

文章编号: 1672-8785(2012)03-0022-05

基于 ZEMAX 的半导体激光准直镜 设计方法研究

聂建华 王峻宁

(电子测试技术重点实验室, 山东青岛 266555)

摘 要: 针对目前采用单个球面镜压缩激光时存在发散角效果差或者球面镜片数过多的问题, 通过 ABCD 矩阵法从理论上对高斯光束经过单透镜时的传输特性进行了分析, 得出了单透镜无法实现半导体激光光束理想准直的结论。提出了一种基于 ZEMAX 的半导体光源准直镜的设计方案, 并给出了设计与优化方法。结合工程中常用的 808 nm 半导体激光器, 设计了双片型 808 nm 半导体激光准直镜, 并在 ZEMAX 中使用合适的优化函数和权重对像差进行了校正。通过采用非球面镜获得了较好的准直效果, 发散角达到了 0.032 mrad。该设计使用的镜片数较少, 结构简单。

关键词: 半导体激光; 准直镜; ZEMAX; 非球面; 像差

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.03.005

Research on Semiconductor Collimator Design Based on ZEMAX

NIE Jian-hua, WANG Jun-ning

(Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, Qingdao 266555, China)

Abstract: When a single spherical mirror is used to compress laser beams, there usually is a problem that the poor divergence can be resulted in or too many spherical lenses have to be used. By using a ABCD matrix method to analyze the Gauss beam passing through a single lens in theory, a conclusion that the beam from a semiconductor laser can not be collimated ideally with a single lens is drew. A design scheme based on ZEMAX is proposed for the collimation of a semiconductor laser source. The design and optimization method is given. For a 808 nm semiconductor laser commonly used in engineering, a collimator with two lenses is designed and its aberration is corrected by using the proper optimization function and weight in ZEMAX. By using a non-spherical surface, fine collimation is implemented at a divergence angle of 0.032 mrad. This design has the features of less lenses and simple structure.

Key words: semiconductor laser; collimator; ZEMAX; non-spherical; aberration

0 引言

半导体激光器 (LD) 具有体积小、质量轻、功耗低以及可直接调制等特点, 已被广泛应用

于材料加工、激光显示、医疗、通信和国防等领域。激光光束的质量对于半导体激光器的总体表现至关重要。优质的准直透镜是制造高性能半导体激光器光束聚焦和照明系统的关键元件

收稿日期: 2012-02-13

基金项目: 重点实验室基金项目 (9140C120315100C12)

作者简介: 聂建华 (1983-), 男, 安徽人, 助理工程师, 主要从事光电子测试仪器的研发工作。E-mail: eiqd@ei41.com

[1-3]。中心波长为 808 nm 的半导体激光属于是对人眼安全的光, 在焊接、打标、切割和集成电路划片等行业中有着重要的应用。其光束在相互垂直的两个平面内具有较大的发散角, 在较远处会形成散椭圆光斑 (像差的存在制约了其应用效果)。非球面曲面不具有同一的曲率, 可以

用来有效纠正球面像差等各种像差。采用非球面透镜作为准直镜, 与以往采用球面镜相比, 不但可以有效改善像差, 而且还可以有效减少透镜的片数, 降低对材料的要求, 从而实现整体重量与体积的轻量化和小型化 [4]。

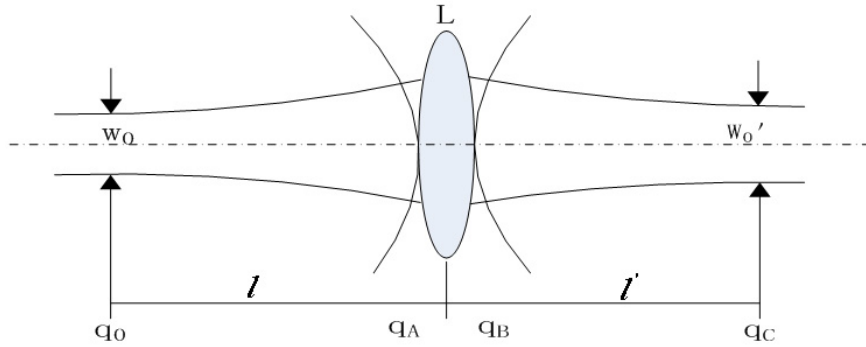


图 1 高斯光束经过单透镜时的传输示意图

1 半导体激光经过单透镜时的传输特性分析

半导体激光源发射的光束可以被看作是高斯光束。高斯光束经过单透镜时的传输特性可以通过 ABCD 矩阵来求解 [5]。图 1 中, w_0 和 w_0' 分别为经透镜变换前后的高斯光束的束腰直径, F 为透镜的焦距, 由 q 参数表示:

$$q_B = \frac{Aq_A + B}{Cq_A + D} \quad (1)$$

由 $q_0 = i\frac{\pi w_0^2}{\lambda} = if$, $q_A = q_0 + l$, $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} =$

$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/F & 1 \end{bmatrix}$ 得到:

$$q_B = \frac{if + l}{\left(-\frac{1}{F}\right)(if + l) + 1} = F \frac{l(F-l) - f^2 + ifF}{(F-l)^2 + f^2} \quad (2)$$

由 q_C 的表达式 $q_C = q_B + l'$ 和 $q_C = i\frac{\pi w_0'^2}{\lambda}$ 推导出:

$$q_B = \frac{\pi w_0'^2}{\lambda} - l' \quad (3)$$

再结合式 (2) 可得:

$$l' = F + \frac{(l-F)F^2}{(l-F)^2 + f^2} \quad (4)$$

$$w_0'^2 = \frac{w_0^2 F^2}{(F-l)^2 + f^2} \quad (5)$$

对半导体激光光束的准直实际上是改善其方向性和压缩发散角。高斯光束的发散角可以用式 (6) 表示:

$$\theta' = \frac{2\lambda}{\pi w_0'} \quad (6)$$

若要使 θ' 尽量小甚至趋于 0, 则要求 w_0' 尽可能变大。高斯光束通过单个透镜时, 若 $l = F$, w_0' 则会达到最大值 $w_0' = \frac{\lambda F}{\pi w_0}$, 其值有限。

由 w_0' 的表达式 $w_0'^2 = \frac{w_0^2 F^2}{(F-l)^2 + f^2}$ 经变换后得到:

$$\frac{1}{w_0'^2} = \frac{1}{w_0^2} \left(1 - \frac{l}{F}\right)^2 + \frac{1}{F^2} \left(\frac{\pi w_0}{\lambda}\right)^2 \quad (7)$$

由于 w_0 有限, 无论 l 和 F 取何值都不可能使 w_0' 值趋于无穷大, 说明用单透镜不能实现高斯光束的较好准直效果。

2 基于 ZEMAX 的非球面准直镜初始设计

如果需要提高镜头的准直效果, 那么就必须对光学系统进行复杂化设计, 即增加镜头的片数。若系统的片数增加过多, 则会影响镜头的

透过率。这时,如果适当地引入非球面,尤其是高次非球面,那么就可以少增加镜头总片数和玻璃总厚度,提高镜头的准直能力,甚至达到简化结构的目的。因此,本文提出用非球面与球面光学元件相结合的光学结构代替以往的单纯球面光学结构,以更好地校正光学系统的像差和提高光学系统的准直性能。常用的偶次非球面可以表示为

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \cdots + \alpha_8 r^{16} \quad (8)$$

式中, c 为顶点曲率, r 为光线与曲面的交点到光轴的距离, k 为二次曲线常数 ($k=0$ 时即为

球面), $\alpha_1 \sim \alpha_8$ 为非球面高次项系数。当 $\alpha_1 \sim \alpha_8$ 均为 0 时,方程即为二次曲面。从式 (8) 中可以看出,采用高次非球面比采用普通球面具有更大的自由度。

采用 ZEMAX-EE(专业版) 光学设计软件,并使用 ZEMAX 像空间 Afocal 模式的功能完成初始结构设计。设计参数要求:

- (1) 有效焦距为 10 mm ;
- (2) 通光孔径为 6 mm ;
- (3) 工作波长为 806 ~ 810 nm (设计思路和方法在其他波长处通用)。

Lens Data Editor						
Edit Solve View Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	10.000000		0.000000
STO	Standard		Infinity	2.000000	BK7	3.000000
2	Even Asphere		Infinity	4.000000		3.387523
3	Standard		Infinity	2.000000	BK7	4.587523
4	Standard		Infinity	5.000000		4.975046
IMA	Standard		Infinity	-		6.475046

图 2 初始结构

本光学系统采用常用的 BK7 材料加工而成;物距等可根据设计要求自行设定。在 General 菜单中选用 Afocal 像空间,设定入瞳直径为 6 mm;系统的默认长度单位为 mm,角度单位为 mrad。由于半导体激光源的发光尺寸相对于物距是无穷小的,可以被近似地看作点光源,所以在 Fields 设置栏里选择物高为零。图 2 所示为设计完成后的初始结构。从图 3 和图 4 中可以看出,准直效果很差,RMS 发散角超过 200 mrad。因此,系统需要校正像差。镜头的像差校正可以分成基本像差校正、高级像差校正和像差平衡三个阶段。

3 设计优化与性能分析

3.1 基本像差校正

在 808 nm 激光光束准直镜的设计中,基本像差一般是指球差。选取合适的优化函数并用 ZEMAX 进行优化时,还要注意控制有效焦距。

(1) 用 LONA 控制轴向球差。当用 LONA 控制不住球差时,同时加入 SPHA 操作数,并设置合理权重,即可使轴向球差得到进一步改善。

(2) 用 EFFL 操作数控制有效焦距为 10 mm。

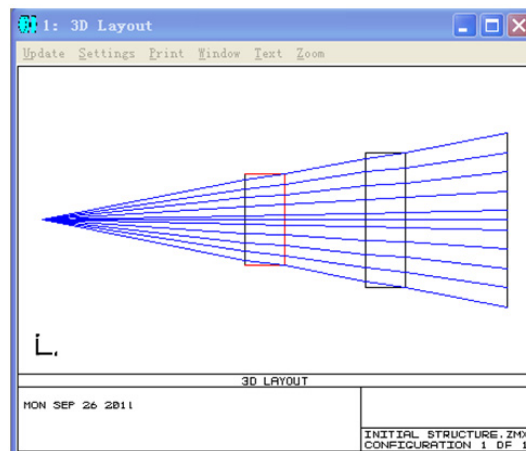


图 3 初始的 3D 光路结构

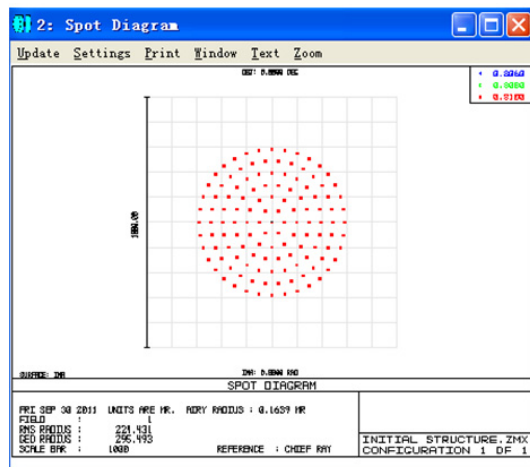


图 4 初始的点列图

3.2 高级像差的校正和像差平衡

Lens Data Editor					
Edit Solves View Help					
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Class
OBJ	Standard		Infinity	7.000000	
ST0	Standard		-159.747274	2.000000	BK7
2	Even Asphere		-7.490642	5.000000	
3	Standard		22.455088	2.000000	BK7
4	Standard		-62.891542	6.000000	
IMA	Standard		Infinity	-	
Semi-Diameter					
					0.000000
					2.988023
					3.290115
					4.123953
					4.157137
					4.157451

图 5 优化后的结构

图 6 和图 7 所示为设计结果 (有效焦距为 10 mm)。其中, 图 7 给出了发散角的大小。RMS 为主要的的评价标准: 发散角度为 0.032 mrad。GEO 为参考的评价标准: 发散角度为 0.062 mrad。

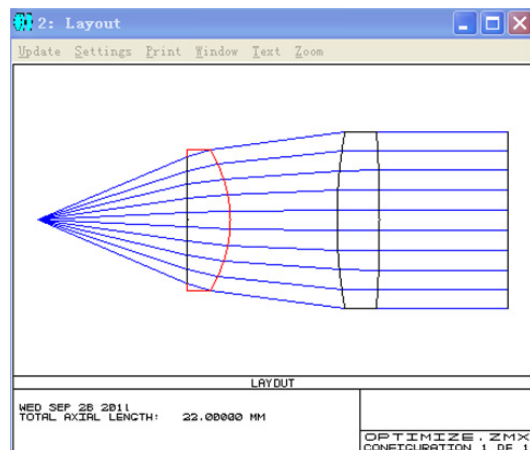


图 6 优化后的 3D 光路结构

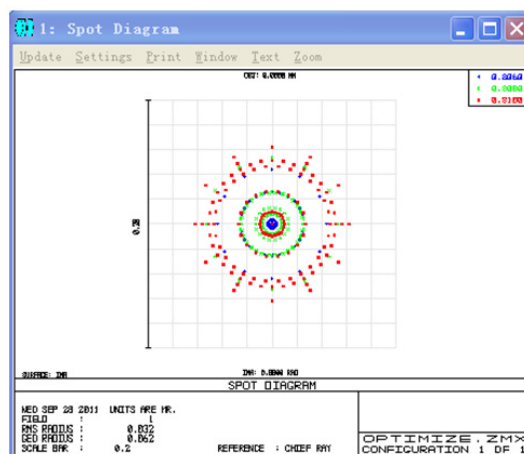


图 7 优化后的点列图

4 结论

本文先对高斯光束经过单透镜时的传输特性进行了理论分析, 得出了单透镜无法实现高斯光束较好准直的结论, 然后提出了一种采用非

球面的基于 ZEMAX 的半导体光源准直镜设计方案,并给出了设计与优化方法。我们设计的双片型 808 nm 半导体激光准直镜采用常用的 BK7 玻璃材料加工而成。在 ZEMAX 中使用合适的优化函数和权重对像差进行了校正。从 ZEMAX 的 layout 和 Spot Diagram 图中可以看出,通过采用非球面镜获得了发散角为 0.032 mrad 的较好准直效果。该设计使用的镜片数较少,结构简单,对半导体激光光源的应用具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 曹长庆,曾晓东. 半导体激光器光束质量评价方法探讨 [J]. *红外与毫米波学报*, 2011, **30**(3): 276-278.
- [2] Hülsewede R, Schulze H, Sebastian J, et al. High Reliable High-power AlGaAs/GaAs 808 nm Diode Laser Bars [C]. *SPIE*, 2007, **6456**: 645607.
- [3] 杨晔,刘云,秦莉,等. 808 nm 大功率半导体激光器阵列的优化设计 [J]. *强激光与粒子束*, 2011, **31**(1): 35-37.
- [4] 杨胜杰. 含高次塑料非球面的头盔微光夜视物镜设计 [J]. *电光与控制*, 2009, **29**(1): 80-83.
- [5] 邹英华,孙驹亨. *激光物理学* [M]. 北京:北京大学出版社, 1991.

新闻动态 News

美国纽约警察局研制可发现隐蔽武器的枪式红外扫描仪

据 www.nowpublic.com 网站报道,美国纽约警察局与美国国防部正在联合研制一种可探测隐蔽武器的被称为太赫兹图像探测的红外扫描仪。与警察以前用来查找隐藏武器的传统全身拍模方法相比,这种红外扫描仪的速度和使用要快得多和容易得多,而且安全得多。

在飞机场,红外技术已经被用于探测乘客衣服内的物体。

红外技术是如何工作的?

这种红外扫描仪将利用太赫兹波技术测量太赫兹辐射(也称太赫兹波)。如果该扫描仪被



图 1 纽约警察正在研制的一种能找到枪支的新型扫描仪

物体遮挡,它便能够显示出该物体的形状。目前这种扫描仪还只能探测 13 英尺的距离,但是警察们正在努力使该扫描仪的探测距离达到 80 英尺。

这种红外扫描仪是有争议的

目前这种红外扫描仪的使用是有争议的,而且还会因侵害隐私权而使许多人感到心烦。批评者们觉得这种扫描仪对于在大街上携带合法防身武器的人来说将是一种妨碍。

其他一些人则担心,美国警察和联邦调查局在纽约易于犯罪地区的工作都是偷偷进行的。如果警察看见他们带有隐蔽的枪支,他们便有可能暴露身份而使行动失败。

纽约警察局希望不久的将来一旦寻热装置可满足所有要求,他们就能在他们的警车上安装寻热装置。



图 2 这种新型枪式红外扫描仪可以发现隐蔽的武器

□ 高国龙