

·激光技术·

七芯光纤光束质量的研究

巩玲仙,付建梅,田竹梅,王爱珍,任国凤

(忻州师范学院 电子系,山西 忻州 034000)

摘要:用COMSOL对七芯光纤的各个模场进行仿真,发现同相位超模的远场呈现准高斯分布,其发散角最小,具有最好的光束质量。并通过分析各个模式的光束质量因子 M^2 和桶中功率PIB两个参数,再次证明同相位模式具有最好的光束质量。

关键词:七芯光纤;光束质量;同相位模式;桶中功率; M^2

中图分类号:TN929.11

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-03-0033-04

Research on Beam Quality of 7-core Optical Fiber

GONG Ling-xian, FU Jian-mei, TIAN Zhu-mei, WANG Ai-zhen, REN Guo-feng

(Xinzhou Teachers University, Xinzhou 034000, China)

Abstract: The mode field distributions of 7-core optical fiber are simulated by using COMSOL software. It is found that far field with in-phase mode presents quasi-Gauss distribution, which has small divergence angle and the best beam quality. In-phase mode with the best beam quality is proved through analyzing beam quality factor M^2 and power-in-bucket (PIB).

Key words: 7-core optical fiber; beam quality; in-phase mode; power-in-bucket (PIB); M^2

多芯光纤与传统的单芯光纤相比有着更大的模场有效面积^[1-3],在激光器的设计中,增大的模场面积能够提高多芯光纤激光器的输出功率。因此近年来多芯光纤的研究受到关注,且分析其光束质量有着重要意义,高质量的光束有助于提高多芯光纤激光器的输出功率。

1 原理分析

1.1 光束质量因子 M^2

光束质量因子 M^2 ^[4] 定义为

$$M^2 = \frac{\text{实际光束的束腰半径} \times \text{相应远场发射角}}{\text{基膜高斯光束的束腰半径} \times \text{相应远场发射角}} \quad (1)$$

光束的束腰半径可定义为

$$\omega(z) = \frac{2}{P(z)} \iint_{\infty} I(x, y, z)(x^2 + y^2) dx dy \quad (2)$$

其中

$$I(x, y, z) = |\varphi(x, y, z)|^2 \quad (3)$$

为传统光场光强定义如下

$$P(z) = \iint_{\infty} I(x, y, z) dx dy \quad (4)$$

其中, P 为 Z 处横截面上光束的总功率。

光束的发散角定义为

$$\theta = \frac{\sqrt{\omega^2(z) - \omega_0^2}}{z} \quad (5)$$

式(5)是由光束传输方程^[5]推导而来,其中 $\omega(z)$ 指的是光束在传输距离 z 处的束腰半径, ω_0 是在 $z=0$ 处光束的束腰半径。所以

$$M^2 = \frac{\pi}{\lambda} \omega_0 \theta \quad (6)$$

收稿日期:2016-06-13

基金项目:忻州师范学院教学改革研究项目(JGZD201509)资助

作者简介:巩玲仙(1987-),女,山西人,忻州师范学院教师,主要从事光通信与移动通信的研究。

其中, λ 指的是波长。

M^2 因子是用来描述传输光束偏离理想高斯光束程度的物理量, 它描述了光束被限制在特定发散角中的程度, 可以直观简单的衡量光纤激光器输出光束的亮度, 是一个很好的判断光束质量的参数。因子 M^2 已经广泛应用于衡量光束的光束质量。

在分析光束质量时, M^2 因子为一个独立的数值, 用来比较各个超模的光束质量。通常情况下光束质量因子 $M^2 \geq 1$, 在理想情况下, 同相位模式的光束质量最好, $M^2=1$ 。

1.2 桶中功率(PIB)

桶中功率 PIB 的定义为远场给定尺寸的“桶”中围住的激光功率占总功率的百分比^[6], 具体表达式为

$$PIB = \frac{\int_{-b_x}^{b_x} \int_{-b_y}^{b_y} I(x, y, z) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y, z) dx dy} \quad (7)$$

由定义可知, 桶中功率 PIB 描述了某个传输面上光强的集中程度。

桶半径 b 定义为

$$b = \frac{\theta_L z}{2}, \quad \theta_L = 2.44\lambda/D \quad (8)$$

式(8)中, z 代表传输距离; θ_L 是一个和瑞利判距有关的物理量; D 表示是传输光束模场的有效面积。多芯光纤的模场有效面积也就是所有纤芯的覆盖面积, $D = 2(d+a)$ 。

通过定义式可知, $0 \leq PIB \leq 1$, 桶中功率 PIB 的值越大, 说明光束质量越好。在多芯光纤的各个超模中, 桶中功率 PIB 的值是一个随着传输距离 z 变化而变化的函数。

2 仿真结果与分析

根据耦合模理论^[7-11], 多芯光纤是由多个单模光纤组合在一起构成, 并且各个单模光纤都工作在单模状态, 每个单模光纤之间通过耦合形成多个模式。并且有几个纤芯就有几种模式, 也就是说模式数量与纤芯数目相等。所以七芯光纤中存在七个模式。以下是通过 COMSOL^[12] 仿真得到的七个超模的近场强度分布图。

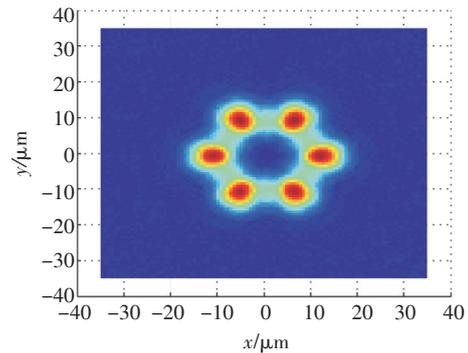


图1 七芯光纤第一超模模场分布

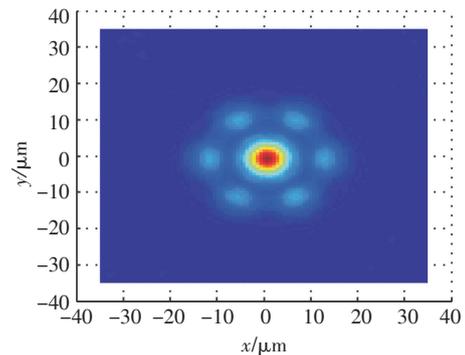


图2 七芯光纤第二超模模场分布

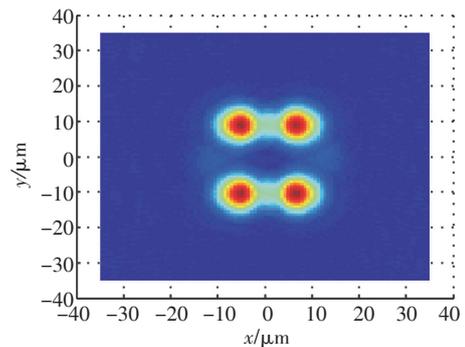


图3 七芯光纤第三超模模场分布

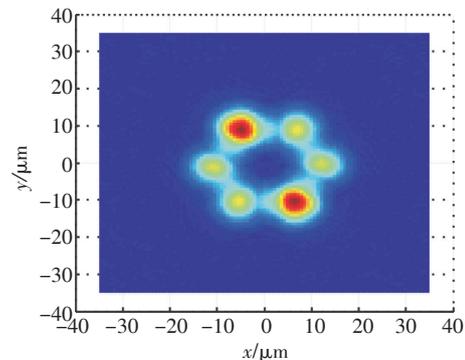


图4 七芯光纤第四超模模场分布

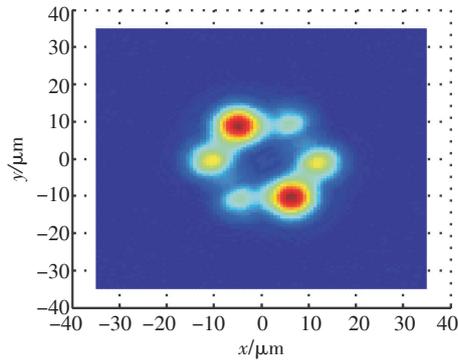


图5 七芯光纤第五超模模场分布

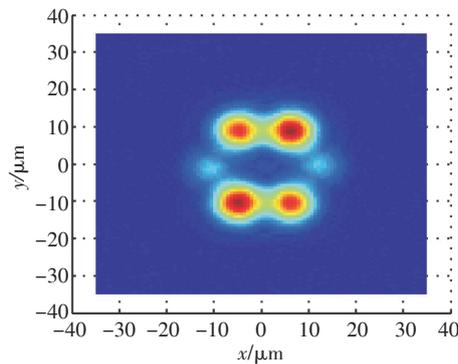


图6 七芯光纤第六超模模场分布

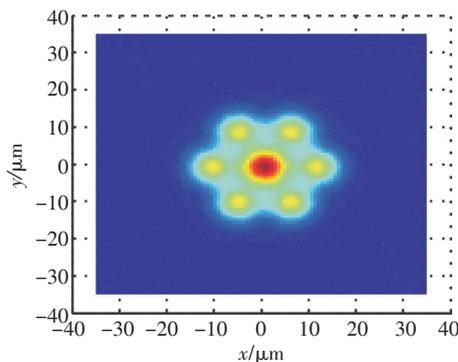


图7 七芯光纤第七超模模场分布

由图1~图7可以看出,只有第7种模式,即同相位模式的远场分布呈现准高斯分布,说明这种模式的发散角最小。并且通过理论计算证明7个模式的 M^2 因子分别是2.82, 2.64, 2.93, 3.02, 2.78, 2.59, 1.17。通过仿真图和 M^2 的计算,都证明同相位模式的光束质量最好。

图8所示为七芯光纤中七个超模的桶中功率随传输距离的变化。通过图8可以看出,各个模场的桶中功率值随着距离的增大而增大,且极限值均趋于1。当传输距离相同时,桶中功率PIB值越大,功

率密度集中度越高,光束质量越好。从图8中可以明显看到,当传输距离相同时,第七个模式的桶中功率PIB值总是大于其他模式的值,也就是说,相同传输距离时,同相位模式有着更好的光束质量。

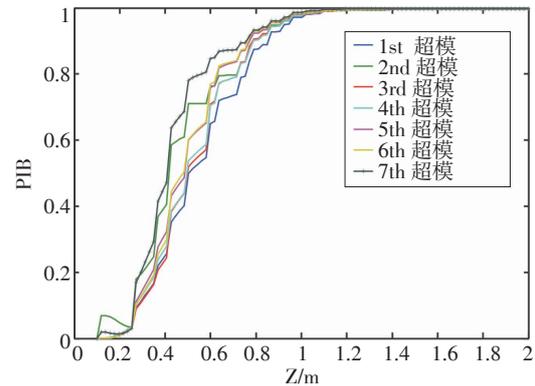


图8 七芯光纤中七个超模的桶中功率随传输距离的变化

3 结论

对七芯光纤的各个模场进行仿真分析,发现同相位超模的远场呈现准高斯分布,其发散角最小,具有最好的光束质量。并通过分析各个模式的光束质量因子 M^2 和桶中功率PIB两个参数,再次证明,同相位模式具有最好的光束质量。

参考文献

- [1] Moritz M Vogel, Marwan Abdou-Ahmed. Very-large-mode-area, single-mode multicore fiber[J]. Optics Letters, 2009, 34(18):2876.
- [2] Guillaume Canat, Ron Spittel. Analysis of the multifilament core fiber using the effective index theory[J]. Optics Express, 2010, 18: 5.
- [3] John M Fini. Large-mode-area multicore fibers in the single-mode regime[J]. Optics Express, 2011, 19(5): 4042.
- [4] Kandidov V P, Irina V. Terekhova phase filtering of the in phase mode of a linear laser array in the Talbot resonator [J]. Quantum Electron, 33: 531-536.
- [5] Jung Y, Jeong Y, Brambilla G, et al. Adiabatically tapered splice for selective excitation of the fundamental mode in a multimode fiber[J]. Opt Lett, 2009, 34: 2369-2371.
- [6] Case W B, Tomandl M, Deachapunya S. Realization of optical carpets in the Talbot and Talbot-Lau configurations[J]. Opt Express, 2009, 17: 20966-20974.
- [7] Elkin N N, Napartovich A P, T roshchieva V N, et al. Mode competition in multi-core fiber amplifier[J]. Optics

- Communications, 2007, 277: 390-396.
- [8] Vysotsky D V, Elkin N N, Napartovich A P. Selection of optical modes in multichannel fibre lasers[J]. Quantum Electronics, 2006, 36: 73-75.
- [9] Talbo H F. Facts relating to optical science[J]. Phiios Mag, 1836, 9: 40-41.
- [10] Leger J R. Lateral mode control of an AlGaAs laser array in a Talbot cavity[J]. Applied Physics Letters, 1989, 55: 334-336.
- [11] Zhu X, Scholzgen A, Li H. Single-transverse-mode output from a fiber laser based on multimode interference[J]. Opt Lett, 2008, 33: 908-910.

(上接第12页)

- [2] Stern A, Javidi B. Random projections imaging with extended space-bandwidth product[J]. Journal of Display Technology, 2007, 3(3):315-320.
- [3] Marcia R F, Willett R M. Compressive coded aperture super-resolution image reconstruction[J]. Proc. of IEEE, 2008.
- [4] Pitsianis N P, Brady D J, Sun X. Sensor-layer image compression based on the quantized cosine transform[J]. SPIE Visual Information Processing, 2005.
- [5] Baraniuk R, Steeghs P. Compressive radar imaging[J]. IEEE Radar Conference, 2007:128-133
- [6] David Brady, Kerkil Choi, Daniel Marks, et al. Compressive holography[J]. Optics Express, 2009, 17:13040-13049.
- [7] Lustig M, Donoho D, Pauly JM. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging[J]. Magn. Reson. Med., 2007, 58(6):1182-1195.
- [8] Lu Y, Zhang X, Douraghy A, et al. Source reconstruction for spectrally-resolved bioluminescence tomography with sparse a priori information[J]. Opt. Express, 2009, 17(10): 8062-8080.
- [9] Bobin J, Starck J-L, Ottensamer R. Compressed sensing in astronomy[J]. IEEE, 2008, 2(5):718-726.
- [10] Albert C, Fannjiang, Thomas Strohmer, et al. Compressed remote sensing of sparse objects[J]. Imaging Sciences, 2005, 3(3):595-618.

(上接第27页)

参考文献

- [1] Woods A J, Penrose J D. The development of a compact underwater stereoscopic video camera[J]. SPIE, 1997, 3012:92-95.
- [2] Trimble G M. Area reconnaissance, object relocation and classification using cooperating autonomous underwater vehicles[J]. SPIE, 1999, 3711:195-202.
- [3] Kubota S, Shimada H. High-speed photography of underwater sympathetic detonation of explosives[J]. SPIE, 2001, 4183:760-770.
- [4] Evans C, Doshir. Tale of two underwater lenses[J]. SPIE, 1991, 1537:203-214.
- [5] 孙传东,陈良益,高立民,等.水的光学特性及其对水下成像的影响[J].应用光学,2000,21(4):39-46.
- [6] 王耀祥,田维坚,黄琨,等.光锥与CCD耦合效率的理论分析[J].光子学报,2004,33(3):318-320.
- [7] 王志社,陈树越,曾光宇,等.便携式数字X射线光锥耦合CCD成像系统研究[J].传感器与微系统,2007,26(9):26-28.
- [8] 郭远华,侯晓荣.针对椒盐噪声的开关模糊滤波器[J].计算机应用,2012,32(5):1293-1295,1334.
- [9] 黄光亚,曾水玲,张书真,等.基于三维轴距的图像去噪算法[J].电子与信息学报,2015,37(3):552-559.
- [10] 王贵君,杨永强.基于高概率椒盐噪声的模糊滤波器在图像恢复中的算法设计[J].电子学报,2015(1):24-29.