

ZEMAX 在多模光纤准直器设计中的应用

雷平顺^{1,2} 薛力芳² 何 军² 曾华林² 付跃刚¹ 周 燕^{2*}

(¹ 长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130021; ² 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要 利用 ZEMAX 软件进行多模光纤准直器的设计。在 ZEMAX 开发环境下建立多模光纤准直器光路系统的理论模型, 通过人工优化的方法, 设计并制作了可调焦的多模光纤准直器, 仿真结果与实际结果相一致, 证实了利用 ZEMAX 进行多模光纤准直器设计的可行性和准确性。利用所建立的模型, 分析了各种因素对光纤准直器耦合效率和准直度的影响。

关键词 光纤光学; 多模光纤; ZEMAX 软件; 耦合效率; 准直度

中图分类号 O437.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP48.010605

Design of Multi-Mode Fiber Collimator with ZEMAX

Lei Pingshun^{1,2} Xue Lifang² He Jun² Zeng Hualin² Fu Yuegang¹ Zhou Yan²

(¹ College of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130021, China)

² Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

Abstract A method to design multi-mode fiber collimator by using ZEMAX software is introduced. With the ZEMAX, the theoretical model of the optical system for the multi-mode fiber collimator was built. The zoomy multi-mode fiber collimator was designed and made with artificial optimization. Moreover the simulation results were consistent with the actual results, and confirmed that designing multi-mode fiber collimator is feasible and accurate by ZEMAX. With this model, all kinds of factors on the coupling efficiency and collimation degree of the multi-mode fiber collimator were analyzed.

Key words fiber optics; multi-mode fiber; ZEMAX software; coupling efficiency; collimation degree

OCIS codes 060.2320; 060.2330

1 引言

ZEMAX 是美国 Focus Software Inc 公司开发的光学设计和仿真分析软件, 具有强大的激光束传输仿真功能, 并提供了序列和非序列两种光线追迹模式^[1]。其中序列模式下可以使用物理光学传播来定义高斯光束; 非序列模式下有多种光源模型, 包括高斯光束、半导体高斯光束、椭圆高斯光束等。光纤准直器是一种光无源器件, 其作用是将光纤中出射的发散光束准直成平行光束, 或者将平行光束汇聚进入光纤中去, 以提高光纤系统的耦合效率^[2,3]。光纤准直器通常主要由准直系统和光纤两部分组成。光纤准直器根据光纤的不同可以分为单模光纤准直器和多模光纤准直器。其中, 多模光纤准直器由于其耦合效率高而被广泛应用在传能方面。

本文从实用的角度出发阐述 ZEMAX 在光无源器件-多模光纤准直器设计中的应用, 通过建模来验证 ZEMAX 在多模光纤准直器设计中的可行性。

2 建模

在 ZEMAX 软件中, 混合式非序列常常被用来仿真不易建立于序列性模式下的光学组件。从序列模式

收稿日期: 2010-06-22; **收到修改稿日期:** 2010-10-18

基金项目: 第二批中国博士后科学基金特别资助金(200902129)资助课题。

作者简介: 雷平顺(1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事外腔半导体激光器及光学设计方面的研究。

E-mail: leipingshun@semi.ac.cn

导师简介: 周 燕(1972-), 女, 副研究员, 主要从事光电成像和光电信号检测等方面的研究。

E-mail: zhouyan@semi.ac.cn(通信联系人)

出发,在混合式非序列下对光纤准直器进行仿真建模。在建模仿真之前,首先设计准直系统,采用偶次非球面单透镜作为准直系统。在 ZEMAX 中,偶次非球面可以表示为^[4]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)c^2r^2}} + \sum a_i r^{2i}, \quad (1)$$

式中 c 为顶点处的基本曲率, r 为垂直光轴方向的径向坐标, k 为二次曲面常数, a_i 为非球面系数。其中 $k < -1$ 为双曲面, $k = -1$ 为抛物面, $-1 < k < 0$ 为椭圆, $k = 0$ 为球面, $k > 1$ 为扁圆。

在非球面透镜的应用中,平面(或凸面)-双曲面透镜可以将无限远目标聚焦成无像差的光斑^[5]。利用这个特性,可以运用平面(或凸面)-双曲面透镜对半导体激光器的快轴进行准直,如图 1 所示。

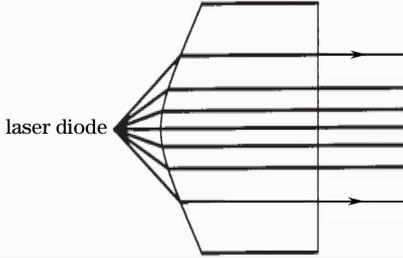


图 1 平面-双曲面准直器

Fig. 1 A plano hyperbolic collimator

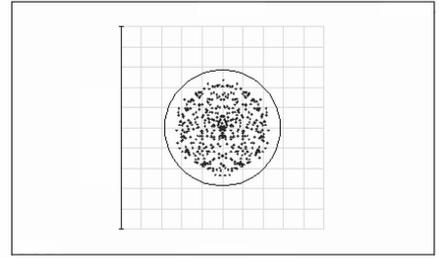


图 2 准直透镜的点列图

Fig. 2 Spot diagrams of the collimating lens

由于单件非球面透镜的加工成本非常昂贵,直接采用了 Thorlabs 公司的 C230TME-B 型非球面准直透镜(数值孔径为 0.55,焦距为 4.51)进行建模仿真。在序列模式下,输入透镜参数,中心波长选择 980 nm,优化函数选择 RMS+Wavefront,对透镜工作距离进行优化,优化后的参数如表 1 所示。由图 2 可以得出准直度为 0.158 mrad。

在准直系统确定之后,在表 1 中“STO”面前插入非序列组件(NSC),并在出口端口位置(Exit Loc Z)处设置端口位置大于光纤长度(否则 ZEMAX 程序将会出现错误信息)。在非序列组件编辑器(NSCE)中对芯径为 100 μm ,数值孔径为 0.37 的多模石英光纤进行仿真建模,结构参数如表 2 所示。

表 1 非球面准直透镜的结构参数

Table 1 Structure parameters of aspheric collimating lens

Surf. type	Radius /mm	Thickness /mm	Glass	Semi-diameter /mm	Conic	4th order term / 10^{-3}	6th order term / 10^{-4}	8th order term / 10^{-6}	10th order term / 10^{-6}
OBJ Standard	Infinity	2.849343		0					
STO* Standard	18.73	2.94	1.61,50.3	3.165000					
2 Even aspheric	-2.96	100		2.475000	-0.355236	1.328511	1.397455	3.768602	1.012969
IMA Standard	Infinity			1.863224					

表 2 多模光纤结构参数

Table 2 Structure parameters of the multi-fiber

Object type	Material	Front R /mm	Z Length /mm	Bank R /mm
1 Cylinder voloum	BAF2	0.25000	100.00000	0.25000
2 Cylinder voloum	F_SILTCA	0.05000	100.00000	0.05000

为了优化方便,在光纤与准直透镜之间加入一个标准面。在点列图的监控下,改变该标准面的厚度对光纤准直器的工作距离进行人工优化。达到最佳准直时,准直度为 6.256 mrad,点列图如图 3 所示。由于多模光纤的芯径较粗($d > 50 \mu\text{m}$),因此可以用几何光学计算模型来做近似分析^[6]。虽然这种分析没有波动理论那么严密,但却能够非常准确地提供描述连接损耗及各种影响因素的有用信息。在 ZEMAX 软件中,几何像分析(GIA)工具可以计算光学系统和多模光纤的耦合效率^[7,8]。计算出考虑菲涅尔衍射时的系统耦合效率,如图 4 所示,光纤准直器系统的耦合效率为 83.818%。

根据 ZEMAX 的仿真结果,制作了光纤芯径为 100 μm 的可调焦的多模光纤准直器,当准直器调到最佳位置时,准直度为 7 mrad,耦合效率为 75%,与 ZEMAX 的仿真结果非常接近。

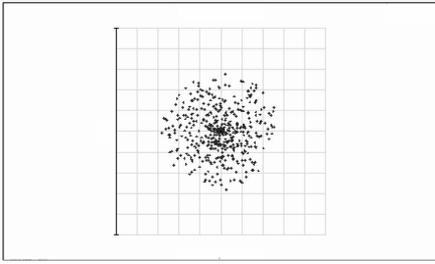


图3 多模光纤准直器的点列图

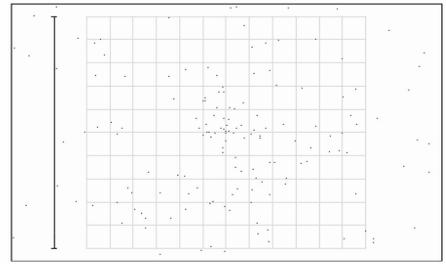


图4 多模光纤准直器的耦合效率

Fig. 3 Spot diagrams of the multi-fiber collimator

Fig. 4 Coupling efficiency of the multi-fiber collimator

3 光纤准直器光束质量的影响因素

3.1 光纤芯径大小对光纤准直器光束质量的影响

表3为用ZEMAX软件模拟的不同光纤时准直器的准直度及耦合效率,从表中可以看到系统的耦合效率随着光纤芯径的增大而增大,但当芯径增大到一定程度时,耦合效率不再随芯径的增大而显著变化。而准直器的准直度则随着光纤芯径的增大显著变差,从 $50\ \mu\text{m}$ 开始,芯径每增加1倍,准直器的准直度就变差1倍。单色相干光在经过多模光纤传输时,激发出大量的不同模式相互耦合,受模式选择性损耗等因素的影响,各导模之间存在着时延差,时延差小于单色光相干时间的那些模式间矢量相加,彼此干涉,其结果在光纤出射端面的辐射光场分布形成近似散斑光场^[9]。这种不均匀的光场分布严重影响了光纤准直器的准直度,并且光纤芯径越大,散斑越厉害,从而导致准直器的准直度越差。

表3 不同光纤芯径时准直器的准直度及耦合效率

Table 3 Collimation degree and coupling efficiency at different fiber core diameters

Fiber core diameter / μm	50	65	100	200	300	400	500	600
Collimation degree / mrad	3.315	4.161	6.256	12.92	19.776	26.176	33.313	39.54
Coupling efficiency / %	28.11	48.56	83.818	83.817	83.817	83.816	83.815	83.814

3.2 光纤与准直系统的对准误差对光纤准直器光束质量的影响

光纤与透镜耦合时,对准误差对系统的传输效率有着不容忽视的影响^[6,10]。对准误差中除了轴向偏离对准直器的耦合效率不太敏感外,径向偏离和角度倾斜都对准直器的耦合效率比较敏感。本文主要讨论对准误差对光束质量的影响。在ZEMAX的LDE中,定义一个坐标变换面,通过此面对系统对准误差进行模拟分析。

从图5可以看到,准直器的准直度随着轴、径向偏离距离的增大而显著恶化或趋向恶化。这样,不同距离处的光斑将发生不同程度的变形。图6为光斑变形后的点列图,可见系统像差比较严重。图7中可以看到角度倾斜不会对准直度产生影响,但从图8以看到,角度倾斜时光斑发生了倾斜变形。

从以上分析可知,对准误差不仅对准直器的耦合效率比较敏感,而且对光束质量的影响也比较大。因此,在光纤准直器的设计与制造过程中,一定要严格把握控制其对准精度,可以通过ZEMAX辅助设计作为参考。

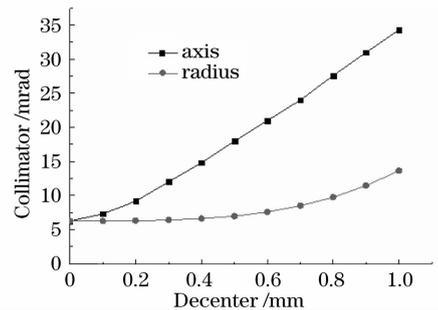


图5 轴、径向偏离不同时准直器的准直度
Fig. 5 Collimation degree of the collimator at different axis and radius decenters

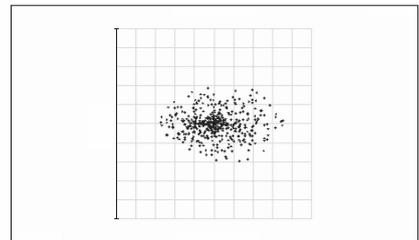


图6 光斑恶化后准直器的点列图
Fig. 6 Spot diagrams of the multi-mode fiber collimator after deterioration

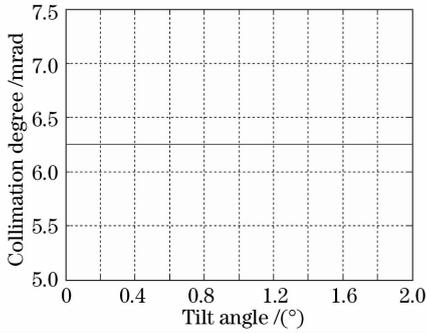


图7 不同角度倾斜时准直器的准直度

Fig. 7 Collimation degree of the collimator at different tilt angles

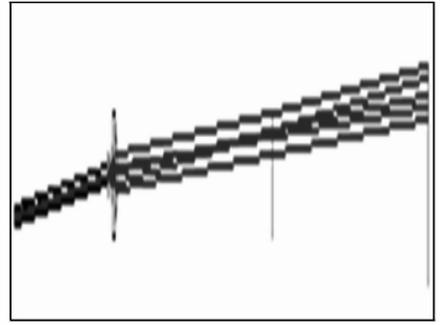


图8 光斑 3D 图形

Fig. 8 Three-dimensional layout of the spot

4 结 论

提出了基于 ZEMAX 设计多模光纤准直器的思想,对正在制作中的光纤准直器做了仿真分析,并把仿真结果与实验结果做了对比,发现仿真结果与实验结果非常接近,说明在混合非序列下仿真设计多模光纤准直器的可行性。利用光学仿真软件 ZEMAX 不仅可以对光纤准直器的工作距离进行优化,而且还可以直接读出光纤准直器的准直度及耦合效率。同时,结合非序列建模,还可以观察不同距离的光斑大小及能量分布。该方法对实际中多模光纤准直器的选择和制作都有重要的意义。

参 考 文 献

- ZEMAX Development Corporation. ZEMAX Optical Design Program User's Guide. [2009-06-09]. <http://www.zemax.com>
- Tan Jun, Jia Dagong, Bai Feng. Design of a new fiber collimating system[J]. *Jiangxi Science*, 2009, **27**(1):102~107
谭 军,贾大功,白 锋. 一种新型光纤准直器的设计[J]. *江西科学*, 2009, **27**(1): 102~107
- Yang Qun, Yi Youmin, Yu Qiang *et al.*. Studies on a new type of fiber collimator[J]. *J. Anhui University (Natural Science Edition)*, 2006, **30**(2): 59~63
杨 群,易佑民,俞 强 等. 一种新型光纤准直器的研究[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2006, **30**(2): 59~63
- Pan Junhua. The Design, Manufacture and Test of the Aspherical Optical Surfaces[M]. Suzhou: Suzhou University Press, 2004. 1~4
潘君骅. 光学非球面设计、加工与检验[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004. 1~4
- Robert E. Fischer. Optical System Design[M]. 2nd ed., New York: McGraw-Hill Companies, 2008. 123
- Liao Yanbiao. Fiber Optics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000. 101~110
廖延彪. 光纤光学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. 101~110
- Infotek. ZEMAX Learning Tips[M]. Shanghai: Infotek, 2005. 85~107
讯技光电科技. ZEMAX 学习秘笈[M]. 上海: 讯技光电科技, 2005. 85~107
- Wavelab Scientific. The Classic Example of ZEMAX[M]. Nanjing: Wavelab Scientific, 2009. 40
光研科学. ZEMAX 经典实例[M]. 南京: 光研科学, 2009. 40
- Hua Jialin. Speckle-fields emitted from multimode fiber-optic bundle and their applications[J]. *Chinese J. Lasers*, 1994, **A21**(6): 469~472
华家宁. 多模光纤束斑纹场及其应用[J]. *中国激光*, 1994, **A21**(6): 469~472
- Zhao Xinghai, Gao Yang. Effect of injection misalignment on multimode fiber power delivery characteristics[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(9): 1842~1846
赵兴海,高 杨. 激光注入误差对多模光纤传能特性影响分析[J]. *光子学报*, 2008, **37**(9): 1842~1846