

doi:10.3788/gzxb20174605.0526002

# 新型部分相干光束的产生及其相干特性

吴子豪, 陈子阳, 蒲继雄, 林志立

(华侨大学 信息科学与工程学院 福建省光传输与变换重点实验室, 福建 厦门 361021)

**摘 要:** 利用相干理论, 研究了新型部分相干光束的相干特性. 用激光光束透过旋转的特殊毛玻璃, 产生一种相干性分布特殊的新型部分相干光束. 实验上经双孔干涉, 记录了该光束经不同小孔间距双孔产生的干涉条纹, 计算得出所对应的相干度, 并获得了该光束在不同传输距离下的相干度分布情况, 发现该光束的相干度分布与高斯-谢尔模型光束的相干度分布不相同, 其相干度随着传输距离的增大而变强.

**关键词:** 物理光学; 相干度; 双孔; 干涉; 部分相干光束

中图分类号: O439

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2017)05-0526002-4

## Generation of a New Kind Partially Coherent Beam and Its Coherent Properties

WU Zi-hao, CHEN Zi-yang, PU Ji-xiong, LIN Zhi-li

(College of Information Science and Engineering, Fujian Provincial Key Laboratory of Light Propagation and Transformation, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021, China)

**Abstract:** Based on the coherent theory, the coherent properties of the new partially coherent beam were studied. The new partially coherent beam with the specific distribution of coherence was formed by the laser passing through a rotating special ground glass. The interference fringes produced by this beam passing through some double-holes with different hole spaces were experimentally recorded and their corresponding coherence degree was calculated. The coherence distributions of this beam under different propagation distances were experimentally investigated. The results show that, the coherence distributions of this beam are different with those of Gaussian Schell-model beams, and the degree of coherence increases with the increasing of propagation distances.

**Key words:** Physical optics; Coherence; Double-hole; Interference; Partially coherent beam

**OCIS Codes:** 260.0260; 030.1640; 350.2460

## 0 引言

与相干光束的研究不同, 部分相干光束的研究是运用统计光学的理论. 1978 年, Wolf 和 Collett 首次提出了一种经典的部分相干光束<sup>[1]</sup>, 即高斯-谢尔模型光束 (Gaussian Schell-Model, GSM), 随即部分相干光束的研究引起了国内外学者极大关注, 并对该类光束开展了大量的研究. 1979 年, Santis 等第一次在实验上获得了 GSM 光束<sup>[2]</sup>. 随后, 研究人员进一步提出了多种产生 GSM 光束的方法<sup>[3-5]</sup>. 1985 年, Simon 等描述了各向异性部分相干光束的传输演化特性<sup>[6]</sup>. 1994 年, Friberg 等研究了扭曲 GSM 光束<sup>[7]</sup>. 2007 年, Wolf 提出了光的相干与偏振理论<sup>[8]</sup>. 2014 年, Li 探究了电磁 GSM 光束强度波动与相干度分布的相关性<sup>[9]</sup>. 随着对光束相干性研究的不断深入, 研究人员发现虽然完全相干光束比部分相干光束具有更好的方向性, 但部分相干光束比完全相干光束具有更强的优势, 特别是多光束叠加时的光强分布比较均匀, 具有较强的抗干涉能力, 使得部分相干光束在惯性约束核聚变<sup>[10-11]</sup>、激光热处理<sup>[12]</sup>等某些领域有着特殊而广泛的应用. 另外, 由于部分

**基金项目:** 国家自然科学基金 (Nos. 61575070, 11674111) 和福建省杰出青年科学基金 (No. 2015J06015) 资助

**第一作者:** 吴子豪 (1992—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光传输与变换. Email: 281585575@qq.com

**导师 (通讯作者):** 蒲继雄 (1962—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为光传输与变换. Email: jixiong@hqu.edu.cn

**收稿日期:** 2016-12-22; **录用日期:** 2017-02-24

<http://www.photon.ac.cn>

相干光束在湍流中所受的影响较小,其对促进大气湍流<sup>[13-14]</sup>和海洋湍流<sup>[15-16]</sup>中长距离光束通信技术的研究等方面具有重要意义.部分相干光束在奇点光学、光学捕获和光学成像等领域也有着重要的应用<sup>[17-21]</sup>.

基于以上部分相干光束光强分布均匀、相干度较低等特点,本文将利用激光光束透过特殊的毛玻璃,提出一种新型相干度分布的部分相干光束产生方法,并搭建了实验装置从实验上研究了该光束的相干度分布,以及光的传输距离对相干度的影响.

## 1 理论分析和实验装置

假定光源位于  $Z=0$  平面,并且由光源辐射出的光束沿  $Z$  轴传输.在光源平面,光源的交叉谱密度为

$$W(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega) = \sqrt{S(\mathbf{r}_1, \omega)} \sqrt{S(\mathbf{r}_2, \omega)} \mu(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega) \quad (1)$$

式中  $\sqrt{S(\mathbf{r}, \omega)}$  和  $\mu(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$  分别为光源的光谱和光谱相干度,  $\mathbf{r}$  为光源平面的位置矢量.

在双孔干涉实验中,假定发生干涉的光束为准单色光,  $P$  点为接收屏上的一点,则  $P$  点处的光强为<sup>[22]</sup>

$$I(P) = I_1(P) + I_2(P) + 2 \sqrt{I_1(P)} \sqrt{I_2(P)} \cdot |\mu_{12}(\tau)| \cos[\alpha_{12}(\tau) - \sigma] \quad (2)$$

式中,  $|\mu_{12}(\tau)|$  表示相干度,  $x_1$  和  $x_2$  表示两个小孔到  $P$  点的距离,  $\tau = \frac{x_2 - x_1}{c}$ ,  $\sigma = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$

$P$  点附近光强有极大和极小值,分别为

$$I_{\text{Max}} = I_1(P) + I_2(P) + 2 \sqrt{I_1(P)} \sqrt{I_2(P)} |\mu_{12}(\tau)| \quad (3)$$

$$I_{\text{Min}} = I_1(P) + I_2(P) - 2 \sqrt{I_1(P)} \sqrt{I_2(P)} |\mu_{12}(\tau)| \quad (4)$$

因此  $P$  点处的干涉条纹的可见度为

$$\epsilon(P) = \frac{I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}}}{I_{\text{Max}} + I_{\text{Min}}} = \frac{2 \sqrt{I_1(P)} \sqrt{I_2(P)}}{I_1(P) + I_2(P)} |\mu_{12}(\tau)| \quad (5)$$

在一般情况下,干涉实验中的两束光束的光强相等,则式(5)可化简为<sup>[22]</sup>

$$\epsilon(P) = |\mu_{12}(\tau)| \quad (6)$$

即通过测量干涉条纹的可见度,得到光束的相干度.

作为典型且使用十分广泛的部分相干光束, GSM 光束可以通过被动谐振腔或者利用 Van-Citter-Zernike 理论使扩展光源产生的非相干光,或者利用声光调制晶体、空间光调制器产生.更为常用的方法是利用激光透过旋转的毛玻璃产生部分相干光束,本文利用激光经过特殊的毛玻璃(RPC Photonics, Inc., 工程扩散器<sup>TM</sup>, 型号: EDC-1-07108-A),产生一种具有特殊相干度分布的新型部分相干光束,图 1 为实验装置.

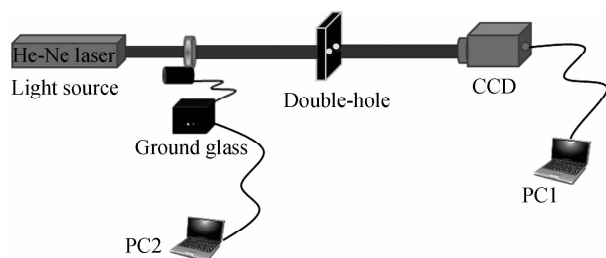


图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

氦氖激光器发出波长为 632.8nm 的激光光束,透过由电机和减速机控制转速的特殊毛玻璃,产生新型部分相干光束,经双孔,发生干涉,利用光束分析仪(Spirion SP620U)记录下干涉条纹,测量其相干度.激光光束透过恒定转速的毛玻璃,经间距不同的双孔,测量其相干度,以及在部分相干光束传播一定距离后,测量其相干度分布.

## 2 实验结果与分析

由于该毛玻璃的特殊性质,激光透过其后,会产生一种新型部分相干光束.图 2 是激光透过静止的毛玻璃时的光强图,图 3 是激光透过旋转的毛玻璃时的光强图.可以直观地发现,当毛玻璃静止时,透过毛玻璃的激光光束将形成光强随机分布的散斑.而当毛玻璃旋转后,经过旋转毛玻璃的光束将变成部分相干光束,光束的光强分布变得更为匀滑.

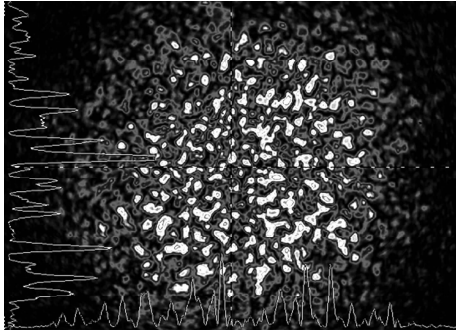


图2 激光透过毛玻璃的散斑图

Fig. 2 Simulation result of speckle patterns generated by laser

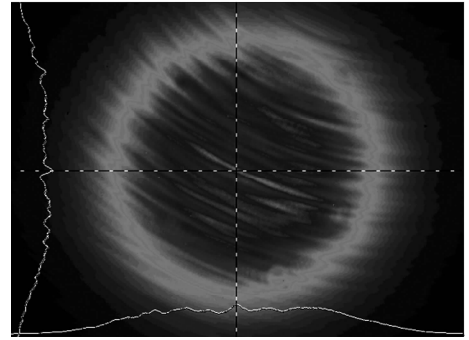


图3 新型部分相干光束的光强图

Fig. 3 Intensity distribution of the new partially coherent beam

为了研究小孔间距对相干度的影响,在距毛玻璃 5.5cm 处放置双孔(小孔大小为 0.1 mm),使该新型部分相干光束发生干涉,同时分别让部分相干光束经过两孔间距为 0.2、0.3、0.4、0.6、0.7 和 0.8 mm 的双孔,记录下干涉图样.通过计算,得到所对应的相干度.图 4 曲线即为传播距离 5.5 cm 时该部分相干光束的相干度分布情况.

为了探究该部分相干光束的相干度与光束传输距离间的关系,在距毛玻璃 50 cm、100 cm、150 cm 和 200 cm 处分别放置双孔,利用光束分析仪分别测量相干度.通过计算,得到 50、100、150 和 200 cm 处的相干度分布情况分别如图 5.通过图 4 和图 5 发现,在较近传输距离下,该新型部分相干光束的相干度分布情况与 GSM 光束的相干度分布并不相同,5.5、50、100、150 和 200 cm 处的最大相干度分别为 0.2667、0.3024、0.3103、0.3448 和 0.3611.从图 5 中可以看出,该部分相干光束的相干度随着传播距离的增大而变强.

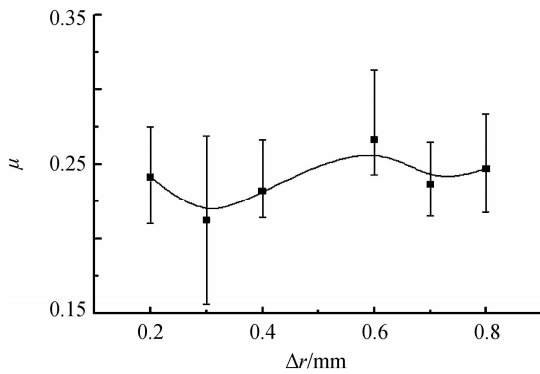


图4 传播距离 5.5 cm 的相干度分布曲线

Fig. 4 Coherence distribution curve when the propagation distance is 5.5 cm

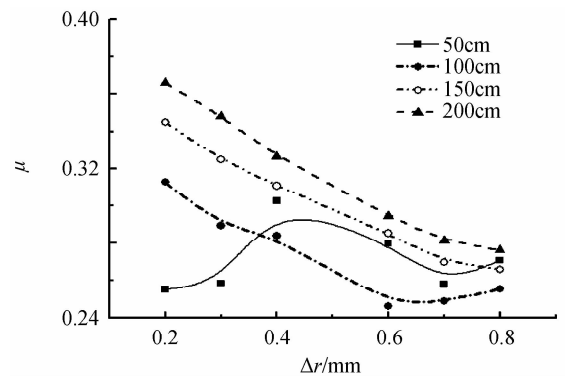


图5 传播距离的相干度分布曲线

Fig. 5 Coherence distribution curves along the propagation distance

### 3 结论

本文利用激光和旋转的特殊毛玻璃产生一种新型部分相干光束,再利用干涉理论和不同间距的双孔,实验探究了该光束的相干特性.实验获得了该部分相干光束的光强图以及在不同传播距离的相干度分布情况,实验结果表明,激光通过这种特殊的毛玻璃后,可以产生部分相干光束,且该新型部分相干光束在较近传输距离时的相干度分布情况与 GSM 光束的相干度分布并不相同,该光束的传播距离越大,其相干度越高.该研究结果为该新型部分相干光束在大气光通信、光学成像等领域的应用提供了实验依据.后续的研究工作,我们将进一步研究毛玻璃转速等对该新型部分相干光束相干特性的影响.

#### 参考文献

- [1] WOLF E, COLLETT E. Partially coherent sources which produce the same far-field intensity distribution as a laser [J]. *Optics Communications*, 1978, **25**(3):293-296.
- [2] SANTIS P D, GORI F, GUATTARI G, *et al.* An example of a collett-wolf source[J]. *Optics Communications*, 1979, **29**(3):256 - 260.
- [3] FARINA J D, NARDUCCI L M, COLLET E. Generation of highly directional beams from a globally incoherent source

- [J]. *Optics Communications*, 1980, **32**(2):203-208.
- [4] TERVONEN E, FRIBERG A T, TURUNEN J. Gaussian Schell-model beams generated with synthetic acousto-optic holograms[J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 1992, **9**(5):796-803.
- [5] DIXIT S N, THOMAS I M, WOODS B W. Random phase plates for beam smoothing on the Nova laser[J]. *Applied Optics*, 1993, **32**(14):2543-2554.
- [6] SIMON R, SUDARSHAN E, MUKUNDA N. Anisotropic Gaussian Schell-model beams passage through optical systems and associated invariants[J]. *Physical Review A General Physics*. 1985, **31**(4):2419-2434.
- [7] FRIBERG A, TERVONEN E, TURUNEN J. Interpretation and experimental demonstration of twisted Gaussian Schell-model beams[J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 1994, **11**(6):1818-1826.
- [8] WOLF E. Introduction to the Theory of Coherence and Polarization of light[M]. Pu Ji-xiong, transl. *Beijing: Peking University Press*, 2014.
- WOLF E. 光的相干与偏振理论导论[M]. 蒲继雄译. 北京:北京大学出版社,2014.
- [9] LI Ya-jun. Correlations between intensity fluctuations in stochastic electromagnetic Gaussian Schell-model beam[J]. *Optics Communications*, 2014, **316**(316): 67 - 73.
- [10] KATO Y, MIMA K, MIYANAGA N. *et al.* Random phasing of high-power lasers for uniform target acceleration and plasma-instability suppression[J]. *Physical Review Letters*, 1984, **53**(11): 1057-1060.
- [11] DIXIT S N, THOMAS I M, WOODS B W. *et al.* Random phase plates for beam smoothing on the Nova laser[J]. *Applied Optics*, 1993, **32**(14): 2543-2554.
- [12] QIU Jun. The beam quality of high power lasers and its influences on the laser processing[J]. *Laser Technology*, 1994, **18**(2): 86-91.
- 丘军林. 高功率激光器的光束质量及其对激光加工的影响[J]. *激光技术*, 1994, **18**(2): 86-91.
- [13] YUAN Yang-sheng, LIU Xian-long, WANG Fei. *et al.* Scintillation index of a multi-Gaussian Schell-model beam in turbulent atmosphere[J]. *Optics Communications*. 2013, **305**(3): 57 - 65.
- [14] KE Xi-zheng, XUE Yao. The effect on the partially coherent beam propagation properties in the atmospheric turbulence considering its scales[J]. *Acta Photonica Sinica*. 2017, **46**(1): 0101003.
- 柯熙政, 薛 瑶. 大气湍流尺度对部分相干光传输特性的影响[J]. *光子学报*, 2017, **46**(1): 0101003.
- [15] ZHOU Ying, HUANG Kai-kai, ZHAO Dao-mu. Changes in the statistical properties of stochastic anisotropic electromagnetic beams propagating through the oceanic turbulence[J]. *Applied Physics B*. 2012, **109**(2):289 - 294.
- [16] XIA Ming-chao, ZHANG Yi-xin, LI Ye, *et al.* Polarization model of quantized Gaussian Schell-model fields in an oceanic turbulence[J]. *Acta Photonica Sinica*. 2016, **45**(5): 160-166.
- [17] HE Xue-mei, Lü Bai-da. Propagation of partially coherent flat-topped vortex beams through non-Kolmogorov atmospheric turbulence[J]. *Journal of the Optical Society of America A*. 2011, **28**(9): 1941-1948.
- [18] YANG Yuan-jie, CHEN Ming-zhou, MAZILU M, *et al.* Effect of the radial and azimuthal mode indices of a partially coherent vortex field upon a spatial correlation singularity[J]. *New Journal of Physics*, 2013, **15**(11):1633-1691.
- [19] DONG Yi-ming, WANG Fei, ZHAO Cheng-liang, *et al.* Effect of spatial coherence on propagation, tight focusing, and radiation forces of an azimuthally polarized beam[J]. *Physical Review A*, 2012, **86**(1):7773-7773.
- [20] ALVES C, JESUSSILVA A, FONSECA E. Using speckles to recover an image after its transmission through obstacles [J]. *Physical Review A*, 2016, **93**(4): 043816.
- [21] CUI Zhe, WANG An-ting, WANG Zi. *et al.* Speckle Suppression by controlling the coherence in laser based projection systems[J]. *Journal of Display Technology*. 2015, **11**(4): 330-335.
- [22] BORN M and WOLF E. Principles of Optics[M]. Oxford: Pergamon Press, 1999.