

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0076-03

# 高功率线阵半导体激光器光纤耦合实验研究

武德勇, 高松信, 吕文强, 魏彬

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要** 通过分析高功率线阵半导体激光器(DL)的激光输出特性,设计了一套光束变换装置,可将10 mm宽的线阵DL激光耦合进单根光纤中。变换过程如下:首先用微柱透镜对DL的快轴方向准直,然后利用微台阶反射镜,通过提高慢轴方向光束质量而降低快轴方向光束质量的方法,使得线阵DL两个方向的光束质量相近,从而可以汇聚成一接近圆形的光斑,再用聚焦透镜耦合进单根光纤中。在实验中实现了将输出功率为42 W的连续线阵DL的输出激光耦合进一根芯径为1 mm,数值孔径 $NA=0.38$ 的光纤中,光纤输出激光功率为连续25 W,整个光束变换系统的耦合效率为59.5%。

**关键词** 半导体激光器; 光束变换; 光纤耦合; 微台阶反射镜

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

## Experiment on High Power Laser Diode Linear Arrays Coupling with Optic Fiber

WU De-yong, GAO Song-xin, LÜ Wen-qiang, WEI Bin

(Institute of Applied Electronics, CAEP, Mianyang, Sichuan 621900, China)

**Abstract** The optic characters of high power laser diode linear arrays are analyzed, and a device is designed to reshape its laser beam, the emission of a 10 mm width continued wave laser diode linear arrays can be coupled into a fiber by the device. The laser beam of laser diode is collimated in fast direction by a cylindrical micro lens, then a pair of step-mirrors symmetries the beam parameter products in fast direction and slow direction, and a focusing lens couples the light into an optical fiber. Experiment is carried out, the emission of a laser diode linear array with 42 W laser power was coupled into a fiber with the core diameter of 1mm and numerical aperture of 0.38. The output power of 25 W from the fiber is obtained with the coupling efficiency of 59.5%.

**Key words** laser diode; beam deforming; fiber coupling; micro-step mirrors

## 1 引言

半导体激光器(以下简称DL)具有电光转换效率高、体积小、功率大、可靠性高、低电压工作等优点,因而在激光照明、抽运固体激光器(DPL)或光纤激光器、激光加工等领域都有着广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。然而,由于DL的输出光束发散角大,为椭圆形发散光,并且发光面 $X$ 、 $Y$ 方向尺寸相差较大,使其应用受到了一定的限制。为了使DL得到更好的应用,需要对DL的光束进行整形输出<sup>[2,3]</sup>。高功率DL的光纤耦合输出,可使靶目标得到一束高功率密度,圆形光斑的激光,并且使用非常方便灵活,这对于促进DL应用是有意义的。

## 2 光束变换系统设计

目前国际上标准的一体化高功率线阵DL(简称DL bar)通常宽度为10 mm,商品化产品的连续激光输出功率可达60 W,准连续输出脉冲功率可达120 W。DL输出的激光在与安装面垂直的方向(快轴)为基横模高斯分布,光束质量因子 $M_x^2 \approx 1$ ,但由于其发光区宽度约为 $1 \mu\text{m}$ ,因此快轴方向发散度( $FW1/e^2$ )约有 $80^\circ$ 。在与安装面平行的方向(慢轴)输出激光为多模高斯分布,输出激光的发散度( $FW1/e^2$ )约为 $16^\circ$ (见图1),如把整个10 mm的宽度作为一个出光面,则其光束质量因子 $M_x^2 \approx 2700$ <sup>[4]</sup>。由于理想光学系统对光束进行变换时,其 $M^2$ 因子保持不变<sup>[5]</sup>,

**基金项目:** 中国工程物理研究院预研基金资助课题(20010441)

**作者简介:** 武德勇(1968-),男,中国工程物理研究院副研究员,主要从事半导体激光技术与应用方面的研究。

E-mail: wdygxx@my-public.sc.cninfo.net

因此,如用一成像光学系统对整个 10 mm 宽的 DL bar 慢轴出光面进行光学变换,则不可能将其耦合进一根光纤中。

本文采用了一种微台阶反射镜阵列的方法进行光束变换,光束变换系统结构如图 2 所示。首先,用

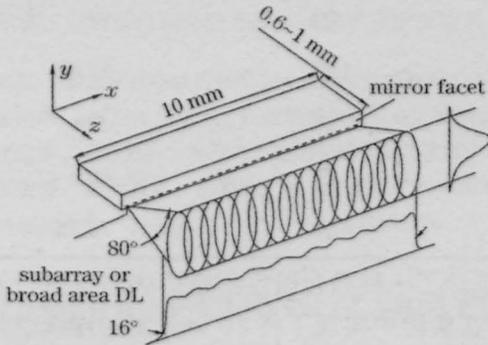


图 1 DL bar 激光输出特性

Fig.1 Laser beam character of DL bar

一个微柱透镜对 DL 输出激光快轴方向准直,然后采用一对微台阶反射镜阵列进行光束变换。每组微台阶反射镜由 10 个小反射镜组成,每个小反射镜的反射面与 X-Y 平面成 45°角,两组微台阶反射镜的光轴在 X-Y 平面的投影成 90°角。这样慢轴方向光束被微台阶反射镜阵列分成了 10 段,并且每一段都围绕其自身光轴旋转了 90°角。

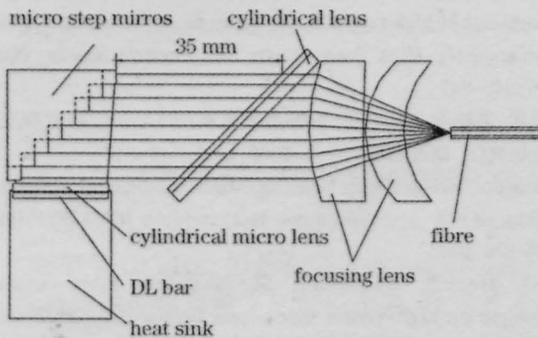


图 2 DL bar 光束变换系统示意图

Fig.2 Laser beam deforming system for DL bar

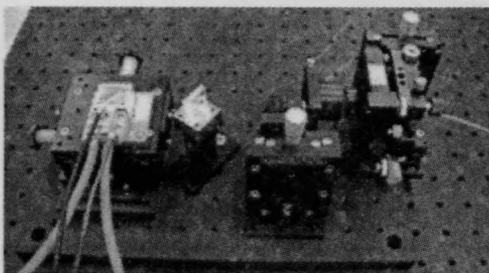


图 3 光纤耦合实验装置照片

Fig.3 Photo of experiment device

在微台阶反射镜阵列前,DL bar 的输出光束为: X 方向宽 10 mm, 发散度 (FW1/e<sup>2</sup>) 约为 16°, M<sub>x</sub><sup>2</sup>≈



图 4 DL 经快轴准直后光强分布图

Fig.4 The intensity distribution of fast axis collimated beam



图 5 经微台阶反射镜变换后光强分布图

Fig.5 The Intensity distribution of beam reformed by micro-step mirrors

2730, Y 方向宽 1mm, 发散度 (FW1/e<sup>2</sup>) 约为 2°, M<sub>y</sub><sup>2</sup>≈ 34; 经过微台阶反射镜阵列变换后, 激光束变为(光轴始终为 Z 轴): X 方向宽 14 mm, 发散度 (FW1/e<sup>2</sup>) 约为 2°, M<sub>x</sub><sup>2</sup>≈ 470, Y 方向宽 1 mm, 发散度 (FW1/e<sup>2</sup>) 约为 16°, M<sub>y</sub><sup>2</sup>≈ 280; 可见, 经过微台阶反射镜阵列变换后, X 方向的光束质量因子得到了提高, 但同时降低了 Y 方向的光束质量因子, 使得 DL bar 两个方向的光束质量相近, 从而可以汇聚成一接近圆形的光斑, 以便于耦合进单根光纤中。

光束经过微台阶反射镜阵列变换后, Y 方向发散度还较大, 因此采用了一个 f=40 mm 的柱面透镜对 Y 方向准直 (由于微台阶反射镜阵列反射面与光轴成 45°角, 柱透镜也要倾斜 45°角), 然后再用一个 f=20 mm 的消球差组合球面透镜进行聚焦, 把光束耦合进一根光纤中(见图 2)。

### 3 实验结果与分析

图 3 为本文采用的实验装置照片, 使用的 DL 是安装在铜微通道冷却器上的 1 cm 宽连续线阵 DL, 50 A 工作电流时, DL 输出的激光功率为 42 W。用光强分布测试仪对光束的变换情况进行分析, 图 4 为经快轴准直后 DL 的光强分布图, 图 5 为经微台阶反射镜阵列变换后的光强分布图, 图 6 为经柱透镜和组合球面透镜汇聚后的光强分布图。实验结果得到, 1 cm 宽的线阵 DL 经过光学系统变换后

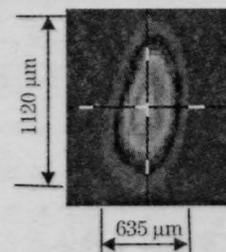


图 6 经耦合透镜聚焦后光强分布图

Fig.6 Intensity distribution of beam focused by coupling lens

表 1 激光在各个光学元件处的能量损失情况

Table 1 Losses of the different optical elements

Optical element	Experimental loss	Experimental cumulative efficiency	Estimated loss after optimized	Estimated cumulative efficiency after optimized
Diode laser		100%		100%
Fast axis collimated lens	8.6%	91.4%	8%	92%
Micro-step mirrors	12.5%	80%	10%	82.8%
Slow axis cylinder	2.1%	78.3%	1%	82%
Focusing lens	2.7%	76.2%	2%	80%
Fiber coupling	11.9%	59.5%	5%	76.3%

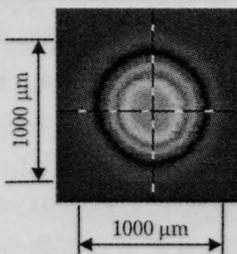


图 7 光纤输出激光光强分布图

Fig.7 Intensity distribution of beam out from fiber

可汇聚成一个  $d_x=735 \mu\text{m}$ ,  $d_y=1120 \mu\text{m}$  的光斑, 光束发散角为  $\theta_x=38.8^\circ$ ,  $\theta_y=30.4^\circ$ ,  $d_y$  比较大, 这主要是由于微台阶反射镜阵列没加工好造成的, 从图 5 可看出变换后分成小段光斑的排列方向与  $X$  轴是成一定夹角的(设计的应平行), 因此聚焦后相互重叠的结果导致  $Y$  方向光斑变大。根据实际的变换结果, 本文采用了一根芯径为  $1 \text{ mm}$ , 数值孔径为  $0.38$  的光纤进行耦合输出, 图 7 为光纤输出激光的光强分布, 可见经光纤耦合输出后光束变成了一圆对称的光斑。DL 经光纤耦合后在  $50\text{A}$  工作电流时可得到光纤输出  $25\text{W}$  的激光功率。表 1 为激光在各个光学元件处的能量损失情况, 本次实验整个光束变换系统的耦合效率为  $59.5\%$ , 微台阶反射镜阵列处的能量损失主要是由于棱边缺陷和反射率不够造成的, 光纤耦合处的能量损失主要是由于  $Y$  方向光斑大于光纤芯径及光纤的端面未镀增透膜造成的。通过控制好各个光学元件的加工质量, 进一步改进, 估计整个光束变换系统的耦合效率可提高到  $76\%$ , 耦合光纤的芯径可降为  $800 \mu\text{m}$ 。

## 4 结 论

本文根据高功率线阵半导体激光器的激光输出

特性, 设计了一种微台阶反射镜阵列对其进行光束变换。在实验中实现了将  $10 \text{ mm}$  宽的连续线阵半导体激光器的输出激光耦合进一根芯径为  $1 \text{ mm}$ , 数值孔径  $\text{NA}=0.38$  的光纤中, 光纤输出激光功率为连续  $25 \text{ W}$ , 耦合效率为  $59.5\%$ 。通过实验分析和模拟计算, 说明只要控制好各个光学元件的加工质量, 本文设计的光束变换系统应可以把激光耦合进一根芯径为  $800 \mu\text{m}$ , 数值孔径  $\text{NA} \geq 0.37$  的光纤中, 耦合效率可达到  $76\%$ 。

## 参 考 文 献

- 1 Wu Deyong, Gao Shongxin, Tang Chun *et al.*. Packaging experiment of high power linear array diode laser with  $940 \text{ nm}$  wavelength[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, 14(6):845-847  
武德勇, 高松信, 唐 淳等.  $940\text{nm}$  波长高功率线阵二极管激光器封装研究[J]. *强激光与粒子束*, 2002, 14(6):845-847
- 2 Friedhelm Dorsch, Petra Henning, Michael Nickel *et al.*. High-brightness fibre-coupled diode laser module [C]. *SPIE*, 1998, 3285:192-198
- 3 H. G. Treusch, Du Keming, M. Baumann. Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays [C]. *SPIE*, 1998, 3267:98-106
- 4 Uwe Brauch, Peter Loosen, Hans Opwer. High-power diode lasers for direct Application [C]. Roland Diehl, High-Power Diode Lasers, Berlin :Springer-Verlag, 2000. 303-316
- 5 Lu Yaxiong, Yang Yapei, Cheng Sufen. *Technique of Laser Transmission and Transform* [M]. First edition, Chendu: UESTC Publishing House, 1999. 1-39  
卢亚雄, 杨亚培, 陈淑芬. 激光束传输与变换技术[M]. 第一版, 成都: 电子科技大学出版社, 1999. 1-39
- 6 Yu Daoying, Tan Henying. *Engineering Optics*[M]. First edition, Beijing: Mechanical Industry Publishing Company, 2001. 14-32  
郁道银, 谈恒英. 工程光学[M]. 第一版, 北京: 机械工业出版社, 2001. 14-32