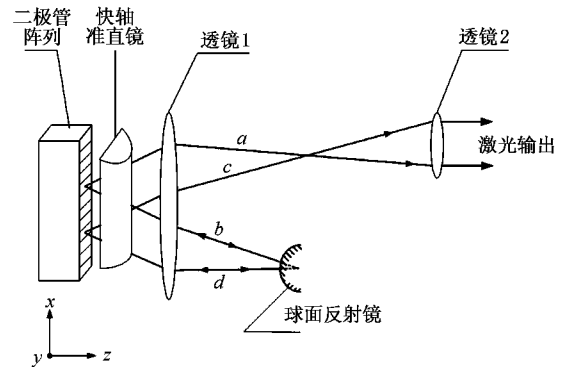


图 2 实验装置示意图



图 3 改善前后的光斑图

质量. 图 4 是在不同电流下自由运转的激光二极管阵列与加外腔反馈时的光束 BPP 的变化曲线. 从图 4 中能够清楚的看出, 在相同电流下加外腔时的光束质量与自由运转时的光束质量相比光束质量改善了近 9 倍左右, 随着电流的提高, 加外腔时的光束质量也在下降, 但比自由运转时的光束质量下降的慢. 加外反馈时, 随电流的提升, 光束质量变差主要是由于激光二极管阵列的输出表面透过率以及半波片的

透过率均未能达到近 100% ,在增大抽运电流时 ,激光二极管阵列本身产生激光振荡抑制了外腔反馈效应 .

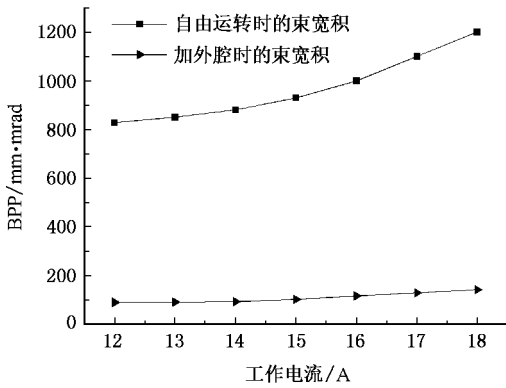


图 4 光束 BPP 随工作电流的变化

图 5 为自由运转与加外腔时激光的输出功率与电流的特性曲线.从图 5 可以看出在电流小于 15 A 时候 ,加外腔的激光功率高于自由运转时的功率 ,这是因为外反馈注入后 ,使 LDA 的阈值电流下降 ,因此在相同电流下功率会提高 ,当电流大于 15 A 时 ,外腔的作用有所减弱 ,因此外腔的输出功率低于自由运转时功率 ,但其输出功率仍然为自由运转时功率的 75% 左右 .

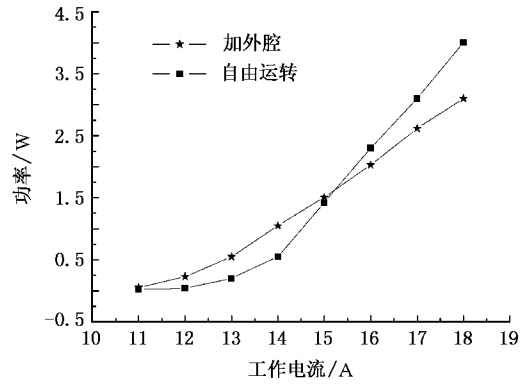


图 5 功率-电流的特性曲线

## 4. 结 论

本文根据波导模理论 ,推导了高功率激光二极管远场分布 ,根据其分布特点 ,设计了一种离轴外腔 .运用这种外腔 ,在工作电流为 17 A 时 ,光束的束宽积从自由运转时的 1100 mm·mrad 减小到 128 mm·mrad ,二极管阵列的光束质量提高了 8.5 倍左右 ,输出功率约为自由运转时的 75% .加外反馈时 ,随电流的提升 ,光束质量变差主要是由于激光二极管阵列的输出表面透过率以及半波片的透过率均未能达到近 100% ,在增大抽运电流时 ,激光二极管阵列本身产生激光振荡抑制了外腔反馈效应 .

[ 1 ] Samsøe E , Andersen P E 2004 *Opt. Exp.* **12** 609

[ 2 ] Wu H S , Yan P , Gong M L , Liu Q 2004 *Chin. Phys.* **13** 871

[ 3 ] Liu C , Ge J H , Chen J 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5211 ( in

Chinese ) [ 刘 崇、葛剑虹、陈 军 2006 物理学报 **55** 5211 ]

[ 4 ] Gao X , Zheng Y J , Kan H , Shinoda K 2004 *Opt. Lett.* **29** 361

[ 5 ] Verdiell J M , Frey R 1990 *IEEE J. Quantum Electronics* **26** 270

# A novel technique for improving beam quality of high power laser diode arrays

Su Zhou-Ping<sup>1,2)</sup> Lou Qi-Hong<sup>1)</sup> Dong Jing-Xing<sup>1)</sup> Zhou Jun<sup>1)</sup> Wei Yun-Rong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*

<sup>2)</sup> *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*

( Received 30 January 2007 ; revised manuscript received 5 March 2007 )

## Abstract

According to optical waveguide theory, the far-field profile of laser diode arrays is derived. Basing on the distribution, an off-axis external cavity is designed. By employing the external cavity, at the operating current of 17A, the BPP of output laser is reduced from 1100 mm·mrad to 128 mm·mrad and the beam quality has about 8.5-fold improvement. The output power is 75% of the radiated power in free-running state without external cavity.

**Keywords** : laser diode arrays, external cavity, beam parameter products

**PACC** : 4260D, 4260B