

# 多模光纤束斑纹场及其应用

华家宁

(南京师范大学物理系, 南京 210024)

**提要** 本文研究了 He-Ne 激光照明多模光纤束产生的斑纹场特性, 讨论了不同芯径光纤组成的多模光纤束产生的斑纹场之间的差别, 并与毛玻璃斑纹场进行了比较, 表明多模光纤束辐射的斑纹场可用于光学测量和信息处理。

**关键词** 多模光纤束, 斑纹场, 光学测量

近年来对单根多模光纤产生的斑纹场的研究<sup>[1,2]</sup>大多从模噪音的角度进行分析<sup>[3,4]</sup>, 光线可以在弯曲光纤中传播, 系统的光学元件数可大大减少, 因此光纤斑纹场的应用有一定发展潜力。本文对多模光纤束激光斑纹场的特性及其应用进行了探讨, 并与单根多模光纤和散射体斑纹场进行对比。实验表明 He-Ne 激光激励的多模光纤束辐射的斑纹场可用于光学测量和信息处理。

## 1 多模光纤激光斑纹场

光学上使用的多模光纤芯径一般在  $50\ \mu\text{m}$  上下, 使用波长较短的可见光, 所以其总导模数  $M$  都很大, 一般均在 1000 以上<sup>[6]</sup>。在弱波导条件下, 各导模之间的最大时延差是一个很小的量<sup>[6]</sup>, 相应的程差一般均小于 He-Ne 激光的相干长度, 因此多模光纤各导模之间是相干的, 相干耦合的结果形成激光斑纹场。在已发表的文献<sup>[1,7]</sup>中认为, 这种耦合产生的辐射场和强漫射板辐射场相似, 遵循高斯分布。但单根多模光纤斑纹场和强漫射板斑纹场有较大的差别。它们之间的差别已有实验证明<sup>[2,4]</sup>。单根多模光纤激光斑纹场的斑纹粒度比强漫射板的斑纹粒度大得多, 用于光学散斑测量和信息处理时其精度将受到很大影响。另一方面由于斑纹粒度的直径即为空间相干长度, 因此散斑粒度大, 其空间相干性好。

全反射时存在瞬逝边界波, 在密集排列的光纤束邻近区域会产生模激励, 形成不同光纤之间的模耦合, 因此在激光激励下, 多模光纤束(MFOB)的输出光场要比单根多模光纤复杂得多<sup>[4,5]</sup>。若光纤束中的光纤数为  $m$ , 其总导模数为单根多模光纤导模数的  $m$  倍。 $m$  越大, 辐射场的基元相幅矢量越接近中心极限定理所要求的两条统计假设, 输出场就越均匀。在距光纤束出射面相同距离处, 单根光纤芯径小的斑纹粒度大, 芯径大的斑纹粒度小。图 1 是 He-Ne 激光照明下, 在相同距离处拍摄的两组多模光纤束斑纹场照片, 所用光纤束约长 1 m, 其中的单根光纤均为阶跃折射率型多模光纤, 图 1(a)的单根光纤芯径为  $17\ \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.620$ ,  $n_2 = 1.515$  ( $n_1, n_2$

分别为芯和包层材料的折射率);图 1(b) 的单根光纤芯径为  $45\ \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.626$ ,  $n_2 = 1.499$ 。

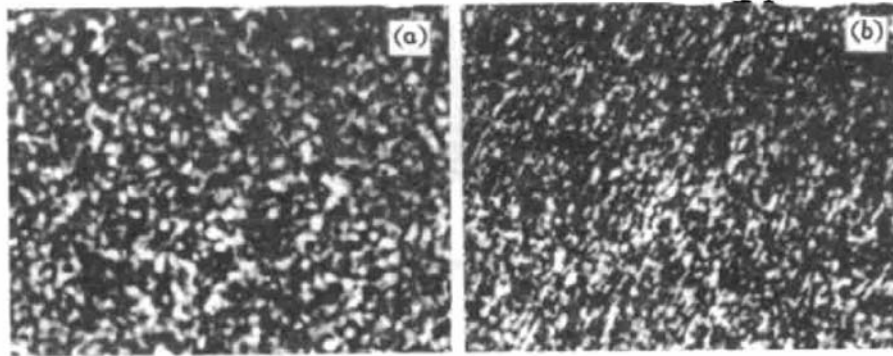


Fig. 1 He-Ne laser speckle-field emitted from the MFOB, which core diameter of a SMOF is (a)  $17\ \mu\text{m}$ , (b)  $45\ \mu\text{m}$

用多模光纤束斑纹场进行散斑光学测量和信息处理时,应选用有效截面较大,单根光纤芯径也较大的多模光纤束,这样才能在激光照射下产生实验所需的均匀的、粒度较细的斑纹场。

## 2 实 验

在 He-Ne 激光照明下,用芯径分别为  $45\ \mu\text{m}$  和  $17\ \mu\text{m}$  的多模光纤束传输激光,照明被摄物体,参考光为球面或平面波(不用光纤束传输),所得全息图再现像的照片见图 2,其中图 2(a), (b) 均用  $45\ \mu\text{m}$  芯径光纤束,光纤输出面与被摄物的距离分别为  $9\ \text{cm}$  和  $14\ \text{cm}$ 。后者在物面上产生的斑纹粒度较前者大。图 2(c) 用  $17\ \mu\text{m}$  芯径的光纤束,输出面距物体  $9\ \text{cm}$ , 与图 2(a) 相同,由于单根光纤芯径小,产生的斑纹粒度在物面上较大。对比图 2(a), (b), (c) 再现像的清晰度,可知图 2(a) 最好,图 2(b) 次之,图 2(c) 最差。这是由于随着物面上斑纹粒度的增大,斑纹噪音增加至使信噪比下降而造成的。由本实验可知,在多模光纤束全息照相时,用于传输照明物光的光纤束应选用单根芯径较大的光纤束。



Fig. 2 Reconstructed image of speckle hologram formed of optic fiber

- (a) MOFB of  $45\ \mu\text{m}$  core diameter is used and the distance from object to the exit-plane of MFOB is  $9\ \text{cm}$   
 (b) MOFB of  $45\ \mu\text{m}$  core diameter is used and the distance from object to the exit-plane of MFOB is  $14\ \text{cm}$   
 (c) MOFB of  $17\ \mu\text{m}$  core diameter is used and the distance from object to the exit-plane of MFOB is  $9\ \text{cm}$

将 He-Ne 激光激励的多模光纤束出射光直接照射在一块全息干板上进行两次曝光,在第二次曝光前将干板在平面内平移一个小距离。把显影、定影后的干板  $H$  置于  $4f$  处理系统的输入面上,用 He-Ne 准直光照射在第一个变换透镜的后焦面上观察到清晰的杨氏干涉条纹。图 4

是干板  $H$  距光纤束出射面不同距离(设为  $D$ ),干板平移几种距离(设为  $d$ )时得到的杨氏干涉条纹的照片(光纤芯径为  $45\ \mu\text{m}$  的多模光纤束)。若用芯径为  $17\ \mu\text{m}$  的多模光纤束,当距离大于  $10\ \text{cm}$  时,由于斑纹粒度较大,会观察不到杨氏条纹。图 4 是取  $D = 55\ \text{mm}$ ,  $d = 0.185\ \text{mm}$  时,用此光纤束获得的杨氏条纹照片。

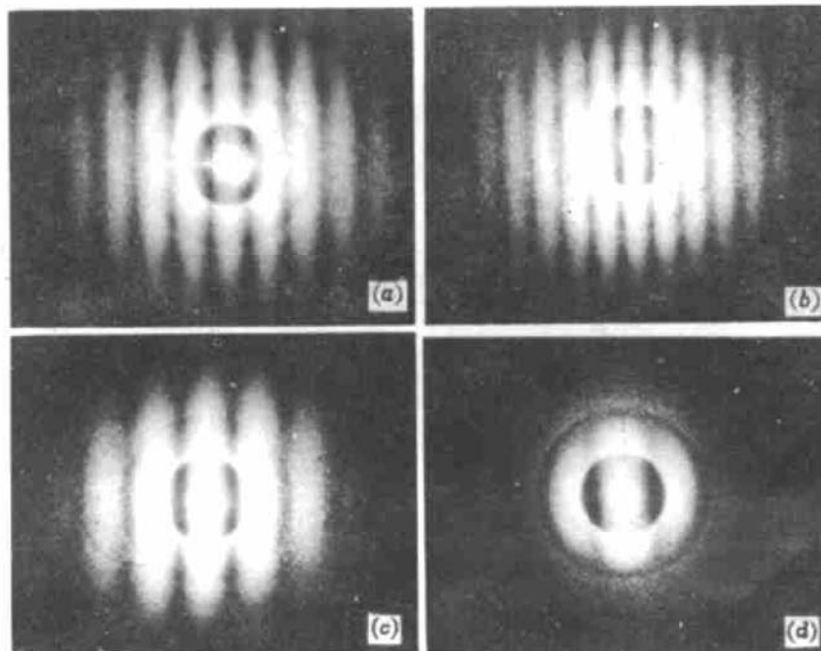


Fig. 3 Young's interference fringes of speckle-fields emitted the MFOB of  $45\ \mu\text{m}$  core diameter by two-exposure

(a)  $D = 75\ \text{mm}$ ,  $d = 0.102\ \text{mm}$ ; (b)  $D = 110\ \text{mm}$ ,  $d = 0.135\ \text{mm}$ ;  
(c)  $D = 145\ \text{mm}$ ,  $d = 0.082\ \text{mm}$ ; (d)  $D = 250\ \text{mm}$ ,  $d = 0.082\ \text{mm}$ ;

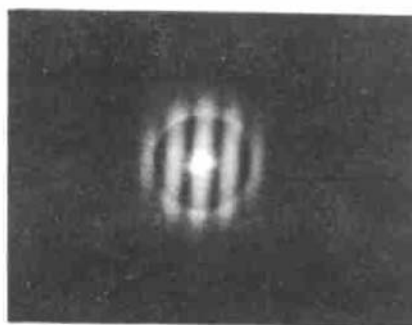


Fig. 4 Young's interference fringes of speckle-field emitted from the MFOB of  $17\ \mu\text{m}$  core diameter by two-exposure :  $D = 55\ \text{mm}$ ,  $d = 0.185\ \text{mm}$

用 He-Ne 激光激励的多模光纤束出射光直接照射全息干板  $H$ ,紧贴  $H$  前置一 如图 5(a) 所示的图像,进行第一次曝光,然后将干板在面内平移一个小位移,再以图 5(b) 所示的图像代替图 5(a) 进行第二次曝光,把处理好的干板  $H$  置于  $4f$  系统的输入面上,用 He-Ne 准直光照射,在频谱面上置一滤波狭缝,经滤波在其输出面上清晰地显示出两个图像差别(见图 5(c))。本实验选用单根芯径为  $45\ \mu\text{m}$  的多模光纤束。

### 3 讨 论

用激光照射的多模光纤束辐射场是比单根多模光纤辐射场更均匀的斑纹场,若选取的光纤束单根光纤芯径较大,可得到粒度很细的斑纹。由于多模光纤束能产生高质量的斑纹场,光纤束机械强度高,输入耦合方便,效率高,在斑纹光学测量和信息处理中,它优于单根多模光纤。因无直透波成分又有别于散射体斑纹场,因此更有它的实用价值。

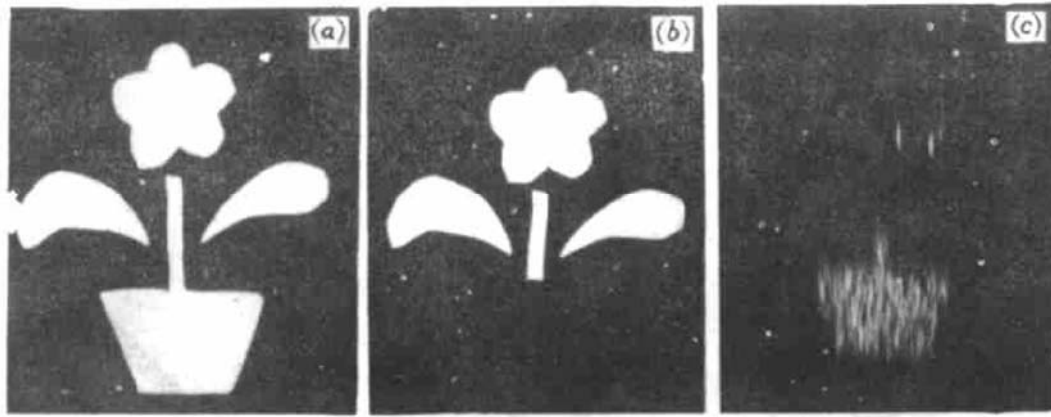


Fig. 5 Experiment about difference of two pictures with He-Ne laser speckle-field emitted from the MFOB  
(a) Picture of first exposure; (b) Picture of second exposure; (c) Difference of two pictures

致谢 黄晓琴同志参加了实验工作,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 N. Takai *et al.*, *J. Opt. Am.*, 1985, A2: 1282
- 2 秦克琪等. 中国激光, 1987, 14: 667
- 3 B. Crosignani *et al.*, *J. Opt. Am.*, 1983, A73: 1022
- 4 N. S. Kapany *et al.*, *J. Opt. Am.*, 1961, A51: 1067
- 5 孙远坤等. 光学学报, 1988, 8: 145
- 6 叶培大等. 光波导技术基本理论. 北京: 人民邮电出版社, 1981. 176

## Speckle-fields Emitted from Multimode Fiber-optic Bouundle and Their Applications

Hua Jianing

(Physics Department, Nanjing Normal University, Nanjing 210024)

**Abstract** In this paper, we study the properties of speckle fields emitted multimode fiber-optic bundle under illumination of the He-Ne laser light. The difference among the speckle-fields emitted by the multimode fiber-optic bundles, which consist of fibers of different core diameters, is discussed, and compared with the speckle-field of frosted glass. The rightness of conclusions has been verified by the experiments, and the field can be used in optical measurement and information processing.

**Keywords** multimode fiber-optic bundle, speckle-field, optical measurement, information processing