

非均匀关联径向偏振部分相干光的产生

刘森森 宋华冬 林伟强 陈旭东 蒲继雄

Synthesis of ununiformly correlated radially polarized partially coherent beam

Liu Sen-Sen Song Hua-Dong Lin Wei-Qiang Chen Xu-Dong Pu Ji-Xiong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 68, 074201 (2019) DOI: 10.7498/aps.68.20182289

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182289>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

部分相干径向偏振光束传输中相干性研究

Research on the coherence of partially coherent radially polarized beam during propagation

物理学报. 2015, 64(13): 134201 <https://doi.org/10.7498/aps.64.134201>

非均匀部分相干光束在自由空间中的传输

Propagation of non-uniform partially coherent beams in free space

物理学报. 2015, 64(3): 34205 <https://doi.org/10.7498/aps.64.034205>

部分相干光对周期性局域空心光束的影响

Effects of a partially coherent beam on periodic bottle beam

物理学报. 2016, 65(4): 44103 <https://doi.org/10.7498/aps.65.044103>

大气湍流中部分相干光束上行和下行传输偏振特性的比较

Comparison of polarization property of partially coherent beam between propagating along an uplink path and a downlink path in atmospheric turbulence

物理学报. 2015, 64(22): 224204 <https://doi.org/10.7498/aps.64.224204>

非均匀关联随机电磁光束的产生

Generation of non-uniformly correlated stochastic electromagnetic beams

物理学报. 2017, 66(5): 54212 <https://doi.org/10.7498/aps.66.054212>

非均匀关联径向偏振部分相干光的产生*

刘森森 宋华冬 林伟强 陈旭东[†] 蒲继雄

(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, 厦门 361021)

(2018年12月27日收到; 2019年1月17日收到修改稿)

从理论和实验两方面对非均匀关联径向偏振部分相干光的产生进行了研究. 理论上, 基于相位关联与相干度的联系, 推导出了非均匀关联径向偏振部分相干光的 2×2 阶交叉谱密度矩阵及相干度分布. 实验上, 利用一个相位型液晶空间光调制器的不同区域, 对入射的完全相干的径向偏振光的两个正交偏振分量分别加载随机相位调制, 并实验测量了这种光束的相干度分布及其对光强分布的影响. 实验结果验证了光束相干度的非均匀关联结构, 并且通过改变随机相位的高斯调制半宽可以改变光束的相干性分布. 研究表明, 随着随机相位的高斯调制半宽的增加, 光束中两点间的相干度逐渐减小, 其光强分布由圆环状逐渐变化为类平顶的光强分布. 这种非均匀关联的径向偏振部分相干光在激光微操纵和材料加工等领域具有一定的潜在应用价值.

关键词: 非均匀关联, 径向偏振光, 柱矢量部分相干光, 空间相干

PACS: 42.25.Kb, 42.25.Ja, 42.25.-p, 42.30.Lr

DOI: 10.7498/aps.68.20182289

1 引言

空间相干性和偏振态作为光束的两个重要参量, 受到了人们广泛的关注与研究^[1-4]. 从2003年Wolf^[5]提出部分相干矢量光束的相干和偏振统一理论以来, 人们对部分相干矢量光束的产生和传输展开了大量的理论及实验研究^[6-10], 部分相干矢量光束在微粒操纵、激光加工和自由空间光通信等领域具有十分广阔的应用前景^[5].

矢量光束可以分为均匀偏振矢量光束(如圆偏振光和椭圆偏振光)和非均匀偏振矢量光束(如径向偏振光、角向偏振光和柱矢量偏振光). 均匀偏振的部分相干矢量光束又称为随机电磁光束^[5,6]. 人们对随机电磁光束的高斯-谢尔模型^[11,12]和非均匀关联结构^[13,14]进行了大量的研究. 研究表明, 通过调控光束的空间关联结构可以实现对光束传输特性的调控. 比如, 非均匀关联随机电磁光束在传播过

程中, 源平面自相干附近点的空间相干度会发生突变^[15], 可以有效降低在湍流中传输时的光强闪烁^[16].

近几年, 非均匀偏振的部分相干矢量光束也得到越来越多的关注^[17-20]. 部分相干径向偏振光是一种特殊的柱矢量部分相干光^[21,22], 并且已经在实验上获得了空间相干性可变的非均匀关联部分相干径向偏振光^[23], 其相干和偏振特性也已经被深入地研究^[24]. 研究表明, 可以通过改变部分相干径向偏振光的空间相干性, 实现对部分相干径向偏振光聚焦光斑的整形.

本课题组前期的工作中, 在一个位相型液晶空间光调制器上加载相位调制幅度随空间位置变化的动态随机相位, 实现了标量的非均匀关联部分相干光^[25]. 在后续的工作中, 使用两个液晶空间光调制器分别对完全相干高斯光束的两个正交偏振分量进行随机相位调制, 从而实现了对随机电磁光束两个偏振方向上相干度的独立调控^[26], 并对空间关联结构非均匀的随机电磁光束进行了研究^[27].

* 国家自然科学基金(批准号: 61605049, 61575070)、福建省自然科学基金(批准号: 2018J01003)、华侨大学高级人才研究基金(批准号: 11BS110)和华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: chenxd@hqu.edu.cn

在此基础上, 本文基于部分相干矢量光束的交叉谱密度矩阵推导出非均匀关联径向偏振部分相干光的相干度分布, 实验上利用单个空间光调制器对径向偏振部分相干光的相干性进行调控, 研究了非均匀关联径向偏振部分相干光的相干度分布及相干度对光强分布的影响.

2 理论分析

径向偏振光可以看作是由 x 偏振方向的 HG_{10} 模式和 y 偏振方向的 HG_{01} 模式的相干叠加^[2]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(x, y) &= E_x(x, y)\mathbf{e}_x + E_y(x, y)\mathbf{e}_y \\ &= \left[\frac{x}{\omega_0} \exp\left(-\frac{r^2}{\omega_0^2}\right) \mathbf{e}_x + \frac{y}{\omega_0} \exp\left(-\frac{r^2}{\omega_0^2}\right) \mathbf{e}_y \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

考虑使用相位型液晶空间光调制器 (SLM) 对完全相干的径向偏振光的两个正交偏振分量分别加载随机相位调制 ϕ_x 和 ϕ_y , 基于偏振和相干统一理论, 在源平面上所产生的部分相干径向偏振光束可以用 2×2 阶交叉谱密度表示:

$$p[\phi_\alpha(\mathbf{r}, 0)] = \begin{cases} \frac{1}{2\pi\gamma_\alpha(\mathbf{r})}, & \pi - \pi\gamma_\alpha(\mathbf{r}) < \phi_\alpha(\mathbf{r}, 0) < \pi + \pi\gamma_\alpha(\mathbf{r}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\alpha = x, y), \quad (5)$$

其中 $\gamma_\alpha(\mathbf{r})$ 表示点 \mathbf{r} 处的相位调制幅度, 其取值范围为 $0 \leq \gamma_\alpha(\mathbf{r}) \leq 1$, 不同的相位调制幅度 $\gamma_\alpha(\mathbf{r})$ 表示加载在点 \mathbf{r} 处不同的相位变化范围. $\gamma_\alpha(\mathbf{r}) = 0$ 表示施加在光场上每个点的相位都是 π . $\gamma_\alpha(\mathbf{r}) = 1$ 表示施加在光场上每个点的相位的变化范围都是 $0-2\pi$. 因为光场中不同点施加的相位调制是统计独立的, 可知光场中 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点之间的相干度可以表示为

$$\mu_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \begin{cases} 1, & \text{for } \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_2 \text{ and } \alpha = \beta \\ \text{sinc}[\gamma_\alpha(\mathbf{r}_1)]\text{sinc}[\gamma_\beta(\mathbf{r}_2)], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\alpha = x, y; \beta = x, y). \quad (6)$$

由 (5) 式可知, 可以通过改变相位调制幅度 $\gamma(\mathbf{r})$ 来调控光束相干度的空间分布.

本文考虑相位调制幅度在空间上服从反高斯分布, 即 $\gamma_\alpha(\mathbf{r}) = 1 - \exp(-r^2/\sigma_\alpha^2)$, 其中 $r = |\mathbf{r}|$ 表示测量点距光束中心的距离; σ_α 表示高斯调制半宽度. 根据 (6) 式可得:

$$\mu_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \begin{cases} 1, & \text{for } \mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_2 \text{ and } \alpha = \beta \\ \text{sinc}\left[1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{r}_1|^2}{\sigma_\alpha^2}\right)\right] \text{sinc}\left[1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{r}_2|^2}{\sigma_\beta^2}\right)\right], & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (7)$$

由 (7) 式可以看出, 该径向偏振部分相干光的相干度分布不仅决定于 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点之间的距离, 还取决于 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点的位置.

3 实验步骤及结果分析

产生非均匀关联径向偏振部分相干光的实验

$$\begin{aligned} W_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, 0) &= \langle E_\alpha^*(\mathbf{r}_1, 0) E_\beta(\mathbf{r}_2, 0) \rangle \\ &= \frac{\alpha_1\beta_2}{\omega_0^2} \exp\left(-\frac{\mathbf{r}_1^2 + \mathbf{r}_2^2}{\omega_0^2}\right) \mu_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, 0) \\ &\quad \times (\alpha = x, y; \beta = x, y). \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $\alpha, \beta = x, y$, $\mathbf{r}_1 \equiv (x_1, y_1)$ 和 $\mathbf{r}_2 \equiv (x_2, y_2)$ 分别表示 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点在源平面上的位置矢量; E_x 和 E_y 分别为相互正交的 x 和 y 方向上的电场分量, 且都垂直于光束传播方向 (z 轴); $*$ 号表示复共轭; $\langle \rangle$ 表示在空间频率域上的系综平均. \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点之间的相干度可以表示为

$$\mu_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, 0) = \frac{W_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, 0)}{\sqrt{W_{\alpha\alpha}(\mathbf{r}_1, 0)}\sqrt{W_{\beta\beta}(\mathbf{r}_2, 0)}}. \quad (3)$$

考虑纯相位调控, 根据相位关联和相干度的关系^[28], 平面上 \mathbf{r}_1 和 \mathbf{r}_2 两点之间的相干度可以表示为

$$\mu_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, 0) = \langle \exp\{-i[\phi_\alpha(\mathbf{r}_1, 0) - \phi_\beta(\mathbf{r}_2, 0)]\} \rangle. \quad (4)$$

假设 $\phi_x(\mathbf{r}, 0)$ 和 $\phi_y(\mathbf{r}, 0)$ 分别表示加载在光场点 \mathbf{r} 处 x 和 y 偏振电场分量上的随机相位, 随机相位在时间上服从均匀概率分布, 其概率密度表示为

光路如图 1 所示. He-Ne 激光器 (Melles Griot) 发出的偏振方向沿 x 方向的线偏振光, 经扩束系统扩束至光束直径为 3 mm 之后通过半波片 (HWP1) 将偏振方向转换为 y 方向. 该 y 偏振光束经径向偏振转换器 (Q-Plate, Arcoptic) 转化为径向偏振光. 径向偏振光束经过偏振分束棱镜 (PBS) 后分束为偏振态正交的 x 偏振分量 (HG_{10} 模) 和 y 偏振分

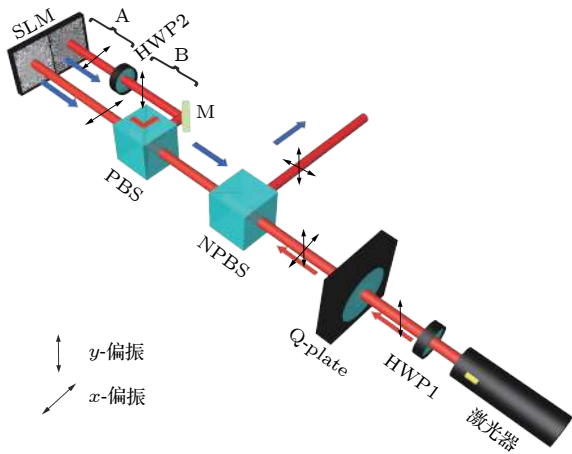


图 1 产生非均匀关联径向偏振部分相干光的光路示意图
Fig. 1. An optical arrangement for producing partially coherent radially polarized beam with non-uniform correlation.

量 (HG_{01} 模). 其中, x 偏振分量直接入射到相位型液晶空间光调制器 (SLM) 的左半边; y 偏振分量被反射镜 (M) 反射后经过半波片 (HWP2) 后偏振方向转换为 x 方向 (见图 1 中 A 区域), 再入射到 SLM 的右半边. 实验中采用的 SLM (Holoeye Photonics AG Pluto) 的分辨率为 1920×1080 , 像素尺寸为 $8 \mu\text{m}$, 帧率为 60 Hz , 其液晶指向矢沿 x 方向. 仔细调整反射镜使得 y 偏振分量与 x 偏振分量的传播方向平行, 且二者间距为 4 mm . SLM 由一台计算机控制, 在 SLM 的左右两半分别加载高斯调制半宽为 σ_x 和 σ_y 的动态相位图, 分别对 x 偏振和 y 偏振分量进行相位调制. 实验中在计算机中精确调节两个相位图的位置, 使两个相位图的中心分别与入射光束中心重合. 调制后的光束经 SLM 反射, 其中 y 偏振这一路再次经过半波片 (HWP2) 后偏振恢复为 y 偏振 (见图 1 中 B 区域). 两束光经偏振分束器 (PBS) 合束得到径向偏振部分相干光, 并被非偏振分束棱镜 (NPBS) 反射出来.

使用 Matlab 软件生成动态随机相位图, 这些随机相位图在时间上满足均匀分布, 在空间上满足反高斯分布. 图 2 所示的是 SLM 左右两半加载的动态随机相位图中的一帧, 图中所示的左右两个相位图的高斯调制半宽 σ 都等于 20 (即 $\sigma_x = \sigma_y = 20$). 相位图中不同灰度值 ($0-255$) 对应不同相位 ($0-2\pi$). 为了补偿 x 偏振分量和 y 偏振分量的光程差, 在图 2 左侧相位图中加入了附加的固定相位.

利用杨氏-双孔干涉法分别测量了所产生的径向偏振部分相干光中两个偏振分量的相干度. 如

图 3(a) 所示, 实验中双孔间距固定为 1.2 mm , 并使双孔在光束横截面内移动, 分别测量了光束中不同位置的两点之间的相干度. 利用 CCD 相机 (Ophir SP620U) 记录干涉图样, 每个位置都测量 90 组干涉条纹的对比度, 用平均值来表示相干度. 图 3(b) 中三角形和圆点分别代表实验测量得到的 x 偏振分量和 y 偏振分量的相干度, 图中横轴表示

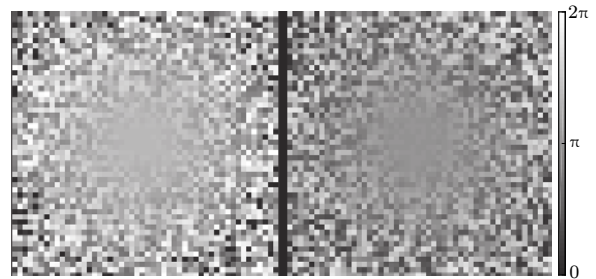


图 2 动态相位图样的一帧图样, 高斯调制半宽 $\sigma = 20$ (即 $\sigma_x = \sigma_y = 20$)
Fig. 2. One frame of dynamic phase patterns. Both the left pattern and the right one are generated with $\sigma = 20$ (i.e. $\sigma_x = \sigma_y = 20$).

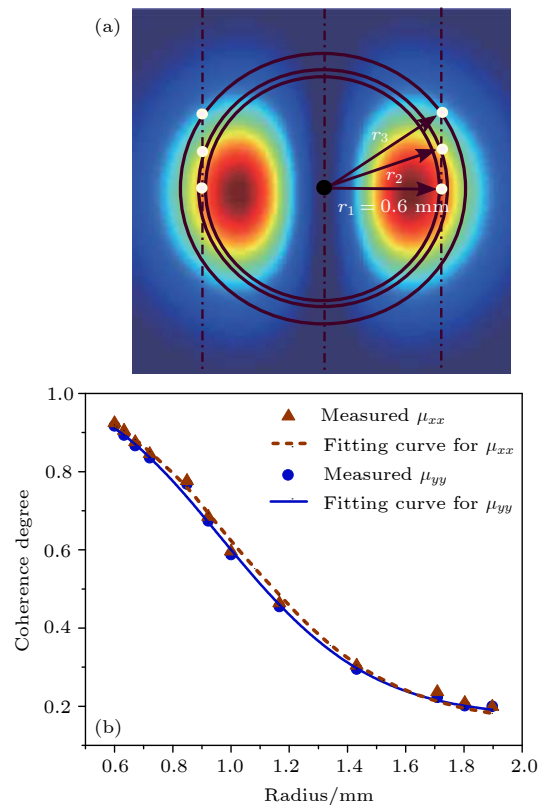


图 3 (a) 利用杨氏-双孔干涉实验测量相干度的原理图; (b) 相干度的测量结果
Fig. 3. (a) The schematics for measuring the coherence degree by two-pinhole interference experiment; (b) experimental results and fitting results of coherence degree.

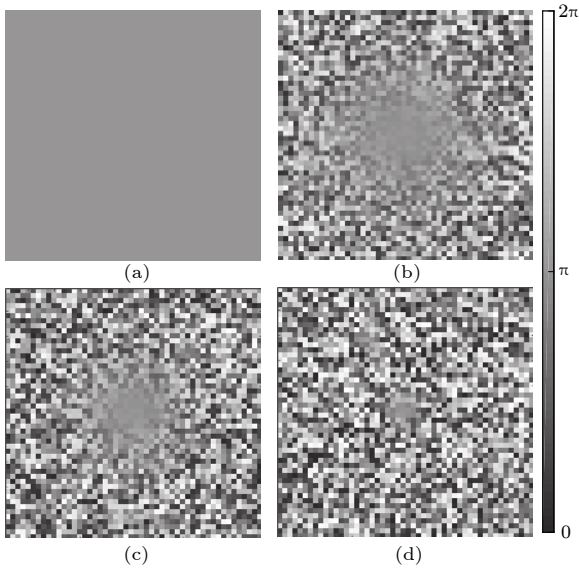


图 4 不同调制半宽的动态随机相位图的一帧 (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$

Fig. 4. One frame of dynamic phase patterns with different Gaussian modulation half-widths: (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$.

测量点即小孔到光束中心的距离. 图 3(b) 中点线和实线分别表示 x 偏振分量和 y 偏振分量的拟合结果. 使用的拟合函数为 $\mu_{\alpha\alpha} = a \times \text{sinc}^2[1 - \exp(-b \times r^2)] + c$, x 偏振分量的拟合参数为 $a = 0.6192$, $b = 0.4925$, $c = 0.3452$; y 偏振分量的拟合参数为 $a = 0.6184$, $b = 0.4915$, $c = 0.336$. 从图 3(b) 可以看出, x 偏振分量和 y 偏振分量的相干度都不仅和双孔间距有关, 还和双孔的测量位置有关. 因此, 所产生的径向偏振部分相干光的相干度是非均匀分布的.

由 (7) 式可知, 改变随机相位的高斯调制半宽可以实现径向偏振部分相干光的相干度的调控. 图 4 表示不同高斯调制半宽 ($\sigma = \infty, 15, 10, 3$) 的随机相位图中的一帧. 当 $\sigma = \infty$ 时 (如图 4(a) 所示), 施加在光场上每个点的相位都是固定值 π , 因而对入射光束的相干性没有影响, 获得的是完全相干的径向偏振光. 可以看出随着高斯调制半宽的减小, 相位图中变化范围大的区域增大. 在 SLM 的两侧加载调制幅度相等动态随机相位图, 即 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$. 使用间距为 1.2 mm 的双孔分别测量两偏振分量的相干度. 实验结果和拟合曲线如图 5 所示, 由图可知, x 偏振分量和 y 偏振分量的相干度都随着高斯调制半宽的增加而变大. 实验结果表明, 可以通过改变 SLM 对不同偏振分量的高斯相

位调制半宽, 实现对非均匀关联径向偏振部分相干光的相干度的调控.

光束质量因子 M^2 是描述光束传输性质的重要参数之一. 以维纳分布函数的二阶矩表示的 M^2 因子被广泛用于表征部分相干光的传输特性^[29-31]. 实验中使用 M^2 测量仪 (Ophir, M2-200S) 对产生的径向偏振部分相干光的 M^2 进行测量. 如图 6 所示, 随着调制半宽的增加, 径向偏振部分相干光的 M^2 逐渐减小, 对应于图 5 中相干度随着调制半宽的增加而升高.

通过 CCD 采集在不同调制半宽 ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma = \infty, 15, 10, 3$) 下的径向偏振部分相干光的光斑图样, 如图 7 所示. 光斑图样顶部和右侧的曲线分别表示 x 偏振方向和 y 偏振方向的归一化强度曲线. 如图 7(a) 所示, 当 $\sigma = \infty$ 时, SLM 上加载的

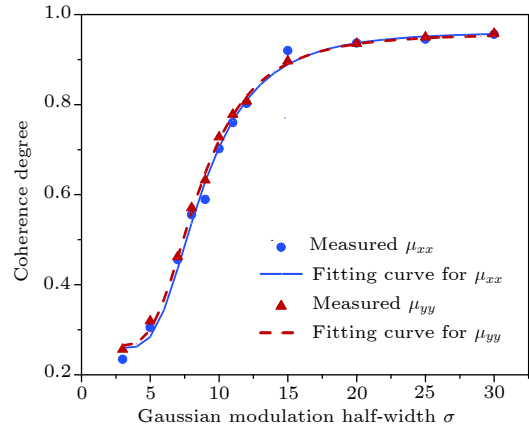


图 5 两个小孔位置之间的相干度随高斯调制半宽 σ 变化的曲线

Fig. 5. Experimental results of coherence degree between two fixed points as a function of σ .

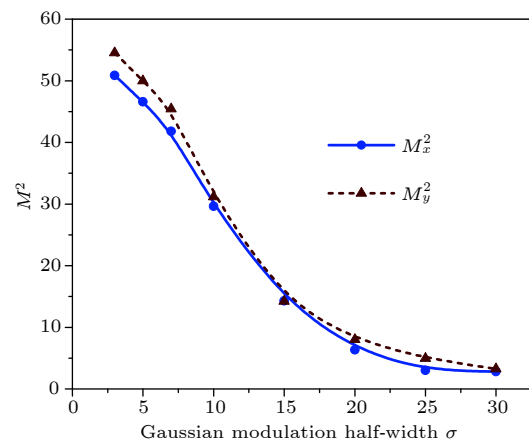


图 6 光束质量因子 M^2 随高斯调制半宽 σ 变化的曲线

Fig. 6. Experimental results of M^2 as a function of σ .

是固定相位, 因此获得的是完全相干的径向偏振光, 其光强分布是环形空心状, 光斑中心存在一个清晰的光强凹陷区域. 由图 7(a)—图 7(d) 可以看出, 随着调制半宽 σ 的减小, 相干性逐渐降低 (如图 5 所示), 径向偏振部分相干光的中心区域的光强由凹陷逐渐变平坦. 从图 7 可以看出, 通过改变径向偏振部分相干光束的空间相干性可以实现光束整形. 在进行粒子捕获时, 捕获本身折射率比周围环境折射率大的粒子时需要聚焦的高斯或平顶光束, 而捕获本身折射率比周围环境折射率小的粒子时需要聚焦的空心光束 [18,32,33]. 通过改变径向偏振部分相干光的空间相干性来实现光束整形, 能够

在同一粒子捕获系统里实现两种不同折射率类型的粒子的捕获.

为了研究空间相干性对径向偏振光相互正交偏振分量 (HG_{01} 和 HG_{10}) 的影响, 采集了不同调制半宽下径向偏振部分相干光经过 0° 和 90° 线偏振片后的光强分布图样, 如图 8 和图 9 所示. 随着调制半宽度的减小, 径向偏振部分相干光两个偏振分量的空间相干性逐渐降低 (如图 5 所示), 光强分布逐渐由两瓣状的光强分布变化为较为均匀的光强分布. 这一现象表明, 对径向偏振部分相干光的空间相干度进行调制, 可以有效便捷地对光束进行整形.

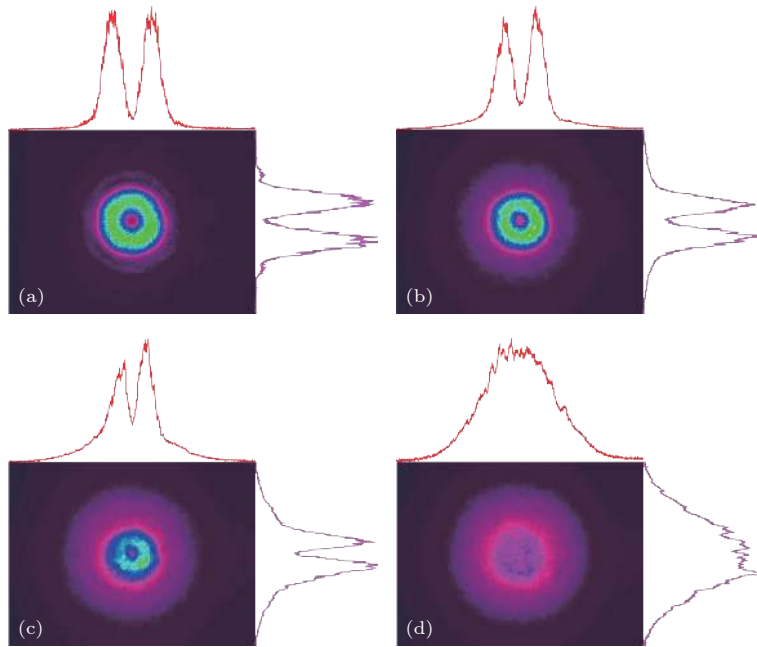


图 7 不同调制半宽度下的部分相干径向偏振光的光强分布图样 (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$

Fig. 7. Intensity distributions of partially coherent radially polarized beams generated with different σ : (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$.

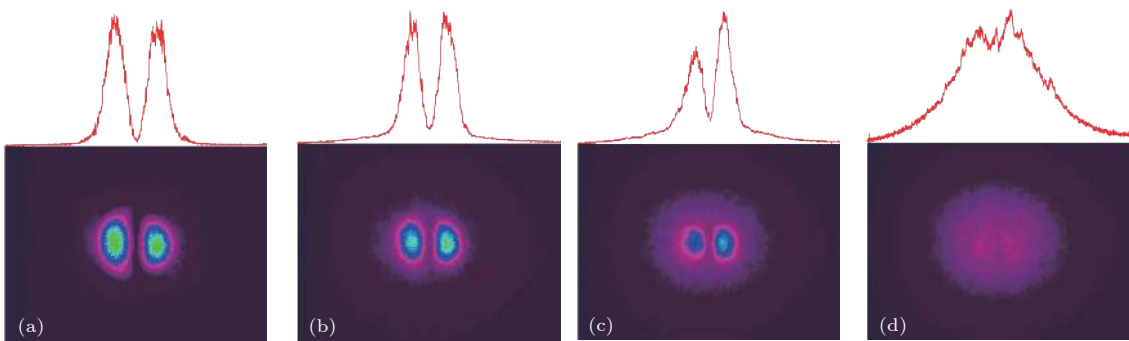


图 8 不同调制半宽度下径向偏振部分相干光经过 0° 偏振片后的光斑图样 (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$

Fig. 8. Intensity profiles of partially coherent radially polarized beams with different σ after passing through a linear polarizer with a transmission angle of 0° : (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$.

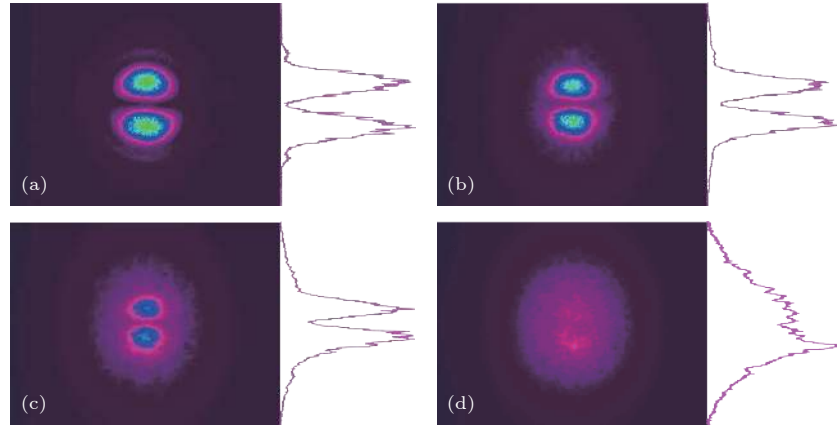


图 9 不同调制半宽度下径向偏振部分相干光经过 90° 偏振片后的光斑图样 (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$

Fig. 9. Intensity profiles of partially coherent radially polarized beams with different σ after passing through a linear polarizer with a transmission angle of 90° : (a) $\sigma = \infty$; (b) $\sigma = 15$; (c) $\sigma = 10$; (d) $\sigma = 3$.

4 结 论

本文提出了一种有效产生非均匀径向偏振部分相干光的方法. 利用单个相位型液晶空间光调制器上的不同区域, 对径向偏振光的两个正交偏振分量分别进行相干性调控, 从而获得非均匀关联的径向偏振部分相干光. 实验结果表明, 通过改变随机相位的高斯调制半宽能够有效地调控径向偏振部分相干光的相干度, 而且所产生的径向偏振部分相干光具有非均匀的关联结构. 此外, 通过相干性的调控可以有效地实现光强分布的整形. 这种非均匀关联的径向偏振部分相干光在光学微操控、材料热处理等领域有潜在的应用价值.

参考文献

- [1] Mandel L, Wolf E 1995 *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge: Cambridge University Press) pp340—373
- [2] Zhan Q W 2009 *Adv. Opt. Photon.* **1** 1
- [3] Naidoo D, Roux F S, Dudley A, Litvin I, Piccirillo B, Marrucci L, Forbes A 2016 *Nat. Photonics* **10** 327
- [4] Lin H C, Zhou X M, Chen Z Y, Sasaki O, Li Y, Pu J X 2018 *J. Opt. Soc. Am. A* **35** 1974
- [5] Wolf E 2007 *Introduction to the Theory of Coherence and Polarization of Light* (Cambridge: Cambridge University Press) pp 174—179
- [6] Zhan Q W 2014 *Vectorial Optical Fields: Fundamentals and Applications* (Hackensack New Jersey: World Scientific) pp 221—277
- [7] Ostrovsky A S, Rodriguez-Zurita G, Meneses-Fabian C, Olvera-Santamaria M A, Rickenstorff-Parrao C 2010 *Opt. Express* **18** 12864
- [8] Zhang Y T, Cui Y, Wang F, Cai Y J 2015 *Opt. Express* **23** 11483
- [9] Guo M W, Zhao D M 2018 *Opt. Express* **26** 8581
- [10] Cai Y J, Korotkova O, Eyyuboglu H T, Baykal Y 2008 *Opt. Express* **16** 15834
- [11] Mei Z R, Korotkova O, Shchepakina E 2013 *J. Opt.* **15** 025705
- [12] Liang C H, Wang F, Liu X L, Cai Y J, Korotkova O 2014 *Opt. Lett.* **39** 769
- [13] Tong Z S, Korotkova O 2012 *J. Opt. Soc. Am. A* **29** 2154
- [14] Cai Y J, Chen Y H, Wang F 2014 *J. Opt. Soc. Am. A* **31** 2083
- [15] Zhang L, Chen Z Y, Cui S W, Liu J L, Pu J X 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 034205 (in Chinese) [张磊, 陈子阳, 崔省伟, 刘绩林, 蒲继雄 2015 物理学报 **64** 034205]
- [16] Gu Y L, Gbur G 2013 *Opt. Lett.* **38** 1395
- [17] Dong Y M, Cai Y J, Zhao C L, Yao M 2011 *Opt. Express* **19** 5979
- [18] Dong Y M, Wang F, Zhao C L, Cai Y J 2012 *Phys. Rev. A* **86** 324
- [19] Wang F, Liu X L, Liu L, Yuan Y S, Cai Y J 2013 *Appl. Phys. Lett.* **103** 91102
- [20] Zhu S J, Chen Y H, Wang J, Wang H Y, Li Z H, Cai Y J 2015 *Opt. Express* **23** 33099
- [21] Luo Y M, Lü B D 2010 *J. Opt.* **12** 115703
- [22] Lin H C, Pu J X 2009 *J. Mod. Opt.* **56** 1296
- [23] Wang F, Cai Y J, Dong Y M, Korotkova O 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 51108
- [24] Wu G F, Wang F, Cai Y J 2012 *Opt. Express* **20** 28301
- [25] Cui S W, Chen Z Y, Zhang L, Pu J X 2013 *Opt. Lett.* **38** 4821
- [26] Chen X D, Chang C C, Chen Z Y, Lin Z L, Pu J X 2016 *Opt. Express* **24** 21587
- [27] Chang C C, Pu J X, Chen Z Y, Chen X D 2017 *Acta Phys. Sin.* **66** 054212 (in Chinese) [昌成成, 蒲继雄, 陈子阳, 陈旭东 2017 物理学报 **66** 054212]
- [28] Tervo J, Setälä T, Friberg A T 2012 *Opt. Lett.* **37** 151
- [29] Zhang B, Chu X L, Li Q 2002 *J. Opt. Soc. Am. A* **19** 1370
- [30] Ji X L, Zhang T R, Jia X H 2009 *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **11** 105705
- [31] Zhou G Q 2009 *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **12** 015701
- [32] Zhang Y J, Ding B F, Suyama T 2010 *Phys. Rev. A* **81** 109
- [33] Zhao C L, Cai Y J 2011 *Opt. Lett.* **36** 2251

Synthesis of ununiformly correlated radially polarized partially coherent beam*

Liu Sen-Sen Song Hua-Dong Lin Wei-Qiang Chen Xu-Dong[†] Pu Ji-Xiong

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

(Received 27 December 2018; revised manuscript received 17 January 2019)

Abstract

Since the unified theory of coherence and polarization for partially coherent vector beams was proposed by Gori and Wolf, the characterization, generation and propagation of partially coherent vector beams have been extensively studied. During the last decade, partially coherent vector beams with non-uniform polarization, also referred to as cylindrical vector partially coherent beams, have gained more and more attention. It was found that the intensity profile of focused azimuthally/radially polarized beam could be shaped by varying its initial spatial coherence. This characteristic may have potential applications in material thermal processing and particle trapping. Until now, there have been several reports concerning the generation of cylindrical vector partially coherent beams. However, in most of these reports a ground-glass diffuser was used, which generally restricts the generation of shell-model sources. In this paper, we theoretically and experimentally investigate the generation of radially polarized partially coherent beams with non-uniform correlation. According to the relation between phase correlation and optical coherence, we theoretically investigate the 2×2 cross-spectral density matrix and the coherence distribution of our generated non-uniformly correlated radially polarized partially coherent beams. In experiment, we generate dynamic random phase patterns with uniform distribution in time and inverse Gaussian distribution in space. A complete coherent radially polarized beam is divided into two parts by a polarizing beam splitter, i.e., the transmitted x -polarization component (HG₁₀ beam) and the reflected y -polarization component (HG₀₁ beam). The two orthogonally polarized components are respectively modulated with the two halves of a single phase-only liquid crystal spatial light modulator, thus generating a radially polarized partially coherent beam. We measure the correlation distribution of the generated beam in Young's two-pinhole experiment. It is shown that the experimental observations are in agreement with our theoretical analyses. The generated partially coherent beam has an un-uniform correlation structure, and its coherence degree may be controlled by varying the Gaussian modulation half-width of the random phase. Our experimental results have also shown that the intensity profile of the radially polarized partially coherent beam can be modulated with the Gaussian modulation half-width. With the increase of Gaussian modulation half-widths and the gradual decrease of coherence degree, the intensity profile gradually transforms from a dark hollow beam profile into a flat-topped-like beam profile. The radially polarized partially coherent beams with non-uniform correlation may have some applications in optical manipulation and material thermal processing.

Keywords: non-uniformly correlated, radially polarized beam, cylindrical vector partially coherent beam, spatial coherence

PACS: 42.25.Kb, 42.25.Ja, 42.25.-p, 42.30.Lr

DOI: 10.7498/aps.68.20182289

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61605049, 61575070), the Natural Science Foundation of Fujian Province, China (Grant No. 2018J01003), the Research Foundation for Advanced Talents of Huaqiao University, China (Grant No. 11BS110), and the Subsidized Project for Cultivating Postgraduates' Innovative Ability in Scientific Research of Huaqiao University, China.

[†] Corresponding author. E-mail: chenxd@hqu.edu.cn