

大功率激光二极管的微片棱镜堆光束整形 和光纤耦合输出*

石 鹏 李小莉 张贵芬 郭明秀 陆雨田
(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 提出用微片棱镜堆实现大功率激光二极管阵列器件的光束整形, 进而实现光纤耦合输出。利用这一技术得到了直径为 $600\ \mu\text{m}$ 的光纤耦合输出的大功率半导体激光, 总效率大于 50%。它具有易于制造、调整简便、结构简单的优点。文中从理论、计算机模拟以及实验三个方面对微片棱镜堆的整形进行了分析讨论。

关键词 激光光束整形, 激光二极管阵列, 拉格朗日不变量。

1 引 言

半导体激光器具有电光转换效率高、带宽窄、光束能量集中、稳定性高等优点, 从而大大提高激光系统的总体效率和可靠性, 同时减小系统的尺寸。它可广泛地应用于半导体抽运的固体激光器与光纤激光器、材料处理、医药、航空航天等各个领域。为了有效地端面抽运激光介质或方便地用光纤传输, 需要得到具有一定焦深的高亮度的小光斑, 但是半导体激光器的光场分布极不对称, 所以对大功率激光二极管阵列器件输出的激光进行光束整形对于它的应用是一个很重要的环节。典型的激光二极管阵列器件, 在垂直于 p-n 结的方向上发光区宽约 $1\ \mu\text{m}$, 输出光束的发散角为 $60^\circ\sim 90^\circ$, 这一方向即所谓“快方向”; 在平行于 p-n 结的方向上发光区宽约 $10\ \text{mm}$, 发散角约为 10° , 即所谓“慢方向”。两个方向上的拉格朗日不变量相差千余倍。光源的尺寸与发散度的乘积被称为拉格朗日不变量, 无论经过什么样的光学成像系统的变换, 这个量总是保持不变的。由此可知, 这种极差的光束质量不可能用普通的透镜、棱镜、面镜等光学元件加以改善。所以大功率激光二极管阵列器件的光束整形的关键在于找到一个合适的办法, 使它极不均衡的拉格朗日不变量得以改变。为此已经提出了好几种整形技术。一种方法是使用一个线状转变成束状的光纤耦合器^[1]; 文献 [2] 中使用两个相距约 $2.6\ \text{cm}$ 的衍射光学元件实现转换; 一种可以使每个子光束沿传播光轴旋转的多棱镜阵列也可用于整形^[3]; 另一种技术是使用一对略为错开并平行放置的高反平面镜^[4]; 另外, 在文献 [5] 中使用阶梯镜实现拉格朗日不变量的变换。但是这些方法都需要很精细的调整, 超精度加工, 或者整形系统尺寸较大。

* 国家科委 863 高科技项目。

收稿日期: 2000-05-18; 收到修改稿日期: 2000-06-05

本文提出一种微片棱镜堆, 实现大功率激光二极管列阵器件(LDA)的光束整形。与已有技术相比, 它有易于制造、不改变光束传播方向的优点, 并且系统更加简单紧凑。

2 理论分析

设大功率激光二极管列阵水平放置, 则竖直方向就是它的快方向, 水平方向为慢方向。为适合实际光学系统的要求, 同时也为了减少损耗, 先用一个微柱透镜把快方向的发散角压缩到 θ (通常都小于 1°)。经过微柱透镜准直的光束在横截面上基本是一个长方形[如图 1(a) 所示], 其水平方向上长约 10 mm, 发散角为 10° , 竖直方向上宽约几百微米, 发散角为 θ (与微柱透镜的准直效果有关)。假设该光束长为 D , 如果把它分为 N 份, 则每段长为 D/N 。如果能够使每一段都在各自的位置上旋转 90° [如图 1(b) 所示], 就可以得到两个方向上的新的拉格朗日不变量:

$$L_{\text{水平}} = D \times \theta, \quad L_{\text{竖直}} = (D/N) \times 10^\circ.$$

只要选择一个合适的数值 N (约为 $10^\circ/\theta$, 其中 θ 以度为单位), 就可以使两个方向上的拉格朗日不变量接近, 并且与光纤的数值孔径相匹配。

3 微片棱镜堆整形

设计了一种微片棱镜堆, 它由许多片很薄的等腰三角棱镜组成, 如图 2 所示。每个薄片

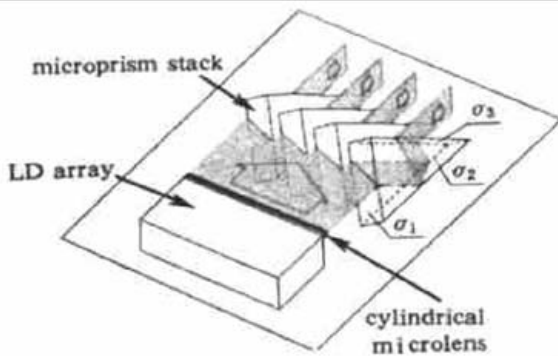


Fig. 2 Illustration of the micro-prism stack

都绕自己的一条底棱旋转 45° , 然后将它们依次排列在一起。平行于底棱的入射光线在 σ_1 上折射后进入棱镜, 接着在底面 σ_2 上产生全内反射后传向 σ_3 面, 并经折射后从 σ_3 出射。分布在与 σ_2 面夹角为 α 的平面内入射的光束, 经过底面 σ_2 的反射将被旋转 2α , 分布在与 σ_2 面夹角为 $-\alpha$ 的平面内。对于本例中沿水平面分布的大功率激光二极管列阵光束, 绕底棱旋转 45° 的薄棱镜片就相当于一个 Dove 棱镜, 正好把入射光束旋转 90° , 变成沿垂直面分布的光束出射。

另一方面, 只要选择合适的棱镜底角和入射高度, 出射光线就会与入射光线等高。因此, 微片棱镜堆可以把入射光束分割成许多小段, 并使原来沿水平方向分布的每一小段都在其原来的位置上旋转 90° , 按所设计的那样沿竖直方向分布并在同一高度上排成一行, 正如前面的分析中所要求的那样改变了两个方向上的拉格朗日不变量, 从而达到整形的要求。

4 计算机模拟

用光线追迹法对微片棱镜堆的整形过程进行了模拟。为了简化计算, 假设入射光束的强度具有均匀的角分布。图 3 所示为计算机模拟计算的入射光在不同的发散情况下出射光束的分布图案。显然, 整形后的光场分布受入射光线的发散的影响。当入射光束为理想平面波时, 微片棱镜堆可以很好地按我们的设想对光束进行重排列。入射光在竖直方向上的发散会使每



Fig. 1 Diagram of rearrangement. (a) Original pattern, (b) Rearranged pattern

一条子光束加宽。水平方向上的发散会导致部分光线偏离预想的位置,这是由于在微片棱镜的侧面上的全内反散引起的,这一部分能量在之后的整形中是无法利用的,因而引起一些损失。这些损失与微片棱镜底面的长宽比成正比。根据计算可知,长宽比为 10 的时候,损失约为 10%,当长宽比增加到 20 时,损失就相应地增加到 21%。

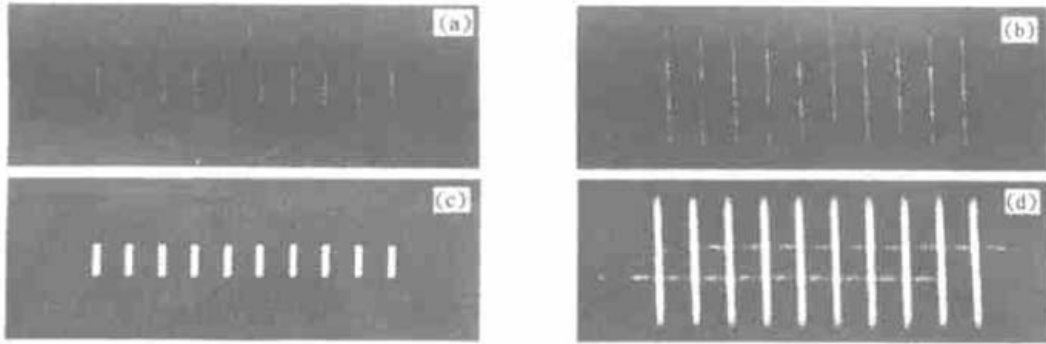


Fig. 3 Output patterns of micro-prism stack taken by ray tracing simulation, for incident beams with different divergences. (a) Parallel beam, (b) 10° in horizontal and 0° in vertical, (c) 0° in horizontal and 0.5° in vertical, (d) 10° in horizontal and 0.5° in vertical

5 微片棱镜堆的设计与实验结果

实际设计中,薄片长宽比对损耗的影响以及薄片的边缘损耗都有必要顾及,这些实在的考虑使片数 N 的选择余地受到一定的限制。本文使用的微片棱镜堆由 10 片厚为 0.8 mm、底边长为 14 mm 的微棱镜片组成,放置在距大功率激光二极管列阵几毫米远处。可以证明,只要三角棱镜的折射率大于 1,平行于底棱入射的光在底面 σ_2 上必然会发生全内反射,而不会透射。显然三角棱镜的折射率总是大于 1 的。为了便于加工和镀增透膜,我们选择了等腰直角三角棱镜。

图 4 是微片棱镜堆后面的光场分布,用 CCD 相机摄得。图样与用计算机模拟的结果一致 [参见图 3 (d)]。从图 4 中可以看出,激光能量集中在中心区域,也就是说,虽然慢方向上的 10° 的发散会引起一部分损失,但仍然可以得到较高的整形效率。

经过微片棱镜堆重组的光束,水平方向与竖直方向上的拉格朗日不变量已经接近,但这两个方向上的发散角仍然不同,我们用一个柱透镜来准直并得到接近球面的波前。最后再用一个球面镜把它聚焦成一个很小的圆点,并耦合进 $600 \mu\text{m}$ 的光纤。实测结果本系统的总体效率(从大功率激光二极管列阵到光纤输出)达到 52%,如图 5 所示。



Fig. 4 Beam pattern behind the micro-prism stack

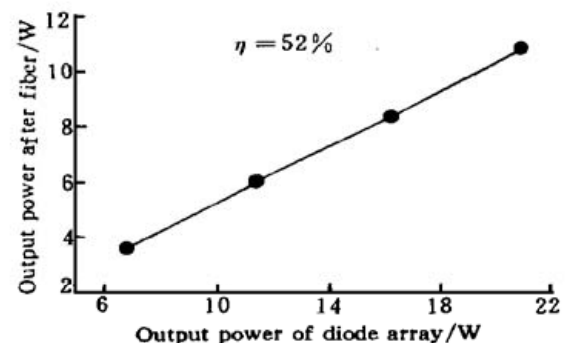


Fig. 5 Efficiency of beam-shaping using micro-prism stack

从图 4 还可以看出, 经过这个微片棱镜堆整形得到的一条条沿竖直方向分布的光束, 有些相互之间的距离不完全均匀, 平行度也有一定的误差, 这是由于加工和装配上的误差造成的。随着工艺的改进, 还可以达到更高的效率。

结 论 利用微片棱镜堆整形的技术, 可以把大功率激光二极管列阵输出的激光耦合进 $600\ \mu\text{m}$ 的光纤并从光纤输出, 总效率达 52%。这一设计具有加工装配精度要求低、单个元件实现拉格朗日不变量的重排列以及不改变激光传播方向的优点。

德国夫朗和费激光技术所的杜可明博士、中科院上海光机所的王之江研究员和刘立人研究员给了我们指导与帮助, 众棱光机公司的江建中工程师为我们制作了实验所需的微片棱镜堆, 在此深表感谢!

参 考 文 献

- [1] Zbinden H, Balmer J E. *Q*-switched Nd:YLF laser end pumped by a diode-laser bar. *Opt. Lett.*, 1990, **15** (18) : 1014~ 1016
- [2] Leger J R, Goltsov W C. Geometrical transformation of linear diode-laser arrays for longitudinal pumping of solid-state lasers. *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1992, **QE-28** (4) : 1088~ 1100
- [3] Yamaguchi S, Kobayashi T, Saito Y *et al.*. Collimation of emissions from a high-power multistriple laser-diode bar with multiprism array coupling and focusing to a small spot. *Opt. Lett.*, 1995, **20** (8) : 898~ 900
- [4] Clarkson W A, Hanna D C. Two-mirror beam-shaping technique for high-power diode bars. *Opt. Lett.*, 1996, **21** (6) : 375~ 377
- [5] Du Keming, Baumann M, Ehlers B *et al.*. Fibre-coupling technique with micro step-mirrors for high-power diode-laser bars. *TOPS on Advanced Solid-State Laser. Opt. Soc. Am.*, 1997, Series 10 : 390~ 393

Micro-Prism Stack Beam Shaper for High Power Laser Diode Array

Shi Peng Li Xiaoli Zhang Guifen Guo Minxiu Lu Yutian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 18 May 2000; revised 5 June 2000)

Abstract A micro-prism stack is developed for beam shaping of high power laser diode array (LDA), $600\ \mu\text{m}$ diameter fiber coupled LDA output is obtained. The overall efficiency is more than 50%. This approach requires simple machining and alignment. The principle of micro-prism stack is explained.

Key words laser beam shaping, laser diode array, Lagrange invariant.