

角向偏振无衍射光束的传输特性及其偏振态研究

刘绩林 陈子阳 张磊 蒲继雄

Polarization and propagation characteristics of the azimuthally polarized non-diffracting beam

Liu Ji-Lin Chen Zi-Yang Zhang Lei Pu Ji-Xiong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 064201 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.064201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I6>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

离轴高斯涡旋光束的深聚焦特性

[Tight focusing properties of off-center Gaussian vortex beams](#)

物理学报.2014, 63(21): 214202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.214202>

高阶邦加球上柱矢量光束的变换

[Conversion of cylindrical vector beams on the higher-order Poincaré sphere](#)

物理学报.2014, 63(15): 154203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.154203>

梯度负折射率介质中高斯光束传输特性的研究

[Propagation properties of Gaussian beam in gradient negative index of refraction material](#)

物理学报.2014, 63(10): 104205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.104205>

基于 Metasurface 的柱矢量光束的产生

[Generation of cylindrical vector beams based on metasurface](#)

物理学报.2014, 63(9): 094203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.094203>

涡旋光束在反射中的正交偏振特性研究

[Cross polarization effects of vortex beam in reflection](#)

物理学报.2013, 62(17): 174202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.174202>

角向偏振无衍射光束的传输特性及其偏振态研究*

刘绩林 陈子阳 张磊 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)

(2014年8月21日收到; 2014年10月12日收到修改稿)

从理论和实验两个方面研究角向偏振无衍射光束在自由空间和障碍物空间中的传输特性. 理论上模拟了角向偏振无衍射光束在自由空间以及障碍物空间传播过程中的光强分布与偏振态变化情况. 实验中利用高斯光束先通过偏振转换仪, 再入射到轴棱锥上产生角向偏振无衍射光束. 进而研究其在空间中的传输情况, 并通过分析其经过扇形障碍物后光强分布变化情况讨论障碍物对偏振态的影响和光束的自重建特性. 结果表明: 障碍物遮挡区域光强沿 z 轴方向逐渐恢复, 且阴影区域沿障碍物所在位置的相反方向移动; 光束的偏振态局部发生变化, 该变化与障碍物所在位置有关. 理论仿真和实验结果一致.

关键词: 角向偏振, 无衍射光束, 偏振态, 自重建

PACS: 42.25.-p, 42.25.Bs, 42.25.Ja

DOI: 10.7498/aps.64.064201

1 引言

矢量偏振光束由于特殊的空间偏振分布, 偏振方向具有高度对称性, 使其与传统的偏振光束有许多显著不同的特性. 其中径向偏振光束和角向偏振光束的研究已经引起学者的广泛关注. 2007年, 比利时的 Muys 等^[1]对轴对称光束在 c 切向单轴晶体中传播进行了研究, 发现角向偏振光束的偏振态在传输过程中不会发生串扰; 2008年, 澳大利亚的 Nieminen 等^[2]研究径向和角向偏振光束在光镊中的运用, 得出径向偏振光更容易在光镊系统中俘获圆形粒子; 2008年, 美国的 Brown 等^[3]研究了角向偏振光的空间相干特性, 发现其模式和传统的激光模式不同; 2009年, Winnerl 等^[4]研究了微结构的光导纤维生成太赫兹的径向和角向偏振贝塞尔光束; 2013年, 常强等^[5]对 4π 聚焦系统中振幅和相位调制的径向偏振涡旋光束聚焦特性进行了研究, 通过调节入射光束的拓扑电荷数 m 和延迟角 δ , 可以获得光链、光球和暗通道等特殊的光强分布; 2013年, Du 等^[6]对径向偏振涡旋光束进行了深聚焦实验验证. 基于角向偏振光束诸多优越的特性,

角向偏振光束在许多领域中得到了广泛应用, 例如引导和诱捕粒子^[7]、金属切割^[8]、提高存储密度^[9]以及表面等离子体共振等^[10]方面.

Durnin 等^[11]在 1987 年首次提出了无衍射光束的概念, 其实质上是(第一类)零阶贝塞尔光束. 其在自由空间传播时, 准直性好, 传播距离长, 随着传输距离的增加, 中心光斑大小不变且中心光强极强. 理想的贝塞尔光束遇到障碍物具有自重建效应^[12]. 理论上无衍射光束在横向截面具有无限大的分布空间, 且其携带无限大的能量, 这在实验上是无法实现的. 但是有限孔径大小的无衍射光束可以在实验上获得, 并且在一定距离内可实现自重建特性和无衍射特性. 贝塞尔高斯光束的产生有多种不同方法, 例如可以通过狭窄圆缝、全息图、轴棱锥、空间光调制器和 Mach-Zehnder 干涉仪等^[13]. 文献^[14, 15]研究了无衍射光束的自重建效应及其应用.

基于以上角向偏振光束和无衍射光束的优点, 本文从理论和实验上研究一种同时兼具角向偏振特性和无衍射特性的光束, 即角向偏振无衍射光, 讨论其在自由空间和有障碍物遮挡时的传输特性

* 国家自然科学基金(批准号: 61178015)和福建省自然科学基金(批准号: 2012J05120, 2014J05007)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: jixiong@hqu.edu.cn

及其偏振态变化情况, 分析其自重建特性和光束在空间中传输后偏振态的变化分布, 这对角向偏振无衍射光束的实际运用具有指导性作用.

2 理论分析

假设入射光束是角向偏振高斯光束, 光束截面电场表达式为^[16]

$$\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) = A \frac{\mathbf{z} \times \mathbf{r}}{w} \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right), \quad (1)$$

其中 \times 表示矢量积, A 是一个随机的振幅, w 表示的是入射光束的束腰宽度, 假设光束沿着 z 轴正向传输.

角向偏振无衍射光束的产生方法有很多种^[17-19], 本文采用一束高斯光束先后入射到偏振转换仪 (RPC, ARCOptix) 和轴棱锥产生角向偏振无衍射光束. 轴棱锥的透过率函数可以表示为^[20]

$$\tau(r) = \begin{cases} \exp[-ik(n-1)\gamma r] & r \leq R, \\ 0 & r > R, \end{cases} \quad (2)$$

其中 $k = 2\pi/\lambda$ 是波数, λ 是波长, n 表示轴棱锥材料的折射率, γ 表示轴棱锥的锥角.

角向偏振光束通过轴棱锥聚焦后, 获得了角向偏振无衍射光束. 根据 Collins 公式^[21]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{ik}{2\pi B}\right) \exp(ikz) \iint_S \mathbf{E}_0(r, \varphi, 0) \\ &\times \exp\left\{\frac{ik}{2B}[Ar^2 + D\rho^2 - 2\rho r \cos(\varphi - \theta)]\right\} \\ &\times r dr d\varphi, \end{aligned} \quad (3)$$

其中, ρ 和 θ 分别表示在输出平面上径向坐标和角向坐标; A, B, C, D 是光学系统传输矩阵的元素, 光束在自由空间中的传输矩阵表示为^[22]

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

把 (1), (2) 和 (4) 式代入 (3) 式, 可以得到角向偏振无衍射光束在观察截面内的电场表达式:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{i}{\lambda z}\right) \exp(ikz) \iint \mathbf{E}_0(r, \varphi, 0) \tau(r) \\ &\times \exp\left[\frac{ik(\rho^2 + r^2)}{2z}\right] \end{aligned}$$

$$\times \exp\left[-\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi - \theta)\right] r dr d\varphi. \quad (5)$$

根据 (5) 式, 角向偏振无衍射光束在自由空间和非自由空间的电场表达式便可以求出. 可以推出角向偏振无衍射光束在自由空间中传输时观察面的电场表达式、电场 y 方向分量和 x 方向分量表达式分别为

$$\begin{aligned} E_y(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{i}{\lambda z}\right) \exp(ikz) \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{zr}{w} \cos\varphi \\ &\times \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\ &\times \exp\left[\frac{ik(\rho^2 + r^2)}{2z}\right] \\ &\times \exp\left[-\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi - \theta)\right] r dr d\varphi, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} E_x(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{i}{\lambda z}\right) \exp(ikz) \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{-zr}{w} \sin\varphi \\ &\times \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\ &\times \exp\left[\frac{ik(\rho^2 + r^2)}{2z}\right] \\ &\times \exp\left[-\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi - \theta)\right] r dr d\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

为简化 (6), (7) 两式, 可取相对振幅 $A = 1$. 利用公式:

$$\begin{aligned} &\exp\left[\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi - \theta)\right] \\ &= \sum i^l J_l\left(\frac{k\rho r}{z}\right) \exp[il(\varphi - \theta)], \end{aligned} \quad (8)$$

$$\cos\theta = \frac{1}{2}[\exp(i\theta) + \exp(-i\theta)], \quad (9)$$

$$\int_0^{2\pi} \exp(im\varphi) d\varphi = \begin{cases} 2\pi & m = 0, \\ 0 & m \neq 0, \end{cases} \quad (10)$$

其中 $J_l(k\rho r/z)$ 表示 l 阶的第一类贝塞尔函数. 对 (6) 和 (7) 式化简, 可以得到简化后的衍射积分公式分别为

$$\begin{aligned} E_y(\rho, z) &= (-k) \exp(ikz) \exp\left(\frac{ik\rho^2}{2z}\right) \cos\theta \\ &\times \int_0^\infty \frac{r^2}{w} \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\ &\times \exp\left(\frac{ikr^2}{2z}\right) J_l\left(\frac{k\rho r}{z}\right) dr, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 E_x(\rho, z) &= k \exp(ikz) \exp\left(\frac{ik\rho^2}{2z}\right) \sin\theta \\
 &\times \int_0^\infty \frac{r^2}{w} \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\
 &\times \exp\left(\frac{ikr^2}{2z}\right) J_l\left(\frac{k\rho r}{z}\right) dr. \quad (12)
 \end{aligned}$$

同时可以推出角向偏振无衍射光束在传输过程中遇到扇形障碍物遮挡时, 观察面电场 y 和 x 方向分量化简后分别为 (13) 和 (14) 式, 其中 α 为扇形障碍物的夹角.

$$\begin{aligned}
 E_y(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{i}{\lambda z}\right) \exp(ikz) \int_0^{2\pi-\alpha} \int_0^\infty \frac{zr}{w} \cos\varphi \\
 &\times \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\
 &\times \exp\left[\frac{ik(\rho^2+r^2)}{2z}\right] \\
 &\times \exp\left[-\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi-\theta)\right] r dr d\varphi, \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_x(\rho, \theta, z) &= \left(-\frac{i}{\lambda z}\right) \exp(ikz) \int_0^{2\pi-\alpha} \int_0^\infty \frac{-zr}{w} \sin\varphi \\
 &\times \exp\left(-\frac{r^2}{w^2}\right) \exp[-ik(n-1)\gamma r] \\
 &\times \exp\left[\frac{ik(\rho^2+r^2)}{2z}\right] \\
 &\times \exp\left[-\frac{ik\rho r}{z} \cos(\varphi-\theta)\right] r dr d\varphi. \quad (14)
 \end{aligned}$$

通常情况下通过偏振片考察光束的偏振态变化情况, 假设线偏振器的透光轴与 x 轴成 θ 角. 根据坐标变换可以得到光束通过偏振片时, 偏振器件的琼斯矩阵为 [23]

$$\begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin\theta\cos\theta \\ \sin\theta\cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix}, \quad (15)$$

所以得到入射光 $\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}$ 通过偏振片后得到的出射光 $\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix}$ 可以表示为

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin\theta\cos\theta \\ \sin\theta\cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}. \quad (16)$$

角向偏振无衍射光束的光强表达式为

$$I(\rho, \theta, z) = |E_x(\rho, \theta, z)|^2 + |E_y(\rho, \theta, z)|^2. \quad (17)$$

将 (11) 和 (12) 式代入到 (17) 式可以求得无障碍物遮挡时观察面的光强分布; 将 (13) 和 (14) 式代入 (17) 式可以求出障碍物遮挡时观察面的光强分布; 将 (16) 式代入 (17) 式可以求得有障碍物遮挡时光束通过偏振片后观察面的光强分布.

3 数值模拟

根据上述理论分析, 我们进行理论模拟得到自由空间中角向偏振无衍射光束的光强分布, 如图 1(a) 所示. 由于角向偏振无衍射光束具有角向偏振光的特性, 其偏振方向具有高度对称性, 我们对光束通过不同角度放置的偏振片后的光强分布进行模拟仿真, 仿真结果如图 1 所示, 图中右下角的箭头代表着偏振片光轴的方向. 可以发现, 随着偏振片光轴方向的改变, 与之垂直的方向光强不为零而与之平行的方向光强始终为零. 表明与偏振片光轴方向平行的角向分量才能通过偏振片, 与偏振片光轴方向垂直的角向分量不能通过偏振片. 因此, 图 1 也验证了角向偏振无衍射光束兼具有角向偏振特性.

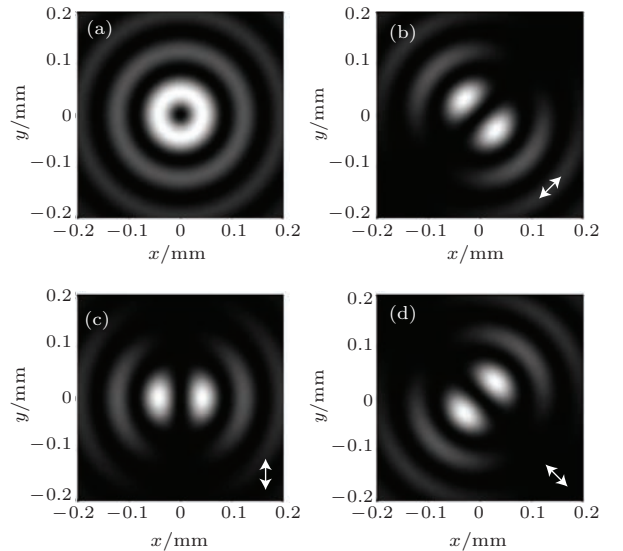


图 1 模拟光强分布 (a) $z = 200$ mm 处光强分布; (b) $\theta = 45^\circ$ 时光强分布; (c) $\theta = 90^\circ$ 时光强分布; (d) $\theta = 135^\circ$ 时光强分布; 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$, $z = 200$ mm, 箭头方向代表偏振方向

角向偏振无衍射光束具有无衍射特性, 即在空间中传输一段距离可以保持光斑大小基本不变.

模拟角向偏振无衍射光束在自由空间中传输的光强分布情况, 可得结果如图 2 所示. 从图中可以看出, 光束传输过程中在一段距离内光束几乎不发生发散.

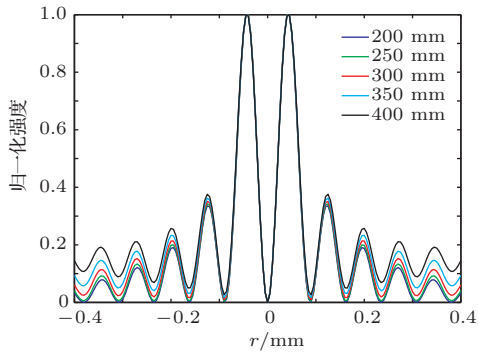


图 2 在传输 200—400 mm 距离内角向偏振无衍射光束在传输中的模拟光强曲线分布 (其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$)

角向偏振无衍射光束通过障碍物情况如图 3 所示.

此时取 $\alpha = 45^\circ$. 通过模拟仿真得到其在空间中的光强分布如图 4 所示. 由图 4 可知, 角向偏振

无衍射光束通过障碍物时, 由于受到障碍物的遮挡, 近场区域光强的分布受障碍物的影响很大, 且随着光束传输距离的增加, 障碍物所在位置对应的遮光区域的光强逐渐恢复, 但障碍物所在位置的相反方向对应的遮光区域光强分布逐渐受到干扰. 因为角向无衍射光束兼具角向偏振和无衍射特性, 所以其在传输过程中, 光束发生了自重现, 且在自重现的过程中阴影区域会向反方向移动.

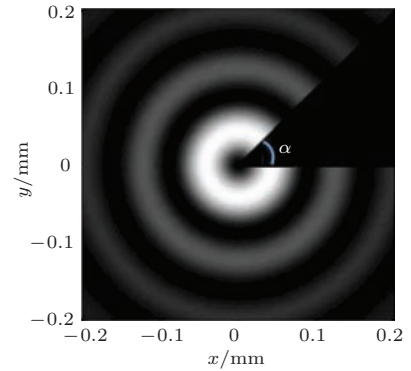


图 3 角向无衍射光束在传输过程中遇到扇形障碍物遮挡示意图

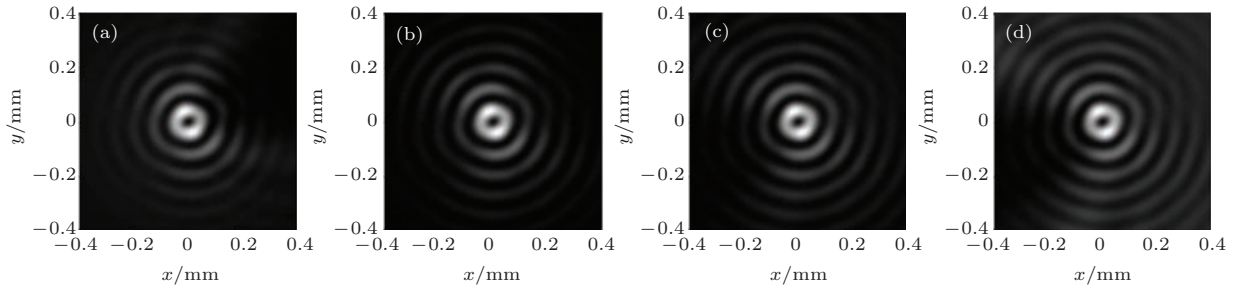


图 4 角向无衍射光束遇扇形障碍物后传输过程中的光强分布 (a) $z = 100$ mm; (b) $z = 200$ mm; (c) $z = 300$ mm; (d) $z = 400$ mm; 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$

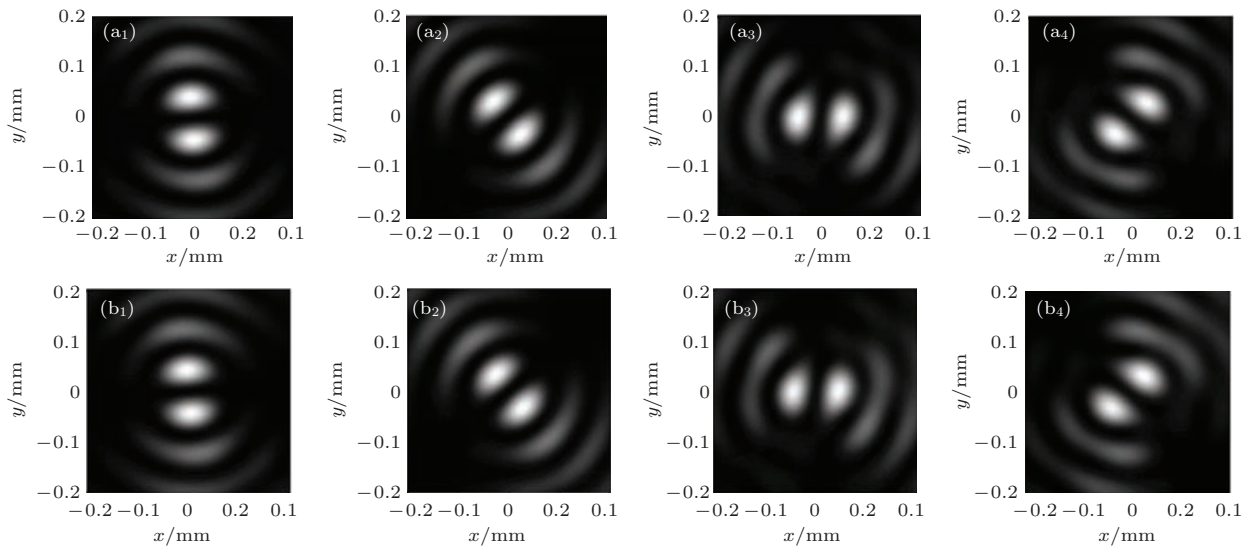


图 5 光束在 $z = 200$ mm (a_1)—(a_4) 和 300 mm (b_1)—(b_4) 处分别通过 0° (a_1), (b_1), 45° (a_2), (b_2), 90° (a_3), (b_3) 和 135° (a_4), (b_4) 的偏振片时的偏振态情况; 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$

模拟了角向偏振无衍射光束通过障碍物时, 光束偏振态的变化情况. 模拟仿真有障碍物遮挡时角向无衍射光束通过偏振片后观察面的光强分布, 得到仿真结果如图 5 所示. 图中第一行为 $z = 200$ mm, 第二行为 $z = 300$ mm, 每一列代表偏振器件透光轴与 x 轴夹角分别为 0° , 45° , 90° 和 135° . 对比图 1 (b) 与图 5 (a₂), (b₂), 发现在 $\theta = 45^\circ$ 时自由空间中的偏振态与障碍物空间中的偏振态分布基本一致, 说明了障碍物的放置对观察到的光强区域影响不大. 对比图 1 (c) 与图 5 中的 (a₃), (b₃), 图 1 (d) 与图 5 (a₄), (b₄), 分析可知障碍物放置区域的偏振态与无障碍物时有明显不同, 而且障碍物放置区域的反向区域偏振态也受到影响. 综上所述, 障碍物对光束的偏振态产生了一定影响, 且与障碍物放置的位置有关.

4 实验结果

角向偏振无衍射光束的产生装置如图 6 所示. 氦氖激光器发射出波长 $\lambda = 632.8$ nm 的高斯光束, 光束入射到偏振转换仪, 产生角向偏振光束, 最后通过一个轴棱锥就得到角向偏振无衍射光束, 由激光光束分析仪 (CCD, Spiricon) 记录光强分布情况.

根据图 6, 在轴棱锥后面不加扇形障碍物时, 光束在空间中传输一定距离可以保持光束大小基本不变. 通过实验测量, 我们分别观测 $z = 100$, 200 , 300 mm 处的光强分布, 其分别对应图 7 (a), (b) 和 (c). 从图中可以看出, 光束传输一段距离时光束光斑基本不发生发散, 实验与理论结果相符合, 进一步说明了角向偏振无衍射光的无衍射特性.

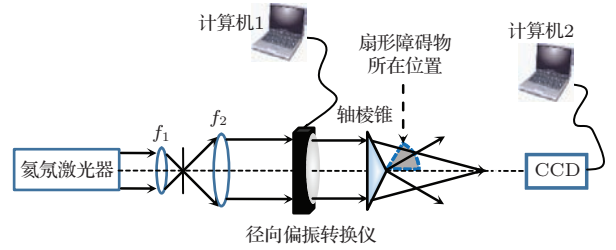


图 6 产生角向偏振无衍射光束的实验装置图

角向偏振无衍射光束具有角向偏振特性. 在 $z = 200$ mm 处观察其通过偏振片后偏振态的变化情况, 实验结果如图 8 所示. 从图中可以看出, 角向偏振无衍射光束的角向偏振特性, 实验结果与理论仿真结果图 2 基本一致.

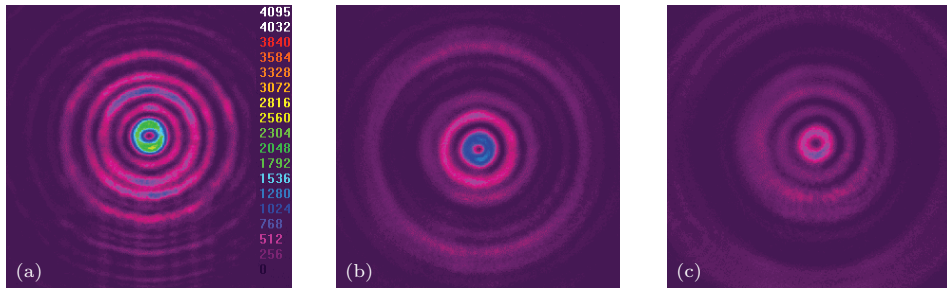


图 7 (网刊彩色) 实验测量角向偏振无衍射光束在传输过程中的光强 (a) $z = 100$ mm; (b) $z = 200$ mm; (c) $z = 300$ mm; 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$

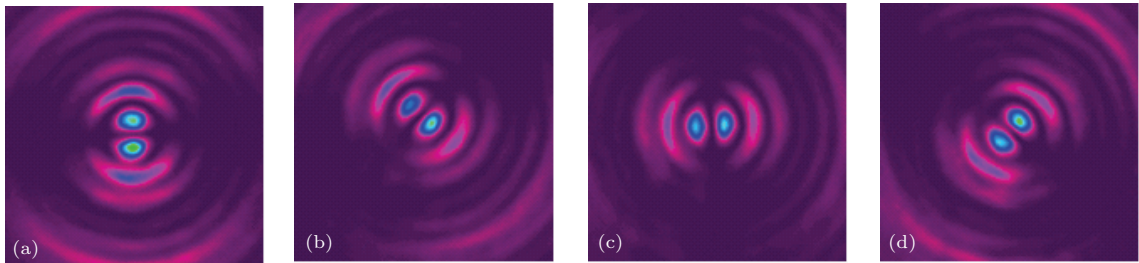


图 8 (网刊彩色) 实验测量角向偏振无衍射光束的光强分布 (a) $\theta = 0^\circ$; (b) $\theta = 45^\circ$; (c) $\theta = 90^\circ$; (d) $\theta = 135^\circ$; 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$, $z = 200$ mm

同样观察有障碍物时的光束传输情况, 在轴棱锥后面放置扇形障碍物如图 3 所示, 实验装置如图 6 所示. 光束通过障碍物后在空间中传输, 在

$z = 200$ mm 和 300 mm 处测得光强分布如图 9 (a₁) 和 (b₁) 所示, 其中图 9 (a₂) 和 (b₂) 分别对应的是 $z = 200$ mm 和 300 mm 时的模拟仿真图. 对比

图9 (a₁) 和 (a₂), (b₁) 和 (b₂), 在有障碍物遮挡时, 光强的分布受到了有限影响. 从图中可以看出实验结果与模拟仿真结果基本一致.

由于光路中的障碍物对光强分布产生了影响, 我们在实验中考察了障碍物对偏振态的影响. 在 $z = 200, 300$ mm 处研究障碍物对光束偏振态的影响, 实验结果如图 10 所示, 白色虚线所包围区域

为扇形障碍物位置. 对比图 5 和图 10, 障碍物放置区域的偏振态发生了较明显的变化, 障碍物放置区域的反向区域也受到了影响, 而没有障碍物的区域偏振态与无障碍物时基本一致. 因此由实验可知障碍物放置区域对光束的偏振态产生了一定影响, 改变了原有的偏振态分布, 实验结果和理论模拟结果一致.

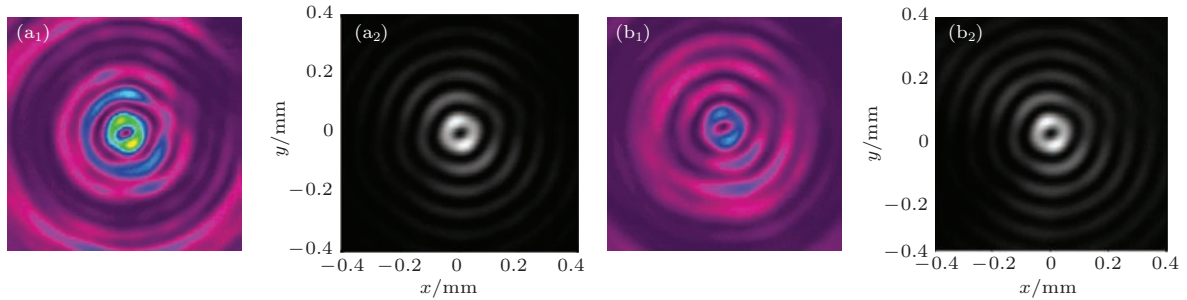


图9 (网刊彩色) 实验测量和模拟角向偏振无衍射光束经过不同角度偏振片后的光强分布对比 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$; (a₁) 和 (a₂) 为 $z = 200$ mm, (b₁) 和 (b₂) 为 $z = 300$ mm, (a₁) 和 (b₁) 为实验图, (a₂) 和 (b₂) 模拟图

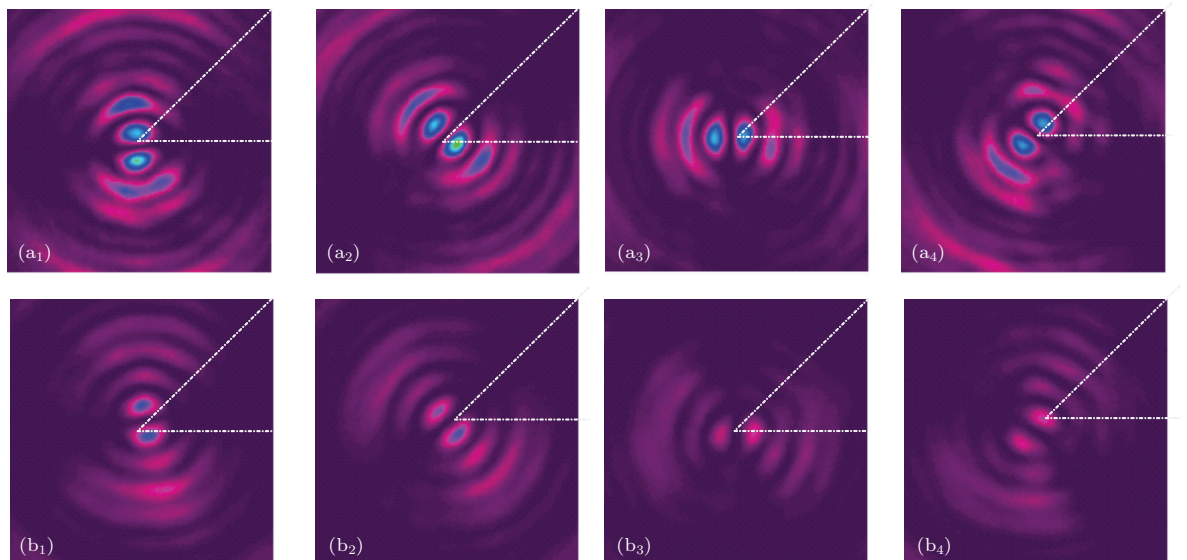


图10 (网刊彩色) 实验观测角向偏振无衍射光束经过不同角度偏振片后的光强分布 其中 $\lambda = 632.8$ nm, $w = 1$ mm, $n = 1.50$, $\gamma = 0.5^\circ$, 白色虚线为障碍物所在方位; (a₁)—(a₄) $z = 200$ mm; (b₁)—(b₄) $z = 300$ mm; (a₁), (b₁) $\theta = 0^\circ$; (a₂), (b₂) $\theta = 45^\circ$; (a₃), (b₃) $\theta = 90^\circ$; (a₄), (b₄) $\theta = 135^\circ$

5 结 论

本文将角向偏振和无衍射特性二者相结合, 得到角向偏振无衍射光束. 从理论和实验两个方面研究其在自由空间和障碍物空间中的传输特性及其偏振态变化情况. 在研究其自重建特性时, 发现障碍物遮挡区域光强沿 z 轴方向逐渐恢复, 且阴影区域沿障碍物所在位置的相反方向移动. 考察障碍物对光束偏振态影响得到有障碍物遮挡时光束的

偏振态局部发生变化, 该变化与障碍物所在位置有关, 理论仿真和实验结果一致. 本文对角向偏振无衍射光束在应用领域具有很好的指导作用.

参考文献

- [1] Muys P, Moser T, Feurer T 2007 *J. Opt. Soc. Am. B* **24** 2627
- [2] Nieminen T A, Heckenberg N R, Rubinsztein-Dunlop H 2008 *Opt. Lett.* **33** 122

- [3] Brown D P, Spilman A K, Brown T G, Borghi R, Volkov S N, Wolf E 2008 *Opt. Commun.* **281** 5287
- [4] Winnerl S, Zimmermann B, Peter F, Schneider H, Helm M 2009 *Opt. Express* **17** 1571
- [5] Chang Q, Yang Y F, He Y, Liu H G, Liu J 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 104202 (in Chinese) [常强, 杨艳芳, 何英, 刘海港, 刘键 2013 物理学报 **62** 104202]
- [6] Du F R, Zhou Z H, Tan Q F, Yang C X, Zhang X Q, Zhu L Q 2013 *Chin. Phys. B* **22** 064202
- [7] Li X C, Sun X D 2010 *Chin. Phys. B* **19** 119401
- [8] Meier M, Romano V, Feurer T 2007 *Appl. Phys. A* **86** 329
- [9] Kim W C, Park N C, Yoon Y J, Choi H, Park Y P 2007 *Opt. Rev.* **14** 236
- [10] Chen W, Zhan Q 2009 *Opt. Lett.* **34** 722
- [11] Durnin J, Miceli Jr J J, Eberly J H 1987 *Phys. Rev. Lett.* **58** 1499
- [12] He M, Chen Z Y, Sun S H, Pu J X 2013 *Opt. Commun.* **294** 36
- [13] Wu G, Wang F, Cai Y 2014 *Phys. Rev. A* **89** 043807
- [14] Bouchal Z, Wagner J, Chlup M 1998 *Opt. Commun.* **151** 207
- [15] Garcés-Chávez V, McGloin D, Melville H, Sibbett W, Dholakia K 2002 *Nature* **419** 145
- [16] Brown D P, Spilman A K, Brown T G, Borghi R, Volkov S N, Wolf E 2008 *Opt. Commun.* **281** 5287
- [17] Bashkansky M, Park D, Fatemi F K 2010 *Opt. Express* **18** 212
- [18] Davis J A, McNamara D E, Cottrell D M, Sonehara T 2000 *Appl. Opt.* **39** 1549
- [19] Machavariani G, Lumer Y, Moshe I, Mei A, Jackel S 2007 *Opt. Lett.* **32** 1468
- [20] Sun S H, Lin H C, Cui S W, Pu J X, Zhu J Q, Chen B S 2012 *Sci. Sin.: Phys. Mech. Astron.* **42** 1022 (in Chinese) [孙顺红, 林惠川, 崔省伟, 蒲继雄, 朱健强, 陈宝算 2012 中国科学: 物理学 力学 天文学 **42** 1022]
- [21] Collins J, Stuart A 1970 *J. Opt. Soc. Am.* **60** 1168
- [22] Simon R, Mukunda N, Sudarshan E C G 1988 *Opt. Commun.* **65** 322
- [23] Yeh P 1982 *J. Opt. Soc. Am. B* **72** 507

Polarization and propagation characteristics of the azimuthally polarized non-diffracting beam*

Liu Ji-Lin Chen Zi-Yang Zhang Lei Pu Ji-Xiong[†]

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

(Received 21 August 2014; revised manuscript received 12 October 2014)

Abstract

In this paper, the characteristics of the azimuthally polarized non-diffracting beam (APB) propagating in the free space and obstruction space are investigated theoretically and experimentally. The variations in intensity distribution and polarization characteristics of the APB in propagation process are simulated. In the experiment, the APB is generated by using the polarization converter and axicon. And then, we investigate its transmission and analyze the intensity distribution of APB which is behind a sector-shaped opaque obstacle. We also discuss the influences of obstacles on the polarization and self-healing features of the APB. The results show that the light intensity in obstacle block area gradually restores along the z axis and the shadow area moves toward the direction opposite to the location of obstacle. The polarization of the light beam changes partly and the change relates to the obstacle location. Theoretical simulations accord well with experimental results.

Keywords: azimuthally polarized, non-diffracting beam, polarization, self-healing

PACS: 42.25.-p, 42.25.Bs, 42.25.Ja

DOI: 10.7498/aps.64.064201

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61178015) and Natural Science Foundation of Fujian Province, China (Grant Nos. 2012J05120, 2014J05007).

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