

自聚焦光纤对半导体激光束的准直研究*

王世华 周肇飞 迟桂纯
(四川联合大学测控系, 成都, 610065)

摘要: 介绍了一种新颖的利用自聚焦光纤对半导体激光束的准直技术。该方法结构简单、调整方便。实验研究表明其可使大发散角的半导体激光束压缩到 0.01° 的数量级, 适合作为半导体激光器的准直元件而运用于精密测试领域。

关键词: 自聚焦光纤 半导体激光器 准直

Research on collimation technique of semiconductor laser with auto-focus optical fiber

Wang Shihua, Zhou Zhaofei, Chi Guichun
(Sichuan Union University, Chengdu, 610065)

Abstract: This paper described the novel collimation technique of semiconductor laser with auto-focus optical fiber. The structure is simple and easy to adjust. The experimental research shows that larger divergent angle of semiconductor laser is turned to 0.01° level. So, auto-focus optical fiber for collimation of semiconductor laser is suitable to apply in the field of precision measurement.

Key words: auto-focus optical fiber semiconductor laser collimation

引 言

半导体激光器作为一种新型的光源, 具有体积小、寿命长、光功率高和容易进行功率幅值调制和频率调谐等优点, 逐步地进入机械测试领域, 并在一定程度上具有取代气体 He-Ne 激光器的趋势。激光器均以发散角小而显著区别于其它光源。但是半导体激光器的方向性比普通气体和固体激光器要差得多, 由于其管芯 P-N 结的结构特点^[1], 即在垂直于结方向激活层厚度狭窄, 衍射作用更强, 与结层平行的方向, 激活层宽度较大, 衍射作用较小, 这样使得半导体激光束光斑形状为椭圆对称, 一个方向的最大发散角典型值约为 40° , 与其垂直的方向约为

* 成都科技大学青年科学研究基金资助。

参 考 文 献

- 1 陈清明, 周凤晴, 李晓平 *et al.* 激光技术, 1995; 19(5): 261
- 2 Li J, Chen Q M. J Phys D: Appl Phys, 1993; 26: 1541~ 1544
- 3 Xu Q H, Chen Q M, Li J. J Phys D: Appl Phys, 1994; 27: 795~ 800
- 4 马祖光主编. 激光实验方法. 上海: 上海科学技术出版社, 1987
- 5 夏祖勇. 千瓦级横流连续 CO₂ 激光器无氢运行特性研究. 华中理工大学硕士研究生毕业论文, 1985: SYL 82. 8

作者简介: 卢 宏, 男, 1965 年 3 月出生。硕士, 讲师。现从事新型气体激光器件的研究工作。

10°, 显然这么大发散角的光束是不能直接利用的, 必须有效地压缩半导体激光束的发散角。

对于半导体激光束的发散角压缩即准直的研究, 日本的科研人员采用组合透镜作为准直系统^[2], 所用透镜焦距都在 2mm 以下, 这样的焦距对透镜的加工要求高, 系统的成本也昂贵, 此外, 透镜组的装调也要求很精细。国内一些学者采用单透镜准直, 然后用光阑来控制光斑直径大小或用棱镜组对椭圆光斑整形^[3], 它们的不足之处在于透镜焦距不可能很小, 通光孔径大, 一方面准直程度低, 另一方面光阑的采用会降低激光功率的利用率。

自聚焦光纤具有体积小(长约 10mm, Ø2mm)、成本低、光能利用率高、准直效果好的特点, 我们对其准直技术从理论和实验两个方面进行研究。

一、工 作 原 理

光纤按折射率分布的差异分为阶跃折射率型和梯度折射率型两类, 其中只有梯度型折射率光纤才具有自聚焦作用, 此类光纤的折射率分布如图 1 所示, 可见梯度型光纤中纤芯的折射率从光轴开始沿径向大致按抛物线规律分布而逐渐减小, 基于几何光学中全反射定律, 光在纤芯中传播会自动地从折射率较小的界面向光轴会聚。如图 2 所示, 假设纤芯是由许多不同折射率的薄层组成, 薄层的厚度趋于零, 同时薄层层数趋于无穷, 在子午面 roz 平面内, 光线在各分界面的折射角分别为 $I_0, I_1, I_2, \dots, I_r, \dots$, 在每一分界面处, 光线都满足折射定律, 即有:

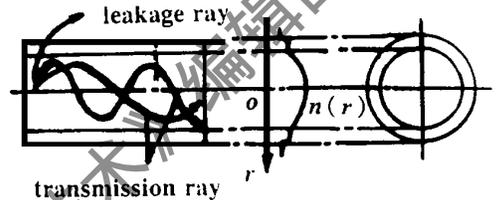


Fig. 1 The refractive index distribution of auto-focus optical fiber

图 2 中 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r, \dots$ 均是各折射角相应的余角即光线与 z 轴的夹角, 则(1)式变为:

$$n(0) \cos \alpha_0 = n(1) \cos \alpha_1 = n(2) \cos \alpha_2 = \dots = n(r) \cos \alpha_r = \dots = \text{常数} \quad (2)$$

$$\text{由(2)式显然有: } n(r) \cos \alpha = n(0) \cos \alpha_0 \quad (3)$$

可见折射率沿 r 方向连续变化, 光线轨迹为连续变化的曲线, 且位于子午面 roz 平面内。取光线的一微小线段元 ds , 如图 3 所示, 则有:

$$(ds)^2 = (dr)^2 + (dz)^2 \quad (4)$$

$$\cos \alpha = dz/ds \quad (5)$$

由(3), (4), (5)式可得:

$$(dr/dz)^2 = n^2(r)/[n^2(0) \cos^2 \alpha_0] - 1 \quad (6)$$

对(6)式两边求 z 的微商有:

$$d^2r/d^2z = n^2(r)/[n^2(0) \cos^2 \alpha_0] \cdot [d^2n(r)/dr] \quad (7)$$

$$\text{梯度型折射率光纤沿径向的分布函数可表示为}^{[4]}: n^2(r) = n^2(0)(1 - g^2r^2) \quad (8)$$

式中, g 称为折射率分布常数, 且 $g \ll 1$ 。

$$\text{将(8)式代入(7)式得到: } (d^2r/d^2z) + (g^2/\cos^2 \alpha_0) \cdot r = 0 \quad (9)$$

$$\text{求解(9)式可得光线轨迹方程: } r(z) = r_{\max} \sin[(g/\cos \alpha_0) \cdot z + \Phi_0] \quad (10)$$

式中, r_{\max} 和 Φ_0 由原点 o 处光线的入射方向 α_0 和该光线在 $z = 0$ 平面内的坐标 r 来确定。从

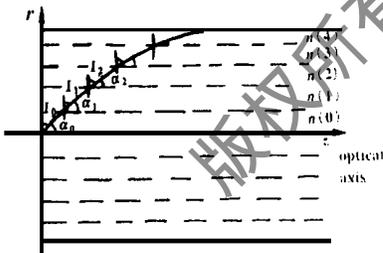


Fig. 2 Analysis of the ray tracing of auto-focus optical fiber

(10) 式可知光线轨迹为一族以 z 轴为对称轴的正弦曲线, 空间周期长度如下:

$$L = 2\pi \cdot (\cos\alpha_0/g) \tag{11}$$

即正弦曲线的周期长度 L 和光线初使入射方向角 α_0 有关。对数值孔径 $NA = 0.2$ 的自聚焦光纤, $\theta_0 \approx 11.54^\circ$

$$\therefore \cos\alpha_0 = \cos(\theta_0/2) = \cos(11.54^\circ/2) = 0.99 \approx 1$$

即对于一定角度范围内的光线, 各光线有近似相等的空间周期长度

为:
$$L = 2\pi/g \tag{12}$$

由此光线在光纤中的传播轨迹如图 4 所示。

可见自聚焦光纤长度取为 $L/4$ 或 $L/4$ 的奇数倍时, 在光截面 $G-C$ 处, 各条光线均应按各自正弦曲线的切线方向传播, 显然各切线方向平行于 z 轴, 这样自聚焦光纤就起到对光束准直的作用。

二、实 验

图 5 所示为利用自聚焦光纤对半导体激光束进行发散角压缩准直的实验布局图。调整半导体激光器和自聚焦光纤为同轴, 并微调半导体激光器发光面与自聚焦光纤入光面的距离 a , 实验数据如附表所示。

Table The divergent angle of collimated laser through testing the diameter of laser at different position

S (mm)	D (mm)	D' (mm)	2θ ($^\circ$)
60	1.50	1.55	0.04
120	1.50	1.61	0.06
180	1.50	1.65	0.04
			average value: 0.05

可知经光纤准直后, 半导体激光束的发散角 2θ 为 0.01° 的数量级。

三、结 论

利用折射率成梯度变化的自聚焦光纤对大发散角的半导体激光束准直, 结构简单、体积小, 准直后激光束发散角为 0.01° 数量级, 满足精密测试领域中诸如光散射法测表面粗糙度、光三角法测位移对光源的要求。若采用数值孔径更高的自准直光纤, 以及利用倒置望远镜进一步扩束准直, 半导体激光器在大距离干涉测量领域有很大的运用潜力。

参 考 文 献

- 1 杨经国, 冉瑞江, 杜定旭 *et al.* 光电子技术. 成都: 四川大学出版社, 1990: 103~ 108
- 2 陈海清译. 激光技术. 1988; 12(3): 55~ 56
- 3 马树元, 梁晋文, 章恩耀. 计量学报. 1993; 14(3): 172~ 176, 182
- 4 李景镇, 苏世学, 赵俊民 *et al.* 光学手册. 西安: 陕西科学技术出版社. 1985: 686~ 693

作者简介: 王世华, 男, 1965 年 10 月出生。博士, 副教授。主要从事激光在精密测试控制领域的研究工作。

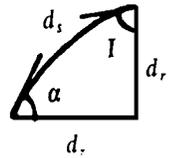


Fig. 3 Micro-ray in the meridional plane

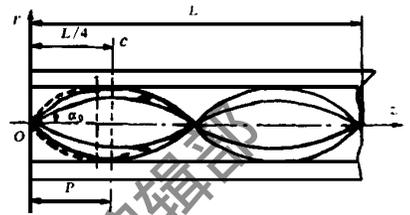


Fig. 4 The trajectory of ray with different incident angle in auto-focus optical fiber

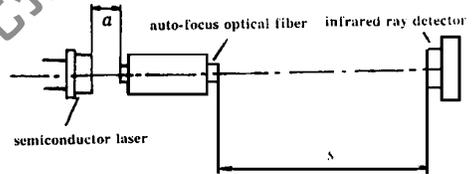


Fig. 5 The experimental set up of collimation for laser diode with auto-focus optical fiber