

· 光学设计 ·

半导体激光器与光纤耦合的组合透镜系统设计

石科仁, 朱长青

(军械工程学院 车辆与电气工程系, 石家庄 050003)

摘要: 针对半导体激光器与光纤耦合效率低的问题, 结合半导体激光器出射光束的特性, 运用几何光学的方法对非球面透镜、柱面镜进行了理论设计, 使用ZEMAX软件对透镜系统进行了仿真验证, 为下一步制作透镜模块实物与实验验证工作提供了支持。

关键词: 半导体激光器; 透镜系统; ZEMAX; 几何光学

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2016)-03-0017-03

Design of Composite Lens System for Coupling between Semiconductor Laser and Optical Fiber

SHI Ke-ren, ZHU Chang-qing

(Department of Vehicle and Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: According to the problem of low efficiency of coupling between semiconductor laser and optical fiber, combining with the characteristics of the outgoing beam of the semiconductor laser, geometrical optics method is used to design aspheric and cylindrical lens. ZEMAX software is used to carry on the simulation about the lens system. And the simulation results provide support for lens module fabrication and experimental verification.

Key words: semiconductor laser; lens system; ZEMAX; geometric optics

半导体激光器以其体积小、效率高、易于集成、电光转换效率高等显著优点^[1], 广泛用于光通信领域。其与单模光纤的耦合模块可以作为光通信系统的集成光源, 这就要求模块稳定并且高效, 因而对二者的耦合效率提出了更高的要求。但是由于半导体激光器自身的量子阱波导结构的限制, 其出射光束中子午(快轴)与弧矢(慢轴)方向的发散角之间存在严重的不对称现象, 再加上激光器固有像散的限制, 对其耦合效率影响很大^[2]。国内大部分研究局限于理论推导与实验室研究阶段, 耦合模块的稳定性、安全性存在短板, 光能损耗严重, 耦合效率低是急待解决的问题^[3-4]。基于此, 采用非球面透镜-柱透镜-球面透镜的组合透镜系统, 对半导体激

光器的出射光束进行准直与聚焦, 实现与单模光纤的高效耦合。

1 非球面准直透镜的设计

采用OSRAM公司的型号为SPL LL90_2的半导体激光器, 查阅相关资料得知, 其弧矢方向的发散角为 $\theta_1=10^\circ$, 子午方向的发散角为 $\theta_2=30^\circ$, 整个激光器的峰值功率为50 W。由于非球面在空间上每一点具有不同的曲率, 可以有效地消除各种像差, 减少光能的损失, 极大地改善半导体激光器的光束质量, 从而提高半导体激光器的光能利用率以及耦合效率^[5]。结合SPL LL90_2型半导体激光器发散角的

特点,运用非球面透镜进行光束的准直。

建立如图1所示的直角坐标系。 K 点为激光器光束的发射点,发散半角为 α ,在非球面镜的平面一侧点 A 处发生折射,入射角为 $\alpha_1=\alpha$,折射角为 α_2 ,在点 B 经过椭圆非球面的第二次折射入射角为 α_3 ,折射角为 α_4 ,最后得到的近似平行光束的半角为 β 。在图1中,椭圆弧线的标准方程为: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, O 为坐标中心,透镜折射率为 n ,由菲涅尔定律有

$$\sin\alpha = n\sin\alpha_2 \quad n\sin\alpha_3 = \sin\alpha_4 \quad \alpha_3 = \theta - \alpha_2 \quad (1)$$

设直线 AB 的方程为

$$x\tan\alpha_2 + L\tan\alpha - (\alpha - t)\tan\alpha_2 - y = 0 \quad (2)$$

又点 B 在椭圆上,满足椭圆弧线方程,联立就可求得点 B 的坐标为

$$x_b = \frac{1}{b^2 + (a\tan\alpha_2)^2} (a \cdot b \sqrt{b^2 + (a\tan\alpha_2)^2 + d^2} - a^2 \tan\alpha_2) \quad (3)$$

$$y_b = x_b \tan\alpha_2 + d \quad d = L\tan\alpha_2 - (a-t)\tan\alpha_2 \quad (4)$$

根据 B 点处的切线斜率可以得到下式

$$\tan\theta = \frac{a \sqrt{1 - \frac{y_b^2}{b^2}}}{b x_b} \quad (5)$$

$$\text{最后得到光束发散半角为 } \beta = \theta - \alpha_4 \quad (6)$$

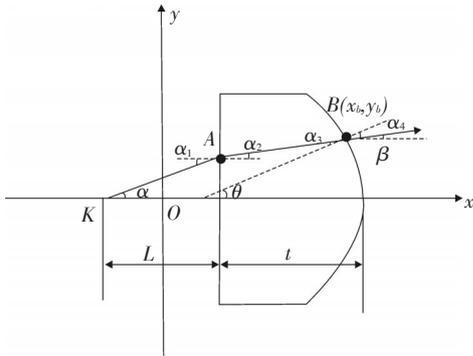


图1 非球面透镜准直原理

2 柱透镜设计

根据半导体激光器的光束理论可知,光束数值孔径在子午方向远小于发散角,而在弧矢方向上此种情况并不存在,因而只需要对半导体激光器的快轴进行发散角的压缩,来满足激光系统的要求。首先采用几何光学的方法设计柱透镜用于快轴的压缩,然后用计算机模拟的方法进行校正与优化。柱透镜包括两种不同的形式:圆形截面与 D 形截面,采用的是 D 形截面的柱透镜。

图2所示的是普通球面透镜的光路图。

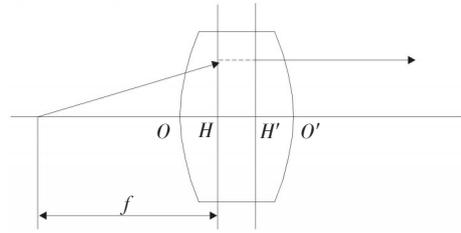


图2 普通球面透镜示意图

其几何关系表示如下。

$$f = \frac{nr_1r_2}{(n-1)[n(r_2-r_1) + (n-1)d]}$$

$$L1 = \frac{-dr_1}{n(r_2-r_1) + (n-1)d}$$

$$L2 = \frac{-dr_2}{n(r_2-r_1) + (n-1)d} \quad (7)$$

其中, f 为透镜焦距; n 为透镜折射率; r_1 为透镜第一个表面的曲率半径; r_2 为透镜第二个表面的曲率半径; $L1$ 为物方主平面的位置; $L2$ 为像方主平面的位置; d 为透镜厚度。

对于文中的 D 形截面柱透镜,设其截面为 $r, r_1 = \infty, r_2 = -r$,代入式(7)得到

$$f = \frac{r}{n-1} \quad L1 = \frac{d}{n} \quad L2 = 0 \quad (8)$$

3 ZEMAX设计与仿真

根据第1节、第2节的计算结果,运用ZEMAX软件进行仿真模拟,具体的模拟过程如图3所示。

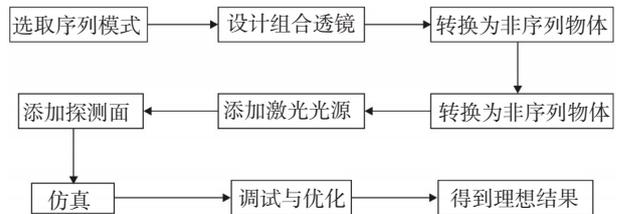


图3 ZEMAX仿真流程图

参数设置如下:波长808 nm,半导体激光器选用ZEMAX中的Source Diode,为了模拟方便,将光源的总能量设置为1 W,像散值设置为 $6 \mu\text{m}$, x (慢轴)方向的发散角为 10° , y (快轴)方向的发散角为 30° ,透镜材料选用K9玻璃,将第1节、第2节的计算参数输入ZEMAX软件的序列模式中,得到透镜系

统的初始结构,接着进行调试与优化,得到满意结果。耦合透镜系统的最终三维视图如图4所示。

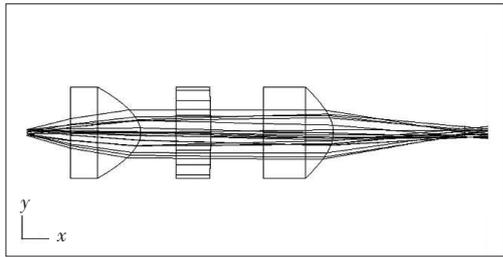
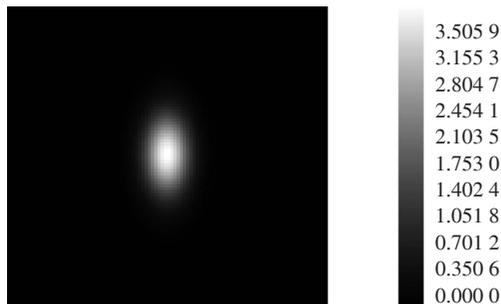


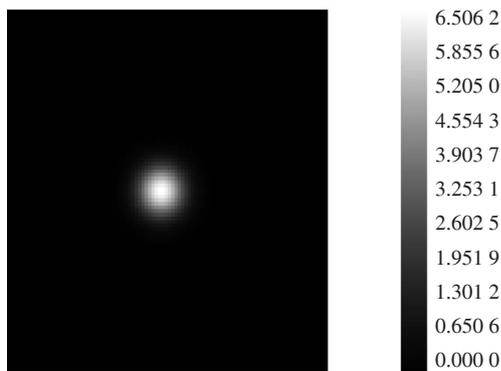
图4 透镜系统的三维视图

图5所示的为半导体激光器未经过透镜系统时的探测面上的光斑图,经过所设计的透镜系统以后,探测面上的光斑图如图6所示。



总能量 1 W

图5 经过透镜系统前光源光斑



总能量 0.61 W

图6 透镜优化后的系统光斑

从图4可以看出,非球面透镜的准直效果良好;从图6与图5的对比效果可以看出,经过透镜系统后,半导体激光器出射光束由原来的椭圆形光斑变为优化后的近似圆形光斑,说明了压缩后快轴方向与慢轴方向的发散角基本一致,也进一步证明了柱

透镜对快轴进行压缩的可行性;探测面上的能量为0.61 W,说明透镜耦合系统的耦合效率为61%,也基本达到了实际的需要;另外,从图6可以看出,经过准直并且聚焦以后,光能分布更加集中,光斑尺寸明显小于耦合之前,这也符合单模光纤的纤芯直径(10~15 μm)的要求。

4 结 论

针对半导体激光器与光纤耦合效率低、光能损失严重的问题,结合半导体激光器实物的出射光束特性,运用几何光学的方法分别对非球面透镜、柱透镜进行了设计,并利用ZEMAX仿真软件对设计的透镜系统进行仿真验证。结果显示,非球面透镜的准直效果良好,柱透镜压缩后光束的子午方向与弧矢方向的发散角几近相同,而且光斑尺寸也远小于耦合前,满足了单模光纤的芯径要求;仿真探测面上的光能量为0.61 W,耦合效率由原来的50%以下提升为了61%。对耦合系统进行了理论分析与仿真验证,接下来的工作是根据设计制作成透镜耦合模块,结合半导体激光器实物进行实验验证。

参考文献

- [1] 周旻超,江先锋,张丽芳,等.大功率半导体激光器叠阵的光学性能[J].中国激光,2013(12):14-17.
- [2] 王德,李学千.半导体激光器的最新进展及其应用现状[J].光学精密工程,2001(3):279-283.
- [3] 王启明.中国半导体激光器的历次突破与发展[J].中国激光,2010,37(9):2190-2197.
- [4] 王火雷,孔亮,潘教育,等.半导体锁模激光器的最新研究进展[J].激光与光电子学进展,2013(5):14-27.
- [5] 丁志中.非球面液滴透镜的制作及其在半导体激光器准直中的应用[D].合肥:中国科学技术大学,2009.
- [6] 田秀芳.光波在左手材料中的菲涅尔公式和布儒斯特定律[J].光子学报,2006,35(7):1103-1106.
- [7] 曾小东,穆美丽.半导体激光器光束远场特性研究[J].光学学报,1997(8):1086-1088.
- [8] 崔兆云,曾晓东,安毓英.LD光场柱透镜准直技术研究[J].激光杂志,2003,24(4):14-15.
- [9] 顾兴志,邹建,饶程.半导体激光器与光纤耦合系统的研究[J].压电与声光,2005,27(3):222-224.
- [10] 邓元龙,姚建铨,阮双琛,等.光纤激光器透镜耦合系统的优化设计[J].激光杂志,2005,26(5):42-43.