

文章编号:1001-5078(2007)02-0127-03

光子晶体光纤出射光的相干现象

赵兴涛, 侯蓝田, 魏红彦, 刘兆伦, 王伟, 马景瑞
(燕山大学红外光纤与传感研究所, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:测量了光子晶体光纤的模场分布,得到了出射光的干涉条纹及其光强分布,并进行了理论分析,试验与理论分析的结果具有较好的一致性。提出了利用光子晶体光纤结构的高度可调性,使多束输出光进行相干加强,为多芯或集束式光子晶体光纤在大功率激光器、放大器及传能光纤方面的应用提供了基础。

关键词:光子晶体光纤;模场;干涉;能量传输

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

Optic Coherence Phenomena from Photonic Crystal Fibers

ZHAO Xing-tao, HOU Lan-tian, WEI Hong-yan, LIU Zhao-lun, WANG Wei, MA Jing-rui
(Infrared Optical Fibers and Sensors Institute of Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The mode field distributing of photonic crystal fiber is measured, the coherence stripe of the beam from photonic crystal fiber is obtained, which is also analyzed in theory, the result of experimentation are closely matched with those of theory. the coherence reinforcement of several bunch light using adjustable structure of photonic crystal fiber are proposed, these are basic for the application of multi-core or multi-bunch photonic crystal fiber in high-power laser, amplifier and transmitting energy fiber.

Key words: photonic crystal fiber; mode field; interference; energy transmitting

1 引言

光子晶体光纤(photonic crystal fiber, PCF)由沿轴向规则地排列着空气孔的石英阵列构成了光纤的包层,而纤芯是由一个破坏了包层结构周期性的缺陷构成的^[1-2]。由于其结构设计的特殊性和高度可调性,使其具有了许多比传统光纤更优越的特性,如奇异的色散特性、无休止的单模特性、超大尺寸的模场面积单模、高非线性、高双折射、大的数值孔径等^[3-7]。由于它的这些特性,人们研究出了基于PCF的各种光学装置,如零色散光纤、基于PCF的模耦合装置等,其在通信、传感、激光器等领域都有很大应用前景^[8-9]。这里我们分析了PCF输出光的相干现象,它在大功率激光器、放大器及传能光纤^[10]方面具有重要应用。

2 试验测量

图1为我们拉制的实芯PCF的端面图,白色发

亮的区域为石英,黑色圆斑为空气孔。它的纤芯半径为 $3.69\mu\text{m}$,空气孔间距为 $3.36\mu\text{m}$,空气孔直径为 $2.41\mu\text{m}$ 。试验中选取的光纤长度为2m。

图2为测量PCF模场分布的试验装置,氦氖激光器的输出功率为5mW,工作波长是632.8nm。He-Ne激光经透镜耦合进PCF,用显微镜观察到的PCF出射光模场显示在计算机上,如图3所示,为光纤的高阶模。在光纤端面加了一些反射光,所以能看到光纤的端面结构。它与理论计算^[11]的在空气填充率较大时的高阶模场分布(如图4所示)相似。增大显微镜与光纤端面的距离,可得到光纤中高阶模输出光的不同部分相互干涉的强度分布(如图5

基金项目:国家高技术研究发展计划(2003AA311010);国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB314905)。

作者简介:赵兴涛(1981-),男,硕士,主要研究方向为光子晶体光纤的参数测量与研究。E-mail: zxt-81@sohu.com

收稿日期:2006-08-25

所示)。它是由明暗交替的条纹组成,且条纹间隔相等。

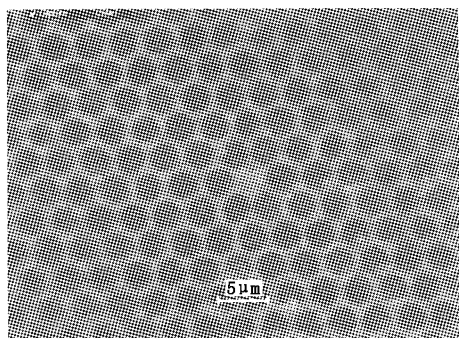


图1 全内反射型 PCF

Fig.1 total internal reflection PCF made in Yanshan University

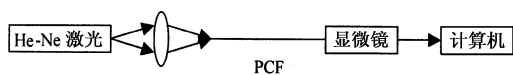


图2 PCF 模场测量装置示意图

Fig.2 sketch map of the device in mode measurement

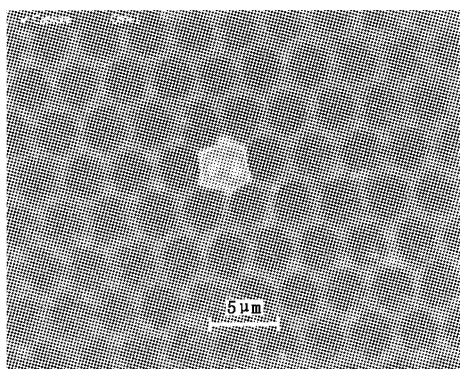


图3 PCF 的模场

Fig.3 the mode of PCF

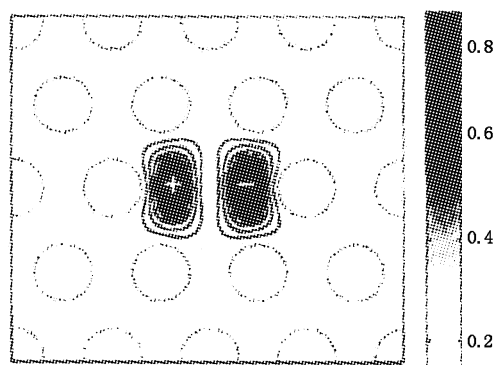


图4 计算得到的 PCF 的模场

Fig.4 mode of PCF in theory

我们又利用 CCD(如图6所示)测量了在距离光纤出射端面一定距离的光强分布(如图7所示),横轴为 CCD 的相元分布,纵轴为各相元的光强值,与图5的光强分布具有很好的一致性。

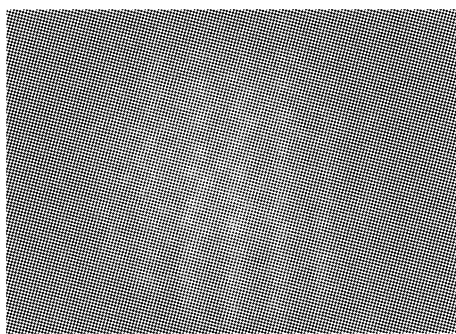


图5 PCF 模场的远场的分布

Fig.5 the mode distributing of PCF from far field



图6 PCF 远场光强分布测量的示意图

Fig.6 sketch map in the measurement of light density distribution of PCF from far field

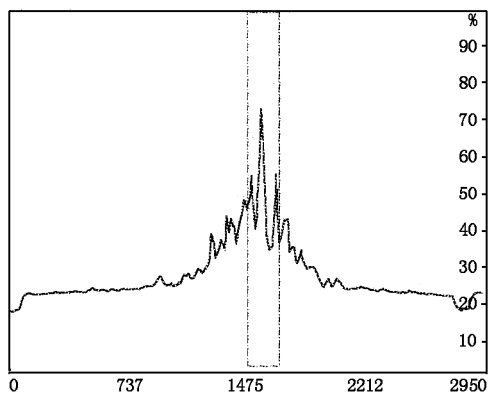


图7 PCF 远场光强分布

Fig.7 light density distribution of PCF from far field

3 理论分析

根据有效折射率方法的计算,当 $d/\Lambda < 0.4$ 时,PCF 可以表现出无休止的单模特性。试验中使用的 PCF 的空气填充率较大, $d/\Lambda = 0.717$,通过计算得到它传输的模式为高阶模。与图3的试验结果一致。

我们使用的光源 He-Ne 激光器是单波长输出的相干光源,从图3的 PCF 模场图可以看出 PCF 出射光的模场呈两条状分布,满足频率相同、振动方向相同、相位差恒定的干涉条件。所以,用干涉理论对出射条纹进行分析,根据干涉条纹光强最大值满足条件:

$$d \sin \theta \approx d \frac{y}{r_0} = j \lambda \quad (1)$$

或

$$y = j \frac{r_0}{d} \lambda \quad j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

其中, y 为干涉条纹光强最大值之间的距离; r_0 为出射光到探测器的距离; d 为两出射光之间的距离; λ 为光波长。在远场强度分布测量的试验中, Hi - Ne 激光的波长为 $0.6328\mu\text{m}$, 光纤端面到 CCD 的距离 $r_0 = 3000\mu\text{m}$, PCF 高阶模两条亮斑(如图 3 所示)之间的距离 $d = 2.18\mu\text{m}$, 解得亮条纹之间的距离 $\Delta y = 851.57\mu\text{m}$, 与试验测得的条纹间距 $869\mu\text{m}$ 具有较好的一致性。

另外, 图 5 和图 7 的光强分布与双缝干涉的光强分布(如图 8 所示)具有相似性, 但还有一些差异, 分布并不完美, 主要是由于芯的不完全对称和包层光的影响。

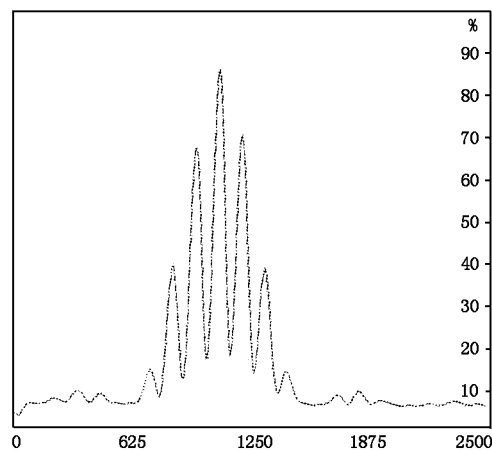


图 8 双缝干涉试验的光强分布

Fig. 8 light density distribution in the dual-slit interference experiment

双缝干涉中亮条纹的强度为:

$$I = 4A^2 \cos^2\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right) \quad (3)$$

其中, A 为入射光的振幅; α_1, α_2 为两输入光的相位。两束光进行干涉得到的强度是入射光的 4 倍。而当用 n 束入射光进行干涉时, 得到的干涉强度是入射光的 2^n 倍。由于 PCF 结构和大小的高度可调性, 我们可以制作出多芯或集束式光纤(相同结构或不同结构的多根尺度较大的光纤组合在一起进行二次拉制得到的光纤), 进行多束输出光的干涉以得到高功率的光输出。这对于 PCF 在大功率激光器、放大器的制作和光的能量传输方面的研究与应用具有重要意义。另外, 光子晶体的导光机制是由于 PCF 的多极散射的干涉作用满足布拉格条件^[2], 所以本文对 PCF 的导光机制的研究也有一定的参考价值。

4 结 论

我们测量了光子晶体光纤的高阶模的模场分

布, 得到了出射光的干涉条纹及光强分布, 并进行了理论分析, 试验与理论结果具有较好的一致性。进一步提出了 PCF 中多束光干涉的光强迭加效应, 对于光子晶体光纤在大功率激光器、放大器及传能光纤方面的应用具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] J C Knight, T A Birks, P St J Russell, et al. All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding [J]. Opt. Lett., 1996, 21 (19): 1547 - 1549.
- [2] R F Cregan, B J Mangan, J C Knight, et al. Single-mode photonic band gap guidance of light in air [J]. Science, 1999, 285 (5433): 1537 - 1539.
- [3] A Ortigosa-Blanch, J C Knight, W J Wadsworth, et al. Highly birefringent photonic crystal fibers [J]. Opt. Lett., 2000, 25 (18): 1325 - 1327.
- [4] J C Knight, J Arriaga, T A Birks, et al. Anomalous dispersion in photonic crystal fiber [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 2000, 12 (7): 807 - 809.
- [5] T A Birks, J C Knight, P St J Russell, et al. Endlessly single-mode photonic crystal fibre [J]. Opt. Lett., 1997, 22 (13): 961 - 963.
- [6] LI Shu-guang, LIU Xiao-dong, HOU Lan-tian, et al. The study of waveguide mode and dispersion property in photonic crystal fibres [J]. Acta Phys. Sin., 2003, 52 (11): 2811 - 2817 (in Chinese).
- [7] LIU Zhao-lun, LIU Xiao-dong, NI Zheng-Hua, et al. Research on high nonlinearity and flattened dispersion of photonic crystal fibers [J]. Laser and infrared, 2006, 36 (1): 47 - 50 (in Chinese).
- [8] J K Sahu, C C Renaud, K Furusawa, et al. Jacketed air-clad cladding pumped ytterbium-doped fibre laser with wide tuning range [J]. Electron. Lett., 2001, 37 (6): 1116 - 1117.
- [9] B J Eggleton, C Kerbage, P S Westbrook, et al. Micro-structured optical fiber devices [J]. Optics Express, 2001, 9 (13): 698 - 712.
- [10] ZHOU Gui-yao, HOU Zhi-yun, HOU Lan-tian. Experimental research on multi-bunch hollow transmitting laser energy fibers for high power laser [J]. J. of Optoelectronics · Laser, 2004, 15 (5): 1240 - 1243 (in Chinese).
- [11] REN Guo-bin, WANG Zhi, LOU Shu-qin, et al. Mode classification and degeneracy in photonic crystal fibers [J]. Optics Express, 2003, 11 (11): 1310 - 1321.