

大光束光纤耦合半导体激光准直系统

王江¹, 勾志勇², 张越², 王楚², 王磊², 杨向东¹

(1. 西南技术物理研究所, 成都 610041;
2. 四川大学原子分子物理研究所, 成都 610064)

摘要: 光纤耦合半导体激光器广泛的应用在国防、商业、工业等领域, 对其光学准直是一项重要的工作。文中详细的介绍非球面透镜设计方法, 设计了数值孔径 $NA=0.37$, 光纤芯径 $\phi=600\mu\text{m}$ 的大光束光纤耦合半导体激光非球面准直透镜, 准直透镜的焦距 $f=50\text{mm}$ 。从像质评定可以看出, 非球面准直镜几乎接近衍射极限, 整个系统的波像差小于 0.3λ 。实验结果证明, 采用非球面准直系统, 能提高光能的利用率, 并获得高效准直光束。

关键词: 非球面准直镜; 光纤耦合半导体激光器; 光学设计

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-2743(2006)01-0066-01

Large beam collimating system of fiber coupled laser diode

WANG Jiang¹, GOU Zhi-yong², ZHANG Yue², WANG Chu², WANG Lei², YANG Xiang-dong²

(1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610064, China;
2. Institute of Atomic and Molecular Physics, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: It is an important work for collimating fiber-coupled diode laser beam in national defence, industry and other fields of application. Designing method for collimating fiber coupled laser diode is presented in the paper, aspheric collimator designed has a focal length of 50mm for Number Aperture $NA=0.37$ and fiber core diameter $\phi=600\mu\text{m}$ of fiber coupled laser diode. Evaluations have shown that the image quality is close to the diffraction limit, and wavefront aberration of the collimating optical system is less than 0.3λ . Experiment results carried out that the collimating optical system, of which enhance laser efficiency, is obtained, and proved design method accurate.

Key words: aspheric collimator; fiber coupled laser diode; optical design

1 引言

近年来, 随着光纤技术、半导体材料生长、耦合封装、微小光学技术、微细加工技术和精密机械等关键技术的改进和提高, 光纤耦合半导体激光器的耦合效率不断提高, 光学耦合工艺也越来越简单。光纤耦合半导体激光器越来越显示出它的优越性: 输出光束质量好、高功率、线宽窄、结构简单、可靠性高等特性^[1,2]。目前, 光纤耦合半导体激光器可从紫外到红外, 波长从 475nm~2100nm 波段输出^[3]。但是人们最常用的光纤耦合半导体激光器的波长是近红外波段, 常见的数值孔径 $NA=0.12, 0.15, 0.18, 0.22$ 和 0.37 。光纤的纤芯直径从几十微米到 1000 多微米, 功率大多在几毫瓦到几百瓦之间。在国防、商业、工业等领域的广泛应用中, 对激光光束准直是一项重要而必不可少的工作。

本文针对数值孔径 $NA=0.37$, 纤芯 $\phi=600\mu\text{m}$ 的光纤耦合半导体激光器在激光照射和激光测距方面具体应用, 设计焦距 $f=50\text{mm}$ 的非球面准直系统, 非球面透镜几乎达到衍射极限, 大大的提高了激光能量的利用率, 整个系统结构简单, 调试方便。

2 非球面准直透镜设计原理

前人对半导体激光器光束准直通常采用组合透镜法^[4]、渐变折射率透镜^[5]、反射法^[6]和衍射法^[8]。本文研究目的是兼顾结构复杂程度、光能利用率和光束准直能力。渐变折射率透镜和衍射法设计难度大, 复杂程度高, 加工工艺要求高; 反射法和组合透镜法结构相对复杂。目前, 国内非球面透镜的加工工艺和检测水平的相对比较成熟, 和两片或者多片的球面准直系统(见图 1)相比, 非球面准直系统(见图 2)更加显示出它的优势, 使系统结构变得简单, 目前, 国内非球面透镜的加工工艺和检测水平的相对比较成熟。

目前, 非球面透镜的设计方法很多, 主要常见的设计方法有: 费马原理法^[7-10]、微积分^[11]、空间矢量坐标法^[12]... 在此文中, 采用传统的费马原理。



图 1a 球面准直系统 图 1b 非球面准直系统
由费马原理, 光程 SA 和 AD 表示为

$$OPL = \sum_{i=1}^n n_i s_i = n_i \overline{SA} + n_i \overline{AD} = \text{Const} \quad (1)$$

Const 是光程差常数, OPL 用 x 和 y 表示为

$$n_i \sqrt{x_1^2 + y^2} + n_i x_2 = \text{Const} \quad (2)$$

用 $x_1 = d - x_2$, 其中 d 为 S 和 D' 之间的距离, 如 $d = \overline{SP} + \overline{PD'}$, 得

$$n_i \sqrt{(d - x_2)^2 + y^2} + n_i x_2 = \text{Const} \quad (3)$$

为了求出 Const, 可以定义 $\theta=0$ 的是 OPL,

$$\text{Const} = n_i(d - x_2)|_{y=0} + n_i x_2|_{y=0} \quad (4)$$

一旦 Const 从上式解出, 用 x_2 来作为 y 的函数,

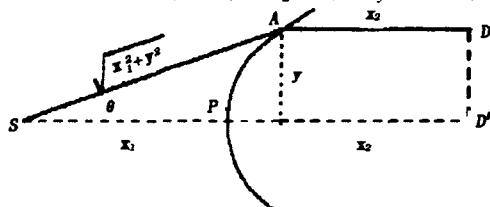


图 2 几何光路图

$$y = \pm \frac{1}{n_i} \sqrt{(n_i^2 - n_1^2)x_2^2 + 2(dn_1^2 - \text{Const} \times n_1)x_2 + (\text{Const}^2 - d^2n_1^2)} \quad (5)$$

以双曲面为例: 双曲面离心率 $e = \frac{n_1}{n_i}$, 取 $d = 10\text{cm}$, $n_i =$

1, $n_1 = 1.5$ 和 $x_2|_{y=0} = 5\text{cm}$, 即能得到 $\text{Const} = 1.0 \times (10 - 5) + 1.5 \times 5 = 12.5\text{cm}$, 这样从方程就能确定非球面透镜的外形轮廓。如图 3:

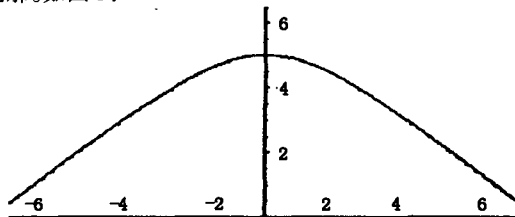


图 3 非球面透镜的轮廓图

2 设计举例和性能分析

现设计一个光纤耦合半导体激光准直器, 数值孔径 $NA=0.37$, 光纤芯径 $\phi=600\mu\text{m}$, 非球面准直镜的焦距 $f=50\text{mm}$, 材料为聚甲基丙烯酸酯 PMMA, 材料参数如下:

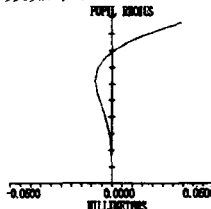
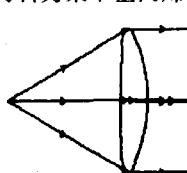


图 4a 系统结构图 图 4b 非球面准直透镜 图 4c 垂轴像差曲线
Nd(Vd): 1.49(57.2~57.8);
密度(kg/m^3): $(1.17 \sim 1.20) \times 10^3$; (下转第 68 页)

收稿日期: 2004-04-05

作者简介: 王江(1959-)男, 汉, 四川大学博士, 主要从事激光技术应用研究工作。

其中

$$V(\Delta) = - \int_0^{\Delta} d\Delta' \int_{-\infty}^{\infty} dz I_2(z + \Delta') \frac{\partial \epsilon(I_1(z) + I_2(z + \Delta'))}{\partial z} \quad (12)$$

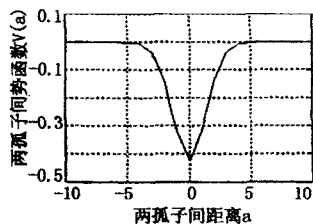


图2 两暗孤子间势函数与孤子间距离

此即为两暗孤子之间距离的演化方程。作如下理解：两孤子的能流分别为 P_1 和 P_2 ，相互作用所形成的相互作用势。

$\bar{P} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}$ 为两孤子的有效能流。

4 数值解和讨论

对方程(11)求数值解，取 $\rho = 0.1$, $I = (\tanh z)^2$ ，其解如右图(2)，根据数值解图可得出如下结论：在光折变材料中两暗孤子之间存在相互作用的势函数，根据相互作用势函数有最小值，可知暗孤子对是可保持在稳态的。也就说明在光折变材料中有稳定的暗孤子对。当两暗孤子间距离 $\Delta = 0$ 时，

其相互作用势函数有最小值，表示两暗孤子间相互作用在 $\Delta = 0$ 达到最大；当两暗孤子距离 $\Delta \geq 5$ 时，其相互作用势函数几乎为零，表示两暗孤子在间距 $\Delta \geq 5$ 相互作用几乎为零。这与(11)中的仿真结果一致。

5 结束语

本文从孤子的能量流定义出发，推导了暗孤子间相互作用势函数的解析表达式，用上述方法证明了在光折变晶体中存在稳定的暗孤子对，并且根据所得的数值解，得到一些有用的结论。

参考文献

- [1] Segev M, Crosignani B, Yariv A, et al. [J]. Phys. Rev. Lett., 1992, 68 (7): 923 - 926.
- [2] Crosignani B, Segev M, et al. [J]. Opt. Soc. Am. B, 1993, 10(3): 446 - 453.
- [3] Segev M, Crosignani B, Yariv A, et al. [J]. Opt. Lett., 1994, 19(17): 1296 - 1298.
- [4] 刘劲松, 卢克清 [J]. 物理学报, 1998, 47(9): 1509 - 1514.
- [5] Liu J S, Zhang D Y, Liang C H [J]. Chinese physics, 2000, 9(9): 667 - 671.
- [6] 卢克清, 唐大同 [J]. 物理学报, 1999, 48(11): 2070 - 2075.
- [7] Lu K, Tang T, Zhang Y [J]. Phys. Rev., A, 2000, 61(5): 053822 - 1 - 053822 - 5.
- [8] Alexandra G. Grandpierre and Demetrios N. Christodoulides. Gray spatial in biased photorefractive media [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2001, 18: 55 - 63.
- [9] 侯春风, 李师群. 有外加电场得光伏光折变晶体中得非相干耦合 [J]. 物理学报, 2001, 50(9): 247 - 252.
- [10] I. V. Shadrivov and A. A. Zharov. Excited States of vector Spatial solitons [J]. IEEE, 2002, 1456 - 1460.
- [11] 陈陆君, 梁昌洪. 孤子理论及其应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.

(上接第66页)

透过率(%) : 90 ~ 92;

玻璃化温度: 10E5;

熔点(或粘流温度): 160 ~ 200;

热变形温度: 74 ~ 109 (4.6 × 10Pa) 68 ~ 99 (18.5 × 10Pa);

线膨胀系数: (5 ~ 9) × 10E - 5;

将初始结构进行特定优化后，非球面准直镜可达到衍射极限。系统的光学结构见图4a，加工后的非球面准直透镜见图4b，非球面的垂轴像差曲线见图4c，非球面准直镜传递函数曲线见图5，非球面的衍射能量如图6。

3 结论

由实验证明，如图6，耦合后的光束通过非球面准直透镜后，能提高光能的利用率和光束的准直性。本文设计非球面光学准直透镜几乎达到衍射极限，系统波像差小于 0.3λ ，避免由球面准直系统带来的系统像差过大、光功率利用低等问题。理论和实验证明，利用非球面光学对半导体激光和光纤耦合半导体激光进行光学准直简单可行：使系统简单，便携；最大可能地提高系统的光能利用率；能广泛地应用于半导体激光测距、激光照明、光通信等领域。

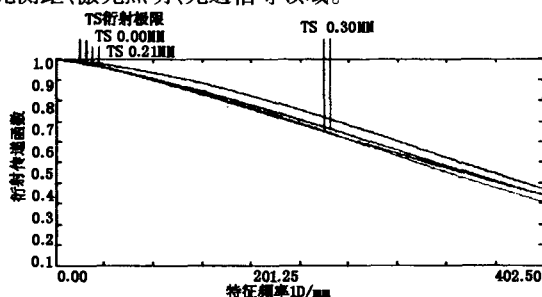


图5 传递函数曲线

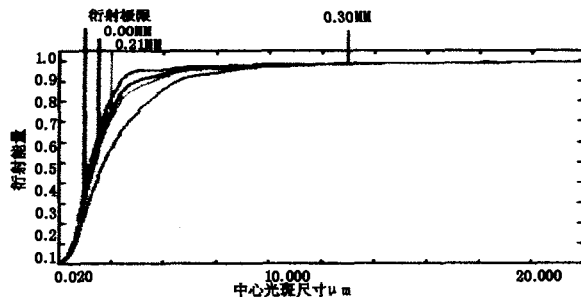


图6 能量分布曲线图

参考文献

- [1] 伍浩成. 光纤激光器及技术进展. 光纤新闻网, 2005, 3, 8.
- [2] 张健, 郑杰, 张亮. 光纤激光器最新进展. 光纤新闻网, 2005, 8, 6.
- [3] <http://www.o-eland.com/>.
- [4] John F. Forkner and David W. Kuntz. Characteristics of efficient laser diode collimators [C]. SPIE, 1997, 740: 145 - 151.
- [5] 陈科华, 陈多思. 自聚焦透镜准直应用的长度计算与实验 [J]. 光子学报, 1992, 21(2): 145 - 151.
- [6] Nandor Bokor, Nir Davidson. Beam shaping with diffuse light by use of a single reflection [J]. Applied Optics, 2001, 40: 2132.
- [7] 严瑛白, 王超. 半导体激光器的二元消像散准直器件 [J]. 红外与激光工程, 1996, 25(5): 36.
- [8] Smith W J. Modern Optical Engineering [M]. New York: McGraw - Hill, 2000, Chapter 10.
- [9] 王之江. 光学技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987, Chapter 9.
- [10] 杨力. 先进光学制造技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2001, 326 - 327.
- [11] Michael Bass E. Handbook of Optics [M]. New York: McGraw Hill, 1995, Chapter 1.
- [12] 胡家升. 光学工程导论 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002, 168 - 175.